

DIMENSIONAMENTO DE APARATO DE SATURAÇÃO GASOSA PARA ENSAIOS EM PEIXES NEOTROPICAIS

Heitor Haruo Fujishige¹ (IC), Carlos Barreira Martinez¹ (PQ)

¹Universidade Federal de Itajubá.

Palavras-chave: Aparatos de teste. Impacto sobre a ictiofauna. Supersaturação gasosa.

Introdução

A supersaturação gasosa e a consequente doença da bolha de gás são fenômenos documentados como causa de mortalidade em peixes há várias décadas. Registros históricos do final do século XIX já indicavam sinais da enfermidade em peixes, cuja primeira descrição completa foi formalizada entre 1898 e 1910 [1] [2]. Eventos de mortandade em massa levaram ao desenvolvimento de estratégias de mitigação [3] e à proposição de critérios regulatórios, como os limites de 105% a 120% de saturação de gases dissolvidos em algumas regiões dos Estados Unidos. No entanto, nota-se uma discrepância, visto que valores de saturação superiores a 130% são comuns em diversos rios globalmente [4] [5] [6].

Para a região Neotropical, que inclui América Central, Caribe e América do Sul, os limites de tolerância das espécies nativas à supersaturação gasosa não são necessariamente os mesmos de outras regiões do planeta [4][5][7][8]. Relatos de mortandade de peixes na área são comuns, e é provável que sua causa esteja relacionada à elevação dos níveis de saturação nos corpos d'água [9] [10] [11] [12] [13] [14]. Para determinar com precisão as taxas de gases que essas espécies suportam, é necessária a condução de testes de exposição aguda e crônica [4][15].

A confiabilidade e a reprodutibilidade desses experimentos, conduzidos em tanques abertos [1][4][13] ou sistemas pressurizados, exigem um sistema capaz de fornecer água com níveis de saturação gasosa estáveis e em volume suficiente [16]. Este trabalho se justifica pela necessidade de apresentar um roteiro metodológico para o dimensionamento de um aparato de saturação gasosa, viabilizando futuras investigações sobre os efeitos da supersaturação em peixes neotropicais.

Metodologia

O projeto do sistema supersaturador de água foi desenvolvido a partir da análise de diagramas

apresentados na literatura, adotando-se como referência um modelo recente proposto por [16]. O dimensionamento foi baseado nas seguintes premissas: i) a água será pressurizada por bomba centrífuga a uma pressão máxima de 500 kPa; ii) o escoamento será turbulento, com Número de Reynolds (Re) superior a 4000; iii) o fluxo de água será ascendente; e iv) o ar será injetado por um difusor de microbolhas. Foram utilizadas as equações da continuidade, de Darcy-Weisbach e do Número de Reynolds para os cálculos hidráulicos. O sistema foi projetado para alimentar 8 tanques de 50 litros e 12 tanques de 5 litros, necessitando de uma vazão de 0,72 L/s. Para o dimensionamento, investigou-se o uso de dutos comerciais de 1 a 4 polegadas, com comprimento de 2,5 metros, e difusores de 15 a 20 mm. A perda de carga total do sistema foi calculada pelo método do comprimento equivalente dos tubos e acessórios. O Re pode ser obtido a partir da equação (equação 1). O cálculo da perda de carga no sistema pode ser feito pela equação de Darcy-Weisbach (equação 2). A velocidade de trânsito será calculada pela equação da continuidade (equação 3).

$$Re = \frac{V \times D_h}{\nu} \quad (1)$$

$$hf = f \times \frac{L \times V^2}{D_h \times 2g} \quad (2)$$

$$Q = V \times S \quad (3)$$

Onde: V : velocidade média na seção do duto ($m \cdot s^{-1}$); Q : vazão ($m^3 \cdot s^{-1}$); S : seção de escoamento (m^2); D_h é o diâmetro hidráulico do duto (m); ν é a viscosidade cinemática da água a 20° C é igual a 10^{-6} ($m^2 \cdot s^{-1}$); L é o comprimento do duto (m); g é a aceleração da gravidade em ($m \cdot s^{-2}$) e f é o fator de perda de carga obtido do ábaco de Moody em função do número de Reynolds (Re) e da rugosidade superficial do tubo. O diâmetro hidráulico do duto interno será calculado em função do diâmetro interno do duto externo do sistema supersaturador (De) e

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

do raio do difusor interno (D_i) – ver detalhe figura 1 - que tem a função de injetar ar no escoamento (equação 4).

$$D_h = D_e - D_i \quad (4)$$

A rugosidade das superfícies será adotada como sendo de um duto de aço revestido de esmalte com valor de 0,03 mm [23]. A partir da rugosidade superficial e do Re pode-se calcular a perda de carga no um sistema supersaturador de água

De acordo com a Figura 1 o ar será injetado sob pressão dentro do duto do saturador (1) por meio de um difusor gasoso (2) e deverá manter um nível d'água pré-determinado sendo monitorado por meio de um visor de nível externo (3).

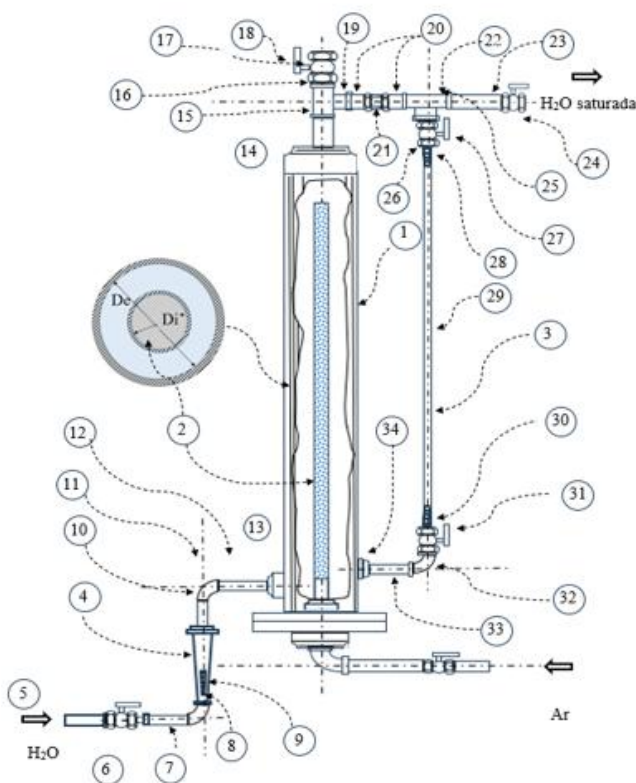


Figura 1 – Configuração proposta do sistema de geração de água supersaturada

O escoamento deve ser mantido no regime turbulento de forma a facilitar a difusão gasosa. Para que o controle do sistema seja feito optou-se por instalar um medidor de vazão do tipo rotâmetro na entrada do duto do saturador (4). O sistema de circulação do saturador terá um diâmetro de $\frac{3}{4}$ " ou 1" a ser investigado/selecionado posteriormente sendo que a entrada de água (5) controlado por um registro (6) conduz o fluido por um

trecho de tubulação e 1,0 metro linear (mL) (7) que tem conectado um cotovelo (8) ligado por meio de um niple (9) a um rotâmetro (4) que leva a água por um tubo de 0,5 mL (10) passando por um cotovelo (11) e trecho de tubulação de 1,0 (mL) (12) até a entrada (13) do duto do saturador (1) que tem 2,5 (mL) e diâmetro interno de 4". A água passa pelo duto do saturador (1) e é saturada para ar injetado pelo difusor de $\frac{3}{4}$ " com comprimento de 2 (mL) (2) saindo na parte superior do duto (1) por meio de uma saída (14) de 2" a um trecho de tubulação de 2" de 0,5 (mL) (15) ligado a "te" de saída lateral 2" (16). A saída reta do "te" 2" (16) está conectada a um por niple 2" (17) a registro de serviço 2" (18). A saída lateral está conectada por bucha de redução 2" para $\frac{3}{4}$ " (19) a duto com 1,5 (mL) (20) que tem no seu trecho médio uma válvula unidirecional (21) ligada a um "te" de passagem (22) conectado a um duto com 0,5 (mL) (23) conectado a registro de saída (24). A saída lateral do "te" (24) é conectada a uma bucha de redução de $\frac{3}{4}$ " para $\frac{1}{2}$ " (25) que tem um niple de $\frac{1}{2}$ " (26) conectado a registro de controle de esfera de $\frac{1}{2}$ " (27) com adaptador espigão para mangueira de $\frac{1}{2}$ " (28) ligada por uma mangueira cristal de $\frac{1}{2}$ " (29) componente do visor de nível externo (3). Essa mangueira é conectada a adaptador espigão para mangueira de $\frac{1}{2}$ " (30) conectado a registro de controle de esfera de $\frac{1}{2}$ " (31) ligado por meio de cotovelo de $\frac{1}{2}$ " (32) a um trecho de duto de $\frac{1}{2}$ " de 0,5 (mL) (33) conectado a entrada no duto (1) por meio de entrada de $\frac{1}{2}$ " (34). A perda de carga esperada no saturador gasoso é obtida pelo método de comprimento equivalente que pode ser calculado a partir do comprimento retificado de cada peça e que permite substituir os acessórios por um comprimento de tubulação reta de mesmo diâmetro e material, na qual ocorra uma perda de carga igual àquela que acontecerá no acessório.

Resultados e discussão

A partir dos cálculos hidráulicos, foram geradas tabelas com os valores de velocidade de trânsito, Número de Reynolds (Re), fator de perda de carga e perdas de carga internas para diferentes diâmetros de dutos e vazões. Verificou-se que as perdas de carga internas no duto principal do saturador são desprezíveis para as vazões de trabalho (menor que 2%). Por critérios de facilidade de montagem e manutenção, optou-se por um duto central de 4 polegadas (100 mm) com um tubo difusor interno de 20 mm. Para o circuito hidráulico de alimentação, os cálculos indicaram que um diâmetro de 1 polegada (25 mm) é o ideal, pois diâmetros menores resultariam em perdas de carga elevadas e processos de descompressão que poderiam dispersar os gases saturados. A fim de

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

validar o sistema, foram realizados ensaios em ambiente controlado, utilizando um instrumento tipo sonda imersível juntamente de sua unidade de processamento previamente calibrada pela fabricante, a qual fornece a porcentagem total de gás dissolvida na água (precisão 1%), pressão barométrica (1mm·Hg) e temperatura (0,2°C). A figura 2 apresenta os resultados dos testes desse tipo de saturador (figura3).

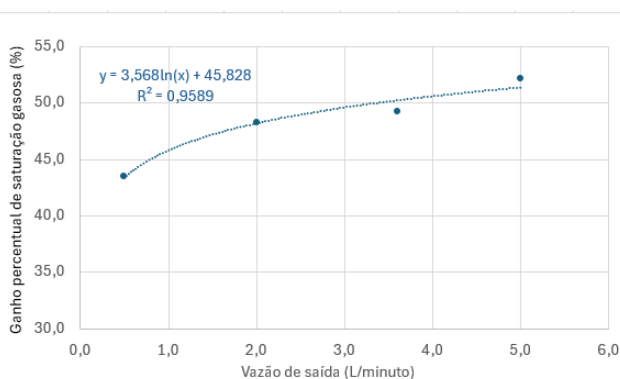


Figura 2– Ganho de saturação obtida no saturador



Figura 3– Saturador testado

Conclusões

O dimensionamento resultou em um sistema de saturação gasosa composto por um duto principal de 4 polegadas (100 mm), um difusor interno de ¾ de polegada (20 mm) e um comprimento de 2,5 metros. Essas dimensões foram selecionadas para facilitar os procedimentos de montagem e limpeza em campo. O circuito de alimentação do saturador foi definido com 1 polegada (25 mm) para evitar perdas de carga excessivas e a descompressão indesejada do fluido. O sistema projetado mostrou-se eficaz, alcançando ganhos de saturação de 50% de saturação em testes iniciais, validando o dimensionamento para futuras investigações com a ictiofauna neotropical.

Agradecimentos

Os autores manifestam seus agradecimentos à UNIFEI, ANEEL, SINOP, FAPEMIG e CNPQ pelo suporte para realização desse trabalho.

Referências

- [1] Don E. Weitkamp; Max Katz, “A Review of Dissolved Gas Supersaturation Literature,” Transactions of the American Fisheries Society, p. 45 , 2012.
- [2] Rucker, R. R. and K. Hodgeboom., “Observations on gas bubble disease of fish.,” The Progressive Fish-Culturist, vol. 15(1), pp. 24 - 26, 1953.
- [3] Zarfl, C., Lumsdon, A.E., Berlekamp, J. et al., “A global boom in hydropower dam construction.,” Aquat Sci, vol. 77, pp. 161 - 170, 2015.
- [4] Agostinho, A. A., D. C. Alves, L. C. Gomes, R. M. Dias, M. Petrere Jr & F. M. Pelicice, “Fish die-off in river and reservoir: A review on anoxia and gas supersaturation.,” Neotropical Ichthyology, vol. 19 (3), 2021.
- [5] Deng, Y., C. Cao, X. Liu, Q. Yuan, C. Feng, H. Shi, Y. Yang & Y. Wu., “Effect of Total Dissolved Gas Supersaturation on the Survival of Bighead Carp (Hypophthalmichthys Nobilis).,” Animals, vol. 10(1):166, 2020.
- [6] Marcela Politano, Alejandro Castro, and Boualem Hadjerioua, “Modeling Total Dissolved Gas for Optimal Operation of Multireservoir Systems,” Journal of Hydraulic Engineering Archive, vol. 143, nº 6, 2017.
- [7] Andrade, F., I. G. Prado, R. C. Loures & A. L. Godinho., “Evaluation of techniques used to protect tailrace fishes during turbine maneuvers at Tres Marias Dam, Brazil.,” Neotropical Ichthyology, vol. 10 (4) , pp. 723 - 730, 2012.
- [8] Silva, L. G. M., L. J. Baumgartner, Z. D. Deng & H. P. Fjeldstad, “Hydropower development and fish management: a food-water-energy nexus requiring international and multidisciplinary approach,” Marine and Freshwater Research, Vols. %1 de %269(12):I-Iii, 2018.

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

- [9] Richard S. Brown, Brett D. Pflugrath, Alison H. Colotelo, Colin J. Brauner, Thomas J. Carlson, Z. Daniel Deng, Adam G. Seaburg,, “Pathways of barotrauma in juvenile salmonids exposed to simulated hydroturbine passage: Boyle's law vs. Henry's law,” *Fisheries Research*, pp. 43-50, 2012.
- [10] Paul C. Kusnierz, Kenneth A. Bouwens, Andrew L. Ransom, “Predicting the likelihood of gas bubble trauma in fishes exposed to elevated total dissolved gas in the lower Clark Fork River, Idaho,” *Transactions of the American Fisheries Society*, p. 39–54., 2024.
- [11] Pompeu, P.S. ; Luiz Felipe Mascarenhas Horta, L.F.M.; Martinez, C.B., “Evaluation of the Effects of Pressure Gradients on Four Brazilian Freshwater Fish Species,” *BRAZILIAN ARCHIVES OF BIOLOGY AND TECHNOLOGY*, vol. Vol. 52, nº n. 1, pp. 111 - 118, 2009.
- [12] BoucIk, Gerald R., “Etiology of Gas Bubble Disease,” *Transactions of the American Fisheries Society*, pp. 703 - 707, 1980.
- [13] A. V. Nebeker; D. G. Stevens; J. R. Brett, “Effects of Gas Supersaturated Water on Freshwater Aquatic Invertebrates in Gas Bubble Disease,” *TERDA Technical Information Center*, Oak Ridge, Tennessee, 1976.
- [14] Marcos Vinicius Andriolo, Anderson Nascimento de Araújo, Carolina Fontanelli, “Installation of deflector in Colider Dam to minimize the percentual of total dissolved gases,” *Brazilian Journal of Water Resources*, vol. 28, nº 25, 2023.
- [15] Liu X, Li N, Feng C, Fu C, Gong Q, Lai J, “Lethal effect of total dissolved gassupersaturated,” *Scientific Reports*, vol. 9 , 2019.
- [16] Velázquez-Wallraf, A., Fernández, A., Caballero, M.J. et al., “Establishment of a fish model to study gas-bubble lesions.,” *Scientific reports*, 2022.
- [17] Pleizier NK, Algera D, Cooke SJ, Brauner CJ., “A meta-analysis of gas bubble trauma in fish.,” *Fish Fish.*, vol. 21, p. 1175–1194, 2020.
- [18] William L. Gale, Alec G. Maule, Ann Postera, Mary H. Peters, “Acute exposure to gas-supersaturated water does not affect reproductive success of female adult chinook salmon late in maturation,” *RIVER RESEARCH AND APPLICATIONS*, pp. 555 - 576, 2004.
- [19] Deng Y, Cao C, Liu X, Yuan Q, Feng C, Shi H, Yang Y, Wu Y., “Effect of Total Dissolved Gas Supersaturation on the Survival of Bighead Carp (*Hypophthalmichthys Nobilis*).,” *Animals (Basel)*., vol. 10, nº 1, 2020.
- [20] E. M. Dawley; M. Schiewe; Schiewe, “Effects of Long-Term Exposure to Supersaturation of Dissolved Atmospheric Gases on Juvenile Chinook Salmon and Steelhead Trout in Deep and Shallow Test Tanks - in *Gas Bubble Disease / D. H. Fickeisen & M. J. Schneider*,” 1976.
- [21] D. H. Fickeisen; M. J. Schneider, “Gas Bubble Disease,” 1976.
- [22] Abernethy, Cary S, and Amidan, Brett G., “Laboratory Studies of the Effects of Pressure and Dissolved Gas Supersaturation on Turbine-Passed Fish,” U.S. Department of Energy under Contract DE-AC06-76RL01830, Printed in the United States of America, 2001.
- [23] Lencastre, A., *Handbook of Hydraulic Engineering*, 1987.