

Contribuição ao Estudo de Cortinas de Distribuição de Água de Decantadores *

ENGENHEIRO LUIZ DI BERNARDO (**)
ENGENHEIRO MARCIUS F. GIORGETTI (***)

(*) Trabalho apresentado no XV Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária, realizado em Buenos Aires, Argentina.

RESUMO

Neste trabalho são apresentados os critérios utilizados para o dimensionamento de cortinas de distribuição de água de decantadores.

Com base nos estudos de Hudson e Camp, realizou-se uma investigação experimental sobre o comportamento dos jatos provenientes de orifícios circulares, em função do número de Reynolds.

Apresentam-se, também, os resultados iniciais quando se substituíram os orifícios circulares por bocais difusores.

1 — INTRODUÇÃO

Distribuir a água a diversos decantadores e na seção transversal de cada um deles, de maneira a mais uniforme possível, é a finalidade da zona de entrada dos decantadores.

A distribuição de água, horizontal e verticalmente, através da seção transversal do decantador, é feita por meio da cortina de distribuição. Quando se empregam orifícios circulares, verifica-se que os jatos percorrem uma distância relativamente grande até que ocorra a sua difusão na massa líquida, interferindo desse modo na eficiência do decantador. Para que os resultados no decantador sejam melhores, deve-se fazer com que os jatos se encontrem a uma distância relativamente pequena a jusante da cortina, mesmo antes de ocorrer sua completa difusão na massa líquida.

A velocidade de passagem de água através do orifício e o gradiente de velocidade devido ao jato têm sido os parâmetros usuais considerados no projeto de cortinas de distribuição dos decantadores retangulares de escoamento horizontal.

Procurou-se neste trabalho investigar a interferência entre jatos provenientes de orifícios consecutivos, verificar a influência do número de Reynolds no alcance do jato e ao mesmo tempo, com base nos estudos de Giorgetti(5), investigar a aplicabilidade de bocais difusores em substituição aos orifícios circulares.

II — DIMENSIONAMENTO DOS ORIFÍCIOS

Camp(2,3) e Hudson(6) consideram o gradiente médio de velocidade (G) como sendo o principal parâmetro para o dimensionamento dos orifícios.

Hudson(6) considera a perda de carga por atrito, desprezando as perdas de carga na entrada e saída dos orifícios, e determina o valor de G através da expressão:

$$G = \left(\frac{\gamma}{\mu \cdot 2g} \right)^{1/2} \cdot \left(\frac{f}{D} \right)^{1/2} \cdot v^{3/2} \quad (1)$$

Onde:

- G — gradiente médio de velocidade (s^{-1})
- γ — peso específico da água (Kgf/m^3)
- μ — viscosidade absoluta da água ($Kgf.s/m^2$)
- g — aceleração da gravidade (m/s^2)
- f — coeficiente de atrito de Darcy-Weisbach
- D — diâmetro do orifício (m)
- V — velocidade de escoamento através do orifício (m/s)

Em seu trabalho, Hudson(6) apresenta diagramas que relacionam o gradiente médio de velocidade, o diâmetro do orifício, a veloci-

(**) Professor Assistente da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

(***) Professor Livre-Docente da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

dade e a vazão em um orifício para um valor de rugosidade absoluta K igual a 0,00026 m.

Camp (2,3), com base em estudos anteriores, chegou às seguintes conclusões:

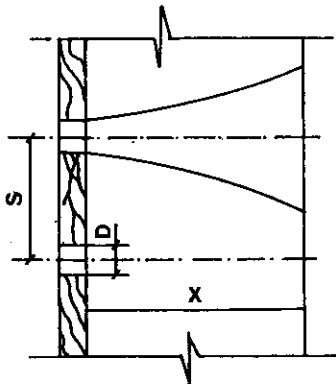
a) A relação S/X parece depender somente da velocidade de passagem da água através do orifício;

b) Quando a velocidade no orifício estiver compreendida entre 15 e 30 cm/s, o diâmetro do orifício não influi na relação S/X;

c) Os jatos provenientes de orifícios consecutivos interferem um no outro a uma distância compreendida entre 2 S e 3 S.

Os vórtices provenientes dos jatos podem estar acompanhados de gradientes de velocidade suficientemente elevados para prejudicar os flocos que passam através dos orifícios. Para avaliar a intensidade desses gradientes, Camp (2,3) define o gradiente médio de velocidade, baseando-se na hipótese de que, para cada orifício, a perda de carga ho é dissipada em um volume S²X.

Figura 1 — Jato de um orifício circular



O trabalho realizado pelo jato, por unidade de volume e tempo, é:

$$W = \frac{\gamma Q h_o}{S^2 X} \quad (2)$$

A vazão que passa através do orifício pode ser determinada pela expressão:

$$Q = C_d A \sqrt{2g h_o} \quad (3)$$

$$h_o = \frac{Q^2}{C_d^2 \cdot A^2 \cdot 2g} \quad (4)$$

Substituindo-se o valor de ho da equação 4 na equação 2, tem-se:

$$W = \frac{\gamma \cdot Q^3}{2g A^2 C_d^2 S^2 X} \quad (5)$$

$$W = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot \rho \cdot V^3}{8 C_d^2 \cdot S^2 X} \quad (6)$$

Segundo Camp (2,3), o gradiente médio de velocidade é dado por:

$$G = \frac{\sqrt{W}}{\mu} \quad (7)$$

Substituindo-se o valor de W da equação 6 na equação 7, obtém-se:

$$G = \frac{D}{S} \sqrt{\frac{\pi \cdot V^3}{8 \cdot \nu \cdot C_d^2 \cdot X}} \quad (8)$$

Onde:

- G — gradiente médio de velocidade (s⁻¹)
- D — diâmetro do orifício (m)
- S — espaçamento entre centros de orifícios (m)
- V — velocidade (m/s)
- ν — viscosidade cinemática da água (m²/s)
- Cd — coeficiente de descarga do orifício
- X — distância percorrida pelos jatos até que haja interferência entre eles (m)

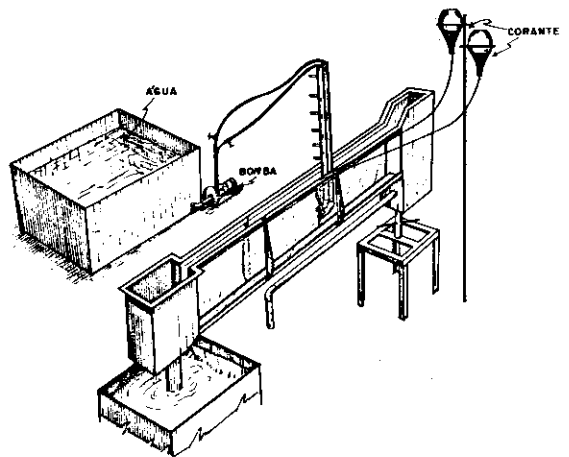
O gradiente médio de velocidade, quer seja determinado de acordo com o critério de Hudson (equação 1), quer pelo critério de Camp (equação 8), não deve exceder o gradiente médio de velocidade da última câmara de floculação.

III — INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL

3.1 — Descrição da instalação

A fim de possibilitar a variação de velocidade no orifício e verificar a influência de um jato sobre outro consecutivo, montou-se o dispositivo apresentado na Figura 2.

Figura 2 — Vista geral da instalação

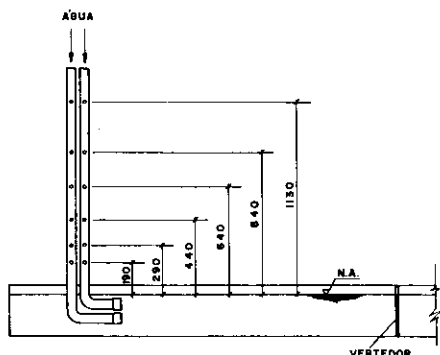


A instalação consta de dois tubos de plástico rígido de 50 mm de diâmetro, montados em uma canaleta e alimentados, na sua parte superior, por água bombeada de um reservatório. Na parte inferior de cada tubo, fixou-se uma luva com um orifício central de 8 mm de diâmetro.

A introdução de corante (permanganato de potássio) foi feita próximo aos orifícios, na parte interna dos tubos de 50 mm.

As diferentes cargas hidráulicas, indicadas na Figura 3, foram obtidas por meio de outros orifícios executados nos tubos de 50 mm, que funcionaram como extravasores.

Figura 3 — Posição dos extravasores



Para a fixação dos níveis indicados na Figura 3, levou-se em conta que, na prática, é usual adotar-se uma velocidade de escoamento compreendida entre 15 e 30 cm/s e orifícios de diâmetro entre 50 e 125 mm. Desse modo, para uma temperatura média de 20°C, obtiveram-se os valores mínimo e máximo do número de Reynolds iguais a 7.500 e 37.500, respectivamente.

3.2 — Resultados

A determinação da vazão através do orifício, para cada nível, foi realizada por processo volumétrico. O Quadro I apresenta os valores médios obtidos para um orifício.

Quadro I		
Carga hidráulica (cm)	Vazão (cm³/s)	Número de Reynolds
19	84	13.570
29	105	17.010
44	128	20.730
64	146	23.650
84	165	26.730
113	218	35.300

Para cada nível, após a introdução de corante, o jato era fotografado. Foram executados "slides" e, com auxílio de projetor, procurou-se obter o jato com suas dimensões reais, traçando-se o contorno do mesmo em um papel onde se tinha a dimensão real dos tubos de 50 mm.

Após a obtenção dos perfis dos jatos, determinaram-se as relações X/S, S/D e X/D para cada número de Reynolds. Estes valores fazem parte do Quadro II.

Quadro II						
Número de Reynolds	X/S	S/D	X/D	Valor Médio X/S		
13.570	4,66	7,25	33,75	4,50		
	4,48	5,75	25,75			
	4,68	4,37	20,00			
	4,69	3,25	15,25			
	4,00	2,50	10,00			
	4,14	8,00	33,12			
17.010	4,49	6,12	27,50	4,37		
	4,18	4,87	20,37			
	4,29	3,50	15,00			
	4,76	2,50	10,12			
	4,10	7,87	32,25			
	4,34	6,25	27,12			
20.730	4,46	4,62	20,62	4,12		
	3,79	3,62	13,75			
	3,90	2,50	9,75			
	4,16	7,75	32,25			
	4,06	6,37	25,87			
	4,00	5,00	20,00			
23.650	4,22	3,37	14,25	3,99		
	3,50	2,50	8,75			
	3,37	10,37	35,00			
	3,55	7,75	27,50			
	26.730	3,26	5,37		17,50	3,43
	3,73	3,25	12,12			
3,25	2,50	8,13				

Com os valores do Quadro II, prepararam-se as figuras 4 e 5.

O Quadro III apresenta os valores de Q, Reynolds, ho e do coeficiente de descarga, Cd.

$$Q = Cd \cdot A \sqrt{2g h_o}$$

$$A = 0,5 \text{ cm}^2$$

Quadro III			
Q (cm³/s)	ho (cm)	R	Cd
84	19	13.570	0,87
105	29	17.010	0,88
128	44	20.730	0,87
146	64	23.650	0,82
165	84	26.730	0,81
218	113	35.300	0,93

Com os dados do Quadro III, preparou-se a figura 6, que mostra a variação do coeficiente de descarga com o número de Reynolds. O par de valores (35.300 ; 0,93) foi desprezado, pois a configuração da curva, sem considerar esse par de valores, é análoga à normalmente encontrada na bibliografia.

Figura 4 — Curva de X/S em função de R para orifício

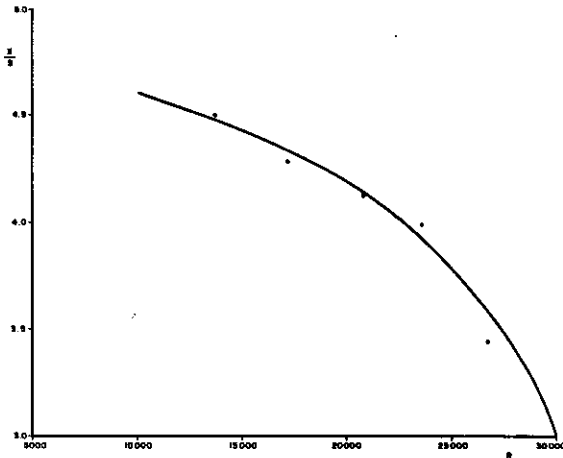


Figura 5 — Curva de S/D em função de X/D para orifício

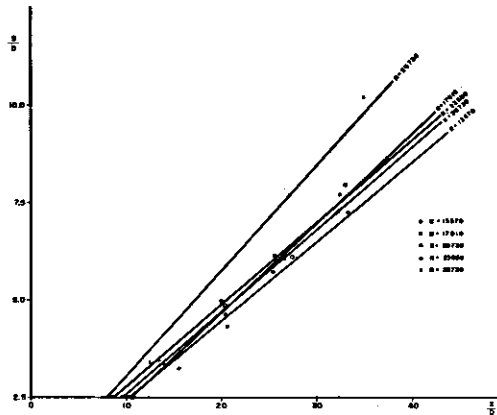
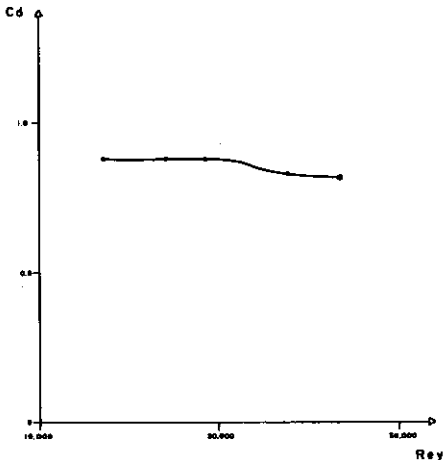


Figura 6 — Relação entre Cd e Rey para orifícios

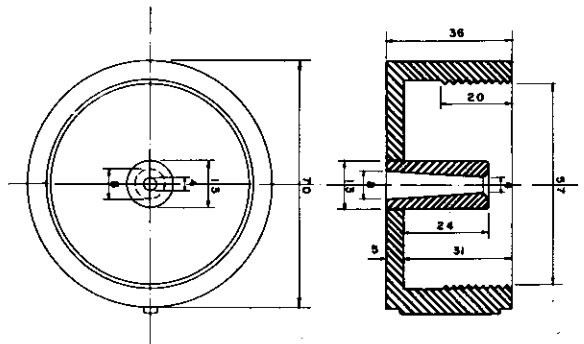


IV — EMPREGO DE BOCAIS

Com a finalidade de se minimizar a distância X, utilizaram-se bocais difusores que, além de eliminarem a parte cilíndrica do jato proveniente do orifício, possibilitam o melhor aproveitamento do decantador.

Os estudos iniciais foram realizados com um bocal igual ao apresentado na Figura 7. Esse bocal é semelhante àquele estudado por Giorgetti (6) em 1969.

Figura 7 — Bocal difusor



As figuras 8, 9, 10, 11, 12 e 13 comparam os jatos provenientes de orifício e bocal, para uma mesma carga hidráulica. As figuras 14 e 15 apresentam os jatos provenientes de dois orifícios e dois bocais.

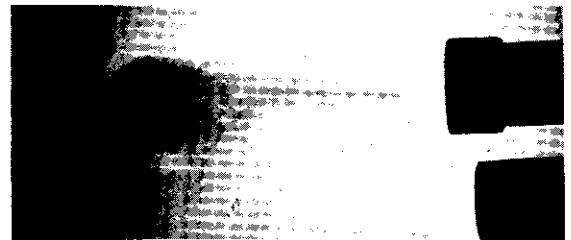


Figura 8 — Orifício Re = 8900

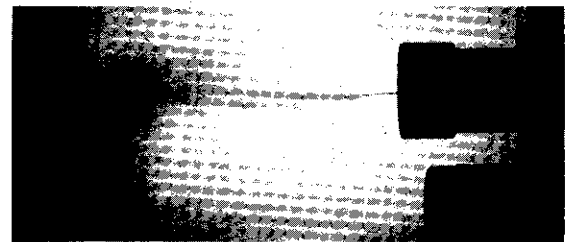


Figura 9 — Orifício Re = 13570

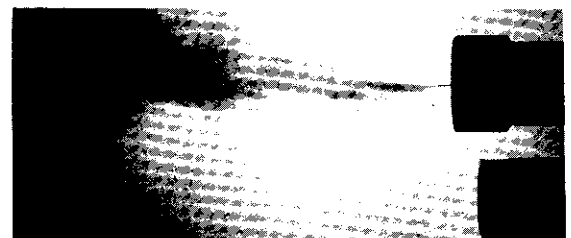


Figura 10 — Orifício Re = 17000

V — CONCLUSÃO

Com relação aos orifícios, verificou-se que:

a) Para um mesmo valor do número de Reynolds, o valor de X/S é praticamente constante;

b) Para um mesmo valor do número de Reynolds, a relação S/D varia linearmente com a relação X/D;

c) O número de Reynolds influi na configuração do jato, revelando que o valor de X/S varia com o número de Reynolds de acordo com a Figura 4;

d) Da Figura 4 pode-se estimar que:

$$\frac{X}{S} = 3,25 \therefore \text{Rey} = 30000$$

$$\frac{X}{S} = 4,55 \therefore \text{Rey} = 10000$$

Na prática, isto significa que, dentro da faixa usual do número de Reynolds, o encontro entre dois jatos consecutivos se dará entre, aproximadamente, 3 e 4,5 vezes o espaçamento entre os orifícios.

As figuras 11, 12 e 13, referentes aos bocais, mostram que o ângulo de difusão do jato é maior que no caso dos orifícios. Estudos mais completos, envolvendo comprimento do bocal, ângulo de abertura e relação entre diâmetro inicial e final do bocal, encontram-se em andamento.

BIBLIOGRAFIA

1. ALBERTON, M. L. et alii — Diffusion of submerged jets. In: Transactions Paper n.º 2409. New York, American Society of Civil Engineers, 1948. p. 139-164.
2. CAMP, Thomas R. — Applied hydraulic design of treatment plants. In: Seminar Papers on Waste-Water Treatment and Disposal — Boston Society of Civil Engineers, Sanitary Section, Boston — Massachusetts, 1961.
3. CAMP, Thomas R. — Fluid mechanics applied to waste treatment problems. In: Seminar Papers on Waste-Water Treatment and Disposal — Boston Society of Civil Engineers, Sanitary Section, Boston — Massachusetts, 1961.
4. DI BERNARDO, Luiz — Unidade de sedimentação da estação piloto de purificação de águas de abastecimento. VII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, Salvador, Bahia, 1973.
5. GIORGETTI, Marcius F. — Influência do perfil de velocidades médias iniciais da difusão de jatos livres com simetria axial. Escola de Engenharia de São Carlos, 1969.
6. HUDSON JR., H. E. & WOLFNER, J. P. — Design of mixing and flocculating basins. Journal American Water Works Association. New York, 59 (10): 1257-1267, 1967.
7. KLEINSCHIMDT, R. S. Hydraulic design of detection tanks. Journal of the Boston Society of Civil Engineers, Boston, V. 48(4):247-294, 1961.

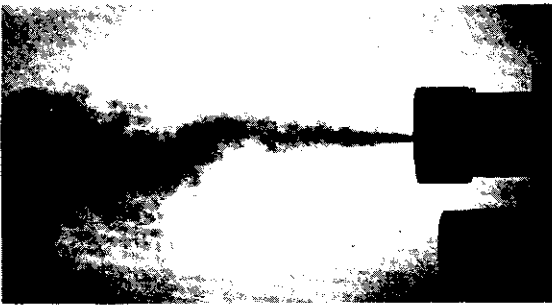


Figura 11 — Bocal Re = 5000

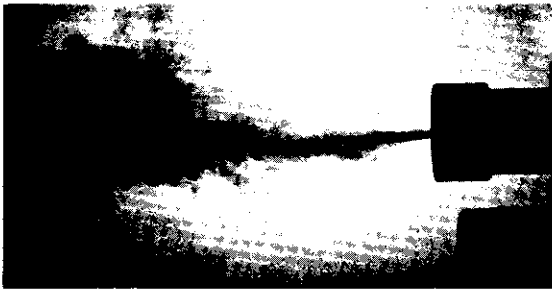


Figura 12 — Bocal Re = 7500

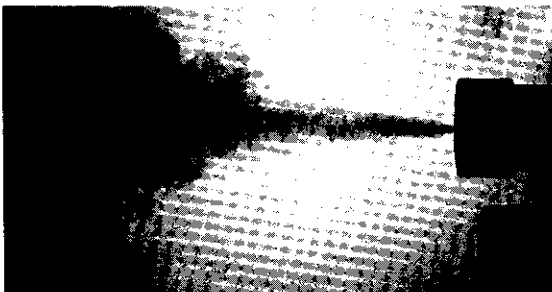


Figura 13 — Bocal Re = 9000

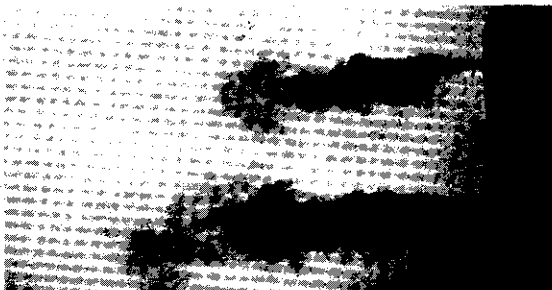


Figura 14 — Escoamento em dois orifícios
Re = 17000



Figura 15 — Escoamento em dois bocais
Re = 9000