

# Método para determinação da dosagem de coletor em flotação

Frank Edward de Oliveira Rezende \*

1. INTRODUÇÃO
2. DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO
3. CONCLUSÕES
4. BIBLIOGRAFIA

\* Engenheiro Pesquisador e de Processos em  
Tecnologia Mineral, do CEPED



## Resumo

Apresenta-se uma metodologia alternativa que permite determinar, com boa exatidão, a dosagem mínima de coletor que acarrete a flotação dos minerais de interesse, em apenas um ou dois testes em escala de bancada.

O método é menos susceptível a erros experimentais por basear-se em incrementos de recuperação provocados por incrementos de dosagens de coletor, ao invés de recuperações globais obtidas por dosagens únicas, que são afetadas por inúmeras fontes

## 1. Introdução

Apresenta-se uma metodologia de planejamento e análise de resultados de testes de flotação em escala de bancada, que permite estimar uma faixa mais indicada de dosagem de coletor com um mínimo de testes. Dosando-se o coletor em incrementos e analisando-se os resultados graficamente sob a ótica da cinética de flotação, é possível identificar quantos incrementos de coletor são necessários para tornar suficientemente hidrofóbicos os minerais a serem flotados.

## 2. Desenvolvimento do método

### 2.1. Planejamento de testes tradicionais

Durante o planejamento de testes de flotação a serem conduzidos com um minério, para definição de um fluxograma de concentração adequado, o engenheiro pesquisador dispõe de uma série de informações, levantadas durante os estudos mineralógicos, petrográficos e de liberação dos minerais, que permitem, com base em sua experiência e na prática normal de flotação de minérios semelhantes, deliberar quanto às variáveis a serem inicialmente testadas e níveis de variação das mesmas.

As principais variáveis pesquisadas no início de uma campanha de testes em escala de

de erros, tais como teor, moagem, manuseio, etc.

Uma correta interpretação gráfica das recuperações totais obtidas após os vários incrementos de coletor em um mesmo teste, permite, sob a ótica da equação de cinética de flotação na sua forma mais simples, derivada de  $\frac{dC}{dt} = -kC$ , identificar quando uma dosagem extra de coletor já é desnecessária.

São apresentados e discutidos resultados de testes conduzidos com minério de cobre de Caraíba, utilizando diferentes coletores, bem como são citadas as dosagens correspondentes adotadas em escala industrial

laboratório (50 a 2000 g por teste) normalmente são grau de moagem, tipos e quantidades de reagentes, pH da polpa e tempo de retenção. Logicamente, para alguns minérios podem existir outras variáveis tão importantes para a separação como as citadas, como condicionamento, aeração, temperatura, densidade de polpa e qualidade da água.<sup>1</sup>

Com o espetacular desenvolvimento da flotação nas últimas décadas, com novas aplicações industriais e refinadas técnicas de pesquisa, multiplicou-se em muito o número de artigos e publicações relativas a essa técnica de concentração de minerais. Leja<sup>2</sup> relaciona uma série de artigos relativos a Teoria e Prática de Flotação, bem como Conferências e Congressos Internacionais e apresenta uma lista de periódicos que tratam de flotação. Outras boas referências de artigos foram apresentadas por Macdonald & Brison<sup>3</sup> e mais recentemente por Lynch et alii<sup>4</sup>.

As metodologias de pesquisa tradicionais normalmente propõem testar uma variável por vez mantendo as outras fixas ou aplicam técnicas de planejamento estatístico.

Recentemente Klimpel<sup>5</sup> introduziu uma nova maneira de se analisar os resultados de testes tradicionais em escala de laboratório, e que vem merecendo atenção da comunidade científica.

### 2.2. Fundamentos

O método proposto emprega a cinética de flotação em sua forma mais elementar, sem necessidade

de considerar equações mais elaboradas, que levem em consideração granulometria, mineralogia, atividade superficial, recuperação máxima após tempo infinito, etc. Embora flotação seja um processo complexo, com vários mecanismos importantes de transporte de partículas hidrofóbicas, a equação seguinte:

$$\frac{dC}{dt} = -kC \quad (1)$$

onde C é a concentração de partículas minerais de interesse na polpa de minério, k a velocidade de flotação, e t é o tempo, é praticamente obedecida após um intervalo inicial de flotação, quando restam na polpa as partículas de flotação mais lenta.

De acordo com Herbst e Mular<sup>6</sup>, a primeira referência de flotação como um processo obediente à uma lei tal como a equação (1) foi de Garcia-Zuñiga (1935) e mais tarde outros pesquisadores propuseram que a equação de cinética fosse de primeira ordem, no caso Beloglazov (1939), Grunder e Kadur (1940), Volkoya (1946) e Sutherland (1948).

Considerando-se o termo C<sub>0</sub> como a concentração inicial de partículas flotáveis e integrando-se a equação (1) chega-se a:

$$\ln C = -kt + \ln C_0$$

ou

$$\ln \frac{C}{C_0} = -kt$$

A fração C/C<sub>0</sub> é função do tempo e indica quanto do mineral útil remanesce na célula após esse tempo, ou seja, indica quanto ainda não foi recuperado. Portanto, pode-se dizer que:

$$\% \text{ recuperação} = \left(1 - \frac{C}{C_0}\right) \times 100 \quad (2)$$

ou

$$\frac{C}{C_0} = 1 - \frac{\% \text{ recuperação}}{100}$$

$$\text{Assim, } \ln \left(1 - \frac{\% \text{ recuperação}}{100}\right) = -kt \quad (3)$$

A equação (3) é válida para condições teóricas em que a polpa é perfeitamente agitada (perfect mixed flow), constante k a mesma para todas as partículas flotáveis e volume de polpa constante com o tempo.

### 2.3. Resultados experimentais em escala de bancada

Verificou-se experimentalmente que a flotação de partículas mistas e mais finas, que possuem menores constantes k de flotação, praticamente obedece à equação (3), (ver Fig. 1) a menos de uma constante, já que as retas não cruzam o eixo das ordenadas em zero (SF - 323 - etilisopropil tionocarbamato da Shell)

O método para determinar a dosagem de coletor baseia-se em uma cuidadosa interpretação dos gráficos obtidos com base na equação (3), não sendo necessário calcular constantes de flotação (ver Tabela I).

Os testes discutidos a seguir foram conduzidos com minérios de cobre da mina de Caraiíba(BA),

FIGURA 1 - Flotação com dosagem única.

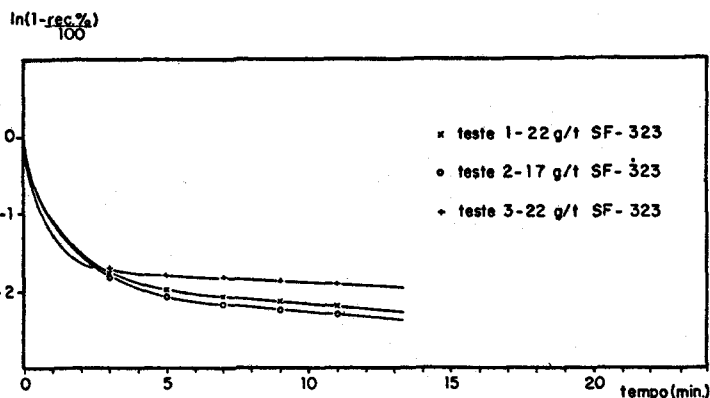


TABELA I: Condições e resultados experimentais. Os três primeiros testes tiveram dosagem única. Somente o teste 6 é um exemplo de aplicação integral do método proposto.

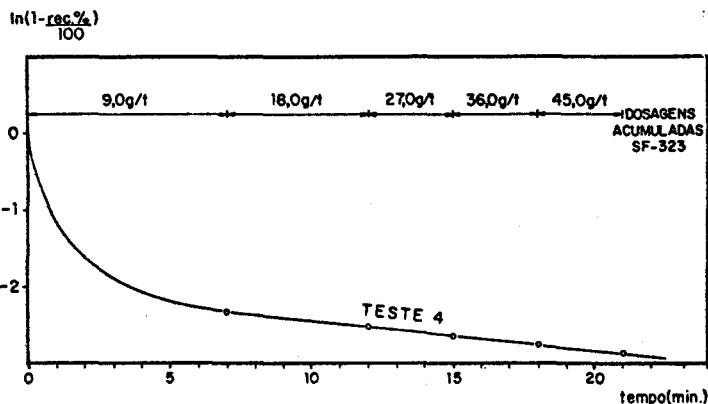
TESTE		1	2	3	4	5	6
Recuperação (%) acumulada após tempo t (minutos)	3	82,7	84,3	82,0	-	-	-
	5	85,5	86,7	83,4	-	-	-
	7	87,2	88,7	84,0	90,1	87,0	71,3
	9	88,2	89,4	84,7	-	-	-
	10	-	-	-	-	-	80,8
	11	88,9	89,9	85,2	-	-	-
	12	-	-	-	92,0	90,1	-
	13	-	-	-	-	-	83,0
	15	-	-	-	93,0	90,8	-
	16	-	-	-	-	-	83,5
	18	-	-	-	93,7	91,3	-
19	-	-	-	-	-	84,3	
21	-	-	-	-	91,6	-	
Dosagem(g/t) parcial efetuada no tempo t (minutos)	0	22	17	22	9	3	4
	7	-	-	-	9	3	2
	10	-	-	-	-	-	2
	12	-	-	-	9	3	-
	13	-	-	-	-	-	2
	15	-	-	-	9	3	-
18	-	-	-	9	3	-	
Tempo de moagem	min.	30	30	30	30	30	20
Granulometria obtida(% passante acumulada)	65#	90	94	85	93	93	95
	200#	60	61	52	68	68	66
	325#	39	39	34	54	54	44
Coletor	-	SF	SF	SF	SF	SF	A
	-	323	323	323	323	113	317
Teor alimentação	%Cu	1,02	0,95	0,85	0,96	0,88	0,68
pH	-	11,5	11,5	11,5	11,5	10,5	8,5
Dosagem espumante MIBC	g/t	36	36	36	36	36	30
Tempo condicionamento após cada dosagem	min.	3	3	3	3	3	1

no próprio laboratório de processos dessa mineração, em 1981, durante os serviços de assistência técnica prestados pelo CEPED à Superintendência de Concentração da Caraiíba Metais S.A.

Quando a quantidade de coletor dosada inicialmente for suficiente para provocar a flotação dos minerais desejados, dosagens complementares não modificam de modo sensível a flotação posterior das partículas finas e/ou mistas, conforme pode-se observar na Fig. 2.

Esse teste indicou e comprovou-se posteriormente na planta piloto e usina industrial da Caraíba que 9 g/t de SF-323 são mais que suficientes.

FIGURA 2 - Flotação com dosagem em etapas - primeira dosagem suficiente e dosagens seguintes inótuas.



A dosagem mínima de coletor que efetive a flotação pode ser determinada quando a primeira dosagem for insuficiente. Assim, uma segunda dosagem, após retirar um primeiro concentrado, provocará a flotação de um conjunto de partículas que teve sua hidrofobicidade incrementada. Se o total de coletor adicionado nas duas vezes ainda for insuficiente, uma terceira dosagem o indicará, e assim por diante. As Figuras 3 e 4 ilustram como a flotação reagiu após dosagens em incrementos.

FIGURA 3 - Flotação com dosagem em etapas em que as três primeiras dosagens foram efetivas para a coleta.

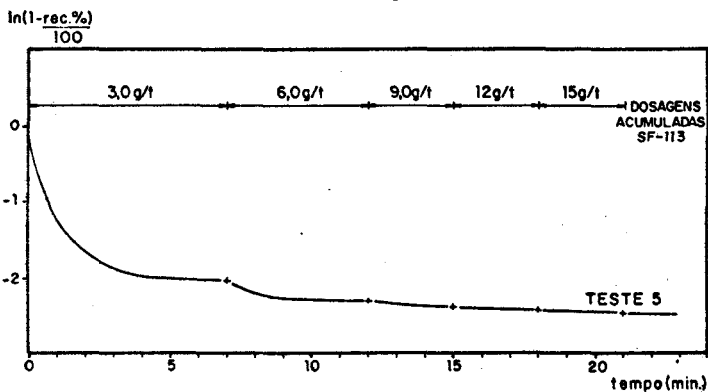
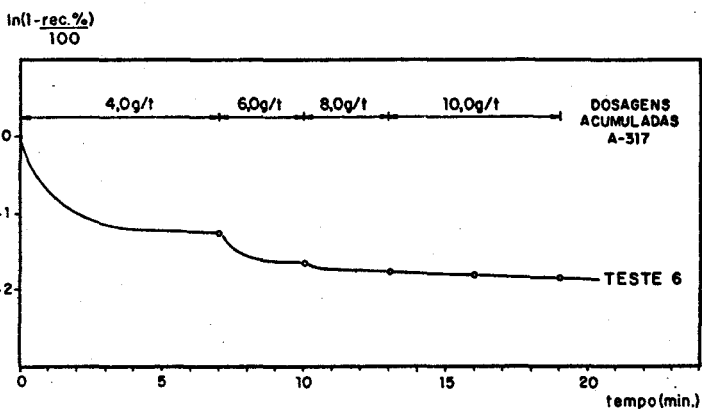


FIGURA 4 - Flotação com dosagem em etapas com três dosagens efetivas. O gráfico é traçado a partir da direita.



No caso do coletor SF-113 (isopropil xantato de sódio da Shell), as duas primeiras dosagens de 3 g/t surtiram efeito bem visível (Fig. 3), enquanto que a terceira dosagem ainda alterou um pouco a flotabilidade das partículas remanescentes na célula.

O gráfico indica, portanto, a faixa 6 a 9 g/t de xantato como uma estimativa inicial da dosagem primária desse coletor. A usina industrial operou muito tempo com dosagem dentro dessa faixa, sendo que atualmente a Caraíba Metais S.A., quando trabalha com esse xantato, o faz com 10 g/t, uma dosagem um pouco mais alta para aumentar a seletividade da flotação primária.

A Fig. 4 (A-317-isobutil xantato de sódio da Cyanamid) indica um comportamento semelhante ao da Fig. 3. A terceira dosagem, totalizando 8 g/t, surtiu algum efeito, porém pequeno. A dosagem ótima estaria entre 6 e 8 g/t. Nesse teste refinou-se o método com a coleta de dois concentrados após a última dosagem, pois garante-se que o último incremento de recuperação é devido somente a tempo extra de flotação.

## 2.4. Metodologia para determinação da dosagem de coletor

Em resumo, o método consiste da realização de um ou mais testes de flotação em condições normais em termos de pH, dosagem de espumante e após moagem que libere a maior parte dos minerais a serem separados, porém dosando o coletor em incrementos, sendo a primeira dosagem inferior à necessária para tornarem hidrofóbicas todas as partículas a serem flotadas.

O espumante deve ser dosado somente uma vez, antes do início da flotação, já que uma adição durante o teste mascararia o efeito real do incremento de coletor.

A dosagem de espumante a ser adotada e pH podem ser estabelecidos com base em testes preliminares ou experiência do pesquisador. Salienta-se que no caso de verificar-se espumação fraca durante o teste, o mesmo deve ser abandonado, e outra amostra deve ser testada com maior dosagem inicial de espumante.

A falta de espumante falseia as conclusões quanto à dosagem de coletor, pois as curvas indicariam serem necessárias grandes quantidades de coletor, e ainda as recuperações finais seriam baixas (menores que 90% da recuperação esperada). Se o valor de pH adotado também for muito inconveniente, mesmo com alta quantidade de espumante a recuperação seria baixa.

O tempo inicial de flotação deve ser de no mínimo 7 minutos (para sulfetos de cobre), seguindo-se novas dosagens com condicionamentos e flotações por 3 minutos. Recomenda-se utilizar no mínimo 1 kg de amostra ou preferencialmente 3 kg para minimizar os erros experimentais. Após a última dosagem devem ser coletados 2 ou 3 concentrados.

Com os rejeitos e concentrados parciais devidamente pesados e analisados, calculam-se as recuperações totais em função do tempo.

De posse das recuperações traça-se o gráfico de acordo com a equação (3), iniciando pela parte certamente linear (incremento de recuperação devido somente a tempo de residência).

Desse modo, fica evidente qual foi a última dosagem de coletor a provocar uma modificação no sistema. As curvas com inclinações mais acentuadas após as dosagens significativas ilustram a realidade, e as mesmas tendem a linearizarem-se paralelamente às partes lineares dos finais dos testes.

A metodologia de Klimpel<sup>5</sup> também permite estimar a dosagem de coletor, porém com um número bem maior de testes e análises químicas.

### 3. Conclusões

Determinada a faixa inicial de dosagem de coletor para a flotação primária pelo presente método, o pesquisador pode então dar sequência à pesquisa nos moldes convencionais. Assim ele pode determinar o grau de moagem, o tipo de espumante, tempo de flotação, pH, etc., e em seguida otimizar a dosagem de coletor.

A presente metodologia tem sido empregada com sucesso no CEPED e na Caraíba Metais S.A. no estudo de novos minérios de cobre (minério da mina Subterrânea-Caraíba, minério de Surubim) assim como na flotação de material carbonoso para limpeza de criolita.

### 4. Bibliografia

- (1) COLEMAN, R.L. Metallurgical testing procedures. Mineral Processing Plant Design. New York, AIME, 1978, p.144-182.
- (2) LEJA, L. Surface Chemistry of Froth Flotation. New York, Plenum, 1982. p.664-745.
- (3) MACDONALD, R.D. & BRISON, R.J. Applied research in flotation. Froth Flotation, 50 th Anniversary Volume. New York, AIME, 1962. p.298-327.
- (4) LYNCH, A. J. et alii. Mineral and Coal Flotation Circuits. New York, Elsevier, 1981, p.273-283.
- (5) KLIMPEL, R.R. An engineering analysis of the effects of chemical reagents in the laboratory evaluation of mineral flotation. In: LATIN AMERICAN CONGRESS OF FLOTATION. Proceedings... Chile, 1979.
- (6) HERBST, J.A. & MULAR, A.L. Modeling and simulation of mineral processing unit operations. Computer Methods for the 80's. AIME, 1979, p.823-836 f.

### Agradecimentos

O autor agradece ao CEPED-Centro de Pesquisas e Desenvolvimento e à Caraíba Metais S.A. pela liberação das informações contidas nesse trabalho, bem como agradece às valiosas colaborações prestadas pelos amigos Alberto A. R. Biava do CEPED e Carlos Eduardo Pereira e Sérgio Augusto Guimarães da Caraíba Metais S.A.