

83

CETEM

**Série Tecnologia Mineral**

# **Influência da Aeração numa Coluna Batch**

**Fernando A. G. Pita**

## **Presidência da República**

LUIZ INÁCIO LULA DA SILVA

JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA

Vice-Presidente

## **Ministério da Ciência e Tecnologia**

EDUARDO CAMPOS

Ministro da Ciência e Tecnologia

LUÍS MANUEL REBELO FERNANDES

Secretário Executivo

AVÍLIO FRANCO

Secretário de Coordenação das Unidades de Pesquisa

## **CETEM - Centro de Tecnologia Mineral**

ADÃO BENVINDO DA LUZ

Diretor do CETEM

ARNALDO ALCOVER NETO

Coordenador de Análises Minerais

ANTONIO RODRIGUES DE CAMPOS

Coordenador de Apoio as Micro e Pequenas Empresas

COSME ANTONIO DE MORAES REGLY

Coordenador de Administração

FERNANDO FREITAS LINS

Coordenador de Assessoramento Tecnológico

RONALDO LUIZ C. DOS SANTOS

Coordenador de Processos Metalúrgicos e Ambientais

**SÉRIE TECNOLOGIA MINERAL**

ISSN 0103-782

# **Influência da aeração numa coluna BATCH**

**FERNANDO A. G. PITA**

Engenheiro de Minas, M.Sc. e D.Sc. em  
Mineralurgia, Professor Auxiliar do  
Departamento de Ciências da Terra da  
Faculdade de Ciências e Tecnologia da  
Universidade de Coimbra, Portugal.

CETEM / MCT  
2004

# **SÉRIE TECNOLOGIA MINERAL**

MARIO VALENTE POSSA

**Editor**

ROBERTO DE BARROS EMERY TRINDADE

**Subeditor**

## **CONSELHO EDITORIAL**

Arnaldo Alcover Neto, Fernando Freitas Lins, João Alves Sampaio, Reiner Neumann, Ronaldo Luiz Correia dos Santos, Achilles Junqueira Bourdot Dutra (UFRJ), Antonio E. Clark Peres (UFMG), Cláudio Schneider (University of Utah), José Aury de Aquino (CDTN), José Farias de Oliveira (UFRJ), Lino Rodrigues de Freitas (CVRD), Luciano Tadeu da Silva Ramos (CVRD), Mário Rui Machado Leite (IGM-Portugal), Maurício Leonardo Torem (PUC-Rio)

---

A Série Tecnologia Mineral publica trabalhos na área minero-metalúrgica. Tem como objetivo principal difundir os resultados das investigações técnico-científicas decorrentes dos projetos desenvolvidos no CETEM.

---

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

Jackson de Figueiredo Neto **COORDENAÇÃO EDITORIAL**

Vera Lúcia Souza **CAPA**

Dayse Moraes Lima **EDITORAÇÃO ELETRÔNICA**

Pita, Fernando A. G.

Influência da aeração numa coluna Batch - Fernando A. G. Pita. - Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004.

29 p. (Série Tecnologia Mineral, 83)

1. Tecnologia Mineral. 2. Aeração. I. Título. II. Centro de Tecnologia Mineral. III. Série.

ISBN 85-7227-193-7

ISSN 0103-7382

CDD 622.7

# Sumário

---

<b>Resumo</b> .....	<b>6</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>7</b>
<b>1. Introdução</b> .....	<b>9</b>
<b>2. Metodologia experimental</b> .....	<b>12</b>
<b>3. Resultados experimentais</b> .....	<b>14</b>
3.1 Óxido de Ferro.....	14
3.2 Óxido de titânio e óxido de manganês.....	19
3.3 Rendimento em peso .....	24
<b>4. Conclusões</b> .....	<b>26</b>
<b>Bibliografia</b> .....	<b>28</b>

# Resumo

---

O presente estudo analisa a influência da taxa de aeração na flotação de impurezas minerais contidas num caulim. Este estudo foi realizado numa coluna de flotação de laboratório. Analisa-se o comportamento de quatro frações granulométricas ( $<25_{\text{mm}}$ , 25-45, 45-63 e  $>63_{\text{mm}}$ ), quantificando-se, para diferentes taxas de aeração, a recuperação por ação do arraste e da flotação verdadeira.

Para as quatro faixas de tamanhos, a recuperação por arraste das impurezas minerais aumenta com a taxa de aeração. A fração mais grossa apresenta os valores mais baixos.

A influência da taxa de aeração na flotação verdadeira é condicionada pelo tamanho das partículas e pelo grau de hidrofobicidade dos minerais a flotar. Para a fração mais grossa, a recuperação das impurezas minerais é máxima para a menor taxa de aeração, sugerindo maior probabilidade de colisão partículas-bolhas e/ou menor estabilidade dos aglomerados partículas-bolhas. Para as duas frações intermediárias, obtêm-se maiores recuperações para valores intermediários de aeração.

A seletividade do processo de flotação, definida pela razão entre a recuperação por flotação verdadeira e por arraste, diminui com o aumento da taxa de aeração. Os maiores valores foram obtidos para a fração granulométrica mais grossa.

**Palavras-chave:** flotação, coluna, aeração, arraste, flotação verdadeira, tamanho das partículas

# Abstract

---

This study analyses the influence of the aeration rate in the flotation of the mineral impurities of a kaolin ore. The tests were conducted in a lab batch column. The floated material of each test was spilt in four size fractions (<25mm, 25-45, 45-63 and >63mm). For different aeration rates, the recoveries by entrainment and by true flotation were calculated.

It has been observed that an increase in the aeration rate resulted in an increase in the recovery by entrainment of the impurities. Lower recovery values were observed on the coarser fractions (>63mm).

The effect of the aeration rate in the true flotation is affected by the size of the impurities and by their hydrophobicity. For the coarser fractions, the recovery was better with the lower aeration rates and this suggests a greater probability of particle-bubble collisions and/or a lower stability of the particle-bubble aggregates. For the two medium size fractions (25-24 and 45-63mm), the higher recoveries were obtained with intermediate aeration rates

The selectivity of the flotation process, which is defined by the ratio between recovery by true flotation and recovery by entrainment, decreases with an increase in the aeration rate. The higher values were observed on the coarser fractions.

**Keywords:** flotation, column, aeration, entrainment, flotation, true flotation, particle size

# 1. Introdução

O ar desempenha um papel fundamental na flotação, sendo as bolhas o coração desse processo. A condição necessária para que ocorra flotação é a colisão entre as partículas e as bolhas. A probabilidade dessa colisão ocorrer aumenta com o aumento da taxa de aeração, isso se a este aumento não corresponder um aumento exagerado do tamanho das bolhas.

Embora seja importante o tamanho e a estabilidade das bolhas, não é menos importante a quantidade de ar utilizada. Se por um lado a adição de pouco ar conduz a baixas recuperações, resultado da pequena probabilidade de colisão entre as partículas e as bolhas, também a adição excessiva de ar penaliza os resultados obtidos, podendo conduzir a baixas recuperações e, fundamentalmente, a separações pouco seletivas, resultado de arraste intenso.

Estudos realizados por SCHUBERT E BISCHOFBERGER (1978) e por VARBANOV (1984) permitiram verificar que numa célula mecânica a recuperação aumenta com a taxa de aeração até um certo valor, diminuindo em seguida à medida que essa taxa aumenta. Esse comportamento resulta do aumento da turbulência na polpa e da desadsorção dos reagentes da superfície das partículas e da sua adsorção à superfície das bolhas. Todavia, o aumento da turbulência parece ser a causa principal da diminuição da recuperação, pois as partículas mais grossas, que constituem os agregados mais instáveis, são as mais afetadas. Desse modo, o aumento da turbulência e, porventura, o aumento do diâmetro das bolhas, conforme constatado por LUTTRELL e YOON (1991), sobrepõe-se ao efeito do aumento da taxa de aeração.

Também LAPLANTE et al. (1983a,b,c) verificaram que a taxa de transferência de material da zona da polpa para a espuma inicialmente aumenta com a taxa de aeração, diminuindo em seguida a partir de um dado valor.

A influência da taxa de aeração no arraste e na flotação verdadeira pode ser condicionada pelo tamanho e pelo grau de flotabilidade das partículas. Para partículas de elevado tamanho e



de elevado grau de flotabilidade, o aumento da taxa de aeração pode conduzir a acréscimos mais significativos na contribuição do arraste do que na flotação verdadeira, pois este tipo de partículas, mesmo para baixas taxas de aeração, apresentam elevada probabilidade de colisão e de agregação às bolhas (Ross, 1991a,b). Já para partículas finas, o aumento da taxa de aeração pode conduzir a aumentos mais acentuados na flotação verdadeira, uma vez que, mesmo para baixas taxas de aeração, a taxa de arraste das partículas finas é elevada, e qualquer aumento da taxa de aeração, conduzindo a maior número de bolhas, provoca um aumento mais pronunciado na flotação dessas partículas, mais difíceis de flotar.

Pode-se dizer que o aumento da taxa de aeração e o conseqüente aumento do número de bolhas na polpa provoca aumentos da taxa de flotação mais significativos nas partículas com menor hidrofobicidade. A influência da aeração no arraste e na flotação verdadeira também depende da estabilidade da espuma. Perante uma espuma pouco estável, favorável à ocorrência de fortes fenômenos de drenagem, é natural que o aumento da taxa de aeração condicione mais acentuadamente o comportamento das partículas arrastadas.

Na coluna, a diminuição da recuperação com o aumento excessivo da taxa de aeração, sem que haja aumento do tamanho das bolhas, pode resultar da elevada concentração de ar na zona de coleta, originando escoamentos mais turbulentos. Neste caso, as bolhas adquirem uma trajetória irregular, dificultando o fenômeno de colisão e ligação e conduzindo a uma maior instabilidade na zona da interface polpa/espuma. Por outro lado, isto conduz também a maiores recuperações por arraste, pois mais polpa é arrastada até à zona da espuma, conforme foi constatado por YIANATOS et al. (1986, 1987). Todavia, estes autores também concluíram que perante maiores taxas de aeração e uma vez que é maior a quantidade de água arrastada, a espuma pode apresentar uma estrutura de maior mobilidade, facilitando os fenômenos de drenagem.

No presente estudo constata-se que o aumento da taxa de aeração conduz ao aparecimento de bolhas ligeiramente maiores. Constata-se, ainda, a formação de mais espuma, significando que é menor o tempo de residência das partículas na espuma, sendo,

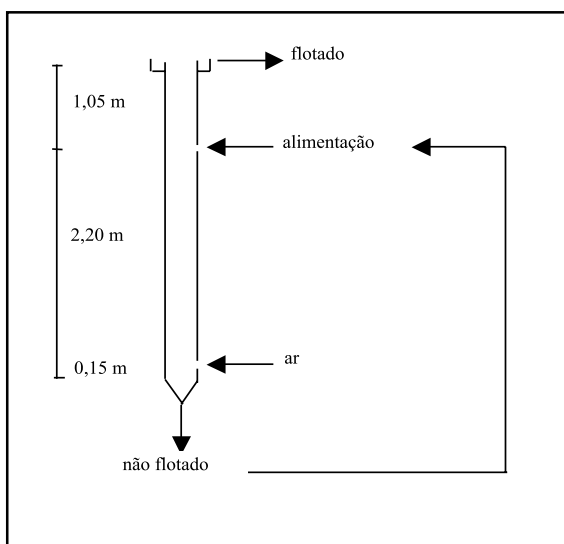
portanto, diferente a intensidade de drenagem ocorrida na espuma para as diferentes taxas de aeração.

O insucesso da flotação de partículas finas resulta fundamentalmente da sua baixa probabilidade de colisão com as bolhas. Assim, o aumento da taxa de aeração, apesar de poder conduzir a arraste mais intenso, pode levar a maiores recuperações.

## 2. Metodologia experimental

Para o estudo da influência da aeração no arraste e na flotação verdadeira, foram realizados ensaios numa coluna de flotação sob diferentes taxas de aeração (2,4, 3,6 e 4,8 l/min), procurando flotar as impurezas minerais de um caulim. Os minerais a flotar são o quartzo, goetite, turmalina, ilmenita e rutilo.

A coluna laboratorial utilizada, representada na Figura 1, tem uma altura de 3,4 m e diâmetro de 0,072 m.



**Figura 1:** Esquema da coluna laboratorial utilizada.

Os reagentes utilizados e a sua concentração são apresentados na Tabela 1. O condicionamento foi realizado em um tanque condicionador e em seguida a polpa foi 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 quatro frações de material, correspondentes aos intervalos de tempo (0-0,5), (0,5-1), (1-2) e (2-4) minutos.

Uma vez que o tamanho das partículas condiciona a influência da taxa de aeração, analisa-se a influência deste parâmetro no comportamento de quatro frações granulométricas: <25 mm, 25-45 mm, 45-63 mm e >63 mm. Por outro lado, analisa-se também a influência da aeração no arraste e na flotação verdadeira.

Neste estudo utiliza-se a recuperação de óxido de ferro, óxido de titânio e óxido de manganês ao fim de quatro minutos.

**Tabela 1: Tipo e concentração de reagentes.**

	<b>Reagente</b>	<b>Concentração</b>
<b>Regulador de pH</b>	NaOH	pH=9,5
<b>Dispersante</b>	Silicato de Sódio	0,9 ml/kg
<b>Coletor</b>	Ácido oleico	2,9 ml/kg
<b>Ativador</b>	Petróleo	0,73 ml/kg
<b>Conc. de sólidos</b>		17,5%

## 3. Resultados experimentais

### 3.1 Óxido de ferro

Na Tabela 2 são apresentadas as recuperações totais ( $R_i$  Total), por arraste (flotação falsa -  $R_i$ F.F.) e por flotação verdadeira ( $R_i$  F.V.) do óxido de ferro ao fim de quatro minutos, correspondentes às quatro frações granulométricas, para três taxas de aeração. As recuperações por flotação verdadeira e por arraste foram determinadas pelo método de Ross (1990). Neste método, o cálculo da contribuição do arraste é feito com base no balanço da recuperação de água e de mineral ao longo do tempo. A recuperação da espécie mineral a flotar e da água e as suas respectivas concentrações na polpa permitem determinar o fator de transferência devido à flotação e ao arraste, designado por fator de transferência total  $Y(t)$ , através da seguinte expressão:

$$Y(t) = \frac{M_m(t)}{M_{agua}(t)} \times \frac{C_{agua}(t)}{C_m(t)} \quad (1)$$

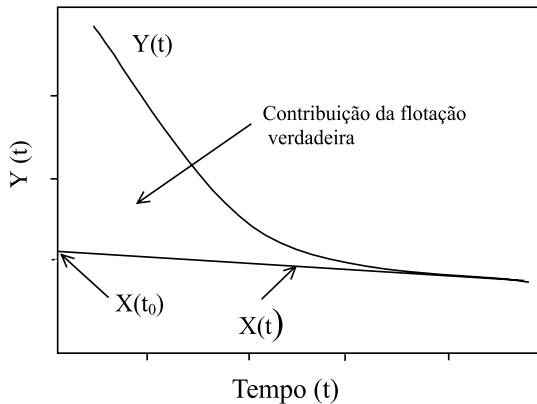
em que  $M_m(t)$  e  $M_{agua}(t)$  representam, respetivamente, a massa da espécie mineral e a massa da água recuperadas no intervalo de tempo  $t$ , e  $C_m(t)$  e  $C_{agua}(t)$  representam, respetivamente, a concentração da espécie mineral e da água na polpa. Supondo que para elevados tempos de flotação ( $t_x$ ) a recuperação resulta exclusivamente por ação do arraste, o valor do fator de transferência total,  $Y(t_x)$ , que descreve a classificação diferencial do sólido arrastado e da água, coincide com o valor do fator de transferência devido ao arraste,  $X(t_x)$ , sendo este dado pela seguinte expressão:

$$X(t_\infty) = \frac{M_{arrm}(t_\infty)}{M_{agua}(t_\infty)} \times \frac{C_{agua}(t_\infty)}{C_m(t_\infty)} \quad (2)$$

em que  $M_{arrm}(t)$  representa a massa de mineral recuperada por arraste.

O fator de transferência por arraste toma valores compreendidos entre zero e a unidade, apresentando valores próximos da unidade para partículas extremamente finas, pois estas apresentam comportamento semelhante ao da água durante o fenômeno de arraste.

A representação dos valores do fator de transferência total num gráfico do tipo  $Y(t)$  versus **tempo**, permite determinar o valor do fator de arraste,  $X(t)$ , para  $t = t_{\infty}$  e para um qualquer instante da flotação. Para isso, traça-se uma reta tangente em  $Y(t_{\infty})$  à curva representativa dos valores de  $Y(t)$ . A partir dos valores de  $X(t)$  determina-se o valor da razão  $X(t) : Y(t)$  e também o valor da massa de mineral arrastado em cada instante do processo de flotação. A diferença entre a massa total recuperada e a massa arrastada traduz a contribuição da flotação verdadeira. Na Figura 2 está representada a metodologia proposta por Ross.



**Figura 2:** Determinação da flotação verdadeira e do arraste pelo método de Ross (1990).

Relativamente aos métodos de TRAHAR (1981) e WARREN (1985), descritos na bibliografia da especialidade, o método de Ross apresenta as vantagens de só ser necessário realizar um ensaio de flotação e do grau de arraste ou fator de arraste ( $X(t)$ ) variar ao longo do tempo, traduzindo mais corretamente a variação

do poder de suporte da espuma ao longo do tempo para um ensaio de batelada.

Para o estudo da influência da taxa de aeração analisa-se apenas a recuperação por arraste e por flotação verdadeira para as quatro frações granulométricas, não sendo necessário analisar a recuperação total, na medida em que esta resulta da soma daquelas duas, podendo a sua análise ser mascarada por aqueles dois tipos de recuperações. Assim, a análise da influência da taxa de aeração na recuperação por arraste e por flotação verdadeira fornece informação mais precisa acerca da influência desta variável no processo de flotação.

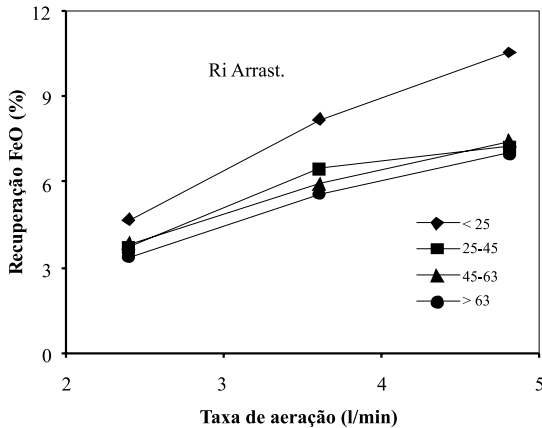
**Tabela 2:** Recuperação do óxido de ferro ao fim de 4 minutos para três taxas de aeração, relativa a quatro frações granulométricas.

Fração ( $\mu\text{m}$ )	Recuperação (%)	Taxa de aeração (l/min.)		
		2,4	3,6	4,8
< 25	Ri Total	6,7	10,6	13,3
	Ri F.F.	4,7	8,2	10,5
	Ri F.V	2,0	2,4	2,8
25-45	Ri Total	21,9	32,5	28,0
	Ri F.F.	3,7	6,4	7,2
	Ri F.V	18,2	26,1	20,8
45-63	Ri Total	28,4	34,1	23,8
	Ri F.F.	3,9	5,9	7,4
	Ri F.V	24,5	28,2	16,4
> 63	Ri Total	43,0	34,0	24,2
	Ri F.F.	3,4	5,5	7,0
	Ri F.V	39,6	28,5	17,2

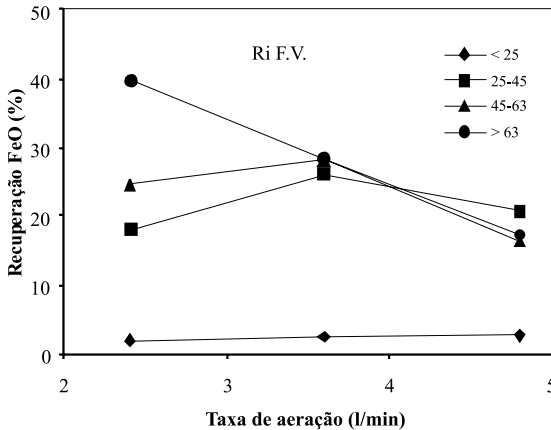
Para facilitar a interpretação da influência da taxa de aeração no processo de flotação, representam-se nas Figuras 3 e 4, respetivamente, a recuperação de óxido de ferro resultante do arraste (flotação falsa) e da flotação verdadeira, das quatro frações granulométricas, para diferentes taxas de aeração.

A observação destes resultados permite concluir que a recuperação por arraste do óxido de ferro, das quatro frações granulométricas, aumenta com o aumento da taxa de aeração, resultado da maior turbulência e da maior capacidade de arraste das bolhas, pois aumentou a quantidade de ar existente na polpa.

A fração mais fina é a mais sensível à variação da taxa de aeração. Esta fração também apresenta valores muito maiores para a recuperação por arraste, qualquer que seja a taxa de aeração. As outras três frações apresentam valores semelhantes para a recuperação por arraste.



**Figura 3:** Recuperação do óxido de ferro devida ao arraste versus taxa de aeração e influência do tamanho das partículas.



**Figura 4:** Recuperação do óxido de ferro devida à flotação verdadeira versus taxa de aeração e influência do tamanho das partículas.



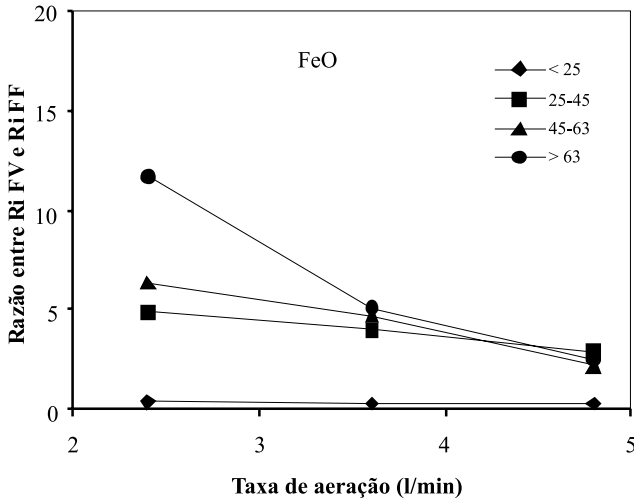
Relativamente à recuperação por flotação verdadeira, a fração mais fina apresenta um comportamento aparentemente constante para diferentes taxas de aeração. A recuperação da fração mais grossa, > 63  $\mu\text{m}$ , varia na razão inversa da taxa de aeração. Para as duas frações intermediárias, a sua recuperação aumenta inicialmente com o aumento da taxa de aeração até cerca de 3,6 l/min, apresentando tendência de diminuição a partir deste valor. Assim, o aumento acentuado da aeração, apesar de conduzir ao aparecimento de maior número de bolhas, embora ligeiramente maiores, aumentando a probabilidade de colisão e de formação dos agregados partículas-bolhas, tem também como consequência o aumento da instabilidade desses agregados, pois o escoamento torna-se mais turbulento, sendo maior a probabilidade da sua destruição. Se este efeito se sobrepuser ao primeiro, isso significa que o aumento da taxa de aeração conduz a menores recuperações. Esta característica é confirmada pelo fato da recuperação do óxido de ferro da fração superior a 63  $\mu\text{m}$  ser máxima quando é mínima a taxa de aeração. Esta fração é a mais sensível à variação da taxa de aeração, resultado da maior instabilidade dos seus agregados partículas-bolhas.

Em face destes resultados, e porque a probabilidade de colisão entre as partículas e as bolhas aumenta com o tamanho daquelas, pode-se afirmar que na flotação de partículas grossas se deve trabalhar com o mínimo de taxa de aeração, desde que se possibilite a colisão entre as partículas e as bolhas.

O sucesso duma operação de flotação é geralmente avaliado pela recuperação e também pela qualidade do concentrado obtido. Assim, também se pode avaliar a influência da taxa de aeração no processo de flotação através do estudo da sua seletividade. Esta será tanto maior quanto maior for a recuperação por flotação verdadeira e menor a recuperação por arraste. Deste modo, define-se a seletividade do processo de flotação pela razão entre a recuperação por flotação verdadeira e por arraste.

Na Figura 5 representa-se a razão entre a recuperação por flotação verdadeira e por arraste do óxido de ferro para as quatro frações granulométricas. Verifica-se que, para todas as frações granulométricas, o aumento da taxa de aeração conduz à diminuição da seletividade. Isto significa que, apesar do aumento da taxa de aeração poder provocar um aumento da recuperação por flotação

verdadeira, caso das duas frações inetermediárias para 3,6 l/min, ele provoca um aumento ainda mais significativo da recuperação por arraste.



**Figura 5:** Razão entre a recuperação por flotação verdadeira e a recuperação por arraste do óxido de ferro versus taxa de aeração.

Relativamente à influência do tamanho das partículas, constata-se que a maior seletividade é obtida para a fração superior a 63  $\mu\text{m}$ , e também quando é utilizada a menor taxa de aeração. Para elevadas taxas de aeração as três frações mais grossas apresentam seletividades semelhantes. A fração inferior a 25  $\mu\text{m}$  é a que apresenta valores mais baixos, resultado da sua maior dificuldade em se fazer flotar e da maior facilidade de arraste.

### 3.2 Óxido de titânio e óxido de manganês

Da análise da evolução da recuperação por arraste dos óxidos de titânio e manganês, apresentada na Tabela 3, pode concluir-se que a influência da taxa de aeração na recuperação por arraste destes dois óxidos é semelhante à do óxido de ferro. Enquanto a flotação verdadeira depende do grau de flotabilidade dos minerais,

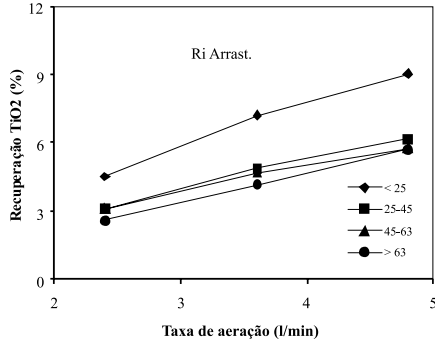
o arraste é um fenômeno não seletivo. A recuperação por arraste do óxido de ferro é ligeiramente superior à daqueles dois óxidos, consequência dos seus principais minerais portadores, tais como a goetita, (PITA, 2000) serem mais dificilmente flotados, estando assim este óxido mais "disponível" para ser arrastado.

**Tabela 3:** Recuperação do óxido de titânio e óxido de manganês ao fim de quatro minutos para três taxas de aeração, relativo a quatro frações granulométricas.

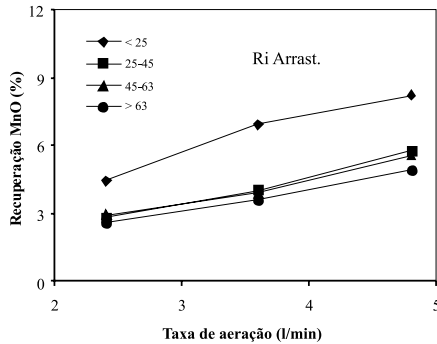
Fração ( $\mu\text{m}$ )		Recuperação de $\text{TiO}_2$			Recuperação de $\text{MnO}$		
		Taxa de aeração (l/min.)			Taxa de aeração (l/min.)		
		2,4	3,6	4,8	2,4	3,6	4,8
< 25	Ri Total	12,2	16,1	16,5	17,5	24,5	25,4
	Ri F.F.	4,5	7,3	9,0	4,5	6,9	8,2
	Ri F.V	7,7	8,8	7,5	13,0	17,6	17,2
25-45	Ri Total	29,2	51,0	42,1	34,6	56,1	56,7
	Ri F.F.	3,1	4,9	6,2	2,8	4,0	5,8
	Ri F.V	26,1	46,1	35,9	31,8	52,1	50,9
45-63	Ri Total	34,0	49,2	45,1	43,1	55,4	51,6
	Ri F.F.	3,1	4,7	5,8	2,9	3,9	5,5
	Ri F.V	30,9	44,5	39,3	40,2	51,5	46,1
> 63	Ri Total	62,9	50,4	48,0	62,1	56,2	51,8
	Ri F.F.	2,6	4,2	5,7	2,6	3,6	4,9
	Ri F.V	60,3	46,2	42,3	59,5	52,6	46,9

O aumento da taxa de aeração conduz ao aumento da recuperação por arraste do óxido de titânio e óxido de manganês, para as quatro frações analisadas, conforme pode ser observado nas Figuras 6 e 7.

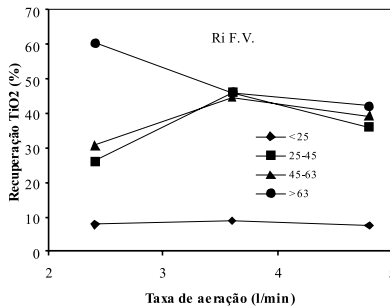
A fração mais fina conduz à recuperação muito maior por arraste, diminuindo esta com o aumento do tamanho das partículas. As três frações mais grossas apresentam resultados semelhantes. O aumento da taxa de aeração provoca aumentos mais significativos na recuperação por arraste da fração inferior a 25  $\mu\text{m}$ .



**Figura 6:** Recuperação do óxido de titânio devida ao arraste versus taxa de aeração e influência do tamanho das partículas.

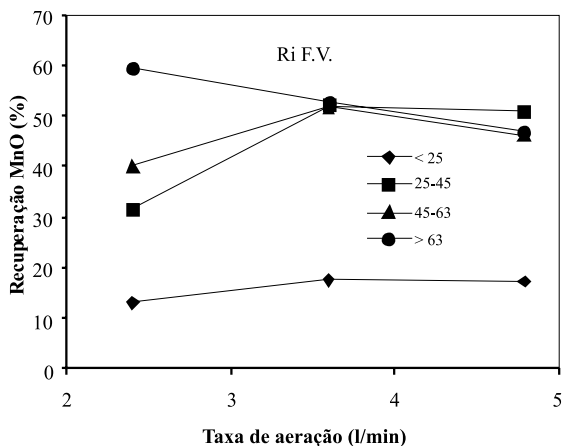


**Figura 7:** Recuperação do óxido de manganês devida ao arraste versus taxa de aeração e influência do tamanho das partículas.



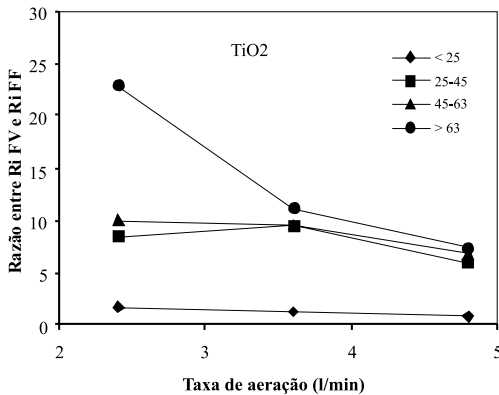
**Figura 8 -** Recuperação de óxido de titânio devida à flotação verdadeira versus taxa de aeração e influência do tamanho das partículas.

Relativamente à influência da taxa de aeração na flotação verdadeira do óxido de titânio e de manganês, cujos resultados são representados respetivamente nas Figuras 8 e 9, constata-se que, tal como para o óxido de ferro, a recuperação das três frações mais finas é máxima para a taxa de aeração intermediária. Para a fração superior a 63  $\mu\text{m}$ , a recuperação é máxima para a menor taxa de aeração. À semelhança do óxido de ferro, também para estes dois óxidos as partículas mais grossas estão mais debilmente ligadas às bolhas, sendo a fração superior a 63  $\mu\text{m}$  a mais sensível ao aumento da turbulência ocorrida na coluna, observando-se uma acentuada diminuição da sua recuperação com o aumento da taxa de aeração. Esta sensibilidade é menos evidente para o óxido de manganês, podendo significar que os agregados minerais-bolhas portadores deste óxido são mais estáveis, sendo, portanto, menos sensíveis ao aumento da turbulência na polpa. Por outro lado, a fração mais fina é a menos sensível à variação da taxa de aeração, provavelmente porque os seus agregados são mais estáveis.

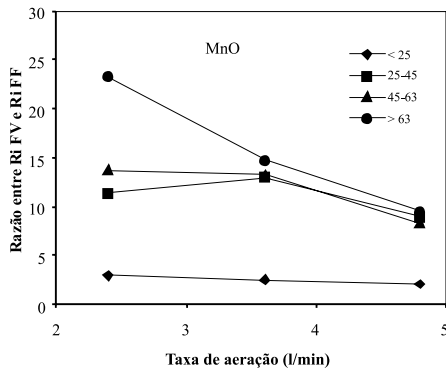


**Figura 9:** Recuperação de óxido de manganês devida à flotação verdadeira versus taxa de aeração e influência do tamanho das partículas.

Nas Figuras 10 e 11 representa-se a seletividade da separação dos óxidos de titânio e de manganês, calculada pela razão entre a recuperação por flotação verdadeira e por arraste. Esta razão diminui com o aumento da taxa de aeração, com exceção das duas frações intermediárias que apresentam seletividades semelhantes para as duas taxas de aeração inferiores. Assim, uma vez que para estas duas frações a máxima recuperação por flotação verdadeira é obtida para a taxa de aeração intermediária, o fato da seletividade ser semelhante para as duas taxas de aeração mais baixas significa que apesar do aumento da taxa de aeração provocar um aumento da recuperação por flotação verdadeira, ela é responsável por um aumento ainda mais significativo da recuperação por arraste.



**Figura 10:** Razão entre a recuperação por flotação verdadeira e a recuperação por arraste do óxido de titânio versus taxa de aeração.



**Figura 11:** Razão entre a recuperação por flotação verdadeira e a recuperação por arraste do óxido de manganês versus taxa de aeração.

Relativamente à influência do tamanho das partículas, constata-se que a seletividade é maior para a fração superior a 63  $\mu\text{m}$  e para a menor taxa de aeração. Para elevadas taxas de aeração, as três frações mais grossas apresentam resultados semelhantes. A menor seletividade é obtida para a fração inferior a 25  $\mu\text{m}$ , uma vez que estas partículas são mais difíceis de flotar e mais facilmente arrastadas.

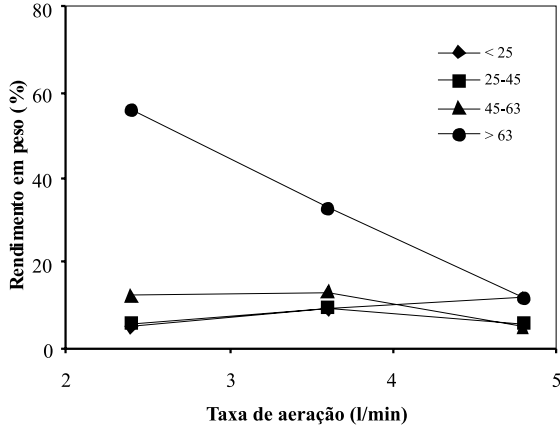
Dos três óxidos, o óxido de manganês é o que apresenta maior seletividade, sendo esta diferença mais acentuada para a fração inferior a 25  $\mu\text{m}$ . Isto resulta da maior aptidão à flotação dos principais minerais portadores deste óxido, fundamentalmente da ilmenita, sendo portanto menor a sua percentagem "disponível" para ser arrastada ao longo dos ensaios de batelada.

### 3.3 Rendimento em peso

O comportamento dos três óxidos é confirmado pela variação do rendimento em peso dos lotes granulométricos referidos anteriormente. O rendimento em peso de cada um dos lotes é dado pela razão entre o peso de material no flotado e o peso de material existente inicialmente na alimentação. Os rendimentos em peso ao fim de quatro minutos para os quatro lotes, para as três diferentes taxas de aeração, são apresentados na Tabela 4, representando-se na Figura 12 a sua variação com o aumento da taxa de aeração.

**Tabela 4:** Rendimento em peso (%) das quatro frações granulométricas ao fim de quatro minutos.

Fração ( $\mu\text{m}$ )	Taxa de aeração (l/min.)		
	2,4	3,6	4,8
< 25	4,8	8,9	11,8
25-45	5,9	9,4	5,8
45-63	12,2	13,0	5,1
> 63	55,7	32,9	12,0



**Figura 12:** Rendimento em peso versus taxa de aeração e influência do tamanho das partículas.

Uma vez que o quartzo é o principal mineral existente nas frações mais grossas, representando mais de 80% do material existente na fração superior a 63 mm e mais de 50% do material existente nas frações 25-45 e 45-63 mm (PITA, 2000), o seu comportamento no processo de flotação condiciona fortemente os resultados do rendimento em peso. Assim, uma vez que nos ensaios realizados este mineral foi razoavelmente flotado, a análise dos resultados representados na Figura 12 tende a reforçar as conclusões anteriores, isto é, o aumento da taxa de aeração conduz à maior agitação e conseqüentemente à destruição dos agregados partículas-bolhas, originando a diminuição da recuperação. Este comportamento é mais evidente para a fração superior a 63 mm, que constitui os tamanhos mais facilmente destacados das bolhas. Uma vez que o grau de arraste aumenta com a taxa de aeração, a diminuição do rendimento em peso resulta apenas da diminuição da recuperação devida à flotação verdadeira.

Já para a fração inferior a 25 mm, o aumento da taxa de aeração conduz ao aumento do rendimento em peso, resultado de que, para esta fração granulométrica, a recuperação ser devida sobretudo ao arraste.



## 4. Conclusões

A análise conjunta da influência da taxa de aeração na recuperação dos três óxidos permite concluir que o aumento da taxa de aeração conduz ao aumento da recuperação por arraste para os quatro lotes estudados. Esta influência é semelhante para os três óxidos, uma vez que este tipo de flotação não é seletivo, pois não leva em consideração o grau de hidrofobicidade dos minerais existentes na polpa. Também se verifica que, para os três óxidos, a fração superior a 63  $\mu\text{m}$  apresenta menores valores para a recuperação por arraste, sendo esta característica mais notória para baixa taxa de aeração. Isto significa que o aumento da turbulência na coluna e/ou a diminuição do tempo de residência das partículas na espuma, provocada pela maior taxa de aeração, atenua a influência do tamanho das partículas no fenômeno de arraste.

Relativamente à flotação verdadeira, verifica-se que, para os três óxidos, as maiores recuperações das três frações finas são obtidas para a taxa de aeração intermediária. Para a fração mais grossa a recuperação é máxima para a menor taxa de aeração. Esta característica traduz a maior instabilidade dos agregados bolhas-partículas grossas. Deste modo, pode-se concluir que o aumento da taxa de aeração até um determinado valor conduz a maiores recuperações, desde que o efeito de destacamento não se sobreponha ao aumento de probabilidade de colisão partículas-bolhas. Este comportamento é mais evidente para as frações mais grossas, e é claramente confirmado pela análise da variação do rendimento em peso das quatro frações granulométricas.

O efeito do aumento da turbulência, ocasionado pelo aumento da taxa de aeração, faz-se sentir com menos intensidade nas frações mais finas e no óxido de manganês, resultado da maior hidrofobicidade da ilmenita e do quartzo, principais minerais portadores deste óxido.

A probabilidade de colisão depende fortemente do tamanho das partículas, pois só assim se explica a elevada recuperação da fração mais grossa quando é mínima a taxa de aeração, ou seja, quando é mínimo o número de bolhas.

Relativamente à qualidade da flotação, verifica-se que, à exceção das duas frações intermediárias, a seletividade diminui com o aumento da taxa de aeração. Isto é mais evidente para a fração granulométrica mais grossa.

Para os três óxidos, a fração mais grossa é a que apresenta maior seletividade.

Qualquer que seja a taxa de aeração o óxido de ferro apresenta menores valores para o índice de seletividade.

## Bibliografia

- LAPLANTE, A.R., TOGURI, J.M., SMITH, H.W., 1983a. The Effect of Air Flow Rate on the Kinetics of Flotation. Part 1: The Transfer of Material From the Slurry to the Froth. *Int. J. Miner. Process.*, **11**: 203-219.
- LAPLANTE, A.R., TOGURI, J.M., SMITH, H.W., 1983b. The Effect of Air Flow Rate on the Kinetics of Flotation. Part 2: The Transfer of Material From the Froth Over the Cell Lip. *Int. J. Miner. Process.*, **11**: 221-234.
- LAPLANTE, A.R., TOGURI, J.M., SMITH, H.W., 1983c. The Effect of Air Flow Rate on the Kinetics of Flotation. Part 2: Selectivity. *Int. J. Miner. Process.*, **11**: 285-295.
- LUTTRELL, G.H., YOON, R.H., 1991. A Flotation Column Simulator Based on Hydrodynamic Principles. *Int. J. Miner. Process.*, **33**: 355-368.
- PITA, F.A.G., 2000. Processamento por Flotação do Caulim de Olho Marinho. Contribuição Para o Estudo do Fenômeno de Arraste em Flotação de Polpas com Partículas de Tamanho Muito Fino. *Tese de Doutorado, FCTUC*, 483.
- ROSS, V., 1990. Flotation and Entrainment of Particles During Batch Flotation Tests. *Minerals Engineering*, **Vol.3**, nº3/4, 245-256.
- ROSS, V., 1991. An Investigation of Sub-Processes in Equilibrium Froths. a: The Mechanisms of Detachment and Drainage. *Int. J. Miner. Process.*, **31**: 37-50.
- ROSS, V., 1991. An Investigation of Sub-Processes in Equilibrium Froths. b: The Effect of Operating Conditions. *Int. J. Miner. Process.*, **31**: 51-71.
- SCHUBERT, H. E BISCHOFBERGER, C., (1978). On the Hydrodynamics of Flotation Machines. *Int. J. Miner. Process.*, **5**: 131-142.
- TRAHAR, W.J., 1981. A Rational Interpretation of the Role of Particle Size in Flotation. *Int. J. Miner. Process.*, **8**: 289-327.
- VARBANOV, R., (1984). Flotation of Spherical Particles. *Trans. Inst. Min. Metall. (Sect. C: Miner. Process. Extr. Metall.)*, **93**: C6-C8.
- WARREN, L.J., 1985. Determination of the Contributions of True Flotation and Entrainment in Batch Flotation Tests. *Int. J. Miner. Process.*, **14**: 33-44.

- YIANATOS, J.B., FINCH, J.A., LAPLANTE, A.R., 1986. Holdup Profile  
Bibble Size Distribution of Flotation Column Froths. *Canad.  
Metall. Quarterly*, **Vol. 25**, (nº1), 23-29.
- YIANATOS, J.B., FINCH, J.A., LAPLANTE, A.R., 1987. Cleaning Action  
in Column Flotation Froths. *Trans. Inst. Min. Metall. (Sect.  
C: Miner. Process. Extr. Metall.)*, **96**: C199-C205.