

# MEDIÇÃO DE DENSIDADE DA ESPUMA NAS CÉLULAS DE FLOTAÇÃO PELA TECNOLOGIA ONDAS ACÚSTICAS<sup>1</sup>

Ricardo Sales Araújo<sup>2</sup>

## Resumo

A flotação é um dos processos de concentração mais utilizados na indústria mineral, possibilitando o aproveitamento de minérios complexos e/ou de baixo teor de forma econômica e com rendimentos satisfatórios. A importância desse processo tem motivado o desenvolvimento de novos equipamentos dentre os quais se destaca a célula de flotação. As melhorias substanciais das características dos concentrados obtidos nas células em diversas unidades industriais, operando com diferentes tipos de minérios, somadas ao melhor desempenho metalúrgico e à economia nos custos de capital e de operação, demonstram a importância desse equipamento para a indústria mineral. Tais fatores têm sido decisivos para a aplicação das células em processos de flotação, tanto para novos projetos, como para expansões industriais. O objetivo básico do controle é manter a operação da coluna em condições estáveis monitorando as principais variáveis de controle.

**Palavras-chave:** Flotação; Células.

## DENSITY FOAM MEASUREMENT IN FLOTATION CELLS USING ACUSTIC WAVE TECHNOLOGY

### Abstract:

Flotation is one of the most concentration processes used in the mineral industry, allowing the use of complex and/or low concentration ore cost-effectively and with satisfactory yields. The importance of this process has motivated the development of new equipment and we can highlight the flotation cell. The substantial improvement of the concentrated ore characteristics obtained in flotation cells in various industrial units, operating with different types of minerals, combined with the best metallurgical performance and cost savings, demonstrate the importance of that equipment for the mining industry. Such factors have been decisive for the cells application in flotation processes, both for new projects and for industrial expansion. The basic goal of the control is to maintain the stability of the column operation by monitoring the main control variables.

**Key words:** Flotation; Cells.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 41º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 12º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 12 a 26 de setembro de 2011, Vila Velha, ES.

<sup>2</sup> Engº. Aplicação MS Instrumentos, ricardo@msinstrumentos.com.br.

## 1 INTRODUÇÃO

Na década de 1960, Bouting e Tremblay<sup>(1)</sup> registraram uma patente referente à técnica de flotação em coluna. A partir de então, foram realizados diversos esforços no sentido de viabilizar a implantação dessa tecnologia em escala industrial, dentre os quais se destacam as aplicações realizadas pelo Dr. Wheeler,<sup>(2)</sup> considerado o pai da Coluna Canadense. Finalmente, em 1982, Coffinn e Miszczak<sup>(3)</sup> relataram que as primeiras colunas de flotação industrial de sucesso foram instaladas em uma planta de concentração de molibdenita em Les Mines Gaspé no Canadá. Essas colunas foram utilizadas nos estudos hidrodinâmicos das seções de coleta e de limpeza conduzidos pelos pesquisadores Gleen Dobby e Juan Yianatos sob orientação do professor Finch na Universidade de McGill – Canadá.<sup>(4)</sup>

Visando um melhor desempenho do sistema de processo de flotação se faz necessária a manutenção da estabilidade no processo. Para tanto, é indispensável o correto monitoramento das variáveis envolvidas e o seu controle.

Apresenta-se neste trabalho uma abordagem específica sobre a medição de três variáveis importantes no processo de flotação: nível de polpa, nível de espuma e densidade da espuma.

## 2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE FLOTAÇÃO

O material que alimenta a coluna de flotação (polpa) é condicionado com reagentes específicos em uma etapa anterior, utilizando tanques com agitação. Esse material alimenta a coluna a aproximadamente dois terços de sua altura total em contracorrente com um fluxo de ar ascendente alimentado na sua base. O ar introduzido tem a finalidade de gerar bolhas ascendentes e coletar as partículas hidrofóbicas, transportando-as para a espuma. Essa técnica utiliza o princípio de contracorrente para colocar em contato o fluxo descendente de polpa alimentada, com fluxo ascendente de ar introduzido na base. A colisão entre as partículas, em deslocamento descendente por ação da gravidade, e as bolhas de ar faz com que ocorra adesão entre as partículas minerais hidrofóbicas e essas bolhas, formando uma espuma mineralizada, constituindo assim o flotado que transborda. No topo da coluna, a água de lavagem é adicionada, tendo como principais funções estabilizar a espuma e substituir a água de processo na fração flotada. O material não flotado é retirado pelo fundo da coluna. Quando as partículas do mineral útil são retiradas pelo flotado a flotação é designada como direta. A situação oposta, em que as partículas do mineral útil são retiradas pelo afundado, caracteriza a flotação reversa.

Na coluna, o material é observado em três fases: polpa, interface polpa/espuma e espuma estabilizada. A região acima da interface é denominada zona de limpeza, enquanto a região entre o ponto de introdução do ar até a interface é denominada zona de coleta ou recuperação. A Figura 1 apresenta um desenho esquemático da coluna.

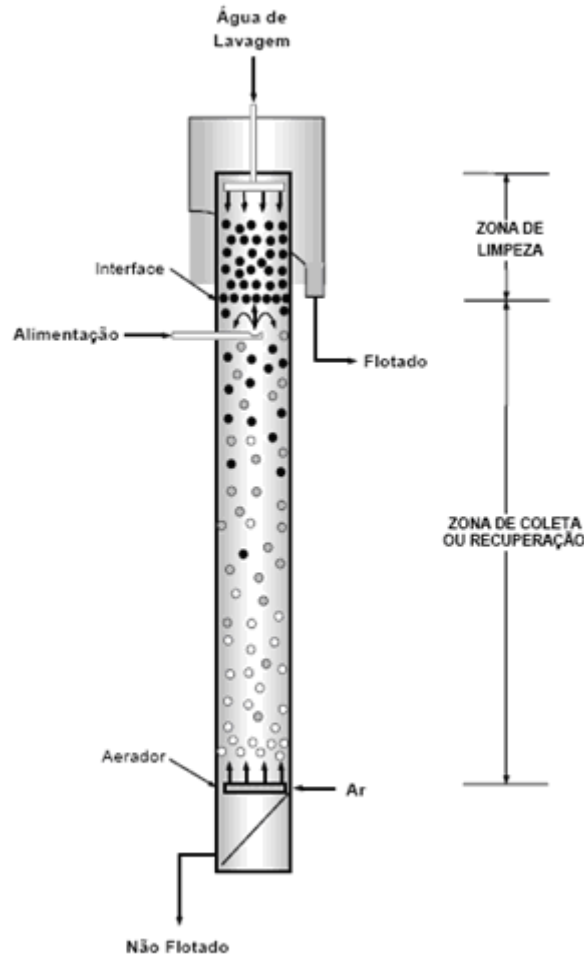


Figura 1. Representação esquemática de uma coluna de flotação.

### 3 CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS

O rendimento das colunas de flotação está normalmente relacionado com seu sistema de fluxo. As colunas industriais operam entre o fluxo pistão e a mistura perfeita.

No fluxo pistão - também conhecido como *plug flow* - o tempo de residência de todas as fases, fluido e partículas minerais, é o mesmo, há um gradiente de concentração das partículas hidrofóbicas ao longo do eixo da coluna e o coeficiente de mistura,  $ND$ , é próximo de zero. Por outro lado, no fluxo tipo mistura perfeita - ou *perfect mixer* - o líquido e os sólidos na seção de recuperação da coluna apresentam uma distribuição de tempo de residência  $\tau$ , a concentração das partículas é a mesma em qualquer ponto da seção de recuperação da coluna e o coeficiente de mistura tende a infinito. Para baixos tempos de residência, o teor da fração flotada é mais elevado e a recuperação é menor uma vez que as partículas minerais tiveram um tempo de residência inferior ao necessário para sua flotação. Em elevados tempos de residência o teor da fração flotada diminui porque essa condição favorece o arraste e a coleta de partículas hidrofílicas e menos hidrofóbicas, respectivamente. As células mecânicas operam em regime de mistura perfeita e, conseqüentemente, para reduzir os efeitos citados, são arranjadas em bancos constituindo tanques em série.

### 3.1 Distribuição de Água de Lavagem

A água de lavagem adicionada na camada de espuma tem três funções básicas:

- substituir a água de alimentação na fração flotada minimizando o arraste hidráulico de partículas hidrofílicas;
- aumentar a altura e a estabilidade da camada de espuma; e
- reduzir a coalescência das bolhas através da formação de um *packed bubble bed*.

### 3.2 Distribuição de Ar

A vazão de ar é uma das variáveis mais importantes no processo de flotação em coluna e tem um efeito significativo sobre a recuperação do mineral flotado. Dentro dos limites de estabilidade da coluna, a recuperação do mineral flotado é normalmente crescente com o aumento da vazão de ar até atingir o seu valor máximo. Este ganho na recuperação deve-se ao aumento do número e área superficial total de bolhas introduzidas na coluna. Entretanto, um acréscimo significativo da vazão de ar pode prejudicar o processo de flotação devido à turbulência ou formação de espuma na seção de recuperação da coluna.

Um gerador de bolhas eficiente é aquele capaz de gerar bolhas de 0,5 mm a 2,0 mm de diâmetro, com a velocidade superficial de ar entre 1,0 cm/s e 3,0 cm/s.<sup>(5)</sup> (Luz *et al*, 2004).

Os tipos de aeradores atualmente utilizados em colunas industriais de flotação consistem basicamente de lanças perfuradas alimentadas com uma mistura de água e ar sob pressão ou de lanças com um só orifício alimentado somente com ar.

### 3.3 Controle

O objetivo básico do controle é manter a operação da coluna em condições estáveis. Isso pode ser alcançado controlando automaticamente o nível da interface polpa-espuma.<sup>(6)</sup> Os fluxos de ar e de água de lavagem são também controlados de forma a melhorar o desempenho metalúrgico das colunas. São utilizadas duas estratégias de controle. A primeira consiste no controle do nível da interface através da regulagem da taxa de fluxo da fração não flotada da coluna, mantendo a vazão de água de lavagem constante. Essa estratégia é a mais simples e a de menor custo, entretanto apresenta a desvantagem de permitir a operação em condições de *bias* negativo. A segunda estratégia consiste do controle de nível atuando sobre a vazão de água de lavagem enquanto a vazão de rejeito é regulada para manter constante a relação entre os fluxos volumétricos de rejeito e da alimentação. Essa alternativa apresenta custo mais elevado e resposta mais lenta.

A posição da interface polpa/espuma determina a separação entre as zonas de coleta e de limpeza. O nível de polpa determina a altura da zona de coleta e conseqüentemente influencia a recuperação do mineral útil, enquanto que a altura da camada de espuma determina a zona de limpeza e influencia a seletividade do processo. Se a interface é muito baixa, a zona de coleta fica reduzida e a recuperação pode diminuir, caso contrário, a zona de limpeza fica menor, reduzindo o tempo de drenagem, e o teor do concentrado pode deteriorar.

Existem determinadas técnicas para se medir a altura da polpa. São elas:

- mecanismo prato/bóia;
- transmissores de Pressão; e
- medidores de Condutividade.

### 3.3.1 Mecanismo prato/bóia

A medição do nível da polpa se dá através de um mecanismo de bóia com um prato onde um medidor ultrasonico monitora o prato. O processo de medição do prato está sujeito às desvantagens de qualquer medição com contato, como incrustação na bóia, perda de sinal pela agitação etc.

### 3.3.2 Transmissores de pressão

Monitora-se a diferença de pressão em um ponto em função da variação da altura da coluna de polpa. Para este princípio de funcionamento podemos ter erros de indicação da altura em função da variação da densidade da polpa, ou seja, para um mesmo nível, variando-se a densidade, o transmissor de pressão indicará mudança de nível.

### 3.3.3 Medidores de nível capacitivos

As constantes dielétricas da polpa e da espuma são diferentes. Na interface polpa/espuma há um gradiente dessas constantes. Os dispositivos capacitivos detectam a variação de nível em função da variação da posição desse gradiente. Nesse caso o que atrapalha o funcionamento deste dispositivo é a incrustação da polpa na haste, além da necessidade de constantes calibrações.

A alternativa para essas técnicas é utilizarmos ondas de baixa frequência (Ondas Acústicas) que por terem comprimentos de onda maiores podem penetrar a espuma identificando a interface polpa/espuma (Figura 2).

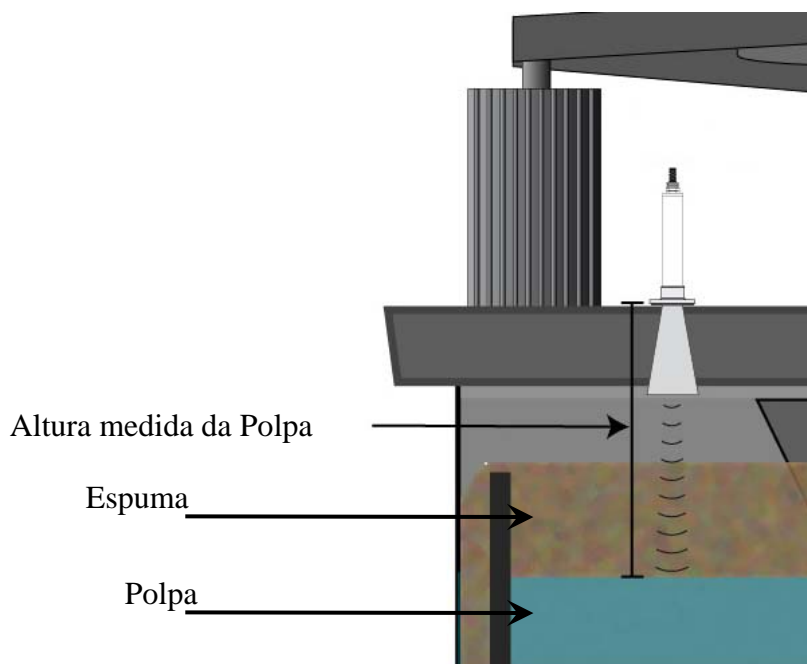
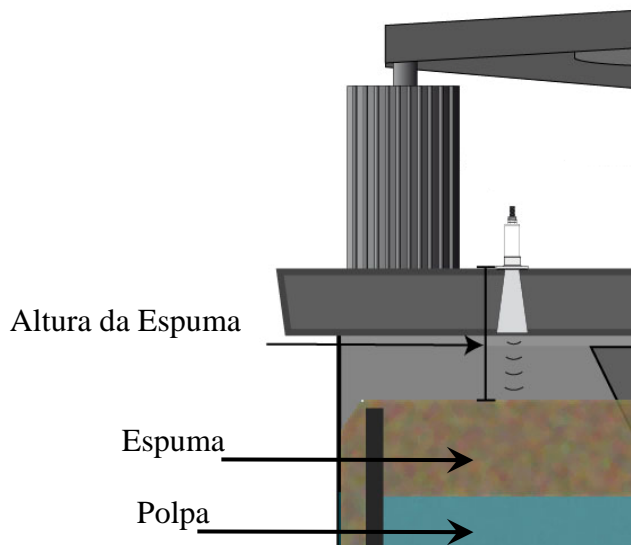


Figura 2. Ondas Acústicas atravessando a espuma.

As vantagens sobre as outras tecnologias são:

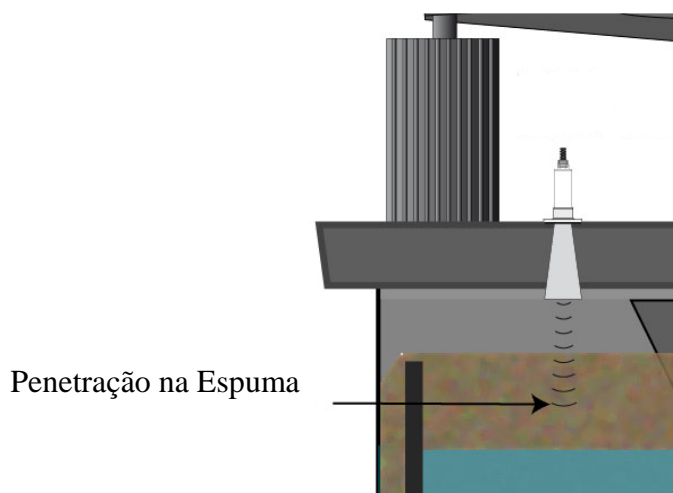
- baixa manutenção;
- não afetado por mudanças no tamanho das bolhas;
- não afetado por mudanças na densidade da polpa;
- não afetado por mudanças na densidade da espuma;
- a impedância entre a polpa e a espuma é grande e, portanto, de fácil monitoramento por esse princípio de funcionamento; e
- sonda auto-limpante.

A Tecnologia Ondas Acústicas mede confiavelmente também a altura da espuma. Para tanto é necessário especificar uma frequência sonora que não ultrapasse a espuma (Figura 3).



**Figura 3.** Ondas Acústicas refletindo na espuma.

Ao obter sucesso na medição de nível de polpa e de espuma utilizando frequências sonoras bem definidas, propusemos utilizarmos uma frequência sonora intermediária que nos daria uma indicação indireta da densidade da espuma em função da penetração do som e do seu retorno (Figura 4).



**Figura 4.** Ondas Acústicas atravessando parte da espuma.

Ao se tratar de diferentes frequências sonoras obtemos diferentes respostas em termos de reflexão do som no alvo espuma/polpa.

Instalando-se o arranjo de três sensores, um emitindo 5 KHz de frequência sonora (alta penetração), outro emitindo 15 KHz (media penetração) e o terceiro emitindo 20 KHz (nenhuma penetração) (Figuras 5 e 6), são obtidas diferentes penetrações no alvo espuma/polpa.

Após algumas leituras dos medidores, foi plotado o gráfico (Figura 7) onde o operador pode ler na curva em vermelho a altura da camada de espuma, a altura a polpa de minério em verde e, por conseguinte, o comprimento da camada de espuma (diferença entre o nível da espuma e da polpa).

A curva em azul nos dá a leitura da porção intermediária da espuma. Esta curva é variável não somente em função do nível, mas também da sua densidade, pois quanto mais densa a espuma, menos penetração terá o som.

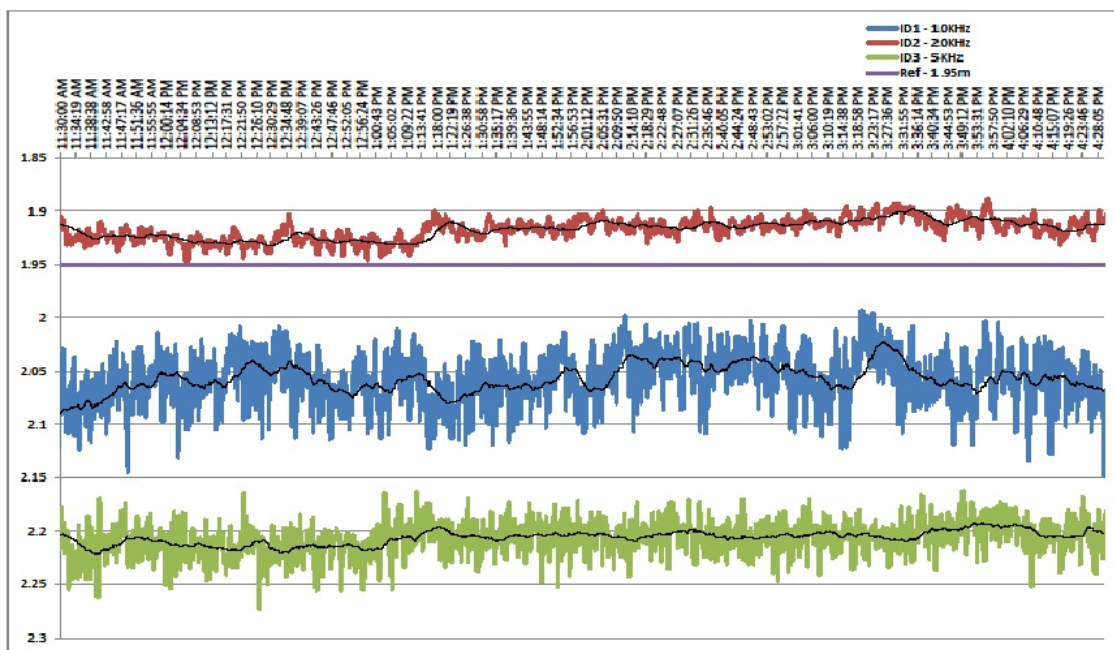
Em função desses valores o operador dispõe de novas informações para gerenciar melhor o processo de flotação no que diz respeito à vazão de entrada de polpa, vazão de ar, dosagem de floculante, entre outros controles.



Figura 5. Medidores instalados in-loco.



**Figura 6.** Medidores instalados in-loco.



**Figura 7.** Leituras obtidas dos medidores instalados in-loco.

## 4 CONCLUSÃO

Ao descer no entendimento do processo de flotação, sua importância econômica no processo de separação do minério de ferro e as condições ideais de operação, vimos que para maximizar seu desempenho metalúrgico é necessário primeiramente estabilizar o processo minimizando a frequência e a severidade de operações



erráticas e, em seguida, alcançar os valores nominais de referência para a recuperação e o teor do mineral de interesse no concentrado. Neste trabalho foram revisados o processo funcionamento da etapa flotação no processo de separação de minério e três variáveis importantes para manutenção da estabilidade do processo: Nível de polpa, de espuma e densidade da espuma utilizando a Tecnologia Ondas Acústicas.

## REFERÊNCIAS

- 1 Boutin, P. and Tremblay, R., Canadian Patents N° 680576 and 680654, 1962.
- 2 Wheeler, D.A. Big flotation column mill tested, Eng.& Mining Journal, Vol.167, N°11, pp.98-100, 1966.
- 3 Coffinn, V.L. and Mischczak, J. Column flotation at Mines Gaspé, 14th Int. Mineral Processing Congress, paper IV.21, Toronto, Canadá, 1982.
- 4 Finch, J.A. and Dobby, G.S. Column flotation, Pergamon Press, 1st Ed., 1990.
- 5 Luz, Adão B et al, Tratamento de Minérios, 4ª ed, Rio de Janeiro, CETEM,459-494, 2004
- 6 L. G. BERGH, J. B. YANATOS, Advances in flotation column dynamics and measurement. *Em column'91, pag 409, 1991.*