

PMI3101 - INTRODUÇÃO À ENGENHARIA APLICADA À INDÚSTRIA MINERAL

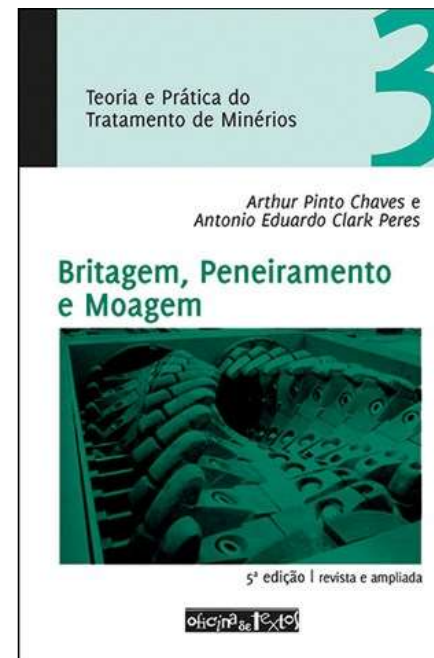
Operações unitárias

São Paulo – 15 de Maio de 2017

Professor Mauricio Guimarães Bergerman

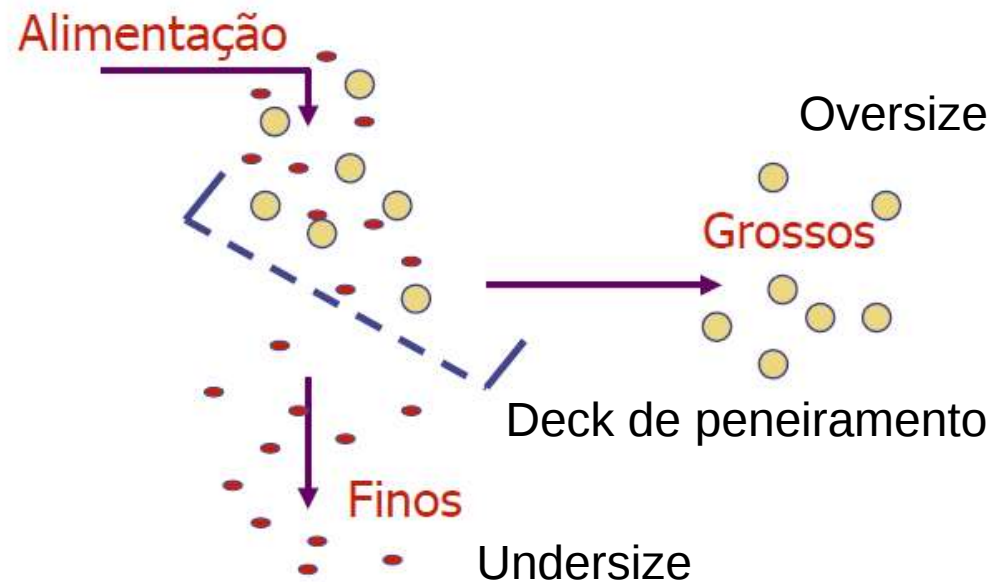
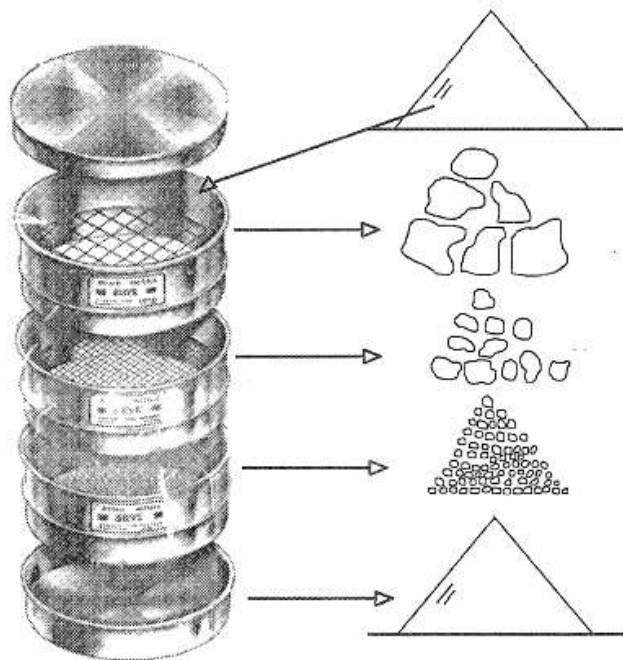
Peneiramento

- Capítulo 2 do livro:
- Teoria e prática do Tratamento de Minérios:
Britagem, peneiramento e moagem. Volume 3. 2012.
5 edição. Autores: Arthur Pinto Chaves e Antônio
Eduardo Clark Peres



Peneiramento

Definição: Operação de separação de uma população de partículas em duas frações de tamanhos diferentes, mediante a sua apresentação a um gabarito de abertura fixa e pré-determinada.



Peneiramento

- Faixas usuais de aplicação industrial (aprox.): 18" (0,46 m) a 100 μm ;
- A seco: material com pouca umidade natural ou que foram secados previamente – esta umidade não pode ser muito alta;
- A úmido (ou via úmida): quando o material é alimentado a forma de polpa ou recebe água adicional através de sprays dispostos sobre os decks de peneiramento.

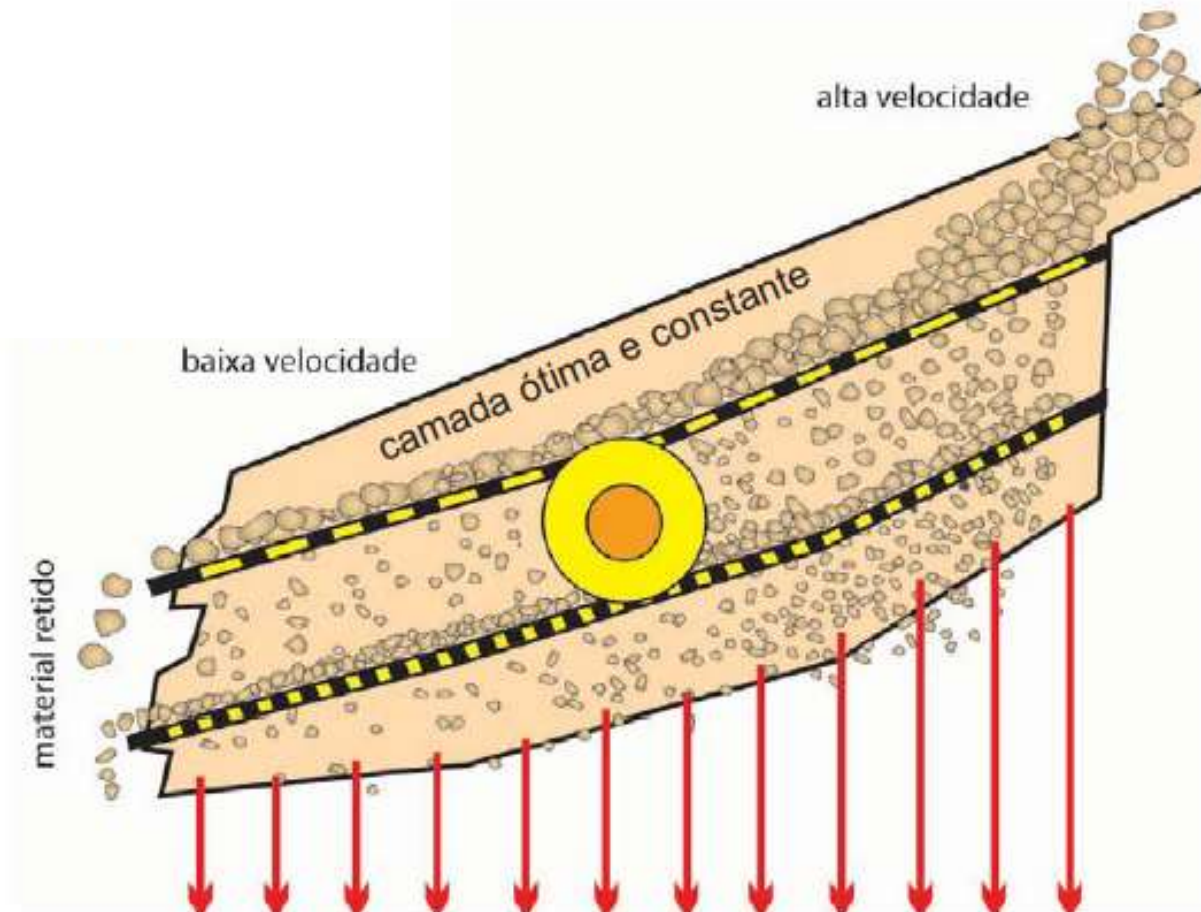
Peneiramento - equipamentos

□ Peneira vibratória inclinada:



Peneiramento - equipamentos

□ Peneira vibratória inclinada



Peneiramento - equipamentos

□ Peneira vibratória horizontal



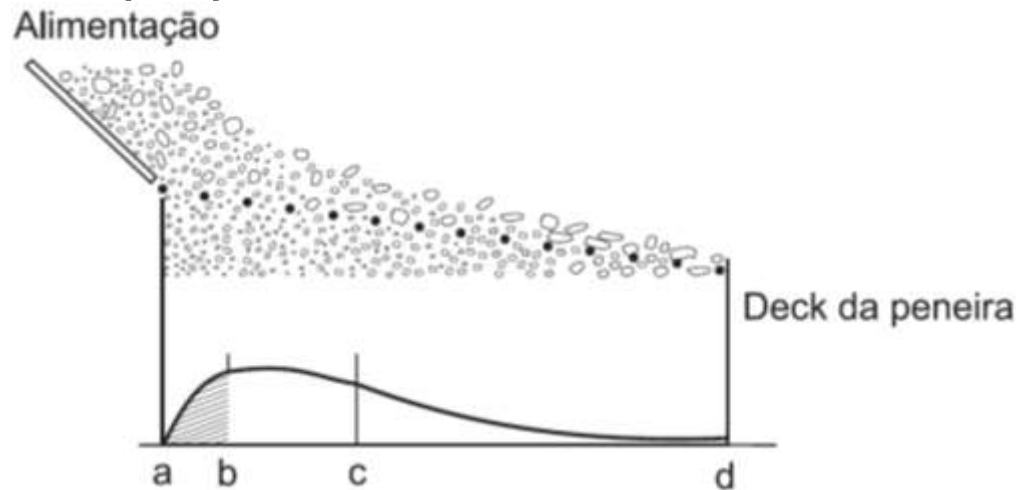
Peneiramento - equipamentos

- Grelha vibratória: peneiramento primário de materiais, ideal para escalpe



Peneiramento - mecanismos

- Transporte das partículas de uma extremidade a outra;
- Estratificação do leito de modo que as partículas mais finas fiquem por baixo;
- Peneiramento propriamente dito.



a - b: estratificação próxima à extremidade de alimentação

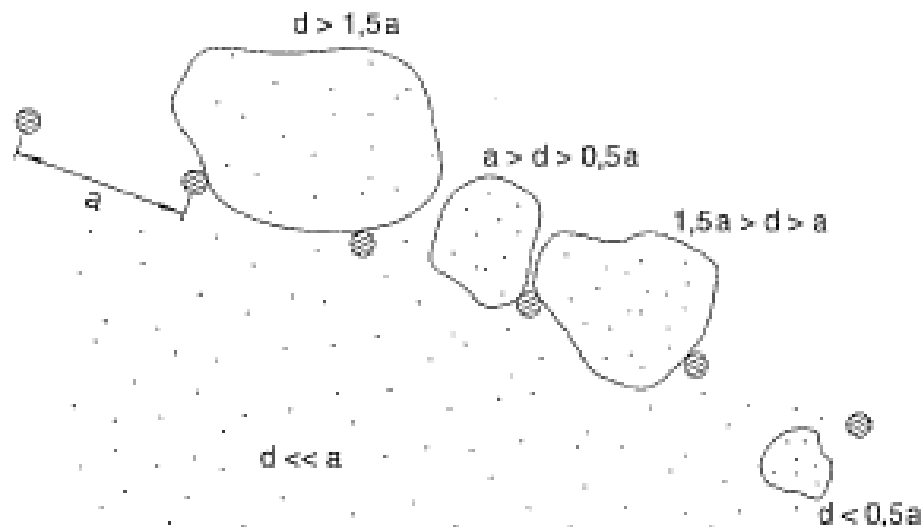
b - c: peneiramento saturado

c - d: separação por constantes tentativas

Peneiramento - mecanismos

□ Comportamento individual das partículas:

- $D > 1,5 a$: Encaminhadas diretamente ao *oversize*;
- $1,5a > d > a$: encaminhamento ao *oversize*, porém pode causar o entupimento da tela;
- $a > d > 0,5a$: faixa crítica: só passa em posição conveniente;
- $d < 0,5a$: são peneiradas com facilidade;
- $D \ll 0,5a$: poeiras e lamas, podem aderir-se a superfície das partículas maiores, sendo encaminhadas ao *oversize* (partição com a água).



Peneiramento - mecanismos

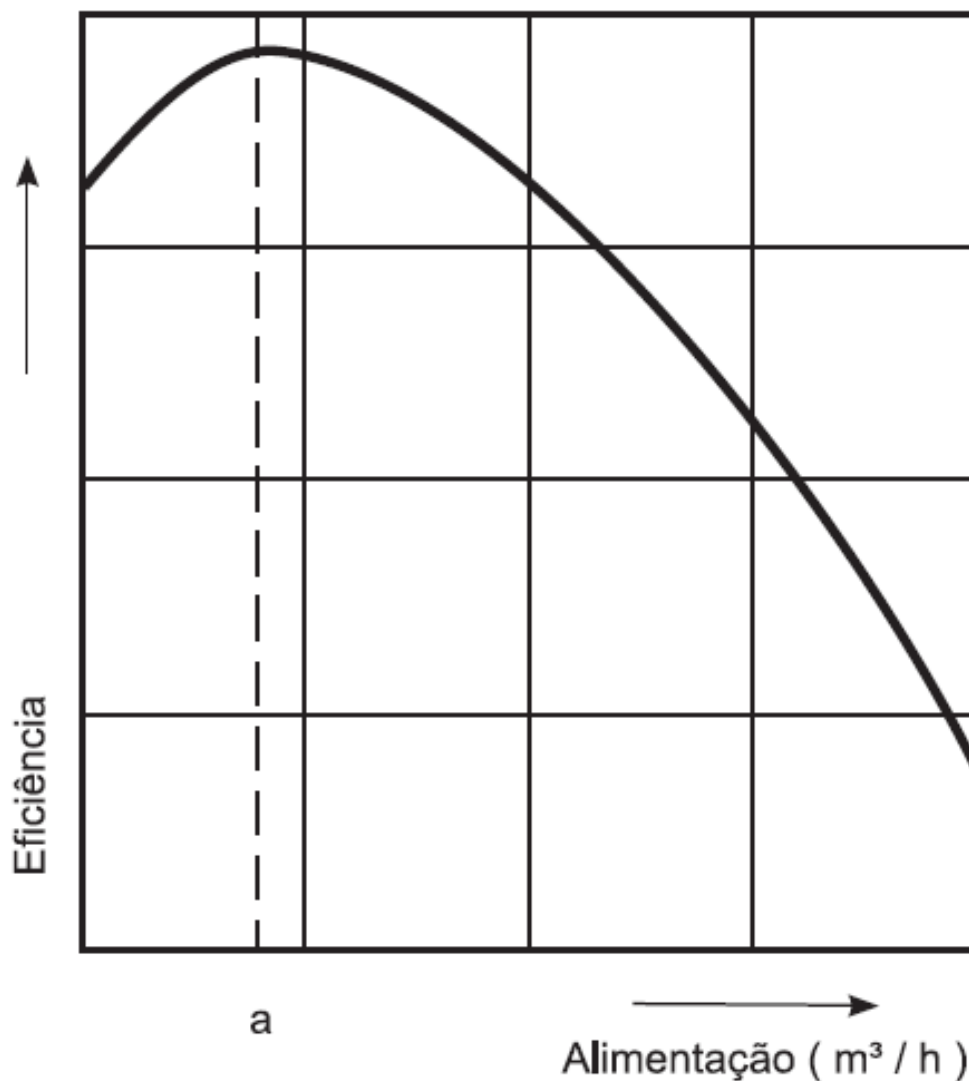
□ Eficiência

$$\text{Eficiência do peneiramento} = \frac{\frac{t}{h} \text{ de undersize}}{\frac{t}{h} \text{ de material passante presente na alimentação}} * 100$$

□ Imperfeição da malha M:

$$\text{Imperfeição da malha M} = \left(\frac{\frac{t}{h} \text{ de oversize}}{\frac{t}{h} \text{ de alimentação}} \right) \text{ na fração} * 100$$

Peneiramento – quantificação de processo



Peneiramento – quantificação de processos

- Partículas finas podem seguir para as frações grossas devido à:
 - ▣ aderência do pó às partículas grandes;
 - ▣ aglomeração dos finos (coesão ou outras forças);
 - ▣ irregularidade das malhas;
 - ▣ mecanismos de operação.

- A passagem de grossos para as frações finas pode ocorrer devido à:
 - ▣ As irregularidades das malhas;
 - ▣ As partículas grossas com dimensão aproximada de D_c (diâmetro de corte);
 - ▣ A carga excessiva na peneira, podendo forçar a passagem de grossos pelas malhas.

Peneiramento – quantificação de processos

- 1) Descreva o comportamento individual de partículas (d) conforme o tamanho em relação à abertura da tela (a), a saber: $d > 1,5 a$; $1,5 a > d > a$; $a > d > 0,5 a$; $d < 0,5 a$ e $d \ll 0,5 a$.

Peneiramento – quantificação de processos

- 3) Em uma operação de peneiramento, 250 t/h de minério são alimentadas em peneira com tela de 2", resultando em 161,5 t/h de oversize, segundo as distribuições granulométricas apresentadas abaixo. Qual a eficiência deste peneiramento? Quais as imperfeições por faixa?

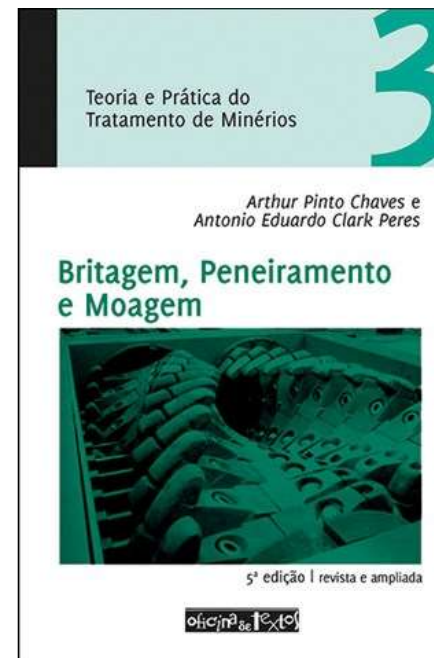
Malha	8"	4"	2"	1"	1/2"	1/4"	-1/4"
Alimentação (%)	0	22,0	33,0	18,0	12,0	10,0	5,0
Oversize (%)	0	34,1	51,1	13,0	0	0	1,9
Undersize (%)	0	0	0	27,1	33,9	28,2	10,7
Alimentação (t/h)							
Oversize (t/h)							
Undersize (t/h)							
Imperfeições							

FONTES:

- Mineral Processing Technology – Barry Wills e Tim Nappier-Munn. 2006.
- Chaves, A. P. Teoria e prática do tratamento de minérios. Vol. 3. 2006.
- Manual de britagem Metso.
- Gupta, A.; Yan, D.; **Mineral processing design and operation: an introduction**. Elsevier, 2006. 693 p. Disponível em:
<<http://www.sciencedirect.com/science/book/9780444516367>>
- Imagens e vídeos google images
- Imagens do autor

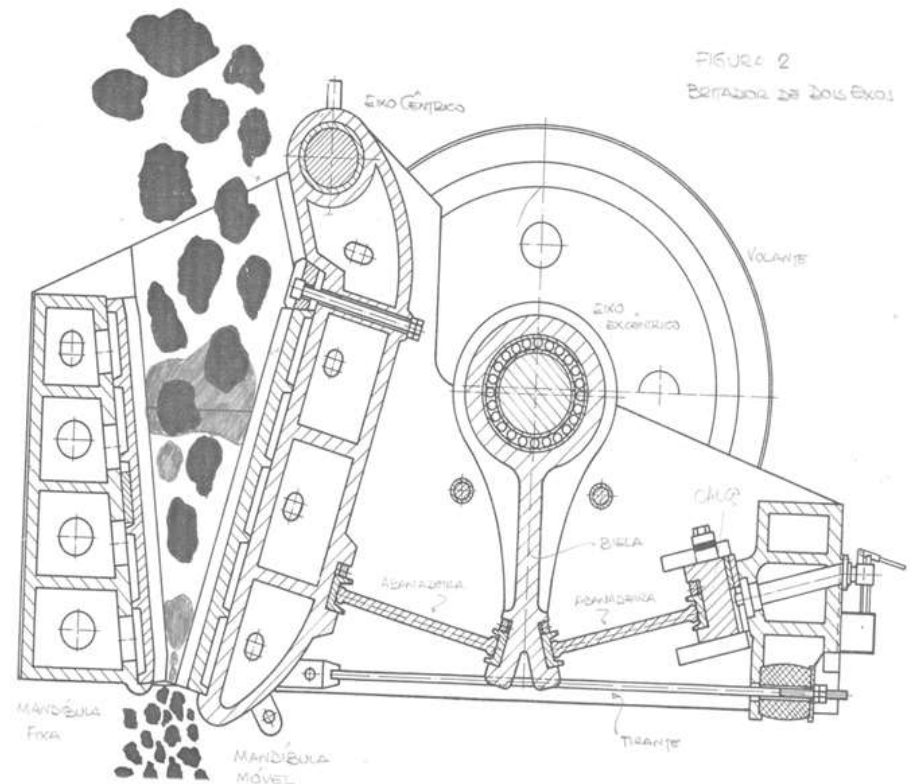
Britagem

- Capítulo 1 do livro:
- Teoria e prática do Tratamento de Minérios:
Britagem, peneiramento e moagem. Volume 3. 2012.
5 edição. Autores: Arthur Pinto Chaves e Antonio
Eduardo Clark Peres



Cominuição

- Redução de tamanho:
 - Britagem: acima de aprox. 20 mm;



Cominuição

Cominuição (comminuere – fazer menor) = redução controlada de tamanho

Objetivos: manuseio, permitir transporte contínuo, atender especificações de mercado, liberar as espécies minerais.

BRITAGEM: **principalmente** compressão e impacto

tamanhos maiores, separação de tamanhos por peneiramento, geralmente feita a seco

MOAGEM: **principalmente** impacto, atrição e abrasão

tamanhos menores, separação de tamanhos por classificação, preferencialmente feita a úmido

Britagem

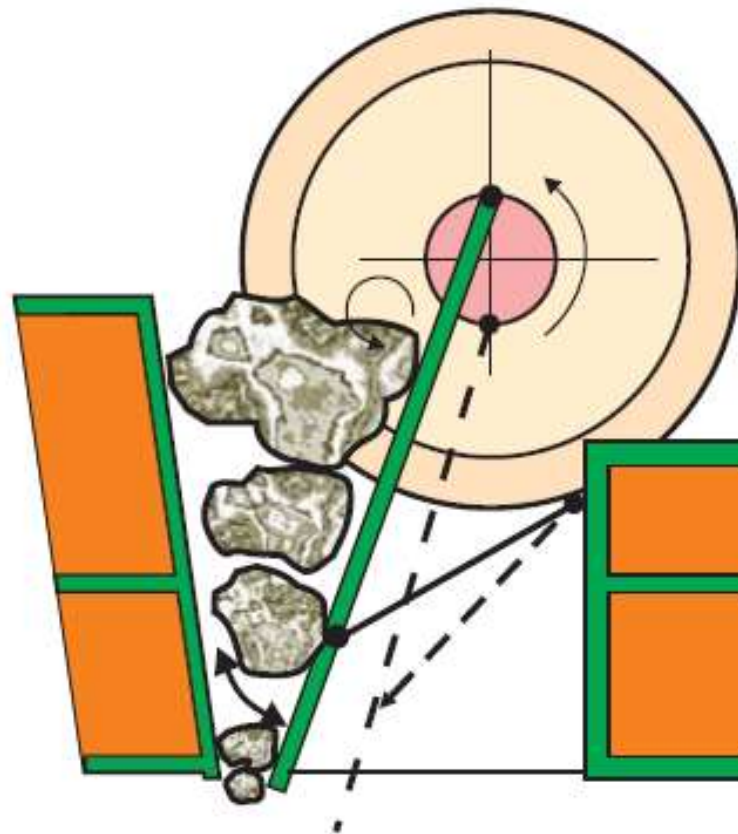
Pequena relação de redução: forças aplicadas são elevadas e a geometria do equipamento tem importância fundamental;

Principais tipos de britadores:

- ❑ Mandíbulas (1 ou 2 eixos);
- ❑ Giratórios (cônicos);
- ❑ Rolos;
- ❑ Impacto.

Britagem - equipamentos

Britador de mandíbulas



Britador de 1 eixo

Britagem - equipamentos

Britador de mandíbulas



Britagem - equipamentos

Britadores móveis – normalmente de mandíbulas ou giratórios

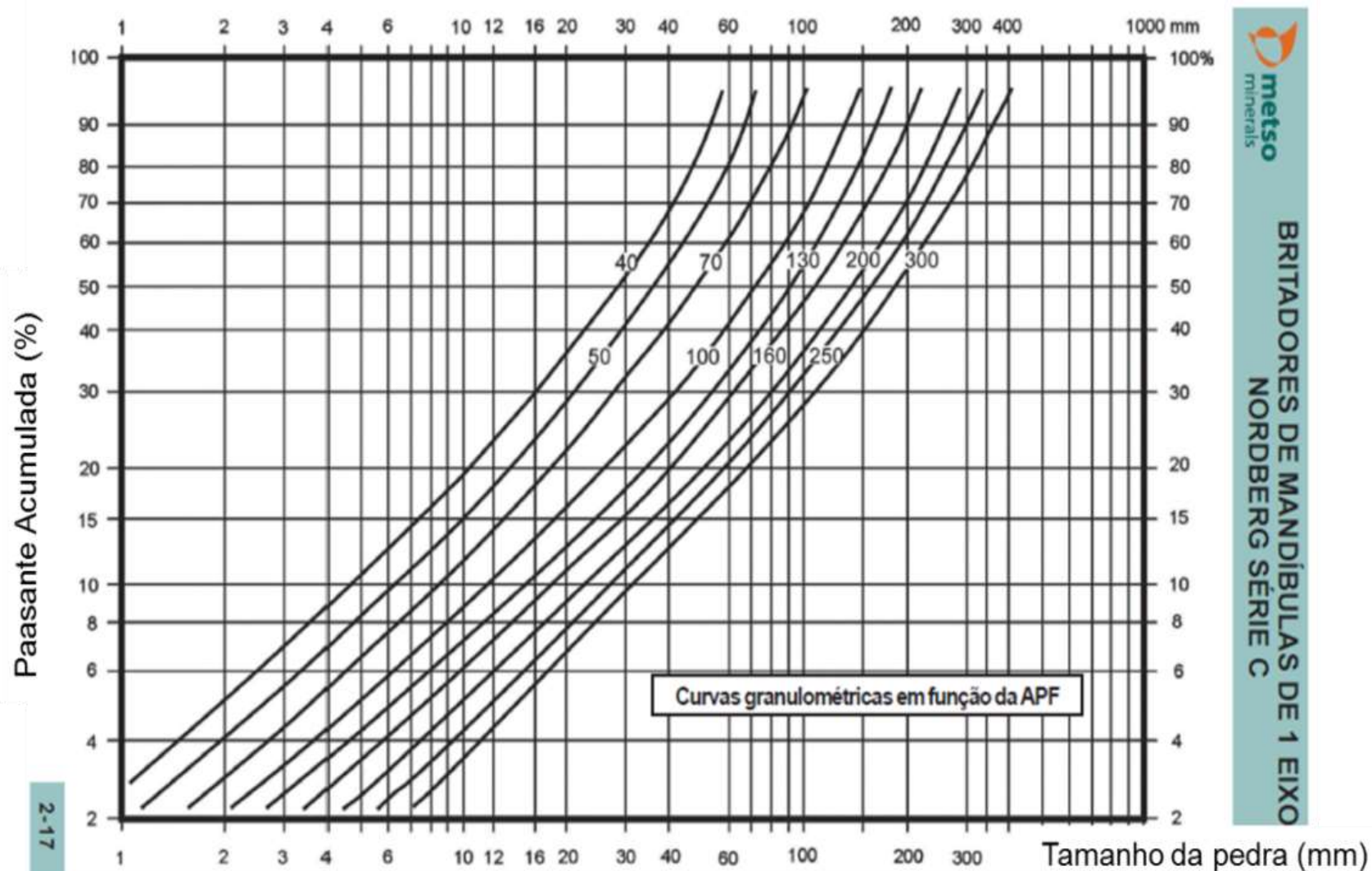


Outros britadores

□ Sizers



Distribuição granulométrica do produto do britador



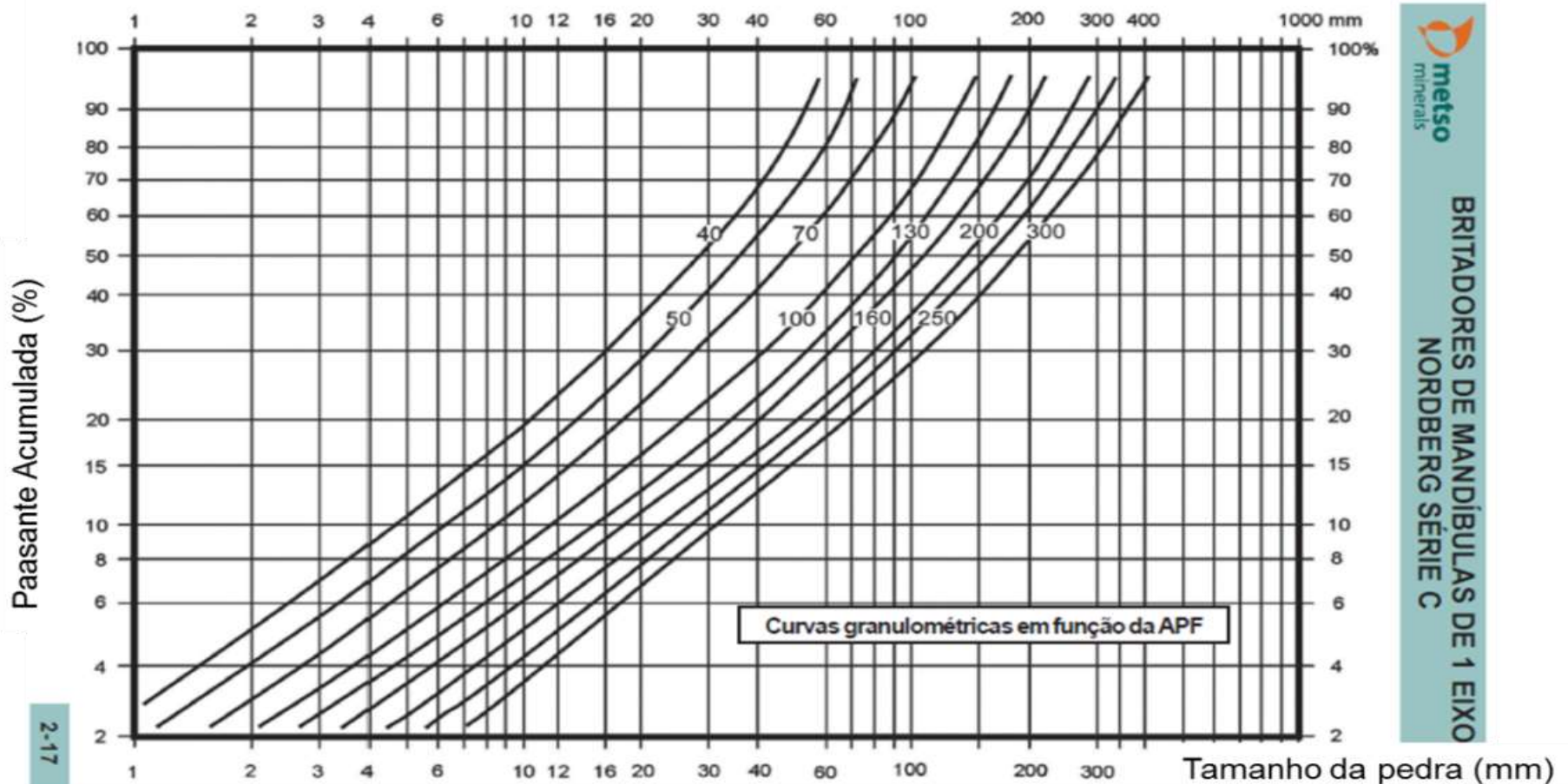
Escolha de equipamentos

	Aplicação												
	Brit. prim., mat. dinam., abrasivo, acima 800 t/h ^{1,5,6}	Brit. prim., mat. dinamitado, abrasivo, abaixo 800 t/h ^{1,5,6}	Britagem prim., mat. dinamitado, não-abrasivo ¹⁷	Britagem secundária, mat. abrasivo ^{2,5,6}	Britagem secundária, mat. não-abrasivo ²⁷	Britagem fina, maximizar os finos, mat. abrasivo ^{3,5,8}	Brit. fina, maximizar os finos, mat. não-abrasivo ^{3,7,8}	Britagem fina - Alimentação úmida e pegajosa ³	Britagem fina - pouca quant. de finos ^{3,8}	Areia de brita, mat. abrasivo ¹⁴	Areia de brita, mat. não-abrasivo ²⁴	Cubicização, mat. abrasivo ¹	Britar ferro-liga, minimizar a quant. de finos ⁸
Máquina													
Britador giratório primário	E	B	B										
Britador de mandíbulas primário	B	E	B										B
Impactor primário	P	P	E										
Rebritador de mandíbulas secundário				B	B								
Impactor secundário				P	E	P	B	B				P	
Rebritador cônico				E	E	B	B	P	E	E	E	B	B
VSI Barmac série B (autógeno)						M	E	E	P	E	E	E	
VSI Barmac série VI						P	E	P	P		B		
Moinho de martelos							E				P		
Britador de rolos									E				E

- Excelente (E): melhor escolha para a aplicação
- Boa (B): É aplicável, porém, não é a melhor opção;
- Possível (P): É aplicável com restrições. O seu uso deve ser precedido de detalhado estudo técnico;
- Inviável (): Salvo raras exceções, seu uso é inviável ou totalmente anti-econômico

Exercício

- 5) Determinar a distribuição granulométrica de um britador de mandíbulas Nordberg série C que está operando com sua mandíbula regulada com uma abertura na posição fechada de 3". Utilizar a tabela fornecida pelo fabricante.

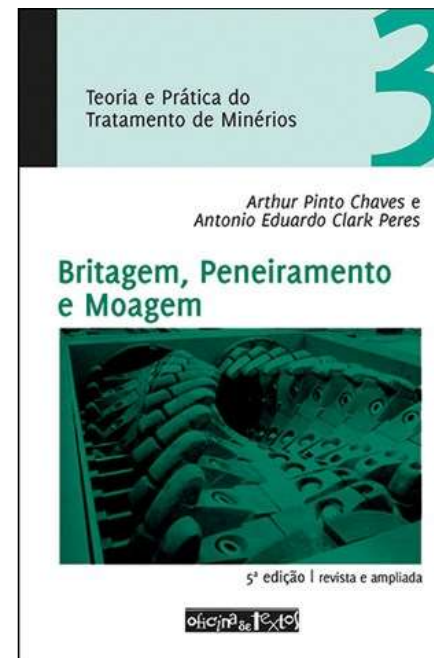


FONTES:

- Mineral Processing Technology – Barry Wills e Tim Nappier-Munn. 2006.
- Chaves, A. P. Teoria e prática do tratamento de minérios. Vol. 3. 2006.
- Manual de britagem Metso.
- Gupta, A.; Yan, D.; **Mineral processing design and operation: an introduction**. Elsevier, 2006. 693 p. Disponível em:
<<http://www.sciencedirect.com/science/book/9780444516367>>
- Imagens e vídeos google images
- Imagens do autor

Moagem

- Capítulo 3 do livro:
- Teoria e prática do Tratamento de Minérios: Britagem, peneiramento e moagem. Volume 3. 2012. 5 edição. Autores: Arthur Pinto Chaves e Antonio Eduardo Clark Peres

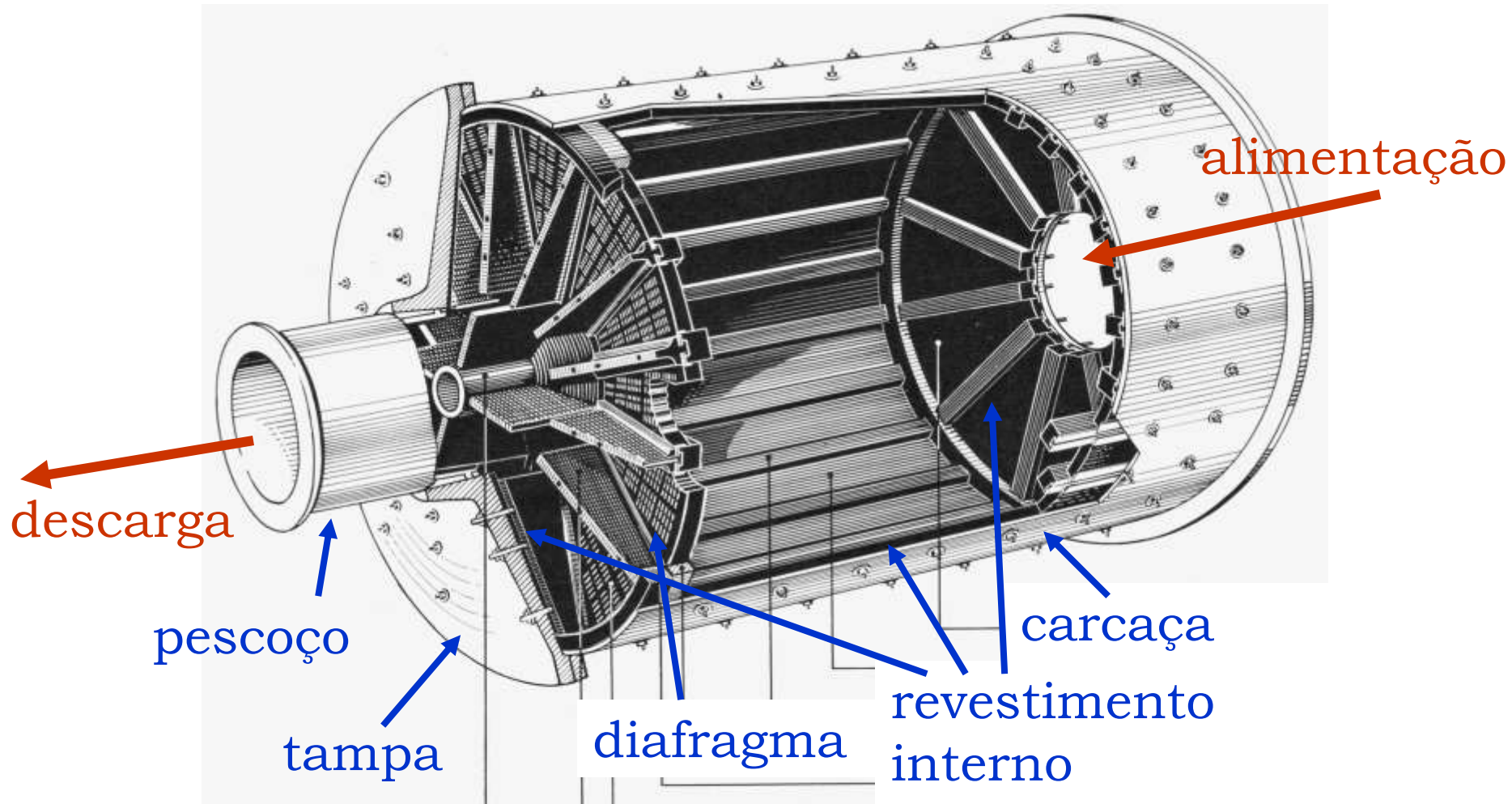


Moagem

- Em geral abaixo de $\frac{3}{4}$ ";
- Pode ser realizada a seco e a úmido;
- Circuito aberto ou fechado;
- Ampla faixa de alimentação e produto, conforme o equipamento;
- Redução de tamanho principalmente por impacto, abrasão e atrição.

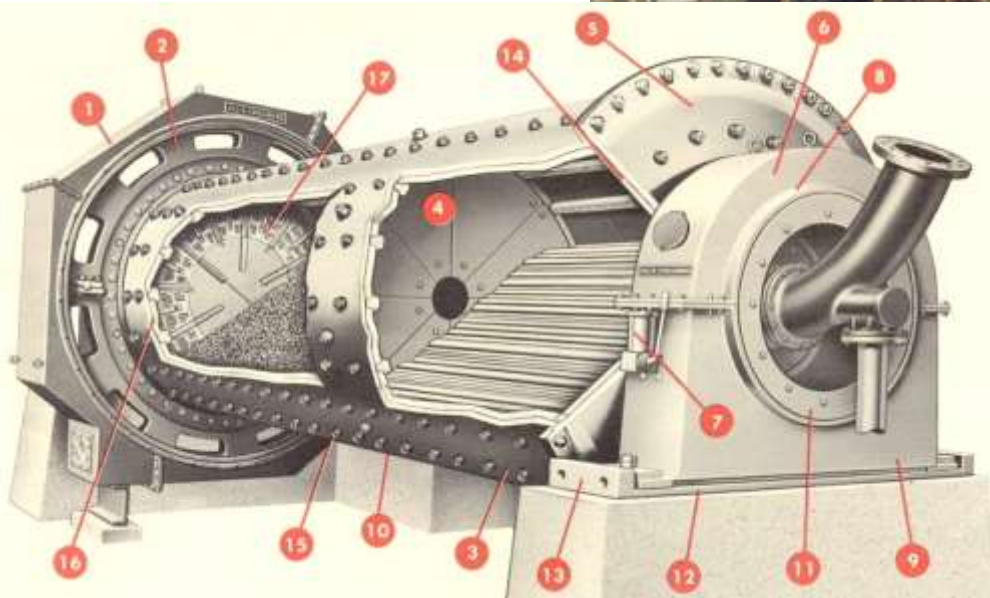
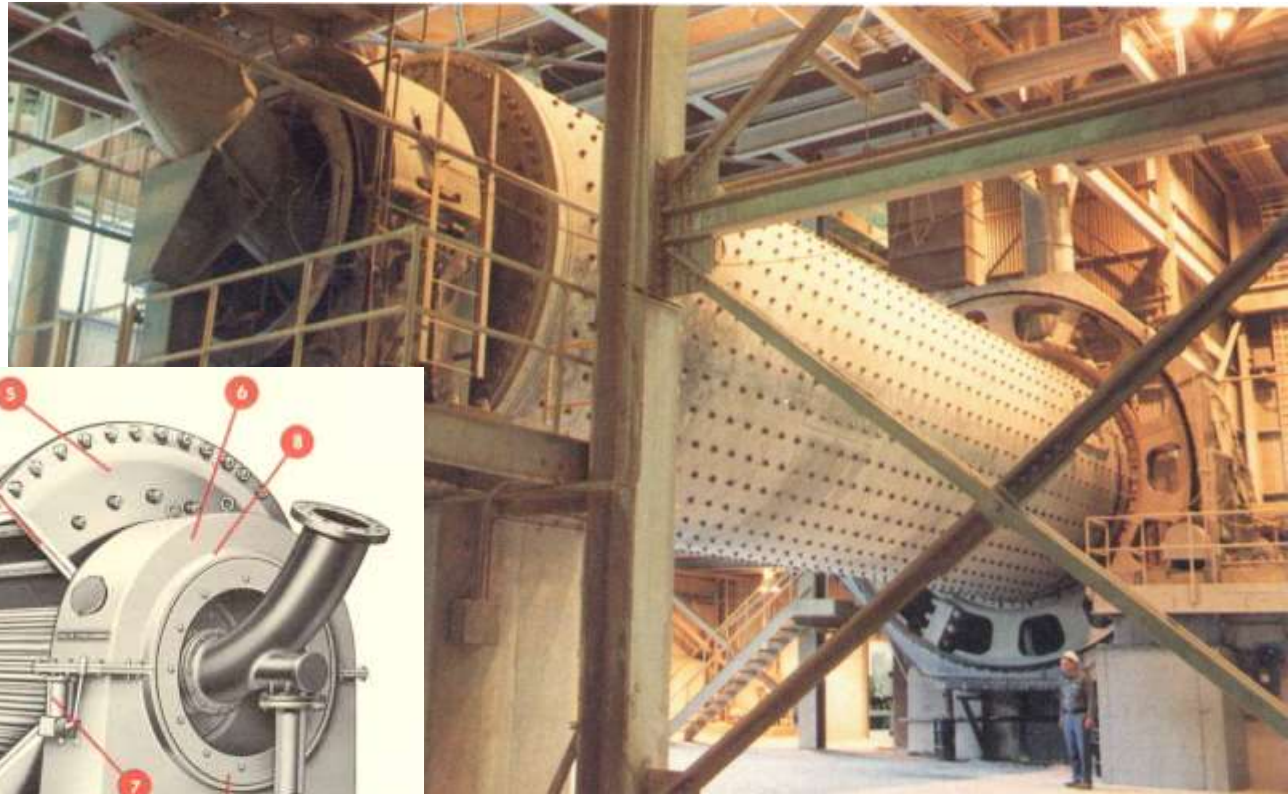
Moagem - equipamentos

□ Moinhos tubulares



Moagem - equipamentos

□ Moinhos de multi compartimentos



Moagem - equipamentos

□ SAG/AG



Moagem - equipamentos

□ SAG/AG



Moagem - equipamentos

□ SAG/AG



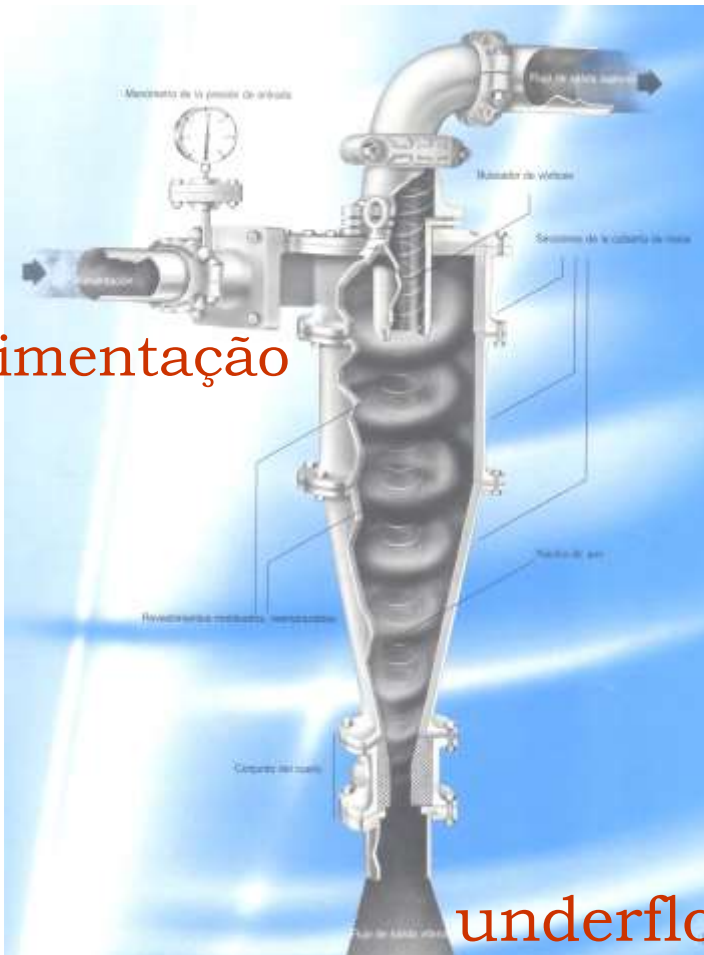
Moagem

□ circuitos fechados:

- $> 20\#$ (até $65\#$) – peneira vibratória;
- 20 a $65\#$ - peneira DSM;
- $< 48\#$ - ciclone (eficiência aprox. 60 a 70%) ou classificador espiral (eficiência aprox. 85 a 90%)

Moagem

- fechamento: < 48# - ciclone (eficiência = 60 a 70%)



overflow



vortex
finder

inlet

apex

underflow

Moagem

- fechamento: classificador espiral (eficiência aprox. 85 a 90%)



Moagem – estimativa de consumo energético

Rittinger, Alemanha, 1867: a energia dispendida é proporcional à nova superfície gerada.

$$E = k_1 \cdot (1/P - 1/F)$$

Kick, EUA, 1885: a energia dispendida é proporcional à relação de redução.

$$E = k_2 \cdot \ln (F/P)$$

100 anos de discussões infrutíferas – até

Bond, 1952, Allis Chalmers, EUA:

$$E = P/Q = k_3 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{P}} - \frac{1}{\sqrt{F}} \right)$$

$$k_3/10 = \text{“work index”} = WI$$

Moagem – estimativa de consumo energético

moinho para ensaio de WI



Moagem – estimativa de consumo energético

AVERAGE WORK INDEX OF SELECTED MINERALS

(Source: Chem Eng. Handbook, R.O.Perry & C.H.Chilton, Int Student's ed, McGraw Hill, p 8-11, and SME Mineral Processing Handbook, Weiss (ed), 1985 p 3A-27)

MINERAL	Sp. Gr	Bond Work Index	MINERAL	Sp.Gr	Bond Work Index
Barite	4.28	6.24	Phosphate Rock	2.66	10.13
Basalt	2.89	20.41	Pyrite Ore	3.48	8.9
Bauxite	2.38	9.45	Pyrrhotite Ore	4.04	9.57
Cement Clinker	3.09	13.49	Quartzite	2.71	12.18
Chrome Ore	4.06	9.6	Rutile	2.84	12.12
Coal	1.63	11.37	Sandstone'	2.68	11.53
Coke	1.51	20.70	Silica	2.71	13.53
Copper Ore	3.02	13.13	Silicon Carbide	2.73	26.17
Diorite	2.78	19.4	Silver Ore	2.72	17.30
Dolomite	2.82	11.31	Spodumene	2.75	13.70
Feldspar	2.59	11.67	Tin Ore	3.94	10.81
Flint	2.65	26.16	Titanium Ore	4.23	11.88
Fluorspar	2.98	9.76	Uranium Ore	2.70	17.93
Galena	5.39	10.19	Zinc Ore	3.68	12.42
Garnet	3.30	12.37			
Gold Ore	2.86	14.83			
Granite	2.68	14.39			
Graphite	1.75	45.03			
Gypsum Rock	2.69	8.16			
Ilmenite	4.27	13.11			
Iron Ore (Hematite)	3.76	12.68			
Iron Ore(Specular Hematite)	3.29	15.4			
Iron Ore(Magnetite)	3.88	10.21			
Iron Ore (Tachonite)	3.52	14.87			
Kyanite	3.23	18.87			
Lead Ore	3.44	11.40			
Lead-Zinc Ore'	3.37	11.35			
Limestone	2.69	11.61			
Manganese Ore	3.74	12.46			
Mica	2.89	134.5			
Nickel Ore	3.32	11.88			

Moagem – estimativa de consumo energético

Exercício: 7) Considerando-se a operação atual de um moinho de bolas, cujos dados operacionais são fornecidos abaixo, pergunta-se:

- a) Qual seria a taxa de alimentação para um P80 de 0,210 mm? E para 0,230 mm?
- b) Qual seria a taxa de alimentação para um F80 igual a 5 mm? E 9 mm?

Dados:

Potência utilizada no moinho de bolas: 15 MW

Vazão de alimentação: 1.600 t/h

F80 = 2,5 mm

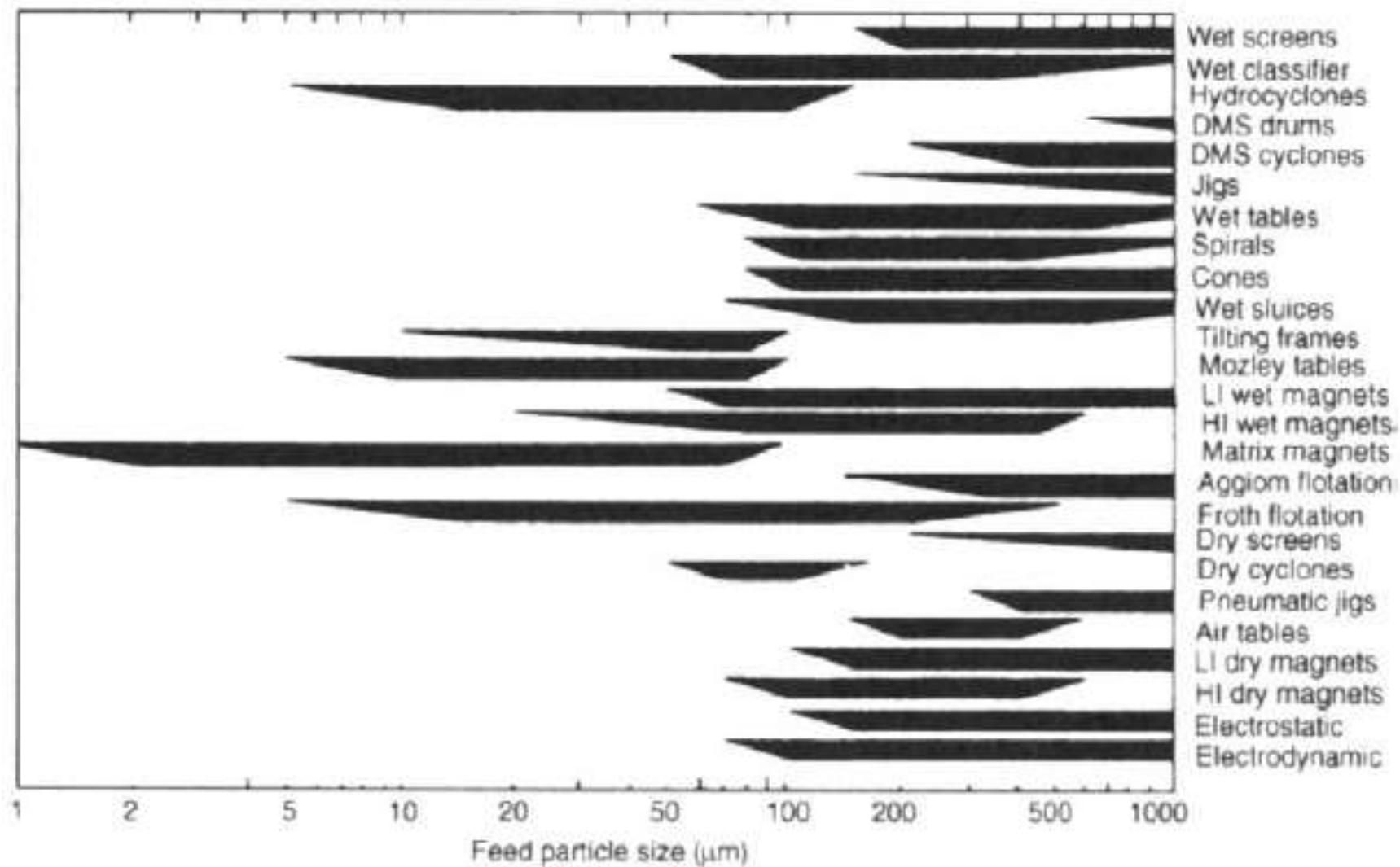
P80 = 0,150 mm

WI de laboratório = 17 kWh/t

FONTES:

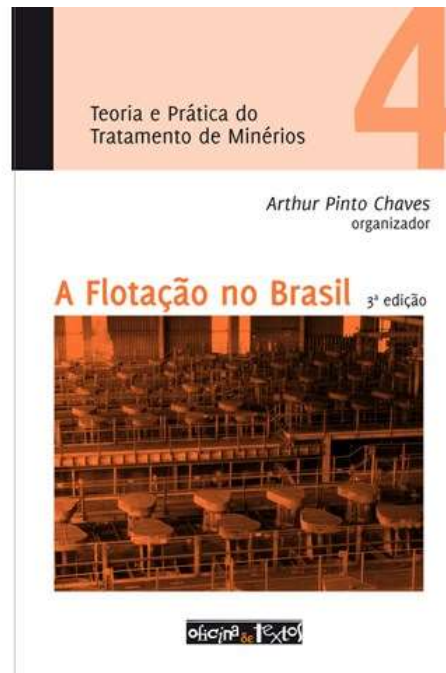
- Mineral Processing Technology – Barry Wills e Tim Nappier-Munn. 2006.
- Chaves, A. P. Teoria e prática do tratamento de minérios. Vol. 3. 2006.
- Manual de britagem Metso.
- NAPIER-MUNN, T.J. et al. Mineral comminution circuits: their operation and optimization. Indoorroopilly: Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre/University of Queensland, 1999 413 p. (JKMRC Monograph Series in Mining and Mineral Processing)
- Gupta, A.; Yan, D.; **Mineral processing design and operation: an introduction**. Elsevier, 2006. 693 p. Disponível em:
<<http://www.sciencedirect.com/science/book/9780444516367>>
- Notas de aula Prof. Paulo Pereira, ICT29.
- Imagens e vídeos google images
- Imagens do autor

Concentração



Concentração por flotação

- Capítulo 1 do livro:
- Teoria e prática do Tratamento de Minérios: A flotação no Brasil. Volume 4. 2013. 4 edição. Autores: Arthur Pinto Chaves



CONCENTRAÇÃO: Flotação

- Propriedades físico-químicas da superfície;
- 0,01 a 0,3 mm.



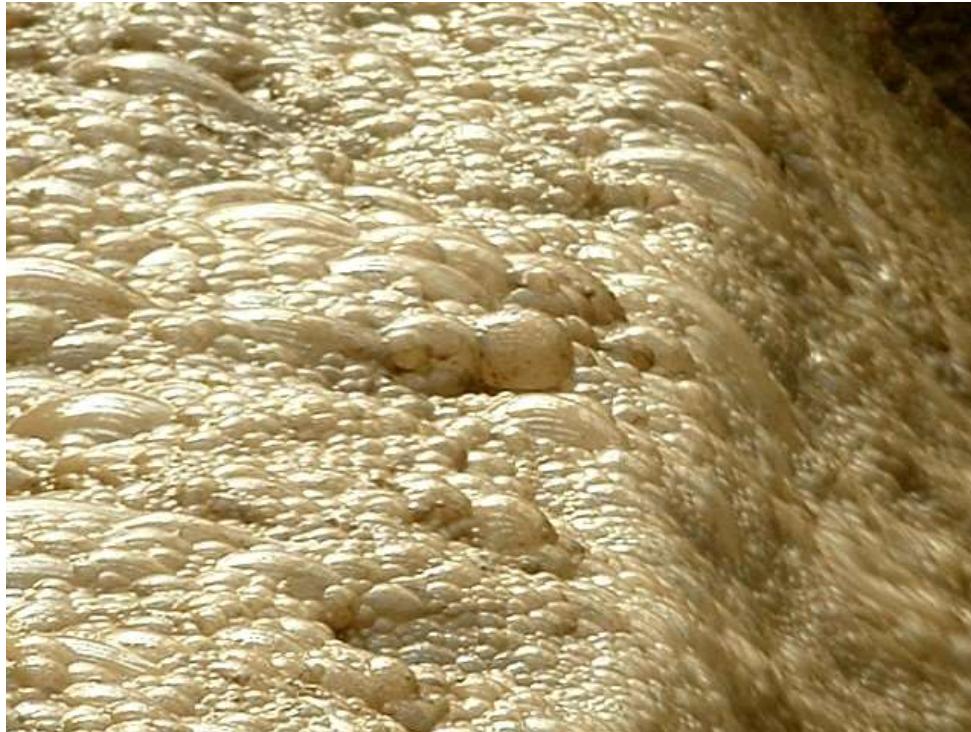
FLOTAÇÃO - CONCEITOS

- Alguns minerais, como grafite, carvão, talco e enxofre são naturalmente repelentes a água. Os demais, via de regra, molham-se:



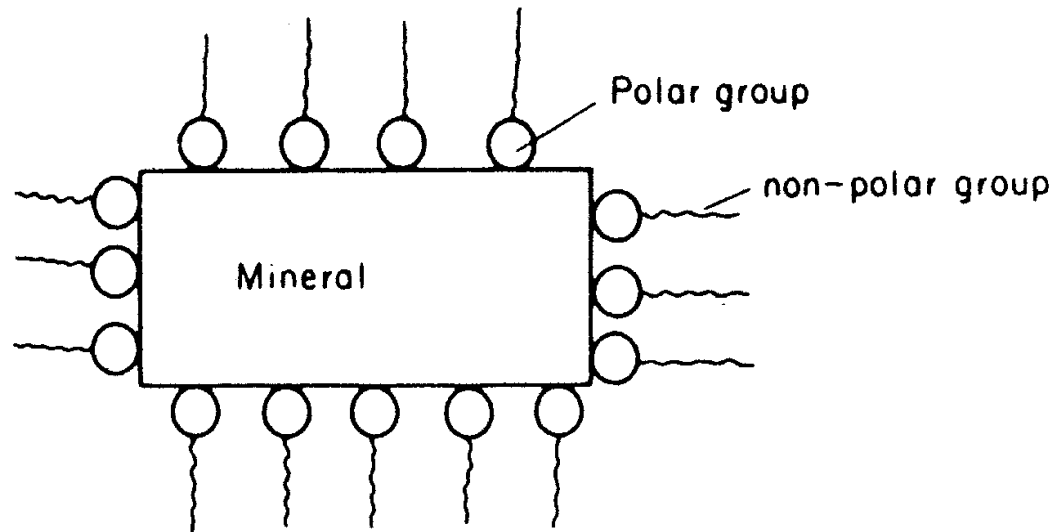
FLOTAÇÃO - CONCEITOS

- A repelência a água (hidrofobicidade) pode ser usada para separar espécies minerais desde que se forneça ao sistema uma espuma estável onde as espécies hidrofóbicas sejam retidas.



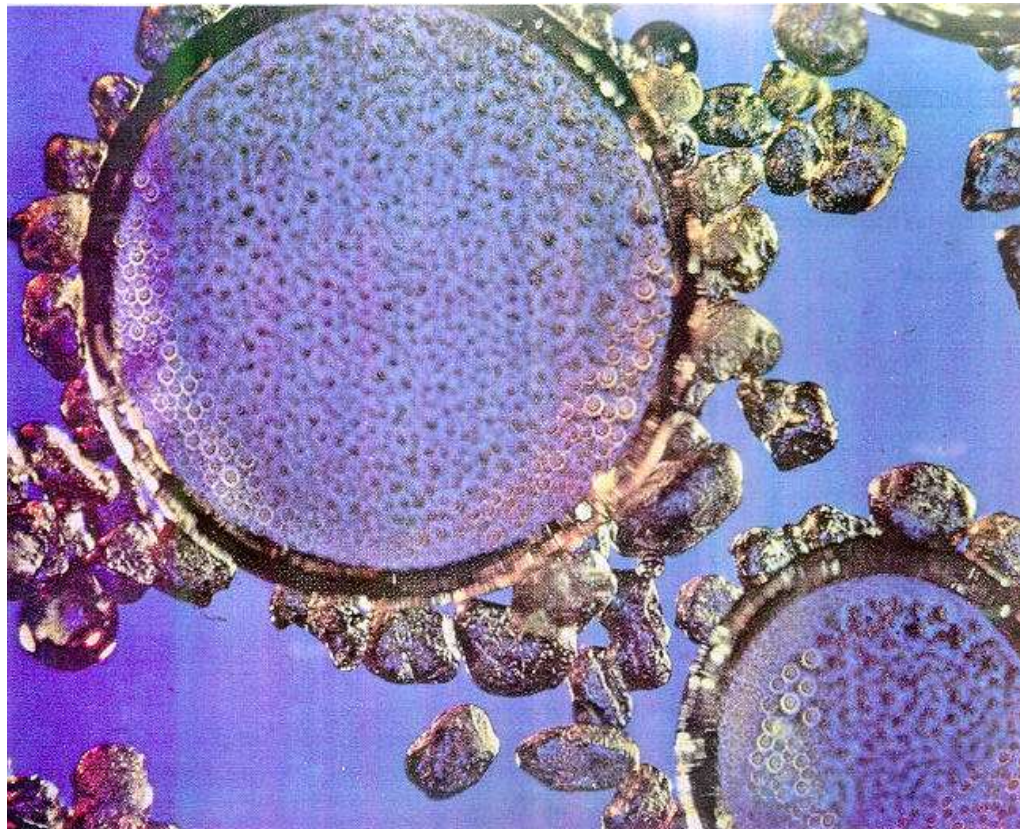
FLOTAÇÃO - CONCEITOS

- A hidrofobicidade pode ser induzida nas espécies minerais não hidrofóbicas mediante a adição criteriosa de produtos químicos:
- ▣ As espécies químicas adsorvem na superfície das partículas minerais e as tornam repelentes a água.



FLOTAÇÃO - CONCEITOS

- Fornecendo-se ar ao sistema, as partículas hidrofobizadas aderem as bolhas de ar e separam-se na espuma:



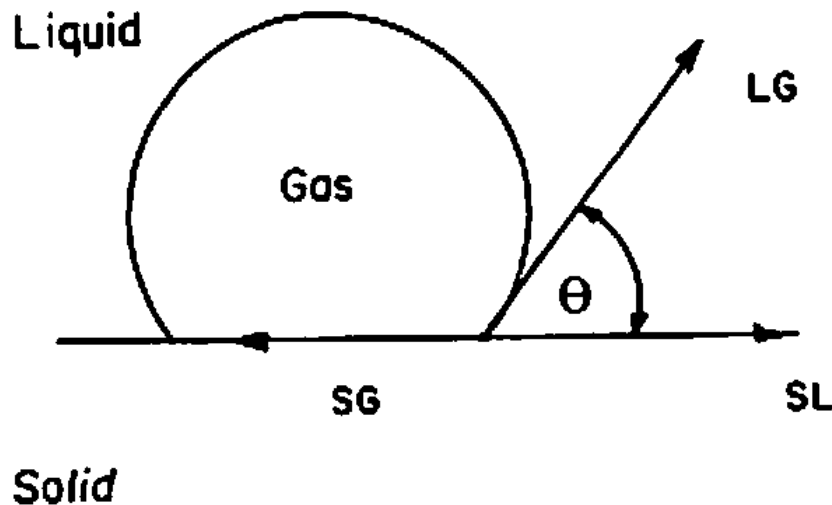
FLOTAÇÃO - CONCEITOS

□ Liberação:



FLOTAÇÃO - PRINCÍPIOS FÍSICO-QUÍMICOS

- Ângulo de contato: medida do ângulo interfacial sólido/líquido/gás. Ângulos da ordem de 60° são suficientes para que uma partícula seja considerada hidrofóbica. Materiais de altíssima hidrofobicidade tem Θ da ordem de 120° .



FLOTAÇÃO - PRINCÍPIOS FÍSICO-QUÍMICOS

- Tensão superficial: Na Física, a tensão superficial é um efeito que ocorre na camada superficial de um líquido que leva a sua superfície a se comportar como uma membrana elástica.
- A presença de sais e bases elevam a tensão superficial da solução;
- A presença de surfatantes reduzem a tensão superficial da solução.

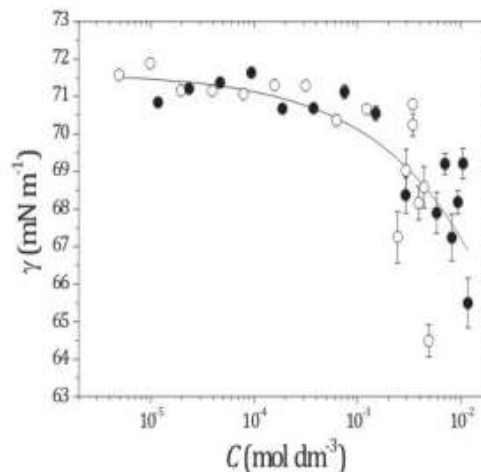


Figura 1: Tensão Superficial, γ , como função da concentração de segmentos de ácido acrílico. A linha contínua consiste no melhor ajuste da Equação (6) aos dados obtidos.

FLOTAÇÃO - PRINCÍPIOS FÍSICO-QUÍMICOS

□ Potencial zeta:

- Potencial medido no plano de cisalhamento entre a partícula e a solução, quando os dois estão em movimento relativo na presença de um campo elétrico;
- Varia conforme a composição da solução.

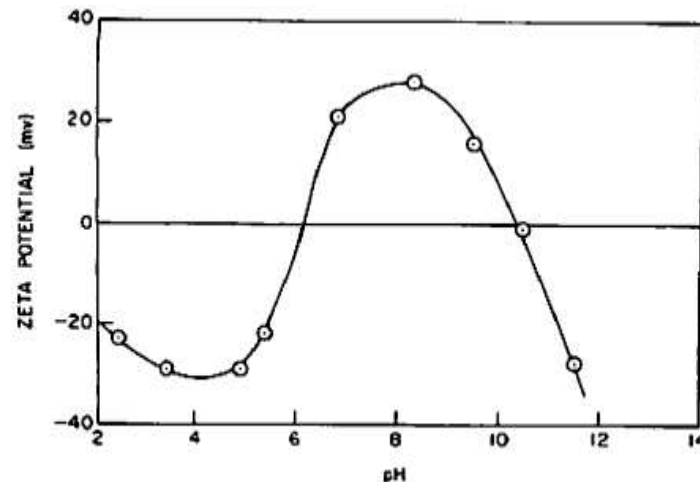


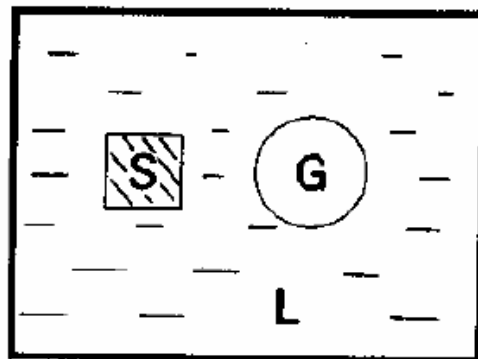
FIG. 61. Zeta potential of quartz as a function of pH in the presence of 1×10^{-4} M PbCl_2 .¹²⁷

FLOTAÇÃO - PRINCÍPIOS FÍSICO-QUÍMICOS

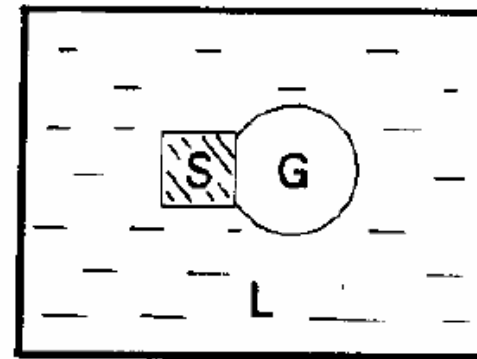
- Adsorção: é a adesão de moléculas de um fluído a uma superfície sólida.
 - ▣ Física: interações envolvendo ligações de van der Waals e forças coulombicas entre o adsorvato (aquele que adsorve) e o adsorvente (aquele sobre o qual ocorre a adsorção);
 - ▣ Química: interações envolvendo ligações do tipo iônica, covalente e ponte de hidrogênio.

FLOTAÇÃO - FATORES CONDICIONANTES

- Para que ocorra a flotação, é preciso que se atenda a três critérios:
 - ▣ Termodinâmico: Partícula que se deseja coletar tem que ser hidrofóbica (ângulo de contato, reagente, pH e temperatura);



Estado Inicial

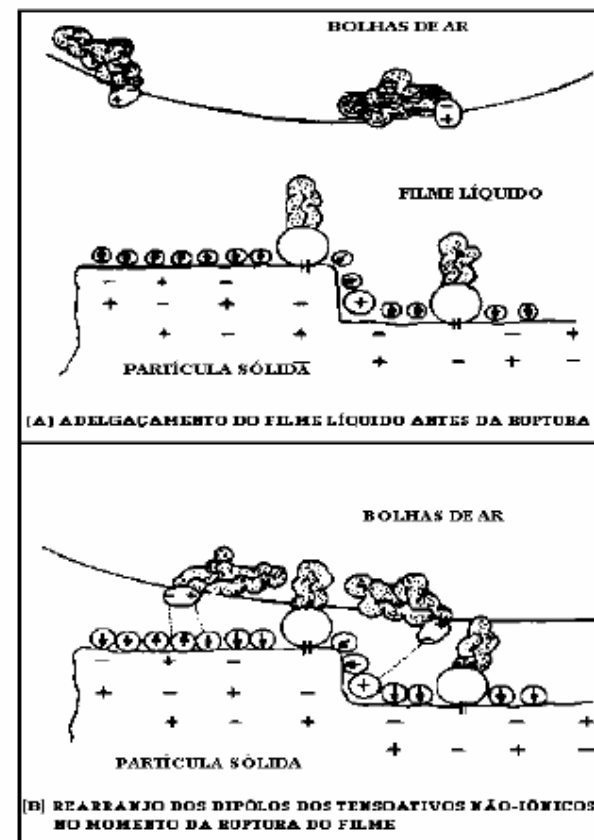


Estado Final

Figura 2.1. Ilustração do fenômeno de adesão partícula/bolha (S representa uma partícula mineral, G representa uma bolha de gás, imersas em meio aquoso L).

FLOTAÇÃO - FATORES CONDICIONANTES

- Para que ocorra a flotação, é preciso que se atenda a três critérios:
 - Cinético: Adesão partícula / bolha: rompimento da barreira energética que permite a adesão (temperatura, tamanho e hidrofobicidade, presença de espumantes e força iônica);

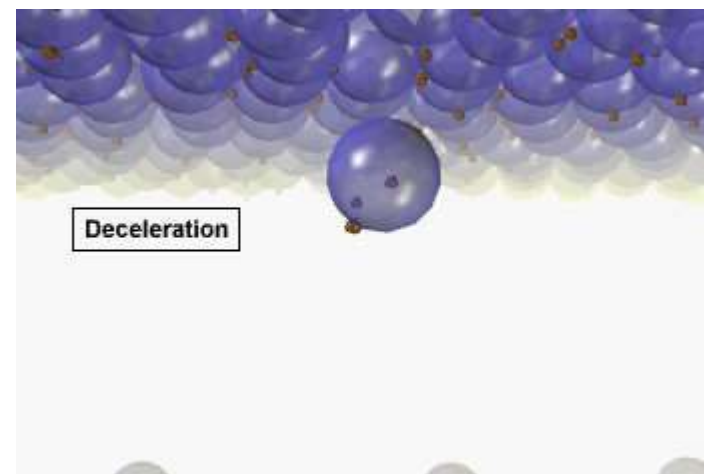
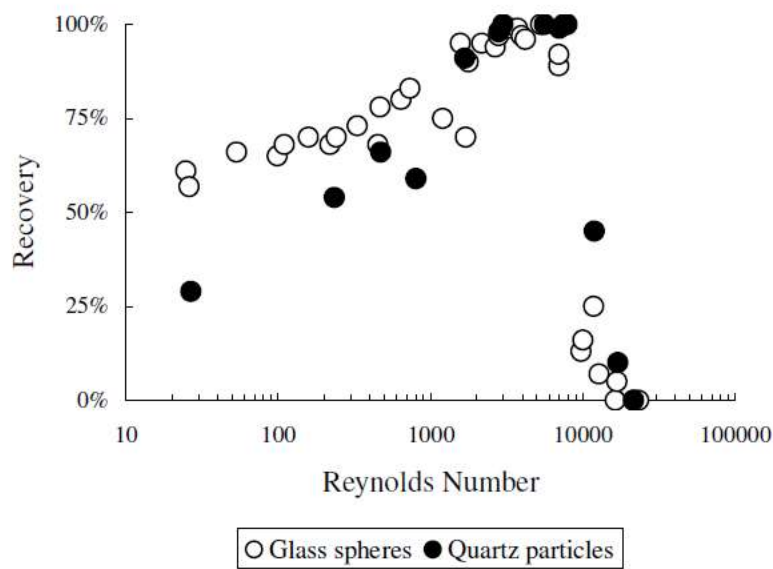


LEGENDA:

- TENSIOATIVO NÃO-ÍNICOS
- COLETOR
- MOLÉCULAS DE ÁGUA
- CONTRA-ÍONS

FLOTAÇÃO - FATORES CONDICIONANTES

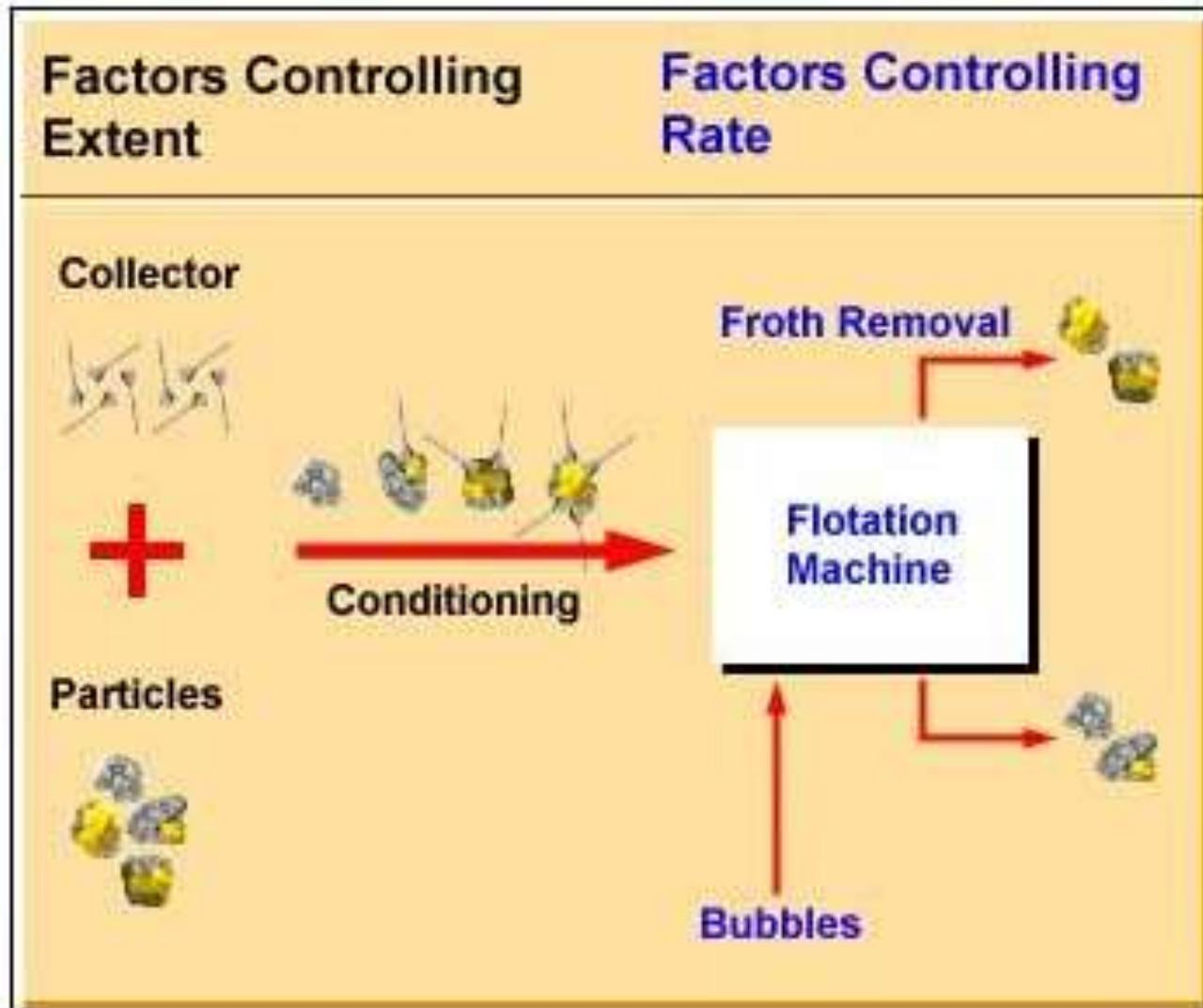
- Para que ocorra a flotação, é preciso que se atenda a três critérios:
 - ▣ Hidrodinâmico: Garantir a formação e o transporte do agregado partícula/bolha (agitação e tensão superficial adequadas);



Fonte: University (2005)

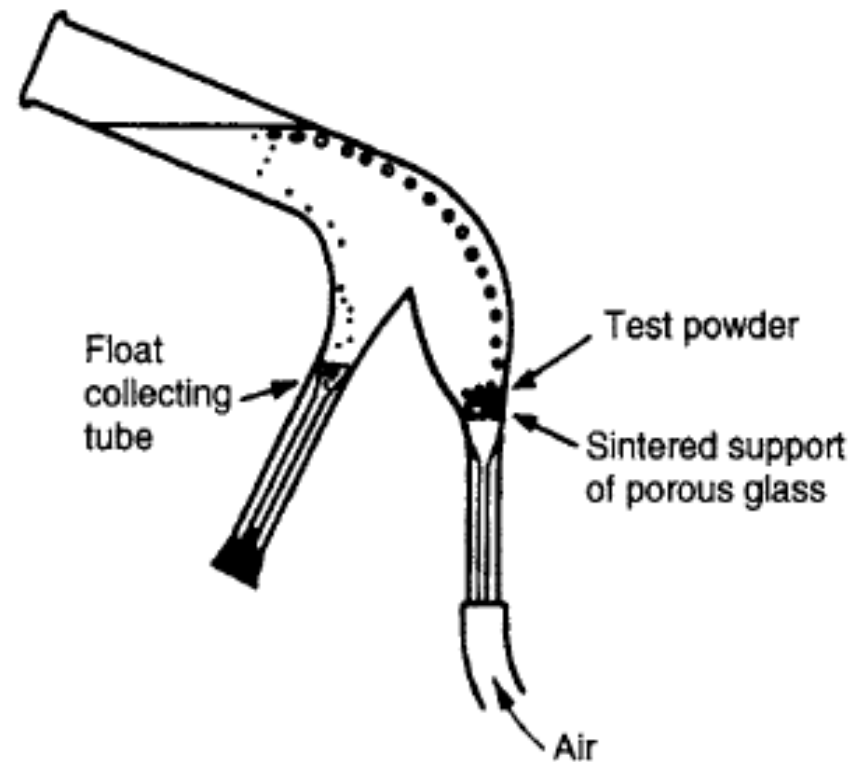
Figura 2.14. Influência do número de Reynolds na recuperação da flotação de partículas de quartzo e esferas de vidro (coletor=éter amina, 75 mg dm^{-3} , $\text{pH}=10$).
Fonte: Filho (2005)

FLOTAÇÃO - FATORES CONDICIONANTES



MÁQUINAS DE FLOTAÇÃO

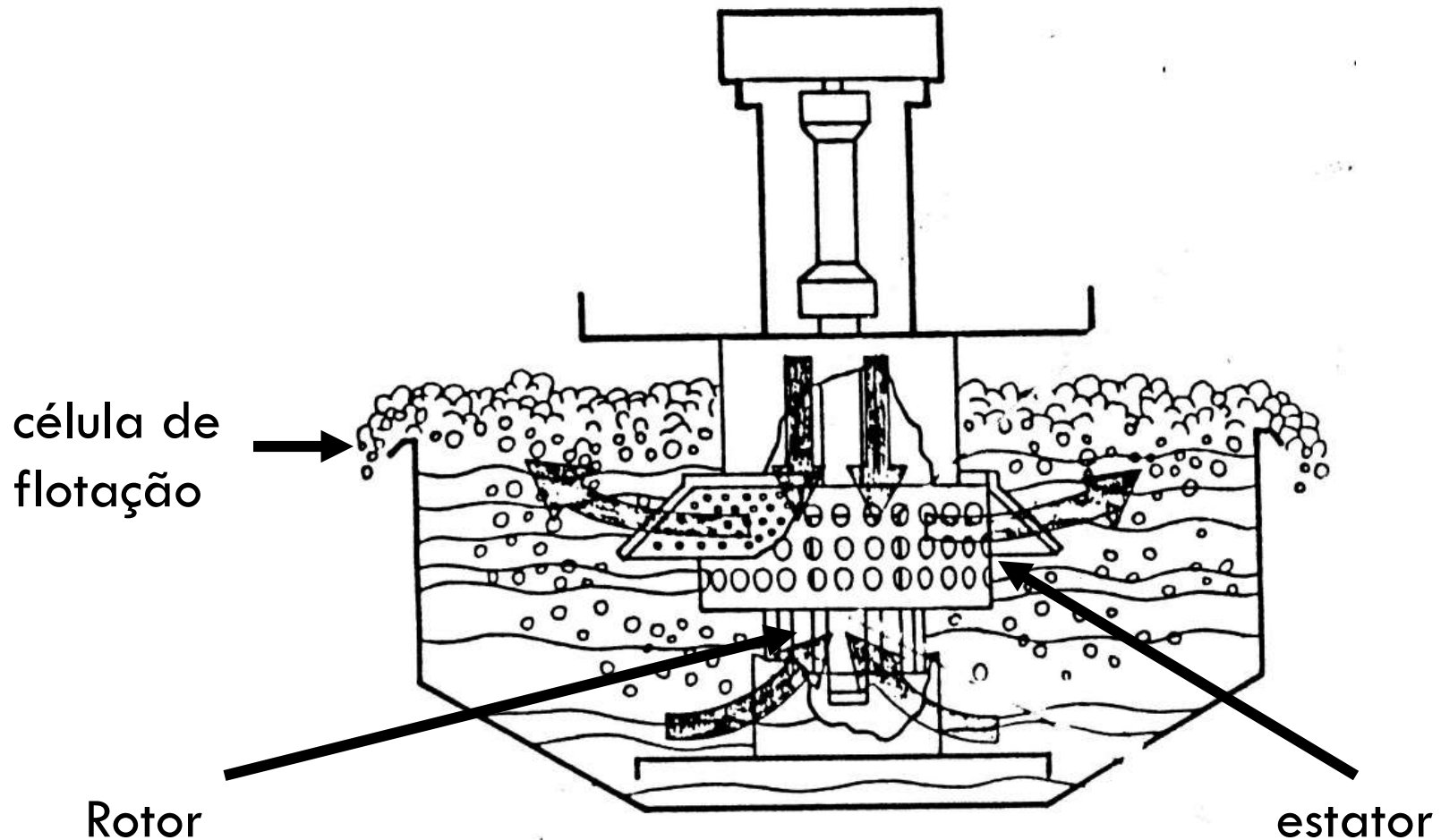
□ Outros equipamentos: células de laboratório



Fonte: Wills (2006)

MÁQUINAS DE FLOTAÇÃO

□ Célula convencional:



MÁQUINAS DE FLOTAÇÃO

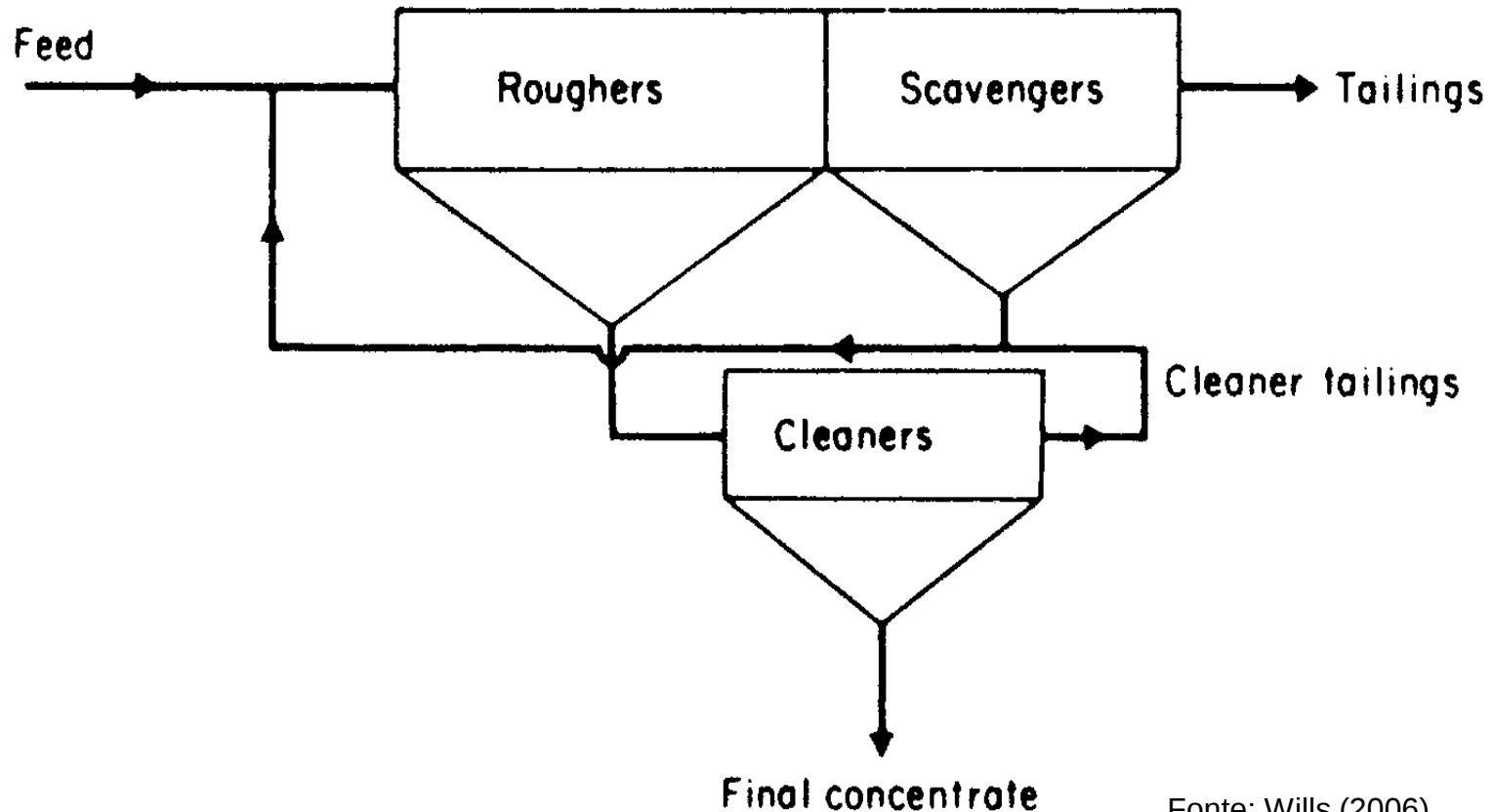
- Circuitos industriais de células convencionais:



TIPOS DE CIRCUITOS

63

□ Circuitos industriais de flotação:



Fonte: Wills (2006)

Métodos gravíticos de concentração

- Capítulo 1 do livro:
- Teoria e prática do Tratamento de Minérios: Britagem, peneiramento e moagem. Volume 6. 2013. 1 edição. Autores: Arthur Pinto Chaves e Rotênio Castelo Chaves Filho



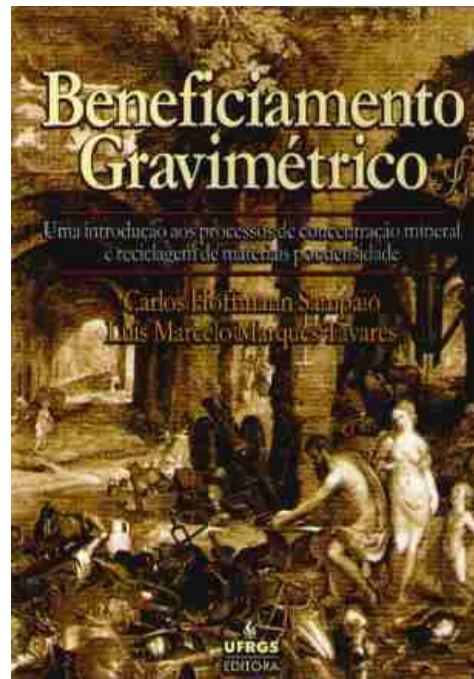
Métodos gravíticos de concentração

- Capítulo 7 do livro:
- Tratamento de Minérios. 2010. 5 edição. Autores: Adão Benvindo da Luz, João Alves Sampaio e Silvia Cristina A. França
- <http://www.cetem.gov.br/biblioteca/publicacoes/livros>



Métodos gravíticos de concentração

- Beneficiamento gravimétrico. 2005. 1 edição.
Autores: Carlos Hoffmann Sampaio e Luís Marcelo Marques Tavares



CONCENTRAÇÃO: Mét. densitários



CONCENTRAÇÃO: Mét. densitários



CONCENTRAÇÃO: Mét. densitários

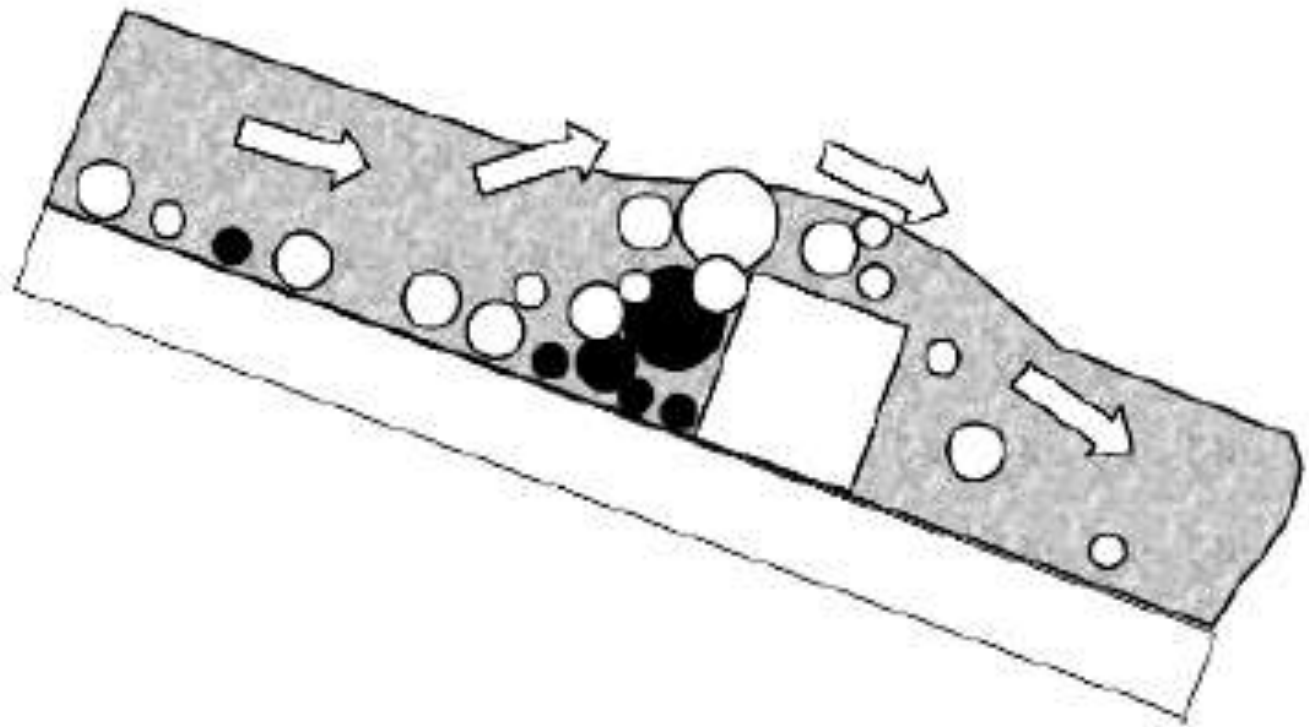


Fig. 15.14. Effect of a riffle on segregation on a sluice.

CONCENTRAÇÃO: Mét. densitários

- Separação em meio denso:
 - ▣ Líquidos densos ou meios com partículas de densidade conhecida;
 - ▣ 0,5 a 20 mm



CONCENTRAÇÃO: Mét. densitários

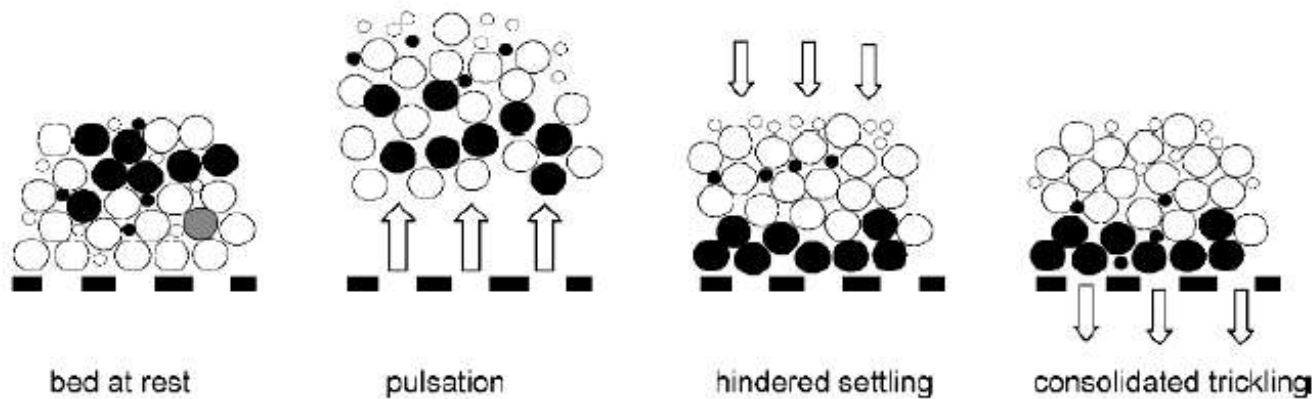


Fig. 15.6. Expansion and contraction of a bed of particles due to jigging action.

Fonte: Gupta, 2006

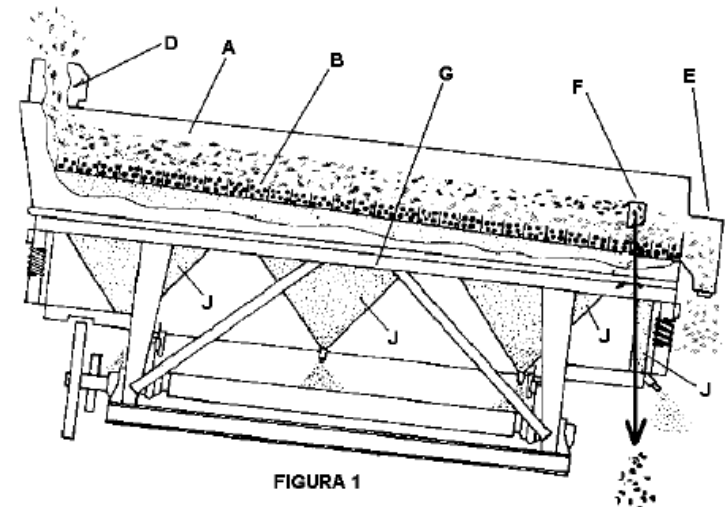


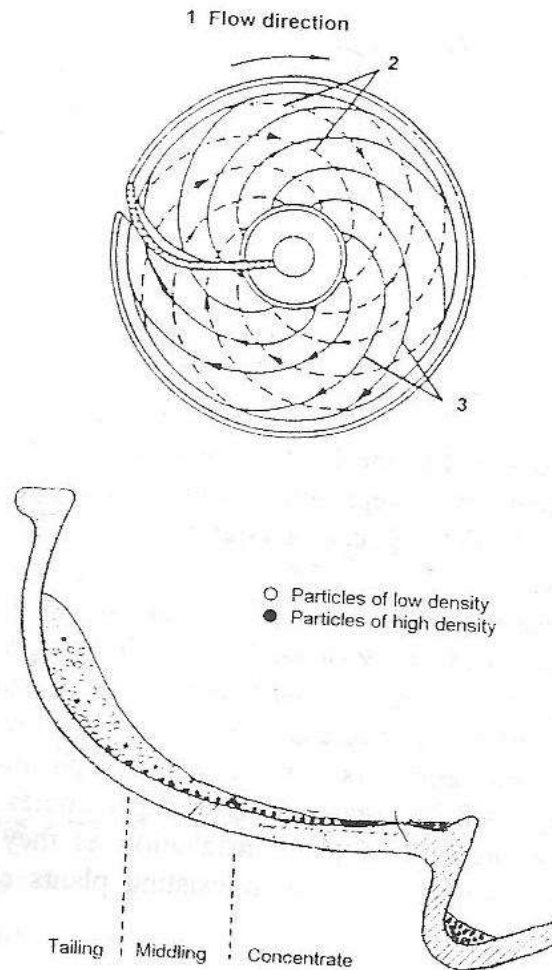
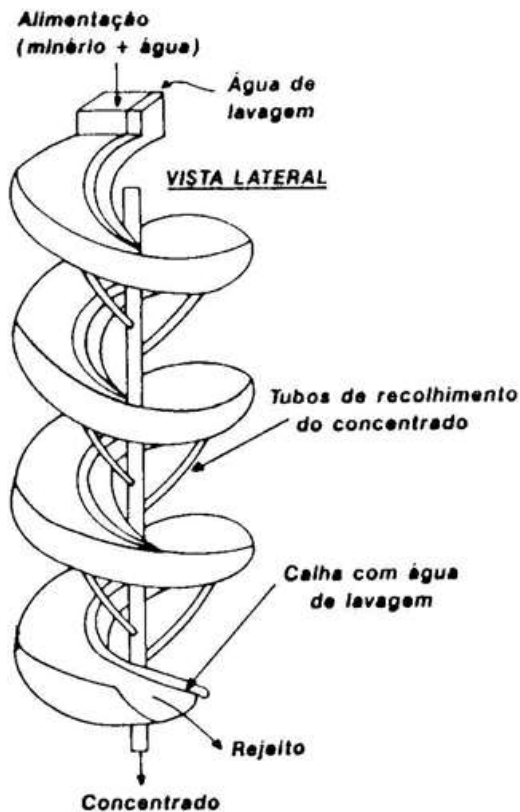
FIGURA 1

-  REFUGO "FLUTUANTE" DE TODOS OS TAMANHOS
-  PARTÍCULAS PESADAS (GROSSOS)
-  PARTÍCULAS PESADAS (FINOS)

CONCENTRAÇÃO: Mét. densitários

□ Espirais:

▣ 0,05 a 2 mm.



CONCENTRAÇÃO: Mét. densitários

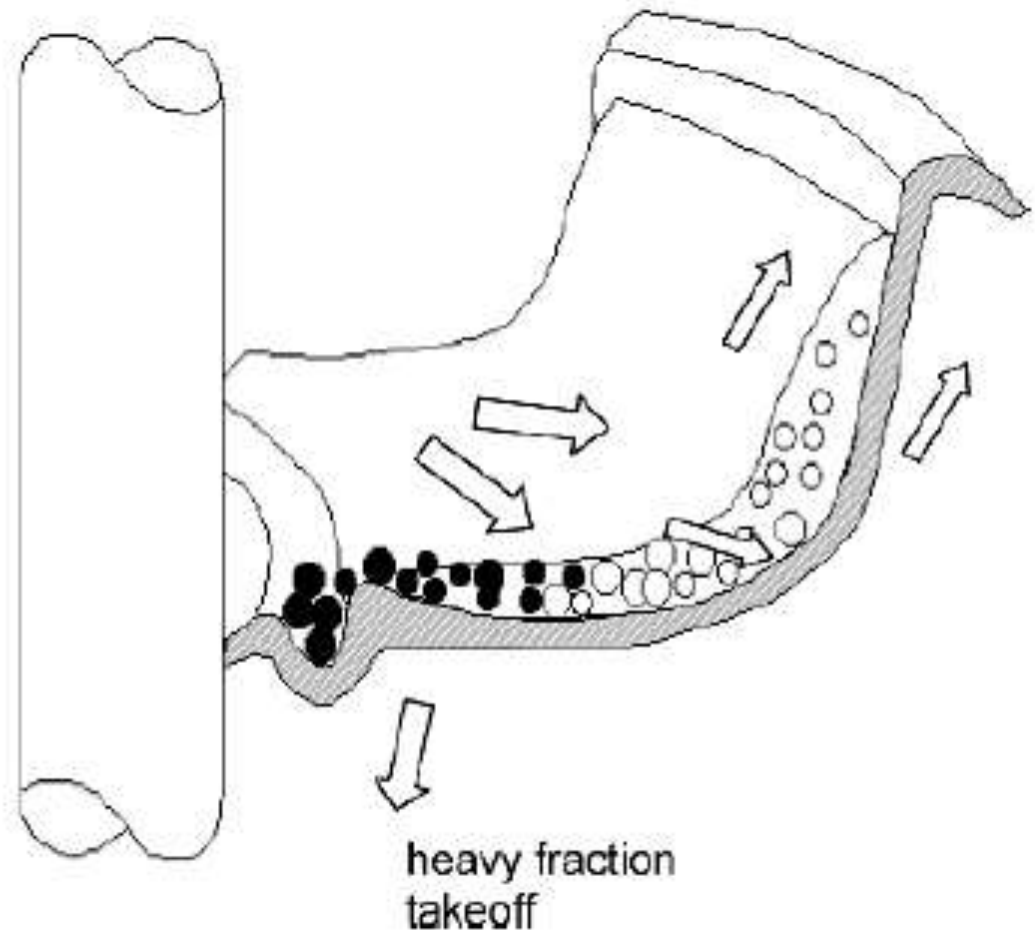


Fig. 15.15. Cross section of a spiral launder.

CONCENTRAÇÃO: Mét. densitários

□ Mesa vibratória:

▣ 0,07 a 1 mm.



CONCENTRAÇÃO: Mét. densitários

- Aplicabilidade de processos gravimétricos (Taggart, 1945):

$$\textit{Critério de concentração} = \frac{\rho_d - \rho_f}{\rho_l - \rho_f}$$

- Onde:
 - ρ_d é a densidade do mineral denso;
 - ρ_f é a densidade do fluído;
 - ρ_l é a densidade do mineral leve

Obs.: Pode-se levar em conta também a forma das partículas.

CONCENTRAÇÃO: Mét. densitários

- Valores do critério de concentração e dificuldade de separação

CC	Dificuldade
>2,5	Separação eficiente até 0,074 mm
2,5-1,75	Separação eficiente até 0,147 mm
1,75-1,5	Separação possível até 1,4 mm, porém difícil
1,5-1,2	Separação possível até 6 mm, porém difícil

CONCENTRAÇÃO: Mét. densitários

□ Exemplos:

- ▣ 1) Separação de quartzo (densidade de 2.650 kg/m³) e ilmenita (densidade de 4.700 kg/m³) em água (densidade de 1.000 kg/m³):

$$\textit{Critério de concentração} = \frac{4700-1000}{2650-1000} = 2,2$$

CONCENTRAÇÃO: Mét. densitários

□ Exemplos:

- ▣ 2) Separação de quartzo (densidade de 2.650 kg/m³) e ilmenita (densidade de 4.700 kg/m³) em líquido denso (densidade de 1.500 kg/m³):

$$\textit{Critério de concentração} = \frac{4700-1500}{2650-1500} = 2,8$$

CONCENTRAÇÃO: Mét. densitários

□ Exemplos:

- 3) Separação de quartzo (densidade de 2.650 kg/m³) e ilmenita (densidade de 4.700 kg/m³) em ar (densidade de 1,2 kg/m³):

$$\textit{Critério de concentração} = \frac{4700-1,2}{2650-1,2} = 1,8$$

- Os exemplos indicam que a separação de partículas a seco (pneumática) é de aplicação mais limitada e exige uma alimentação com intervalos de tamanhos mais estreitos que a separação a úmido.

CONCENTRAÇÃO: Mét. densitários

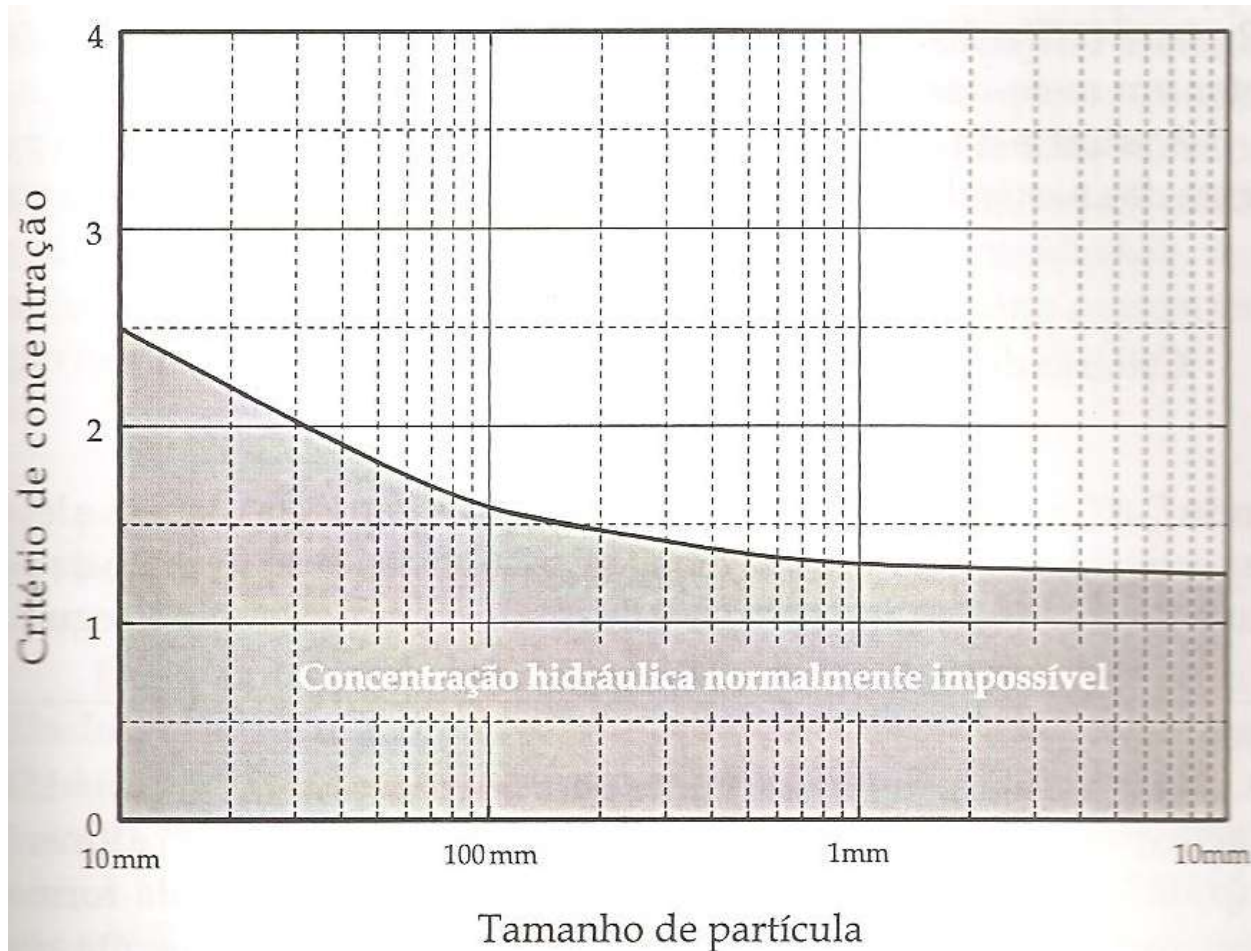


Figura 3.1. Limites de aplicabilidade de equipamentos modernos de concentração gravimétrica. Fonte: Sampaio, 2005

CONCENTRAÇÃO: Mét. densitários

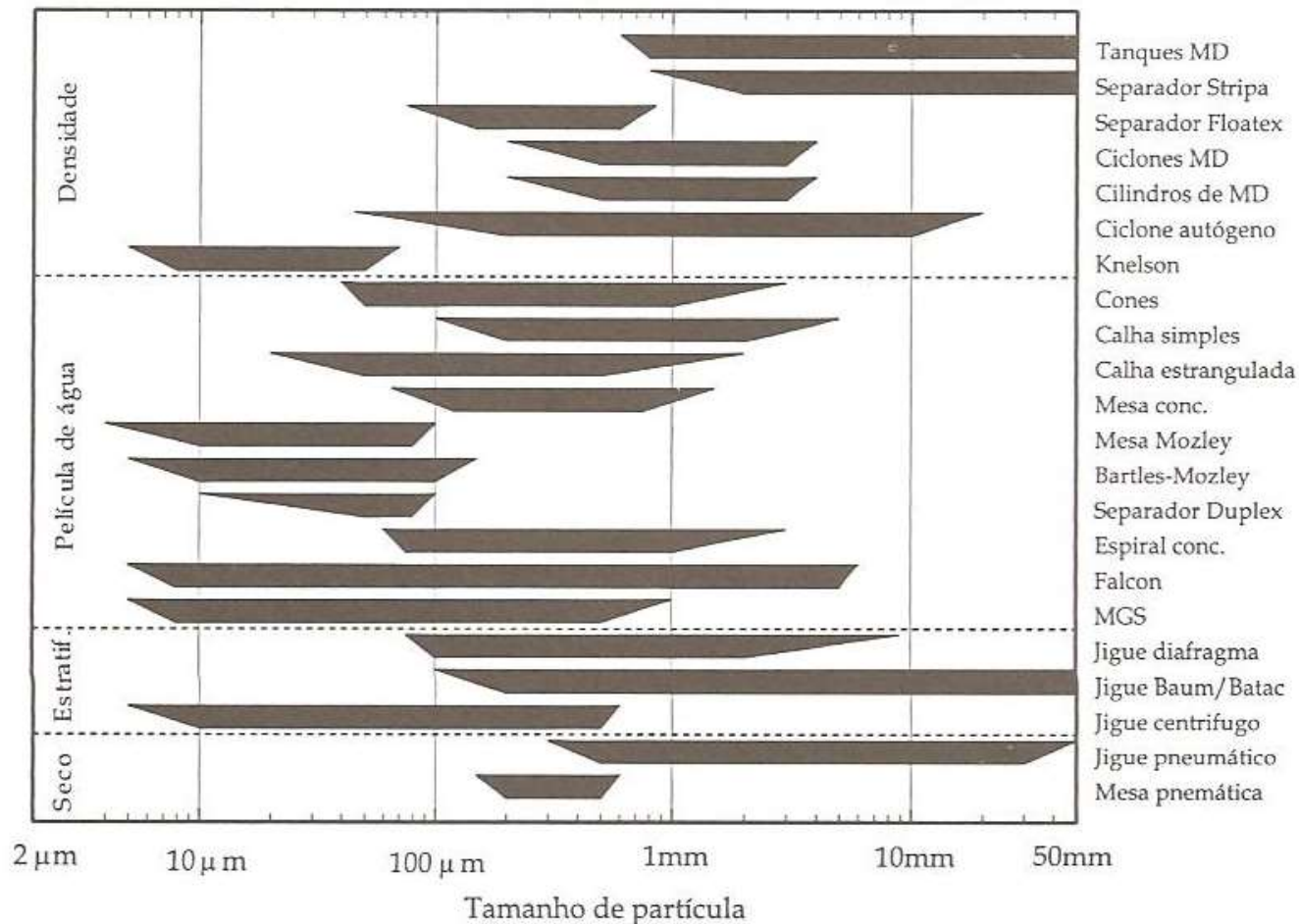


Figura 3.3. Aplicabilidade de diferentes métodos de concentração gravimétrica em função da granulometria. Fonte: Sampaio, 2005

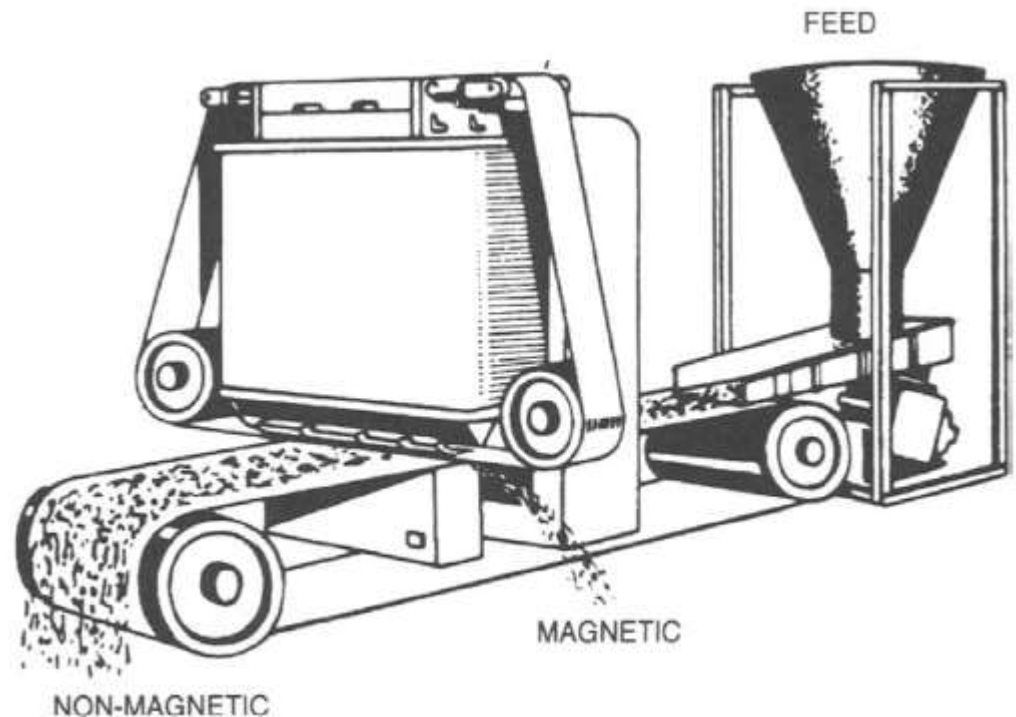
Separação magnética

- Capítulo 8 do livro:
- Teoria e prática do Tratamento de Minérios: Britagem, peneiramento e moagem. Volume 6. 2013. 1 edição. Autores: Arthur Pinto Chaves e Rotênio Castelo Chaves Filho



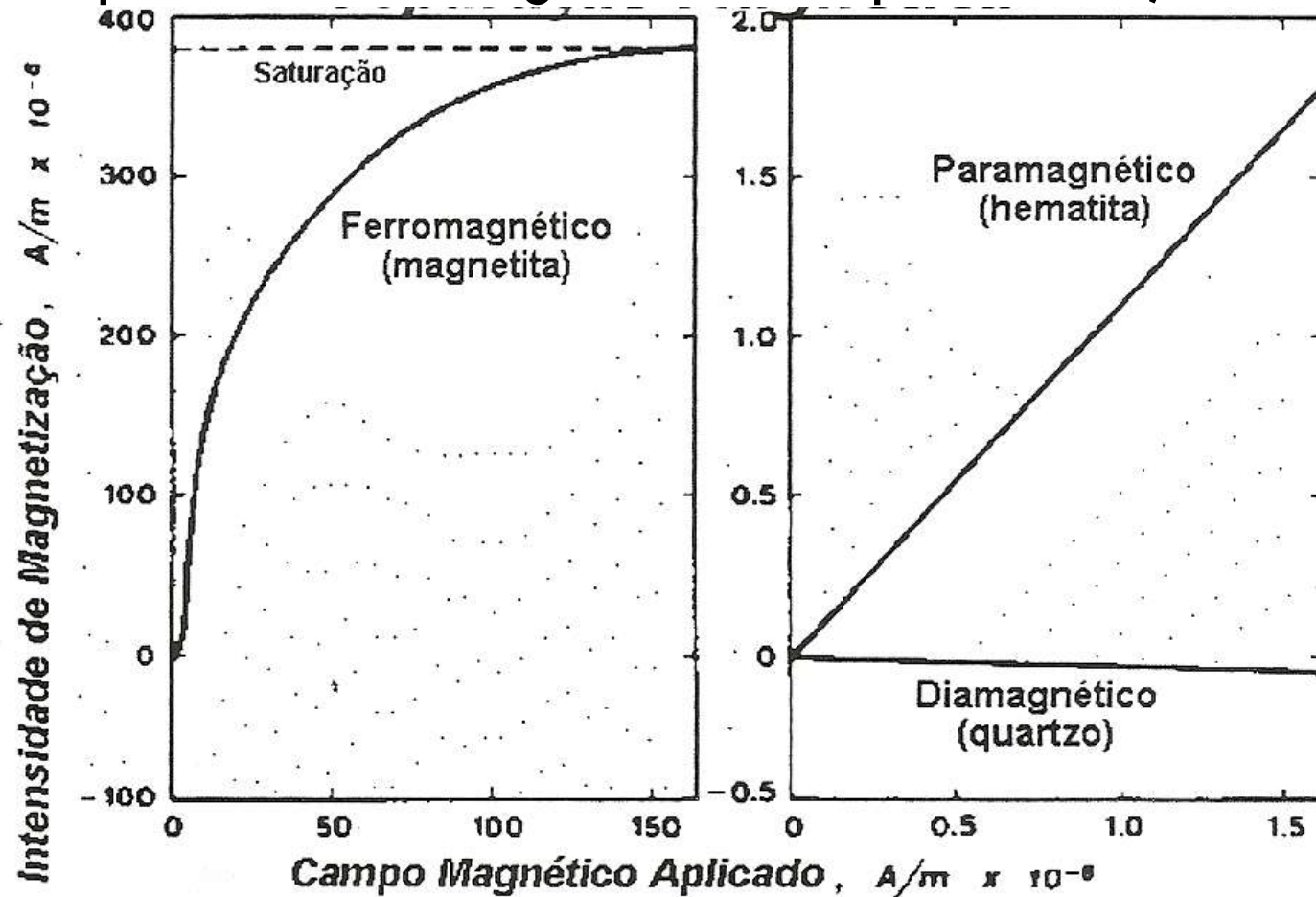
CONCENTRAÇÃO: Separação magnética

- Susceptibilidade magnética das partículas;
- Seco: 0,074 a 5 mm;
- Úmido: 0,001 a 5 mm.



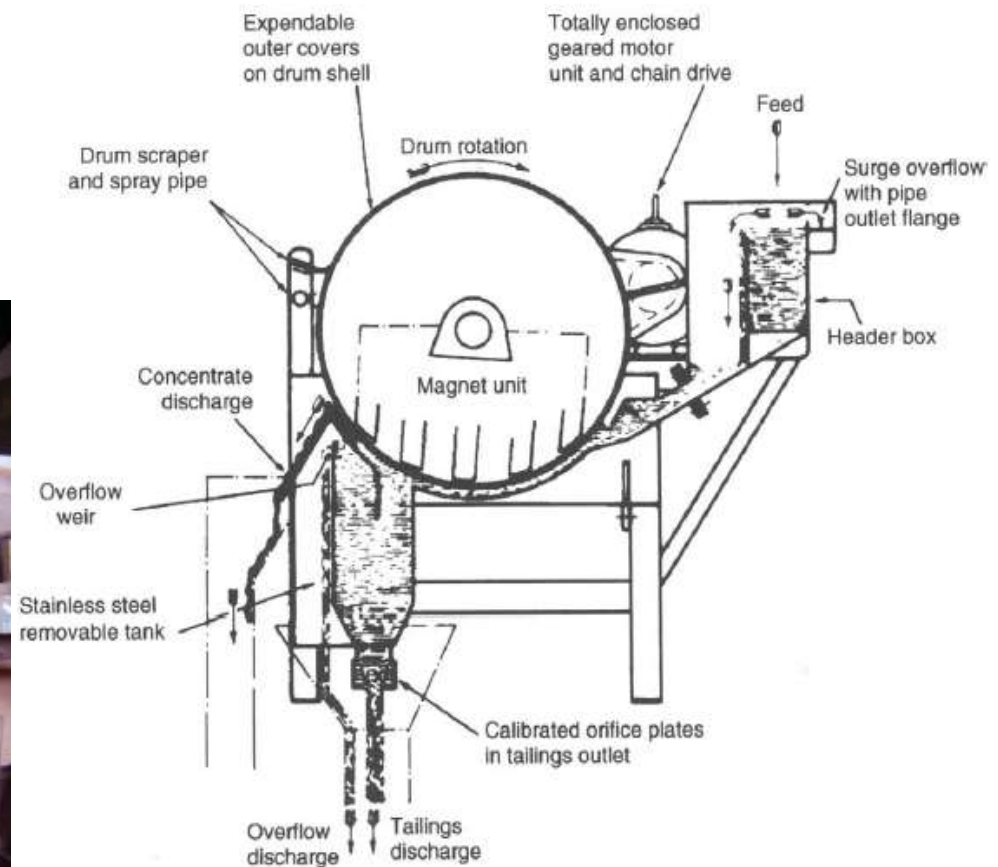
CONCENTRAÇÃO: Métodos magnéticos

- Susceptibilidade magnética das partículas;



CONCENTRAÇÃO: Métodos magnéticos

□ Separador de rolos



3.6 Drum separator

CONCENTRAÇÃO: Métodos magnéticos

□ Separador Jones

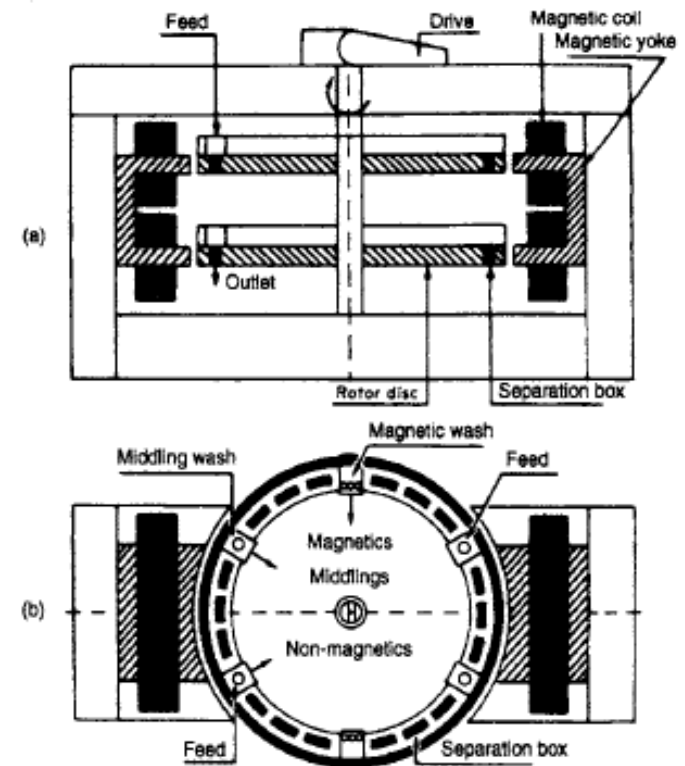


Figure 13.12 Operating principle of the Jones high-intensity wet magnetic separator in cross-section (a) plan and (b) view Fonte: Wills, 2006

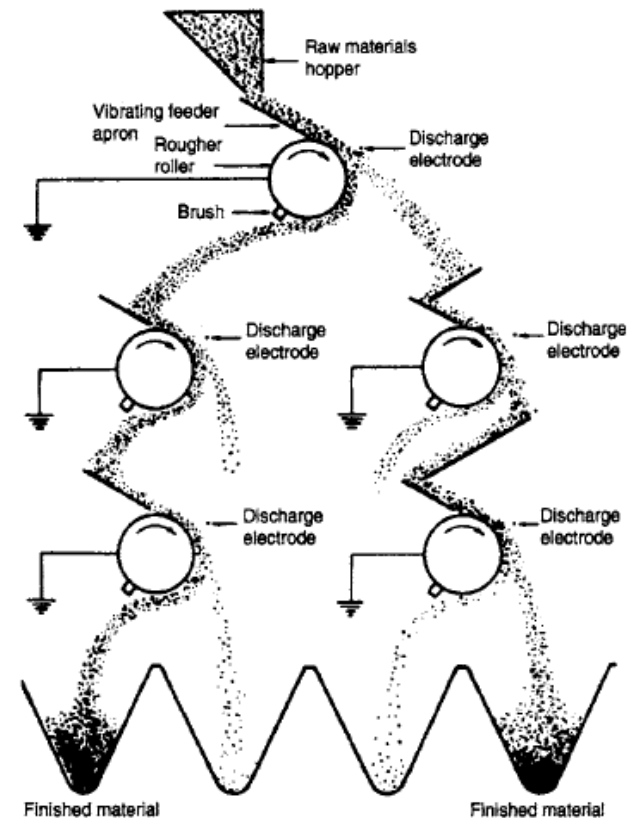
Separação eletrostática

- Capítulo 9 do livro:
- Teoria e prática do Tratamento de Minérios: Britagem, peneiramento e moagem. Volume 6. 2013. 1 edição. Autores: Arthur Pinto Chaves e Rotênio Castelo Chaves Filho



CONCENTRAÇÃO: Separação eletrostática

- Condutibilidade elétrica das partículas / temperatura;
- Granulometrias de 0,05 a 3 mm.



CONCENTRAÇÃO: Separação eletrostática

□ Condutibilidade elétrica das partículas

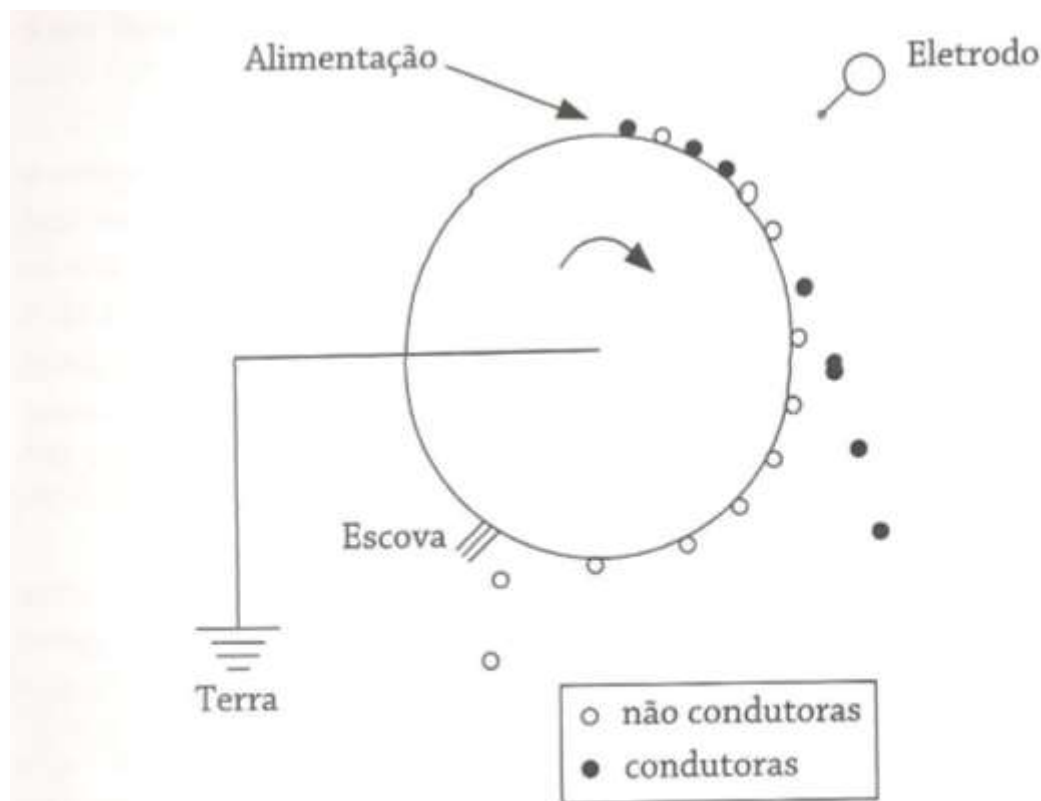


Figura 6.9 - Separador eletrostático de tambor

CONCENTRAÇÃO: Separação eletrostática

□ Condutibilidade elétrica das partículas

Tabela 6.4 - Comportamento típico de alguns minerais no separador eletrostático de tambor

Minerais que se prendem ao tambor (NC)	Minerais que não se prendem ao tambor (C)
Apatita	Cassiterita
Barita	Cromita
Calcita	Galena
Cianita	Goethita
Coríndon	Ouro
Garnierita	Hematita
Gibbsita	Estibnita
Gipsita	Ilmenita
Monazita	Magnetita
Quartzo	Pirita
Scheelita	Rutilo
Sillimanita	Esfalerita
Turmalina	Tantalita
Zircão	Wolframita

CONCENTRAÇÃO: Separação eletrostática

- Condutibilidade elétrica das partículas

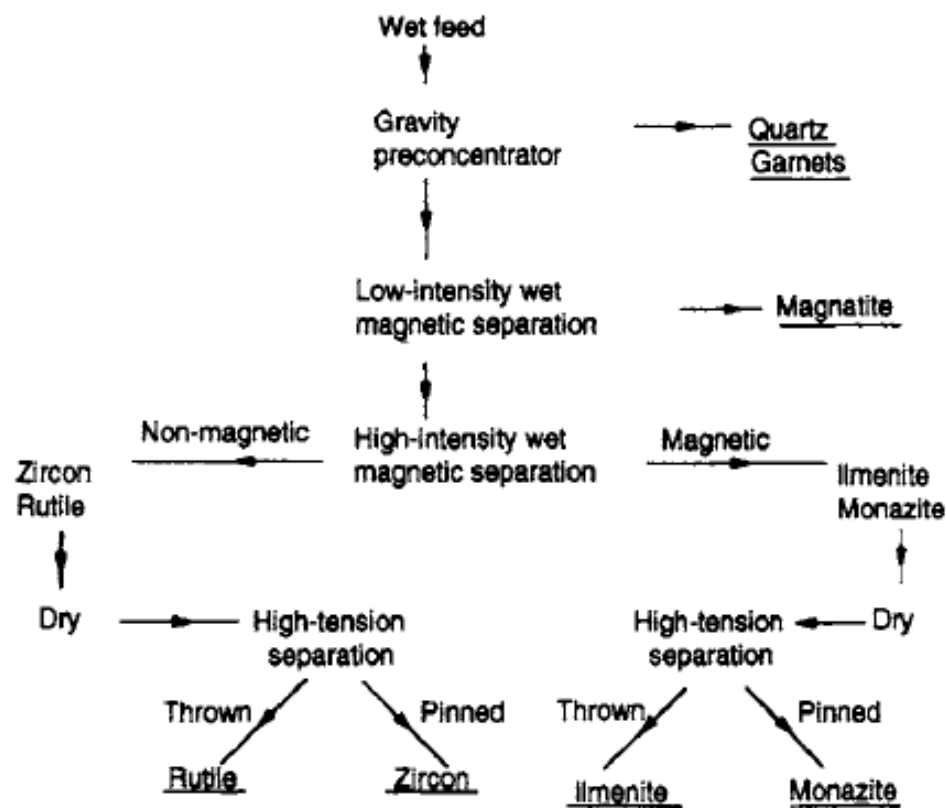
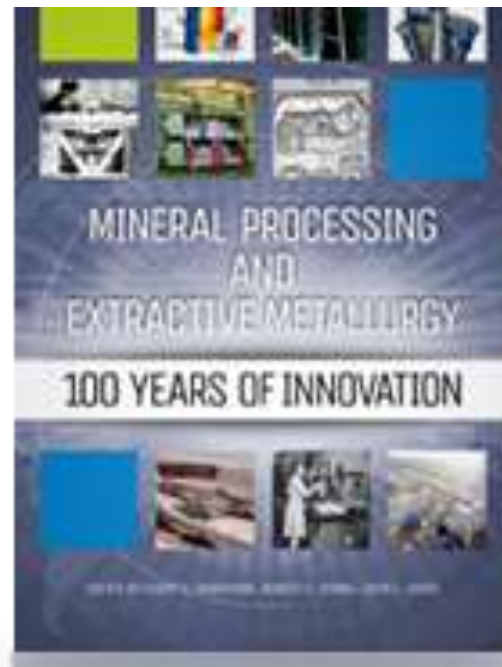


Figure 13.26 Typical beach sand treatment flowsheet

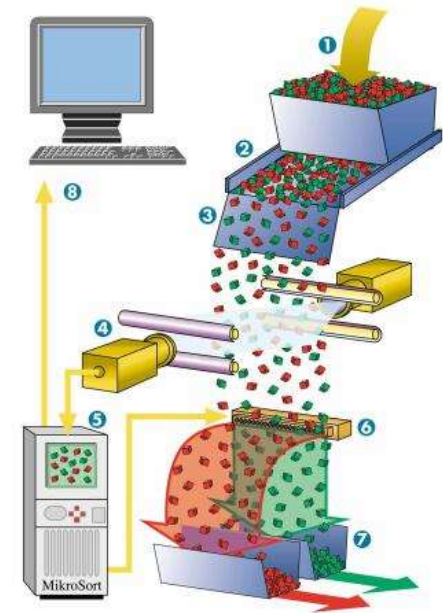
Ore sorting

- Págs. 209 a 221 do livro:
- Mineral processing and extractive metallurgy: 100 years of innovation. 2014. 1 edição. Autores: Corby G. Anderson, Robert C. Dunne, John L. Uhrie



CONCENTRAÇÃO: Ore sorting

- Diversas propriedades das partículas: brilho, cor, radiação, magnetismo, química, etc;
- Granulometrias maior que 5 até 300 mm.



CONCENTRAÇÃO: Ore sorting

	[m]		Sensor/Technology	Material Property	Sorter application
Gamma-radiation	10^{-12}		RM (Radiometric)	Natural Gamma Radiation	Radioactive Ores
	10^{-11}				
X-ray	10^{-10}		XRT (X-ray Transmission)	Atomic Density	Base and Heavy Metal Ores Precious Metal Ores Industrial Minerals, Coal, Diamonds, Scrap Metals
	10^{-9}				
Ultraviolet (UV)	10^{-8}		XRF	Visible Fluorescence under X-rays	Diamonds
	10^{-7}				
Visible light (VIS)	10^{-6}		COLOR (CCD Color Camera)	Reflection, Absorption, Transmission	Base Metal Ores Precious Metal Ores Industrial Minerals Diamonds, Glass
	10^{-5}				
Near Infrared (NIR)	10^{-4}		PM (Photometric)	Monochromatic Reflection/Absorption	Industrial Minerals Precious Stones Diamonds
Infrared (IR)	10^{-3}				
	10^{-2}		NIR (Near Infrared Spectrometry)	Reflection, Absorption	Base Metal Ores Industrial Minerals Plastic Paper, Cardboard
Microwaves	10^{-1}				
	10^0		IR (Infrared Camera)	Heat conductivity, heat dissipation	Base Metal Sulphide Ores Precious Metal Ores Industrial Minerals Graphite, Coal
Radio Waves	10^1				
	10^2				
Alternating Current (AC)	10^3				
	10^4		EM (Electro-Magnetic Sensor)	Conductivity, Permeability	Base Metal Sulphide Ores Scrap metals

Figure 3. Sensors along the electromagnetic spectrum (Wotruba 2011)

CONCENTRAÇÃO: Ore sorting

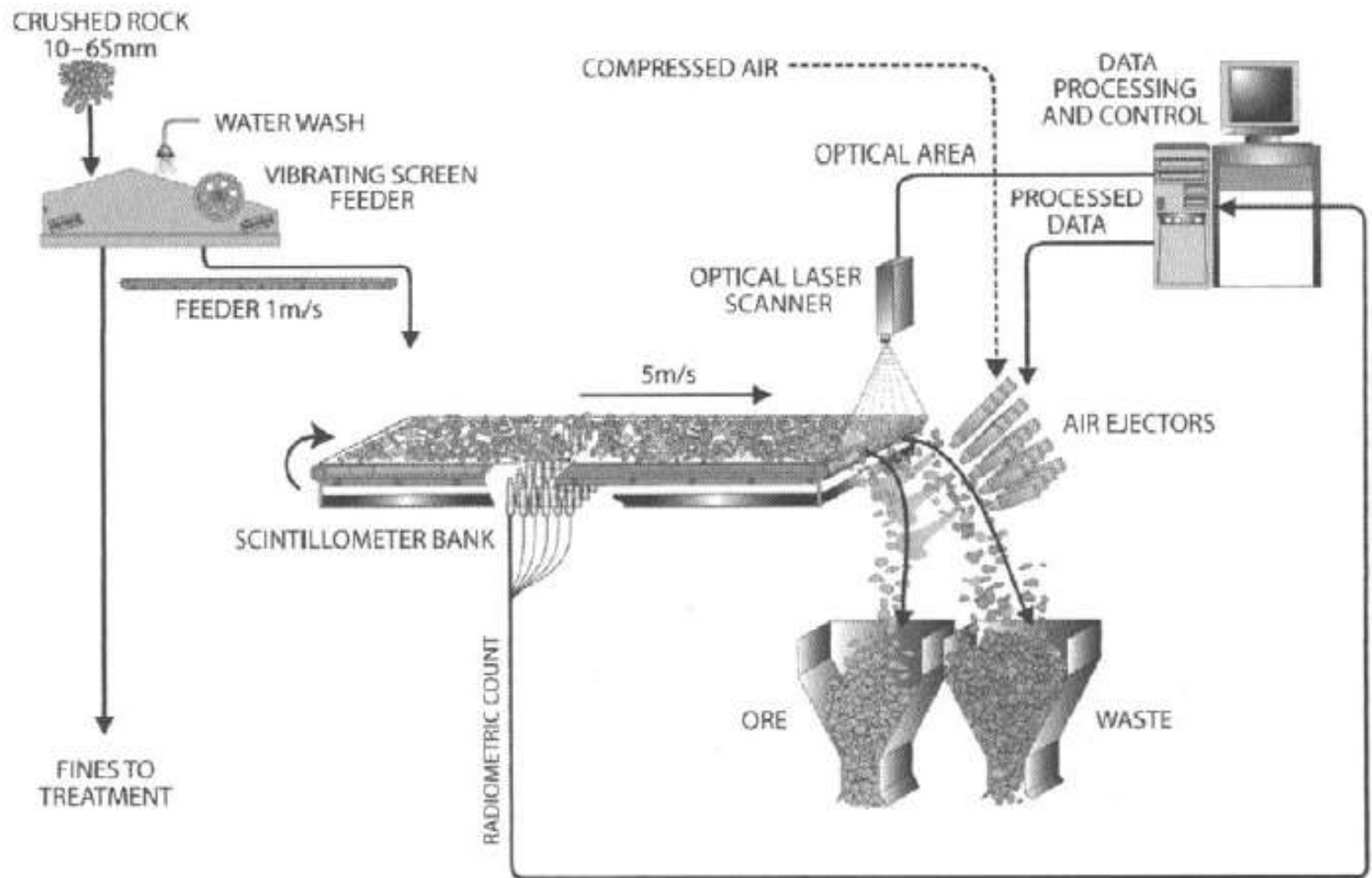


Figure 14.4 The Ultrasort radiometric sorter (Courtesy Ultrasort Pty Ltd)

Ore sorting

- <http://www.steinert.de/home/products/x-ray-sorting-system-xssr/>
- <http://www.steinert.de/home/products/color-sorting-systems-fssr/>
- <http://www.steinert.de/home/products/induction-sorting-system-issr/>

FONTES:

- Mineral Processing Technology – Barry Wills e Tim Nappier-Munn. 2006.
- Chaves, A. P. Teoria e prática do tratamento de minérios. Vol. 1 e 4. 2006.
- Valadão, G. E. S.; Araujo, A. C. Introdução ao tratamento de minérios. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007.
- Sampaio, Carlos Hoffman; Beneficiamento gravimétrico: uma introdução aos processos de concentração mineral e reciclagem de materiais por densidade. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2005.
- Gupta, A.; Yan, D.; **Mineral processing design and operation: an introduction**. Elsevier, 2006. 693 p. Disponível em:
<<http://www.sciencedirect.com/science/book/9780444516367>>
- Imagens e vídeos google images
- Imagens do autor