

## ESTUDO PILOTO DE FLOTAÇÃO DE GROSSOS UTILIZANDO HYDROFLOAT COM MINÉRIO FOSFÁTICO DE CAJATI - SP

F. G. Testa<sup>1</sup>, A.L. Nascimento<sup>1</sup>, F.E. Duarte<sup>2</sup>, E. Yan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Vale Fertilizantes – Dep. de Desenvolvimento de Processos – BR116 Km488,5, CEP11950-000, Cajati, SP. e-mail: francisco.testa@valefert.com e alcides.nascimento@valefert.com

<sup>2</sup>Eriez Minerals Group. e-mail: fduarte@eriez.com e eyan@eriez.com

### RESUMO

A usina de concentração de fosfato de Cajati-SP tem uma alta recuperação nas frações minerais de tamanho intermediário (100µm-250µm), alcançando 85% na recuperação de apatita. Para partículas maiores que 250µm esse valor começa a decrescer. Com o objetivo de aumentar a recuperação das frações grossas foi estudada a aplicação do equipamento de flotação *hydrofloat* que proporciona um ambiente hidrodinâmico favorável para recuperação de partículas grosseiras. Foi instalada uma unidade piloto com capacidade de 4 t/h onde a polpa era amostrada na usina de concentração e encaminhada para um classificador hidráulico, *crossflow*, os grossos dessa classificação seguiam para dois condicionadores tubulares rotativos em série que descarregavam na célula *hydrofloat*. Foram realizados ensaios contínuos avaliando os principais parâmetros de operação e dosagens de reagentes. Nos testes foram obtidos concentrados com teores acima de 30% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e recuperação de apatita na ordem de 90%. Comparando com o atual circuito *rougher*, composto somente por células mecânicas, a utilização do *hydrofloat* nas frações grossas apresentou um ganho de recuperação de apatita passando de 90,6% para 92,7% sem prejudicar o teor. Com esses resultados o *hydrofloat* surge como uma alternativa promissora para implementação no circuito atual.

PALAVRAS-CHAVE: flotação; apatita; grossos; *hydrofloat*

## 1. INTRODUÇÃO

Entre 1962 e 1965 foi desenvolvido o processo de flotação para o minério de Cajati, separando a apatita dos carbonatos viabilizando o beneficiamento do minério com 5% de  $P_2O_5$  (Schnellrath *et al.*, 2001), sendo considerado o grande marco do desenvolvimento da tecnologia mineral no Brasil (Barros, 2006).

Atualmente a usina de concentração de Cajati apresenta uma recuperação média global de apatita de 78%, com elevado desempenho nas partículas entre 100 e 250 $\mu$ m, conforme mostrado na Figura 1, que apresenta um comportamento típico de minérios concentrados por flotação (Pease *et al.*, 2005; Matiolo, 2005).

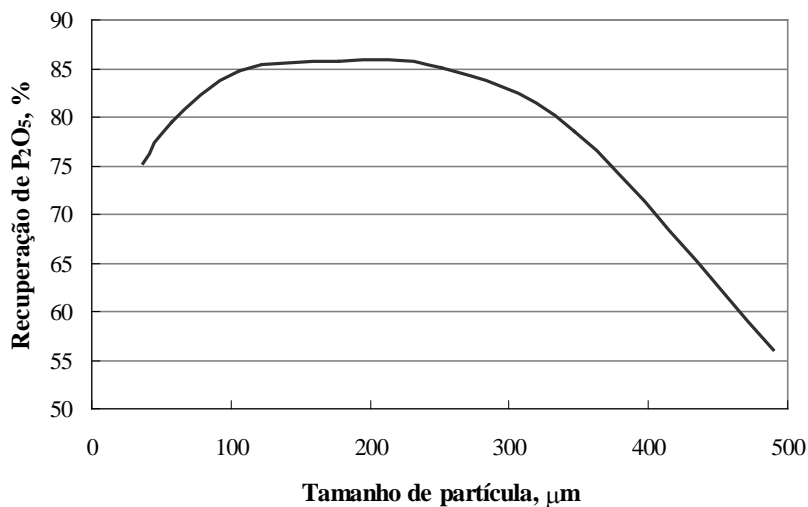


Figura 1. Efeito do tamanho de partículas na recuperação de apatita na unidade de Cajati

A queda de recuperação nas partículas finas é devido a baixa probabilidade de colisão e de adesão entre a bolha e as partículas. Já nas frações mais grossas a redução da recuperação é devido a baixa probabilidade de permanência (resistência) do agregado bolha/partícula. (Rubio *et al.*, 2003, Tabosa, 2007).

A estabilidade do agregado bolha/partícula necessita de uma força adesiva forte o suficiente para evitar a destruição dos agregados sob as condições dinâmicas existentes na flotação. (Ralston, 1999). Aspectos hidrodinâmicos como turbulência, fricção, velocidade de ascensão de bolhas e aceleração das unidades bolhas-partículas influenciam na probabilidade de permanência (Tabosa, 2007) provocando o destacamento da partícula da bolha. Para aumentar a recuperação nas frações grossas é preciso criar um ambiente hidrodinâmico que contribua para a permanência dos agregados bolhas-partículas durante sua ascensão. Rodrigues *et al.* (2001) em um estudo dos parâmetros hidrodinâmicos na flotação de partículas grossas visualizaram uma forte queda na recuperação quando utilizado um ambiente muito quiescente ou muito turbulento.

Jameson (2010) demonstra que em equipamentos de flotação com uma alimentação fluidizada por um fluxo ascendente de água e a introdução de bolhas é criado um ambiente altamente favorável para a captura das partículas grossas e sua retenção pelas bolhas.

No processo utilizado pela célula de flotação *hydrofloat* uma alimentação classificada é suspensa em um leito fluidizado e o ar injetado por um sistema externo. Esse tipo de célula foi desenvolvido especialmente para aumentar o desempenho de areias fosfáticas que por serem muito grossas não tinham boa eficiência nos métodos de flotação existentes (Barbee, 2007).

Além dos ganhos no aumento da recuperação a redução de custos de produção e a redução do uso de reagentes e da demanda de energia são outras vantagens da utilização do *hydrofloat* expostas por Kohmuench *et al.* (2010).

Atualmente já existem instalações industriais que utilizam o *hydrofloat* para recuperar partículas grossas. Na flotação de fosfato Kohmuench *et al.* (2010) apresenta relatório da instalação de várias unidades industriais na Flórida, Estados Unidos.

## 2. EXPERIMENTAL

Para os testes foi montado um circuito piloto dentro da usina de Cajati, com capacidade para processar 4t/h de minério. Foi instalado um amostrador na alimentação do condicionamento da flotação da Usina de concentração de Cajati antes da adição de reagentes. A polpa amostrada na usina alimentava o classificador piloto *crossflow* através de uma bomba vertical.

No classificador o *overflow* retornava para a flotação em células mecânicas convencionais, amostras desse fluxo eram coletadas para testes de flotação em célula mecânica de bancada. O *underflow* seguia por gravidade para o condicionamento onde era adicionado depressor (fubá de milho gelatinizado) e soda no primeiro condicionador e no segundo condicionador foi adicionado coletor (Berol). Depois de condicionada a polpa seguia por gravidade para a alimentação da célula de flotação *hydrofloat*. Na

Figura 2 é apresentado um fluxograma do circuito utilizado.

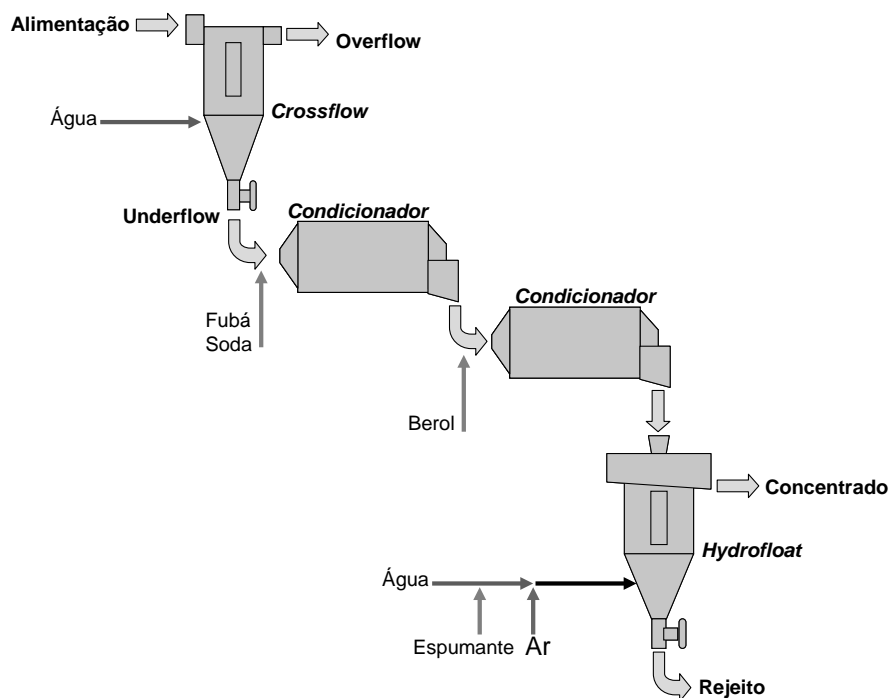


Figura 2. Fluxograma do circuito piloto para flotação de grossos

O corte granulométrico no classificador hidráulico era controlado através da vazão de polpa, porcentagem de sólidos na alimentação, vazão de água ascendente, e a abertura da válvula de descarga do *underflow*. No *hydrofloat* uma válvula automática situada no *underflow* controlava o nível do leito provocado pela ascensão da água com bolhas de ar.

### 3. RESULTADOS

Foram realizados testes para definição das dosagens de reagentes e os parâmetros operacionais dos equipamentos.

O classificador hidráulico foi operado com uma injeção de água de 24 L/min que resultou em uma velocidade de ascensão de água no interior do classificador de 1,56cm/s. A partição em massa direcionou 40% da massa para o *underflow* com 69% de sólidos, o *overflow* apresentou uma concentração de 20% de sólidos. As distribuições granulométricas das correntes são apresentadas na Figura 3.

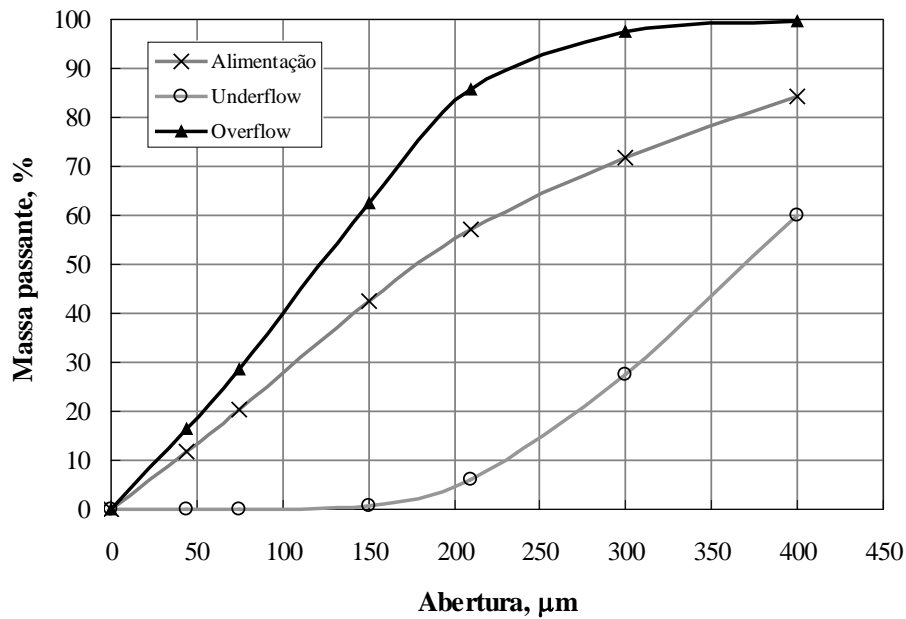


Figura 3. Distribuição granulométrica média dos testes do dia 15 de outubro de 2009

A Figura 4 mostra os resultados de teor e recuperação de apatita dos testes, uma queda no desempenho é observada quando os teores de concentrado ultrapassam valores de 32% de  $P_2O_5$ , mostrando ser necessária a utilização de uma etapa *cleaner* para atingir o teor exigido de 35,5% de  $P_2O_5$ , da mesma forma que é realizado atualmente na usina, tanto nas frações grossas em células mecânicas quanto nas finas em coluna.

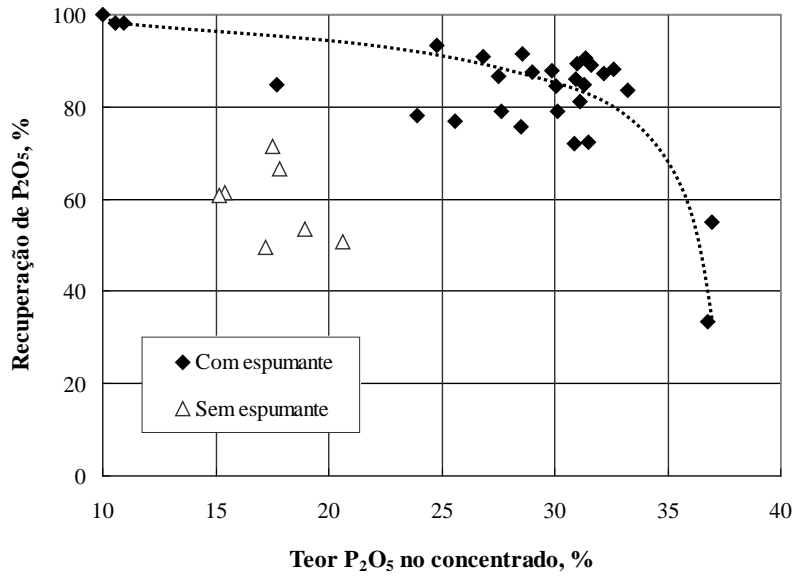


Figura 4. Pontos de teor e recuperação dos ensaios com 2,5 e 4 t/h utilizando espumante e Berol na geração de bolhas

Os melhores resultados foram obtidos com uma dosagem de depressor de 30 g/t e coletor de 60 g/t além da dosagem de 13 g/t de um espumante na geração de bolhas do *hydrofloat*. Nessa condição foi alcançado um concentrado com 31,4 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e uma recuperação de apatita de 90,6%.

Analisando a recuperação por faixa do melhor resultado e comparando com as recuperações obtidas na usina é possível observar os ganhos de recuperação nas frações maiores que 150µm, equivalente ao retido na malha 100#, conforme mostrado na Figura 5.

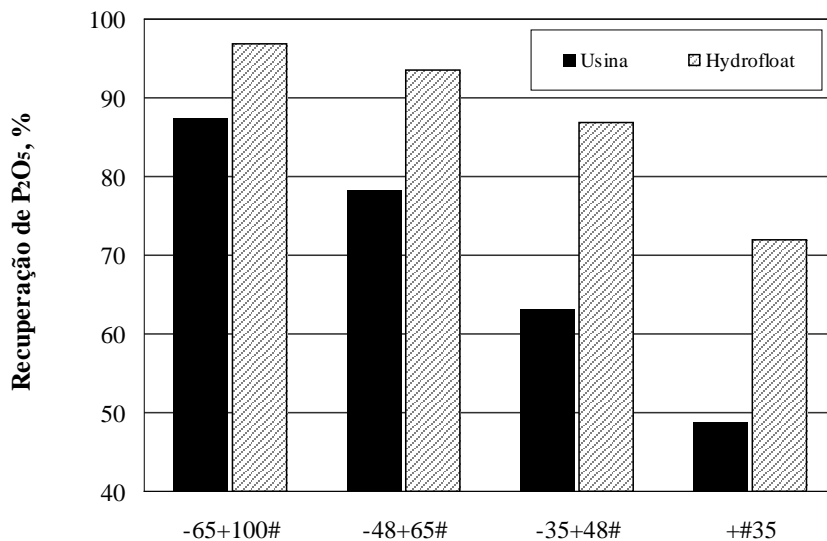


Figura 5. Recuperação de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por faixa granulométrica dos testes das 11 horas do dia 15 de outubro

Com intuito de simular um circuito formado com células mecânicas para fração intermediária e *hydrofloat* para fração grossa, foram realizados testes de flotação em célula mecânica de bancada seguindo o procedimento padrão com material amostrado no *overflow* do classificador hidráulico.

O resultado obtido está apresentado na Tabela I em comparação com os resultados obtidos com flotação mecânica da massa total. O ganho na recuperação foi de dois pontos percentuais sem prejudicar o teor dessa etapa.

Tabela I. Comparação do circuito atual e um circuito com células mecânicas e *hydrofloat*

Circuito	Fração de massa no <i>overflow</i> do <i>crossflow</i> , %	Rec. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> na flotação do <i>overflow</i> (célula mec.), %	Fração de massa no <i>overflow</i> do <i>crossflow</i> , %	Rec. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> na flotação do <i>underflow</i> ( <i>hydrofloat</i> ), %	Rec. de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total, %	Teor P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> no concentrado, %
Célula Mecânica	-	-	-	-	<b>90,6</b>	<b>31,1</b>
Mec + <i>Hydrofloat</i>	60,4	94,1	39,6	90,56	<b>92,7</b>	<b>31,5</b>

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nos testes piloto demonstraram um grande potencial para utilização do *hydrofloat* no circuito de beneficiamento de Cajati. Foram obtidos em uma única etapa de flotação teores de concentrado na ordem de 30% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com recuperações de apatita de 90%, nas partículas grossas maiores que 150µm.

O uso do *hydrofloat* como equipamento de flotação requer além da adição dos reagentes já utilizados (Berol, fubá de milho gelatinizado e soda) a adição de pequenas quantidades de espumante no sistema de geração de bolhas. Dentre os espumantes avaliados o Renex 95 a base de nonilfenol etoxilado mostrou o melhor desempenho, superior ao espumante a base de álcool testado (Flotanol).

Em uma avaliação de circuitos a utilização a inclusão do *hydrofloat* para flotar a fração grossa da atual alimentação da flotação e a fração intermediária em células mecânicas mostra um ganho na recuperação metalúrgica na etapa *rougher* de dois pontos percentuais passando de 90,6% para 92,7% com minério calcítico.

Para confirmação dos resultados obtidos são necessárias a realização de testes de longa duração com diferentes tipologias de minério que alimenta a usina. Também é sugerido realizar estudo detalhado para utilização do *hydrofloat* como *scavenger* e com diferentes granulometrias para simulação de novos circuitos.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

Barbee, Christopher J. - In-Plant Testing Of The Hydrofloat Separator For Coarse Phosphate Recovery – Dissertação de Mestrado - Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, 2007

Barros, L.A.F – Concentração de Minérios Fosfáticos – em Teoria e Prática do Tratamento de Minérios, Volume 4, Chaves, A.P (organizador), 2006

Davis, B.E. and Hood, G.D., Improved Recovery of Coarse Florida Phosphate, Mining Engineering, Vol. 45, No. 6, pp. 596-599, 1993

Jameson, G.J. New directions in flotation machine design. Mineral Engineering, doi:10.1016/j.mineng.2010.04.001, 2010

Kohmuench, J.N. and Mankosa, M.J.; Kennedy, D.G.; Yasalonis J.L. and Taylor, G.B.; Luttrell G.H. - Implementation of the HydroFloat technology at the South Fort Meade Mine - Minerals & Metallurgical Processing, Vol. 24 No. 4, November 2007

Kohmuench, J.; Mankosa, M.; Wyslouzil, H.; Furey, J.; Liberato, R. e Luttrell, G. - Phosphate Flotation-From Boulders to Bug-Dust. Em Beneficiation of phosphates: technology advance and adoption Edited P. Zhang, K. Swager, L. Leal Filho e H. El Shall, 2010

Matiolo, E – Recuperação otimizada de finos de minérios de cobre e molibidênio por flotação não convencional. Dissertação de mestrado – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais - PPGEM/UFRGS, Porto Alegre, 2005.

Ralston, J.; Fornasiero, D. e Hayes, R. – Bubble-particle attachment and detachment in flotation. International Journal of Mineral Processing. Vol 56 pp. 133-164, 1999

Rodrigues, W.J.; Leal Filho, L.S. e Masini, E.A. – Hydrodynamics dimensionless parameters and their influence on flotation performance of coarse particles. Minerals Engineering, Vol. 14, No. 9, pp. 1047-1054, 2001

Rubio, J.; Capponi, F; Matiolo, E.; Nunes, D.; Guerreiro, C.P. e Berkowitz, G. – Advanced in flotation of mineral fines. In Proceedings XXII International Mineral Processing Congress, Cape-Town, África do Sul, pp. 1014-1020, 2003

Schnellrath, J.; Da Silva, A. O. e Shimabukuro, N.T. – Fosfato – Serrana / Mina de Cajati. Em Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil. Editores: Sampaio, J. A.; Da Luz, A.B. e Lins, F.F. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001

Tabosa, E.O. - Flotação com reciclo de concentrados (FRC) para recuperação de finos de minérios: fundamentos e aplicações - Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais, PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, 2007