



CETEM

Série Rochas e Minerais Industriais

Influência do Equipamento na Flotação por Espumas: célula mecânica versus coluna

Fernando A. G. Pitta

PRESIDENTE DA REPÚBLICA: Fernando Henrique Cardoso
VICE-PRESIDENTE DA REPÚBLICA: Marco Antônio Maciel
MINISTRO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA: Ronaldo Mota Sardenberg
SECRETÁRIO EXECUTIVO: Carlos Américo Pacheco
SECRETÁRIO DE COORDENAÇÃO DAS UNIDADES DE PESQUISA:
João E. Steiner

CETEM - CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

DIRETOR: Fernando A. Freitas Lins
COORD. DE PROJETOS ESPECIAIS (CPE): Juliano Peres Barbosa
COORD. DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS (CTM): Adão Benvindo da Luz
COORD. DE METALURGIA EXTRATIVA (CME): Ronaldo Luiz C. dos Santos
COORD. DE QUÍMICA ANALÍTICA (CQA): Maria Alice C. de Góes
COORD. DE ESTUDOS E DESENVOLVIMENTO (CES): Carlos César Peiter
COORD. DE ADMINISTRAÇÃO (CAD): Cosme Antônio Moraes Regly

ISSN - 1518-9155

INFLUÊNCIA DO EQUIPAMENTO NA FLOTAÇÃO POR ESPUMAS: CÉLULA MECÂNICA VERSUS COLUNA

FERNANDO A. G. PITA

Professor Auxiliar do Departamento de Ciências da
Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da
Universidade de Coimbra, Portugal

SÉRIE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS - SRMI

CORPO EDITORIAL

Editor

Adão Benvindo da Luz

Sub-Editor

Gildo de Araújo Sá Cavalcanti de Albuquerque

Membros Internos

Adriano Caranassios, Antônio Rodrigues de Campos,
Fernando Freitas Lins, Francisco Wilson Hollanda Vidal, Jurgen Schnellrath

Membros Externos

Arthur Pinto Chaves (USP), Benjamín Calvo Pérez (Universidade Politécnica de Madri), Carlos Adolpho Magalhães Baltar (UFPE), Gladstone Motta Bustamante (Consultor), Hélio Antunes Carvalho de Azevedo (CBPM), José Carlos da Rocha (INT), Marsis Cabral Júnior (IPT), Pêrsio Souza Santos (USP), Renato Ciminelli (Consultor)

A Série Rochas e Minerais Industriais publica trabalhos que busquem divulgar tecnologias de aproveitamento e agregação de valor a rochas e minerais industriais.

O Conteúdo deste trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

Jackson de F. Neto COORDENAÇÃO EDITORIAL
Vera Lúcia Ribeiro EDITORAÇÃO ELETRÔNICA/CAPA

Pita, Fernando A. G.

Influencia do Equipamento na Flotação por Espuma: célula mecânica versus coluna/Fernando A. G. Pita - Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001.

23p. (Série Rochas e Minerais Industriais, 5)

1. Rochas Ornamentais. 2. Minerais Industriais.
I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Título. III. Série.

ISBN 85-7227-151-1

ISSN 1518-9155

CDD 553

Sumário

RESUMO/ABSTRACT _____	5
1. INTRODUÇÃO _____	7
2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL ____	9
3. METODOLOGIA DE ANÁLISE _____	11
4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS ____	12
4.1 Amostra Total, Arraste e Flotação Verdadeira _____	12
4.2 Influência da Granulometria das Partículas _____	13
4.2.1 Fração < 25 mm _____	14
4.2.2 Fração 25-45 mm _____	15
4.2.3 Fração 45-63 mm _____	16
4.2.4 Fração > 63 mm _____	17
5. CONCLUSÕES _____	21

Resumo

Uma das soluções para a melhoria da flotação de material extremamente fino é a utilização da flotação em coluna. No presente trabalho, foram comparados os resultados da flotação de impurezas minerais contidas num caulim, usando célula de laboratório Denver e uma coluna de flotação de laboratório. Nesta, tal como na célula convencional, o flotado foi recolhido continuamente, e o não flotado retornava à zona de coleta.

Foi analisado o comportamento de quatro frações granulométricas usando os dois tipos de equipamento.

A flotação em coluna conduziu a melhores resultados para as partículas de granulometria fina, isto é, maiores remoções das impurezas de granulometria fina. Elevadas alturas de espuma na coluna possibilitam menor contribuição de arraste, conduzindo assim a separações mais seletivas.

Para partículas com granulometria superior a 63 μm , os dois equipamentos conduziram a resultados semelhantes, observando-se até maiores recuperações na célula convencional, para minerais menos hidrofóbicos. Estes são mais sensíveis ao tipo de equipamento, requerendo diferentes tempos de contato partícula/bolha, nos dois tipos de equipamento.

Palavras Chaves: Coluna, célula convencional, flotação de finos, arraste, flotação verdadeira, caulim

Abstract

One possible solution to improve the flotation of extremely fine material is the use of a column flotation instead of a conventional cell. In the present study we have compared the results from the flotation of penalizing minerals of a kaolin ore in a Denver laboratory cell and in a laboratory flotation column. In this case, as in the cell, the floated material was collected continually but the no floated material returned to the collection zone.

We also analyse the behaviour of four size fractions in the two equipment types.

For fine particles the column flotation provided better results, meaning greater recoveries of the penalizing fine minerals and, for high froth heights, it enables lower contribution of entrainment, leading so to more selective separations.

For particles size greater than 63 μm , the two equipments lead to similar results, also being observed higher recoveries in the conventional cell for less hydrophobic minerals. These are more sensitive to the type of equipment, suggesting different contact times between particles and bubbles in these two equipments.

Keywords: flotation, flotation cell, column flotation, entrainment, true flotation, kaolin

1. INTRODUÇÃO

A flotação por espuma tornou-se, nas últimas décadas, o processo mais importante de separação de minerais. A obtenção de bons resultados depende não só das características do próprio minério e do tipo e concentração de reagentes, mas também do tipo de equipamento utilizado. YOUNG (1982) classifica os equipamentos de flotação em quatro classes: a) células mecânicas; b) células pneumáticas; c) separadores por espumas; d) colunas de flotação.

Na indústria mineira utilizam-se fundamentalmente as células mecânicas e a coluna de flotação. Enquanto o primeiro tipo tem mais de um século de existência, a coluna surgiu pela primeira vez em 1962 no Canadá (WHEELER, 1988), tendo desde então sofrido um rápido desenvolvimento, sendo hoje largamente utilizada. O modo de promoção da colisão entre as partículas e as bolhas constitui uma das características que diferencia o processo de flotação operado em cada um daqueles equipamentos. Na célula mecânica, a agitação provocada por um agitador (rotor), é responsável pela suspensão das partículas e sua conseqüente colisão com as bolhas. Esta agitação pode também ser responsável pelo destacamento de algumas das partículas ligadas às bolhas, sendo este tanto maior quanto mais intensa for a agitação.

Na coluna, a colisão entre as partículas e as bolhas resulta da alimentação da polpa se fazer próximo do topo da coluna e a alimentação do ar pelo fundo da coluna, originando-se assim escoamento em contracorrente das partículas e das bolhas. Na coluna, a agitação é menor que na célula, sendo portanto também menor o risco de destruição dos agregados formados, fazendo-se sentir sobretudo na transição polpa/espuma.

O modo operacional da coluna apresenta algumas vantagens em relação à célula. Na célula, apenas uma percentagem do tempo de residência das partículas na zona da polpa é produtivo, pois quando as partículas saem da zona ativa ou zona de agitação, a probabilidade de ocorrer colisão e ligação entre as partículas e as bolhas é praticamente nula. Na coluna, como o ponto de adição da alimentação se situa próximo do topo e o ponto de adição do ar se situa na base (da coluna), todo o tempo de residência das partículas no interior da coluna, constitui-se em um tempo produtivo para a ocorrência da coleta. Esta é a razão pela qual as colunas exigem um volume de ar inferior ao das células. WHEELER (1988) refere que uma coluna necessita de cerca de 10 a 15 % do volume do ar exigido para igual processo de flotação a decorrer numa célula.

Uma outra característica da coluna, que lhe confere maior rendimento, resulta da sua configuração vertical, estando a zona de lavagem por cima da zona de recuperação. Assim, quando sob a ação da lavagem ou quando na interface polpa-espuma ocorrer destacamento e drenagem de partículas hidrofóbicas, a probabilidade de ocorrer a sua recuperação é elevada, pois antes delas serem rejeitadas terão de percorrer toda a zona de recuperação.

Uma outra vantagem da coluna é a de se poder trabalhar com elevada altura de espuma e de se poder utilizar água de lavagem. Assim, neste equipamento, a obtenção de concentrados de elevado teor não constitui problema, pois com a adição de água de lavagem, a quantidade de material arrastado é facilmente controlável. A dificuldade está em obter, ao mesmo tempo, recuperações e teores elevados nos concentrados.

Assim, na flotação de partículas finas deve obter-se melhores resultados quando se utiliza a coluna, pois esta permite aumentar a recuperação por flotação verdadeira, resultado da maior probabilidade de colisão entre as partículas e as bolhas e também porque ela conduz a menores recuperações por arraste, pois é possível trabalhar com elevadas alturas de espuma e utilizar água de lavagem, promovendo-se a drenagem do material arrastado.

A granulometria das partículas a beneficiar por flotação é uma das principais variáveis condicionadoras deste processo de separação. Porém, a sua influência poderá fazer-se sentir de modo diferente na célula e na coluna de flotação. Assim, em cada um dos equipamentos utilizados (célula versus coluna), foram analisados os comportamentos de quatro frações granulométricas.

No presente trabalho, foram realizados ensaios de flotação, em escala de bancada, usando uma célula e uma coluna, nas mesmas condições químicas, visando a flotação das impurezas do caulim, nomeadamente: quartzo, óxidos de ferro, ilmenita, turmalina e rutilo. Para as diferentes condições de trabalho, quantificou-se a contribuição do arraste e da flotação verdadeira, para a amostra total e para quatro frações granulométricas ($< 25 \text{ mm}$; $25\text{-}45 \text{ mm}$; $45\text{-}63 \text{ mm}$ e $> 63 \text{ mm}$) procurando assim analisar a influência do tipo de equipamento naqueles dois fenômenos.

2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Para o estudo da influência do tipo de equipamento no arraste e na flotação verdadeira dos minerais hidrofóbicos contaminantes do caulim, foram realizados ensaios de flotação numa célula Denver com capacidade de 3 L e numa coluna de flotação com uma altura de 3,40 m e um diâmetro de 7,2 cm, conforme se representa na figura 1. Os reagentes utilizados e as condições de trabalho são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Tipo de reagentes e condições de trabalho dos ensaios de flotação

REAGENTE	CONCENTRAÇÃO
Regulador de pH NaOH	pH = 9,5
Dispersante Silicato de Sódio	0,9 ml/Kg
Coletor Ácido Oléico	2,9 ml/Kg
Ativador Petróleo	0,73 ml/Kg
Conc. de Sólidos	17,5%

Na célula mecânica, o condicionamento foi realizado na própria célula, iniciando-se a flotação após a injeção do ar. Na coluna, o condicionamento foi realizado em condicionador; a seguir a polpa era introduzida na coluna, onde o processo de flotação era iniciado após a adição do ar. O material não flotado retornava à coluna e o flotado era recolhido ao longo do ensaio, originando cinco frações de material, correspondentes aos intervalos de tempo (0-0,5), (0,5-1), (1-2), (2-4) e (4-8) minutos.

Para possibilitar a realização dos ensaios de batelada na coluna, retornando o não flotado à zona da alimentação, e para que o volume da polpa na coluna se mantenha constante ao longo do ensaio, torna-se necessário que o volume de polpa condicionada seja ligeiramente superior ao volume útil da coluna. Assim, nestes ensaios de batelada ou pseudo-batelada, o não flotado mais o remanescente da alimentação, constituem a alimentação da coluna, saindo o flotado continuamente pelo topo, conforme representado na figura 1.

Neste estudo, utilizamos o teor do flotado em óxido de ferro, óxido de titânio e óxido de manganês e respectivas recuperações, aplicado ao caulim global e aplicado às quatro frações granulométricas, atrás referidas.

Numa primeira fase verificou-se a influência do equipamento na recuperação total dos três óxidos, para posteriormente aplicarmos este estudo a cada uma das frações granulométricas.

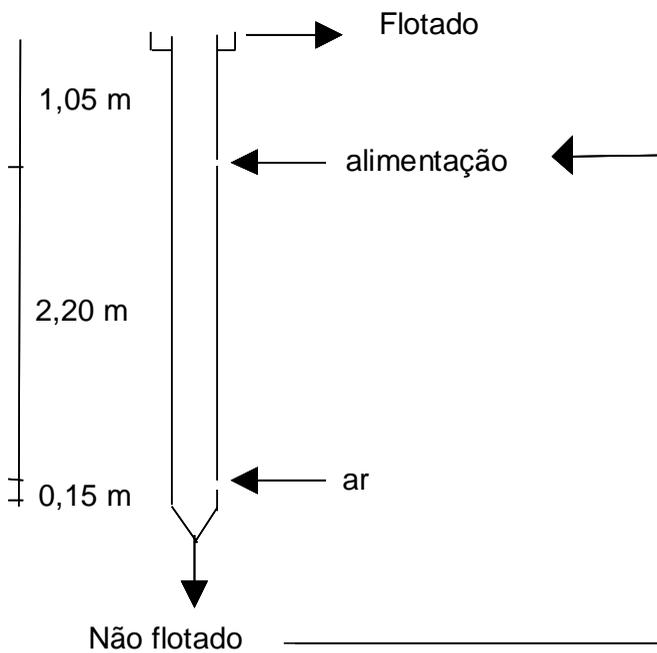


Figura 1 - Esquema da coluna de laboratório utilizada

3. METODOLOGIA DE ANÁLISE

Dada a especificidade de cada um dos equipamentos, é impossível trabalhar nos dois casos em condições rigorosamente iguais, pois foram utilizados modos diferentes de aeração e diferentes alturas e superfície de espuma. Este fato levanta-nos algumas dificuldades na interpretação e comparação dos resultados obtidos nos dois equipamentos. Assim, para fazer tal comparação foi necessário encontrar um meio expedito para realizar tal estudo. Para tal, comparou-se a qualidade da separação operada nos dois equipamentos, quando nestes são obtidas semelhantes recuperações dos três óxidos penalizantes, isto é, para recuperações semelhantes, determinou-se a contribuição do arraste e da flotação verdadeira nos dois equipamentos. Estas contribuições foram determinadas pelo método de ROSS (1990).

Na célula, manteve-se constante a altura de espuma, cerca de 4 cm. Porém, na coluna trabalhou-se com diferentes alturas de espuma, obtendo-se diferentes resultados para cada uma delas. Assim, para poder comparar os resultados, foi fundamental encontrar a altura de espuma na coluna a qual correspondesse resultado semelhante na célula. Para esta altura, comparou-se a seletividade da separação nos dois equipamentos, isto é, para as mesmas recuperações, determinou-se qual a contribuição do arraste e da flotação verdadeira.

Relativamente à recuperação versus altura de espuma na coluna, verificou-se que existe uma relação linear entre elas, que é descrita pela expressão $R_i = a - bh$; sendo R_i a recuperação de cada um dos três óxidos analisados, h a altura da espuma, a a recuperação quando a altura da espuma é nula, e b o coeficiente de regressão, que traduz a influência da altura da espuma na recuperação. Esta expressão aplica-se também à recuperação por arraste e por flotação verdadeira, determinadas pelo método de ROSS.

4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

4.1 AMOSTRA TOTAL, ARRASTE E FLOTAÇÃO VERDADEIRA

Analisou-se a influência do tipo de equipamento na recuperação dos três óxidos (ferro, titânio e manganês), ao fim de quatro minutos, correspondente à amostra total, isto é, sem efetuar o estudo do efeito do tamanho das partículas.

De acordo com a metodologia anteriormente descrita, determinou-se previamente a relação entre a recuperação total, por arraste e por flotação verdadeira com a altura da espuma na coluna, tendo-se verificado que, para os três óxidos, aquelas recuperações são inversamente proporcionais à altura da espuma. As equações das retas de regressão que relacionam a recuperação dos três óxidos, ao fim de quatro minutos, e a altura da espuma (h) expressa em centímetros, são as seguintes:

$$R_i \text{ FeO} = 14.82 - 0.274 \times h \quad (R^2 = 0.886) \quad (1)$$

$$R_i \text{ TiO}_2 = 22.63 - 0.395 \times h \quad (R^2 = 0.864) \quad (2)$$

$$R_i \text{ MnO} = 33.62 - 0.457 \times h \quad (R^2 = 0.949) \quad (3)$$

Na figura 2 representamos a recuperação total, por arraste e por flotação verdadeira dos três óxidos na célula e na coluna, para quatro diferentes alturas de espuma (10, 15, 20 e 25 cm). Os dados relativos à coluna foram determinados a partir da equação da reta de ajuste, que relaciona a recuperação com a altura da espuma. O ajuste relativo ao arraste e à flotação verdadeira é realizado sobre dados determinados pelo método de ROSS e não sobre dados experimentais.

A análise dos resultados apresentados permitiram concluir que a recuperação total do óxido de titânio e do óxido de manganês na célula é semelhante à da coluna, quando nesta a altura da espuma é de aproximadamente 25 cm. Já para o óxido de ferro, essa altura é de 15 cm. Assim, pode-se afirmar que para uma altura de espuma inferior a 15 cm, a recuperação dos três óxidos na coluna é superior à da célula. Por outro lado, verificou-se que quando a recuperação total nos dois equipamentos é semelhante, a recuperação, devida exclusivamente ao arraste, é maior na célula.

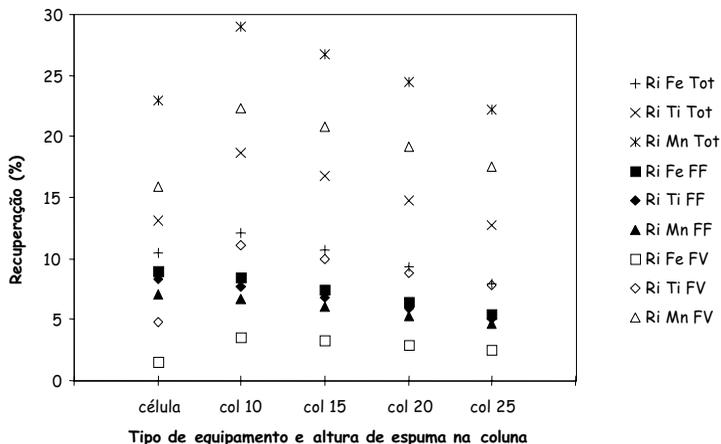


Figura 2 - Recuperação total, por arraste (FF) e por flotação verdadeira (FV) dos três óxidos ao fim de quatro minutos, versus tipo de equipamento de flotação e versus altura de espuma na coluna.

Quando nos dois equipamentos é semelhante a recuperação devida ao arraste, é maior a recuperação devida à flotação verdadeira na coluna. Assim, pode-se concluir que, para uma dada altura de espuma, a maior recuperação na coluna, resulta da maior contribuição da flotação verdadeira e não da maior contribuição do arraste. Isto permite afirmar que a separação na coluna é mais seletiva que na célula.

4.2 INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DAS PARTÍCULAS

Para o estudo da influência da granulometria e sua relação com o tipo de equipamento utilizado, foram analisados a recuperação total, a recuperação devida ao arraste e devida à flotação verdadeira dos três óxidos na célula e na coluna ao fim de quatro minutos de flotação, para quatro frações granulométricas (< 25 mm; 25-45; 45-63 e > 63 mm).

4.2.1 Fração < 25 mm

Na figura 3 é apresentada a recuperação total, por arraste e por flotação verdadeira dos três óxidos, ao fim de quatro minutos de flotação, na célula e na coluna, para quatro diferentes alturas de espuma para a fração inferior a 25 mm. Tal como para a amostra total, as recuperações na coluna, para diferentes alturas de espuma, foram determinadas a partir das equações das retas de regressão que relacionam a recuperação com a altura da espuma.

Uma vez que cerca de 97% do produto tratado (caulim) apresenta um granulometria inferior a 25 mm, e como grande percentagem dos minerais a eliminar se encontra nessa faixa granulométrica (PITA, 2000), as conclusões obtidas para a amostra total aplicam-se a esta fração granulométrica. Assim, pode-se afirmar que na coluna, para uma altura de espuma inferior a 15 cm, se obtêm maiores recuperações dos minerais a eliminar.

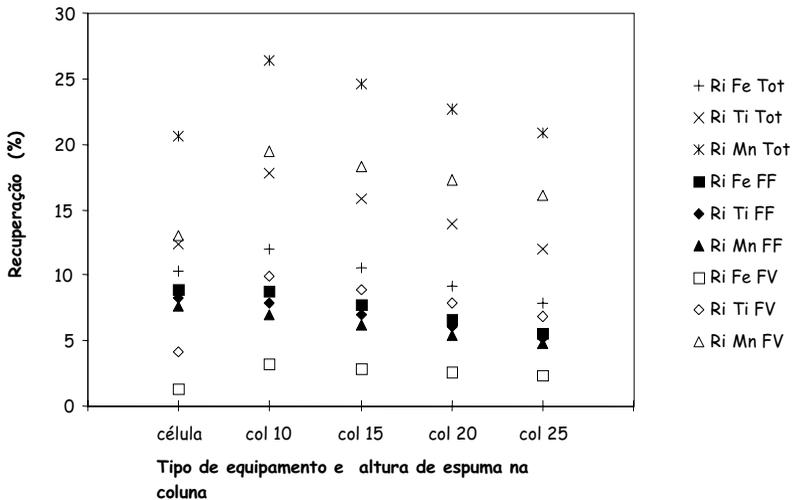


Figura 3 - Recuperação total, por arraste (FF) e por flotação verdadeira (FV) dos três óxidos ao fim de quatro minutos para a fração < 25 mm, versus tipo de equipamento e versus altura de espuma na coluna

Tal como sucede para a amostra total, a melhoria de resultados na coluna resulta da maior contribuição da flotação verdadeira, pois para a mesma recuperação total nos dois equipamentos continua a ser menor a

contribuição do arraste na coluna. A recuperação por arraste dos três óxidos na célula é semelhante à da coluna, quando nesta a altura da espuma é de aproximadamente 8 cm. Para esta altura de espuma os fenômenos de drenagem ainda são pouco intensos, significando que esta faixa granulométrica é arrastada com a mesma intensidade nos dois equipamentos. Para uma altura de espuma superior a 8 cm a recuperação por arraste na coluna é inferior à da célula. Por outro lado, para 8 cm de altura de espuma, a coluna conduz a maiores recuperações dos três óxidos pela flotação verdadeira. Para os óxidos de ferro e titânio, a recuperação na coluna é cerca de duas vezes superior à da célula. Esta melhoria dos resultados é menos significativa para o óxido de manganês.

4.2.2 Fração 25-45_{mm}

Na figura 4 representamos a recuperação total, a recuperação devida ao arraste e devida à flotação verdadeira dos três óxidos ao fim de quatro minutos, para a fração granulométrica 25-45_{mm}. Para as quatro alturas de espuma na coluna, as recuperações foram obtidas a partir da equação da reta de regressão que relaciona a recuperação com a altura da espuma.

De um modo geral, verificou-se que a diferença de resultados obtidos nos dois equipamentos não é tão significativa como para a fração granulométrica inferior a 25_{mm}. Esta diferença é ainda menos significativa para o óxido de manganês. Na célula obtêm-se recuperações por flotação verdadeira semelhantes às da coluna para uma altura de espuma de aproximadamente 20 cm. Mesmo para pequenas alturas de espuma, a recuperação por flotação verdadeira na célula apenas é ligeiramente inferior à da coluna.

Estes dados resultam da maior facilidade de flotação das partículas grossas na célula relativamente às partículas finas.

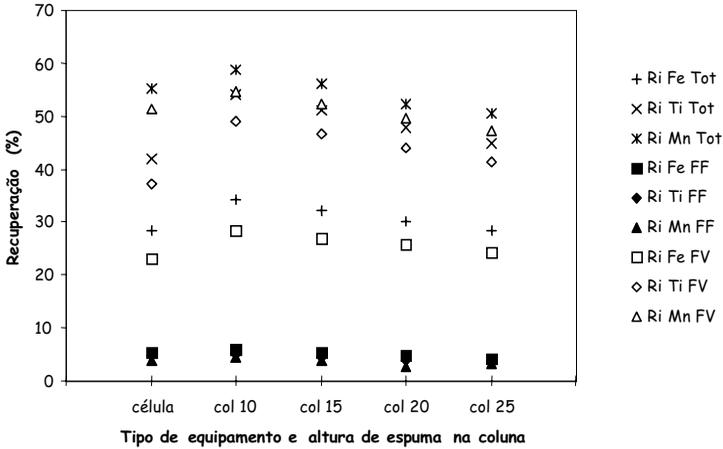


Figura 4 - Recuperação total, por arraste (FF) e por flotação verdadeira (FV) dos três óxidos ao fim de quatro minutos para a fração 25-45 mm, versus tipo de equipamento e versus altura de espuma na coluna

Observou-se, ainda, que a célula conduz a recuperações por arraste semelhantes às da coluna, quando nesta a altura de espuma é de aproximadamente 10 cm. Para maiores alturas de espuma na coluna, a célula conduz a recuperações por arraste, ligeiramente maiores.

Também para esta fração, podemos afirmar que a coluna conduz a separações mais seletivas, pois para recuperações totais iguais, ocorre maior contribuição da flotação verdadeira e, obviamente, menor contribuição do arraste.

4.2.3 Fração 45-63 mm

Na figura 5, são apresentadas as recuperações total, por arraste e por flotação verdadeira, ao fim de quatro minutos dos três óxidos, na célula e na coluna, para quatro alturas de espuma para a fração granulométrica 45-63 mm.

Observou-se que, para esta fração granulométrica, a célula conduz a resultados semelhantes aos da coluna, quando nesta se trabalha com aproximadamente 10-15 cm de altura de espuma.

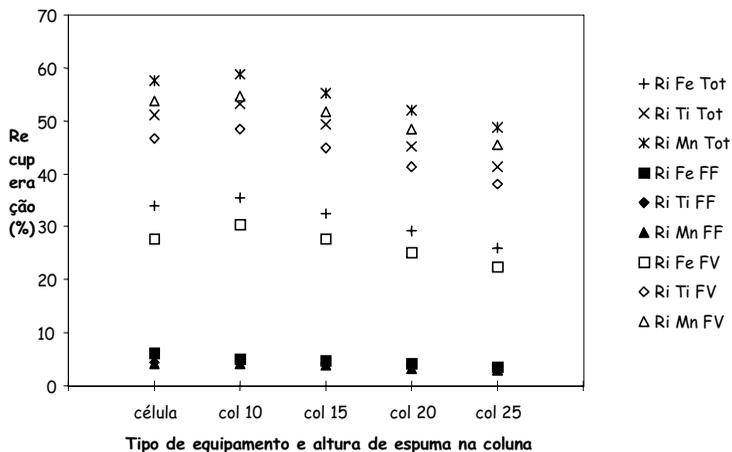


Figura 5 - Recuperação total, por arraste (FF) e por flotação verdadeira (FV) dos três óxidos ao fim de quatro minutos para a fração 45-63 mm, versus tipo de equipamento e versus altura de espuma na coluna

Continuou-se a observar que na célula a recuperação por arraste dos três óxidos era semelhante à da coluna quando nesta a altura de espuma era de aproximadamente 8 cm.

Assim, para os três óxidos pode-se afirmar que para alturas de espuma superiores a 15 cm, as recuperações totais na coluna eram inferiores às da célula. Isto resulta não apenas da diminuição da recuperação por arraste, mas sobretudo da diminuição da recuperação por ação da flotação verdadeira. Deste modo, pode-se concluir que, para esta fração granulométrica, a coluna não conduz a recuperações significativamente maiores e mais seletivas que a célula.

4.2.4 Fração > 63_{mm}

Por fim, é apresentada na figura 6 a recuperação total, devida ao arraste e à flotação verdadeira dos três óxidos, na célula e na coluna, para a fração granulométrica superior a 63 mm, ao fim de quatro minutos.

Verificou-se que, em relação aos óxidos de manganês e titânio, a célula conduz a recuperações por flotação verdadeira semelhantes às da coluna quando nesta se trabalha com 10 a 15 cm de altura de espuma.

Verificou-se ainda que, para os três óxidos e para 10 cm de altura de espuma, a coluna conduz a recuperações por arraste semelhantes às da célula, significando que o grau de arraste nos dois equipamentos é semelhante.

Relativamente ao óxido de ferro, verificou-se que a célula conduz a maior recuperação por flotação verdadeira, mesmo quando na coluna é pequena a altura da espuma. Esta característica só foi observada para esta fração e para este óxido. Esta diferença de comportamento poderá resultar de maior tempo de contato na célula, das partículas mais grossas com as bolhas, refletindo-se este fenômeno mais intensamente nos minerais com menor grau de flotabilidade, caso dos óxidos de ferro hidratados, principais minerais flotáveis portadores do óxido de ferro (PITA, 2000).

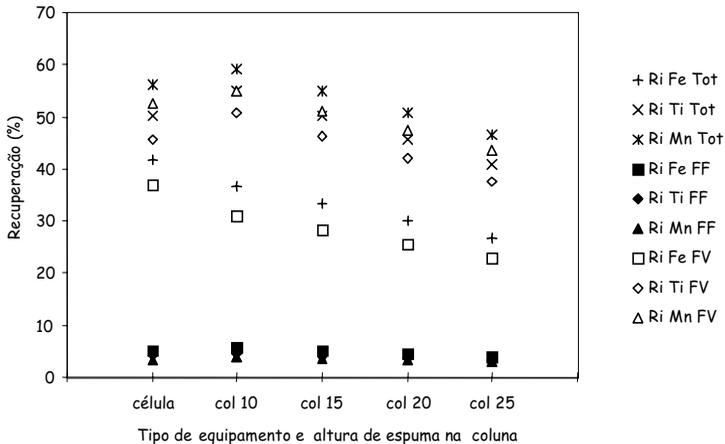


Figura 6 - Recuperação total, por arraste (FF) e por flotação verdadeira (FV) dos três óxidos ao fim de quatro minutos para a fração > 63 mm, versus tipo de equipamento e versus altura de espuma na coluna

A maior recuperação do óxido de ferro na célula não resultou da maior probabilidade de colisão entre as partículas e as bolhas neste equipamento, pois se assim fosse este comportamento deveria fazer-se sentir também para as outras frações granulométricas, o que não se observou.

Desses resultados, salienta-se a particularidade da coluna conduzir a maiores recuperações e separações mais seletivas, fundamentalmente para as partículas extremamente finas, apresentando o óxido de manganês um comportamento ligeiramente diferente. Para granulometrias mais grossas os dois equipamentos conduziram a resultados semelhantes, quando a altura da espuma na coluna era pequena.

O aumento da recuperação por flotação verdadeira dos três óxidos, principalmente dos óxidos de ferro e titânio, na coluna para a fração mais fina, resulta da maior probabilidade de formação dos agregados partículas-bolha e/ou da menor probabilidade de destruição dos agregados formados na coluna. A primeira hipótese parece-nos ser a mais lógica, pois da análise dos resultados correspondentes às frações mais grossas verificamos que para estas se obtêm recuperações semelhantes nos dois equipamentos. Ora, se o aumento da recuperação dos finos na coluna resultasse da menor agitação aí existente e conseqüentemente da menor probabilidade de destruição dos agregados formados, este efeito teria de se fazer sentir também e ainda mais acentuadamente para as frações mais grossas, ocorrendo portanto maiores recuperações dos óxidos destas frações na coluna, o que não veio a confirmar-se. Estudos realizados por FALUTSU (1994), HOLTHAM e CHENG (1991) e SCHULZE (1984), permitem afirmar que o efeito da agitação na estabilidade dos agregados é muito maior para as partículas de maior tamanho (massa). Assim, se para a fração inferior a 25 μm , o aumento da recuperação na coluna não resulta da maior estabilidade dos agregados, então ele resulta da maior probabilidade de formação desses agregados. Este comportamento pode resultar da maior probabilidade de colisão entre as partículas e as bolhas e/ou do maior tempo de contato (tempo de deslizamento) entre as partículas e as bolhas na coluna, sendo portanto maior a probabilidade deste tempo ser superior ao tempo de indução.

Para haver flotação, não é suficiente ocorrer apenas a colisão, é também necessário que haja ligação e que depois não ocorra a destruição desses agregados. Enquanto na célula o tempo de contato diminui com a diminuição do tamanho das partículas (YE e MILLER, 1989), pois diminui a deformação da bolha resultante do seu choque com as partículas, na coluna ocorre o inverso pois diminui a velocidade de queda das partículas, aumentando o tempo de deslizamento entre as partículas e as bolhas (FINCH e DOBBY, 1990). Assim, o aumento da recuperação dos finos na coluna pode resultar não apenas do aumento da probabilidade de colisão mas também do aumento do tempo de contato. Se estes aumentos resultassem apenas da maior probabilidade de colisão seria de esperar que, em termos relativos, eles fossem semelhantes para os três óxidos. Uma vez que tal não se verifica, sendo mais acentuados para o óxido de ferro, podemos dizer que o aumento do tempo de contato ocorrido na coluna para as frações mais finas, também tem importância, sendo o seu efeito mais significativo para os minerais mais dificilmente flotáveis, isto é, para os minerais que apresentam maiores tempos de indução, ou seja, que exigem maiores tempos de contato.

A partir destes resultados e da constituição mineralógica de cada uma das frações (PITA, 2000), pode-se concluir que a ilmenita, principal mineral flotável portador do óxido de titânio, apresenta maior flotabilidade que os restantes dos minerais existentes, sendo responsável pelo menor aumento da recuperação deste óxido na coluna, pois ele também é facilmente flotado na célula. Por outro lado, os óxidos de ferro hidratados, principais minerais flotáveis portadores do óxido de ferro, e o rútilo, um dos principais minerais portadores do óxido de titânio, apresentam menor flotabilidade, pois são mais dificilmente flotados na célula, sendo responsáveis pelo aumento mais significativo da recuperação destes dois óxidos na coluna.

5. CONCLUSÕES

Do exposto anteriormente é possível tirar algumas conclusões acerca da influência do tipo de equipamento no sucesso do processo de flotação aplicado a um material de granulometria fina e, também, acerca do comportamento diferenciado das quatro frações granulométricas e do tipo de minerais portadores dos três óxidos analisados. Salientamos as seguintes conclusões:

- Relativamente à amostra total, pode-se concluir que a coluna, mesmo para altura elevada de espuma, conduz a maiores recuperações por flotação verdadeira. Na célula obtêm-se recuperações por arraste semelhantes às da coluna, quando nesta, a altura de espuma é de aproximadamente 10 cm. Assim, admitindo que para esta altura de espuma são pouco significativos os fenômenos de drenagem, podemos afirmar que os fenômenos de arraste ocorridos na polpa têm o mesmo grau de intensidade nos dois equipamentos.
- Para a fração inferior a 25 μm a coluna conduziu a melhores resultados, isto é, maiores recuperações por ação da flotação verdadeira.
- Minerais mais dificilmente flotáveis, casos dos óxidos de ferro hidratados e do rutilo, são mais sensíveis ao tipo de equipamento.
- Para as partículas com granulometria superior a 45 μm não houve diferenças significativas na utilização dos dois equipamentos, podendo mesmo obter-se melhores resultados na célula para os minerais mais dificilmente flotáveis e de maior granulometria. Para a fração mais grossa, a maior recuperação de óxido de ferro obtida na célula, resultou do maior tempo de contato entre as partículas e as bolhas na célula, pois para esta faixa granulométrica é maior a deformação das bolhas quando da colisão, sendo por outro lado maior a sua velocidade de queda na coluna, responsável pelo seu menor tempo de deslizamento.
- O arraste é indiscriminável, pois para todas as frações granulométricas, os três óxidos apresentaram recuperações semelhantes por arraste, sendo também semelhante o grau de arraste nos dois equipamentos.

- As recuperações por arraste das frações mais grossas foram inferiores às da fração com granulometria inferior a 25 μm , nos dois equipamentos.
- Minério de granulometria fina deverá ser tratado em coluna, pois esta conduz a maiores recuperações verdadeiras, sendo também possível melhorar a seletividade através do aumento da altura da espuma.

BIBLIOGRAFIA

- FALUTSU, M., 1994. Column Flotation Froth Characteristics - Stability of the Bubble-Particle System. *Int. J. Miner. Process.*, 40: 225-243.
- FINCH, J.A., e DOBBY, G.S., 1990. *Column Flotation*, Pergamon Press, Oxford, 180.
- HOLTHAM, P.N. e CHENG TA-WUI, 1991. Study of Probability of Detachment of Particles From in Flotation. *Trans. Inst. Min. Metall.* (Sect. C: Miner. Process. Extr. Metall.), 100: C147-C153.
- PITA, F.A.G., 2000. *Processamento por Flotação do Caulim de Olho Marinho. Contribuição Para o Estudo do Fenómeno de Arraste em Flotação de Polpas com Partículas de Granulometria Muito Fino. Tese de Doutorado, FCTUC, pp. 483.*
- ROSS, V., 1990. Flotation and Entrainment of Particles During Batch Flotation Tests. *Minerals Engineering, Vol.3, nº3/4, 245-256.*
- SCHULZE, H.J., 1984. "Pysico-Chemical Elementary Processes in Flotation", *Developments in Mineral Processing, Volu.4, Elsevier, 348.*
- WHEELER, D.A., 1988. Column Flotation - The Original Column, in *Froth Column. Proceedings of the 2nd Latino American Congress on Froth Flotation, Chile. 19-23 August, ed. Castro, S.H. e Alvarez, J..*
- YE, Y. e MILLER, J.D., 1989. The Significance of Bubble/Particle Contact Time During Collision in the Analysis of Flotation Phenomena. *Int. J. Miner. Process.*, 25: 199-219.
- YOUNG P., 1982. *Flotation Machines. Mining Magazine, Janeiro, pp35-59.*