

# SIMULAÇÃO DA RECUPERAÇÃO DE HEMATITA NA JIGAGEM DE MISTURAS DE HEMATITA E QUARTZO \*

por

S.O. Santos<sup>1</sup>, O.D. Cuéllar<sup>2</sup>, K. Rajagopal<sup>1</sup>

<sup>1</sup> EQ/UFRJ, Cx. Postal 68542, CEP 21949-900, Rio de Janeiro, RJ

<sup>2</sup> COPPE/UFRJ, Cx. Postal 68505, CEP 21945-970, Rio de Janeiro, RJ

**ABSTRACT** -- With the objective of simulating recovery of hematite from a mixture of hematite and quartz by jiggling, mixtures of several size ranges were separated in a Denver 1M jig. The composition of feed in each test was varied from 20% to 80% of hematite. The other operational variables like screen aperture, feed rate of solids, stroke length, bed height and feed water rate were held constant in all the tests. The methodology of experiments was effective with the experimental results showing good reproducibility with the coefficient of variation below 5%. The results were compared with a phenomenological model.

(Keywords: jiggling, hematite, gravity concentration, ore dressing)

**RESUMO** -- Com o objetivo de simular a recuperação no processo de separação de hematita e quartzo nas faixas granulométricas -841  $\mu\text{m}$  +595  $\mu\text{m}$ , -595  $\mu\text{m}$  +420  $\mu\text{m}$  e -420  $\mu\text{m}$  +297  $\mu\text{m}$  (-20 + 28, -28 + 35 e -35 + 48 malhas Tyler), foram realizados ensaios de concentração com o uso de um jigue Denver 1M. A composição da alimentação para cada ensaio foi 20, 40, 60 e 80% de hematita. As demais variáveis da operação, como abertura da tela, vazão de alimentação de sólidos, amplitude de oscilação do diafragma, altura da camada do leito, e vazão de alimentação do fluido foram mantidas constantes. As experiências apresentaram uma boa reprodutividade resultando o coeficiente da variação da vazão mássica de sólidos, bem como o teor de hematita no concentrado menor que 5%. As recuperações experimentais são comparadas com os valores obtidos com o uso de um modelo fenomenológico.

(Palavras-chaves: jigagem, hematita, concentração gravítica, tratamento de minérios)

---

\*Este trabalho contou com o suporte econômico da Universidade Federal do Rio de Janeiro<sup>1</sup>

## **INTRODUÇÃO**

A jigagem é uma operação unitária amplamente utilizada no processamento de carvão mineral, bem como na concentração de minerais pesados. Os fundamentos do processo por muito tempo limitaram-se a descrições qualitativas pouco relevantes para as aplicações operacionais.

Os desenvolvimentos realizados no passado recente, permitem concluir que na jigagem acontece a seqüência de dois processos: primeiro, a estratificação por densidades e segundo a separação dos estratos. Com relação ao primeiro processo Mayer [1] apresentou uma descrição baseada na alteração do centro de gravidade do leito do jigge, atingindo um nível inferior da energia potencial no final do processo de concentração. Karantzavelos e Frangiscos [2] estudaram a cinética do processo de estratificação, estabelecendo por correlação uma relação funcional entre o tempo de jigagem e um estrato com características definidas.

Com o objetivo de modelar a separação de partículas de densidade e tamanhos diferentes durante o processo de jigagem, foram realizados ensaios de concentração, alimentando em um jigge de laboratório Denver modelo 1M misturas de hematita e quartzo nas faixas granulométricas  $-841 \mu\text{m} +595 \mu\text{m}$ ,  $-595 \mu\text{m} +420 \mu\text{m}$  e  $-420 \mu\text{m} +297 \mu\text{m}$  ( $-20 + 28$ ,  $-28 + 35$  e  $-35 + 48$  malhas Tyler) com as proporções de 20, 40, 60 e 80% de hematita, fixando as demais variáveis da operação: abertura da tela, vazão de alimentação de sólidos, amplitude de oscilação do diafragma, altura da camada do leito, vazão do fluido e tamanho de partícula da amostra.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Os materiais particulados utilizados foram a hematita ( $\rho_p = 5,0 \text{ g/cm}^3$ ) e o quartzo ( $\rho_p = 2,6 \text{ g/cm}^3$ ), preparados por britagem e classificação nas faixas granulométricas  $-841 \mu\text{m} +595 \mu\text{m}$ ,  $-595 \mu\text{m} +420 \mu\text{m}$  e  $-420 \mu\text{m} +297 \mu\text{m}$  ( $-20 + 28$ ,  $-28 + 35$  e  $-35 + 48$  malhas Tyler). Cada série de ensaios de concentração foi realizada com misturas de hematita e quartzo, onde as proporções de hematita foram fixadas em 20, 40, 60 e 80 %.

O jigge de diafragma Denver, modelo 1M, utilizado para a realização dos ensaios de concentração de hematita é constituído basicamente de duas câmeras como pode ser visto na

figura 1. A primeira, denominada câmara de concentração, tem por fundo uma tela com abertura que permite a passagem das partículas do minério a ser concentrado. Uma camada de esferas de aço com diâmetros ligeiramente maiores que abertura da tela constitui o leito do jigge, que para o presente trabalho foi substituído por partículas de hematita com tamanhos na faixa - 4mm + 2,83mm.

A segunda, denomina câmara de pulsação é provida de uma válvula admissão de fluido, geralmente água, fechada na parte superior por diafragma. Através de uma viela e um eixo excêntrico permite produzir pulsações alternadas do fluido na câmara de concentração. Como consequência do processo de estratificação as partículas pesadas são retiradas pela parte inferior e as partículas leves pela descarga superior do jigge [3].

A descrição detalhada do procedimento experimental, bem como do equipamento para a realização dos ensaios, pode ser encontrado no trabalho de Rodrigues, Cuéllar e Rajagopal [3].

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Na tabela I podem ser vistos os resultados da concentração em jigge Denver, modelo 1M, de misturas de hematita e-quartzo com teores de hematita na alimentação de 20, 40, 60 e 80%. As demais condições da concentração são apresentadas na tabela II. Em cada caso foram realizados vários ensaios, tendo sido observada boa reprodutibilidade, sendo que o coeficiente de variação da vazão mássica de sólidos, bem como o teor de hematita no concentrado em todos os casos resultou menor que 5%.

Com os dados experimentais do concentrado e do rejeito foram calculados a vazão de sólidos alimentados a jigge, os teores de quartzo e hematita, bem como a eficiência de separação do quartzo da hematita. Os dados experimentais de recuperação de hematita são mostrados como função do teor de alimentação na figura 2. Estes dados foram correlacionados com polinomiais do segundo grau e as curvas de regressão são traçadas na figura 2. O efeito do tamanho de partículas é mostrado explicitamente pelas linhas do contorno de recuperação na figura 3. Estas curvas foram traçadas com uso da equação 1, obtida por uma correlação estatística tridimensional do segundo grau em teor de hematita na alimentação e em tamanho de partícula. A recuperação da hematita apresenta, nas três granulometrias estudadas, um máximo quando o teor de hematita na alimentação oscila em torno de 40%, como pode ser visto na tabela I e figura 2.

$$R = -0,014 Y^2 - 0,00015X^2 - 0,0027XY + 2,35 Y + 0,25X - 2,85 \quad (1)$$

Os resultados experimentais do presente trabalho foram comparados com os valores calculados usando o modelo de corte de camadas estratificadas ("pulp tapping ") para condições turbulentas, modelo este similar ao proposto por Schubert e Neesse [4] para sistemas de classificação por via úmida. Neste modelo foi suposto que a distribuição de concentração no concentrado é dada pela distribuição do sedimento em equilíbrio em escoamento turbulento.

A concentração de hematita decresce exponencialmente com a altura dos estratos. O concentrado de hematita é separado como fina camada da base da câmara de concentração do jigge. Por outro lado, também é suposto que seja desprezível a quantidade de água retirada junto com o concentrado. A concentração das camadas, então, é proporcional à altura da câmara do jigge. Nestas condições, a recuperação da hematita pode ser calculada pela seguinte relação:

$$\frac{R_{II}}{100} = \frac{1}{1 + \frac{Q_r}{Q_c} \exp\left(-\frac{V_{im}}{D_{ty}} H\right)} \quad (2)$$

Para cada granulometria, foram calculados os coeficientes  $V_{im}/D_{ty}$  utilizando apenas um dado experimental com a equação 2. Os demais ensaios foram utilizados para a simulação.

Na tabela III, compara-se os valores experimentais da recuperação com os valores calculados usando a equação 2. Os valores estimados do coeficiente  $V_{im}/D_{ty}$  encontram-se na tabela III e são coerentes com os valores apresentados por Schubert e Neesse [4], (1 a 0,1 para a faixa de baixo grau de turbulência).

Como pode ser visto na tabela III, os valores calculados da recuperação são compatíveis com os valores experimentais para valores de baixa concentração de hematita na alimentação. No entanto, para altas concentrações, os valores não correspondem aos previstos pelo modelo, ou seja, o modelo hidrodinâmico não representa adequadamente o processo de segregação que acontece entre as partículas de diferentes densidades no processo de concentração em jigge. Como possibilidade para explicar este comportamento, está sendo estudado o processo com o uso da modelagem estocástica.

## CONCLUSÕES

Verificou-se a possibilidade de obter boa reprodutibilidade, com coeficiente de variação menor que 5%, nos resultados de concentração em jigue Denver modelo 1M. A recuperação da hematita apresenta para as três granulometrias estudadas um máximo quando o teor de hematita na alimentação oscila em torno de 40%.

É possível obter recuperações em torno de 99%, concentrando misturas de hematita-e quartzo em granulometrias grossas,  $-841\mu\text{m} +595\mu\text{m}$ , para granulometrias menores a recuperação decresce, como pode ser visto na figura 2.

A equação 2, permite prever os valores da recuperação de hematita em um processo de concentração de misturas hematita e quartzo em jigue Denver 1M, quando o teor de hematita na alimentação é menor que 50%. Para concentrações altas, há necessidade de estudar o efeito de outras variáveis no processo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro concedido pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, para a realização do presente trabalho, bem como a colaboração durante a realização do trabalho experimental do aluno Cidar W.J.P. Palomino. Um dos autores, Rajagopal, agradece ao CNPq pela bolsa de pesquisa concedida.

## SIMBOLOGIA

**R** - Recuperação de hematita no concentrado calculada com a equação 1, (%)

**R<sub>H</sub>** - Recuperação de hematita no concentrado calculada com a equação 2, (%)

**R<sub>e</sub>** - Recuperação de hematita no concentrado experimental, (%)

**Q<sub>R</sub>** - Vazão mássica de polpa do rejeito, (g/min)

**Q<sub>C</sub>** - Vazão mássica de polpa do concentrado, (g/min)

$V_{im}$  - Velocidade de sedimentação de partículas com diâmetro,  $i$ , (cm/s)

$D_{ty}$  - Coeficiente de difusão turbulento, (cm<sup>2</sup>/s)

$H$  - Altura da câmara de concentração, (cm)

$X$  - Tamanho de partícula, ( $\mu\text{m}$ )

$Y$  - Teor de hematita na alimentação, (%)

$f$  - Teor de hematita da mistura hematita-e quartzo para alimentar ao jigge, (%)

$\Delta$  - Diferença percentual entre as recuperações experimental e calculado com a equação 2 (%)

$\gamma$  - Densidade média das partículas, (g/cm<sup>3</sup>)

$\rho_p$  - Densidade dos minerais, (g/cm<sup>3</sup>)

$\rho_f$  - Densidade do fluido, (g/cm<sup>3</sup>)

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] MAYER, F.W. , "Fundamentals of a Potential Theory of the Jigging Process", Proceeding VII International Mineral Processing Congress, volume I, pag. 75-86, Cannes(1965).
- [2] KARANTZAVELOS, G.E. e FRANCISCOS, A.Z. , Contribution to the Modelling of the Jigging Process, Controls '84, Mineral Metallurgical Processing, AIME, New York, pag. 97-105 .(1984).
- [3] RODRIGUES, A.G., CUÉLLAR, O. D. e RAJAGOPAL K. , "Dinâmica da Distribuição do Tamanho de Partícula Durante a Jigagem", Anais do XXI ENEMP - Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos, volume I, pag. 313-321, Ouro Preto, MG (1993).
- [4] SCHUBERT, H. e NEESSE, T., "The Role of Turbulence in wet Classification", Proceeding X International Mineral Processing Congress, pag. 213-239, London (1973).

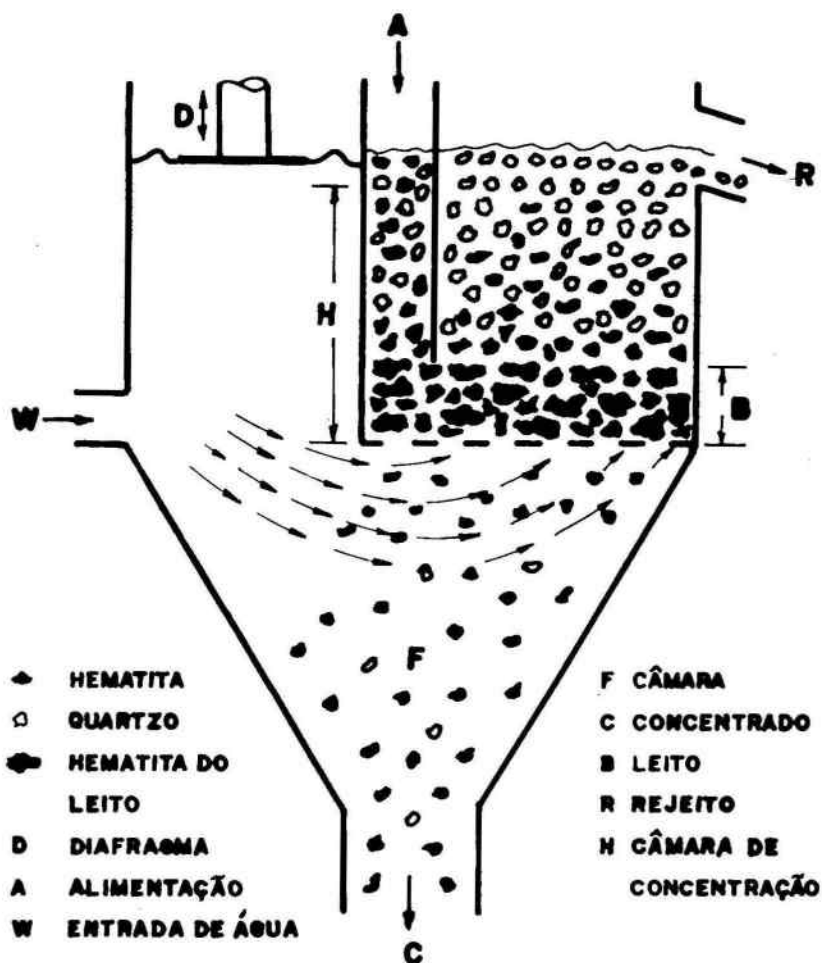


Figure 1. Esquema do processo de concentração de hematita em jige de diafragma.

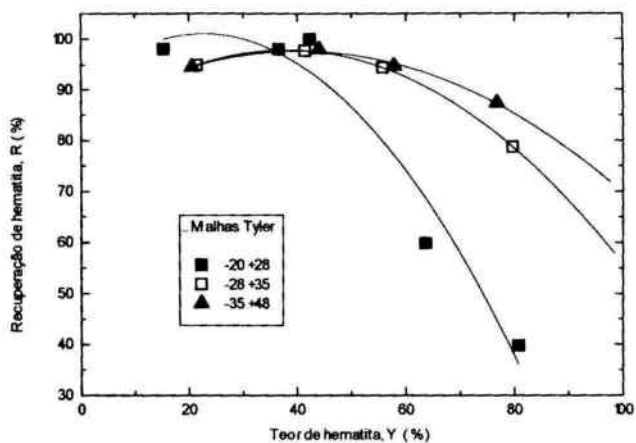


Figura 2 - Recuperação de hematita em função de seus teores na alimentação (As curvas são regressões quadráticas dos dados experimentais.)

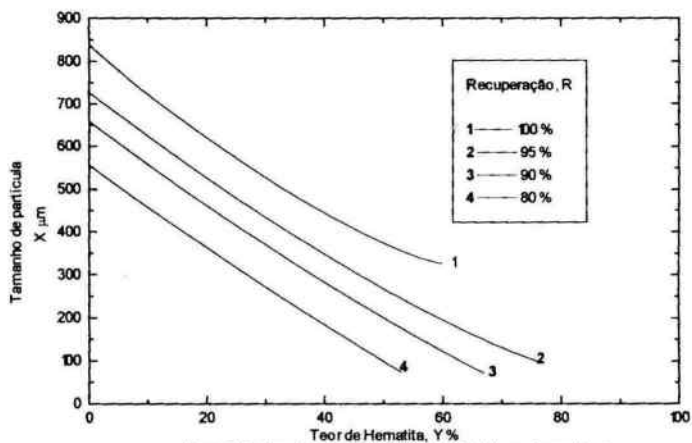


Figura 3. Linhas do contorno da recuperação de hematita em função de tamanho de partícula e do teor de hematita na alimentação



Tabela I. Resultados da concentração em jigue Denver (modelo 1M), durante 4 minutos, de misturas hematita e quartzo com teores de hematita na alimentação de 20, 40, 60 e 80%, e granulometrias -841  $\mu\text{m}$  +595  $\mu\text{m}$ , -595  $\mu\text{m}$  +420  $\mu\text{m}$  e -420  $\mu\text{m}$  +297  $\mu\text{m}$

X	f	Alimentação recomposta			Concentrado			Rejeito			Recuperação		Eficiência (%)
		Total (g)	Hematita (%)	Quartzo (%)	Total (g)	Hematita (%)	Quartzo (%)	Total (g)	Hematita (%)	Quartzo (%)	Hematita no Concentrado (%)	Quartzo no Rejeito (%)	
-841 +595	20	576,49	15,30	84,70	147,97	58,40	41,60	428,52	0,40	99,60	98,06	87,38	85,68
	30	570,48	36,63	63,37	219,28	93,38	6,68	351,20	1,18	98,82	98,02	95,94	94,04
	40	642,35	42,30	57,70	279,35	95,36	4,64	363,00	0,01	99,99	99,99	96,43	96,42
	50	796,76	51,50	48,50	410,92	99,13	0,87	385,84	0,80	99,20	99,25	99,08	98,34
	60	1460,22	61,66	38,34	538,73	100,00	0,00	921,49	39,26	60,74	59,81	99,87	59,37
	80	670,97	80,77	19,73	214,31	100,00	0,00	456,66	71,01	28,99	39,79	100,00	39,79
-595 +420	20	646,07	21,39	78,61	206,66	63,41	36,59	439,41	1,60	98,40	94,91	85,10	80,77
	40	894,67	41,40	58,60	470,94	76,89	23,11	423,73	1,97	98,03	97,72	79,24	77,43
	60	2042,38	55,75	44,25	1074,70	100,00	0,00	967,68	6,60	93,40	94,39	100,00	94,39
	80	1698,58	79,67	20,33	1066,75	100,00	0,00	631,83	45,39	54,61	78,79	100,00	78,79
-420 +297	20	954,38	20,54	79,46	546,78	33,88	66,12	406,90	2,66	97,34	94,47	52,34	49,45
	40	1725,46	44,01	55,99	1462,46	48,83	51,17	263,00	7,71	92,29	97,95	19,32	18,92
	60	1060,83	57,89	42,11	841,26	69,04	30,96	219,57	14,91	85,09	94,69	41,62	39,41
	80	376,90	76,71	23,29	289,94	87,15	12,85	86,96	41,94	58,06	87,37	57,52	50,26

**Tabela II. Condições de operação do jigue Denver (modelo 1M)**

- Vazão de alimentação de sólidos	: 50 g/min
- Vazão de alimentação de água	: 500 cm <sup>3</sup> /min
- Amplitude de oscilação do diafragma	: 8 mm
- Altura da câmara de concentração	: 7,5 cm
- Área de Jigagem	: 35 mm x 52 mm
- Abertura da tela	: 2,4 mm
- Material do leito	: hematita
- Granulometria do leito	: -4mm+2,83 mm

**Tabela III - Resultados de Recuperação experimental e calculados com a Equação 2.**

x ( $\mu\text{m}$ )	f (%)	( $\gamma-\rho\beta$ )	$Q_B/Q_C$	$V_{im}/D_{iv}$	$R_H/100$	$R_e/100$	$\Delta$ (%)
-841 +595	20	2,08	43,4448	0,969	0,9706	0,9806	1,0
	30	2,32	28,9639	0,969	0,9802	0,9802	0,0
	40	2,56	68,3361	0,969	0,9538	0,9799	2,7
	50	2,80	20,4075	0,969	0,9860	0,9925	0,6
	60	3,04	31,4100	0,969	0,9853	0,5981	-39,0
	80	3,52	30,1277	0,969	0,9794	0,3979	-59,4
-595 +420	20	2,08	31,1594	0,914	0,9682	0,9491	-2,0
	40	2,56	22,1339	0,914	0,9772	0,9772	0,0
	60	3,04	17,6493	0,914	0,9817	0,9439	-3,8
	80	3,52	17,4660	0,914	0,9819	0,7879	-19,7
-420 +297	20	2,08	15,3753	0,770	0,9544	0,9447	-1,0
	40	2,56	13,8598	0,770	0,9588	0,9795	2,1
	60	3,04	14,5253	0,770	0,9569	0,9464	-1,1
	80	3,52	14,0959	0,770	0,9581	0,8737	-8,8