

---

# Grades de mistura rápida

PROF. JOSÉ M. DE AZEVEDO NETTO  
PROF. IVANILDO HESPANHOL  
ENG.º NÉVIO JOÃO DE PRETTO

---

## 1. A MISTURA RÁPIDA

A mistura rápida de reagentes químicos na água é uma operação de grande importância nas instalações de tratamento. A mistura deficiente produz condições indesejadas, que não poderão ser corrigidas nas operações seguintes e que por isso conduzirão a maus resultados.

O objetivo da mistura rápida é dispersar os reagentes de maneira homogênea, em toda a massa líquida, no menor tempo possível. Isto requer a aplicação concentrada de energia, em quantidade suficiente para produzir os resultados esperados.

## 2. TIPOS DE MISTURADORES

Quando se tem um agitador tipo misturador rápido ("flash mixer"), transmite-se para a água a energia mecânica e consome-se eletricidade; no caso de se ter um vertedor Parshall adaptado para a mistura, utiliza-se a carga ou energia hidráulica para criar a turbulência em um ressalto hidráulico; ao se utilizar uma grade ou grelha para a mistura rápida, aproveita-se a agitação provocada por uma série de jatos submersos, consumindo-se a energia de velocidade com conseqüente perda de carga.

## 3. ASPECTOS TÉCNICOS A CONSIDERAR

Para a mistura de coagulantes na água bruta devem ser considerados os seguintes aspectos:

- a) A concentração de impurezas presentes na água, a serem floculadas;
- b) O tipo e a velocidade de reação de hidrólise e de polimerização dos coagulantes, e, se for o caso, as características de adsorção dos polieletrólitos. Deve-se ter em mente que o sulfato de alumínio se hidrolisa e inicia a polimerização em um centésimo de segundo e são absorvidos nos colóides em tempo ainda muito menor. Já no caso de polieletrólitos é necessário um período maior para completar a sua adsorção (cerca de 30 segundos no caso de polieletrólitos sintéticos catiônicos);
- c) A maneira de aplicar a energia para a mistura e tipo de reator empregado.

Para se conseguir as melhores condições de mistura é necessário que a agitação criada seja tão uniforme quanto possível nas zonas de mistura, sem grandes diferenças de velocidade de uma região para outra.

Não são desejáveis as condições de retorno contínuo de parcelas de água que já receberam o coagulante e o contato de água coagulada com água ainda por coagular.

No caso de misturadores mecânicos com escoamento axial ("flash mixers") ocorre esse fenômeno conhecido pelo termo inglês "back-mixing".

Na aplicação de sulfato de alumínio, por exemplo, o coagulante reagiria com os produtos da hidrólise ou com os próprios flocos pré-formados, em vez de reagir unicamente com as partículas em suspensão, causando, em conseqüência, maior consumo de coagulante e reduzindo a eficiência do processo.

Adotando-se uma grelha dispersora associada a um "reator" tubular consegue-se manter o escoamento com fluxo de pistão, eliminando-se praticamente qualquer possibilidade de "back-mixing".

## 4. GRADE E REATOR TUBULAR

Um sistema que apresenta bons resultados de mistura nos processos de coagulação-floculação e também de desinfecção é constituído por grade dispersora e um reator tubular.

A avaliação do comportamento de um sistema de mistura se baseia em dois conceitos básicos:

- a) Turbulência caracterizada pela intensidade, homogeneidade e permanência;
- b) Segregação de partes líquidas e sua intensidade.

O termo segregação refere-se às porções do líquido que durante um certo tempo deixam de receber o coagulante e que por isso permanecem segregadas na mistura. Na prática isto ocorre em qualquer sistema, mas deve ser minimizado.

Tratando-se de misturadores excelentes pode-se limitar a segregação ao máximo de 5%, enquanto que em instalações consideradas boas pode-se admitir valores mais elevados, da ordem de 15 a 20%.

## 5. O MODELO MATEMÁTICO

O Eng<sup>o</sup> R. J. Stendquist, após realizar uma série de pesquisas na Universidade da Califórnia, propôs um modelo matemático para sumarizar quantitativamente os resultados das suas observações. A expressão obtida é a seguinte (Ver Referência 2).

$$SN = \alpha \left( \frac{V \cdot t}{d} \right)^a$$

em que:

- S = Segregação máxima admitida, %.
- N = Número de orifícios por polegada quadrada.
- X = Coeficiente (= 5,0).
- V = Velocidade da água na tubulação, pol/seg.
- t = tempo de mistura, seg.
- d = diâmetro adotado para as barras tubulares da grade, poleg.
- a = expoente variável com o diâmetro das barras da grade:

- Para d = 1/4 pol . . . . . a = - 0,80
- Para d = 1/2 pol . . . . . a = - 1,13
- Para d = 1 pol . . . . . a = - 1,47

Examinando-se essa expressão, observando-se os valores indicados para o expoente *a*, e experimentando a sua aplicação em instalações de magnitude crescente, constata-se que o modelo é apenas aplicável a instalações relativamente pequenas.

## 6. MÉTODO PRÁTICO SIMPLIFICADO

Os bons resultados que têm sido obtidos com o emprego de grelhas dispersoras vem sugerindo a aplicação crescente desses dispositivos até mes-

mo no caso de grandes instalações de tratamento.

Em conseqüência, desenvolveu-se uma metodologia de projeto que passaremos a expor.

A seqüência de cálculo sugerida é a seguinte:

- (1) – Estabelecimento da vazão a ser aplicada na dispersão;
- (2) – Determinação do número de orifícios e seu espaçamento;
- (3) – Cálculo do diâmetro dos orifícios;
- (4) – Cálculo do diâmetro das barras tubulares;
- (5) – Cálculo da energia aplicada à massa líquida;
- (6) – Cálculo do gradiente de velocidades (G);
- (7) – Cálculo da perda de carga nos orifícios;
- (8) – Cálculo da perda de carga na grade.

## 7. VAZÃO DE SOLUÇÃO DE COAGULANTE

É conveniente aplicar soluções bastante diluídas para favorecer as condições de dispersão.

No caso de sulfato de alumínio, a diluição não deverá ser excessiva, a ponto de hidrolisar extensivamente o sulfato de alumínio na própria solução. Neste caso a solução não deve cair abaixo de 0,2%.

Partindo-se da quantidade de sulfato a ser aplicada à água, calcula-se a vazão de solução.

## 8. DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE ORIFÍCIOS

A "densidade" de orifícios por metro quadrado da secção total de escoamento de um reator é muito variável, dependendo essencialmente das dimensões do conduto, do espaçamento admissível entre furos e até mesmo do diâmetro das barras tubulares. Nas instalações muito pequenas pode atingir 200/m<sup>2</sup> ou até mesmo mais, enquanto que nas estações de tratamento muito grandes o número pode cair para 10/m<sup>2</sup>. Do mesmo modo, o espaçamento entre orifícios pode variar desde 0,075 até 0,30 m, conforme a magnitude dos reatores. As vazões por orifício geralmente ficam compreendidas entre 0,05 l/seg e 1,0 l/seg.

Uma regra empírica para dar uma idéia inicial do número de orifícios é:

$$N = 4 \sqrt[3]{Q} \quad (Q \text{ é a vazão a tratar em litros/seg}).$$

## 9. CÁLCULO DO DIÂMETRO DOS ORIFÍCIOS

Para que seja aplicada e dissipada uma quantidade adequada de energia na água é preciso que a velocidade dos jatos de solução, ao sair dos orifícios seja grande, isto é, não inferior a 2,00 m/seg. A velocidade também não poderá exceder a 3,00 m/seg para evitar perdas de carga excessivas. Baseando-se nesses limites pode-se calcular o diâmetro dos furos.

Nas instalações pequenas o diâmetro dos orifícios tem alguns milímetros enquanto que nas estações de grande porte os diâmetros chegam a medir alguns centímetros.

## 10. CÁLCULO DO DIÂMETRO DAS BARRAS

Cada barra tubular alimenta vários orifícios, cuja soma de vazões deve causar uma velocidade máxima aceitável (até 2,0 m/seg).

O diâmetro das barras raramente é inferior a 10mm (3/8") podendo atingir 75mm (3") nas instalações muito grandes.

## 11. CÁLCULO DA ENERGIA APLICADA À MASSA LÍQUIDA

A energia total dissipada pelos jatos pode ser calculada pela expressão:

$$P = 1.000 \times N \times V \times S \times \frac{V^2}{2g} \quad \text{ou,}$$

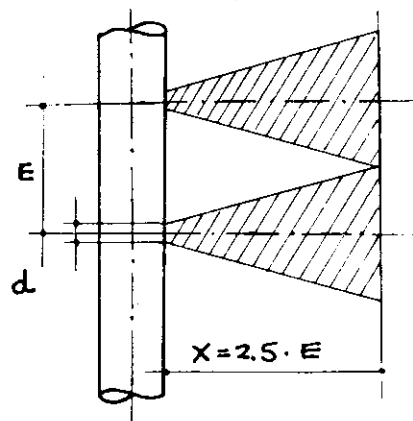
$$P = 51 \times N \times S \times V^3$$

onde:

- P = potência em kgm/s
- N = número de orifícios
- S = secção de cada orifícios, m<sup>2</sup>
- V = velocidade no orifício, m/s

Cada jato alcançará uma distância de 2,5 vezes o espaçamento entre eles (E), sem interferência de um sobre o outro. Nessas condições pode-se calcular o volume de água sujeita a essa agitação inicial:

$$M = A \times 2,5 \times E$$



onde:

M = volume da massa agitada, m<sup>3</sup>

A = área da secção transversal do reator, m<sup>2</sup>

E = espaçamento entre orifícios, m

### 12. CÁLCULO DO GRADIENTE DE VELOCIDADES (G)

Há dois critérios para avaliar o gradiente de velocidades na mistura:

a) Pela expressão de Camp:

$$G = \sqrt{\frac{P}{M\mu}}$$

$\mu$  = viscosidade absoluta da água, = 0,0001 kg . s/m<sup>2</sup> a 20° C

b) Pela fórmula de Hudson e Wolfner:

$$G = 1.027 \frac{d}{E} \sqrt{\frac{1}{X}} \sqrt{V^3}$$

onde:

G = gradiente em s<sup>-1</sup>,

d = diâmetro dos orifícios, m

E = espaçamento dos orifícios, m

X = alcance útil dos jatos (= 2,5 E), m

V = velocidade inicial dos jatos, m/s

### 13. CÁLCULO DA PERDA DE CARGA NOS ORIFÍCIOS

O cálculo é feito aplicando-se a fórmula de escoamento em orifícios:

$$h_f = \left( \frac{1}{C_v^2} - 1 \right) \frac{V^2}{2g}$$

onde:

h<sub>f</sub> = perda de carga, m

C<sub>v</sub> = coeficiente de velocidade (= 0,61)

V = velocidade da água, m/s

### 14. CÁLCULO DA PERDA DE CARGA NA GRADE

A presença da grade, no conduto

de água bruta, causa uma pequena perda que pode ser calculada pela fórmula de Metcalf & Eddy:

$$h_f = K \frac{(V^2 - v^2)}{2g}$$

onde:

K = coeficiente para a grade = 1,43

v = velocidade da água a montante da grade, m/s

V = velocidade da água entre as barras (na secção aberta ou livre), m/s

Para achar esta última velocidade é necessário avaliar com aproximação a porcentagem de área livre entre as barras:

$$\% = \frac{(E - e)^2}{E^2}$$

onde:

E = espaçamento das barras (eixo a eixo), m

e = espessura ou diâmetro das barras, m

$$V = \frac{v}{\%}$$

### 15. INDICAÇÕES PARA AS INSTALAÇÕES

A forma mais indicada para completar a operação consiste em se ter um trecho de tubulação forçada, (tubos ou condutos) com escoamento em regime turbulento em uma alteração igual ou superior a 10 vezes o diâmetro, ou a maior dimensão onde o período de detenção seja de pelo menos 10 segundos.

A grade consta de uma estrutura anular ou de forma retangular para alimentar as barras tubulares de distribuição e ao mesmo tempo oferecer as condições de resistência e rigidez.

A grade deverá ser instalada a montante do reator tubular em uma caixa onde permita fácil inspeção e possa ser retirada, sempre que necessário.

### 16. EXEMPLO DE CÁLCULO

Dimensionar um misturador rápido compreendendo uma grade e um reator tubular para uma instalação que irá tratar 500 litros/s com 30 mg/litro de sulfato de alumínio. Adotar a

velocidade média de 1,00 m/s no conduto e considerar 10s para o tempo de mistura.

Com 500 litros/s e uma velocidade de 0,80m/s encontra-se o diâmetro da tubulação: 0,90m (área da secção transversal = A = 0,64m<sup>2</sup>).

Considerando-se uma concentração de 0,3% (3g/litro) para a solução de sulfato de alumínio a quantidade de solução a ser aplicada será:

$$30 \text{ mg/litro} = 30\text{g/m}^3$$

$$0,5\text{m}^3/\text{s} \times 30\text{g/m}^3 = 15\text{g/s}$$

$$q_{\text{solução}} = \frac{15 \text{ g/s}}{3\text{g/litro}} = 5 \text{ litros/s}$$

Considerando-se o espaçamento de 0,125m poderão ser feitos 37 orifícios, o que corresponde a 58 furos por metro quadrado.

A vazão por orifício resultará:

$$q_o = \frac{5}{37} = 0,135 \text{ litros/s} = 0,000135 \text{ m}^3/\text{s}$$

Admitindo-se uma velocidade de 2,8m/seg a área do orifício resultará:

$$S = \frac{q_o}{V} = \frac{0,000135}{2,8} = 0,000048\text{m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 0,000048}{\pi}} = 0,00784 \approx 7,8\text{mm}$$

Das 7 (sete) barras as mais longas terão 6 (seis) furos perfazendo a vazão de 0,81 litro/seg. Com essa vazão a barra poderá ter 25mm de diâmetro.

A energia total dissipada pelos jatos será:

$$P = 51.N.S.V^3 = 51 \times 37 \times 0,000048 \times 2,8^3 = 1,99 \text{ kgm/s}$$

Volume de água agitado:

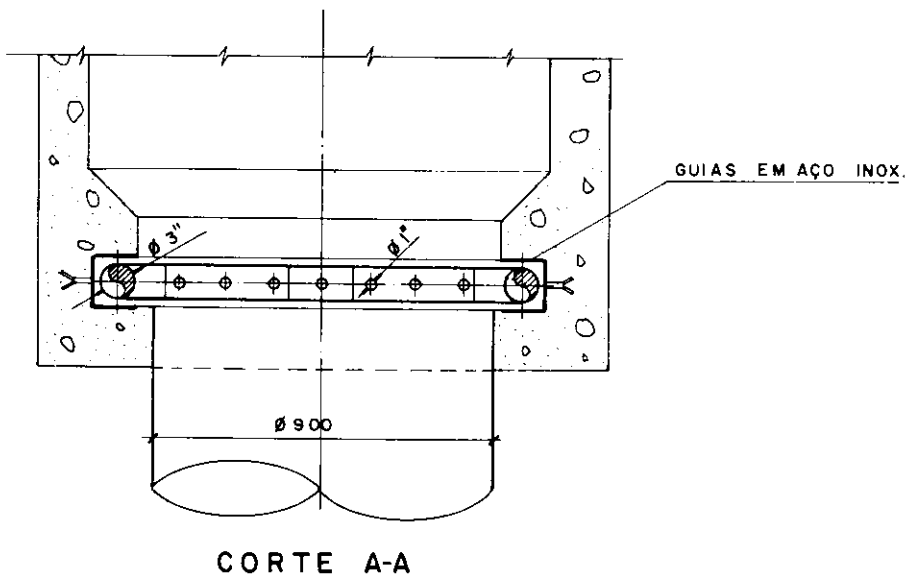
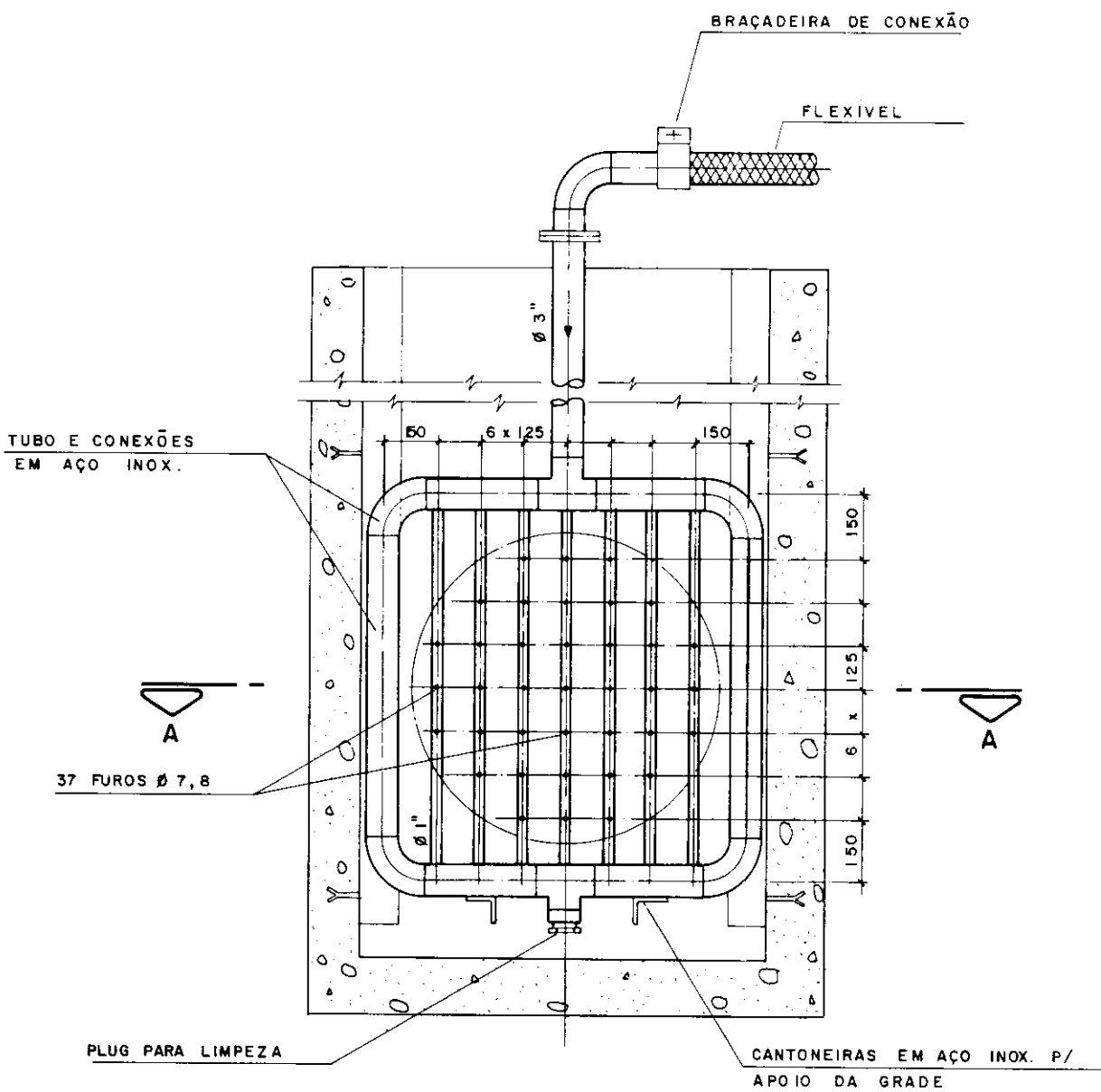
$$M = A \times 2,5 \times E = 0,64 \times 2,5 \times 0,125 = 0,2\text{m}^3$$

Cálculo do Gradiente de Velocidades:

$$G = \sqrt{\frac{P}{M\mu}} = \sqrt{\frac{1,99}{0,2 \times 0,0001}} \approx 315 \text{ s}^{-1}$$

Pela fórmula de Hudson chegar-se-á:

$$G = 1.027 \frac{d}{E} \sqrt{\frac{1}{X}} \sqrt{V^3}$$



$$G = 1.027 \times \frac{0,00784}{0,125} \sqrt{\frac{1}{0,3125}} \sqrt{2,8^3}$$

$$G = 540 \text{ s}^{-1}$$

Para realizar uma boa difusão no sistema com grade dispersora é suficiente um valor de G superior a 300, devido a diluição e elevado grau de dispersão inicial.

A perda de carga nos orifícios será:

$$h_f = \left( \frac{1}{C_v^2} - 1 \right) \cdot \frac{V^2}{2g} =$$

$$= \left( \frac{1}{0,61^2} - 1 \right) \cdot \frac{2,8^2}{19,6} = 0,67 \text{ m}$$

A porcentagem de área entre as barras será aproximadamente:

$$\% = \frac{(E - e)^2}{E^2} = \frac{(0,125 - 0,025)^2}{0,125^2} =$$

$$= 0,64 \text{ (64\%)}$$

A velocidade entre as barras resultará:

$$V = \frac{v}{\%} = \frac{0,80}{0,64} = 1,25 \text{ m/s}$$

A perda de carga devida a passagem da água através da grade será:

$$h_f = K \frac{(V^2 - v^2)}{2g} =$$

$$= 1,43 \frac{(1,25^2 - 0,80^2)}{19,6} = 0,067 \text{ m}$$

O reator compreenderá a tubulação forçada de 0,90m de diâmetro em trecho não inferior a 9,00m de extensão (10 vezes o diâmetro).

Este valor deverá ser verificado ainda, considerando o comprimento do reator para que se processe a mistura rápida.

Neste caso, tendo sido admitido o tempo de 10 segundos para se processar a mistura rápida e, sendo a velocidade de escoamento no reator igual a 0,80m/s, o seu comprimento mínimo deverá ser  $L = 0,80 \text{ m/s} \times 10 \text{ s} = 8 \text{ m}$ .

## REFERÊNCIAS

1. Camp, T.R., Seminar Papers on Wastewater Treatment and Disposal, Boston (1961).
2. Hespanhol I, Mistura: Grades e Reatores Tubulares, Revista DAE São Paulo (1977).
3. Hudson, H.E.Jr e J.P. Wolfner, Design of Mixing and Flocculating Basins, J.A.W.W.A., 59-10, 1.257 (oct. 1967).
4. Rouse, H., Engineering Hydraulics, John Wiley & Sons, New York (1950).