

# DESENVOLVIMENTO DO CIRCUITO DE BENEFICIAMENTO PARA O MINÉRIO FÓSFORO-URANÍFERO DE SANTA-QUITÉRIA (CE)

**Rhuan Duarte Carvalho**

Aluno de Graduação de Engenharia Química,  
5º período, Escola de Química - UFRJ

Período PIBIC/CETEM: 01 de Setembro de 2015 a 31 Julho de 2016

[rduarte@cetem.gov.br](mailto:rduarte@cetem.gov.br)

**Elves Matiolo**

Orientador, Engenheiro de Minas, DSc.

[ematiolo@cetem.gov.br](mailto:ematiolo@cetem.gov.br)

## Resumo

Este trabalho apresenta resultados de um estudo de processo focado em uma alternativa à tecnologia desenvolvida pelo Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN, para o beneficiamento do minério fósforo-uranífero do depósito de Santa Quitéria-CE, também conhecido como Itataia. O objetivo principal do estudo é focado nos aspectos relacionados à separação entre calcita e apatita por flotação. A tecnologia de flotação desenvolvida pelo CDTN envolve uma flotação *bulk* da calcita e apatita em relação aos demais minerais com o uso de amido de milho como depressor e um ácido graxo como coletor. Após esta etapa, é realizada a separação entre a calcita e apatita com o uso de  $H_3PO_4$  como depressor de apatita. A apatita é obtida na fração afundada e corresponde ao concentrado final do processo. A técnica de flotação para separação entre calcita e apatita em estudo no CETEM envolve o uso de um ácido graxo de côco como coletor de calcita e injeção de gás carbônico no sistema de geração de bolhas das máquinas de flotação. Nesta primeira etapa, a calcita é obtida na fração flutuada e a fração afundada segue para uma etapa de flotação de apatita onde é utilizado o fubá de milho gelatinizado como depressor e um sulfosuccinato como coletor em pH alcalino. A partir de uma amostra com teor de  $P_2O_5$  na alimentação de 16,7%, foi obtido um concentrado final com teor de 31% de  $P_2O_5$  e recuperação global de 78%.

**Palavras chave:** flotação, apatita, calcita.

## FLOW SHEET DEVELOPMENT TO PROCESSING SANTA-QUITÉRIA'S CARBONACEOUS URANIUM-PHOSPHATE ORE

### Abstract

This project presents results of flotation study focused on an alternative to the technology developed by the Center for Development of Nuclear Technology- CDTN for the phosphate-uranium ore processing of Santa Quitéria-CE deposit, also known as Itataia. The main objective of the study is focused on aspects related to separation of calcite and apatite by flotation. The flotation technique developed by CDTN involves a bulk flotation of calcite and apatite compared to other minerals using corn starch as a depressant and a fatty acid soap as collector. After this step, is performed the separation of calcite and apatite using  $H_3PO_4$  as a depressant apatite. Apatite is obtained in the sink fraction and it corresponds to the final concentrate of the process. The flotation technique for separation

between calcite and apatite studied at CETEM involves the use of a coconut soap as calcite collector and the injection of carbonic gas in the bubble generation of the flotation machine system. This first stage, the calcite is obtained in the froth fraction and the sink fraction followed by apatite flotation, which is used the corn starch as a depressant and sulfosuccinate as collector at alkaline pH. From a feed sample with 16,7% of  $P_2O_5$  content, it was obtained a final concentrate, containing 31% of  $P_2O_5$ . The overall recovery  $P_2O_5$  was around 78%.

**Keywords:** flotation, apatite, calcite.

## 1. INTRODUÇÃO

O depósito mineral fósforo-uranífero de Santa Quitéria (CE) possui reservas lavráveis de 80 milhões de toneladas com um teor médio de 11% de  $P_2O_5$  e 1000 ppm de  $U_3O_8$ . O minério é composto basicamente pelos minerais apatita, calcita, quartzo e grafite. O fluxograma básico para concentração da apatita envolve as etapas de britagem, moagem, deslamagem e concentração por flotação da apatita. É bem estabelecido na indústria de fosfatados que a separação por flotação entre a apatita e os minerais de carbonato, em especial calcita e dolomita, é complexa devido às semelhanças das propriedades superficiais destes minerais.

O processo de flotação desenvolvido pelo CDTN na década de 80 para a separação da apatita e calcita presentes no minério de Santa Quitéria é baseado na flotação *bulk* da calcita e da apatita com o uso de amido de milho gelatinizado como depressor e ácido graxo saponificado como coletor e a flotação é realizada em pH alcalino. A fração flutuada na primeira flotação alimenta uma segunda etapa onde é adicionado  $H_3PO_4$  como depressor de apatita. A adição do  $H_3PO_4$  causa uma diminuição do pH da polpa para a faixa de 5,8 de onde a calcita é obtida na fração flotada e a apatita é obtida na fração afundada gerando assim o concentrado final (Aquino, 1984; Junior et al., 1987).

O CETEM vem estudando um processo de flotação para separação entre calcita e apatita, no minério de Santa Quitéria, baseado no uso de um ácido graxo de cadeia curta como coletor de carbonatos em conjunto com a adição de gás carbônico no sistema de geração de bolhas das máquinas de flotação (Matiolo *et al.*, 2015, 2016). Nesse processo a calcita é obtida na fração flutuada e a fração afundada segue para um segundo estágio de flotação para a concentração final da apatita.

Este trabalho apresenta os resultados de estudos de processo aplicando-se a técnica de flotação com gás carbônico para a separação entre a calcita e apatita em uma amostra de minério fósforo-uranífero de Santa Quitéria (CE).

## 2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver o circuito de beneficiamento para o minério fósforo-uranífero de Santa Quitéria (CE) para concentração de apatita a partir de uma amostra ROM do depósito de forma a produzir um concentrado com características químicas que atendam às necessidades para a produção de fertilizantes fosfatados e urânio. As operações unitárias estudadas envolveram britagem, moagem, classificação, deslamagem, flotação de calcita e de apatita. Os objetivos específicos foram:

- Avaliar o efeito da dosagem de coletor de calcita;
- Avaliar o efeito da dosagem de depressor na flotação de apatita.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Minério

Foi utilizada uma amostra de minério ROM do depósito de Santa Quitéria que apresenta teores de  $P_2O_5$ , CaO,  $SiO_2$  da ordem de 16,7%, 47% e 8,7%. A caracterização mineralógica mostra que os minerais mais abundantes na amostra são apatita (50%), calcita (38%) e quartzo (6%).

#### 3.2 Preparação da amostra (Classificação, Moagem e Deslamagem)

O CETEM recebeu uma tonelada de amostra do depósito de Santa Quitéria. No CETEM a amostra foi empilhada e britada até obtenção de material 100% passante em 3,36 mm e armazenado em frações de 20 kg. A amostra passante em 3,36 mm foi classificada em peneira de 106  $\mu m$ . O produto retido alimentou uma etapa de moagem onde o produto moído apresentou  $P_{80}$  de 106  $\mu m$  e foi denominado de fração “grossa” e que foi enviado para a flotação de calcita e apatita. A fração menor que 106  $\mu m$  alimentou uma etapa de deslamagem que foi realizada em um hidrociclone da AKW com *vortex finder* de 12 mm e *apex finder* de 7 mm a pressão de 2  $kgf/cm^2$ . O *overflow* foi descartado como rejeito do processo na forma de lama e o *underflow*, representando o fluxo dos “finos” que foi enviado à flotação de calcita e apatita.

#### 3.3 Flotação de calcita e apatita

Na flotação de calcita foi avaliado o efeito da dosagem de coletor (demais variáveis fixas) sobre a recuperação em massa, teor e perda de  $P_2O_5$  nos concentrados de calcita. Previamente a flotação, a polpa, foi condicionada com o coletor sabão de ácido graxo de côco por um tempo de 3 minutos (pH natural, 8) em uma máquina de flotação modelo Denver a uma rotação de 450 rpm. A porcentagem de sólidos no condicionamento foi de 50% em peso para a fração grossa e 40% em peso para fração fina. Após o condicionamento, a polpa foi alimentada à uma máquina de flotação da *Maggoteaux*. A porcentagem de sólidos na flotação para a fração grossa foi de 35% e para a fração fina 25%. Após o ajuste da porcentagem de sólidos, o ar comumente injetado para geração de bolhas foi substituído pela adição de  $CO_2$  (vazão entre 2 L/min e 3 L/min). O pH final após o equilíbrio com a injeção de gás carbônico ficou em 5,8. Foi realizada uma etapa *rougher* (até exaustão da espuma) e com a fração flotada foi realizada uma etapa *cleaner* (também até a exaustão da espuma), cuja fração flotada correspondeu ao concentrado de calcita.

Com a fração afundada da etapa de flotação de calcita foi realizada a flotação de apatita. Os reagentes utilizados foram um sulfossuccinato como coletor, fubá de milho gelatinizado como depressor e hidróxido de sódio para ajuste do pH (em 11). A porcentagem de sólidos no condicionamento da polpa para a flotação da apatita foi a mesma adotada na etapa de flotação de calcita (50% em peso para a fração grossa e 40% para a fração fina). Primeiramente foi adicionado o depressor fubá de milho gelatinizado que foi condicionado por um tempo de 5 minutos (rotação 450 rpm) mantendo-se o pH fixo em 11 regulado com NaOH. Em seguida foi adicionado o coletor que foi condicionado por um tempo de 3 minutos. Após o condicionamento, a polpa foi alimentada à célula *Maggoteaux* onde foi realizada a flotação. A porcentagem de sólidos foi ajustada e iniciada a flotação com injeção de ar (vazão entre 3 L/min e 2 L/min). A flotação foi realizada em uma etapa *rougher* até a exaustão da espuma e a fração afundada e a fração fluída (concentrado final de apatita) foram secos, pesados e enviados para análises químicas. Nos ensaios de flotação de apatita foi avaliado o efeito da dosagem de depressor e de coletor sobre o teor e

recuperação de  $P_2O_5$ . A Tabela 1 apresenta um resumo dos reagentes, aplicação e faixa de dosagem para os estudos de flotação de calcita e apatita nas frações grossa e fina do minério.

**Tabela 1.** Reagentes, aplicação e faixa de dosagem para os estudos de flotação de calcita e apatita.

Reagente	Função	Faixa de Dosagem
Sabão de ácido graxo de côco	Coletor de calcita	200-500 g/t
Gás Carbonico ( $CO_2$ )	Geração de bolhas	2,0 -3,0 L/min
Sulfossuccinato	Coletor de apatita	500-800 g/t
Fubá de milho gelatinizado	Depressor (flotação de apatita)	300-800 g/t
Hidróxido de Sódio	Saponificação do ácido graxo e regulador de pH	pH =11 (Flotação)

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Balanço da preparação da amostra pré-flotação

A Tabela 1 apresenta o balanço de massa e metalúrgico para  $P_2O_5$  considerando os três fluxos de processo gerados (grossos, finos e lamas). A perda em massa e a de  $P_2O_5$  para a fração lama é bastante baixa, ficando em valores de 5 e 3,5% respectivamente. Observa-se um pequeno enriquecimento em termos de  $P_2O_5$  na fração grossa em comparação com a amostra da alimentação do processo e uma pequena queda na fração fina. Vale ressaltar que maior parte da massa e o do  $P_2O_5$  estão concentrados na fração grossa, com valores de 74% e 80% respectivamente.

**Tabela 2.** Balanço de massa e metalúrgico da separação do produto da moagem nas frações “lama”, “grossos” e “finos”.

Fluxo	Recuperação (%)			Teor (%)			
	Massa	$P_2O_5$	$P_2O_5$	CaO	$Fe_2O_3$	$SiO_2$	$Al_2O_3$
Lamas	5,6	3,4	9,9	25,6	5,0	23,7	10,2
Finos	20,6	17,2	13,8	39,2	2,9	14,5	6,5
Grossos	73,7	79,5	17,9	52,2	1,9	5,8	1,5

### 4.2 Ensaios de flotação de calcita e de apatita

A Tabela 2 apresenta o balanço de massa e metalúrgico para ensaios de flotação de calcita com a fração fina e grossa do minério para dosagem de coletor de 300 g/t para a fração fina e 500 g/t para fração grossa. A recuperação em massa da fração fluçada fica em torno de 35% e a perda de  $P_2O_5$  no concentrado de calcita ficou em 8% para a fração fina e em torno de 12% para a fração grossa. Observa-se um enriquecimento de  $P_2O_5$  na fração afundada chegando a valor de 21% na fração fina e 29% aproximadamente para a fração grossa. Os

resultados indicam a elevada seletividade na separação entre a calcita e apatita aplicando-se esse tipo de coletor com gás carbônico injetado no sistema de geração de bolhas.

**Tabela 3.** Balanço de massa e metalúrgico para ensaio de flotação de calcita da fração fina e grossa. Dosagem de coletor de 300 g/t para a fração fina e 500 g/t para a fração grossa.

Fração	Fluxo	Recuperação (%)			Teores (%)	
		Massa	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>
Fina	Flutuado	36,5	8,2	3,3	53,5	1,3
	Afundado	63,5	91,8	21,2	30,6	23,8
Grossa	Flutuado	38,5	11,7	6,1	52,5	0,9
	Afundado	61,5	88,3	28,9	45,1	11,0

Com a fração afundada gerada em cada ensaio com a fração fina e grossa, foram realizados ensaios de flotação de apatita. As dosagens de coletor de apatita foram de 800 g/t para a fração fina e 700 g/t para a fração grossa. A dosagem de depressor foi de respectivamente 700 g/t para a fração fina e 500 g/t para a fração grossa. O pH da flotação foi fixado em 11 para os dois fluxos e regulados com NaOH.

Nas condições testadas, foi produzido um concentrado de apatita da fração fina com teor de 31% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com recuperação em massa na etapa de 69% e recuperação de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 78%. Para a fração grossa, a recuperação em massa na etapa foi de 82% com recuperação metalúrgica de 88%. O teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> produzido com a fração grossa também foi de 31%. Para ambos os fluxos, o principal contaminante do concentrado é SiO<sub>2</sub> com valores de 8,6% para a fração fina e 4,8% para a fração grossa. Considerando o balanço global, o teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no concentrado final foi de 31%, a recuperação em massa de 46% e a de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 76%.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho indicam que é possível a obtenção de concentrados de apatita a partir de uma amostra do minério de Santa Quitéria que apresente características químicas que atendam as especificações para a produção de fertilizantes fosfatados e obtenção de urânio aplicando-se o processo de flotação para separação entre a calcita e a apatita

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Elves Matiolo pela confiança e dedicação, ao CETEM pela infraestrutura que possibilitou tudo acontecer e ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aquino, J. A. Flotação do Minério Fósforo-uranífero de Itataia. In: X Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, 1984, Belo Horizonte - MG. Anais do X ENTMME, 1984

Reis Junior, J. B., Aquino, J. A.; Luz, I. L. O. Estudo em Planta Piloto do Minério Fósforo-uranífero de Itataia (CE). In: XII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, 1987, Rio de Janeiro - RJ. Anais do XII ENTMME, 1987.

MATIOLO, E.1, GONZAGA, L.M.1, GUEDES, A.L; Centro de Tecnologia Mineral; ENTMME - Flotação reversa com o uso de gás carbônico aplicada ao minério fósforo-uranífero de Santa Quitéria