

REPÚBLICA FEDERAL DO BRASIL
MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA
DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL

EXEMPLAR PERTENCENTE A
BIBLIOTECA

DYNAWHIRLPOOL (DWP) E SUA APLICAÇÃO NA INDUSTRIA MINERAL

EXEMPLAR PERTENCENTE A BIBLIOTECA

STM20

CE

Ministério das Minas e Energia
Departamento Nacional da Produção Mineral

SECRETARIA DE ESTADO DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL

SECRETARIA DE ESTADO DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL
DIVISÃO DE FOMENTO DA PRODUÇÃO MINERAL

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA

Cesar Cals — Ministro de Estado

DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL

Yvan Barretto de Carvalho — Diretor Geral

DIVISÃO DE FOMENTO DA PRODUÇÃO MINERAL

Manoel da Redenção e Silva — Diretor

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Roberto C. Villas Bôas — Superintendente

Autores: Hedda Vargas Figueira .
José Aury de Aquino ..

DYNAWHIRLPOOL (DWP) E SUA APLICAÇÃO
NA INDUSTRIA MINERAL

Execução e elaboração do trabalho pelo
CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL-CETEM
através do convênio DNPM/CPRM

- Eng. Química
- Eng. Químico, M.Sc. Eng. Metalurgica

BRASILIA

1981

 CETEM	
PATRIMÔNIO	
17-B - 4043	
COL. DE	VOL VOL Nº
DATA 28/04/93	
REG. Nº	
BMB	

CETEM
BIBLIOTECA

Reg. N.º 125 Data 28/3/83

Publicação do Departamento Nacional da Produção Mineral
Setor de Autarquias Norte
Quadra 01 — Bloco B — Telex (061) 1116 -
70.000 — Brasília (DF) — Brasil

Copyright 1981

Reservados todos os direitos

Permitida a reprodução, desde que mencionada a fonte

Depósito Legal
Biblioteca Nacional do Rio de Janeiro
Instituto Nacional do Livro

STM
20
CE

Brasil. DNPM

Dynawhirpool (DWP) e sua aplicação na indústria mineral/ Por/Hedda Vargas Figueira. Brasília, 1981.

15 p. il. (Brasil. DNPM. Ser. Tecnologia Mineral, 20. Seção Beneficiamento, 14)

"Trabalho elaborado pelo Centro de Tecnologia Mineral, convênio DNPM/CPRM".

Bibliogr. 5 refs.

I. Tecnologia Mineral-Brasil. I. Figueira, Hedda Vargas. II. Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro. III. Título (Série). 7

CDD 622.364

CDU 622.2 (81)

Instituto de Física - Universidade de São Paulo
Departamento de Física
Caixa Postal 663 - São Carlos - São Paulo
13506-900 - São Carlos - SP

SUMÁRIO

PÁGINAS

RESUMO

ABSTRACT

1. INTRODUÇÃO	2
2. DESCRIÇÃO DO APARELHO E DO PROCESSO	3
2.1. Aparelho	3
2.2. Processo	5
3. CARACTERÍSTICAS DA ALIMENTAÇÃO	7
4. VANTAGENS E APLICAÇÕES DO D.W.P.	9
5. TESTES DE APLICAÇÃO DO D.W.P.	11
5.1. Minério Oxidado de Zinco	12
5.2. Minério Fosfático	13
5.3. Ensaio de Carvão da Camada Bonito	15
5.4. Testes com Outros Minérios	18
6. CONCLUSÕES	18
7. BIBLIOGRAFIA	19

Instituto de Física - Universidade de São Paulo
Departamento de Física
Caixa Postal 663 - São Carlos - São Paulo
13506-900 - São Carlos - SP

RESUMO

Neste trabalho é feita uma descrição da separação em meio denso através do "Dynawhirlpool Process" (D.W.P.) e mostrados os resultados da sua aplicação para vários minérios. O D.W.P. é constituído de um cilindro aberto nas extremidades com relação a horizontal, operando em posição inclinada com relação a horizontal. O material é alimentado por gravidade na extremidade superior do cilindro e separado em dois produtos (flutuado e afundado) através de um vortice formado dentro do cilindro pelo movimento ascendente da polpa de meio denso. Foram realizados testes com minério oxidado de zinco, minério fosfático, cascalho diamantífero e carvão. Os melhores resultados foram obtidos com cascalho diamantífero, tendo-se uma recuperação de 100% com eliminação de 98% da massa.

ABSTRACT

This work describes dense media separation using the Dynawhirlpool Process (D.W.P.) and shows its application to various ores. The D.W.P. consists of a cylinder open in their extremes and endowed with two lateral tubes. It operates inclined with respect to the horizontal. The material is fed by gravity through the top extreme and separates into two products (float and sink) through the vortex formed by the rising movement of the dense medium. Tests were carried out with an oxidized zinc ore, phosphate rock, diamantiferous gravels and with coal. Best results were achieved with the diamantiferous gravels where a 100% recovery was obtained with a mass elimination of 98%.

1. INTRODUÇÃO

O processo de separação em meio denso (D.M.S.) também conhecido como "Sink and Float" é atualmente considerado o mais eficiente dos métodos de concentração gravimétrica.

A principal aplicação deste método consiste na eliminação de parte da ganga após a britagem, isto é, como um método de pré-concentração, objetivando a redução dos custos do tratamento posterior. Este método é aplicado também na obtenção de concentrado final, adequado para tratamento metalúrgico (minerais metálicos), ou diretamente para consumo (carvão). A utilização do processo de separação em meio denso sempre teve como principal limitação a granulometria, pois, os equipamentos conhecidos e utilizados só permitiam tratar minérios com tamanho superior a 6 milímetros. Nesta granulometria, geralmente o grau de liberação é baixo e portanto a operação é ineficiente.

Atualmente temos alguns aparelhos que permitem a separação em meio denso para granulometrias menores, tais como o ciclone de meio denso e o "Dynawhirpool", que operam com material até 0,5 milímetros.

O meio denso comumente utilizado é uma suspensão de

partículas de ferro silício ou de magnetita de acordo com a densidade do meio necessária.

2. DESCRIÇÃO DO APARELHO E DO PROCESSO

2.1 - Aparelho

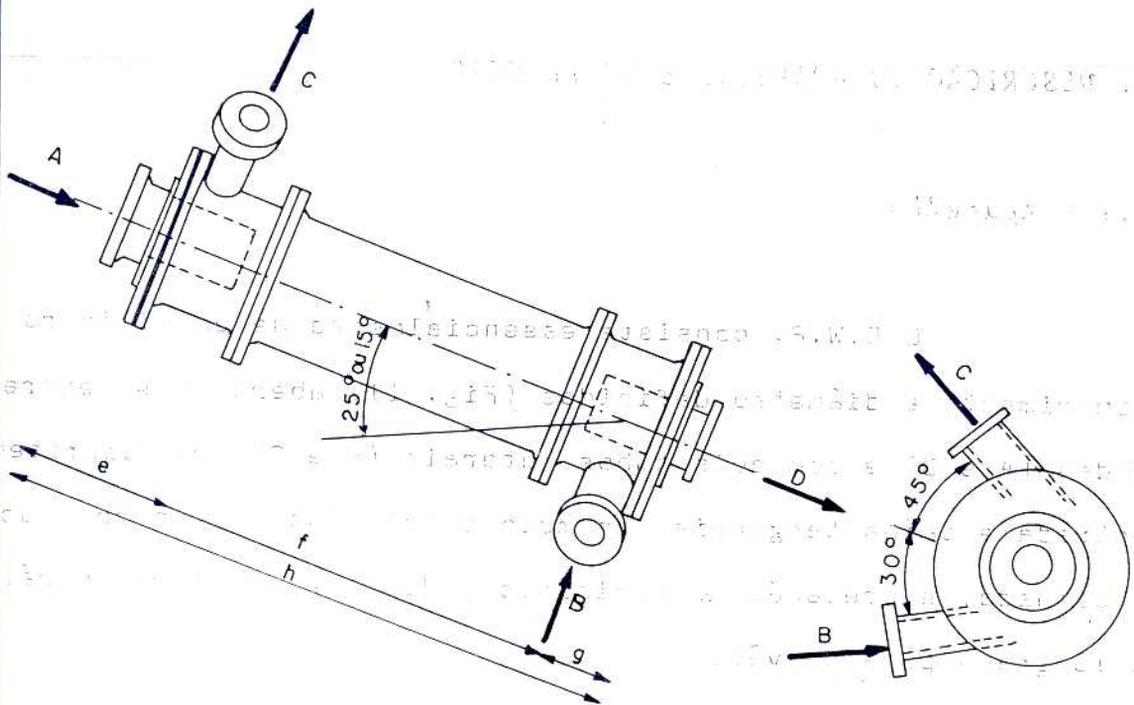
O D.W.P. consiste essencialmente de um cilindro de comprimento e diâmetro definidos (Fig. 1), aberto nas extremidades (A e D) e com dois tubos laterais (B e C) que permitem a entrada e saída tangencial do meio denso. Este cilindro opera inclinado, em relação a horizontal, de 25 graus para minérios e 15 graus para carvão.

A maior parte do meio denso (90%) é alimentado pela abertura tangencial localizada na parte inferior do cilindro (B) enquanto o material afundado deixa o aparelho pela abertura tangencial superior (C) juntamente com o meio denso.

A parte superior do cilindro (A) está acoplada a um alimentador por onde entra o minério a ser tratado umedecido com polpa de ferro silício. Na parte inferior do cilindro (D) é descarregado o material flutuado e o meio denso.

A separação no D.W.P. baseia-se na criação e controle de um vórtice, onde a forma e estabilidade deste são afetadas pelas variáveis:

Fig. 1 - UNIDADE DE DYNAWHIRLPOOL - DWP



TIPOS DE DWP	DIÂMETROS	6" in	12 1/2" in	15 1/2" in
A - ALIMENTAÇÃO (MINÉRIO+POLPA DE FeSi)		54 mm	110 mm	139,7 mm
B - ALIMENTAÇÃO DA POLPA DE FeSi		38 mm	70 mm	88,9 mm
C - DESCARGA DE CONCENTRADO		38 mm	70 mm	88,9 mm
D - DESCARGA DE REJEITO		54 mm	110 mm	139,7 mm
e		132 mm	276 mm	495,28 mm
f		736,6 mm	1347 mm	1441,45 mm
g		152,4 mm	178 mm	219,1 mm
h - comprimento total		1021,0 mm	1801 mm	1955,8 mm

- Variáveis do Aparelho

1. comprimento do cilindro;
2. diâmetro e extensão, dentro do cilindro, dos tubos de alimentação do minério e de saída do flutuado;
3. diâmetro de saída do afundado.

- Variáveis Operacionais

1. pressão de alimentação do meio denso;
2. pressão de descarga do afundado.

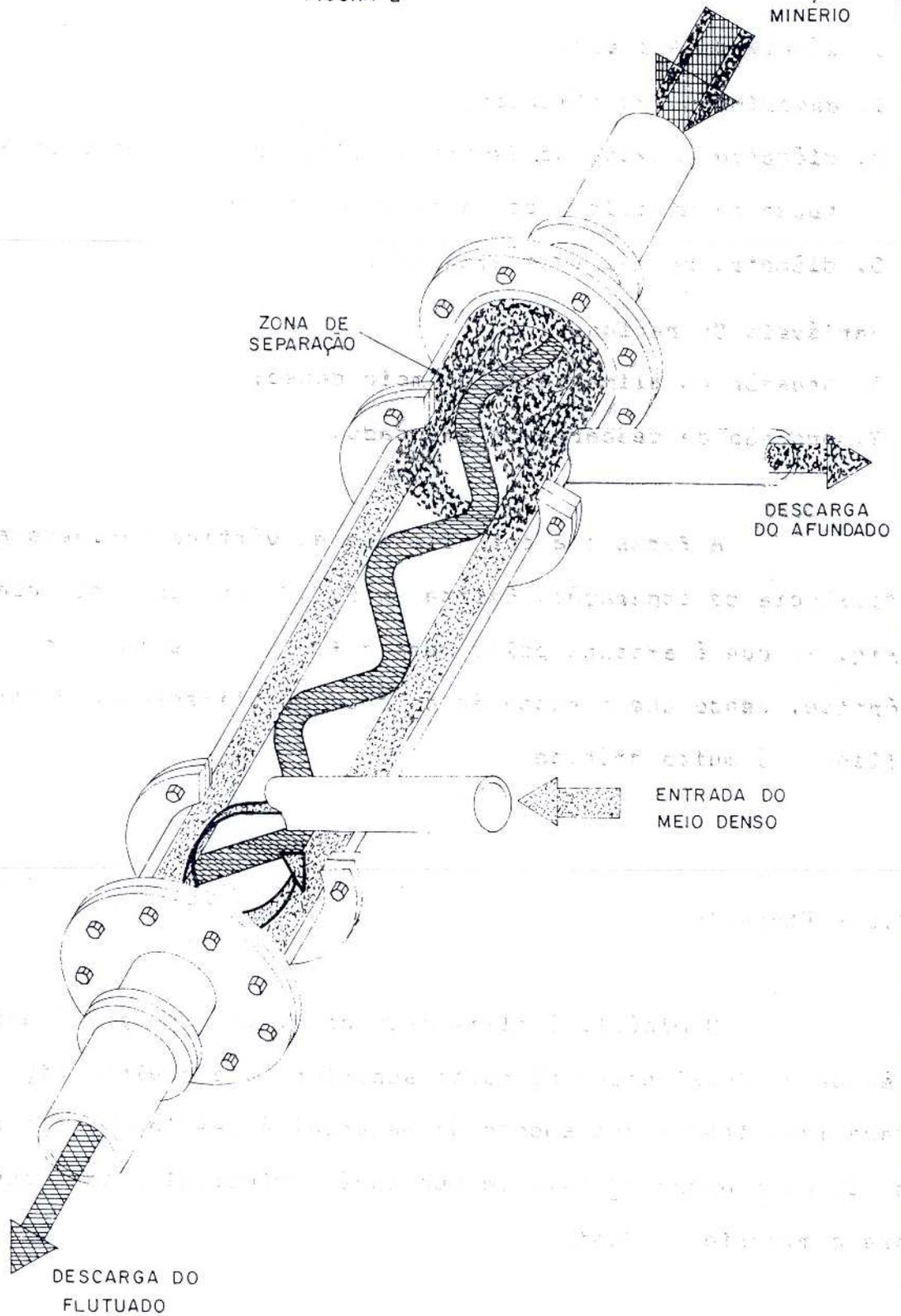
A forma e a estabilidade do vórtice influenciam a eficiência de separação. Existe no D.W.P. uma zona de separação (Fig. 2) que é afetada pelos mesmos fatores que influenciam o vórtice, sendo que a extensão do tubo de alimentação dentro do cilindro é muito crítica.

2.2 - Processo

O minério é alimentado no D.W.P. por gravidade através de um funil preso na parte superior do aparelho (Fig. 3). Para facilitar o escoamento do material é desviado parte da polpa de meio denso ($\leq 10\%$) da tubulação principal e injetado sobre o minério no funil.

A polpa de meio denso é alimentada (9) pela entrada tangencial inferior, com o controle da pressão, por ser esta uma das variáveis operacionais.

FIGURA 2



xar o tubo de alimentação. O flutuado desliza pela face interna do vórtice e é descarregado com parte da polpa de meio denso na extremidade inferior do cilindro (4). O material é descarregado sobre uma peneira (5) e o meio denso escoar retornando ao tanque de meio denso que alimenta o D.W.P. (12). O minério passa a outra peneira para lavagem (6) do meio denso aderido às partículas minerais. O meio denso diluído vai a um separador magnético (8), para eliminar as partículas de minério que contaminam a polpa de meio denso e daí para um densificador (7) a fim de retirar o excesso de água. A polpa de meio denso após atingir a densidade adequada é desmagnetizada (11) e retorna ao tanque de alimentação (12).

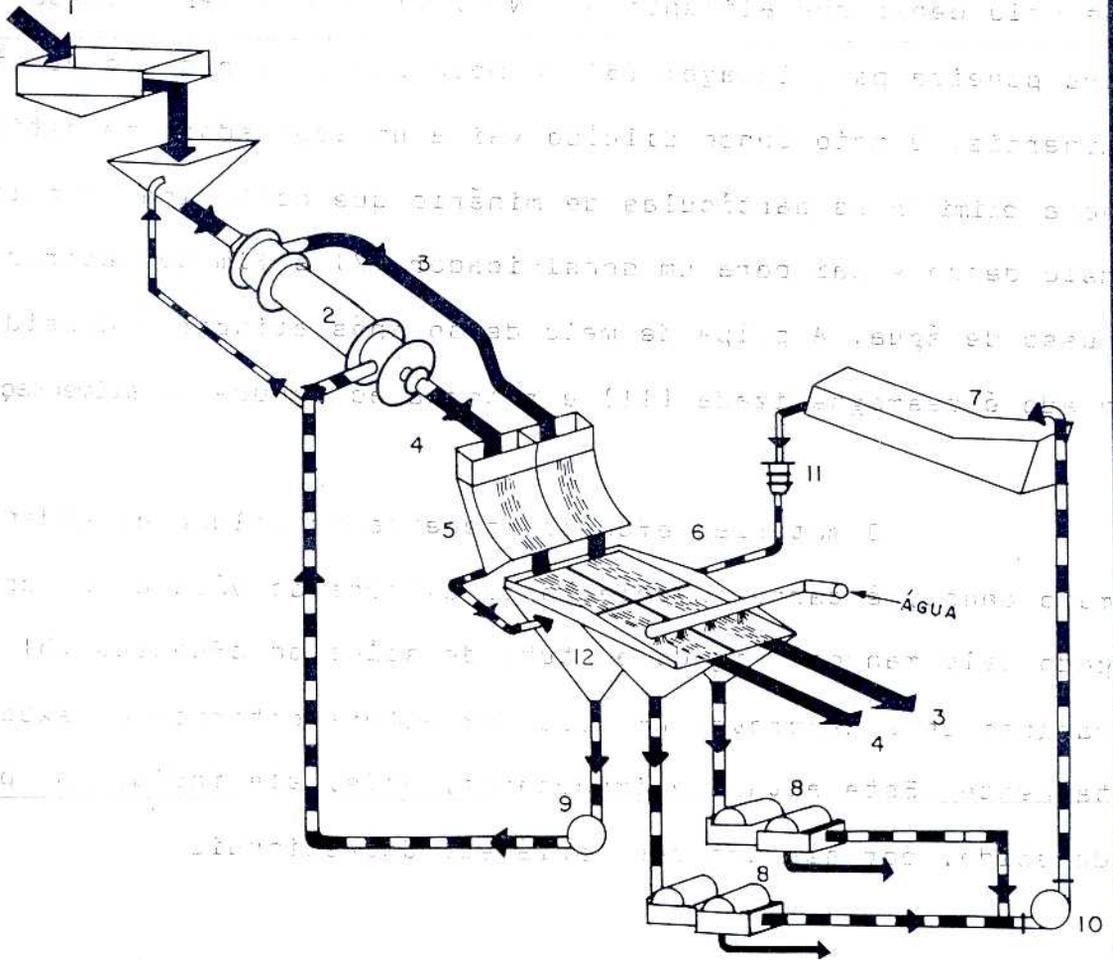
O material afundado penetra na coluna ascendente de meio denso, é carregado pela parte externa do vórtice e descarregado pelo mangote ligado ao tubo de saída do afundado (3). Este mangote deve descrever um arco com altura determinada experimentalmente. Esta altura é importante, pois, ela influi na pressão de saída, por ser uma das variáveis operacionais.

O ponto de descarga do mangote deve estar acima da saída do afundado para evitar a sifonagem do material.

3. CARACTERÍSTICAS DA ALIMENTAÇÃO

O D.W.P. pode ser alimentado com minério numa faixa granulométrica de 37,5 a 0,589 milímetros. O limite superior da granulometria de alimentação é determinado pelo tamanho do aparelho, sendo que o usado neste trabalho permite alimentação máxima de 12,5 milímetros. O limite inferior é determinado pelos

Fig. 3 - CIRCUITO TÍPICO DE SEPARAÇÃO POR DENSIDADE NO DYNA WHIRLPOOL PROCESS (D.W.P)



- 1 - ALIMENTAÇÃO
- 2 - D.W.P
- 3 - AFUNDADO
- 4 - FLUTUADO
- 5 - PENEIRAS D.S.M
- 6 - PENEIRAS PARA LAVAGEM
- 7 - DENSIFICADOR
- 8 - SEPARADOR MAGNÉTICO
- 9 - BOMBA DE MEIO DENSO
- 10 - BOMBA DE MEIO DENSO DILUIDO
- 11 - BOBINA DESMAGNETIZADORA
- 12 - TANQUE DE MEIO DENSO

LEGENDA



CIRCUITO DE MEIO DENSO



CIRCUITO DE MINERIO

problemas operacionais de separação do meio denso do minério.

Quando trabalhamos com densidades elevadas a viscosidade do meio torna difícil o uso de peneiras muito finas, limitando a alimentação a granulometrias maiores (20 e 14 malhas). A alimentação do D.W.P. deve ser previamente deslamada usando-se tela que limite o tamanho ao aconselhado para o caso. A alimentação não deve ter mais que 10% de umidade pois isto acarreta uma variação na densidade do meio.

4. VANTAGENS E APLICAÇÕES DO D.W.P.

O D.W.P. possui as seguintes vantagens com relação aos ciclones de meio denso:

- a. somente o meio denso é introduzido no aparelho sob pressão, permitindo se estabelecer a relação pressão fluxo independente da velocidade de alimentação;
- b. há um desgaste menor da superfície interna do aparelho já que ele tem um contato mínimo com o minério;
- c. a alimentação não passa pela bomba centrífuga e nem passa a alta velocidade pelos tubos, mas entra no aparelho molhada pelo meio denso e flui pela interface ar meio denso no vórtice. A fração afundado sedimenta mas é imediatamente removida pela saída do afundado. A fração flutuado que geralmente é a mais abrasiva não entra em contato com o cilindro. Portanto, o desgaste maior ocorre na pequena área de descarga do afundado.

O D.W.P. vem sendo bastante usado tanto na pré-concentração de minérios metálicos como no tratamento de carvões.

Algumas instalações que usam o D.W.P.:

- Minério de Zinco e Chumbo - Sardenha

Capacidade: 100 t/hora

Tamanho da alimentação: 1/2 polegadas x 28 malhas.

- Fluorita - Sheffield - Inglaterra

Capacidade: 30 t/hora

Tamanho da alimentação: 3/8 polegadas x 14 malhas.

- Gipsita - Windsor - N.S.

Capacidade: 30 t/hora

Tamanho da alimentação: 3/4 polegadas x 20 malhas.

- Minério de Ferro - Angola

Capacidade: 400 t/hora

Tamanho da alimentação: 1/4 polegadas x 20 malhas.

- Minério de cobre - Katanga

Capacidade: 45 t/hora

Tamanho da alimentação: 1/3 polegadas x 20 malhas.

- Minério de Manganês - ICOMI - Brasil

Capacidade: 100 t/hora

Tamanho da alimentação: 1/4 polegadas x 20 malhas.

- Conchas de Coquina - Ilo - Peru

Capacidade: 50 t/hora

Tamanho da alimentação: 1/4 polegadas x 30 malhas.

Para carvão, o D.W.P. tem sido muito utilizado, principalmente na África do Sul, Rodésia, França e Espanha.

África do Sul

- Indumeni Colliery - Carvão Betuminoso

Capacidade: 50 t/hora

Tamanho da alimentação: 6,4 mm x 0,6 mm.

- Natal Anthracite - Carvão Antracitoso

Capacidade: 150 t/hora

Tamanho da alimentação: 6,4 mm x 0,6 mm.

Rodésia

- Wankie Colliery - Carvão Betuminoso

Capacidade: 120 t/hora

Tamanho da alimentação: 6,4 mm x 0,6 mm.

Espanha

- Minas de Figaredo - Carvão Betuminoso

Capacidade: 50 t/hora

Tamanho da alimentação: 12 mm x 0,5 mm.

França

- Honilleres d'Aquitaine - Carvão Betuminoso

Capacidade: 135 t/hora

Tamanho da alimentação: 6,4 mm x 0,6 mm.

5. TESTES DE APLICAÇÃO DO D.W.P.

Os ensaios deste trabalho foram realizados com um aparelho de 6 polegadas comprado da Mineral Separation Corporation.

5.1 - Minério Oxidado de Zinco

2.3 de 2014

Utilizou-se para os testes um minério constituído principalmente de hemimorfita e willemita tendo como ganga um calcário dolomítico.

Os testes foram realizados com minério na faixa granulométrica de 12,5 a 0,95 milímetros.

O meio denso usado foi uma suspensão de ferro silício com densidades que variaram de 2,80 a 2,90 g/cm³ e a pressão de alimentação do meio denso variou de 7 a 11 lb/pol².

Alguns dos melhores resultados obtidos encontram-se na Tabela 1.

TESTE	CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO	FRAÇÕES	PESO %	Zn %	Ca O %	Mg O %	DISTRIBUIÇÃO		
							Zn %	Ca O %	Mg O %
1	d = 2,80 9 psi	AF	43,42	32,30	6,17	4,40	80,50	18,19	15,09
		FI	56,58	6,00	21,30	15,30	19,50	81,81	81,91
		Alm	100,00	17,40	14,73	10,56	-	-	-
2	d = 2,80 7 psi	AF	38,28	37,50	2,80	2,30	80,92	7,23	8,14
		FI	61,72	5,50	22,08	10,06	19,08	92,77	91,86
		Alm	100,00	17,74	14,69	10,79	-	-	-
3	d = 2,84 9 psi	AF	55,28	31,00	7,86	5,78	92,18	29,55	29,61
		FI	44,72	3,25	23,10	17,00	7,72	70,42	70,39
		Alm	100,00	18,47	14,10	10,97	-	-	-
4	d = 2,86 9 psi	AF	53,63	31,40	6,72	4,90	90,10	24,83	24,62
		FI	46,37	4,00	23,52	17,33	9,90	75,17	75,38
		Alm	100,00	18,69	14,51	10,66	-	-	-

Tabela 1 - Resultados dos ensaios realizados no D.W.P. com minério oxidado de zinco.

Pode-se observar pelos resultados apresentados na Tabela 1, que os testes deram bons resultados sendo que o teste nº 2 foi o mais satisfatório já que além do teor de zinco subir para 37,5%, os teores de CaO e MgO baixaram para 2,80% e 2,30% níveis adequados para os processos subsequentes. A recuperação neste teste foi de 80,92% e o descarte de massa de 61,72%.

5.2 - *Minério Fosfático*

O material utilizado para estes testes é uma rocha fosfática associada a uma rocha calcária, rocha anfibólica e rocha feldspática. A rocha fosfática é constituída essencialmente de apatita, na forma cripto-cristalina e amorfa.

Os testes foram realizados com material na faixa granulométrica de 12,5 a 0,95 milímetros.

O meio denso usado foi uma suspensão de ferro silício com densidades que variaram de 2,28 a 2,60 g/cm³.

Nestes testes foi mantida constante a pressão de entrada do meio denso no D.W.P. em 10 lb/pol².

Nestes ensaios a altura do mangote de saída do afundado, foi mantida em 90 centímetros e a alimentação variou entre 1300 a 1400 kg/hora.

Os resultados dos ensaios realizados encontram-se

DENSIDADE (g/cm ³)	FLUTUADO		AFUNDADO		ALIMENTAÇÃO	RECUPERAÇÃO
	% PESO	% P ₂ O ₅	% PESO	% P ₂ O ₅	% P ₂ O ₅	DE P ₂ O ₅ (%)
2,28	16,0	7,57	84,0	13,96	12,94	90,6
2,32	22,0	7,83	78,0	14,20	12,79	86,5
2,36	28,7	7,98	71,3	14,68	12,76	82,0
2,40	47,7	8,85	52,3	16,14	12,66	66,6
2,44	53,4	9,06	46,6	16,50	12,53	61,4
2,48	64,1	9,46	35,9	17,16	12,22	50,4
2,52	72,6	9,74	27,4	18,07	12,03	41,2
2,56	79,6	10,31	20,4	19,28	12,14	32,4

Tabela 2 - Teor e recuperação de P₂O₅ nos produtos obtidos no Dynawhirpool

Pode-se observar pelos resultados apresentados na Tabela 2 que os testes não deram bons resultados. Partindo-se de uma alimentação com 12% de P₂O₅ obteve-se concentrado com 19,28% de P₂O₅ que poderia ser considerado um pré-concentrado, no entanto a recuperação foi muito baixa (32,4%).

Atribui-se a esta dificuldade de separação a pequena diferença que existe entre a densidade das partículas com alto teor de P₂O₅ e ganga.

5.3 - Ensaio com Carvão da Camada Bonito

Os ensaios foram realizados com uma amostra de carvão da Camada Bonito (Sta. Catarina) enviada pela Carbonífera Criciúma e estudada pelo Eng^o. E.Hoffmann do CETEM.

Dados obtidos no trabalho, estão na Tabela 3.

DENSIDADE DE SEPARAÇÃO	FLUTUADO		AFUNDADO
	PESO %	CINZA %	PESO %
1,7	23,0	30,0	76,0
1,8	40,0	35,0	60,0
1,9	47,0	38,0	53,0

Tabela 3 - Dados de separação em líquido denso. (E.Hoffmann)

A amostra recebida tinha a seguinte distribuição granulométrica.

TAMANHO	PESO %
-8" + 1/2"	60,66
-1/2 + 14 malhas	30,28
- 14 malhas	9,06

Tabela 4 - Granulometria do Carvão.

A amostra original apresentava um teor de 49,8% de cinza.

A fração -8" + 1/2" foi britada até -1/2 e misturada com o resto da amostra. Fez-se então uma deslamagem a 16 malhas (aproximadamente 1 mm) e os produtos secos foram pesados obtendo-se o seguinte resultado:

+16 malhas - 57% (500 kg)
-16 malhas - 43% (380 kg)

O material +16 malhas foi usado nos ensaios no D.W.P..			
Nestes ensaios variou-se a densidade e a pressão de entrada do meio denso.			
	1,5	1,6	1,7
	1,8	1,9	2,0
Densidades: 1,5 - 1,6 - 1,7 - 1,8 - 1,9 - 2,0.			

Em cada densidade variou-se a pressão entre 4 e 7 libras/polegada quadrada (psi).

Usou-se magnetita para se obter as suspensões com as citadas densidades.

Na Tabela 5 encontram-se alguns resultados obtidos.

Os melhores resultados foram obtidos nos testes 1, 2 e 3, que foram realizados com densidade 1,7 e pressões 4, 5 e 6 libras/polegada quadrada respectivamente.

Estes testes mostram a possível aplicação do Dynawhirpool também no beneficiamento de carvões brasileiros.

TESTE	CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO	FLUTUADO		AFUNDADO		RECUPERAÇÃO
		PESO %	CINZA %	PESO %	CINZA %	
1	d = 1,7 4 psi	45,3	34,6	54,7	61,0	56,2
2	d = 1,7 5 psi	32,1	31,1	67,9	57,9	43,6
3	d = 1,7 6 psi	22,1	28,0	77,9	55,8	31,6
4	d = 1,8 4 psi	55,7	38,1	44,3	66,6	69,9
5	d = 1,8 5 psi	54,6	38,1	45,4	65,6	65,4
6	d = 1,8 6 psi	45,4	36,4	52,6	61,6	59,9
7	d = 1,8 7 psi	42,5	33,6	57,5	61,2	55,8
8	d = 1,9 4 psi	71,2	42,4	28,8	73,3	84,2
9	d = 1,9 5 psi	69,3	40,8	30,7	70,9	82,1
10	d = 1,9 6 psi	67,9	40,1	32,1	65,7	80,2
11	d = 1,9 7 psi	59,5	39,4	40,5	67,7	73,4

Tabela 5 - Resultados Obtidos.

5.4 - Testes com Outros Minérios

Foram realizados testes com cascalho diamantífero e os resultados foram excelentes, pois obteve-se 100% de recuperação com 98% de descarte de massa.

6. CONCLUSÕES

Nos últimos anos o D.W.P. tem sido considerado uma alternativa viável ao ciclone de meio denso nos mais diversos ramos de processamento mineral.

No nosso país ele ainda é pouco usado talvez por ser pouco conhecido.

Entretanto, pode-se ver pelos resultados apresentados neste trabalho que vários minérios metálicos tanto sulfetados como oxidados podem ser pré-concentrados por este método, diminuindo consideravelmente os custos de tratamento.

Também os minerais não metálicos, como o diamante e a fluorita podem ser tratados com vantagens.

O Dynawhirlpool tem portanto uma grande potencialidade de aplicação na Indústria Mineral.

7. BIBLIOGRAFIA

1. DOUGHTY, F.T.C. Gravity prē-concentrator for oxidised Pb-Zn ores. World Mining, v.52, Mar. 1976.
2. HACIOGHR, E. An investigation into heavy medium separation using centrifugal methods. Camborne School of Mines, Sept. 1980 (Tese de mestrado).
3. LIE, J. Z.; BHAPPU, B.R. Metallurgical operating and economic characteristics of the D.W.P.
In: MULAR ; BHAPPU, B.R. Mineral processing plant design . AIME, 1978.
4. POLHEMUS: J. H. ; AMMON, R.I. First application of D.W.P. to zinc ores: treatments at Mascot Mill of Am. Zinc. Co. of Tennessee. Trans. I.M.M., Section C, Mar. 1966.
5. WILLS, B.A.; LEWIS, P.A. Applications of D.W.P. in mineral industry. Mining Magazine, v.255, Sept. 1980.