

Modelagem hidráulica aplicada no dimensionamento de flocculador de placas de orifícios

Hydraulic modeling applied in the flocculator sizing of orifice plates

• **Data de entrada:**
27/12/2019

• **Data de aprovação:**
19/10/2021

Antonia Samylla Oliveira Almeida^{1*} | Manoel do Vale Sales² | Marlon Vieira De Lima³ | José Capelo Neto⁴

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2022.075>

ORCID ID

Almeida ASO  <https://orcid.org/0000-0002-6665-8257>

Lima MV  <https://orcid.org/0000-0002-7893-7325>

Capelo Neto J  <https://orcid.org/0000-0002-7669-7153>

Resumo

A compreensão do escoamento da água através de orifícios tem sido extremamente útil para a descrição do funcionamento de importantes estruturas hidráulicas, como reservatórios e unidades componentes de Estações de Tratamento de Água (ETAs). Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um modelo que possibilita a determinação de parâmetros hidráulicos essenciais para o dimensionamento de flocculadores de placas, especialmente a relação entre o alcance dos jatos (X) e a abertura da pluma (S), denominada de relação X/S . Como resultado desta pesquisa foi possível apresentar uma equação que correlaciona o número de Reynolds (na faixa de 4.000 a 18.000) e o parâmetro X/S . A faixa de número de Reynolds utilizada no modelo apresentado coincide em parte com a faixa trabalhada pelo único modelo até agora encontrado na literatura, concebido por Di Bernardo & Giorgetti (1980). Foram observadas discrepâncias entre os valores de X/S obtidos nos dois modelos, que implicam no dimensionamento do flocculador, como consequência direta das diferenças entre os valores de alcance dos jatos.

Palavras-chave: Flocculador de placas. Coeficiente de descarga. Relação X/S .

Abstract

The understanding of water flowing through orifices has been very useful to describe function of important hydraulic structures, such as reservoirs and unit components of Water Treatment Plants (WTPs). This work presents the development of a model that allows to determine two essential hydraulic parameters for a project of plate flocculators, specially the discharge coefficient (C_d) and the relation between range of jets (x) and the feather opening (S), known as the relation X/S . As result of this research, it was possible to present an equation that correlates the Reynolds number (between 4000 and 18000) and the parameter X/S . The range of Reynolds number used in this presented model matches partially the range used by the only model currently existing Di Bernardo and Giorgetti (1980). It was observed differences between the values of X/S obtained by both models, which implies in the dimensioning of the flocculator, as a direct result of the differences between the values of range of jets.

Keywords: Plates flocculator. Discharge coefficient. Relation X/S .

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais - Barbacena - Minas Gerais - Brasil.

² Companhia de Água e Esgoto do Ceará - Fortaleza - Ceará - Brasil.

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - Fortaleza - Ceará - Brasil.

⁴ Universidade Federal do Ceará - Fortaleza - Ceará - Brasil.

* **Autor correspondente:** samylla_17@hotmail.com.

1 INTRODUÇÃO

Com a aceleração do processo de eutrofização em diversos reservatórios (GUO et al., 2018; EL-OTIFY, 2015), intensificado pelos efeitos das mudanças climáticas (BARROS, 2018; IPCC, 2014), um crescente número de ETAs tem se tornado ineficaz na potabilização de águas superficiais (LIMA; CAPELO-NETO, 2015).

Os riscos para a saúde humana podem se tornar significativos no que concerne à ocorrência da proliferação de cianobactérias em fontes de água potável, tendo em vista que processos convencionais de tratamento de água, como coagulação, floculação, sedimentação e filtração, podem ser ineficazes na remoção de compostos dissolvidos, como cianotoxinas (FAN et al., 2014), e que diversos agentes químicos utilizados na potabilização da água, como os oxidantes (por exemplo, ozônio, cloro, permanganato de potássio e dióxido de cloro) e agentes físicos, como os elevados gradientes de velocidade da etapa de coagulação, podem causar lise celular e liberação de toxinas (ZAMYADI et al., 2011; PESTANA et al., 2019; CLEMENTE et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2021).

Em consequência desses fatos, as companhias de saneamento brasileiras vêm buscando estratégias economicamente viáveis para adequar a água disponível com alta densidade algal aos padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde. Segundo Lima; Capelo-Neto (2015), apesar de a filtração direta ser amplamente utilizada em países em desenvolvimento como o Brasil, ela apresenta enormes limitações operacionais ao tratar águas eutrofizadas, tais como a rápida colmatação do meio filtrante, dificuldade em atingir o atual padrão de turbidez e remover precursores de subprodutos da desinfecção (ALMEIDA; LIMA, 2015; CHU et al., 2017).

Como alternativa à tecnologia de filtração direta e a ciclo completo com uso de decantadores, outras configurações são empregadas para remo-

ção de fitoplâncton, incluindo a flotação (NEW-COMBE; NICHOLSON, 2004, KIM et al., 2015; ZHANG et al., 2017), floto-filtração e a dupla filtração (DANTAS E DI BERNARDO, 2006; LIMA; CAPELO NETO, 2015). Apesar de eficientes, as tecnologias mencionadas apresentam um elevado custo de implantação, tornando sua aplicação inviável do ponto de vista econômico em países em desenvolvimento.

Nesse contexto, Chaves et al. (2015) desenvolveram um equipamento que incorpora, em um mesmo tanque, um floculador de placas de orifícios a uma câmara de flotação denominado de floco-flotador por ar dissolvido (FFAD), o qual além de demonstrar alta eficiência e robustez na remoção de cor e turbidez, diminuiu em cerca de 50% o espaço necessário quando comparado às unidades convencionais construídas individualmente.

Entretanto, tais autores (CHAVES et al., 2015) observaram uma imprecisão no modelo matemático aplicado no dimensionamento das placas de orifícios utilizada nesse tipo de floculador hidráulico (CAMP, 1961), o que inviabilizou o *up-scaling* da planta piloto experimental a uma em escala real.

Desse modo, buscando solucionar essa lacuna de conhecimento, o presente trabalho apresenta uma contribuição quanto ao estudo do comportamento do fluido em orifícios delgados de modo a possibilitar a modelagem matemática de placas de orifícios, utilizada em floculadores hidráulicos e em FFAD. Para isso, o presente estudo visa explorar os modelos utilizados na determinação da relação entre o alcance dos jatos (X) e a abertura da pluma (S), denominada de relação X/S , relacionados às dimensões dos cones formados pela passagem da água pelos orifícios da placa.

Nestes modelos, X/S apresentados na Fig. 1, trata-se de um parâmetro hidráulico relacionado ao número de Reynolds e utilizado para a determinação do gradiente de velocidade na unidade de floculação e na zona de entrada de decantadores.

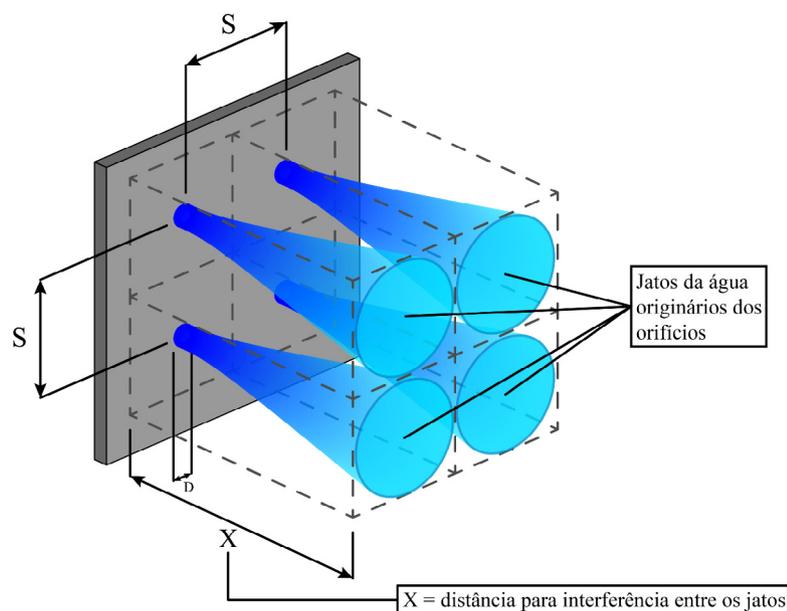


Figura 1 - Cortina distribuidora de água floculada em decantadores contendo orifícios.

Fonte: Vianna (2002).

Conforme relatos de Camp (1961), foi observado o valor de X (distância necessária para que ocorra interferência entre os jatos) e S (distância entre os orifícios) em uma série de experimentos usando corante. Neste estudo, a característica selecionada foi o gradiente de velocidade médio obtido a partir da suposição de que a carga hidráulica (H_0) imposta ao orifício é dissipada no volume dado S^2X para cada orifício. Os autores concluíram que o valor de X/S parece depender, principalmente, da velocidade de passagem do fluido pelo orifício, que nessas experiências variou de 0,1 a 1,6 ft/s (0,49 m/s). Quando realizada uma comparação com a velocidade de passagem do fluido pelo orifício, verificou-se que o tamanho dos orifícios parece não ter qualquer influência sobre a razão X/S .

O estudo realizado por Camp (1961) fundamentou o desenvolvimento de floculadores de bandeja vertical (VIANNA, 2002; VIANNA; CASTRO, 2014; VIANNA et al., 2015) e o dimensionamento de cortinas de distribuição de água em decantadores. Adicionalmente, Di Bernardo e Giorgetti

(1980) elaboraram um modelo em condições hidráulicas nas quais o número de Reynolds situava-se na faixa entre 13.570 e 26.730, estabelecidos por orifícios com diâmetro entre 50 e 125 mm. Nesse estudo foi verificada a existência de uma correlação entre o número de Reynolds e a distância de alcance dos jatos. O estudo apresentou ainda as seguintes observações:

- A relação X/S parece depender somente da velocidade de passagem de água através do orifício;
- Quando a velocidade no orifício estiver entre 0,1 m/s e 0,3 m/s, o diâmetro do orifício não influi na relação X/S ;
- Os jatos provenientes de orifícios consecutivos interferem um no outro quando a distância está entre $2S$ e $3S$.

Apesar dos avanços obtidos nos estudos de Camp (1961) e Di Bernardo e Giorgetti (1980) e aplicados por Vianna, 2002; Vianna; Castro, (2014) e Vianna et al. (2015) em floculadores de placas de orifícios, não se tem conhecimento de

um modelo matemático desenvolvido para condições hidráulicas com baixos números de Reynolds, necessários para o bom funcionamento do FFAD. Assim, o presente estudo tem como objetivo desenvolver e aplicar uma metodologia que correlacione os valores da relação $\frac{X}{S}$ com o número de Reynolds em placas de orifícios de modo que possibilite modelar matematicamente o alcance do jato e verificar seus efeitos sobre o gradiente de velocidade de forma a viabilizar o dimensionamento de floculadores de placas de orifícios que podem ser conjugados com a unidade de flotação por ar dissolvido (FAD), proporcionando o *up-scaling* da unidade floco-flotador por ar dissolvido de escala piloto para a escala real.

2 MATERIAL E MÉTODOS

No presente estudo utilizou-se um intervalo de números de Reynolds baixos, variando de 4.477 a 21.753, empregando-se orifícios com diâmetro entre 9,4 e 19 mm. Tais condições possibilitaram gradientes de velocidade compatíveis com os normalmente aplicados em unidade de floculação, da ordem de 70 s^{-1} a 10 s^{-1} , onde o primeiro compartimento apresenta o gradiente máximo enquanto o último compartimento possui o me-

nor gradiente de acordo com o recomendado pela NBR 12.216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992).

Cinco placas de acrílico transparente com altura de 400 mm, largura de 100 mm e espessura de 3 mm foram instaladas, uma por vez, no equipamento utilizado no experimento. Cada placa continha dois orifícios de borda fina com diâmetros de 9,4, 12,2, 16,0, 17,5 e 19,0 mm, distanciados entre si em 250 mm. Os diferentes diâmetros possibilitaram a obtenção de gradientes de velocidade entre $2,5$ e $39,0 \text{ s}^{-1}$ e velocidades entre $0,2$ e $1,9 \text{ m.s}^{-1}$, com vazões variando entre 200 e 500 L.h^{-1} .

2.1 Etapa I - Registro do comportamento e alcance dos jatos.

Na fase de registro fotográfico dos jatos, uma solução de permanganato de potássio foi utilizada como traçador (Fig. 2) do comportamento dos jatos formados. A cada experimento realizado ajustou-se a vazão de trabalho, aguardou-se 45 minutos para a estabilização da carga e iniciou-se a inserção do corante na primeira câmara concomitante com a realização dos registros fotográficos.

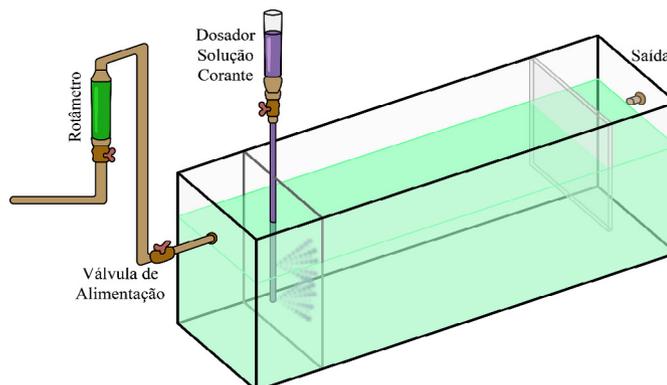


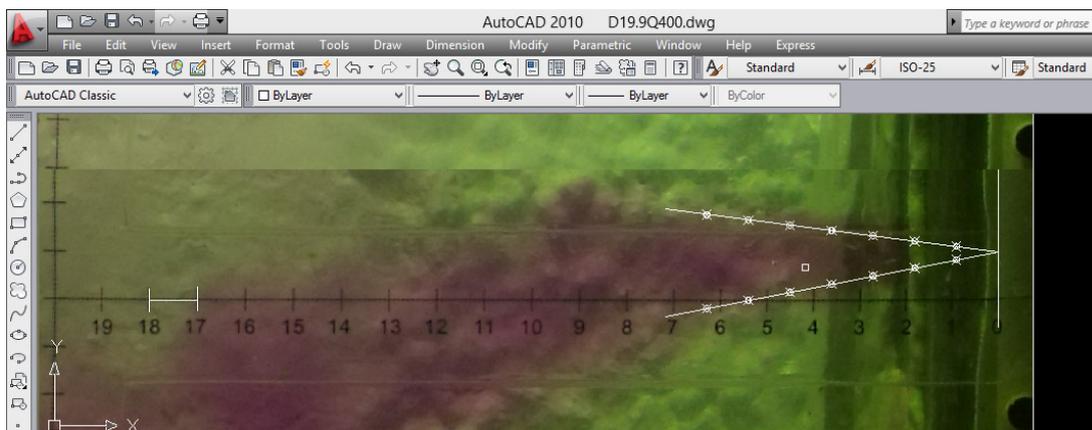
Figura 2 - Sistema de inserção de corante no FFAD.

Fonte: O autor (2019).

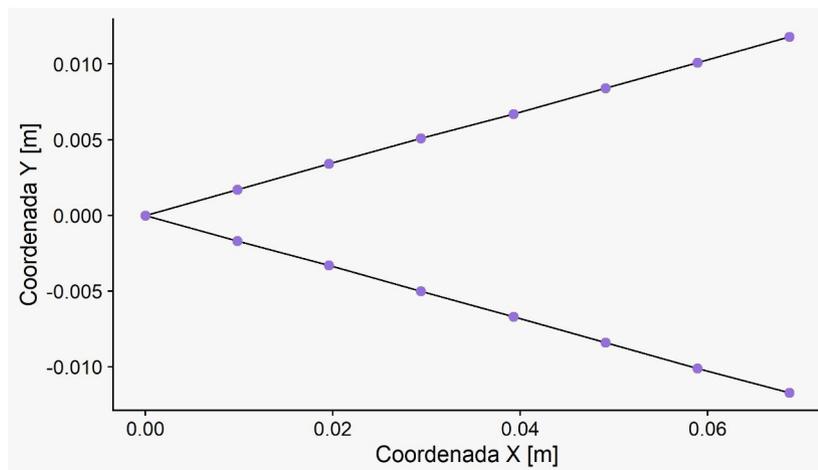
Apesar de esta fase ter tido o objetivo de determinar a distância do encontro dos jatos (X), a interseção não pôde ser registrada fotograficamente devido à difusão do corante, ocasionada pela diferença de densidade da água e da solução de permanganato de potássio. Para superar essa dificuldade experimental, utilizou-se um método gráfico desenvolvido no software AutoCad para

delinear as geratrizes dos cones e a teórica interseção de cones adjacentes (Fig. 3a).

No decorrer do tratamento das imagens fotográficas no *software Auto Cad* foi realizada a demarcação de 7 pontos das geratrizes dos cones; suas coordenadas foram exportadas, e na sequência isso possibilitou a determinação das distâncias da interferência entre os jatos (X) e a relação X/S (Fig. 3b).



(a) Delimitação do cone no registro fotográfico.



(b) Representação gráfica dos dados exportados do registro fotográfico.

Figura 3 - Geratrizes dos cones delineadas no software AutoCad® e representação gráfica das geratrizes do cone.

Fonte: O autor (2019).

2.2 Etapa II - Tratamento dos dados

2.2.1 Determinação da distância do ponto de encontro dos jatos e elaboração do modelo.

Foi realizada uma verificação da presença de pontos consideravelmente discrepantes com

relação à linha de tendência traçada, sinalizando uma provável interferência de outliers, resultando em um baixo coeficiente de correlação. Em virtude disso, os referidos valores médios da relação X/S foram submetidos à aplicação do critério Z score ou score padronizado, técnica que

realiza uma comparação entre os valores obtidos e os previstos pelo modelo (sem a influência de outliers), visando à padronização dos desvios. O cálculo do z score foi realizado considerando um intervalo de confiança de 90%. Com isso, os valores de z score que se apresentaram fora do intervalo $-1,64 < z < +1,64$ foram considerados outliers, sendo, portanto, retirados do conjunto de dados.

Visando avaliar a adequabilidade da equação de regressão obtida, foi realizada uma análise de resíduos que possibilitou concluir a distribuição aleatória e próximos da reta $x=0$ dos resíduos, dois requisitos essenciais para que o modelo seja considerado adequado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre os registros fotográficos realizados para observar o comportamento e o alcance dos jatos para cada combinação de vazão e área dos orifícios, 60 foram selecionados por apresentarem melhor nitidez da imagem.

Após a seleção, ocorreu a etapa do tratamento das imagens fotográficas no *software Auto Cad*, demarcação das geratrizes dos cones e determinação das distâncias da interferência entre os jatos (X). Seguindo procedimento proposto por Di Bernardo; Giorgetti (1980), obteve-se a relação entre os valores médios de X/S em função do número de Reynolds, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores de $\frac{X}{S}$ em função do número de Reynolds, erro e z-score calculados.

Número de Reynolds	$\frac{X}{S}$ Obtido	$\frac{X}{S}$ Esperado	Erro	z-score
4477,26	2,0860	2,3065	-0,2205	0,0784
4861,02	2,0467	2,3930	-0,3462	-0,3636
5316,74	2,3330	2,4926	-0,1596	0,2925
6575,55	2,6267	2,7505	-0,1238	0,4182
6972,78	2,9530	2,8266	0,1264	1,2977
7139,17	2,5069	2,8577	-0,3508	-0,3797
7808,47	2,7908	2,9785	-0,1876	0,1939
8671,62	3,0172	3,1236	-0,1064	0,4794
9045,17	3,5288	3,1827	0,3460	2,0695
9414,91	2,9617	3,2390	-0,2774	-0,1215
10240,62	3,3965	3,3569	0,0396	0,9926
10297,55	3,2974	3,3646	-0,0673	0,6168
10767,69	2,8568	3,4265	-0,5697	-1,1488
11690,64	3,3495	3,5375	-0,1880	0,1926
12786,64	3,3475	3,6517	-0,3042	-0,2160
13284,25	3,4459	3,6972	-0,2513	-0,0299
13504,99	3,4030	3,7161	-0,3131	-0,2472
16769,36	3,0800	3,9048	-0,8248	-2,0456
17518,82	3,0352	3,9241	-0,8889	-2,2707
21753,40	3,6757	3,8640	-0,1883	0,1914

Fonte: O autor (2019).

Os valores de z score (Tabela 1) que se apresentaram fora do intervalo $-1,64 < Z < +1,64$ foram considerados outliers, sendo, portanto, retirados do conjunto de dados. Desse modo, os valores da relação X/S referentes aos números de Reynolds 9.045,

16.769, 17.518 foram considerados outliers após aplicação do tratamento com Z score. Logo após a remoção dos outliers, elaborou-se uma regressão com o conjunto de dados tratados gerando o modelo matemático apresentado na Fig. 4 a.

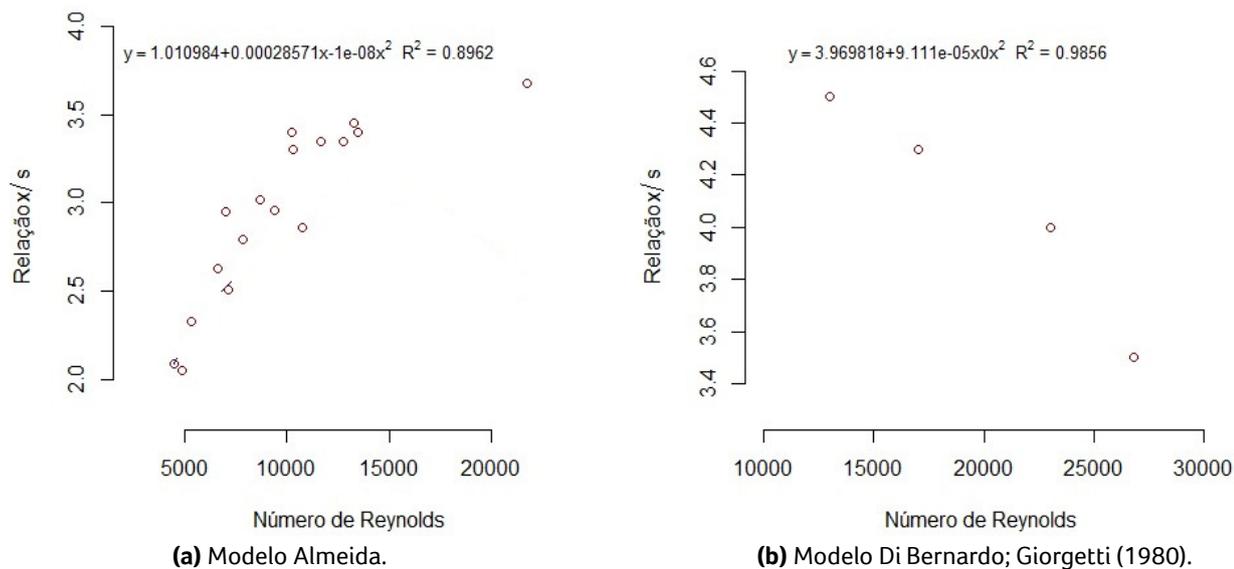


Figura 4 - Modelos para a determinação da relação X/S em função do número de Reynolds para orifícios.

Fonte: O autor (2019).

As correlações estabelecidas foram submetidas ao tratamento estatístico de análise de resíduos visando à validação do modelo obtido para a determinação dos parâmetros hidráulicos X/S (relação entre a distância necessária para que ocorra interferência entre os jatos e a distância entre os orifícios) e o número de Reynolds, tendo sido verificado no referido tratamento que o modelo proposto apresenta um bom nível de confiabilidade com relação à sua capacidade de previsão dentro do intervalo de número de Reynolds e da relação X/S utilizados no estudo.

Di Bernardo; Giorgetti (1980), em estudos realizados com orifícios hidráulicos, obtiveram a relação entre os valores médios de X/S em função do número de Reynolds. Esses estudos foram realizados em condições hidráulicas com número de Reynolds numa faixa de 13.570 e 26.730 obtida em orifícios com diâmetro entre 50 e 125 mm e vazões variando entre 84 e 218 $\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. No presente estudo, os resultados de X/S obtidos ocorreram em condições de número de Reynolds variando de 4.477 a 21.753 com orifícios com diâmetro entre 9,4 e 19 mm possibilitando uma

complementação do modelo existente, conforme pode-se observar na Fig. 4 a e 4 b.

Ao comparar os dois estudos realizados, observa-se que Di Bernardo; Giorgetti (1980) relataram, entre as conclusões do trabalho realizado com orifícios hidráulicos, que para um mesmo número de Reynolds, o valor de X/S é praticamente constante. No presente estudo foi observado um comportamento semelhante ou verificado Di Bernardo; Giorgetti (1980) em mais de 60% dos valores de X/S.

A fim de realizar comparações mais aprofundadas entre o modelo obtido no presente estudo e o apresentado por Di Bernardo; Giorgetti (1980) aplicaram-se ambos os modelos matemáticos no dimensionamento de unidades de floculação com placas de orifícios e verificou-se que para manter o gradiente de velocidade dentro dos intervalos determinados para cada câmara de floculação conforme recomendado pela NBR 12.216 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992) foi necessário utilizar diâmetros maiores no dimensionamento utilizando o modelo de Di Bernardo; Giorgetti (1980), implicando assim em jatos mais curtos, fator este

que determina o distanciamento entre as placas de orifícios responsáveis pela floculação. Também é possível observar que o alcance dos jatos utilizando o modelo de Di Bernardo e Giorgetti (1980, p. 535) é inferior aos obtidos utilizando o modelo obtido neste estudo em cerca de 50%. É importante que esse parâmetro seja levado em consideração tendo em vista que o alcance do jato determina o distanciamento entre as placas, que quando muito próximas podem comprometer a manutenção e a limpeza desse tipo de floculador hidráulico.

Quando comparados os números de Reynolds obtidos para cada câmara em ambos os modelos, estes se apresentaram na mesma faixa, entre 30.000 e 40.000. Quanto às velocidades de passagem de fluido nos orifícios, no dimensionamento realizado utilizando o modelo obtido neste trabalho, variaram entre 0,51 e 0,44, valores um pouco superiores aos resultados utilizando o modelo Di Bernardo e Giorgetti (1980, p. 535), fato ocasionado pelas diferenças de diâmetros aplicados nos das placas.

Não foi possível realizar comparações com outros modelos matemáticos por uma escassez de estudos sobre modelagem hidráulica com experimentos utilizando placas de orifícios com a finalidade abordado neste artigo. Esse fato minimiza a possibilidade da variação de tecnologias utilizadas nas estações de tratamento de água e dificulta o dimensionamento de novas unidades de tratamento de água.

4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A metodologia desenvolvida para a determinação do parâmetro X/S mostrou-se eficiente e propiciou o estabelecimento das correlações com o número de Reynolds, possibilitando a modelagem do comportamento dos jatos em termos do alcance dos mesmos, sendo esta uma

informação crucial para o correto dimensionamento da unidade de floculação utilizando placas de orifícios.

As correlações estabelecidas foram submetidas ao tratamento estatístico de análise de resíduos visando à validação dos modelos obtidos para a determinação de desses parâmetros hidráulicos, tendo sido verificado no referido tratamento que o modelo proposto apresenta um bom nível de confiabilidade com relação à sua capacidade de previsão.

O dimensionamento de um floculador de placas efetuado com base na modelagem desenvolvida no presente estudo propiciou a obtenção de parâmetros tais como gradiente de velocidade, tempo de floculação, velocidade de passagem pelos orifícios, dentre outros, compatíveis com os preconizados pelas recomendações de projeto de floculadores, como, por exemplo, a norma ABNT NBR 12.216:1992.

Por fim, apresentam-se como recomendações na perspectiva de ampliar os resultados apresentados, realizar estudos que possibilite a elaboração de uma modelagem hidráulica para o equipamento FFAD visando descrever os efeitos da aplicação de ar dissolvido no tamanho do jato e no gradiente de velocidade nas câmaras de floco-flotação.

5 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Todos os autores contribuíram de forma igualitária.

6 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. S. O.; LIMA, M. V.. Avaliação do potencial de formação de trihalometanos/ em água para consumo humano - comparação entre dois desinfetantes à base de cloro. In: 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2015. **Anais...**
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (1992). NBR 12216 - NB-592 . **Projeto de estações de tratamento de água para abastecimento público**. ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.

BARROS, M. U. G. **Cyanobacteria in a climate change scenario: a new approach**. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental. Fortaleza, 2018. 120f.

CAMP, T. 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. **Anais...**

CHAVES, K. O., SALES, M. V, CAPELO-NETO, J. Eficiência da floculação em cortinas integrada à flotação por ar dissolvido aplicada ao tratamento de água de lavagem de filtros. **Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental: AIDIS. Vol. 8 No. 3**, (2015), pp. 312-327.

CHU, W.; YAO, D.; DENG, Y.; SUI, M.; GAO, N. Production of trihalo-methanes, haloacetaldehydes and haloacetonitriles during chlorination of microcystin-LR and impacts of pre-oxidation on their formation. **Journal of Hazardous Materials**, 5 April 2017, Vol.327, pp.153-160.

DANTAS, ANGELA DI BERNARDO; DI BERNARDO, L.. Performance of two-stage filtration system for treating high turbidity water. **Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA**. (2006), 55 (7-8) 499-515.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2ª ed. São Carlos: Editora LDIBE LTDA, 2005. 792 p. (Vol. I).

DI BERNARDO, L.; GIORGETTI, M.F. The use of perforated baffles at the inlet of settling basin. **Journal of the American Water Works Association**, v. 72, n. 9, p. 528- 553, 1980.

CLEMENTE, A., WILSON, A., OLIVEIRA, S., MENEZES, I., GOIS, A., CAPELO-NETO, J..The role of hydraulic conditions of coagulation and flocculation on the damage of cyanobacteria. **Science Of The Total Environment**, v. 740, pp. 139737, 2020.

EL-OTIFY, A. M. Evaluation of the physicochemical and chlorophyll-a conditions of a subtropical aquaculture in Lake Nasser area, Egypt. Beni-Suef Univer. **J. Appl. Sci.**, 4 (2015), pp. 327-337.

FAN, J., HOBSON, P., HO, L., DALY, R., BROOKES, J. The effects of various control and water treatment processes on the membrane integrity and toxin fate of cyanobacteria. **J. Hazard. Mater.** v. 264, pp. 313-322, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.10.059>

IPCC. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. IPCC (2014).

GUO, J.; ZHANG, C.; ZHENG, G.; XUE, J.; ZHANG, L.. The establishment of season-specific eutrophication assessment standards for a water-supply reservoir located in Northeast China based on chlorophyll-a levels. **Ecological Indicators** **85** (2018), pp. 11-20.

LIMA, J. A. P.; CAPELO-NETO J. Dupla filtração modificada utilizando filtro de pressão a montante de filtro ascendente no tratamento de águas eutrofizadas. **Engenharia Sanitária Ambiental** v. 20 n.1 (2015), pp. 89-102.

KIM, MI-SUG; DOCKKO, SEOK; MYUNG, GYUNNAM; KWAK, DONG-HEUI. Feasibility study of high-rate dissolved air flotation process for rapid wastewater treatment. **Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA** (2015), 64 (8), pp. 927-936.

NEWCOMBE, G.; NICHOLSON, B. 2004. Water treatment options for dissolved cyanotoxins. **J. of Wat. Suppl.: Res. and Technol. – AQUA**, (53/4): 227-239.

OLIVEIRA, S., CLEMENTE, A., MENEZES, I., GOIS, A., CARLOTO, I.; LAWTON, L., CAPELO-NETO, J. Hazardous cyanobacteria integrity response to velocity gradient and powdered activated carbon in water treatment plants. **Science of the Total Environment**, [S.L.], v. 773, pp. 145110, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145110>.

PESTANA, C.J., CAPELO-NETO, J., LAWTON, L., OLIVEIRA, S., CARLOTO, I., LINHARES, H.P. The effect of water treatment unit processes on cyanobacterial trichome integrity. **Science of The Total Environment**, v. 659, pp. 1403-1414, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.33>.

VIANNA, M. R. **Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água**. 4ªed. Belo Horizonte: Imprimatur, 2002.

VIANNA, M. R., CASTRO, L. V. de. Estudo hidráulico dos orifícios dos floculadores de bandejas perfuradas superpostas de estações de tratamento de água. **Construindo**, Belo Horizonte, v. 6, n. 1, pp. 39- 41 2014.

VIANNA, M. R., CASTRO, L. V. de, RIBEIRO, C. de O. Perforated Tray-Type Hydraulic Flocculator for Potable Water Treatment: Concept and State of the Art in Brazil. **International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering**, v. 364 (5), n. 3, 2015.

ZAMYADI, A., MACLEOD, S. L., FAN, Y., et al. "Toxic cyanobacterial breakthrough and accumulation in a drinking water plant : A monitoring and treatment challenge", **Water Research**, v. 6, pp. 1511-1523, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.11.012>.