

START-UP E OPERAÇÃO DA MINIUSINA PILOTO DE FLOTAÇÃO DO CETEM

Jean Carlo Grijó Louzada
Bolsista PCI/CETEM, Eng. Químico, M. Sc.

Paulo Fernando de Almeida Braga
Orientador, Eng. Químico, M.Sc.

Resumo

Na realização de estudos mais detalhados de flotação, os ensaios contínuos em escala piloto complementando assim os estudos iniciais de flotação em bancada são muito importantes. Entretanto, esses ensaios em escala piloto consomem grandes quantidades de amostra sendo, portanto, onerosos.

O presente trabalho teve por objetivo a realização de ensaios contínuos de flotação na Mini Planta Piloto com o objetivo de complementar os estudos iniciais de flotação em escala de bancada. Com uma vazão de alimentação em torno de 10 Kg/h e um tempo de operação de 10 horas, a Mini Planta permite obter números suficientes de informações utilizando-se pequena quantidade de amostras até mesmo amostras de testemunhos de sondagem, em tempos menores de operação, quando comparados com os ensaios de flotação em unidade piloto convencional.

Ensaio realizados na Mini Planta Piloto do CETEM permitiram a obtenção de concentrados com teores de ferro de 65% e recuperação metalúrgica de até 87%.

1. Introdução

No beneficiamento mineral a flotação é um dos processos de concentração mais importantes e mais largamente empregados. Os estudos realizados com o objetivo de otimizar os processos de beneficiamento já existentes ou ainda, para desenvolver novas rotas de processos são muito importantes, visto que os recursos minerais são bens não renováveis e o beneficiamento de minérios com teores mais baixos torna-se cada vez mais freqüente. É importante ressaltar que a pesquisa e os estudos no setor mineral são onerosos principalmente quando realizados em escala piloto. O consumo de amostras é muito grande, da ordem de 100 a 1000 Kg/h, e muitas vezes se faz necessária a abertura de galerias subterrâneas para a retirada de amostras (Andrade et. al. 2001).

Com o objetivo de modernizar o seu setor de tratamento de minérios, o CETEM adquiriu da Canadian Process Technologies (CPT) uma Mini Planta Piloto de Flotação. O equipamento requer uma quantidade de amostra significativamente menor (10 Kg/h) quando comparada com uma planta piloto convencional e permite a obtenção de dados de processo muito próximos dos dados obtidos em escala piloto.

Andrade et. al. (2001) realizaram estudos comparativos de flotação na Mini Planta Piloto e em uma planta piloto convencional para um minério de cobre. O circuito utilizado na Mini Planta Piloto era composto de uma etapa inicial de moagem, cujo produto seguia para a etapa de flotação *rougher*. O rejeito *rougher* seguia para a etapa *scavenger* e os concentrados *rougher* e *scavenger* eram submetidos a uma remoagem e subseqüentemente

eram levados à etapa *cleaner* 1, cujo concentrado seguia para a etapa *cleaner* 2. O rejeito *claner* 1 seguia para o estágio *scavenger* cujo concentrado, juntamente com o rejeito *cleaner* 2 retornavam para a alimentação da etapa *cleaner* 1. Os resultados obtidos por Andrade et. al. (2001) mostraram que o concentrado final obtido na Mini Planta atingiu um teor de cobre de 36% e uma recuperação metalúrgica de 86%. O concentrado obtido na planta piloto convencional apresentou teor e recuperação metalúrgica de cobre de 37% e 87% respectivamente.

Outros estudos realizados por Loyola e Gonçalves (2005) também tiveram como objetivo comparar os resultados dos ensaios de flotação realizados na miniusina de flotação com os resultados obtidos de uma planta industrial da Mineração Caraíba, também para um minério de cobre. Os pesquisadores acima citados, concluíram que a miniplanta de flotação simulou muito bem a planta industrial. Os resultados obtidos mostraram que o teor de cobre no concentrado da planta industrial foi de 42,29% e o teor no concentrado da miniusina foi de 44,68%. As recuperações metalúrgicas de cobre na planta industrial e na miniusina foram de 83,2 e 83,7% respectivamente.

Em relação ao minério de ferro, objeto de estudo do presente trabalho, a tradicional rota de flotação reversa do quartzo, utilizando-se o amido como depressor da hematita e éter amina como coletor para o quartzo merece destaque. Entretanto, a flotação direta dos minerais de ferro para minérios de baixo teor e materiais estocados em bacias de rejeito representa uma alternativa interessante (Araujo et. al. 2006).

Peres e Correa (1996) estudaram as flotabilidades do quartzo e da hematita em função do pH. Os resultados obtidos mostraram altas flotabilidades do quartzo e hematita para valores de pH entre 10 e 11. Para a hematita, no entanto, são necessárias concentrações de coletor cerca de dez vezes maior do que para o quartzo para alcançar altas flotabilidades.

2. Materiais e Métodos

Os estudos foram realizados com um minério de ferro do norte do estado de Minas Gerais, com baixo teor, e sua preparação consistiu na britagem, moagem em moinho de bolas até se atingir um $P_{95}=0,105$ mm e deslamagem. O material deslamado seguia para a flotação.

2.1. Ensaios de Flotação em Bancada

Na realização dos ensaios de flotação em bancada foi utilizada uma célula de flotação Denver modelo D12 sub-aerada equipada com inversor de frequência e cubas com volumes de 1,5 e 3 litros.

Em relação aos reagentes empregados, foram utilizados o amido de milho como depressor para os minerais de ferro e éter-amina, fornecida pela Clariant, como coletor para o quartzo. Para ajuste do pH foi utilizada uma solução de NaOH 10% (P/V).

Foram realizadas as seguintes etapas nos ensaios de flotação: *rougher*, *cleaner*, *recleaner*, *scavenger* 1 e *scavenger* 2. O concentrado *rougher* seguia para a etapa *cleaner*, cujo concentrado era levado à etapa *recleaner* de onde era obtido o concentrado final. O rejeito *rougher* era submetido à etapa *scavenger* 1 e o rejeito desse

estágio seguia para a *scavenger* 2 de onde era obtido o rejeito final. A Figura 1 mostra a cuba da célula Denver e uma polpa sendo flotada.



Figura 1 – Ensaio de flotação em escala de bancada.

2.2. Ensaios Contínuos de Flotação

Os ensaios contínuos de flotação foram realizados na Mini Planta Piloto de Flotação, adquirida da Canadian Process Technologies (CPT) e equipada com as seguintes unidades: moinho com cargas de barras e bolas, tanque de preparação da polpa, tanque de alimentação, sistema de adição de reagentes, moinho para remoagem e máquina de flotação contínua. O tanque de preparação da polpa tem um volume de 60 litros e é equipado com um agitador, medidor de pH e uma bomba encarregada de fazer a recirculação da polpa e a transferência da mesma para o tanque de alimentação. Esse tanque de alimentação tem as mesmas características que o primeiro tanque, além de possuir um sistema para amostragem e uma bomba peristáltica que alimenta a máquina de flotação. O sistema de adição de reagentes possui oito pequenas bombas dosadoras encarregadas de adicionar os reagentes nas células de flotação. Finalmente, a máquina de flotação contínua possui doze células de flotação equipadas com agitadores, medidores de vazão de ar e água de lavagem, cubas com volume de 1,7 litros, medidores de pH, sistema de remoção de espumas e calhas para coleta das espumas. O controle de todas as unidades se faz através de um software que permite o monitoramento de todo o sistema. A Figura 2 mostra a máquina de flotação, principal unidade da Mini Planta Piloto.

Os reagentes utilizados nesses ensaios foram os mesmos utilizados nos ensaios de bancada e suas dosagens encontram-se na Tabela 1. A flotação foi realizada em pH=10,5, ajustado com NaOH.

O circuito de flotação utilizado na miniusina também era composto das etapas *rougher*, *cleaner*, *recleaner*, *scavenger 1* e *scavenger 2*.



Figura 2 – Mini Planta Piloto de Flotação.

Tabela 1 – Condições detalhadas dos ensaios de flotação.

Condições da flotação (pH= 10,5)				
Etapa	Mono/Diamina		Amido	
	Dosagem (g/t)	Tempo de Cond. (seg)	Dosagem (g/t)	Tempo de Cond. (min)
<i>Rougher</i>	170	30,0	450	5,0
<i>Cleaner</i>	125	30,0	215	5,0
<i>Recleaner</i>	125	30,0	-	-
<i>Scavenger 1</i>	-	-	110	5,0
<i>Scavenger 2</i>	-	-	60	4,0

3. Resultados e Discussão

3.1. Ensaio de Flotação em Bancada

Os resultados dos balanços de massa e metalúrgico dos ensaios de flotação em bancada encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Balanços de massa e metalúrgico dos ensaios de flotação em bancada.

Produto	% Massa	% Fe	Rec Fe %
Alimentação	100	41,5	100
Concentrado <i>Rougher</i>	54,1	59,1	77
Rejeito <i>Cleaner</i>	7,4	26,4	4,7
Concentrado <i>Cleaner</i>	46,8	64,2	72,3
Rejeito <i>Recleaner</i>	3,5	42,1	3,5
Concentrado <i>Recleaner</i>	43,3	66,0	68,8
Rejeito <i>Rougher</i>	45,9	20,8	23,0
Concentrado <i>Scavenger 1</i>	16,5	34,8	13,8
Rejeito <i>Scavenger 1</i>	29,4	13,0	9,2
Concentrado <i>Scavenger 2</i>	9,4	21,4	4,8
Rejeito <i>Scavenger 2</i>	20,0	9,0	4,4

Os resultados mostram que foi possível obter um concentrado final com teor de ferro de 66% e uma recuperação metalúrgica de 68,8%. O teor de ferro no rejeito *scavenger 2* foi de 9%. Como uma etapa inicial dos estudos, a flotação em escala de bancada permitiu a obtenção de informações iniciais como dosagens dos reagentes, tempo de condicionamento e tempo de flotação. Uma vez obtidas essas informações, ensaios contínuos foram conduzidos na miniusina de flotação.

3.2. Ensaios Contínuos de Flotação

Os balanços de massa e metalúrgico dos ensaios contínuos encontram-se nas Tabelas 3 e 4. No primeiro ensaio, após 5 horas de operação o sistema atingiu o estado de equilíbrio sendo possível realizar três amostragens do concentrado e rejeito finais. Na primeira amostragem foi obtido um concentrado com teor de ferro de 55,36% e uma recuperação metalúrgica de ferro de 84,05%. Na segunda amostragem o teor do concentrado final aumentou para 63,22% com uma pequena diminuição da recuperação metalúrgica para 81,69%. O concentrado final obtido da terceira amostragem teve um teor de ferro de 65,17% e uma recuperação metalúrgica de 87,78%. O teor de ferro no rejeito final foi de 23,62%.

Tabela 3 – Balanços de massa e metalúrgico do ensaio 1 realizado na miniusina de flotação.

Ensaio 1				
Produto	% Massa	% Fe	Rec Fe %	Amostragem
Alimentação	100	33,74	100	1 ^a
Concentrado	51,22	55,36	84,05	
Rejeito	48,78	11,03	15,95	
Produto	% Massa	% Fe	Rec Fe %	Amostragem
Alimentação	100	52,16	100	2 ^a
Concentrado	67,40	63,22	81,69	
Rejeito	32,60	29,30	18,31	
Produto	% Massa	% Fe	Rec Fe %	Amostragem
Alimentação	100	53,64	100	3 ^a
Concentrado	72,26	65,17	87,78	
Rejeito	27,74	23,62	12,22	

Do ensaio 2 foram realizadas três amostragens do concentrado e rejeito finais. Na primeira amostragem foi obtido um concentrado *re cleaner* com teor de ferro de 67,20% e uma recuperação metalúrgica de 66,82%. O rejeito *scavenger 2* obtido alcançou um teor de ferro de 17,90%. Em relação à segunda amostragem, o teor de ferro do concentrado final foi de 66,20% e sua recuperação metalúrgica aumentou para 79,01%. O teor de ferro do rejeito *scavenger 2* foi de 17,20%. Os melhores resultados foram obtidos na terceira amostragem, na qual o teor e a recuperação metalúrgica de ferro do concentrado *re cleaner* foram de 65,50 e 82,32% respectivamente. O teor de ferro do rejeito final diminuiu para 15,90%.

Tabela 4 – Balanços de massa e metalúrgico do ensaio 2 realizado na miniusina de flotação.

Ensaio 2				
Produto	% Massa	% Fe	Rec Fe %	Amostragem
Alimentação	100	35,11	100	1 ^a
Concentrado	34,92	67,20	66,82	
Rejeito	65,08	17,90	33,18	
Produto	% Massa	% Fe	Rec Fe %	Amostragem
Alimentação	100	41,43	100	2 ^a
Concentrado	49,45	66,20	79,01	
Rejeito	50,55	17,20	20,99	
Produto	% Massa	% Fe	Rec Fe %	Amostragem
Alimentação	100	42,21	100	3 ^a
Concentrado	53,05	65,50	82,32	
Rejeito	46,95	15,90	17,68	

4. Conclusões

Os ensaios em escala de bancada foram importantes para se determinar as condições da flotação tais como dosagens dos reagentes, tempos de condicionamento de cada um deles e os tempos de flotação. O levantamento desses dados foi importante visto que os mesmos foram utilizados nos ensaios contínuos na Mini Planta Piloto.

A Mini Planta é uma ferramenta de grande importância para os estudos de flotação contínua. Com uma vazão de alimentação de 10 Kg/h e um tempo de operação de aproximadamente 10 horas em cada ensaio, foi possível

realizar várias amostragens do concentrado e rejeito finais, determinar as vazões de ar das células, analisar os efeitos das cargas circulantes do circuito bem como obter os balanços de massa e metalúrgico e compara-los com os balanços dos ensaios de bancada.

O pequeno consumo de amostras, a necessidade de poucos operadores, a facilidade operacional e o fato de ser totalmente instrumentada são algumas das vantagens que a miniplanta pode oferecer nos estudos de flotação contínua.

5. Agradecimentos

Agradecimentos ao CETEM e ao CNPq pelo suporte financeiro.

6. Referências Bibliográficas

ANDRADE, V.L.L.; SANTOS, N.A.; GONÇALVES, K.L.CARVALHO.; “Como obter dados contínuos de flotação com amostras de furos de sonda: uma mini planta piloto de flotação”, **XVIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa** – Rio de Janeiro, 2001.

ARAUJO, A.C.; VIANNA, P.R.M.; PERES, A.E.C. “Reagents in iron ores flotation”, **Minerals Engineering**, 18, 219-224, 2005.

ARAUJO, A.C.; PERES, A.E.C.; VIANNA, P.R.M.; OLIVEIRA, J.F.; “Flotação de minérios de ferro” In: *Teoria e Prática do Tratamento de Minérios*, 317-329, 2006.

PERES, A.E.C.; CORREA, M.I.; “Depression of iron oxides with corn starches,” **Minerals Engineering**, 9, 1227-1234, 1996.

LOYOLA, L.M.; GONÇALVES, K.L.C., “A comparison between a flotation mini pilot plant and a copper concentrator mill”, In: **Centenary of flotation symposium**, 2005.