

CAPÍTULO

6

OPERAÇÕES DE BENEFICIAMENTO DE AREIA

Arthur Pinto Chaves

Engenheiro Metalurgista/EPUSP,
Professor Titular de Tratamento de Minérios,
Departamento de Engenharia de Minas e de
Petróleo, Escola Politécnica da USP.

William Whitaker

Engenheiro de Minas/UFOP, M.Sc. em
Tecnologia Mineral/ EPUSP. Mineração Casa de
Pedra, Companhia Siderúrgica Nacional.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Colocação do Tema

Areias são grãos, essencialmente de quartzo, resultantes da desagregação ou decomposição das rochas em que entra a sílica. A separação do quartzo das rochas pelos agentes de erosão se faz por causa de sua maior resistência, tanto ao desgaste de ordem física, quanto à decomposição química. Esses grãos de quartzo, uma vez desintegrados da rocha primitiva, são transportados pelos diversos agentes erosivos externos, indo formar as praias, as dunas e outras infinitudes de depósitos de areias (Guerra, 1978).

Entretanto, materiais decompostos e mantidos in situ (manto de alteração de pedreiras), que não sofreram qualquer tipo de transporte também são areia. O transporte, por sua vez, pode ser fluvial e eólico. Este último traz para os grãos elevado grau de arredondamento. Isto é muito bom porque aumenta a trabalhabilidade da argamassa ou concreto, embora piore a aderência dos grãos à pasta.

A norma NBR 7225 - Materiais de pedra e agregados naturais normatiza três produtos diferentes:

- (i) areia grossa, $-2+1,2$ mm,
- (ii) areia média, $-1,2+0,42$ mm e
- (iii) areia fina, $-0,42+0,075$ mm.

Já a norma NBR 7211 - Agregado para concreto considera quatro produtos:

- (i) areia grossa;
- (ii) areia média;
- (iii) areia fina;
- (iv) areia muito fina.

Estas definições são conflitantes e a NBR 7225 considera a areia como um material puramente natural, ao passo que a NBR 7211 inclui as areias provenientes da britagem. Não existe correspondência entre as duas normas - a NBR 7225 considera o tamanho máximo de 2 mm, enquanto que a NBR 7211 admite de 5 a 12% de partículas acima de 4,8 mm.

Uma areia para construção civil deve atender diferentes exigências:

- (i) distribuição granulométrica adequada;
- (ii) forma de grãos;
- (iii) composição mineralógica adequada.

A cor da areia é muitas vezes utilizada como critério de avaliação da sua pureza. Areias misturadas com saibro ou argila têm coloração amarelada ou avermelhada. Cor castanha pode indicar a presença de feldspatos, alterados ou não, embora muitas vezes seja devida à presença de quartzo escuro. Areias com muscovita, biotita, ilmenita ou pirita têm brilho. Cores cinzentas podem indicar a presença de lamas ou lodos.

As argilas ($-2 \mu\text{m}$) e os siltes ($-60+2 \mu\text{m}$) compõem a fração denominada "pulvurulento". Se esta argila preenche os vazios da areia e influi para que o cimento envolva melhor os grãos de areia, ligando-os mais fortemente, ela melhora a plasticidade do cimento e é benéfica. Se, entretanto, ela forma uma película envolvendo os grãos de areia, sua ação é prejudicial, causando fissuras e retrações, mesmo que se encontre em pequena proporção (Petrucci, Paulon, 1955).

Alguns minerais, como as sílicas não cristalinas (opala, calcedônia, ágata), argilas e dolomitas podem reagir com o cimento, resultando em compostos expansivos e por isto são nocivos (Sbrighi, 2000 e Neville, 1997).

Finalmente, a presença de matéria orgânica (partículas de húmus) sempre é prejudicial à pega e endurecimento das argamassas e concretos (Petrucci, Paulon, 1995).

As normas NBR 7211, 7218, 7219, 7220, 7221 e ASTM C 123 tratam dos limites destas impurezas.

2. LAVRA DE AREIA

A lavra de areia é feita segundo três métodos diferentes, função do tipo de depósito que está sendo lavrado:

- (i) a dragagem é feita em leitos de rio e em cavas inundadas;
- (ii) o desmonte hidráulico é feito em cavas secas e em mantos de alteração de maciços rochosos;
- (iii) a lavra por tiras é feita em depósitos homogêneos e de maior extensão horizontal.

A prática comum é preparar uma polpa com a areia lavrada e bombeá-la para uma caixa de decantação. A areia decanta e o excesso de água transborda, arrastando a lama. Evidentemente, esta prática é primitiva e rudimentar e não permite nenhum controle de qualidade da areia produzida.

3. OPERAÇÕES DE BENEFICIAMENTO DE AREIA

À vista do exposto, compreende-se que as operações de beneficiamento empregadas visam desagregar as partículas, individualizando-as, lavá-las, removendo a cobertura de pulvulentos, desagregar as partículas mais frágeis e separar os tamanhos desejados. Passaremos em revista cada uma destas operações.

3.1. Lavagem e Desagregação

Esta operação tem pouca importância nas minas operadas por dragagem, mas é essencial nas cavas secas. Ela tem que ser a primeira operação de qualquer fluxograma. Vários equipamentos são utilizados e passá-los-emos em revista.

O log washer (Figura 1) é um tanque onde giram dois eixos munidos de palhetas que batem a polpa e a agitam intensamente. A areia a ser beneficiada é alimentada no fundo do tanque e transportada para cima pelo movimento das palhetas. As partículas se movimentam entre as palhetas, sofrendo intensa atrição superficial e impactos que desagregam as partículas inconsolidadas ou friáveis e removem as coberturas de argila. A lama gerada transborda como um overflow, enquanto que as partículas sólidas percorrem toda a extensão do aparelho, sendo descarregadas como um underflow.

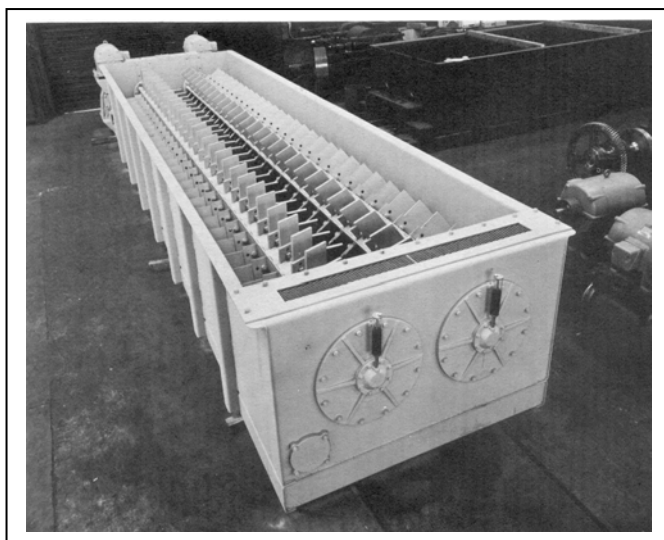


Figura 1 – Log washer.

O scrubber (Figura 2) é um tambor giratório, dotado internamente de aletas que elevam o material e o deixam cair. Ele é alimentado com uma polpa com cerca de 50% de sólidos. A queda do material sobre a polpa que está no fundo do tambor causa intensa atrição das partículas sólidas e desagregação das coberturas de lama. Na descarga do aparelho é colocada uma peneira para separar as partículas grosseiras limpas da lama. Muitos aparelhos têm injeção de jatos d'água sob pressão para ajudar a desagregação. Na peneira, outros jatos d'água completam a lavagem.



Figura 2 – Scrubber.

Os lavadores de rosca, Figura 3, têm a aparência de classificadores espiral mas operam de modo completamente diferente. Eles têm uma ou duas roscas que giram dentro dum tanque. A areia é alimentada em polpa por uma entrada lateral e água é injetada sob pressão pela parte inferior do tanque. O movimento ascendente da água efetua a lavagem dos grãos, que são intensamente atritados pelo movimento da hélice. Argilas, siltes, material orgânico e micas até 0,6 mm são efetivamente removidos e descarregam pelo overflow. Os grãos lavados são arrastados pela hélice e descarregam como underflow. Este produto sai bem desaguado (até 75% de sólidos em peso), o que é outra vantagem deste equipamento.

A regulagem do corte (d_{95}) é feita mediante a variação da vazão da água injetada.

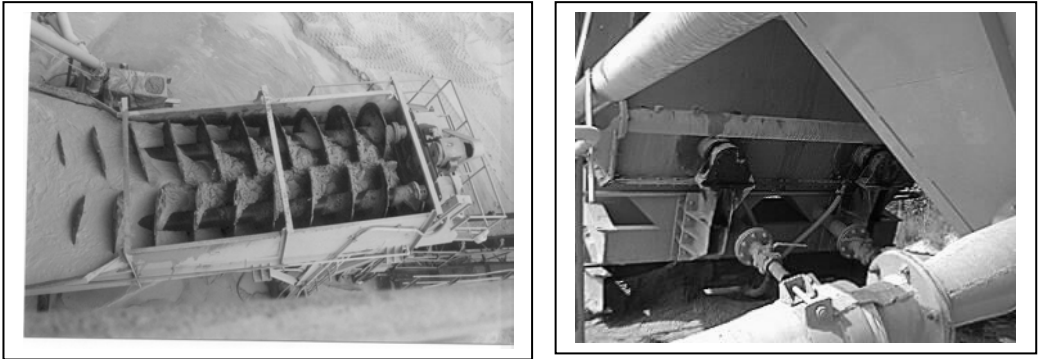


Figura 3 – Lavador de rosca.

3.2. Peneiramento

O peneiramento de areias é uma operação difícil porque as malhas de peneiramento são finas. São utilizadas peneiras de alta frequência, o que limita muito a oferta de equipamentos adequados.

Isto é importante de se ressaltar pois, as peneiras vibratórias inclinadas ou horizontais, de baixa frequência, que reinam absolutas no domínio da britagem industrial, são totalmente inadequadas para esta aplicação.

Aliás, a distinção didática clássica entre peneiras vibratórias inclinadas e horizontais deixou de fazer sentido, dado o enorme desenvolvimento ocorrido nos últimos anos. Com efeito, as peneiras passaram a ser distinguidas pelo movimento vibratório, retilíneo ou circular, e as peneiras de movimento retilíneo deixaram de ser somente horizontais para agora trabalharem com inclinações positivas ou negativas. Finalmente, o movimento retilíneo, por ser mais enérgico que o movimento circular, apresenta a vantagem de desentupir a tela (efeito "auto limpante").

Existe uma relação muito importante entre a frequência e a amplitude do movimento vibratório e a malha de peneiramento. Conforme diminui o tamanho da malha, aumenta a frequência e diminui a amplitude. Para peneiramentos tão finos como os necessários para a produção de areia, a frequência é muito elevada, exigindo equipamentos de projeto especial. A Figura 4 mostra uma peneira vibratória horizontal peneirando e desaguando areia numa draga. O oversize sai tão bem desaguado que pode ser transportado por um transportador de correia.

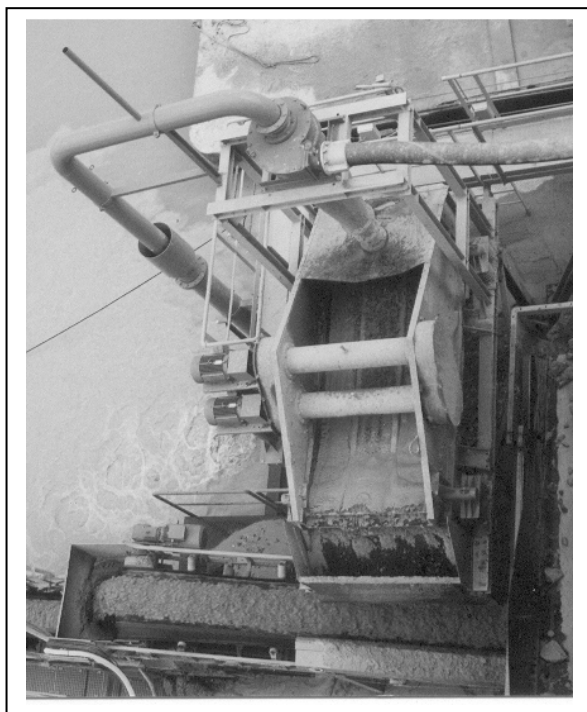


Figura 4 – Peneira vibratória horizontal.

Outro desenvolvimento inovador e muito importante é o da peneira modular ("banana screen"), Figura 5: em vez do deck ter uma inclinação única, ele pode ter duas ou até três inclinações diferentes. A inclinação maior no trecho inicial diminui a altura do leito, acelera a sua estratificação e permite a passagem imediata através da tela das partículas fáceis de serem peneiradas (diâmetro inferior à metade da malha). Ao fim deste módulo, a espessura do leito está significativamente reduzida e o leito passa a ser peneirado com a inclinação recomendada. No trecho final, onde a altura do leito é pequena, pois só restam as partículas maiores que a abertura da tela e aquelas muito difíceis de peneirar, a inclinação do deck é reduzida novamente. O efeito final é o aumento da capacidade em relação à peneira unimodular de mesma área. Já a inclinação menor ou até mesmo negativa no trecho final, onde a espessura do leito está reduzida ao mínimo, aumenta a eficiência do peneiramento pois aumenta o tempo de residência das partículas da faixa crítica (diâmetros entre a abertura da malha e metade deste valor).



Figura 5 – Peneira modular.

Desta forma, a eficiência do peneiramento é aumentada e, como o movimento é retilíneo, a área necessária é reduzida de até 40 % em relação à peneira vibratória inclinada - segundo os fabricantes.

Quando a alimentação do peneiramento tem quantidade elevada de finos, é necessário lavá-la sobre a peneira, ou seja, fazer o peneiramento via úmida. Isto é especialmente conveniente quando se desejar fazer operações de classificação em seguida, pois estas operações são sempre feitas a úmido.

3.3. Classificação e Deslamagem

As lamas, via de regra, são compostas de argilo-minerais. Esta família de minerais são aluminos-silicatos que têm em comum a característica de serem finamente granulados. O Prof. Pérsio ensina que não existe a moagem de argilas, pois elas são naturalmente finas: o que ocorre é a sua desagregação (SOUZA SANTOS, 1975).

A sua presença nas areias é considerada nociva para o concreto, função de sua composição mineral, e elas precisam ser eliminadas. A norma brasileira NBR 7211 só permite quantidades de material menor que 150 μm entre 10 e 15 % dependendo do tipo de areia. Este fato muda quando se passa de areias naturais para areias de pedreira, pois os finos destas são finos de cominuição da rocha que lhes deu origem.

O termo deslamagem tem um significado mais vago que o de classificação e se refere à eliminação das lamas, indesejáveis para as operações subsequentes ou para a qualidade do produto final (CHAVES, 2002). A classificação e a deslamagem são sempre feitas a úmido. Os dois equipamentos mais utilizados para esta operação são os classificadores espiral e os ciclones.

Os classificadores espiral, Figura 6, são equipamentos muito robustos e confiáveis. Eles são constituídos dum tanque dentro do qual gira uma espiral. O movimento da espiral agita a polpa (mistura de areia e água), mantendo-a em suspensão. Variando-se a proporção de sólidos e água, variará a densidade da polpa e a sua viscosidade. As partículas sólidas alimentadas ao classificador encontram esta polpa e, dependendo do seu tamanho, têm peso suficiente para afundar ou não. Se afundam, acumulam-se no fundo do classificador, de onde são arrastadas tanque acima pelo movimento da espiral. Se não conseguem afundar, transbordam do classificador (CHAVES, 2002).

Os classificadores espiral são fabricados em diferentes tamanhos, o que lhes dá uma faixa de capacidades muito ampla (desde cerca de 60 até cerca de 1.720 t/h de lama eliminada pelo overflow). A faixa de separação (d_{95}) vai de cerca de 800 μm a 74 μm (CHAVES, 2004).



Figura 6 – Classificador espiral.

Os ciclones, Figura 7, não têm peças móveis e transformam a pressão com que a polpa lhes é alimentada em movimento circular pelo fato da abertura de alimentação ser tangencial ao corpo do equipamento. As partículas arrastadas por este movimento circular (mais precisamente, "rotacional") sofrem a ação da força centrífuga e são arrastadas para a periferia do ciclone. As partículas maiores têm massas maiores e expulsam as partículas menores de volta para o centro, ou sequer as deixam afundar. Cria-se uma zona central onde predominam as partículas finas e uma zona externa onde predominam as partículas grossas. O projeto do equipamento faz com que a zona central seja descarregada pelo overflow e a zona externa pelo underflow, ocorrendo assim a classificação desejada.

Os ciclones também são fabricados em diferentes tamanhos, o que também lhes dá uma faixa de capacidades muito ampla, que pode ser multiplicada pelo uso de baterias de ciclones em paralelo. A faixa de separação (d_{95}) vai de desde 3 μm a 150 μm (CHAVES, 2004). Como regra geral, o diâmetro de corte (d_{95}) aumenta com o tamanho do ciclone (diâmetro interno da porção cilíndrica). Ora, o mesmo acontece com a capacidade do equipamento. Desta forma, para a separação desejada na indústria da areia, de 150 μm , são adequados ciclones de 26 a 50" de diâmetro interno, equipamentos cuja capacidade é enorme. Poucas instalações (portos de areia) têm pois o porte necessário para poder utilizá-los adequadamente.

A eficiência de classificação dos classificadores espiral (85 a 90 %) é muito maior que a dos ciclones (60 a 70 %).



Figura 7 – Ciclones.

Outros equipamentos são oferecidos ao mercado, como os classificadores de roda de caçamba (Figura 8).



Figura 8 – Classificadores de roda de caçamba.

Acompanhando a apresentação feita por WHITAKER, 2002, incluímos nesta operação alguns equipamentos ainda pouco conhecidos no Brasil.

Os classificadores horizontais, Figura 9 (IHC. PROMIN, 1997), são tanques horizontais, longos, com diversas saídas inferiores ao longo de seu comprimento. A alimentação (polpa) entra horizontalmente por uma das pontas e percorre toda a extensão do equipamento. As partículas vão sedimentando conforme afundam, função da posição em que entraram no equipamento e de seu tamanho, e acabam se distribuindo pelas diferentes câmaras em função do seu tamanho - as maiores próximas à entrada e as menores cada vez mais longe. A lama e o excesso de água transbordam pelas laterais e na extremidade oposta.



Figura 9 – Classificador horizontal.

A diferença fundamental entre estes equipamentos e os classificadores horizontais primitivos, "spitzkasten", mostrados em todos os livros texto, especialmente os mais antigos, é principalmente a injeção de um fluxo ascendente de água nas primeiras calhas (existem outras diferenças como o controle automático da descarga do underflow de cada caixa, função ou da altura depositada ou da sua densidade de polpa). Este fluxo elutria as partículas mais finas, melhorando a qualidade de classificação da areia.

Esta corrente de água de elutriação permite que o equipamento opere com bastante constância, sendo pouco afetado por variações de qualidade (distribuição granulométrica) do material alimentado ou de vazão.

O underflow das caixas é descarregado sobre calhas (geralmente 3). A operação das válvulas permite distribuir os produtos de cada caixa entre as três calhas, permitindo compor distribuições granulométricas diferentes. A possibilidade de produzir diferente número de produtos é enorme e o sistema pode ser totalmente automatizado e programado a partir de um computador de processo.

Ou seja, este equipamento não apenas elimina a lama como os ciclones ou lavadores de rosca, ou separa frações granulométricas como os demais classificadores, mas prepara frações granulométricas e as compõe. E esta composição pode ser feita de acordo com a vontade do operador ou com uma especificação da concreteira.

Existe uma variedade de equipamentos operando segundo este princípio. A introdução do fluxo d'água ascendente e a conseqüente elutriação dos finos levou Whitaker a distinguir duas gerações de equipamentos quando compara estes classificadores com os "spitzkasten", com os cones classificadores ou com os tanques estáticos presentes em nossos portos de areia.

Os tanques podem ser horizontais como o mostrado na Figura 9 ou verticais, como mostrado nas Figuras 10 e 11. Os classificadores horizontais podem fazer diferentes cortes granulométricos e com isto gerar diferentes produtos. Os verticais fazem apenas um corte granulométrico, só gerando dois produtos. No equipamento mostrado na Figura 10 ("whirlsizer"), a entrada de polpa é tangencial, o que homogeneiza a sua distribuição dentro do tanque.

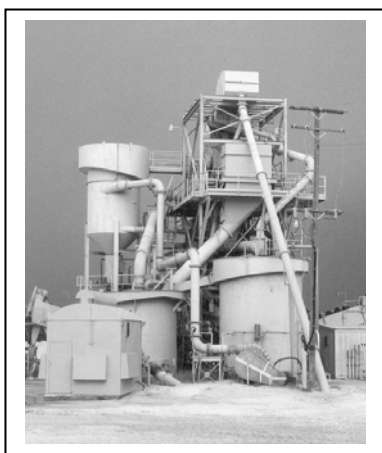


Figura 10 – Classificador vertical, "Whirlsizer".

A faixa de corte (d_{05}) destes equipamentos vai de 600 a 150 μm . O grande inconveniente é o elevado consumo d'água.

Uma terceira geração seria composta, segundo Whitaker, por equipamentos de tanque vertical, onde a injeção da corrente ascendente de água não tem mais a função de elutriar as lamas, mas sim a de criar um leito fluidizado de areia. Isto é feito mediante o proporcionamento correto da água e sólidos alimentados. A densidade de polpa resultante efetua o corte desejado e torna a classificação extremamente precisa.

O leito é monitorado por um sistema de controle da densidade de polpa do leito. Este controle aciona a válvula de descarga do underflow para manter esta densidade constante.

A Figura 11 mostra um equipamento desta família (LINATEX, 1995).



Figura 11 – Classificador vertical por leito fluidizado, "Hydrosizer".

4. PRODUÇÃO DE AREIAS "TAYLOR MADE"

Em franca utilização na Europa e na América do Norte, as areias especiais ("taylor made") têm a sua distribuição granulométrica definida pela concreteira. Elas servem para fazer colunas ou lajes mais esbeltas, fruto duma resistência elevada do concreto, ou para economizar cimento portland diminuindo o traço do concreto, fruto da melhor ocupação dos espaços vazios entre as partículas de agregado.

As diferentes finalidades para o uso do concreto exigirão distribuições granulométricas diferentes. Nenhuma areia natural atende estas especificações. Desta forma, é necessário separar a areia natural em diferentes frações granulométricas e depois recombiná-las em novas proporções de modo a obter a distribuição especificada pelo engenheiro civil. O mesmo vale para a areia de brita.

As separações em 4,8, 2,4 e 1,2 mm são feitas por peneiramento em peneira de alta frequência. As separações em 150 μm são feitas em ciclones, quando compatíveis com o porte da instalação ou então em classificadores espiral. Já as demais separações têm que ser feitas em classificadores horizontais ou verticais de terceira geração.

A Figura 12 mostra uma instalação destas. O projeto deve prever a flexibilidade necessária para produzir os diferentes produtos conforme a demanda. O controle operacional é totalmente feito por computadores de processo, que conhecem a distribuição granulométrica da matéria-prima e a distribuição desejada para o produto e são programados para escolher os cortes adequados, separar as frações granulométricas e depois recombiná-las.

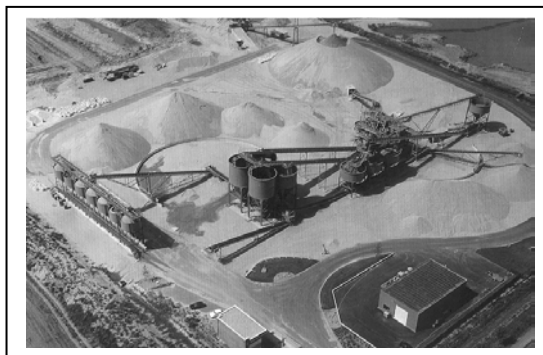


Figura 12 – Instalação para a produção de areia "taylor made".

Os classificadores horizontais, mercê da possibilidade de combinar e proporcionar os produtos das diferentes caixas são também muito adequados para este mister.

5. DIMENSIONAMENTO DE INSTALAÇÕES

Passaremos em revista os critérios de dimensionamento dos principais equipamentos examinados acima. Não nos deteremos nos princípios teóricos destes dimensionamentos, recomendando aos interessados os livros de Da Luz (ed., 2007) e Chaves (2006 e 2006b).

5.1. Peneiras

As peneiras têm que atender duas condições independentes: precisam ter área suficiente para deixar passar os finos menores que a abertura da tela e precisam ter altura do leito no ponto de descarga do oversize menor que um máximo admissível.

Existem várias fórmulas e parâmetros para calcular a área de peneiramento. Apresentamos a fórmula da VSMA (Vibrating Screens Manufacture Association). Apud IIZUKA, 2006.

$$S = \frac{U}{A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \times H \times J} (\text{ft}^2),$$

Onde:

U = t/h de material menor que a abertura da tela (a) na alimentação;

A = capacidade unitária, (st/h)/ft², medido para alimentações com 25 % >a e 40 % <a/2 e materiais de densidade aparente 100 lb/ft³;

B = fator relativo à % >a;

C = fator relativo à % <a/2;

D = fator relativo ao deck de peneiramento;

E = fator relativo ao peneiramento via úmida;

F = correção da densidade aparente do material;

G = fator relativo à área útil da tela;

H = fator relativo ao formato da abertura da tela;

J = fator relativo à eficiência desejada para o peneiramento.

Abertura		% área		Abertura		% área	
mm	Pol/#	aberta	A	mm	Pol/#	aberta	A
101,6	4	75	7,69	19,05	3/4	61	3,08
89,9	3 1/2	77	7,03	15,875	5/8	59	2,82
76,2	3	74	6,17	12,7	1/2	54	2,47
69,85	2 3/4	74	5,85	9,525	3/8	51	2,08
63,5	2 1/2	72	5,52	9,35	1/4	46	1,60
50,8	2	71	4,90	4,7625	4#	45	1,27
44,45	1 3/4	68	4,51	3,175	1/8	40	0,95
38,1	1 1/2	69	4,20	2,3812	8#	45	0,76
31,75	1 1/4	66	3,89	1,5875	1/16	37	0,58
25,4	1	64	3,56	0,7938	1/32	41	0,39
22,25	7/8	63	3,38	-	-	-	-

%>a	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
B	1,21	1,13	1,08	1,02	1,00	0,96	0,92	0,88	0,84	0,79	0,75	0,70	0,66	0,62	0,58

%>a	80	85	90	95
B	0,53	0,50	0,46	0,33

%<a/2	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
C	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,55	1,70

%<a/2	75	80	85	90
C	1,85	2,00	2,20	2,40

Deck	Primeiro	Segundo	Terceiro
D	1	0,9	0,8

# (mm)	0,7938	1,5875	3,175	4,7525	6,35	9,525	12,7	19,05	25,4
E	1	1,25	2	2,5	2,	1,75	1,4	1,3	1,25

$G = \% \text{ aberta na área utilizada} / \% \text{ aberta na área definida na tabela do fator!}$

Formato da Malha	Quadrada	Retangular 3 x 4	Alongada
H	1	1,15	1,2

Eficiência	95	90	85	80	75	70
J	1	1,15	1,35	1,5	1,7	1,9

Já, a altura do leito de oversize no ponto de descarga tem que ser menor que

Densidade Aparente (t/m³)	Altura Máxima do Leito
1,6	4 x a abertura da tela
1,6 a 0,8	3 x a abertura da tela
< 0,8	2,5 x a abertura da tela

Esta altura é calculada pela fórmula:

$$\text{Altura do leito (mm)} = \frac{100 \times m^3/h \text{ de oversize}}{6 \times \text{velocidade do oversize} \times (\text{largura da tela} - 0,15)}$$

Onde a velocidade com que o oversize se move sobre a tela é expressa em m/min e é uma informação fornecida pelo fabricante da peneira, e, a largura da tela é expressa em m.

5.2. Ciclones

O diâmetro de corte do ciclone é o d_{95} , isto é, a abertura ideal pela qual passa 95% do overflow. Tarr, 1985, verificou que este diâmetro de corte é afetado pelo diâmetro do ciclone, pela densidade do sólido, pela porcentagem de sólidos (em volume) da polpa alimentada ao ciclone e pela pressão de alimentação conforme as Figuras 13 a 16.

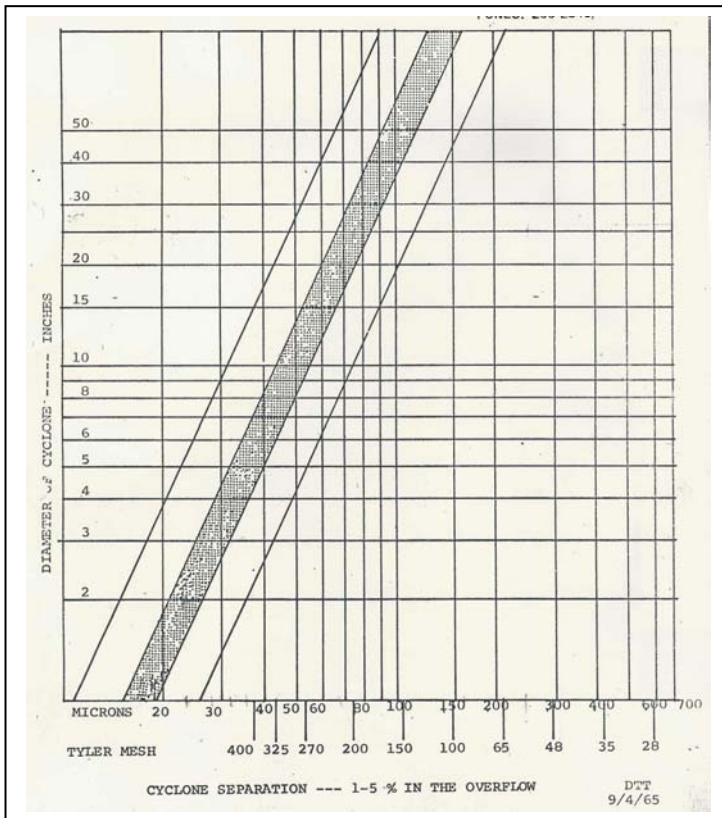


Figura 13 – Gráfico de ciclone.

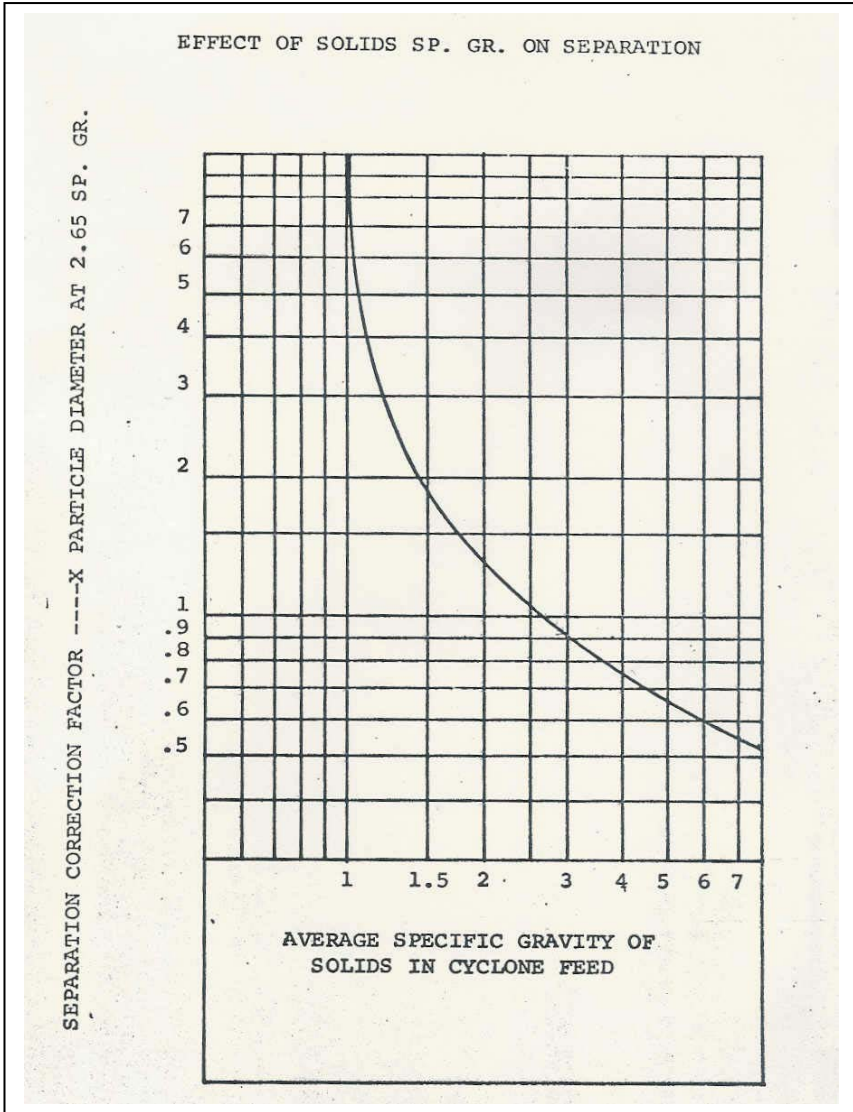


Figura 14 – Gráfico de ciclone.

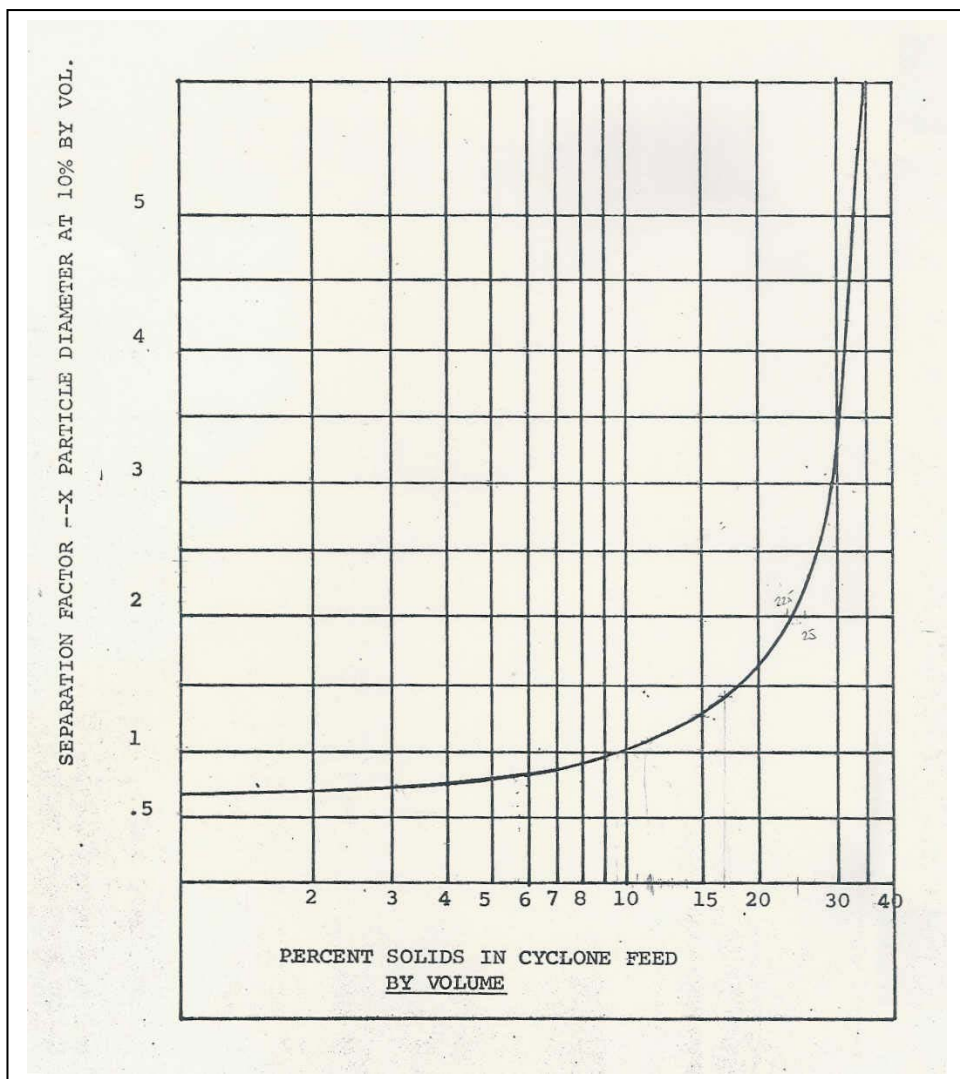


Figura 15 – Gráfico de ciclone.

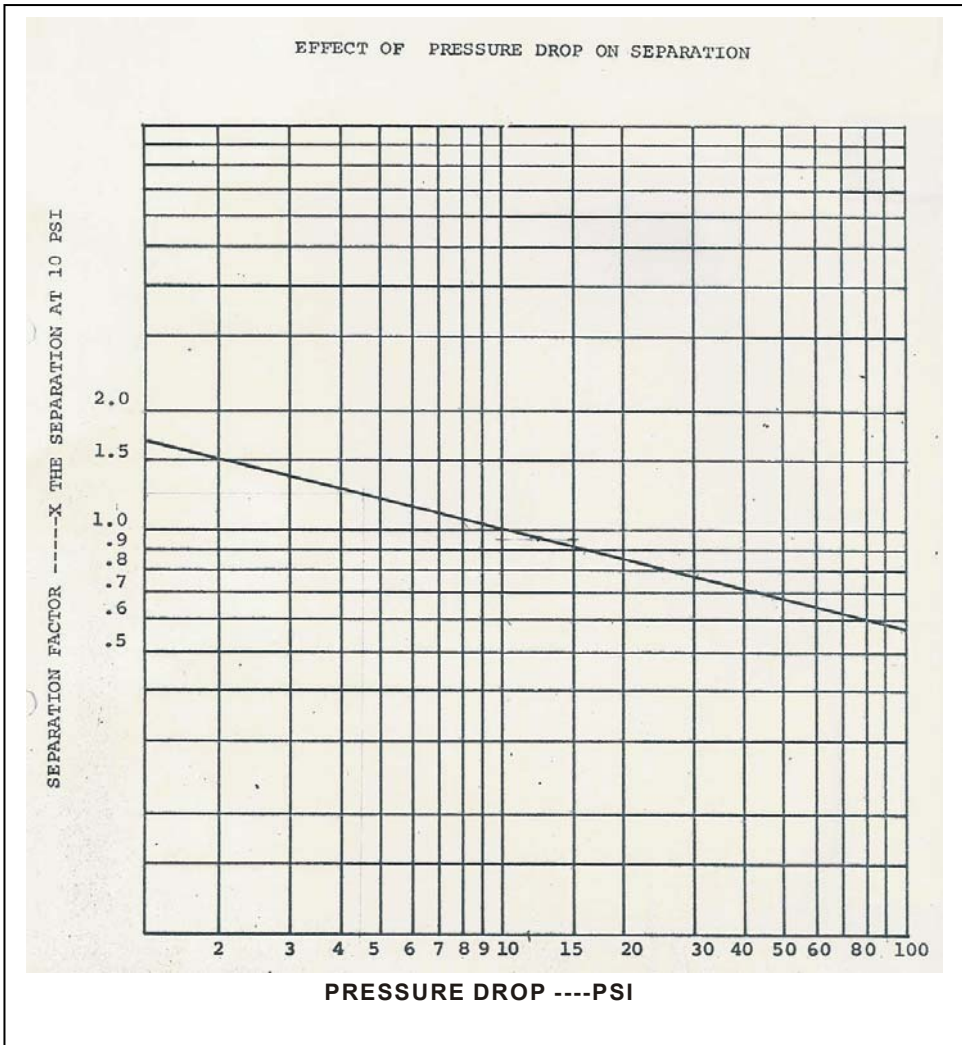


Figura 16 – Gráfico de ciclone.

Já a capacidade do ciclone é afetada pelo diâmetro do ciclone, pela pressão com que a polpa é alimentada a ele e pela porcentagem de sólidos da polpa alimentada, conforme as Figuras 17 a 19.

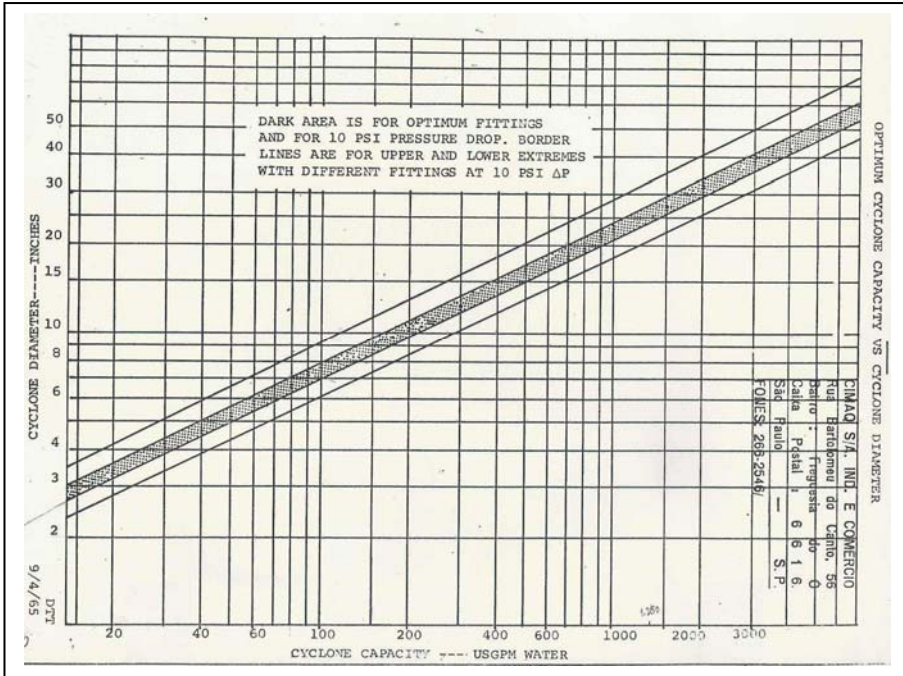


Figura 17 – Gráfico de ciclone.

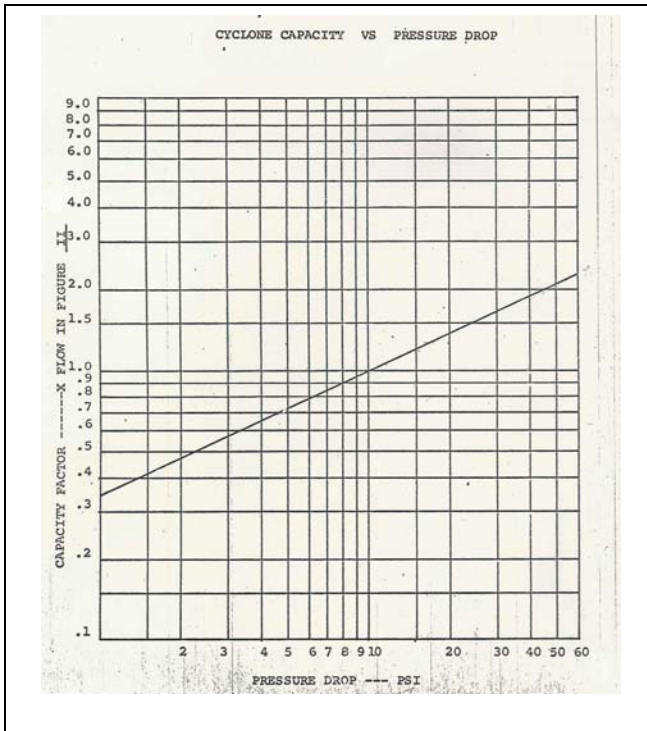


Figura 18 – Gráfico de ciclone.

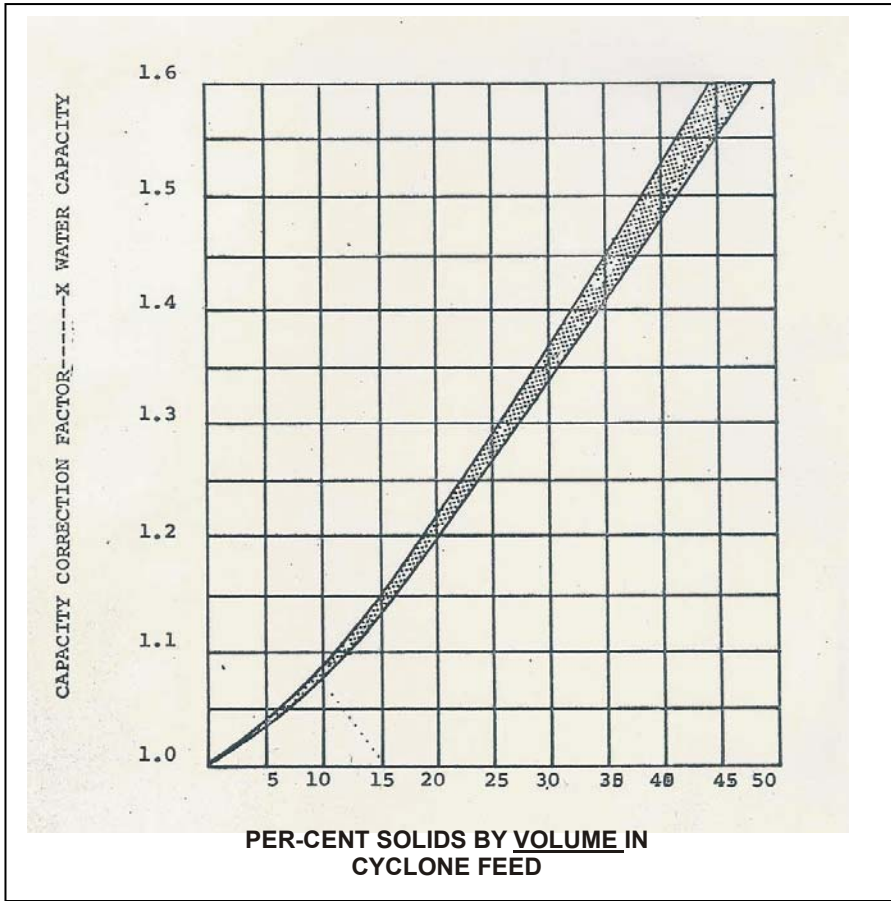


Figura 19 – Gráfico de ciclone.

O dimensionamento do ciclone deve combinar a capacidade necessária com o diâmetro de corte desejado. Como o diâmetro do ciclone afeta tanto a capacidade como o diâmetro de corte, são usadas baterias com vários ciclones em paralelo, como mostrado na Figura 7.

5.3. Classificador Espiral

O classificador espiral também precisa atender duas condições independentes: a capacidade de transbordar todo o overflow e a capacidade de arrastar calha acima o underflow.

O diâmetro de corte (d_{95}) é função da porcentagem de sólidos do overflow, conforme a Tabela 1, que mostra também a capacidade de transbordo para cada condição.

Tabela 1 – Capacidade de transbordo de overflow, diâmetro de corte e % de sólidos conforme a Tabela 1, que mostra também a capacidade de transbordo para cada condição.

D_{95}		Capacidade de transbordo (t/h)/ft ²	% sólidos no OF
# Tyler	μm		
20	833	1,632	45
28	589	1,432	40
35	417	1,308	35
48	295	1,116	32
65	208	0,948	30
100	147	0,700	20
150	105	0,460	18
200	74	0,300	15

Os classificadores são construídos com diferentes configurações de tanque, para aumentar a capacidade de transbordo de overflow, como mostra a Figura 20, com uma, duas ou três espirais no mesmo eixo, como mostra a Figura 21, para duplicar ou triplicar a capacidade de arraste do underflow e com diferentes imersões da rosca, para acertar o diâmetro de corte do classificador, como mostra a Figura 22.

Existe ainda uma construção, “duplex”, em que dois eixos são instalados num mesmo tanque, maior, dobrando a capacidade do equipamento.

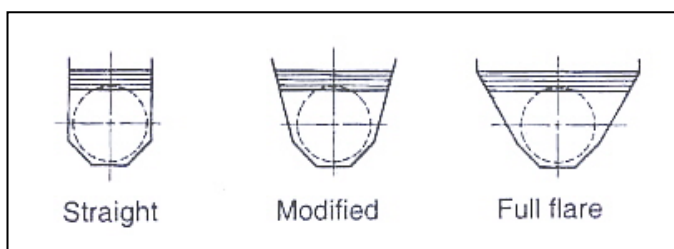


Figura 20 – Configurações do tanque.

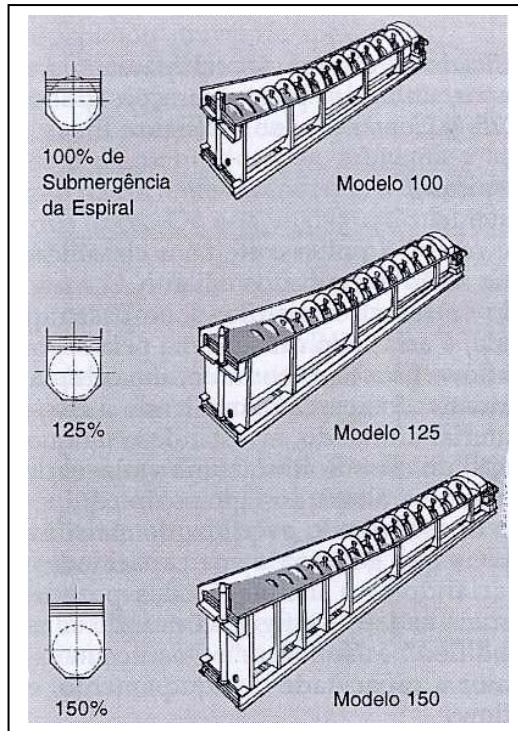


Figura 21 – Imersão da rosca.

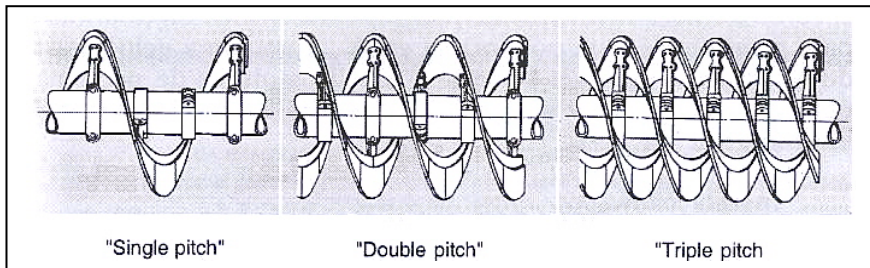


Figura 22 – Roscas simples, dupla e tripla.

O dimensionamento consiste então em calcular a área de transbordo necessária, o que é feito multiplicando a vazão de sólidos do overflow pela capacidade unitária fornecida pela Tabela 1. A Tabela 1 foi construída para mineral com densidade 2,65, de modo que os valores precisam ser corrigidos pelo fator multiplicativo apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Correção da capacidade pela densidade do minério.

Densidade	Fator Multiplicativo
2,0	0,75
2,5	0,90
2,65	1,00
3,0	1,10
3,5	1,25
4,0	1,47
4,5	1,60

A área encontrada é a área necessária para o transbordo da quantidade de overflow. Ela será atendida por um dos classificadores oferecidos na Tabela 3. Note que a área de transbordo varia em função do diâmetro da espiral (em polegadas), da imersão da rosca (100, 125 ou 150% de imersão) e da configuração do tanque (reto ou "straight" = ST, médio = MF ou largo = FF).

Escolhido o classificador, é necessário verificar se ele tem a capacidade de arraste de underflow necessária. Esta capacidade é proporcional ao diâmetro da rosca e à velocidade de rotação, conforme mostra a Tabela 4. Lembre-se que esta capacidade é duplicada ou triplicada se usarem duas ou três espirais no mesmo eixo. A rotação máxima aceitável é imposta pela velocidade periférica da espiral: acima dos valores indicados na Tabela 4 o desgaste da espiral torna-se excessivo.

Tabela 3 – Capacidade de arraste de underflow (1 espiral).

Diâmetro da Espiral (")	Capacidade (t/h)rpm	Rotação Máxima rpm
24	1,0	16
30	1,7	13
36	3,5	11
42	4,8	9
48	8,7	8
54	10,5	7
60	17,3	6,5
66	20,3	6
72	27,8	5,3
78	31,5	5
84	37,5	4,5

Tabela 4 – Área de transbordo de classificadores espiral.

Tamanho (")	Tanque	Imersão		
		100 %	125 %	150 %
Corte Recomendado		20-65#	35-150#	65-325#
Inclinação Recomendada		3 3/4" /ft	3 1/2" /ft	3 1/4" /ft
24	ST	14,1	19,3	25,0
	MF	15,7	22,4	30,0
	FF	17,4	25,9	35,9
30	ST	21,4	29,1	38,0
	MF	23,9	34,5	45,4
	FF	26,8	40,0	55,4
36	ST	30,4	41,6	54,4
	MF	34,0	48,8	66,2
	FF	38,1	57,1	79,7
42	ST	41,6	56,5	73,7
	MF	46,6	66,4	89,8
	FF	52,3	78,0	108,4
48	ST	53,5	72,9	95,0
	MF	60,1	86,0	116,2
	FF	67,6	101,2	140,8
54	ST	67,0	91,2	119,7
	MF	75,4	107,9	146,7
	FF	85,1	126,9	177,9
60	ST	83,4	113,3	147,7
	MF	93,6	133,8	180,8
	FF	105,6	157,8	218,8
66	ST	100,3	136,5	177,7
	MF	112,9	161,5	218,4
	FF	127,4	190,4	265,6
72	ST	118,4	161,5	209,8
	MF	133,4	191,4	257,9
	FF	151,0	225,2	313,2
78	ST	138,5	188,4	245,2
	MF	156,3	224,3	302,2
	FF	176,9	264,6	367,8
84	ST	160,2	217,6	283,4
	MF	181,4	259,0	350,1
	FF	205,5	306,7	426,6

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHAVES, A. P. Teoria e prática do Tratamento de Minérios. São Paulo, Signus, 2006, vol. 1 (terceira edição).
- CHAVES, A. P. Teoria e prática do Tratamento de Minérios. São Paulo, Signus, 2006, vol. 3 (terceira edição).
- CHAVES, A. P. Teoria e prática do Tratamento de Minérios. São Paulo, Signus, 2004, vol. 2 (segunda edição).
- GUERRA, A. T. Dicionário geológico-geomorfológico. Rio de Janeiro, IBGE, 1978 (5a. edição).
- IHC. PROMIN B.V. Variflow horizontal classifiers. Rosmalen, 1997, 4 p.
- IIZUKA, E. K. Análise de tensões em peneiras vibratórias através da modelagem numérica utilizando o método dos elementos finitos e experimentalmente por extensimetria. Campinas, Unicamp, FEM – Departamento de Projeto Mecânico, dissertação de mestrado, 2006.
- LINATEX INC. Hydrosizer, Phoenix, 1995.
- NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. São Paulo, Editora Pini, 1997.
- PETRUCCI, E. G. R.; PAULON, V. A. Concreto de cimento portland. São Paulo, Editora Globo, 1995 (13a. edição).
- SBRIGGHI Neto, C. A importância dos conceitos tecnológicos na seleção dos agregados para argamassa e concretos. Areia e brita, São Paulo, nº 12, p. 26-8, 2000.
- SOUZA SANTOS, P. Tecnologia de argilas, São Paulo, Ed. Blucher, 1975.
- TARR Jr., D. T. Hydrocyclones in WEISS, N. L. (ed) SME mineral processing handbook, New York, AIME, 1985, part 2, p. 3d-10 a 3d-45.
- WHITAKER, W. Técnicas de preparação de areia para uso na construção civil. São Paulo, Epusp/PMI, Dissertação de mestrado, 2001.
- WHITAKER, W.; BRAGA, J. M. S.; CHAVES, A. P. Prospeccion de un tramo de rio para el planeo de la mineracion de arenas. Jornadas Argentinas de Tratamiento de Minerales, 6. Anales, Salta, 2002.