

CONCENTRAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO DE BAIXO TEOR EM BANCADA E EM MINIUSINA DE FLOTAÇÃO

J.C.G. Louzada¹, P.F.A. Braga¹

¹ Centro de Tecnologia Mineral, CETEM

Av. Pedro Calmon, 900, Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ, 21941-908.

e-mail: jlouzada@cetem.gov.br

RESUMO

A demanda pelo minério de ferro continua aquecida. Os preços no mercado internacional vêm crescendo anualmente, atingindo patamares superiores a US\$ 150/t. Diversos estudos estão sendo realizados, para viabilização de novos depósitos, porém, com minério de baixo teor.

A flotação continua sendo um dos processos de concentração mineral mais importantes face a sua aplicabilidade para o beneficiamento de diversos minerais. Muitos estudos estão sendo conduzidos com o objetivo de aperfeiçoar os processos de concentração por flotação já existente, ou ainda, para desenvolver novas rotas de processamento.

Após os estudos iniciais em bancada, estudos complementares em escala piloto, se fazem necessário para confirmação da rota desenvolvida, no entanto, esses estudos são onerosos, visto que, os mesmos consomem grandes quantidades de amostras (100 a 500 Kg/h) e reagentes além de pessoal operacional capacitado.

O presente trabalho teve por objetivo a realização de ensaios contínuos de flotação em miniusina, com o objetivo de complementar os estudos preliminares realizados em escala de bancada. Com uma vazão de alimentação em torno de 10 Kg/h e um tempo de operação de aproximadamente 10 horas, os estudos contínuos realizados em miniusina permitiram obter um número suficiente de informações com pequenas quantidades de amostras e tempos menores de operação, quando comparados com os ensaios de flotação em unidade piloto convencional.

Os estudos iniciais em escala de bancada foram realizados com um minério de ferro de baixo teor e mostraram que é possível obter um concentrado com 66% Fe e uma recuperação metalúrgica de 68,8 %.

Após a realização dos ensaios em bancada, foram conduzidos ensaios contínuos em uma miniusina de flotação, visando ratificar os estudos iniciais de bancada. Os resultados dos ensaios contínuos mostraram que é possível obter um concentrado final 65,2% Fe e uma recuperação metalúrgica de 87,8%. Esses resultados foram confirmados em uma segunda rodada de testes que apresentaram um concentrado 67,2% Fe e recuperação metalúrgica de 66,8 %.

PALAVRAS-CHAVE: flotação, minério de ferro, miniusina de flotação, ensaios contínuos.

1. INTRODUÇÃO

No beneficiamento mineral a flotação é um dos processos de concentração mais importante e mais largamente empregado. Para o beneficiamento do minério de ferro, 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 do minério de ferro 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.

Os estudos realizados com o objetivo de aperfeiçoar os processos de beneficiamento mineral já existente, ou ainda, para desenvolver novas rotas de processos são importantes, visto que, os recursos minerais são bens não renováveis e o beneficiamento de minérios com baixos teores 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 500 Kg/h, e muitas vezes se faz necessária a abertura de galerias subterrâneas ou trincheiras para a retirada de amostras (Andrade *et. al.* 2001).

Nesse contexto, a utilização da miniusina de flotação nos ensaios contínuos é de grande relevância, pois a unidade 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 entre uma miniusina e em uma planta piloto convencional para um minério de cobre. O circuito utilizado na miniusina era composto de uma etapa de moagem, cujo produto seguia para a concentração por flotação *rougher*. O rejeito *rougher* seguia para a etapa *scavenger* e os concentrados *rougher* e *scavenger* eram submetidos a uma remoagem e posteriormente recuperados em uma etapa *cleaner* 1, cujo concentrado seguia para a etapa *cleaner* 2. O rejeito *cleaner* 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 miniusina foi de 36% Cu e a recuperação metalúrgica foi de 86%. O concentrado obtido na planta piloto convencional apresentou teor e recuperação metalúrgica de cobre de 37% e 87% respectivamente.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os estudos foram realizados com um minério de ferro do norte de Minas Gerais, cuja preparação consistiu na britagem, moagem em moinho de bolas até se atingir um P₉₅ de 0,105 mm. O material após deslamagem era concentrado por flotação. Os resultados da caracterização mineralógica e grau de liberação estão contidos na Tabela I.

Tabela I – Caracterização mineralógica e grau de liberação.

Minerais	%	Grau de liberação do quartzo por faixa (%)	
Hematita tabular monocristalina	9,34		
Hematita granular monocristalina	0,00		
Hematita tabular policristalina	0,46	>1,000 mm	7
Hematita granular policristalina	0,00	<1,000 mm e >0,500 mm	22
Hematita lobular	1,57	<0,500 mm e >0,300 mm	56
Martita	2,97	<0,300 mm e >0,210 mm	84
Magnetita	7,16	<0,210 mm e >0,150 mm	85
Goethita	2,63	<0,150 mm e >0,105 mm	90
Agregado	0,00	<0,105 mm e >0,075 mm	93
Quartzo	64,93	<0,075 mm e >0,044 mm	98
Outros	10,07	<0,044 mm e >0,037 mm	99
Total	100	<0,037 mm e >0,010 mm	100

2.1. Ensaios de Flotação em Bancada

Nos ensaios de flotação em bancada utilizou-se uma célula de flotação Denver modelo D12 sub-aerada equipada com inversor de frequência e cubas com volumes de 1,5 e 3 litros.

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

Estes ensaios foram realizados com uma etapa *rougher*, duas etapas *cleaner* e duas etapas *scavenger*.

2.2. Ensaios Contínuos de Flotação

Os ensaios contínuos de flotação foram realizados na miniusina de flotação do CETEM equipada com um moinho de barras/bolas, um tanque de preparação da polpa, um tanque de alimentação, um sistema de adição de reagentes com bombas dosadoras, um moinho de pinos para remoagem e uma máquina de flotação contínua propriamente dita, composta por cubas de 1,7 litros, medidores de pH e sistema de remoção de espumas.

A Figura 1 mostra o circuito de flotação utilizado nos ensaios contínuos, composto pelas etapas *rougher*, *cleaner*, *recleaner*, *scavenger 1* e *scavenger 2*. A cada meia hora foram coletadas amostras do concentrado *recleaner* e o rejeito *scavenger 2*.

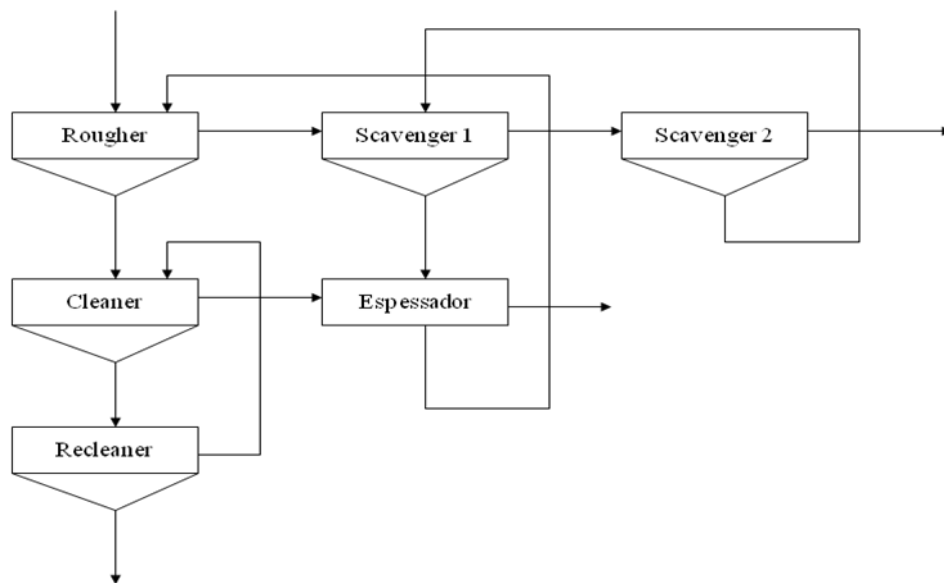


Figura 1 – Circuito de flotação realizado na miniusina

A Figura 2 mostra a máquina de flotação contínua, principal unidade da miniusina de flotação.

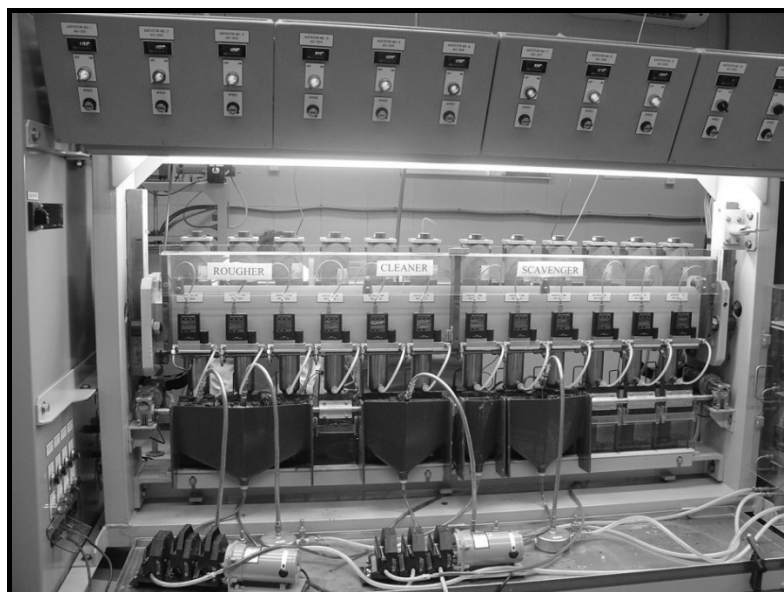


Figura 2 – Circuito de flotação realizado na miniusina

Os reagentes utilizados nesses ensaios foram os mesmos utilizados nos ensaios de bancada e suas dosagens, bem como os tempos de condicionamento de cada reagente, encontram-se na Tabela II.

Tabela II – Condições dos ensaios de flotação (bancada e contínuo).

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

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Ensaios de Flotação em Bancada

Os resultados dos balanços de massa e metalúrgico encontram-se na Tabela III.

Tabela III - Balanços de massa e metalúrgico dos ensaios de flotação em bancada.

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

Os resultados mostraram que é 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 o ajuste das dosagens dos reagentes, tempo de condicionamento e tempo de flotação.

Após a realização dos ensaios de bancada, foram conduzidos ensaios contínuos na miniusina de flotação.

3.2. Ensaios Contínuos de Flotação

Os balanços de massa e metalúrgico dos ensaios contínuos encontram-se nas Tabelas IV e V. Do ensaio 1 foram realizadas quatro 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 69,94%. O rejeito *scavenger 2* obtido alcançou um teor de ferro de 18,90%. Em relação à segunda amostragem, o teor de ferro do concentrado final foi de 67,20% e sua recuperação metalúrgica foi de 66,82%. O teor de ferro do rejeito *scavenger 2* foi de 17,90%. Os melhores resultados foram obtidos na quarta 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%.

Em relação ao segundo ensaio, foram realizadas cinco amostragens, cujos teores de ferro foram muito próximos. Na primeira amostragem o concentrado *re cleaner* apresentou um teor de ferro de 67,00% e uma recuperação metalúrgica de 81,76%. O teor de ferro do rejeito *scavenger 2* foi de 15,90%. Na segunda amostragem o teor e a recuperação metalúrgica de ferro no concentrado final caíram para 64,90 e 69,44% respectivamente, enquanto que o teor de ferro no rejeito final aumentou para 21%. Na terceira amostragem, houve uma melhora na recuperação metalúrgica do ferro no concentrado final em relação à segunda amostragem. A recuperação aumentou para 73% enquanto o teor foi de 64,30%. Na quarta e quinta amostragens os resultados foram muito próximo tanto para o concentrado final quanto para o rejeito final. Na quarta amostragem os teor e recuperação metalúrgica do ferro no concentrado final foram de 65,60 e 74,53% respectivamente. Finalmente na quinta amostragem o teor e recuperação de ferro no concentrado final foram de 65,30 e 73,30% respectivamente. Os teores de ferro nos rejeitos finais foram próximos de 17%.

Os estudos iniciais de flotação em bancada foram importantes para a obtenção de dados para o processo como dosagens de reagentes, tempo de condicionamento de cada reagente e tempo de flotação. O ensaio em bancada foi realizado em circuito aberto, sem a recirculação de nenhuma corrente. Por outro lado, os ensaios contínuos foram realizados sob as mesmas condições do ensaio em bancada no que se refere a dosagens de reagentes e tempos de condicionamento e flotação. Entretanto, o efeito de recirculação de correntes pôde ser avaliado nos ensaios contínuos pois os mesmos foram executados em circuito fechado. O efeito da carga circulante favoreceu a recuperação metalúrgica de ferro no concentrado final quando comparamos o ensaio em bancada e os ensaios contínuos.

Tabela IV – Balanços de massa e metalúrgico do ensaio 1 em miniusina.

Ensaio 1				
Amostras	% Massa	Teor Fe (%)	Rec Fe (%)	Amostragem
alimentação	100	38	100	1 ^a
concentrado	39,55	67,20	69,94	
rejeito	60,45	18,90	30,06	
Amostras	% Massa	Teor Fe (%)	Rec Fe (%)	Amostragem
alimentação	100	35,11	100	2 ^a
concentrado	34,92	67,20	66,82	
rejeito	65,08	17,90	33,18	
Amostras	% Massa	Teor Fe (%)	Rec Fe (%)	Amostragem
alimentação	100	41,43	100	3 ^a
concentrado	49,45	66,20	79,01	
rejeito	50,55	17,20	20,99	
Amostras	% Massa	Teor Fe (%)	Rec Fe (%)	Amostragem
alimentação	100	42,21	100	4 ^a
concentrado	53,05	65,50	82,32	
rejeito	46,95	15,90	17,68	

Tabela V – Balanços de massa e metalúrgico do ensaio 2 em miniusina.

Ensaio 2				
Amostras	% Massa	Teor Fe (%)	Rec Fe (%)	Amostragem
alimentação	100	42,24	100	1 ^a
concentrado	51,55	67,00	81,76	
rejeito	48,45	15,90	18,24	
Amostras	% Massa	Teor Fe (%)	Rec Fe (%)	Amostragem
alimentação	100	39,60	100	2 ^a
concentrado	42,37	64,90	69,44	
rejeito	57,63	21,00	30,56	
Amostras	% Massa	Teor Fe (%)	Rec Fe (%)	Amostragem
alimentação	100	39,57	100	3 ^a
concentrado	44,93	64,30	73,00	
rejeito	55,07	19,40	27,00	
Amostras	% Massa	Teor Fe (%)	Rec Fe (%)	Amostragem
alimentação	100	38,58	100	4 ^a
concentrado	43,84	65,60	74,53	
rejeito	56,16	17,50	25,47	
Amostras	% Massa	Teor Fe (%)	Rec Fe (%)	Amostragem
alimentação	100	38,13	100	5 ^a
concentrado	42,80	65,30	73,30	
rejeito	57,20	17,80	26,70	

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve por objetivo estudar a flotação de um minério de ferro de baixo teor em um processo contínuo utilizando-se para isso a miniusina de flotação. Como uma etapa inicial dos estudos, foi realizado um ensaio inicial de flotação em escala de bancada, em circuito aberto, com o intuito de se obter informações importantes como dosagens de reagentes, tempos de condicionamento de cada reagente, tempo de flotação e os estágios da flotação. Obtidas essas informações, foram conduzidos ensaios contínuos na miniusina em circuito fechado, com a recirculação de várias correntes do circuito. A miniusina permitiu a realização de ensaios contínuos com pequena quantidade de amostra (10 Kg/h), tempos menores de operação e menor número de operadores quando comparada com planta piloto convencional, permitindo, dessa forma, uma redução significativa nos custos dos ensaios contínuos de flotação.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, V.L.L.; Santos, N.A.; Gonçalves, K.L.C.; Como obter dados contínuos de flotação com amostras de furos de sonda: uma mini planta piloto de flotação. Anais 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, p. 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, p. 317-329, 2006.

Braga, P.F.A.; Louzada, J.C.G.; Borges, R.S.; Pais, A.C. Concentração de Minério de Ferro de Baixo Teor, In: X Jornadas Argentinas de Tratamiento de Minerales, Salta, Argentina, 2010.

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.

Peres, A.E.C.; Correa, M.I. Depression of iron oxides with corn starches. Minerals Engineering, 9, p. 1227-1234, 1996.