



PARTE IV CONCENTRAÇÃO



CAPÍTULO 13 – ENSAIOS DE FLOTAÇÃO

João Alves Sampaio

Engenheiro de Minas/UFPE, Mestre e Doutor em
Engenharia Metalúrgica e de Materiais/COPPE-UFRJ
Tecnologista Sênior do CETEM/MCT

Carlos Adolpho Magalhães Baltar

Engenheiro de Minas/UFPE, Mestre e Doutor em
Engenharia Metalúrgica e de Materiais/COPPE-UFRJ
Professor do Departamento de Engenharia de Minas/UFPE

1. INTRODUÇÃO

O interesse industrial pela técnica de flotação teve início por volta de 1920. Após alguns desenvolvimentos importantes, o uso dessa técnica intensificou-se e consolidou-se, sendo hoje predominante na área de concentração de minérios (Fuerstenau, 2007; Lynch, 2007). Afora sua aplicação na indústria mineral, a flotação tem sido utilizada em outras áreas como:

- (i) remoção de poluentes diversos (óleo, gorduras, metais pesados, etc.);
- (ii) reciclagem (plásticos e papel, entre outros);
- (iii) recuperação de água para uso doméstico.

Considerando-se que cada minério tem as suas peculiaridades, torna-se essencial que a aplicação industrial da flotação seja antecedida de um estudo em laboratório, para definir a influência das diversas variáveis no processo (Fuerstenau, 2003). Este Capítulo descreve a metodologia para condução dos trabalhos de investigação em laboratório, com o objetivo de proporcionar a obtenção de resultados confiáveis e minimizar os erros experimentais. Neste trabalho são descritos os procedimentos para um estudo de flotação em escala de bancada utilizando célula convencional.

O operador deve ter uma caderneta de laboratório para registrar todas as informações obtidas na execução dos ensaios: condições experimentais, aspecto da espuma, entre outras.

2. DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO CONVENCIONAL

Os testes são realizados em equipamentos simples, conhecidos como célula (ou máquina) de flotação (Figura 1), que consistem em um sistema dotado de agitação e aeração, o qual utiliza um recipiente (cuba), em geral de vidro, alumínio ou acrílico, com formato e volume variados.

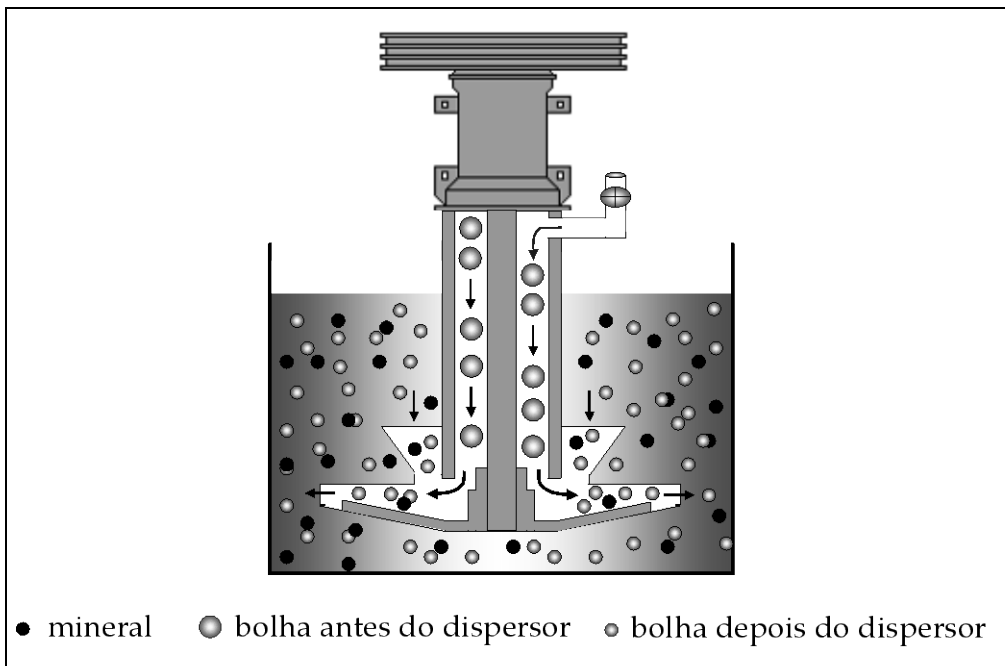


Figura 1 – Desenho ilustrativo de uma célula convencional para flotação de minério.

O sistema de agitação é constituído por um motor que aciona, por meio de correias, um tubo vertical oco que termina com uma hélice (impulsor). As células de flotação possuem uma grande variedade de modelos de hélices possibilitando a geração de diferentes sistemas hidrodinâmicos. Esses equipamentos são projetados de modo a operar em regime turbulento na região inferior, no qual devem ocorrer os choques bolha-partícula e, em regime laminar, na parte superior, na qual não deve haver perturbações que possam ameaçar a integridade das bolhas.

A agitação tem a função de manter as partículas em suspensão e promover o contato bolha-mineral. A intensidade da agitação deve ser controlada com cuidado para evitar perdas. Uma agitação baixa provoca a sedimentação de partículas, por outro lado, uma agitação excessiva provoca a quebra de bolhas antes de atingirem a superfície da célula, em consequência, diminui a eficiência do processo.

A aeração no interior da célula é obtida pela introdução de um fluxo de ar na parte superior do sistema. O fluxo de ar passa internamente pelo tubo vertical oco que está ligado ao sistema de agitação, saindo em aberturas situadas próximas a um dispersor, cuja função é promover a geração de bolhas pequenas.

Há duas formas de promover a aeração: por ar comprimido ou pela pressão negativa gerada na parte inferior do impulsor. Com auxílio de ar comprimido, no caso das células que usam essa forma de aeração, torna-se possível o controle da quantidade de ar injetado na célula. Em outras células, o vácuo formado pelo impulsor, na parte inferior do sistema de agitação, gera uma pressão negativa que proporciona a entrada de ar atmosférico através de uma válvula na parte superior do rotor. As células que usam esse sistema de aeração dispensam a instalação do compressor de ar, no entanto não permitem que se tenha o controle eficiente da aeração (Kelly, 1982).

A aeração tem a função de abastecer a polpa com bolhas que são responsáveis pelo transporte das partículas hidrofóbicas. Quanto maior a superfície específica das bolhas, maior a probabilidade de contato com as partículas e, conseqüentemente, maior a eficiência do processo de flotação.

Alguns modelos de células de flotação possuem um sistema de adição de água que permite manter constante o nível da polpa.

3. PROCEDIMENTO DOS TESTES

Representatividade da Amostra

Da mesma forma que ocorre com outros ensaios de laboratório, todas as amostras utilizadas nos testes de flotação devem ser representativas da amostra global do minério, da amostra do depósito mineral em estudo ou de parte selecionada do mesmo.

A obtenção de uma amostra representativa de um depósito mineral não é uma tarefa trivial. A dificuldade está na pequena quantidade da amostra em relação ao volume de minério que deve representar. A amostra usada em laboratório pode ser cerca de 100.000 vezes menor ou mais, em relação àquela usada na unidade industrial. Diante dessas peculiaridades, pode-se recorrer a

dados da geologia e/ou lavra do corpo mineralizado, para se atingir a representatividade desejada. Além disso, a metodologia de amostragem deve ser cuidadosamente estudada. Recomenda-se a leitura do Capítulo 1 deste livro para o e/ou pesquisador se familiarizar com o processo de amostragem.

O Uso da Água

A composição química da água utilizada pode ter um efeito significativo nos resultados da flotação, já que as diferentes espécies iônicas da suspensão aquosa podem interferir na ação dos reagentes ou modificar a carga elétrica das partículas, de modo a dificultar o controle do processo.

Nos estudos de laboratório deve-se conhecer as características químicas e físicas da água usada. Recomenda-se realizar os ensaios, sempre que possível, com água da própria mina, desde que não esteja envelhecida. Esse procedimento pode evitar futuros transtornos nas operações industriais. Há também, a possibilidade de simular uma composição da água próxima àquela da mina. Torna-se obrigatório que as características físico-químicas da água utilizada sejam mantidas constantes em todos os testes.

Em muitos casos, o efeito da água no processo de flotação é objeto de estudo, podendo-se investigar a influência da água de reciclagem, o comportamento de espécies iônicas existentes ou a influência da sazonalidade, entre outros.

Preparação da Amostra

A distribuição granulométrica da amostra usada na flotação de laboratório deve ser o mais similar possível à da amostra de alimentação da planta industrial. A presença de finos tem diversas conseqüências nos resultados, como: maior consumo de reagentes, maior contaminação do concentrado, menor velocidade de flotação, etc. Isso significa que uma distribuição granulométrica diferente pode acarretar distorção nos resultados.

A granulometria de moagem está relacionada ao grau de liberação do mineral útil e ao teor que deve ter o concentrado. Nas operações industriais, a flotação, geralmente, é aplicada na faixa granulométrica desde 0,6 mm até pouco menos de 20 μm , dependendo da densidade e complexidade do

minério. A eficiência do processo torna-se menor quando o mesmo é aplicado às faixas granulométricas mais finas.

O estoque prolongado de amostras moídas pode causar a oxidação superficial das partícula, de modo a alterar o seu comportamento na flotação. Esse fato é comum na flotação de minérios sulfetados, para os quais se recomenda que a flotação seja realizada logo após a moagem da amostra.

O tempo de moagem necessário para produzir uma amostra com uma determinada distribuição granulométrica deve ser obtido segundo o procedimento padrão descrito no Capítulo 9 deste livro, no qual se encontram as instruções detalhadas dos procedimentos de moagem para amostras destinadas aos ensaios de flotação.

Preparação dos Reagentes

O sistema de reagentes e a quantidade usada na flotação são sempre objeto de estudo. Além de ser um fator determinante na eficiência do processo, corresponde à maior parcela do custo operacional das unidades industriais de flotação. A escolha inicial do sistema de reagentes é função de experiências anteriores do pesquisador e/ou de referências citadas em publicações especializadas.

Deve ser lembrado que, na prática industrial, o sistema de reagentes sofre alterações contínuas em decorrência da própria modificação na composição mineralógica do minério e da necessidade de otimização do processo.

Na preparação dos reagentes, o estado de conservação deve ser observado. As características químicas do reagente podem ser alteradas em decorrência das condições inadequadas ou do longo período de estoque. O uso de reagentes alterados, naturalmente, vai afetar a credibilidade dos resultados (Klimpel, 1980).

Os reagentes são fornecidos pelos fabricantes na forma: sólida ou líquida. Reagentes gasosos são usados em casos especiais. Esses produtos podem ser adicionados na célula de flotação, na forma natural ou sob a forma de soluções. Em alguns casos os reagentes não são miscíveis em água, por isso prefere-se sua adição direta na célula ou a sua emulsão em líquidos

apropriados. O espumante costuma ser adicionado em gotas, cujos pesos são conhecidos (Nagara, 2007).

A pesagem do reagente deve ser feita de forma criteriosa, já que um pequeno erro poderá ter reflexos importantes no resultado final do teste. Na prática, a adição dos reagentes de flotação é calculada em termos de concentração molar ou da relação reagente (gramas)/ minério seco (tonelada).

A quantidade, forma e ponto de adição dos reagentes, inclusive outros controles do teste, devem ser registrados na caderneta de laboratório do operador, com o devido cuidado e clareza. Esses dados fazem parte essencial do estudo.

Condicionamento

A etapa de condicionamento tem a função de promover o contato dos reagentes com as superfícies dos minerais. A adsorção pode ser monitorada pela variação do potencial zeta das partículas ou pela determinação da variação da concentração do reagente na polpa.

Em laboratório, o condicionamento costuma ser feito na própria célula, mantendo-se fechada a entrada de ar. A adição de cada reagente é seguida de um período de agitação próprio, em função do condicionamento programado. Em cada caso, deve-se estudar a conveniência da adição isolada ou da adição conjunta de dois ou mais reagentes.

É prática comum utilizar, no condicionamento, uma concentração de sólidos na polpa acima daquela usada na flotação (podendo ser da ordem de 50% de sólidos ou mais). O fato de os reagentes serem mais efetivos em soluções concentradas justifica esse procedimento (Chaves e Filho, 2004).

A agitação da célula também pode ser mais intensa do que aquela usada na flotação, a fim de possibilitar melhores condições de contato partículas-reagentes. A busca do melhor tempo de condicionamento para cada reagente é objeto da pesquisa, e o valor otimizado deve ser registrado na caderneta do operador.

Na indústria, em geral, o contato do minério com os reagentes é feito em tanques agitadores conhecidos como condicionadores. No entanto, há sempre

a opção de adição em outros pontos do circuito, como no moinho, nas tubulações que conduzem o minério à célula ou na própria célula, de modo a possibilitar um maior ou menor contato do reagente com o minério. O ponto ideal de adição do reagente deve ser objeto de investigação.

Diluição da Polpa

Entende-se por diluição a relação entre a massa de minério e de água, expressa sobre a forma de percentagem de sólidos na polpa.

A diluição é determinada em função do tipo de minério, de sua granulometria e da tolerância em termos de contaminantes no concentrado. Nos casos de minérios grossos e/ou de maior tolerância com relação à seletividade, é possível o uso de percentagens de sólidos mais elevadas. Por outro lado, quanto maior for o conteúdo de finos e de materiais argilosos do minério e/ou as exigências com relação ao teor do concentrado, deve-se usar polpas cada vez mais diluídas. Isso decorre do fato de as partículas finas serem suscetíveis ao arraste hidrodinâmico e, conseqüentemente à contaminação do concentrado (Barbery *et al.*, 1986).

Sob o aspecto econômico, sempre que possível, deve-se conduzir a flotação com elevada percentagem de sólidos na polpa. Esse procedimento possibilita uma maior produção com o volume de células disponível. Entretanto, a contaminação do concentrado aumenta com a percentagem de sólidos da polpa, isso explica porque as operações de limpezas são sempre conduzidas com baixa percentagem de sólidos.

Durante os testes de laboratório, a percentagem de sólidos varia continuamente à medida que os sólidos são removidos na espuma e que se adiciona água para manutenção do nível da polpa na célula. Essa variação contínua das condições operacionais modifica as concentrações dos reagentes, provocando o desequilíbrio eletroquímico do sistema. Esse fenômeno pode ser percebido na mudança das características da espuma. No caso de sistema de adsorção reversível, para se evitar a dessorção de moléculas do coletor, que provocaria a “desmineralização” da espuma, recomenda-se repor o nível da polpa com a solução do coletor, de modo a se tentar manter o mais próximo possível da concentração inicial do mesmo.

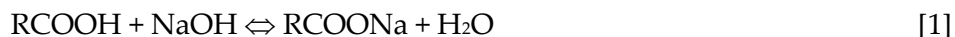
A maioria das operações industriais é conduzida com percentagens de sólidos na polpa entre 25 e 40%. Esses mesmos valores são recomendados para as operações em laboratório. A percentagem de sólidos na polpa de flotação é objeto de investigação. Ela deve ser otimizada durante os estudos de laboratório e os seus resultados devem ser registrados com atenção pelo operador. Recomenda-se a leitura do Capítulo 2 deste livro para melhor entendimento do assunto.

Adição de Reagentes

Os reagentes são usados em pequenas quantidades, tornando-se necessária a sua diluição para facilitar o controle preciso da quantidade adicionada, que pode ser medida em pipetas ou béquer graduados.

Para adição dos reagentes solúveis em água não há dificuldades. No entanto, os reagentes insolúveis ou parcialmente solúveis em água, exigem técnica especial de adição. Os reagentes na forma líquida podem ser adicionados na forma de gotas, cujo peso médio é previamente determinado com base em 20 ou 30 gotas pesadas em uma balança de precisão. Uma alternativa consiste em adicionar esses reagentes dissolvidos em líquidos orgânicos, como etanol. Contudo, como o efeito desse líquido orgânico pode ser prejudicial ao processo, esse método é evitado. Outro procedimento consiste na adição do reagente, segundo suas emulsões em água, que deve ser preparada por meio de forte agitação (Jameson, 2007; Pugh, 2007).

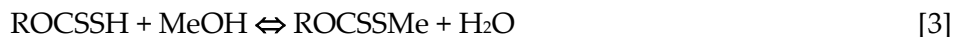
O coletor costuma ser utilizado na forma de sal. A saponificação ou neutralização de um ácido-graxo ocorre da sua reação com uma base inorgânica. Geralmente, usa-se o hidróxido de sódio ou de potássio, conforme ilustrado na reação da Equação [1].



As aminas são utilizadas sob a forma de sais solúveis. O ácido acético e o ácido clorídrico são os mais usados para neutralizar a base orgânica. Uma das razões da preferência é a atividade praticamente nula dos ânions liberados, o que é importante para o controle do processo. No caso da neutralização com ácido clorídrico, a seguinte reação é observada:



O mesmo ocorre com os coletores sulfidrílicos. O ácido ditiocarbônico costuma ser usado na forma de sal, conhecido como xantato, resultado da reação do ácido xântico com um hidróxido de sódio ou de potássio, como se observa na Equação [3].



Sendo, Me = Na ou K

A adição é feita de forma escalonada, considerando-se o tempo de condicionamento necessário a cada reagente. Inicialmente, adicionam-se os modificadores (regulador de pH, dispersante, depressor, ativador, etc.), em seguida, o coletor e, por último, o espumante. Em alguns casos, mais de um modificador pode ser adicionado ao mesmo tempo.

A ordem de adição deve ser objeto do planejamento do teste. Essa organização no procedimento não só evita atraso à alimentação, na célula, de cada reagente, como assegura uma adição correta.

Controle do pH

O pH da polpa pode influenciar a:

- (i) carga elétrica superficial das partículas (as espécies OH^- e H^+ são determinantes de potencial para a maioria dos minerais);
- (ii) ação dos reagentes e o estado de dispersão da polpa;
- (iii) ação das espécies químicas presentes na água de processo.

Portanto, o pH pode ter uma influência fundamental, tornando-se mais evidente nos sistemas que utilizam coletores que se adsorvem fisicamente, como as aminas (Ralston, 2007).

Para o controle do pH, utilizam-se os reguladores (ácidos e bases), devendo-se usar medidores de pH precisos e calibrados para garantir a consistência dos resultados.

Nos testes de laboratório, em geral, primeiro se ajusta o pH da polpa e, em seguida, adicionam-se os demais reagentes. A quantidade a ser adicionada varia com a natureza do minério e o pH desejado. Nos circuitos industriais de flotação, os reguladores de pH são adicionados:

- (i) nas etapas de moagem;
- (ii) no condicionamento antes da adição dos coletores;
- (iii) em alguns casos nas etapas *rougher* e *cleaners*.

Quantidades excessivas de reguladores para obter um determinado valor do pH, indicam a existência de sais solúveis na polpa.

Tempo de Flotação

Considera-se como “tempo de flotação” o período em que o minério permanece na célula sob ação da agitação e da aeração. Nas células de laboratório, o controle do tempo de flotação é absolutamente preciso já que todas as partículas não flotadas permanecem na célula até o momento em que a mesma é desligada. Nos circuitos industriais, no entanto, o tempo de flotação está relacionado ao volume útil do banco (conjunto de células). Na verdade, obtém-se um tempo médio de permanência, com algumas partículas podendo passar rapidamente pelo circuito e outras permanecendo por longo período. O tempo de flotação tem grande influência tanto no teor como na recuperação do mineral de interesse (Thompson, 2002).

A velocidade com que uma partícula flota depende da proporção da área superficial que se encontra hidrofobizada. Como consequência, as partículas liberadas têm uma maior cinética de flotação devido ao fato de estarem com um maior percentual da superfície coberta com o coletor. Isso explica porque a cinética de flotação das partículas mistas diminui, à medida que aumenta a proporção de minerais de ganga na superfície. Por sua vez, a água contida na espuma arrasta continuamente partículas hidrofílicas. Os dois fatores contribuem para que o teor do concentrado, retirado na espuma, diminua à medida que a flotação prossegue. Por outro lado, é intuitivo que a recuperação aumente com o tempo de flotação.

Portanto, deve-se dedicar um cuidado especial à padronização do tempo de flotação para todos os testes. De outra forma, não se pode comparar os resultados e avaliar, com precisão, o efeito da variável estudada. Na prática de laboratório é comum que a flotação seja interrompida antes do tempo programado. Essa ocorrência deve ser devidamente anotada na caderneta de laboratório.

A determinação do tempo ótimo de flotação deve ser objeto de estudo em laboratório. O método usual consiste na coleta da espuma em incrementos, seguidos de secagem, pesagem e análises químicas das amostras, para que se possa monitorar a variação do teor e da recuperação.

O tempo de flotação obtido em laboratório e a percentagem de sólidos na polpa são usados para o cálculo do volume do banco de células dos circuitos piloto e industrial. Considerando-se que, nas células de laboratório, o sistema hidrodinâmico é mais eficiente, no dimensionamento dos bancos de células, costuma-se adotar um fator de segurança para o tempo de flotação.

Aeração da Polpa e Remoção da Espuma

Os principais mecanismos de aeração em células de laboratório são realizados por meio de:

- (i) ar comprimido;
- (ii) sucção de ar pela ação do impulsor e a entrada do ar na polpa através de uma válvula existente na haste do rotor.

Na situação (i), o operador deve estar atento para não injetar ar contaminado, em particular, com óleo e/ou graxa.

O sucesso da etapa de aeração está relacionado à mistura ar/polpa. A situação ideal é aquela em que as bolhas geradas tenham pequeno tamanho. O aumento da superfície específica disponível amplia as possibilidades de contato bolha/partícula. A distribuição homogênea do fluxo de ar, na polpa, depende do sistema hidrodinâmico e do desenho da célula. Recomenda-se que o operador introduza o ar na polpa, de forma lenta e gradual, evitando abrir a válvula bruscamente.

Em laboratório, a retirada de espuma da célula deve ser feita de forma cadenciada, segundo um procedimento regular de coleta (recomenda-se uma “raspagem” a cada 15 segundos), simulando a operação contínua em unidade piloto e/ou industrial. Esse procedimento possibilita a reprodutibilidade dos resultados. O volume de água removido, em cada teste, deve ser determinado e devidamente registrado na caderneta de laboratório. A importância desse procedimento está relacionado ao fato de que, como a “água flotada” transporta partículas hidrofílicas, não se pode comparar, por exemplo, teores obtidos em testes realizados, com grande variação de volume de “água flotada”. Há um modelo de raspador em célula de laboratório que permite a remoção da espuma na área posterior ao rotor e evita que o operador varie a profundidade de coleta.

Registro e Avaliação dos Dados Obtidos nos Testes de Flotação

O registro dos dados e/ou resultados é feito em caderneta especial de laboratório, na qual o operador aponta, de forma clara e objetiva, os resultados das análises químicas e pesos dos produtos, isto é, os dados essenciais aos cálculos dos balanços de massa e metalúrgicos. O exemplo da Tabela 1 ilustra o registro de alguns dos resultados básicos obtidos nos ensaios de flotação.

As anotações devem ser feitas de forma cuidadosa, devendo constar informações como:

- (i) o tipo de célula e volume das cubas usadas em cada estágio;
- (ii) a velocidade de rotação da célula nas etapas de condicionamento e de flotação;
- (iii) os tempos de condicionamento e flotação;
- (iv) a percentagem de sólidos na polpa de condicionamento e de flotação;
- (v) tipo do medidor de pH, bem como o valor do pH medido no condicionamento, e em cada estágio, *rougher*, *scavenger*, *cleaner*;
- (vi) dosagem e forma de adição dos reagentes;
- (vii) aspecto da espuma, quanto ao volume, cor, mineralização, consistência, entre outras.

Tabela 1 – Registro dos resultados de diversos ensaios de flotação em bancada, com seus respectivos balanço de massa e metalúrgico.

Teste 1								
	PRODUTOS	Peso (%)	Al ₂ O ₃ (%)		SiO ₂ (%)		Fe ₂ O ₃ (%)	
			Teor	Dist	Teor	Dist	Teor	Dist
Rougher	Conc.	2,70	25,74	92,25	70,45	1,94	0,29	16,70
	Rej.	97,30	0,06	7,75	99,60	98,06	0,00	83,30
	Alim.	100	0,75	100	99,05	100	0,01	100
Teste 2								
	PRODUTOS	Peso (%)	Al ₂ O ₃ (%)		SiO ₂ (%)		Fe ₂ O ₃ (%)	
			Teor	Dist	Teor	Dist	Teor	Dist
Rougher	Conc.	2,48	24,72	88,71	63,61	1,60	3,09	66,26
	Rej.	97,52	0,08	11,29	99,55	98,40	0,04	33,74
	Alim.	100	0,69	100	98,90	100	0,12	100
Teste 3								
	PRODUTOS	Peso (%)	Al ₂ O ₃ (%)		SiO ₂ (%)		Fe ₂ O ₃ (%)	
			Dist	Teor	Dist	Dist	Teor	Dist
Rougher	Conc.	2,31	9,81	67,82	85,09	1,98	0,51	28,71
	Rej.	97,69	0,11	32,18	99,55	98,02	0,03	71,29
	Alim.	100	0,33	100	99,5	100	0,041	100
Teste 4								
	PRODUTOS	Peso (%)	Al ₂ O ₃ (%)		SiO ₂ (%)		Fe ₂ O ₃ (%)	
			Dist	Teor	Dist	Dist	Teor	Dist
Rougher	Conc.	1,38	13,59	73,10	73,81	1,02	1,42	49,87
	Rej.	98,62	0,07	26,90	99,60	98,98	0,02	50,13
	Alim.	100	0,26	100	99,50	100	0,039	100
	Rej.	99,021	0,05	22,35	99,59	99,33	0,02	30,94
	Alim.	100	0,31	100	99,52	100	0,032	100
Conc. Concentrado; Rej. Rejeito; Alim. Alimentação; Dist. Distribuição.								

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbery, G.; Baurassa, M. e Maachar, A. Laboratory testing for flotation circuit design. In: Mular, A. e Bhappu, R.B. e Anderson, A. (Ed.). Design and installation of concentration and dewatering circuits. SME, 1986, p.419-432.
- Chaves, A. P. e Filho, L. S. L. Flotação. In: Luz, A. B., Sampaio, J. A. e Almeida, S. L. M. (Ed.). Tratamento de minérios. 4ª ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004, p.411-458.
- Fuerstenau, D. R. A century of developments in the chemistry of flotation processing. In: Fuerstenau, M. C.; Jamenson G. e Roe-Hoan Yoon. Froth flotation a century of innovation. SME, 2007, p.63-64.
- Fuerstenau, M. C. e Somasundaran, P. Flotation. In: Fuerstenau, M. C. E. Han, K. N. (Ed.). Principles of mineral processing. SME, 2003, p.245-306.
- Jameson, G. J.; Nguyen, A. V. E. Ata, S. The flotation of fine and coarse particles. In: Fuerstenau, M. C.; Jamenson G. and Roe-Hoan Yoon. Froth flotation a century of innovation. SME, 2007, p.339-372.
- Kelly, E. G. e Spottiswood, D. J. Introduction to mineral processing. New York: John Wiley & Sons, 1982, p.301-326.
- Klimpel, R. R. Selection of chemical reagents for flotation. In: Mular, A. e Bhappu, R. B. (Ed.). Mineral processing plant design. AIME, 1980, p.907-934.
- Lynch, A J.; Watt, J. A.; Finch, J. A. e Harbot, G. E. History of flotation Technology . In: Fuerstenau, M. C.; Jamenson G. and Roe-Hoan Yoon. Froth flotation a century of innovation. SME, 2007, p.65-91.
- Nagaraj, D. R. e Ravishankar, S. A. The flotation reagents – a critical overview from an industry perspective. In: Fuerstenau, M. C.; Jamenson G. and Roe-Hoan Yoon. Froth flotation a century of innovation. SME, 2007, p.324-375.
- Pugh, R. J. The physical and chemistry of frothers. In: Fuerstenau, M. C.; Jamenson G. and Roe-Hoan Yoon. Froth flotation a century of innovation. SME, 2007, p.259-282.

Ralston, J.; Fornasiero, D. e Grano, S. Pulp and solution chemistry. In: Fuerstenau, M. C.; Jamenson G. and Roe-Hoan Yoon. Froth flotation a century of innovation. SME, 2007, p.227-258.

Thompson, P. The selection of flotation reagents via bench flotation tests. In: Mullar, A. L.; Halbe, D. N. e Barratt, D. J. (Ed.). Mineral processing plant design, practice and control. vol.1. SME, 2002, p.136-144.