

## MODELAGEM DO PROCESSO DE FLOTAÇÃO DE REJEITOS DE SCHEELITA

A.A Dantas Neto \* T.N.de Castro Dantas \*\* M.P. Vidal \*\*\*

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química

Campus Universitário - 59072-970 - Natal -RN

\* Professor DEQ \*\* Professora DQ \*\*\* Bolsista I.C./CNPq

### ABSTRACT

This work is intended to study the behaviour of saponified coconut oil (OCS) as collector in the flotation of scheelite process

The following parameters have been studied: speed of rotor, air flow, viscosity of the pulp and flotation time.

A mathematical model for the correlation between the studied variables and the recovery of tungsten was applied and a semi-empirical equation was obtained:

$$\%R = [ (Re)^{a1} (WT)^{a2} ]$$

The obtained model is able to represent this flotation process.

### RESUMO

Este trabalho teve como objetivo estudar a flotação de rejeitos de scheelita utilizando o óleo de coco saponificado como coletor, com a finalidade de modelar o processo através de equações semi-empíricas.

Vários parâmetros que influenciam na flotação foram estudados, tais como: velocidade de agitação, aeração e viscosidade da polpa e tempo de flotação, relacionando-os com a percentagem de recuperação.

Um modelo matemático correlacionando o percentual de recuperação em função das variáveis estudadas foi aplicado, obtendo-se uma equação do tipo:  $\%R = A[(Re)^{a1} (WT)^{a2}]$  cujos valores experimentais e os calculados pela equação são consistentes.

**PALAVRAS - CHAVE:** Flotação; Rejeitos de scheelita, Óleo de coco saponificado; Modelagem; Equações semi-empíricas

## 1- INTRODUÇÃO :

O tungstênio, ou wolfrâmio, é um metal de liga de numerosas aplicações civis e militares, encontrado na natureza associado, principalmente, aos minérios de scheelita e wolframita. Nas usinas de beneficiamento do Rio Grande do Norte, a concentração do minério é obtida por processos gravimétricos de boa eficiência em faixas granulométricas acima de 200 mesh, porém inadequados para aproveitamento dos finos gerados na cominuição.

Os rejeitos resultantes do processo de concentração, com teores entre 0,01 e 0,20% de  $WO_3$  são estimados em 10 milhões de toneladas e sua recuperação acarretaria um aumento de 25% no suprimento de concentrados.

Do ponto de vista econômico, sabe-se que o processo mais indicado para o enriquecimento do  $WO_3$  contido no rejeito fino de scheelita é a flotação, pois a mesma possui uma grande flotabilidade e pode ser recuperada facilmente com sabões de ácidos graxos em circuitos alcalinos de pH entre 10 e 11 [1].

Neste trabalho realizou-se um estudo da flotação de scheelita utilizando o óleo de côco saponificado (OCS) como coletor, onde vários parâmetros que influenciam na flotação foram estudados, com a finalidade de modelar o processo através de equações semi-empíricas.

Foram estudadas as relações entre os percentuais de recuperação ( %R ) e algumas variáveis do sistema , como: velocidade do rotor, viscosidade da polpa, tempo de flotação e aeração da polpa.

Pode-se agrupar estas variáveis na forma de três números adimensionais :  $n^\circ$  de Reynolds,  $n^\circ$  de agitação e  $n^\circ$  de aeração, através do seguinte modelo:

$$\%R = A [ ( Re )^{a1} ( WT )^{a2} ( QN2 )^{a3} ] \quad (1)$$

O modelo matemático descrito foi testado para a amostra em estudo e os cálculos foram desenvolvidos em micro computador, utilizando o software Quatro Pró versão 5.0, através do método dos mínimos quadrados , seguido por análise estatística de variância para o modelo e teste t-Student para os grupos adimensionais.

## 2 - PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As amostras de Scheelita utilizadas neste trabalho foram provenientes de um lote de aproximadamente 400 kg de rejeito fino da Mina Brejuí, localizada em Currais Novos - RN.

A amostra foi tomada na descarga do espessador e apresenta as seguintes características:

- **Composição química** [2]:  $\text{WO}_3$  0,10 %;  $\text{SiO}_2$  56,84 %;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  2,94 %;  $\text{CaO}$  20,72 %;  $\text{MgO}$  1,03 %;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  1,97 %; S 0,16 %; Mo 33,85 ppm;

- **Composição Mineralógica**: devido a amostra se encontrar em granulometria fina não foi possível sua determinação; porém estudos anteriores [1] indicam as presenças de calcita, fluorita, apatita e quartzo.

- **Grau de Liberação**: a Scheelita abaixo de 100 malhas Tyler se encontra totalmente liberada.

A amostra úmida, foi seca em estufa ( $120^\circ\text{C}$ ), homogeneizada, fracionada em quarteador tipo Jones, peneirada em 100 malhas Tyler. O produto do peneiramento, com teor médio de 0,09% de  $\text{WO}_3$ , foi submetido novamente a homogeneização e fracionamento, e estocados em sacos de 330 g.

Nos ensaios de Flotação foi utilizado como coletor o óleo de coco saponificado (OCS) com hidróxido de potássio (449g/t), sintetizado no laboratório de Tecnologia de Tensoativos da UFRN.

O condicionamento químico da polpa foi feito com silicato de sódio (579g/t) e quebracho (168g/t), como depressores da ganga, e carbonato de sódio como reguladores do pH. O agente espumante empregado em todo o experimento foi o metil-isobutilcarbinol (132g/t). O pH da polpa foi de 10,5 e o percentual de sólidos ficou em 33%.

Os testes de flotação foram realizados em uma célula tipo DENVER sub-aerada com agitador de velocidade variável, controlada por um tacômetro, e cuba de acrílico com capacidade para 1,1 l. A aeração da célula foi efetuada por ar comprimido e controlada por um sistema com manômetro e rotâmetro.

A viscosidade da polpa foi medida através do viscosímetro Brookfield modelo DVJ para as diferentes rotações estudadas.

As análises químicas do  $\text{WO}_3$  na amostra e nos produtos da flotação, foram feitas pelo método colorimétrico do tiocianato [3] em espectrofotômetro de absorção molecular Perkin Elmer Coleman 55 em comprimento de onda em 400,9 nm.

### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 - Efeito de algumas variáveis na flotação de rejeito de Scheelita, utilizando o OCS.

##### 3.1.1 - Influência da velocidade do rotor.

Com a finalidade de verificar o efeito da velocidade de rotação sobre o percentual de recuperação de Scheelita variou-se a velocidade do rotor de 1250 a 1650 rpm.

Os resultados obtidos estão representados na Figura 1. Observou-se que a medida que a velocidade de rotação aumenta há um acréscimo no percentual de recuperação passando por um máximo em 1550 rpm. Constatou-se também que para valores de aeração abaixo de 21l/h, não houve recuperação significativa de Scheelita mesmo para altas velocidades de rotação.

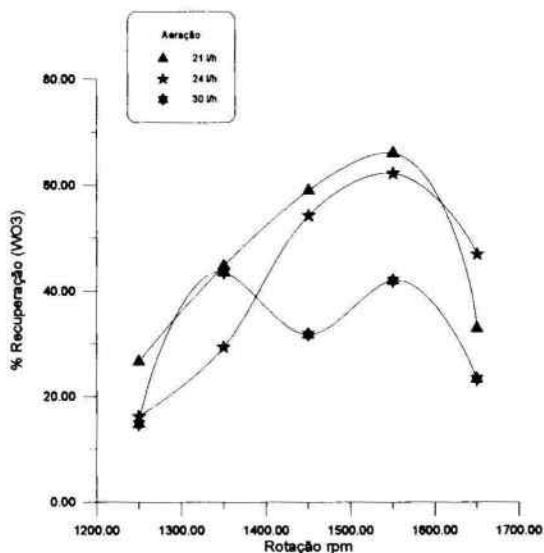


Figura 1 - Influência da velocidade do rotor na recuperação de WO<sub>3</sub>, a diferentes taxas de aeração.

Observa-se ainda através da Figura 1 que, para os valores de aeração 21, 24 e 30 l/h o máximo de recuperação ocorre em 1550 rpm e que a medida que se aumenta a aeração (nesta velocidade), ocorre um decréscimo na recuperação.

### 3.1.2 - Influência da aeração da polpa

O estudo da variação na aeração da polpa (6 a 30 l/h) mostrou que para baixos valores de rotação só houve flotação do minério para altas taxas de aeração, com pequenos percentuais de recuperação.

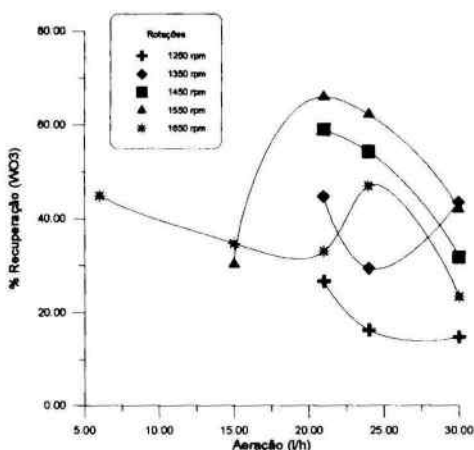


Figura 2 - Influência da aeração da polpa na recuperação de  $WO_3$  a diferentes velocidades do rotor

A Figura 2 mostra os resultados obtidos neste estudo, onde pode-se observar que o percentual de recuperação passa por um máximo em 21 l/h e que para esta taxa de aeração a recuperação cresce com o aumento da rotação.

### 3.1.3 - Influência da viscosidade da polpa

Neste estudo observou-se que ao variar a aeração da polpa e a velocidade da rotação, modificava-se significativamente a viscosidade da polpa.

A Figura 3 mostra como a velocidade de rotação, para uma mesma taxa de aeração, influencia na viscosidade da polpa e consequentemente sobre o percentual de recuperação.

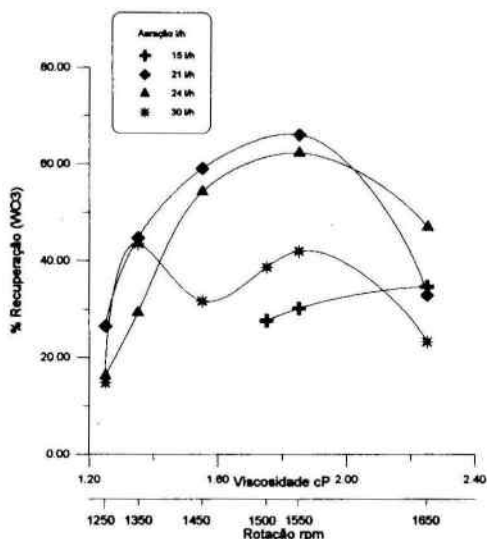


Figura 3 - Influência da rotação e viscosidade da polpa na recuperação (%)

A análise da Figura 3 mostra que a medida que se aumenta a velocidade de rotação aumenta-se a viscosidade e o percentual de recuperação, passando por um máximo de recuperação em 1550 rpm.

### 3.2 - Modelagem do sistema

Abdo e Darwish [4] estudando a flotação de partículas de alumínio, correlacionaram algumas variáveis com os percentuais de recuperação através de modelos matemáticos.

As relações entre os percentuais de recuperação (% R) e as variáveis descritas neste trabalho também foram estudadas por Dentas Neto e colaboradores [5] em um processo de flotação de barita utilizando o óleo de mamona saponificado. Os autores expressam 4 variáveis estudadas sob a seguinte forma:

$$% R = f(w, q, t, \mu),$$

onde:  $w$  = Velocidade do rotor ( $\text{min}^{-1}$ )     $q$  = Aeração da polpa (l/h)  
 $t$  = Tempo de flotação (min)     $\mu$  = Viscosidade da polpa ( $\text{g/cm}\cdot\text{s}$ )

Estas quatro variáveis foram agrupadas sob a forma de três números adimensionais:

$Re$  = Número de Reynolds =  $(D^2 w \rho / \mu)$

$WT$  = Número de agitação =  $w t$

$QN2$  = Número de aeração =  $(q/wD^3)$

$$\% R = A[(Re)^{a1}(WT)^{a2}(QN2)^{a3}] \quad (1)$$

Os parâmetros otimizados para utilização no modelo matemático da flotação de rejeitos de Scheelita foram os seguintes:

$D = 7 \text{ cm}$ ;     $\rho = 2,79 \text{ g/cm}^3$ ;     $1,25 < \mu < 2,25 \text{ cP}$ ;     $2,25 < t < 6,7 \text{ min}$ ;  
 $6 < q < 30 \text{ l/h}$ ;     $1250 < w < 1650 \text{ rpm}$ .

Os cálculos foram desenvolvidos em micro computador através do método dos mínimos quadrados, seguido por análise estatística de variância para o modelo e teste t-Student para os grupos adimensionais.

Através dos resultados apresentados na tabela I, pode-se observar que o grupo QN2 possui um valor relativamente alto de probabilidade no teste t-Student e conseqüentemente pode ser omitido no cálculo da regressão sem que haja perda significativa da qualidade do modelo.

Tabela I - Valores e dados estatísticos dos expoentes e coeficientes da equação (1).

Regressão Estatística:

R Múltiplo	0.8491
R ao Quadrado	0.7210
R ao Quadrado Ajustado	0.6513
Erro Padrão	0.2278
Observações	16

Análise de Variância ( $\alpha = 5\%$ ):

	Grau de liberdade	SS	MS	F	Significância de F
Regressão	3	1.6099	0.5366	10.3382	0.0012
Resíduo	12	0.6229	0.0519		
Total	15	2.2329			

	Coefficientes	Erro Padrão	Estatística t	Valor de P	Abaixo 95.00%	Acima 95.00 %
Constante	29.1689	5.5402	5.2649	0.0001	17.0978	41.24
Ln(Re)	-2.4256	0.6016	-4.0317	0.0011	-3.7364	-1.1147
Ln(WT)	-0.7575	0.816	-4.1706	0.0008	-1.1532	-0.3617
Ln(QN2)	0.0901	0.1262	0.7140	0.4862	-0.1849	0.3652

Desta maneira, a nova equação de regressão será escrita da seguinte forma:

$$\% R = A[(Re)^{11}(WT)^{2}] \quad (2)$$

Os novos resultados dos expoentes e do coeficiente A da equação (2) estão apresentados na tabela II. Através das tabelas I e II e das Figuras 4 e 5 verifica-se a pouca influência do grupo QN2 dentro do modelo. As referidas figuras mostram que a aderência dos grupos adimensionais ao modelo é satisfatória.

Tabela II - Valores e dados estatísticos dos expoentes e coeficientes da equação (2).

Regressão Estatística:

R Múltiplo	0.8421
R ao Quadrado	0.7092
R ao Quadrado Ajustado	0.6644
Erro Padrão	0.2235
Observações	16



Análise de Variância ( $\alpha = 5\%$ ):

	Grau de liberdade	SS	MS	F	Significância de F
Regressão	2	1.5835	0.7917	15.8501	0.0003
Resíduo	13	0.6494	0.05		
Total	15	2.2329			

	Coefficientes	Erro Padrão	Estatística t	Valor de P	Abaixo 95.00%	Acima 95.00%
Constante	26.8000	4.3524	6.1576	0.0000	17.3973	36.2027
Ln(Re)	-2.1955	0.4984	-4.4053	0.0005	-3.2722	-1.1188
Ln(WT)	-0.7620	0.1781	-4.2795	0.0007	-1.1466	-0.3773

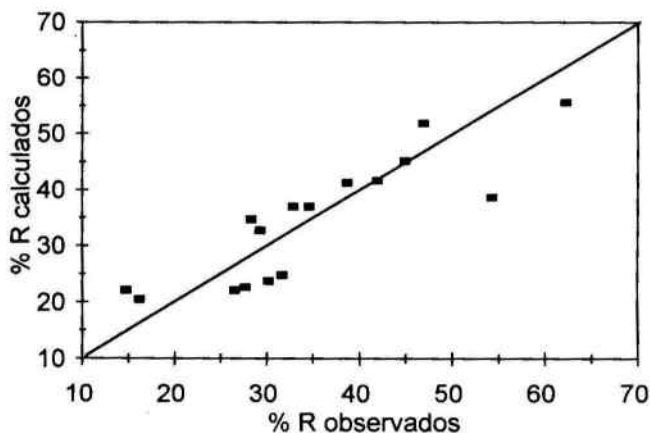


Figura 4 - Recuperação percentual de  $\text{WO}_3$  (%R) observados versus calculados na correlação incluindo o número de aeração (QN2)

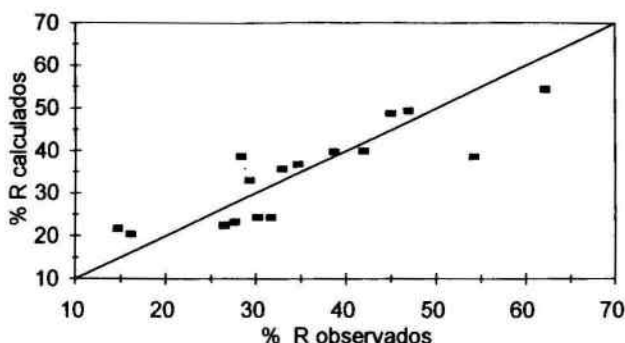


Figura 5 - Recuperação percentual de  $WO_3$  (%R) observados versus calculados na correlação sem o número de aeração (QN2).

#### 4 - CONCLUSÕES

A realização deste trabalho permitiu as seguintes conclusões:

- \* Que a velocidade de rotação, taxa de aeração e viscosidade influenciam diretamente sobre o percentual de recuperação (%R).
- \* A melhor velocidade de rotação foi 1550 rpm levando a uma % R = 66.00, para uma taxa de aeração de 21 l/h.
- \* Mostrou-se também que a viscosidade da polpa é função da aeração e da velocidade do rotor e que é um parâmetro não desprezível na modelagem.
- \* O modelo matemático proposto correlacionando a %R de  $WO_3$  em função dos números adimensionais Reynolds, agitação e aeração mostrou através do teste t-Student que o número de aeração (QN2) possui um valor alto de probabilidade, podendo assim ser omitido do cálculo de regressão sem perda significativa na qualidade do modelo.
- \* O novo modelo encontrado,  $\%R = A[(Re)^{a1} (WT)^{a2}]$  é consistente, pois a correlação entre os valores dos % R calculados através do mesmo, e os valores experimentais está bem próxima, dentro do domínio estudado.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho teve o suporte financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq.

## 5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - CARVALHO, L.P. - Estudo comparativo do desempenho de coletores derivados de óleos vegetais na flotação de rejeitos de Scheelita, UFRN - PPGEQ, Dissertação de Mestrado, 1992.
- 2 - MÁTA, A.L.M.L. - Flotação de rejeitos de Scheelita utilizando derivados de óleo de mamona; UFRN - PPGEM, Dissertação de Mestrado, 1987.
- 3 - FURMAN, N.H. - Standard Methods of Chemical Analysis. V.1, 6 ed., R.E. Kriger Publishing Company Inc., Florida, 1962.
- 4 - ABDO, M.S.E. and DARWISH, A.M. - Effect of some operating variables on the flotation of aluminium particles, Chemical Eng. Technol.,14, p-118-121, 1991.
- 5 - DANTAS NETO, A.A.; DANTAS, T.N.C.; LEITE, J.Y.P e OLIVEIRA, J.A.F. - Estudo e modelagem da flotação de barita utilizando o óleo de mamona saponificado; Avances en Tecnologia Mineral, Vol IV, P. 237 - 247, Concepcion, Chile 1994