

Estudo de flotação em coluna para concentração de apatita em minérios de fosfatos brasileiros

Column flotation studies of apatite concentration from brazilian phosphate ores

Stéphanie Oliveira Moura e Sá
Bolsista PCI, Eng. De Minas

Elves Matiolo
Supervisor, Eng. De Minas, D.Sc.

Resumo

Os processos de concentração de apatita de minérios fosfáticos no Brasil compreendem normalmente as operações de britagem, moagem, separação magnética de baixo campo, classificação, deslamagem e flotação. A fração de tamanho inferior 20-15 μ m, considerada como lama, é retirada na etapa de deslamagem, e pode representar até 10% das perdas totais das plantas de concentração. O CETEM realizou um estudo em 2016 para desenvolver um projeto conceitual para concentração da apatita contida na fração lama. Este estudo apresenta os resultados de recuperação de apatita da fração lama em um circuito que envolve deslamagem em 2 estágios da fração ultrafina (<10 μ m), seguido de flotação de apatitas em colunas utilizando ácido graxo saponificado como coletor e amido de milho gelatinizado como depressor. As amostras utilizadas representam a alimentação atual e futura da planta, e possuem d_{90} de 43 μ m e 120 μ m, respectivamente, e teor médio de 16% de P_2O_5 , 21,6% de SiO_2 e 20,4% de Fe_2O_3 . Considerando o circuito proposto foi possível obter recuperações globais em massa da ordem de 13,7% e recuperação de P_2O_5 de 32,5%, representando as amostras de alimentação atuais, enquanto para amostras do minério futuro as recuperações em massa foram de 10,3%, e recuperação de P_2O_5 de 23,4%.

Palavras chave: apatita; flotação; colunas; deslamagem.

Abstract

Apatite concentration processes for phosphate minerals in Brazil typically include crushing, grinding, low intensity magnetic separation, classification, desliming and flotation operations. The fraction smaller than 20-15 μ m, considered as sludge, is removed in the sludge desliming process, and may represent up to 10% of the total concentration plant losses. CETEM conducted a study in 2016 to develop a conceptual project for the concentration of apatite contained in the slime fraction. This study presents the results of apatite slime fraction recovery in a circuit that involves 2-stage desliming of the ultrafine fraction (<10 μ m), followed by column flotation of apatite using saponified fatty acid as a collector and gelatinized corn starch as a depressant. The samples used represent the current and future feed of the plant, and have d_{90} of 43 μ m and 120 μ m, respectively, and average content of 16% P_2O_5 , 21,6% SiO_2 and 20,4% Fe_2O_3 . Considering the proposed circuit, it was possible to obtain global recoveries of order of 13,7% and P_2O_5 recovery of 32,5%, representing the current feed samples, while for future ore samples the global mass recoveries were 10,3% and P_2O_5 recovery of 23,4%.

Key words: apatite; flotation; columns; desliming.

1. Introdução

Os processos de concentração de apatita minérios fosfáticos no Brasil compreendem normalmente as operações de britagem, moagem, separação magnética de baixo campo, classificação, deslamagem e flotação (LOUREIRO et al., 2005). A deslamagem é feita em hidrociclones que separam a fração fina (20-15 μ m), também chamada de lama, para descarte. A lama é retirada das frações mais grosseiras por afetar negativamente o desempenho das etapas de flotação destas frações.

Em geral, as principais plantas beneficiamento de apatita no Brasil, produzem a partir de um minério com teor médio de 5 a 12% de P_2O_5 , um concentrado com teor médio de 33 a 37%, com teores de SiO_2 e Fe_2O_3 variando entre 1% a 6,5% em média (GUIMARÃES et al., 2002). A apatita contida na fração lama corresponde a, pelo menos, 10% das perdas totais das plantas de concentração (MATIOLO et al., 2017).

Resultados de estudos de concentração de lamas de minérios de fosfatos brasileiros foram apresentados por Guimarães et al., (2002), com destaque para os resultados obtidos no circuito industrial da planta de Araxá (MG), desde a década de 80 até a consolidação do circuito definitivo nos anos 90. O circuito conceitual mostrado para o processamento da lama envolve deslamagem prévia em hidrociclones de 40 mm seguido de flotação de apatitas com o uso de ácido graxo saponificado como coletor e amido/fubá de milho gelatinizado como depressor. Foi ainda destacado pelos autores, o uso de colunas de flotação, levando à melhores resultados de recuperação P_2O_5 , além de facilitar o controle operacional.

Em 2016, o CETEM desenvolveu um estudo em escala piloto com amostra de lama de minério de fosfato proveniente de uma planta de beneficiamento, com o objetivo de desenvolver um projeto conceitual para concentração da apatita contida nesta fração. O circuito proposto envolve deslamagem em hidrociclones de 40 mm em dois estágios com pressão de operação e configuração de *apex* e *vortex finder* distintas, seguido de flotação aniônica de apatitas em colunas em pH alcalino (entre 9,5 - 9,7) utilizando ácido graxo saponificado como coletor e amido de milho gelatinizado como depressor e NaOH para ajuste de pH e flotação em coluna. Neste estudo, obtiveram-se valores de recuperação em massa global do processo da ordem de 9,5% e a recuperação de P_2O_5 foi de 25,7%. Esta recuperação pode representar um aumento na recuperação global de P_2O_5 da ordem de 5% na planta industrial. Este trabalho tem por objetivo para avaliar a recuperação de apatita da fração lama no circuito conceitual proposto, considerando amostras de pilhas de minério que alimentaram a Planta de Beneficiamento atualmente e amostras provenientes de campanhas de sondagem que deverão contemplar o horizonte dos vinte próximos anos da vida útil da mina, preparadas previamente em circuito que simula o fluxograma seguido pela planta.

2. Objetivo

O presente estudo visa avaliar o efeito da variabilidade do minério sobre o desempenho metalúrgico considerando o circuito conceitual proposto, que consiste em deslamagem e flotação em colunas.

3. Materiais e Métodos

As amostras utilizadas foram provenientes de pilhas de homogeneização que alimenta a planta de concentração de apatita e de campanhas de sondagem que deverão contemplar o horizonte dos próximos 20 anos da vida útil da mina. As análises químicas das amostras foram feitas utilizando a técnica de Fluorescência de Raios-X, e a análise granulométrica foi feita com o equipamento da *Malvern*, modelo *Mastersizer 2000 SM*.

A preparação da amostra foi feita em tanques para homogeneização da polpa por agitação mecânica e correção do percentual de sólidos para 8%. Desta etapa foram retiradas amostras para caracterização e preparação para flotação. As amostras separadas para seguirem para a etapa de flotação foram previamente deslamadas em duas etapas por hidrociclone da marca *Weir*, com diferentes tamanhos de *apex* e *vortex*.

Os estudos de flotação foram realizados em escala piloto e *batch*, de acordo com o circuito conceitual previamente definido. Foram realizados circuitos com a configuração do tipo *rougher/cleaner* e *rougher/cleaner/scavenger*. A tabela abaixo lista as amostras utilizadas, bem como resume os tipos de circuito utilizados para cada amostra.

Tabela 1. Resumo dos estudos de flotação.

Ensaio	Descrição	Amostra	Equipamento	Escala	Nº de Testes
1	Flotação de lamas de fosfato em circuito rougher/cleaner	Pilhas de alimentação da planta	Colunas 4" e 3"	Piloto	53
2	Flotação de lamas de fosfato em circuito rougher/scavenger/cleaner	Pilhas de alimentação da Usina	Colunas 4", 2" e 3"	Piloto	9
3	Flotação de lamas de fosfato em circuito rougher/cleaner	Furos de sonda	Coluna 3"	Bancada	30

Para os estudos de deslamagem e flotação foi utilizada água de abastecimento do CETEM em misturas variadas com a água de processo enviada pela empresa. Os reagentes utilizados na flotação consistiam em amido de milho como depressor após gelatinização com soda cáustica, e o ácido graxo *Lioflot@567* fabricado pela *Miracema-Nuodex* após processo de saponificação com soda, como coletor. Foi utilizado ainda, soluções de soda cáustica para o ajuste de pH.

Os ensaios de flotação 1 e 2 foram realizados com o circuito fechado, onde a partir de um tanque de homogeneização a polpa era alimentada aos tanques de condicionamento, e posteriormente era transferido para as colunas de flotação. O transporte da polpa pelo circuito e controle de vazão foi feito por bombas peristálticas. As amostragens destes ensaios foram feitas após estabelecido o estado estacionário no circuito, cerca de 60 minutos após o início do teste, e foram coletadas amostras simultâneas dos fluxos concentrado e rejeito durante 3 a 10 minutos.

No ensaio 3 foram realizados testes de flotação em escala *batch* e por isso, a polpa era condicionada em uma célula mecânica da marca DENVER, modelo D12, equipada com inversor de frequência, e posteriormente alimentada a coluna para a etapa *rougher*. Durante o ensaio de flotação o rejeito *rougher* foi recirculado através de uma bomba peristáltica até a exaustão da espuma. Após esvaziar a coluna de polpa, a mesma era alimentada com o produto concentrado, para execução da etapa *cleaner*. O rejeito da etapa *cleaner* foi recirculado do mesmo modo que a etapa anterior. Para as amostragens dos testes do ensaio 3 foram coletados todos os fluxos resultantes.

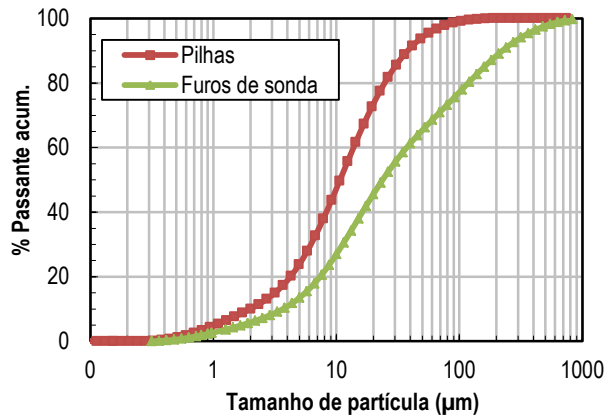
4. Resultados e Discussão

A distribuição granulométrica média das amostras que alimentam a flotação é apresentada na Figura 1 - A. Após a retirada do material ultrafino, as lamas provenientes das pilhas apresentam uma distribuição granulométrica consideravelmente fina, com d_{50} igual a $13,1\mu\text{m}$ e d_{90} igual a $43,4\mu\text{m}$, enquanto os furos de sonda apresentaram uma pequena fração grosseira, apresentando d_{50} igual a $19,9\mu\text{m}$ e d_{90} igual a $120\mu\text{m}$.

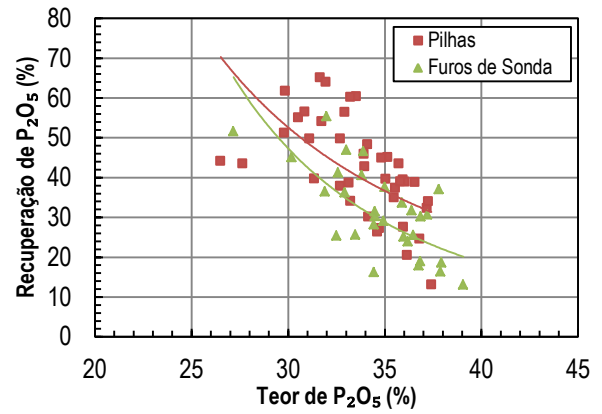
A análise química das amostras que alimentaram a flotação mostra o teor médio de P_2O_5 de 15,7% para amostras de furos de sonda, e 16,4% para amostras das pilhas, enquanto o teor médio dos contaminantes, SiO_2 e Fe_2O_3 , foi de 21,0% e 22,1% para as pilhas e 22,3% e 18,7% para as amostras de furos de sonda, respectivamente. Através da análise mineralógica foi possível verificar a presença de elevados teores de apatita bem como os minerais contaminantes, quartzo e goetita.

O ensaio 1 de flotação produziu concentrados de P_2O_5 com teor final variando entre 26,5% a 37,4%, em média 33,7% para recuperações de P_2O_5 entre 13% até 65%, (média 42%). A dosagem de depressor utilizada variou entre 1400 a 3800g/t, enquanto foram utilizados de 50 a 280 g/t de coletor.

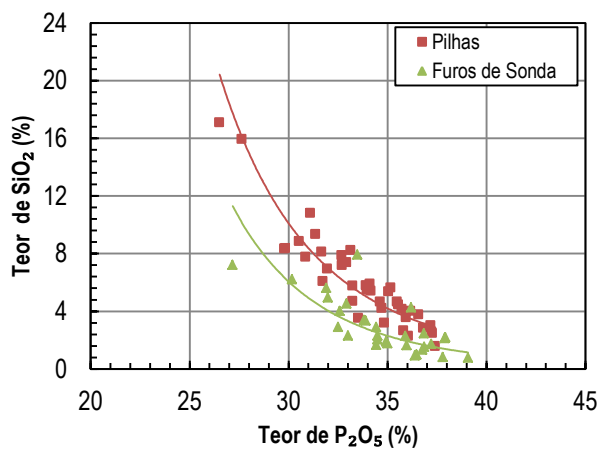
O ensaio 3 produziu concentrados de P_2O_5 com teor final variando entre 27% a 39%, em média 35% para recuperações de P_2O_5 entre 13% até 55,4%, em média 31,5%, aproximadamente. As variações dos reagentes foram de 580 a 3100g/t de depressor, enquanto foram utilizados de 106 a 790 g/t de coletor. As Figuras 1 - B, C e D apresentam os resultados dos concentrados produzidos nos ensaios 1 e 3.



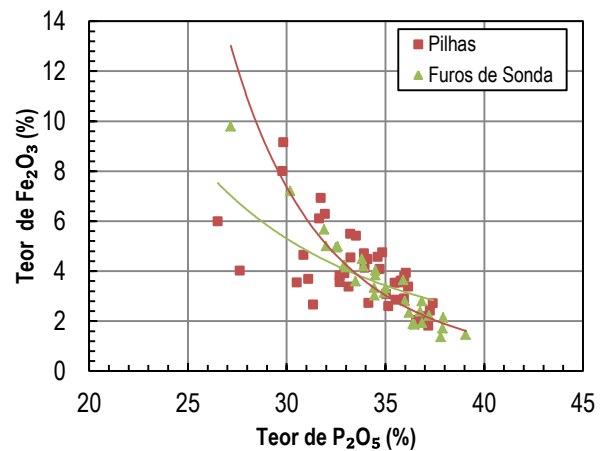
A



B



C



D

Figura 4. (A) Distribuição granulométrica da alimentação do circuito. (B) Recuperação versus teor de P_2O_5 . (C) Teor de SiO_2 versus teor de Fe_2O_3 . (D) Teor de P_2O_5 versus teor de P_2O_5 .

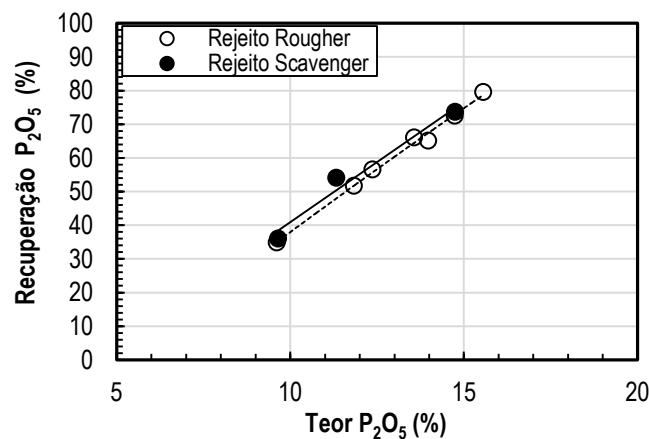


Figura 2. Recuperação versus teor de P_2O_5 .

O ensaio 2 produziu concentrados com teor de P_2O_5 variando entre 32% a 37%, para recuperações de P_2O_5 entre 20% até 65% aproximadamente. A Figura 2 apresenta os resultados de 10 testes realizados, sendo que deste, 3 foram feitos a etapa *scavenger*. Quando analisado o resultado da etapa *scavenger*, foi verificado que não havia necessidade desta etapa adicional, visto que os resultados obtidos neste fluxo foram similares aos resultados obtidos na etapa *rougher*.

Tabela 2. Resumo dos melhores resultados obtidos no circuito proposto.

Amostra	Reagentes (g/t)		Concentrado					Global	
	Depressor	Coletor	Rec	Rec. Met. (%)	Teores (%)			Rec	Rec. Met. (%)
			Massa(%)	P_2O_5	P_2O_5	SiO_2	Fe_2O_3	Massa(%)	P_2O_5
Pilhas	2799	110	17,4	38,6	33,1	8,2	3,4	6,5	16,9
	1925	94	29,8	56,5	32,9	7,4	3,9	11,9	29,3
	3044	85	30,2	60,3	33,5	3,5	5,4	11,1	26,8
	2432	57	18,2	60,2	33,2	4,7	4,5	8,5	33,5
	2295	97	19,3	42,2	33,4	8,9	4,6	19,3	42,2
	2113	127	24,9	46,3	32,9	8,3	4,4	24,9	46,3
Furos de Sonda	579	208	25,1	46,9	33,0	2,3	4,1	14,4	23,6
	637	191	11,6	25,4	32,5	2,9	4,9	6,8	22,9
	1484	371	10,7	25,6	33,5	7,9	3,6	6,3	23,1
	669	241	17,5	40,6	33,8	3,4	4,5	10,4	23,4
	693	243	20,7	46,6	33,9	3,4	4,2	12,3	23,4
	881	220	16,8	36,3	32,9	4,5	4,2	10,1	23,8
	766	230	19,3	41,2	32,6	4,0	5,0	11,6	23,6

A tabela 2 apresenta os melhores resultados dos ensaios de pilhas e furos de sonda. Os teores de P_2O_5 dos concentrados de flotação dos ensaios aditivos resultaram em valores mais expressivos que os ensaios das pilhas, com teor situado entre 32,5% e 36%, embora o teor médio de ambas as amostras esteja na ordem de 33%. A recuperação em massa global foi de 13,7% e recuperação metalúrgica de 32,5% para as amostras provenientes da pilha, enquanto as amostras de furos de sondagem tiveram a recuperação em massa global de 10,3% e recuperação metalúrgica de 23,4%. Em média, o teor de SiO_2 nos ensaios de pilhas foram mais elevados que os ensaios aditivos, estes sendo 6,8% e 4%, porém para os teores Fe_2O_3 , ambos apresentaram em valores da ordem de 4,4%.

5. Conclusão

Este estudo avaliou o desempenho de amostras, que representam a alimentação atual de uma planta e amostras que deverão contemplar o horizonte da vida útil da mina sobre um circuito proposto para a concentração da fração lama de apatita. Os valores obtidos previamente na etapa do projeto conceitual indicavam valores globais de recuperação da ordem de 9,5% e a recuperação de P_2O_5 de 25,7%, podendo representar um aumento na recuperação global de P_2O_5 da ordem de 5% na planta industrial. Os valores obtidos

neste estudo resultaram em recuperações globais em massa da ordem de 13,7% e recuperação de P_2O_5 de 32,5%, representando as amostras de alimentação atuais, enquanto para amostras do minério futuro as recuperações em massa foram de 10,3%, e recuperação de P_2O_5 de 23,4%.

6. Agradecimento

Agradeço ao meu supervisor, e a equipe envolvida na realização deste projeto. Agradecimento especial ao CETEM/MCTIC e CNPq pelo suporte para execução deste estudo.

7. Referências Bibliográficas

GUIMARÃES, R.C.; PERES, A.E.C. Experiência brasileira de produção de concentrado fosfático a partir de lamas. In: XIX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, Vol. I. Recife. **Anais...** Recife: 2002.p. 247-253.

MATIOLO, E., COUTO, H.J.B., TEIXEIRA, M.F.L., FREITAS, A.S., ALMEIDA, R.N. Concentração de apatita contida em lamas de minério de fosfato. In: XXVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Belém. **Anais...**, Belém: 2017. p. 1101-1108.

MATIOLO, E.; COUTO, H.J.B.; TEIXEIRA, M.F.L.; FREITAS, A.S.; ALMEIDA, R.N. Recovery of apatite from slimes of a Brazilian phosphate ore. **Journal of Wuhan Institute of Technology**. v. 39, n. 6, p. 39-48, 2017.

LOUREIRO, F.E.L.; MONTE, M. B.M.; NASCIMENTO, M. Agrominerais/fosfato. In: **Rochas & minerais industriais: usos e especificações**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005. Parte II. Cap.7.