

CETESB

E7.401

FLOCULADORES MECÂNICOS DE EIXO VERTICAL DO TIPO DE PALETAS

<u>SUMÁRIO</u>	<u>Páginas</u>
1 Objetivo.....	1
2 Referências.....	1
3 Definições.....	1/2
4 Condições Gerais.....	2/3
5 Condições Específicas.....	3/7
6 Ensaios.....	7
Anexo A.....	a1/a4

1 OBJETIVO

1.1 Esta Norma fixa as condições mínimas exigíveis para o recebimento de Floculadores Mecânicos de Eixo Vertical do Tipo de Paletas, usados em Estações de Tratamento de Água.

1.2 Esta Norma se aplica a floculadores que irão trabalhar em tanque de seção quadrada em planta e com profundidade útil de 3,5 a 4,0 m (Ver anexo A).

2 REFERÊNCIAS

Na aplicação desta Norma pode ser necessário consultar:

a) da ABNT,

- EB-120 - Motores Elétricos de Indução;

b) da SAE,

- J403f - Chemical Compositions of SAE Carbon Steels;

- J405d - Chemical Compositions of SAE Wrought Stainless Steels;

c) da SSPC,

- SP6-63T - Commercial Blast Cleaning;

- SP5-63T - White Metal Blast Cleaning;

- Vis 1-67T- Pictorial Surface Preparation Standards for Painting Steel Surfaces;

- Steel Structures Painting Manual - Chapter 17.

3 DEFINIÇÕES

Para os efeitos desta Norma são adotadas as definições de 3.1 a 3.5.

3.1 Floculador

Equipamento, constituído pela associação de um agitador e um sistema de acionamento, que promove a aglutinação de partículas suspensas na água formando os flocos.

3.2 Agitador

Conjunto formado por um eixo ao qual se ligam paletas através de braços e reforços.

3.3 Paletas

Pás de agitação.

3.4 Sistema de acionamento

Conjunto motriz, constituído de motor elétrico, redutor de velocidade e demais elementos de transmissão, que movimenta o agitador.

3.5 Designação

Conjunto de letras e números que identificam o floculador conforme Tabela.

4 CONDIÇÕES GERAIS

4.1 Condições de utilização

Os floculadores mecânicos de eixo vertical do tipo de paletas fabricados conforme esta Norma se destinam a funcionar em regime contínuo.

4.2 Identificação

O floculador deve ser provido de placa metálica de identificação, firmemente presa no sistema de acionamento, contendo indelevelmente marcadas, no mínimo as informações relacionadas a seguir:

- a) a expressão "Floculador Vertical";
- b) razão social e endereço do fabricante;
- c) designação de acordo com esta Norma;
- d) modelo ou tipo, de acordo com o catálogo do fabricante;
- e) número e/ou letras de fabricação ou série;
- f) ano de fabricação.

4.3 Inspeção e aceitação

4.3.1 Os floculadores fabricados conforme esta Norma podem ser inspecionados pelo comprador ou seu representante.

4.3.1.1 O fabricante deve facilitar o livre acesso, do comprador ou seu representante, a todas as fases de fabricação e à realização de ensaios.

4.3.1.2 A instalação para a realização de ensaios deve estar sujeita a aprovação prévia do comprador ou seu representante.

4.3.1.3 O ensaio de campo deve ser executado pelo comprador ou delegar a sua execução ao seu representante, mediante acordo independente daquele da inspeção em fábrica.

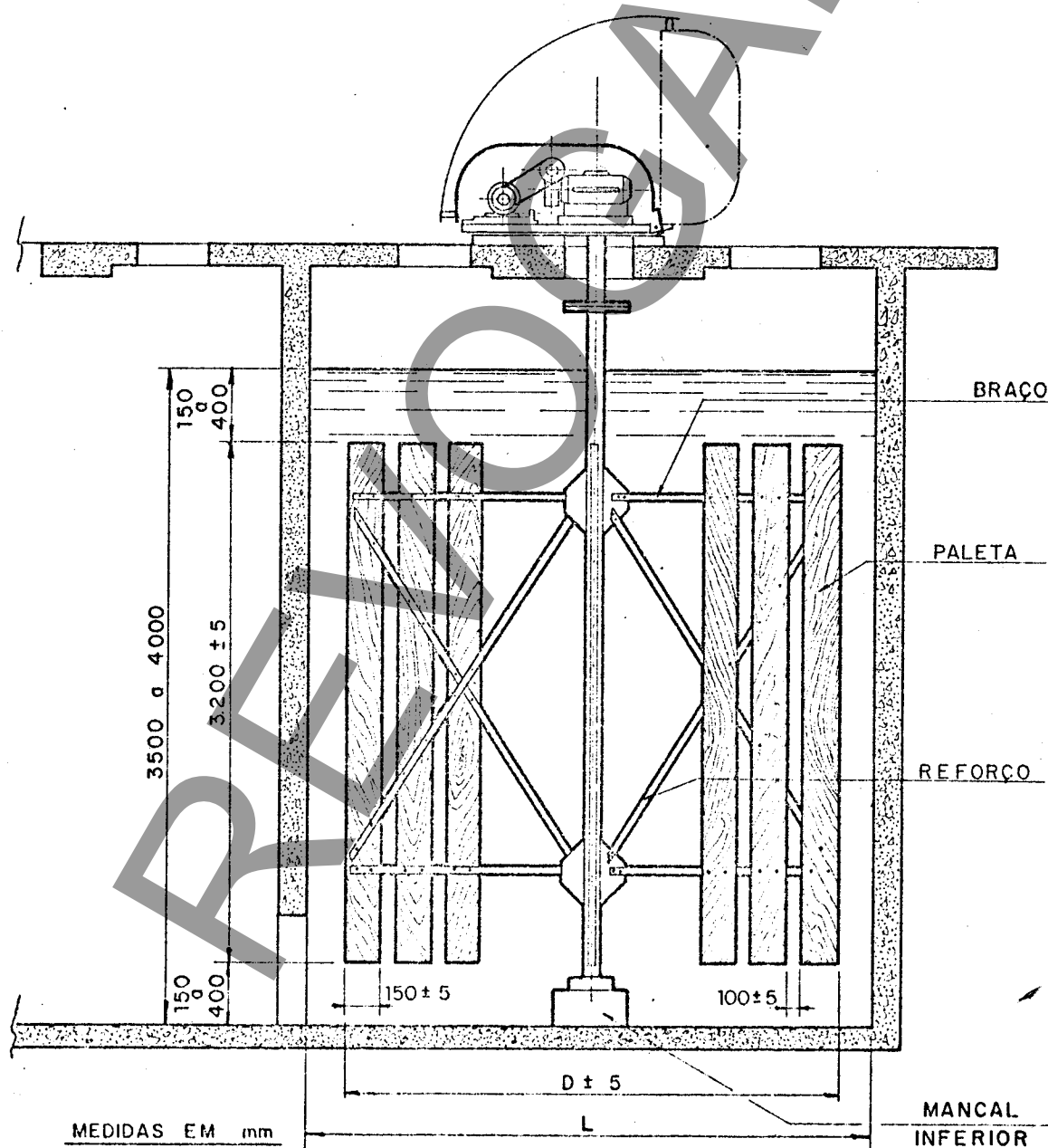
4.3.2 O floculador será aceito se for constatado que cumpre com todos os requisitos desta Norma.

5 CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

5.1 Características de construção

Os floculadores devem ser construídos conforme Figura e Tabela e obedecer aos seguintes requisitos de construção:

NOTA: Foi adotado o critério de que a melhor floculação se consegue com gradientes na faixa de $20s^{-1}$ a $80s^{-1}$.



Figura

5.1.1 Sistema de acionamento

5.1.1.1 Deve ser dimensionado para cada tamanho de flocculador e ser previsto para trabalho ininterrupto.

5.1.1.2 O motor elétrico deve atender aos requisitos da EB-120 Motores Elétricos de Indução, ser totalmente fechado com ventilação externa, isolamento classe B, dotado de mancais de rolamentos e potência nominal conforme Tabela para serviço ininterrupto, trabalhando no máximo a 75% de sua potência nominal com a velocidade máxima.

5.1.1.3 O redutor deve satisfazer o seguinte:

- a) ser construído com coroa de bronze e rosca-sem-fim de aço SAE 1045, ou aço-liga, frezadas, trabalhando em banho de óleo e alojadas em carcaça de ferro fundido totalmente fechada;
- b) ser dimensionado adotando-se fator de serviço igual a 1,5 para transmitir a potência nominal do motor;
- c) ter coroa e rosca-sem-fim apoiados em mancais de rolamento;
- d) ter retificadas as partes dos eixos sujeitas a atrito mecânico;
- e) possuir internamente dispositivo de lubrificação dos rolamentos;
- f) ter dreno que permita a substituição do óleo sem que ocorra derramamento e sem que haja necessidade de desmontar qualquer componente;
- g) ter dispositivo de verificação do nível de óleo;
- h) ter dispositivo que impeça qualquer vazamento de óleo através do eixo vertical e da base.

5.1.1.4 A transmissão de torque do motor ao redutor deve ser por polias reguláveis e correias apropriadas que permitam reduzir, de maneira contínua, a velocidade. Outros tipos de variadores de velocidade podem ser utilizados desde que satisfaçam a exigência de continuidade da variação.

As polias reguláveis devem ser:

- a) de aço, ferro fundido ou liga de alumínio;
- b) usinadas em toda sua superfície;
- c) isentas de porosidade;
- d) balanceadas estáticamente pelo processo das facas paralelas.

5.1.1.5 A fixação do sistema de acionamento à base de concreto do tanque deve ser através de plataforma de aço ou de ferro fundido, não se admitindo assentamento direto no concreto.

5.1.1.6 O sistema de acionamento deve ser protegido por caixa-guarda de chapa de aço pintada com tinta anticorrosiva e tinta de acabamento. A menor distância entre o sistema de acionamento e a face interna da caixa-guarda não deve ser inferior a 50 mm.

5.1.2 Agitador

5.1.2.1 O eixo deve ser de tubo de aço sem costura, de diâmetro e espessura de parede dimensionados para resistir a todos os esforços solicitantes, tendo na sua extremidade inferior uma ponta de eixo maciço de aço SAE 30304 ou 30314 ou 30316 ou de aço SAE 1020 revestido com aço SAE 30304 ou 30314 ou 30316 com espessura mínima de revestimento igual a 1,5 mm.

5.1.2.2 Os braços e reforços devem ser dimensionados para resistir aos esforços normais de funcionamento na velocidade máxima prevista.

Tabela - Características dos Floculadores

Designação	Capacidade útil do tanque (m ³)	Diâmetro D (m)	Nº de Paletas por braço	Rotações (rpm \pm 0,1)		Potência nominal recomendada do motor (CV)
				n mín	n máx	
FV-1.2	10 a 16	1,60	2	2,5	6,0	0,5
FV-2.2	16 a 25	2,00	2	2,3	5,4	0,75
FV-3.2	23 a 36	2,40	2	2,1	4,9	1,0
FV-4.3	31 a 49	2,80	3	1,8	4,3	1,5
FV-5.3	40 a 64	3,20	3	1,6	4,0	1,5
FV-6.4	51 a 81	3,60	4	1,5	3,7	2,0

5.1.2.3 Os braços deve ser em número de quatro.

5.1.2.4 A fixação dos braços e reforços ao eixo devem ser através de perfis ou chapas nervuradas, de aço, ou através de elementos de ferro fundido.

5.1.2.5 As paletas devem ser de madeira "amendoim", "ipê", ou "peroba", em quaisquer de suas variedades.

5.1.2.6 As paletas devem ter comprimento de $3,20 \pm 0,05$ m, e largura de $0,15 \pm 0,005$ m e espessura não inferior a 25 mm.

5.1.3 Características gerais

5.1.3.1 O agitador pode ser:

- a) acoplado rigidamente ao eixo do redutor, através de flanges com parafusos, e neste caso deve ter a parte inferior de seu eixo guiada por mancal de plástico auto-lubrificante ou de madeira. Este mancal não deve transmitir toxicidade à água e no caso de ser de madeira deve ter tratamento contra absorção de água;
- b) livremente apoiado em mancal inferior e ser guiado na parte superior através de flanges de arraste. Neste caso:
 - o mancal de apoio deve possuir elementos de desgaste facilmente substituíveis.
 - o agitador deve possuir dispositivos que facilitem a retirada do mancal inferior para a substituição dos elementos de desgaste.
 - o acoplamento superior deve ter elemento que indique o instante da necessidade de troca dos elementos de desgaste do mancal inferior.

5.1.3.2 O eixo do agitador não deve apresentar desvio de mais de 1° em relação a vertical, quando na posição de funcionamento.

5.1.3.3 Todos os parafusos e porcas que fiquem submersos devem ser de aço inoxidável SAE 30304 ou de aço zincado a quente.

5.1.3.4 A fixação por parafusos e porcas de partes metálicas pintadas deve conter arruelas de aço planas em ambos lados da junta.

5.1.3.5 O dispositivo polias reguláveis deve ter escala graduada em rpm do eixo do agitador.

5.1.4 Revestimento protetor

As superfícies de todas as partes de aço carbono que fiquem submersas devem ser protegidas contra corrosão conforme o sistema 1 ou conforme o sistema 2 ou conforme o sistema 3 descritos em 5.1.4.1, 5.1.4.2 e 5.1.4.3 respectivamente.

5.1.4.1 O sistema 1 compreende as etapas seguintes:

- a) preparação da superfície por jateamento abrasivo ao grau comercial conforme SSPC-SP6-63T e padrão visual SSPC-Vis 1-67T Sa2, até que a CETESB publique norma sobre o assunto;
- b) aplicação de uma camada de alcatrão epoxi formando película seca com espessura mínima de 300 μ ;
- c) aplicação de duas demãos de esmalte de borracha clorada não saponificável formando película seca com espessura mínima de 30 μ por demão.

5.1.4.2 O sistema 2 compreende as etapas seguintes:

- a) preparação da superfície por jateamento abrasivo ao metal branco conforme SSPC-SP5 - 63T e padrão Visual SSPC-Vis 1-67T Sa3, até que a CETESB publique norma sobre o assunto;
- b) aplicação de duas demãos de composição epoxi de dois componentes rica em zinco (pelo menos 92% de zinco na película) formando película seca com espessura mínima de 75 μ por demão;
- c) aplicação de duas demãos de composição de alcatrão epoxi formando película seca com espessura mínima de 150 μ por demão.

5.1.4.3 O sistema 3 compreende as etapas seguintes:

- a) preparação da superfície por jateamento com areia ou óxido de alumínio ao metal branco conforme SSPC-SP5-63T e padrão visual SSPC-Vis 1-67T Sa3, até que a CETESB publique norma sobre o assunto;
- b) aplicação, por aspersão, de uma camada de alumínio (metalização) com espessura final mínima de 300 μ , de acordo com as recomendações do capítulo 17 do Good Painting Practice do SSPC.

5.1.4.4 Todas as partes pintadas, como descrito em 5.1.4.1, 5.1.4.2 e 5.1.4.3, devem passar no teste de "Holiday Detector" usando-se uma tensão mínima de 300 V/0,1 mm.

5.2 Características de funcionamento

5.2.1 A velocidade mínima de rotação (n min) do flocculador não deve ser superior aos valores constantes da Tabela.

5.2.2 A velocidade máxima de rotação (n max) do flocculador não deve ser inferior

rior aos valores constantes da Tabela.

5.2.3 A relação entre as velocidades mínima e máxima das polias reguláveis não deve ser inferior a 1:3.

6 ENSAIO

6.1 Ensaio de funcionamento em campo

6.1.1 Aparelhagem

Para a execução do ensaio são necessários:

- a) Cronômetro;
- b) Amperímetro e Voltímetro.

6.1.2 Execução do teste

6.1.2.1 Montar o flocculador no lugar onde irá funcionar e da maneira recomendada pelo fabricante.

6.1.2.2 Ligar o motor a uma fonte de energia elétrica de tensão igual à tensão nominal da placa do motor.

6.1.2.3 Medir as rotações mínima e máxima do eixo e comparar estas com as constantes na Tabela.

6.1.2.4 Após 30 minutos de funcionamento do flocculador, verificar o aquecimento do motor e do redutor e medir a corrente absorvida pelo motor.

/Anexo A

ANEXO A

FUNDAMENTOS TEÓRICO-PRÁTICOS ADOTADOS NESTA NORMA E EXEMPLOS DE APLICAÇÃOA-1 Fundamentos

A-1.1 O gradiente de velocidade G , da água durante o processo de floculação, em função da potência útil P fornecida à água e do volume V pode ser expresso pela seguinte equação:

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \quad (\text{I})$$

onde:

G = gradiente de velocidade, em s^{-1} ;
 P = potência útil fornecida à água, em $kgf \cdot m/s$;
 V = volume ao qual é fornecida a potência P , em m^3 ;
 μ = viscosidade dinâmica da água em $kgf \cdot s/m^2$.

A-1.2 Adotando-se o valor $1,029 \times 10^{-4} kgf \cdot s/m^2$ para a viscosidade dinâmica da água a $20^\circ C$, o gradiente de velocidade pode ser expresso como:

$$G = 98,58 \sqrt{\frac{P}{V}} \quad (\text{II})$$

A-1.3 No caso de flocladores mecânicos de eixo vertical, do tipo de paletas, a potência fornecida à água pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$P = 1,46 \times 10^{-5} C_D \gamma [(1-k)n]^3 \cdot b \sum (R_{ej}^4 - R_{ij}^4) \cdot B \quad (\text{III})$$

onde:

P = potência fornecida à água ($kgf \cdot m/s$);
 C_D = coeficiente de arrasto das paletas;
 k = relação entre a velocidade da água e a velocidade das paletas;
 γ = peso específico da água ($=10^3 kgf/m^3$);
 n = rotação (rpm);
 b = comprimento das paletas (m)
 R_{ej} = distância entre o eixo e o lado externo da paleta j (m);
 R_{ij} = distância entre o eixo e o lado interno da paleta j (m), com j variando de 1 até o número de paletas por braço;
 B = número de braços do floclador.

A-1.4 Para tornar possível a padronização foram adotados valores para alguns parâmetros, baseados em experiências que podem ser encontradas na bibliografia especializada. Esses parâmetros foram:

$$k = \frac{V_a}{V_p} = 0,25$$

V_a = velocidade da água
 V_p = velocidade das paletas

$b =$ comprimento das paletas $= 3,20$ m

$l = R_{ej} - R_{ij} = 0,15$ m

$C_D = 1,4$

$B = 4$

Com estes valores adotados, a expressão da potência fica:

$$P = 0,11 \Sigma (R_{ej}^4 - R_{ij}^4) n^3 \quad (IV)$$

Foram adotados tanques de seção quadrada, em planta, de modo a minimizar a perda de energia para a formação de vortex e movimentação da água, que haveria se utilizados tanques de seção circular.

Combinando-se as expressões (II) e (IV) podemos escrever:

$$G = 98,58 \sqrt{\frac{0,11 \Sigma (R_{ej}^4 - R_{ij}^4) n^3}{V}} \quad (V)$$

ou,

$$n = \sqrt[3]{\frac{VG^2}{1072,87 \Sigma (R_{ej}^4 - R_{ij}^4)}} \quad (VI)$$

A expressão anterior, na forma de (V) permite calcular o gradiente imposto à água por um flocculador cujo agitador gira a n rotações por minuto e, na forma (VI) permite calcular a rotação n com que deve girar o agitador do flocculador para se obter um gradiente G desejado.

A-1.5 Para a série de flocculadores padronizados nesta Norma, os valores da soma $\Sigma (R_{ej}^4 - R_{ij}^4)$ são dos da tabela abaixo:

Flocculador	$\Sigma (R_{ej}^4 - R_{ij}^4)$ (m ⁴)
FV-1.2	0,2970
FV-2.2	0,6648
FV-3.2	1,2630
FV-4.3	2,4889
FV-5.3	4,0306
FV-6.4	6,6825

A-1.6 Recomenda-se que o lado L, da seção em planta, do tanque obedeça à seguinte relação:

$$0,80 < \frac{D}{L} \leq 0,95$$

onde:

D = é o diâmetro do agitador.

A-2 Exemplo 1 de cálculo

Ensaio de floculação indicaram que os gradientes de velocidade nas quatro câmaras de floculação de uma ETA devem ser $70s^{-1}$, $55s^{-1}$, $35s^{-1}$ e $25s^{-1}$.

O volume total útil das câmaras de floculação deve ser de $160 m^3$ (calculado pelo projetista).

Deseja-se saber qual o floculador a ser utilizado e quais as rotações que darão os gradientes desejados.

A-2.1 Roteiro de cálculo

A-2.1.1 O volume útil de cada câmara de floculação é $160 \div 4 = 40 m^3$.

A-2.1.2 A tabela nos indica que podemos utilizar tanto o FV-5.3 como o FV-4.3. Adotamos, principalmente por motivos econômicos, o floculador FV-4.3.

A-2.1.3 Da tabela do A-1 tiramos, para o FV-4.3:

$$\Sigma (R_{ej}^4 - R_{ij}^4) = 2,4889$$

A-2.1.4 Sendo V =cte., para cada G desejado a equação (VI) nos dá:

- | | | | |
|--------------------------|---|--------------|-----|
| a) para $G_1 = 70s^{-1}$ | → | $n_1 = 4,19$ | rpm |
| b) para $G_2 = 55s^{-1}$ | → | $n_2 = 3,56$ | rpm |
| c) para $G_3 = 35s^{-1}$ | → | $n_3 = 2,64$ | rpm |
| d) para $G_4 = 25s^{-1}$ | → | $n_4 = 2,11$ | rpm |

Vê-se que as rotações obtidas são satisfeitas pelo floculador escolhido.

A-2.1.5 O tanque ou câmara poderá ter as dimensões úteis de $3,3 \times 3,3 \times 3,7 m^3$ para satisfazer às exigências de volume e à recomendação de A-1.6.

A-3 Exemplo 2 de cálculo

Durante a operação da ETA foi necessário alterar as rotações do floculador do exemplo anterior a fim de atingir uma boa floculação. As rotações impostas ao

agitador foram $n_1 = 4,0$ rpm, $n_2 = 3,3$ rpm, $n_3 = 2,4$ rpm e $n_4 = 1,9$ rpm. Deseja-se saber quais os gradientes resultantes dessas rotações.

A-3.1 Todos os dados referentes ao flocculador e às câmaras de floculação são iguais aos de A-1.

A-3.2 Usando a equação (v) de A-1 obtemos:

- | | | |
|--------------------------|---|--------------------|
| a) para $n_1 = 4,00$ rpm | → | $G_1 = 65,2s^{-1}$ |
| b) para $n_2 = 3,3$ rpm | → | $G_2 = 48,9s^{-1}$ |
| c) para $n_3 = 2,4$ rpm | → | $G_3 = 30,3s^{-1}$ |
| d) para $n_4 = 1,9$ rpm | → | $G_4 = 21,4s^{-1}$ |