

ESTUDO DE VARIÁVEIS NO DESEMPENHO DO CONCENTRADOR CENTRÍFUGO KNELSON

Carriso, R. C. C.¹ e Braga, P. F. A.²

Centro de Tecnologia Mineral - CETEM/CNPq
Rua 4, Quadra D, Ilha do Fundão
21941-590 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the influence of some processing variables on the performance of the 3" Knelson concentrator, used on the recovery of heavy minerals. With this purpose the material used was a sand. The methodology involved a factorial design with four variables at two levels, to answer: a) the quantity of material that sinked in the concentrate and b) the recovery of this material. Results showed that among the variables studied (flowrate, solids contents, time of centrifugation and pressure of water fluidization) water pressure of fluidization contributes positively for the quantity and recovery of material sinked in the concentrate when going from minimum to maximum levels.

Key words: centrifugal concentrator, heavy minerals, concentration

RESUMO

O presente estudo teve por objetivo avaliar a influência de algumas variáveis de processo no desempenho do concentrador centrífugo Knelson 3" visando sua aplicação à recuperação de minerais pesados. Para este fim foi utilizada uma areia de praia. A metodologia aplicada foi baseada em planejamento fatorial de quatro variáveis a dois níveis para duas respostas: teor e recuperação de minerais pesados no concentrado. Dentre as variáveis estudadas (vazão, percentagem sólidos, tempo de centrifugação e pressão da água de fluidização) a pressão da água de fluidização contribuiu positivamente para as duas respostas analisadas ao passarem dos níveis mínimos para seus níveis máximos.

Palavra chave: concentrador centrífugo, minerais pesados, concentração

¹Eng. Metalurgista MSc, CETEM

²Eng. Químico, CETEM

1. INTRODUÇÃO

Na indústria mineral grandes quantidades de minérios vêm sendo perdidas devido a inexistência de uma tecnologia capaz de beneficiar com eficiência frações granulométricas finas(1).Os processos físico-químicos tais como flotação e floculação vêm sendo empregados no beneficiamento desses finos, contudo, nem sempre são eficientes e, dependendo do valor agregado ao minério, podem tornar-se economicamente inviáveis. Quanto aos processos gravíticos que utilizam somente a força da gravidade, mesmo quando a diferença de densidades entre minerais é marcante, embora menos dispendiosos que os físico-químicos, geralmente são menos eficientes. Visando aumentar sua eficiência, foi introduzida a força centrífuga nesses processos.

A concentração centrífuga para minérios auríferos já é um processo bem difundido[2-4]. Os bons resultados alcançados indicaram a possibilidade de que esse processo pudesse ser utilizado para a concentração de outros minérios de minerais pesados, onde os resultados obtidos vêm sendo bastante promissores[1,5-7].

Vários concentradores centrífugos descontínuos foram desenvolvidos ao longo dos últimos quarenta anos, mas só recentemente a Falcon desenvolveu e começou a comercializar o seu concentrador contínuo[7] e a Knelson, está com o seu em desenvolvimento. Isto propiciará a realização de estudos mais aprofundados nesses equipamentos com possibilidade de utilização em larga escala não só para recuperar as frações finas existentes nos minérios alimentados nas usinas, bem como aquelas contidas nos rejeitos.

O concentrador Knelson descontínuo (Figura 1), consiste de uma cesta cônica perfurada com anéis internos que gira em alta velocidade. A alimentação é introduzida sob forma de polpa (20 a 30% de sólidos) por um conduto localizado na parte central da base do cesto. As partículas, ao atingirem a base do cone, são impulsionadas para as paredes laterais pela ação da força centrífuga gerada pela rotação do cone. Forma-se um leito de volume constante nos anéis, os quais retêm as partículas mais pesadas, à medida que as partículas mais leves são expulsas do leito e arrastadas por cima dos anéis para a área de descarga de rejeitos no topo do cone[2,3].



Figura 1 - Concentrador Knelson

Especificações do Fabricante:

-Potência:	1/6 Hp
-Peso:	20 kg
-Dimensões:	50 x 40 x 60 cm
-Capacidade de alimentação:	65 kg/h
-Granulometria de alimentação:	< 10 malhas (1,65 mm)
-Água requerida:	polpa: 2 l/min fluidização: 13 l/min
-Capacidade do cesto:	61,6 ml

O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho do concentrador centrífugo Knelson 3" na recuperação de finos de minerais pesados existentes em areias de praia. A metodologia adotada para a realização dos ensaios foi baseada em planejamento fatorial[8], sendo analisadas as variáveis vazão de sólidos, percentagem de sólidos, tempo de centrifugação e pressão da água de fluidização para as respostas: teor e recuperação de minerais pesados no concentrado.

2. MATERIAIS E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Materiais

O material escolhido inicialmente para ser trabalhado foi uma areia natural de praia marítima que já apresentava um teor de minerais pesados que atendia aos propósitos do projeto. Foram coletadas três toneladas de areia da Praia do Forte, no Município de Cabo Frio. O material apresentou a seguinte distribuição de tamanho de partículas (Tabela I):

Tabela I - Granulometria da areia de praia

Tamanho (malhas)	% Retida	
	Simplex	Acumulada
+48	3,8	3,8
48 / 65	13,4	17,2
65 / 100	71,2	88,4
100 / 200	11,6	100,0

O teor de mineral pesado (densidade > 2,89) para diferentes alíquotas apresentou um valor médio de 2,50 % \pm 0,06. Na caracterização mineralógica da amostra foram identificados mais de 99% em peso de grãos de quartzo. No material leve ($d < 2,89$) foram identificados grãos arredondados de quartzo e no material pesado, foram observados turmalina, zirconita, granada, topázio e magnetita.

Procedimento Experimental

A metodologia adotada para a realização dos ensaios foi baseada em planejamento fatorial. As principais variáveis que influenciam o processo foram estudadas em dois níveis, com base em ensaios preliminares e informações do fabricante (Tabela II). Optou-se por um planejamento fatorial completo, perfazendo um total de dezesseis ensaios (2^4) e mais quatro ensaios no ponto central (valor médio) para avaliação do erro experimental:

Tabela II - Variáveis estudadas com seus respectivos níveis

Variáveis	níveis das variáveis	nível médio
(A) vazão de sólidos (kg/h)	60 e 100	80
(B) percentagem de sólidos em peso (%)	30 e 40	35
(C) tempo de centrifugação (min.)	10 e 30	20
(D) pressão da água de fluidização (kg/cm ²)	0,21 e 0,42	0,31

A execução dos ensaios seguiu a ordem apresentada na Tabela III:

Tabela III - Ordem de execução dos ensaios

Ensaio	Vazão (kg/h)	% Sólidos	Tempo de centrifugação (min.)	Pressão de água (kg/cm ²)
1	100	30	30	0,21
2	100	30	10	0,42
3	100	40	10	0,21
4	100	30	10	0,21
5	60	30	30	0,42
6	60	30	10	0,21
7	100	30	30	0,42
8	60	40	30	0,21
9	60	30	10	0,42
10	60	30	30	0,21
11	100	40	30	0,42
12	100	40	10	0,42
13	60	40	10	0,21
14	60	40	10	0,42
15	100	40	30	0,21
16	60	40	30	0,42
17	80	35	20	0,30
18	80	35	20	0,30
19	80	35	20	0,30
20	80	35	20	0,30

Para execução dos ensaios foi utilizado o circuito apresentado na Figura 2. A amostra retirada de uma pilha longitudinal é colocada num alimentador de correia de velocidade variável, que permite o ajuste para as diferentes vazões programadas nos ensaios.

A seguir, a amostra é conduzida até uma calha na qual recebe simultaneamente uma quantidade de água previamente ajustada, através de um rotâmetro, para atingir a percentagem de sólidos requerida em cada ensaio.

A amostra empalpada cai diretamente no concentrador centrifugo, onde ocorre a separação. O material retido no cesto vem a constituir o concentrado. O material mais leve (rejeito) é descartado do circuito. É injetado um fluxo ajustável de água sob pressão (água de fluidização) que é uma das variáveis do processo.

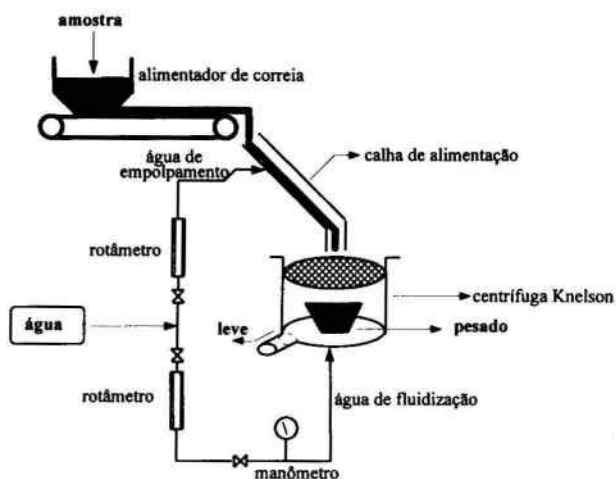


Figura 2 - Circuito utilizado na realização dos ensaios

3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados dos ensaios realizados tendo por base o planejamento de experimentos (ensaios 1 a 16) e aqueles destinados à avaliação do erro experimental (ensaios 17 a 20) são apresentados na Tabela IV.

O parâmetro escolhido para controle do processo foi a percentagem em peso de material com densidade maior ou menor que 2,89.

Para a análise dos resultados foi utilizada a técnica de análise dos experimentos [8] levando em consideração duas respostas: teor e recuperação de minerais pesados no concentrado. A análise de significância das variáveis operacionais do processo foi realizada através do algoritmo de Yates e Teste "t" Student, para uma confiabilidade de 95% ($\alpha = 5\%$). Nas Tabelas V e VI são apresentadas as análises de significância das variáveis do processo em relação ao teor e recuperação de minerais pesados no concentrado, respectivamente.

Para as duas respostas estudadas, teor e recuperação, não se verificou sinergismo entre as variáveis, isto é, o efeito combinado das variáveis não foi significativo.

Tabela IV - Resultados obtidos nos ensaios de concentração centrífuga

Ensaio	Alimentação			Rejeito			Concentrado			
	vazão (kg/h)	P (%)	L (%)	massa (%)	P (%)	L (%)	massa (%)	P (%)	L (%)	Rec. P (%)
1	105,5	2,4	97,6	99,8	2,3	97,7	0,2	23,7	76,3	1,9
2	104,4	2,3	97,7	99,4	2,2	97,8	0,6	34,1	65,9	8,2
3	101,2	2,4	97,6	99,4	2,3	97,7	0,6	24,0	76,0	5,8
4	107,1	2,3	97,7	99,5	2,2	97,8	0,6	24,2	75,8	5,7
5	61,3	2,4	97,6	99,7	2,2	97,8	0,3	44,7	55,3	6,3
6	64,2	2,4	97,6	99,1	2,2	97,8	0,9	25,0	75,0	9,5
7	103,1	2,4	97,6	99,8	2,3	97,7	0,2	44,7	55,3	3,8
8	63,0	2,4	97,6	99,7	2,3	97,7	0,3	26,7	73,3	3,5
9	62,1	2,4	97,6	99,1	1,9	98,1	0,9	48,3	51,7	19,0
10	62,3	2,2	97,8	99,7	2,0	98,0	0,3	33,9	66,1	5,1
11	103,7	2,4	97,6	99,8	2,3	97,7	0,2	49,7	50,3	4,0
12	102,1	2,3	97,7	99,4	2,1	97,9	0,6	43,7	56,3	10,7
13	63,2	2,3	97,7	99,1	2,1	97,9	0,9	29,3	70,7	11,8
14	62,4	2,4	97,6	99,1	2,0	98,0	0,9	45,9	54,1	17,6
15	104,1	2,3	97,7	99,8	2,3	97,7	0,2	37,3	62,7	3,1
16	63,3	2,3	97,7	99,7	2,2	97,8	0,3	54,7	45,3	7,3
17	82,1	2,4	97,6	99,6	2,2	97,8	0,4	55,6	44,4	8,9
18	80,8	2,3	97,7	99,6	2,1	97,9	0,4	51,9	48,1	8,9
19	82,1	2,4	97,6	99,6	2,2	97,8	0,4	48,8	51,2	7,7
20	79,6	2,3	97,7	99,6	2,2	97,8	0,4	40,7	59,3	6,6

Obs: P= pesado ($d > 2,89$) e L= leve ($d < 2,89$)

Tabela V: Análise de significância em relação a recuperação de material pesado no concentrado

Ensaio	Tratamento	P (%)	Y - 1	Y - 2	Y - 3	Y - 4	DM	t calc	SIG
6	(1)	9,5	15,2	32,7	46,3	123,2	-	-	-
4	a	5,7	17,5	13,5	76,9	-36,9	-4,6	6,0	s
13	b	11,8	7,0	55,6	-13,4	4,2	0,5	0,7	ns
3	ab	5,8	6,6	21,4	-23,5	3,5	0,4	0,6	ns
10	c	5,1	27,2	-9,8	1,9	-53,4	-6,7	8,7	s
1	ac	1,9	28,3	-3,6	2,3	18,1	2,3	3,0	ns
8	bc	3,5	10,1	-17,7	0,5	-2,6	-0,3	0,4	ns
15	abc	3,1	11,3	-5,8	3,1	0,1	0,01	0,01	ns
9	d	19,0	-3,8	2,3	-19,2	30,6	3,8	5,0	s
2	ad	8,21	-6,0	-0,4	-34,2	-10,1	-1,3	1,7	ns
14	bd	17,6	-3,1	1,1	6,2	0,4	0,1	0,1	ns
12	abd	10,7	-0,5	1,2	11,9	2,6	0,3	0,4	ns
5	cd	6,3	-1,8	-2,2	-2,7	-15,0	-1,9	2,4	ns
7	acd	3,8	-6,9	2,7	0,1	5,8	0,7	0,9	ns
16	bcd	7,3	-2,5	3,9	4,8	2,8	0,4	0,5	ns
11	abcd	4,0	-3,3	-0,8	-4,7	-9,6	-1,2	1,6	ns
TOTAL		123,2							

Obs: P= pesado

Tabela VI: Análise de significância em relação ao teor de material pesado no concentrado

Ensaio	Tratamento	P (%)	Y - 1	Y - 2	Y - 3	Y - 4	DM	t calc	SIG
6	(1)	25,1	49,2	102,5	224,1	589,9	-	-	-
4	a	24,2	53,3	121,6	365,8	-27,1	-3,4	0,8	ns
13	b	29,3	57,6	172,1	-5,9	32,7	4,1	0,9	ns
3	ab	24,0	64,0	193,8	-21,3	23,4	2,9	0,7	ns
10	c	33,9	82,4	-6,2	10,4	40,8	5,1	1,1	ns
1	ac	23,7	89,7	0,4	22,3	17,9	2,2	0,5	ns
8	bc	26,7	89,4	-16,3	16,3	10,1	1,3	0,3	ns
15	abc	37,3	104,4	-5,0	7,1	8,4	1,1	0,2	ns
9	d	48,3	-0,9	4,1	19,1	141,7	17,7	4,0	s
2	ad	34,1	-5,4	6,3	21,7	-15,4	-1,9	0,43	ns
14	bd	45,9	-10,2	7,3	6,6	11,9	1,5	0,3	ns
12	abd	43,7	10,6	15,1	11,3	-9,2	-1,2	0,3	ns
5	cd	44,7	-14,1	-4,5	2,3	2,6	0,3	0,1	ns
7	acd	44,7	-2,2	20,8	7,9	4,8	0,6	0,1	ns
16	bcd	54,7	-0,14	12,0	25,2	5,6	0,7	0,2	ns
11	abcd	49,7	-4,9	-4,9	-16,8	-42,0	-5,3	1,2	ns
TOTAL		589,9							

Obs: P= Pesado

Baseado nos resultados apresentados nas Tabelas V e VI, foi construído um modelo, para cada uma das respostas estudadas, dado por:

$$R = 7,7 - 2,3v_s - 3,3t_c + 1,9p_a \quad (1)$$

$$T = 36,8 + 8,9p_a \quad (2)$$

Nas Figuras 2 e 3 são apresentados os resultados obtidos a partir das equações (1) e (2), respectivamente, para os níveis estudados.

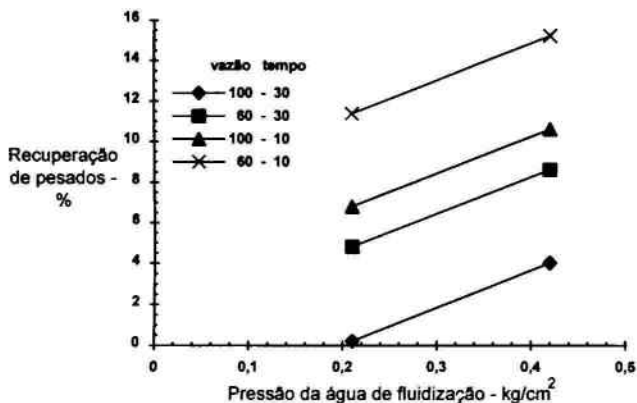


Figura 2 - Recuperação de minerais pesados em relação a pressão de água de fluidização



Figura 3 - Teor de minerais pesados em relação a pressão de água de fluidização

Das Tabelas V e VI e das Figuras 2 e 3 pode ser observado que:

a) Quanto a recuperação

- maior pressão de água de fluidização maior recuperação (ao passar de 0,21 para 0,42 kg/cm² levou a uma redução de 3,8%).
- maior tempo de centrifugação menor recuperação (ao passar de 10 para 30 min proporcionou uma redução de 6,7%).
- maior vazão de sólidos menor recuperação (ao passar de 60 para 100 kg/h proporcionou uma redução de 4,6%).

b) Quanto ao teor

- maior pressão de água de fluidização maior teor (ao passar de 0,21 para 0,42 kg/cm² levou a uma elevação de 17,7 %).

4. CONCLUSÕES

A realização deste trabalho permitiu concluir que, para as condições estudadas:

- o concentrador centrífugo Knelson 3" apresentou resultados promissores ao operar com teores mais elevados que a sua faixa usual, com minérios auríferos;
- a variável vazão de sólidos e o tempo de centrifugação contribuíram negativamente na recuperação de material pesado no concentrado ao terem seus níveis elevados de 60 para 100 kg/h e de 10 para 30 minutos, respectivamente;
- a pressão de água de fluidização foi uma variável que contribuiu positivamente tanto na recuperação quanto no teor de minerais pesados no concentrado ao ter seu nível elevado de 0,21 para 0,42 kg/cm².

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. JIANG, X. X., HAN, K. N. The Separation of magnetite from silica particles by centrifugation using two immiscible liquids. *International Journal of Mineral Processing*, v.35, p. 101-120, 1992.
2. LINS, F. F et al. Concentrador centrifugo: revisão e aplicações potenciais. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1992.
3. KNELSON INTERNATIONAL SALES INC. Operating guidelines for the 3" Knelson concentrator. [S.n.t.]
4. PATCHEJEFF, B., GAIDARJIEV, St., LAZAROV, D. Opportunities for fine gold recovery from a copper flotation circuit usings a Knelson concentrator. *Minerals Engineering*, v. 7, n. 2/3, p. 405-409, 1994.
5. KNELSON, B., JONES, R. A new generation of Knelson concentrators: a totally secure system goes on line. *Minerals Engineering*, v. 7, n. 2/3, p. 201-207, 1994.
6. LAPLANTE, A. R., SHU, Y. The use of a laboratory centrifugal separator to study gravity recovery in industrial circuits. In: CANADIAN MINERAL PROCESSORS CONFERENCE, 24, 1992, Ottawa. Anais. Paper n.12.
7. LAPLANTE, A. R. A comparative study of two centrifuge concentrators. In: ANNUAL OPERATOR'S CONFERENCE OF THE CANADIAN MINERAL PROCESSORS, 25, 1993, Quebec.
8. ALCÂNTARA, E. M., OGANAWARA, T., SILVA, F. T. Aplicação do planejamento fatorial simples na ustulação salina de um concentrado vanadífero, In : ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E HIDROMETALURGIA, 14, 1990, Salvador. Anais. p. 794 - 804.