

ESTUDO DE CONCENTRAÇÃO DE MINÉRIOS DE FERRO  
POR FLOTAÇÃO EM COLUNA

O. I. R. Zacharias<sup>1</sup> ; V. L. L. Andrade<sup>2</sup>

É apresentado um estudo, desenvolvido no Centro de Pesquisas da CVRD, sobre concentração de quatro diferentes minérios de ferro (itabirites) por flotação em coluna de 9,1 cm de diâmetro e 600 cm de altura, . São descritos os procedimentos adotados e condições de operação da coluna, bem como os resultados obtidos com cada tipo de minério. Os resultados da flotação em coluna foram comparados com os de ensaios em células mecânicas convencionais (escala piloto) e constatou-se a melhor performance da coluna. Baseado nessa comparação, decidiu-se pela implantação do processo de flotação em coluna no Projeto Timbopeba da CVRD. Também são apresentados nesse trabalho os critérios utilizados no "scale-up" das colunas industriais de Timbopeba.

STUDY OF IRON ORES CONCENTRATION BY COLUMN FLOTATION

A study on the flotation of four different types of iron ores (itabirites) in a 9,1 cm diameter, 600 cm height column flotation, carried out at CVRD Research Center, is presented. The experimental procedure, operating conditions of the column, as well as the results obtained with each type of ore are described. These results were compared with those obtained with conventional mechanical cells and it was observed that the column showed superior performance. Based upon this comparison, it was decided to adopt column flotation in the CVRD "Timbopeba" Project. The criterions for scaling up the results from laboratory to full scale columns are shown.

1- Engenheiro de minas - Centro de Pesquisas / CVRD  
Correspondência: Rua São Paulo, 351 - CEP 30.170.190 - Belo Horizonte - MG - Brasil

2- Engenheira química - M.Sc. - Centro de Pesquisas / CVRD.

## MINÉRIOS ESTUDADOS

Quatro tipos de minérios foram submetidos a estudos de concentração em coluna de flotação: itabiritos oxidados de Timbopeba, finos de Conceição (CFC), médio dos Jones de finos de Conceição (MJF) e um itabirito do Quadrilátero Ferrífero, de terceiros, que não será identificado neste trabalho.

A tabela I resume as principais características de cada minério, após deslamagem.

	TIMBOPEBA	CFC	MJF	TERCEIROS
Teor Fe	47,4	64,1	48,3	55,3
Teor SiO <sub>2</sub>	30,5	6,0	29,4	18,9
Fração + 149 $\mu$ m	17,3	1,17	11,9	2,08
Fração - 44 $\mu$ m	28,7	70,7	30,4	54,6
Fração - 10 $\mu$ m	0,1	6,8	0,3	5,0

Tabela I - Características dos minérios estudados.

## DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS

### Esquema Operacional

Utilizou-se coluna "home-made" com diâmetro interno de 91 mm e 6 m de altura com parede de fibra de vidro e aerador de cerâmica porosa.

Na descarga do underflow foi instalada uma bomba peristáltica, através da qual se fazia o controle do nível da interface polpa/espuma.

A operação da coluna de flotação está esquematizada na figura 1.

Como coletor de quartzo usou-se a amina Flotigan EDA (Hoescht) e, como depressor da hematita, amido de milho Colamil, gelatinizado com soda cáustica na relação de massas soda/amido de 1:4. O pH foi mantido entre 10,0 e 10,5 em todos os ensaios, adicionando-se soda na alimentação da coluna quando necessário.

Para a amostragem do circuito adotou-se o seguinte método: após uma hora de funcionamento da coluna em regime estável de operação, executavam-se três amostragens independentes para determinação da vazão de polpa, vazão de sólidos e análises químicas de Fe e SiO<sub>2</sub> no concentrado e no rejeito. Em todos os ensaios os resultados foram muito constantes, indicando grande estabilidade na operação da coluna.

### DESCRIÇÃO DA COLUNA

h TOTAL 6,2m

∅ 91mm(int) - 101 (ext)

Material: Acrílico

Aeroder: Filtro de água cerâmico

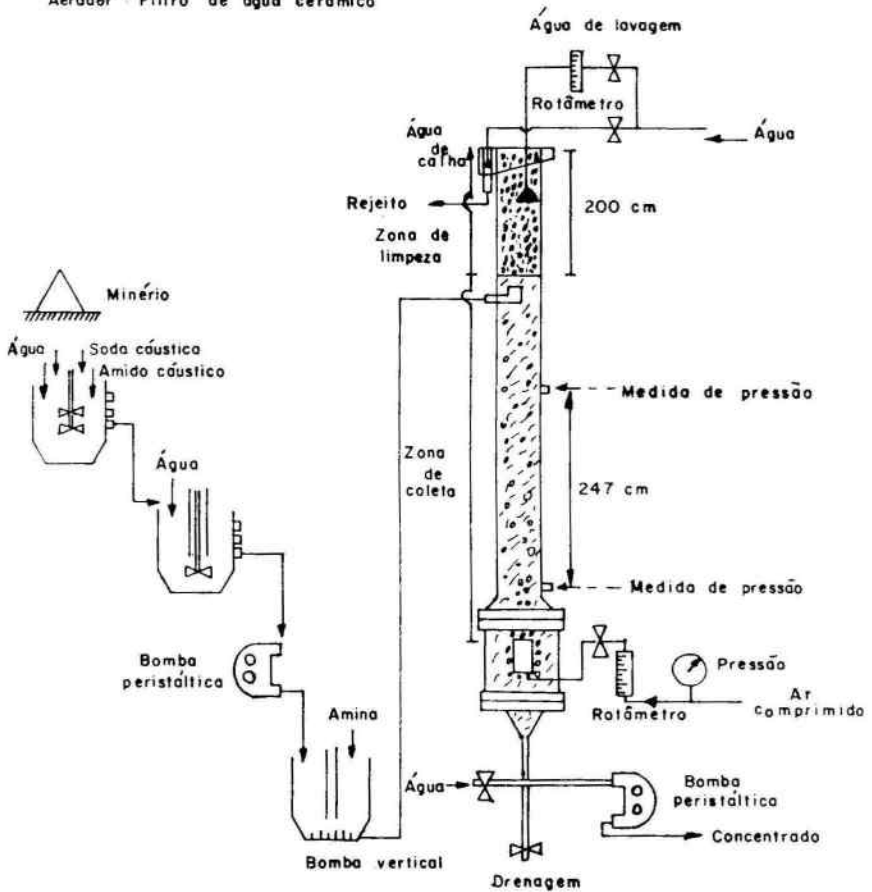


FIG. 1 COLUNA DE FLOTAÇÃO

A tabela II resume os principais parâmetros de operação da coluna para cada minério estudado e a tabela III os resultados obtidos e as dosagens de reagentes. A definição de cada parâmetro se encontra em anexo .

	TIMBOPEBA	CFC	MJF	TERCEIROS
Taxa alim. sólidos (kg/h)	140	160	90	120
% sólidos alimentação	55	60	39	55
D 80 alimentação (µm)	130	50	119	70
D 80 espuma (µm)	148	94	146	98
Tempo residência (min)	6,3	7,8	7,0	12,2
Vel. polpa - Jsl (cm/s)	0,87	0,74	0,72	0,53
Vel. gas - Jg (cm/s)	1,11	1,77	2,54	1,75
Vel. água - Jw (cm/s)	0,48	0,30	0,30	0,34
Vel. "Bias" - Jb (cm/s)	0,30	0,22	0,14	0,05
Taxa Transporte (t/h/m <sup>2</sup> )	7,1	2,2	4,2	5,4
Cap.max.transporte (t/h/m <sup>2</sup> )	22,2	13,3	16,3	10,9
Gas Hold-up (%)	26	21	31	12

Tabela II - Parâmetros de operação da coluna de flotação

	TIMBOPEBA	CFC	MJF	TERCEIROS
Teor Fe alim. (%)	47,4	64,1	48,3	55,3
Teor SiO <sub>2</sub> alim. (%)	30,5	6,0	29,4	18,9
Teor Fe conc. (%)	67,8	67,6	67,9	67,6
Teor SiO <sub>2</sub> conc. (%)	0,63	1,06	1,07	1,04
Rec. Massa (%)	66,7	91,1	67,4	70,2
Rec. Metalúrgica (%)	95,2	96,0	95,0	86,3
Enriquecimento	1,43	1,05	1,41	1,24
Coletor (g/t)	28	38	45	45
Depressor (g/t)	500	500	500	500

Tabela III - Resultados obtidos

## Efeito Da Percentagem De Sólidos Da Alimentação Da Coluna No Controle Do Nível Da Interface

Os testes com os itabiritos de Timbopeba, Conceição e de terceiros foram feitos com alimentação em torno de 55 a 60% de sólidos, porque, na unidade industrial, a alimentação da flotação seria o underflow do circuito de deslamagem por hidrociclones.

No caso do MJF, a alimentação não seria espessada, razão pela qual fixou-se a concentração de sólidos na alimentação dos ensaios em 40%.

Verificou-se que a velocidade de polpa ( $J_{sl}$ ) é de grande importância no processo. Nos ensaios com MJF (40% sólidos) e taxa de alimentação em torno de 150 kg/h de sólidos, observou-se a perda da interface polpa/espuma. Só foi possível controlar a operação da coluna quando se reduziu a taxa de alimentação de 150 para 90 kg/h de sólidos.

Quando a concentração da alimentação era aumentada para 60% de sólidos, a operação da coluna se normalizava com taxas de alimentação em torno de 120 a 140 kg/h de sólidos.

A perda da interface polpa/espuma estaria provavelmente relacionada à alta velocidade da polpa quando se tentou alimentar na taxa de 140 a 150 kg/h de sólidos com alimentação mais diluída.

Encontram-se, na literatura especializada (1), explicações para os fenômenos de perda de fluxo de bolhas e da interface polpa/espuma. É descrito que a interface é perdida quando o "Gas Hold-up" na Zona de Coleta se aproxima daquele da Zona de Limpeza. Observou-se que existe uma regra para a velocidade da polpa: a medida que se aumenta a velocidade da polpa, o valor máximo da velocidade do gás ( $J_g$ ) tem que ser diminuído para se obter estabilidade da interface polpa/espuma.

## Efeito Da Percentagem De Sólidos Da Alimentação Na Aeração Da Coluna

A velocidade de sedimentação dos sólidos em uma polpa aumenta com a diluição dessa polpa, devido à sua menor viscosidade. Por essa razão, foi necessário aumentar-se a vazão do ar nos ensaios a 40% de sólidos.

Nos ensaios com o MJF, a velocidade do ar necessária foi de 2,5 cm/s (limite máximo recomendado pelos fabricantes de colunas). Com velocidades menores (menores vazões de ar) ocorria sedimentação de sólidos na Zona de Coleta. Para os demais casos estudados foi suficiente uma velocidade do ar de 1,8 cm/s.

## Ensaio Comparativos Em Células "Coluna X Mecânicas"

O estudo com o minério de Timbopeba propiciou a realização de ensaios comparativos, em escala piloto, entre flotação em coluna e em células mecânicas.

Os resultados de teor do concentrado e recuperação metalúrgica obtidos na flotação em coluna foram superiores aos obtidos com as células mecânicas.

Observou-se que a coluna foi mais eficiente na retirada do quartzo grosso, além de apresentar menores perdas em ferro nas frações mais finas, pela ação da água de lavagem (ver figuras 2 a 5).

Os ensaios com células mecânicas compreenderam circuito com estágios rougher, dois scavengers e cleaner; enquanto que a flotação em coluna foi feita em um só estágio.



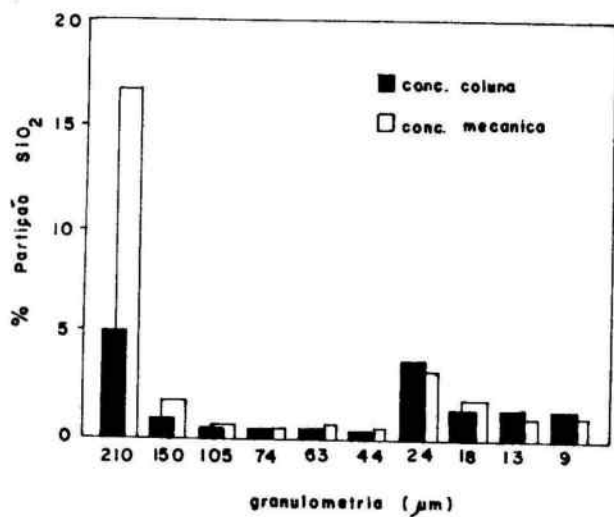


FIG. 2 Partição  $\text{SiO}_2$  para o concentrado

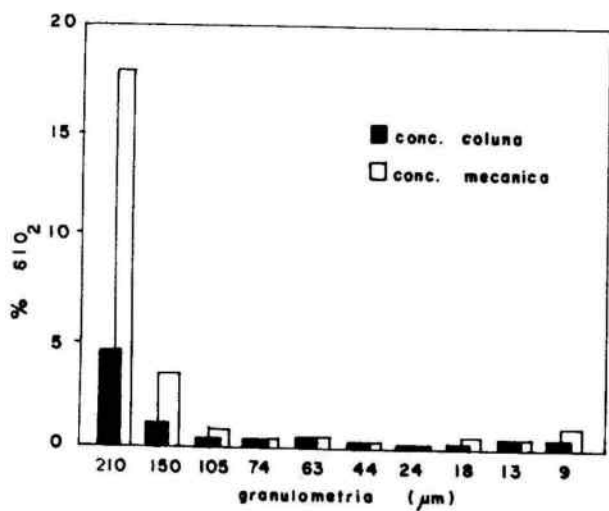


FIG. 3 Teor  $\text{SiO}_2$  concentrado

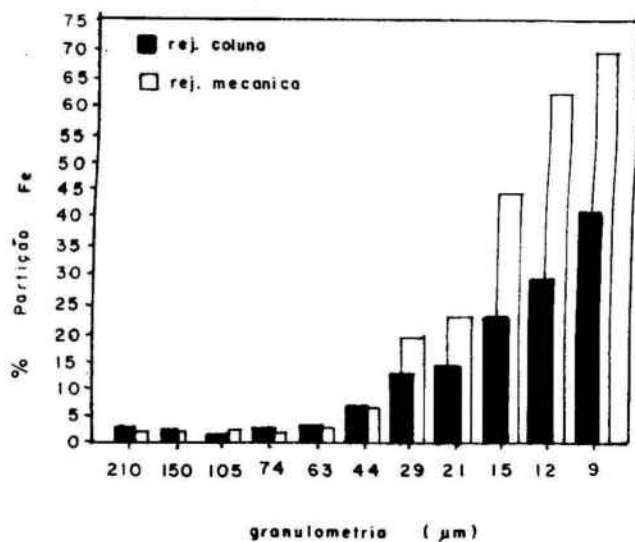


FIG. 4 - Partição Fe para o rejeito

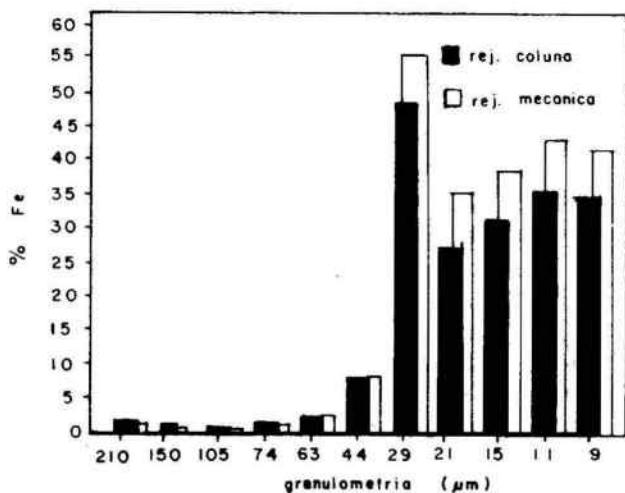


FIG. 5 - Teor Fe do rejeito

A tabela IV resume os principais resultados e consumos de reagentes, para comparação dos dois circuitos.

PARÂMETRO	MECÂNICAS	COLUNA
Recuperação Fe conc.	89 %	93 %
Teor SiO <sub>2</sub> conc.	1,7 %	0,75 %
Dosagem de amina	38 g/t	28 g/t
Dosagem de amido	500 g/t	500 g/t

Tabela IV - Comparação de resultados "coluna x mecânicas"

#### DIMENSIONAMENTO DAS COLUNAS INDUSTRIAIS TIMBOPEBA

Inicialmente o Projeto de Concentração dos Itabiritos da Mina de Timbopeba, localizada no município de Ouro Preto (MG), contemplava a produção exclusiva de pellet-feed para redução direta. Com esse objetivo estudou-se a moagem do minério e sua concentração por flotação em células mecânicas e em coluna.

Devido aos melhores resultados obtidos com a coluna de flotação e também ao menor custo de investimento, optou-se por esse processo para a implantação do projeto.

Foi desenvolvido então, junto à COMINCO, um trabalho de dimensionamento das colunas industriais. Alguns aspectos desse trabalho serão mostrados a seguir.

Em função do mercado, o projeto inicial foi alterado para produção conjunta de sinter-feed e pellet-feed. Manteve-se, porém, o processo de flotação em coluna e um novo dimensionamento está sendo realizado.

Os ensaios com coluna de flotação em planta piloto produziram concentrados com teores dentro das especificações de mercado, apresentando alta recuperação metalúrgica com apenas um estágio (rougher) de concentração.

Por medida de precaução, decidiu-se, porém, implantar no projeto um segundo estágio (cleaner), que permitisse maior flexibilidade operacional e maior garantia da qualidade do concentrado, possibilitando ao processo a assimilação de possíveis variações da taxa de alimentação, da granulometria e dos teores da alimentação nova.

No trabalho de dimensionamento, desenvolvido junto a Cominco, foram adotados os seguintes critérios:

- Constantes cinéticas.
- Taxa de carregamento de ar ("Air loading").
- Capacidade de transbordo periférico.
- Velocidade da polpa.

A tabela V mostra os diâmetros encontrados para as colunas rougher, para atender aos critérios de dimensionamento:

CRITÉRIO	2 CÉLULAS	3 CÉLULAS
Cinético	2,2	1,8
Carregamento ar	3,6	2,9
Transbordo	3,8	2,0
Vel. polpa	2,9	2,3

Tabela V - Diâmetro das colunas industriais (m)

Para o cálculo do volume de ar necessário para transportar o rejeito para a superfície da coluna, foi considerada uma capacidade de carregamento de 122 kg de massa de rejeito/m<sup>3</sup> de gás. Com esse valor e considerando-se que a velocidade superficial do gás deve estar entre 1,5 e 2,5 cm/s, foram calculados os valores da área máxima e mínima para a capacidade projetada. Em escala piloto as taxas de carregamento obtidas foram bem superiores à considerada; segundo a Cominco, a capacidade de transporte do ar depende de vários fatores, dentre eles: tamanho das partículas a serem carreadas (quanto mais finas, menor a taxa de transporte), tamanho das bolhas (bolhas maiores transportam relativamente menos massa), densidade e angularidade do material a ser transportado.

Para o critério de capacidade de transbordo periférico, foram considerados valores obtidos pela experiência da Cominco em outros projetos de dimensionamento de colunas de grande porte.

Para atender ao critério de velocidade da polpa, considerou-se que esse valor não pode ser maior que 2,5 cm/s, de preferência menor que 2,0 cm/s.

Para uma taxa de alimentação de 800 t/h, o dimensionamento resultou em duas colunas de 4 m de diâmetro com 12 m de altura, dotadas de calhas internas para recolhimento de espuma, no estágio rougher.

O estágio cleaner terá uma coluna com as mesmas dimensões do rougher e deverá ser equipado com um "froth crowder", artifício que propicia maior estabilidade à espuma.

Pode-se constatar que, para o projeto Timbopeba, os principais parâmetros que definiram o diâmetro das células foram: as capacidades de transbordo periférico e de transporte das bolhas de ar, parâmetros estes que em geral não merecem relevância nas referências bibliográficas. Estas descrevem, na sua maior parte, aplicações de colunas de flotação em sulfetos, nas quais a massa flutuada não é grande, o que pode não ser o caso dos itabiritos, dependendo do teor de  $\text{SiO}_2$  da alimentação.

## CONCLUSÃO

Os estudos levaram à conclusão que o processo de flotação em coluna tem um grande campo de aplicação nos circuitos de concentração de "pellet feed". Nas oportunidades em que foi testado em comparação ao circuito convencional, com células mecânicas, apresentou vantagens de melhor teor e recuperação metalúrgica no concentrado, simplicidade de circuito e menor custo de investimento.

Cuidados especiais devem ser tomados na transposição dos dados para "scale up", uma vez que alguns parâmetros importantes nas aplicações para minérios de ferro itabiríticos não são relevantes nos casos descritos na literatura, na sua maioria referentes a sulfetos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) - M. Xu; J. A. Finch; U. Salas - "Maximum Gas and Bubble Surface Rates in Flotation Columns". IJMP, 32 (1991) 233-250.
- (2) - G. S. Dobby - Column Flotation - Escola de Engenharia UFMG - 1989

## (ANEXO) - DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE OPERAÇÃO DA COLUNA

- $J_{sl}$  = velocidade da polpa (cm/s) = vazão do underflow / área da coluna.
- $J_g$  = Velocidade superficial do ar (cm/s) = vazão de ar calculada no topo da coluna / área da coluna.
- $J_w$  = velocidade superficial da água de lavagem (cm/s) = vazão da água de lavagem / área da coluna.
- "BIAS" = Parcela da água de lavagem que atravessa a interface das zonas de coleta e limpeza, em cm<sup>3</sup>/s.
- $J_b$  = velocidade do "Bias" (cm/s) = "Bias" / área da coluna.
- $C_a$  = Taxa de Transporte (t/h/m<sup>2</sup>) = vazão de sólidos para o overflow, por unidade de área da coluna. Teoricamente (2) o valor máximo de  $C_a = 0,041 \cdot d_{80} \cdot d_{sol}$ .
- "Gas Hold-up" = Fração volumétrica ocupada pelo ar na Zona de Coleta (%).