

BANCADA DE TESTES DE PEIXES NEOTROPICAIS DE PEQUENO PORTE

los Barreira Martinez¹; Dieimys Santos Ribeiro²; Guilherme Ferraz³; Gabriel Balbino Piccoli Rocha⁴ Luiz Gustavo Martins Silva⁵; Andrey L. Fagundes de Castro⁶; Juliano Mafra Neves⁷ & Liandro da Rosa⁷

Abstract: The effects of total dissolved gases (TDG) on fish are usually conducted in laboratory environments where individuals are subjected to various gas saturation conditions and their behavior and survival condition are observed. The generation of these gas saturation conditions and the control of total dissolved gases are carried out using specially designed saturator equipment that is attached to test tanks of proportional size to the individuals to be tested. These tanks must have openings (windows) so that the fish can be monitored during the tests either by visual observation or by video cameras. This article presents a study on the relationship between the live mass that can be hosted per liter of water in test tanks and then a model of a test bench for small individuals (fish) that can be used in laboratories with restricted areas and that can be an important tool for expanding studies on the influence of total dissolved gases (TDG) on neotropical fish.

Keywords - Gas saturation, environmental impact, test benches.

Resumo: Os efeitos de gases totais dissolvidos (TDG) em peixes são normalmente conduzidos em ambientes de laboratório onde indivíduos são submetidos a condições diversas de saturação gasosa e seus comportamentos e condição de sobrevivência são observados. A geração dessas condições de saturação gasosa e o controle dos gases totais dissolvidos são feitos por meio de equipamentos saturadores especialmente desenhados que são acoplados a tanques de testes de dimensões proporcionais às dos indivíduos a serem testados. Esses tanques devem possuir aberturas (janelas) que permitam o acompanhamento dos peixes durante os ensaios quer por meio de observação visual ou por meio de câmeras de vídeo. Este artigo apresenta um estudo sobre a relação entre a massa viva que pode ser hospedada por litro de água em tanques de teste e na sequência um modelo de bancada de testes de indivíduos (peixes) de pequeno porte que pode ser utilizada em laboratórios com áreas restritas e que pode constituir-se em uma ferramenta importante para a ampliação dos estudos sobre a influência dos gases totais dissolvidos (TDG) em peixes neotrópicos.

Palavras-Chave – Saturação gasosa, impacto ambiental, bancadas de teste.

INTRODUÇÃO

O estudo sobre a influência de fatores externos na capacidade de nado e na sobrevivência de peixes normalmente é feito em ambientes controlados e monitorados de forma a permitir que o comportamento dos indivíduos seja observado e anotado. Assim, projetar esses locais de teste é uma tarefa que exige o conhecimento das dimensões e características das espécies a serem estudadas e o fenômeno que se quer observar. A literatura apresenta um conjunto de aparatos de teste destinados a

1 PPGEM /MPEH / UNIFEI &. PPGMEC / UFMG. Av. BPS, 1303. Itajubá / MG. e-mail: cmartinez@unifei.edu.br;

2 PPPGEL / UNIFEI. Av. BPS, 1303. Itajubá / MG. e-mail: dieimys@unifei.edu.br;

3 HVEX. R. Ismael Pinto de Noronha, 86 / MG, Itajubá / MG. e-mail: hvexferraz@gmail.com;

4 UNIFEI. Av. BPS, 1303. Itajubá / MG. e-mail: d2021025373@unifei.edu.br;

5 Cientista G.P. em Ec hidráulica da ETH-Zurich / Suíça, e-mail: lumartins@ethz.ch;

6 DCNAT/ UFSJ. Pça Dom Helvécio, 74 Bairro Fábricas - São João del Rei – MG. e-mail: andreycastro@ufsj.edu.br

7 SINOP ENERGIA. Av. dos Flamboyants, 684, Jardim Botânico, Sinop/MT, CEP: 78.556-024.

e-mail: juliano.mafra@sinopenergia.com.br / liandro.rosa@sinopenergia.com.br.

esse tipo de atividade e demonstra a importância do dimensionamento correto das seções de teste para sucesso da pesquisa. Estes trabalhos serão usados como um banco de dados para o dimensionamento dos tanques objeto dessa investigação

REVISÃO DA LITERATURA

O trabalho apresentado na publicação *Gas Bubble Disease*, TIC (1976) por Blahm *et al.*, (1974), apresenta uma câmara de testes de juvenis de salmão e truta prateada cujos indivíduos têm comprimento da ponta do focinho até o vértice da nadadeira caudal (comprimento furcal) entre 100 e 300 mm. Esse tanque, utilizado para testar a evitação de áreas afetadas por supersaturação gasosa na água tem uma dimensão de 3.300 mm de comprimento por 1.500 mm de largura com lâmina de água de 330 mm e duas seções onde se colocavam os indivíduos sob diferentes condições de pressão. Uma bancada para medição do impacto do TDG na função cognitiva e no desempenho de natação de peixes foi descrita por Liao *et al.* (2024) e consistia de um aparato em formato de “T” com braços de 300 mm e profundidade e largura de 100 mm que foi usado para a pesquisa com *Oryzias latipes* (Medaka) que é considerado um organismo modelo em pesquisas biológicas o comprimento furcal desses indivíduos é de aproximadamente 40 mm. Para a investigação do impacto da supersaturação na capacidade de nado de peixes diversos autores, Yuan *et al.* (2018) e Wang *et al.* (2018), utilizaram uma bancada da Loligo Systems SW10150, modelo Denmark, com seção de teste de 380 x 100 X 100 mm e investigaram indivíduos de *S. prenanti* com 75 mm e *Myxocyprinus asiaticus* com 600 mm. Uma câmara hiperbarica (até 0,5 bar) para operar com TDG em torno de 120% foi desenvolvida para o estudo do impacto da saturação gasosa peixes (*Carassius auratus*) com dimensões furcais de 170 mm, Velásquez *et al.* (2022). Apesar dos autores não terem explicitado as dimensões da câmara, uma análise das figuras indica que ela tem em torno de 1.200 mm de comprimento, 350 mm de largura e 400 mm de altura sendo equipada com uma janela de visualização de 850 X 210 mm. A capacidade natatória da espécie neotropical de água doce *Pimelodus maculatus* (comprimento furcal 230 mm) foi medida em um respirometro do tipo proposto por Brent com uma seção de teste de diâmetro interno de 144 mm e comprimento de 1120 mm esse aparato foi utilizado em diversas experimentações e permitiu um avanço significativo no entendimento da capacidade de peixes, Santos *et al.* (2008); Viana *et al.* (2013); Santos *et al.* (2004); Vicentini e Martinez (2009); Sampaio *et al.* (2012); Sampaio *et al.* (2016); Santos *et al.* (2007). Estudos desenvolvidos sobre barotrauma em peixes também se utilizaram bancadas destinadas a esses experimentos. Um dos aparatos foi idealizado para testes individuais podendo conter indivíduos de até 120 mm e tem uma seção de 100 mm de diâmetro e 450 mm de comprimento, Magalhães *et al.* (2010); Magalhães *et al.* (2009). A PACIFIC NORTHWEST NATIONAL LABORATORY, ABERNETHY *et al.* (2001), emitiu uma publicação descrevendo um conjunto de aparatos e dentre eles apresentou uma câmara hiperbárica (4 bar) com 275 mm de diâmetro e com 550 mm de comprimento destinada a estudos de barotrauma. Essa câmara foi projetada para receber diversos indivíduos ao mesmo tempo. Nessa mesma linha foi desenvolvido um aparato de descompressão para testes com diversos peixes no seu interior e com capacidade de suportar pressões de 4,5 bar e com diâmetro de 600 mm e altura de 400 mm, Beirão *et al.* (2015). As dimensões de tanques para teste de peixes sob condições de supersaturação foram objeto de um estudo que apresentou duas classes de tanques. A primeira para indivíduos de comprimento furcal de até 200 mm possui comprimento de 260 mm, largura 150 mm e altura de 120 mm. A segunda classe de tanques, para peixes de até 500 mm tem comprimento do tanque de 650 mm, largura 250 mm e altura de 300 mm, Martinez *et*

al. (2024a) e Martinez *et al.* (2024b). A figura 1 apresenta uma curva aproximada obtida de Martinez *et al.* (2024b) que permite obter o peso aproximado de indivíduos (peixes) em função do comprimento furcal. A tabela 1 a seguir apresenta um resumo das principais dimensões de tanques de teste de peixes obtidas na literatura. Nessa tabela pode-se perceber que alguns aparatos foram concebidos para abrigar ensaios com mais de um indivíduo. Os valores de massa dos indivíduos foram obtidos diretamente dos trabalhos consultados acima ou estimados a partir da comparação das figuras apresentadas com as dimensões dos aparatos. Para isso utilizou-se a curva da figura 1.

Figura 1 - Peso do indivíduo (gramas) versus comprimento furcal (mm)

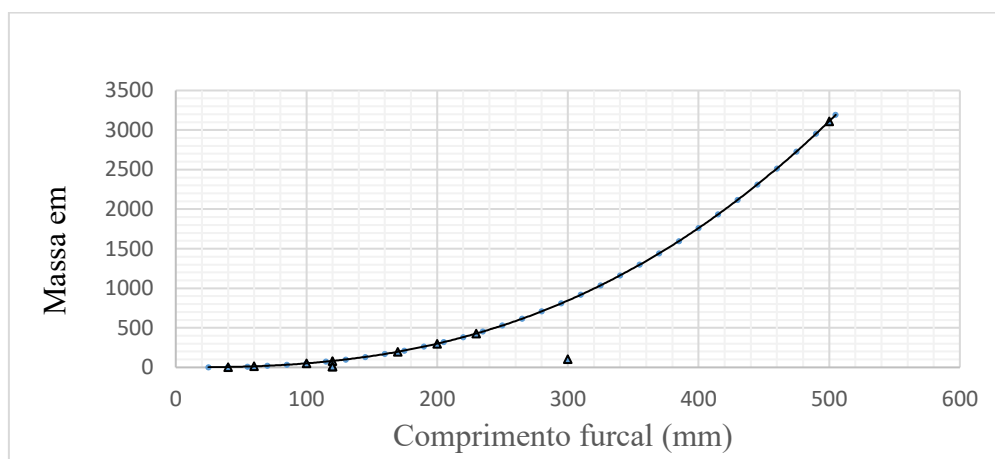


Tabela 1 – Relação peso (Gramas) pelo volume dos tanques (litros)

Referência	Número indivíduos	L. Furcal (mm)	Massa viva estimada (gramas)	Dimensões aparato (mm)				Relação massa ensaiado / volume (Gramas / Litro)
				Largura	Compr.	Prof.	Vol. (Litros)	
TECHNICAL (1976)	8	300	845	1500	3000	330	1485	4.5
Liao <i>et al.</i> (2024)	1	40	5	100	300	100	3	1.6
Yuan <i>et al.</i> (2024)	1	80	51	100	300	100	3	17.0
Wang <i>et al.</i> (2018)	1	60	14	100	380	100	4	3.6
Velasquez <i>et al.</i> (2022)	1	170	198	350	1200	400	168	1.2
Santos <i>et al.</i> (2008), Viana <i>et al.</i> (2013), Santos <i>et al.</i> (2004), Vicentini <i>et al.</i> (2009), Sampaio <i>et al.</i> (2019), Sampaio <i>et al.</i> (2016), Santos <i>et al.</i> (2019).	1	120	429	184	1120	144	30	14.4

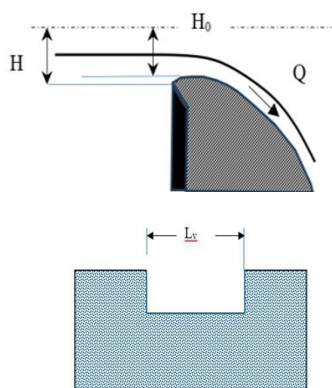
Tabela 1 – Relação peso (Gramas) pelo volume dos tanques (litros) – cont.

Magalhães <i>et al.</i> (2009), Magalhães <i>et al.</i> (2010).	2	120	81	100	450	100	5	18.1
Abernethi e Amidan (2001).	8	120	81	245	500	775	95	6.9
Beirão <i>et al.</i> (2015).	8	120	81	600	400	600	144	4.5
Martinez <i>et al.</i> (2015).	1	200	300	150	260	260	10	29.6
Martinez <i>et al.</i> (2024).	1	500	3112	350	650	650	148	21.0
média								8,0

A BANCADA DE TESTE

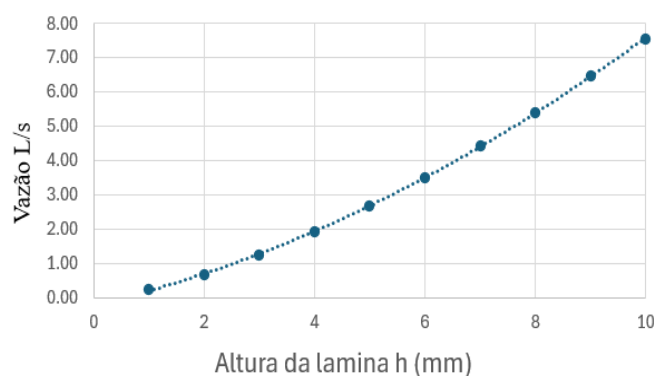
Para o desenvolvimento da bancada de teste partiu-se do entendimento que os testes serão conduzidos com apenas um indivíduo de cada vez e que as dimensões dos indivíduos devem ser limitadas a 100 mm que implica em pesos de aproximadamente 60 gramas. De acordo com a Tabela 1 o tem-se que cada litro de água de tanque pode ser utilizado para manutenção (em testes) de 8,0 gramas de massa viva. Assim o volume do tanque de teste deve ser de 7,5 litros. Também ficou estabelecido que serão feitos testes em 5 indivíduos por vez com um tanque controle o que totaliza 06 tanques por bancada sendo que uma dos tanques deve ser utilizado como controle. Devido a limitações de espaço físico a bancada será do tipo vertical, com ajustes de altura, saída individual e controle local de vazão. O controle de vazão deve ser feito por meio de vertedor retangular de parede fina cuja curva de vazão é dada pela equação de Francis, utilizando o coeficiente vazão igual a 2,46, Quintela (1985), pg 320, tal como apresentado na figura 2. O esboço da bancada é apresentado na figura 2 onde se pode notar os tanques posicionados verticalmente, o sistema de entrada de água saturada e o sistema de esgotamento.

Figura 2 - Vertedor Retangular



Sendo: $L_v = 90\text{mm}$

$$Q = 2,658 * L_v * H^{3/2}$$



As dimensões dos tanques de testes (7,5 litros) estão apresentadas na figura 3 a seguir. As figuras 4 e 5 apresentam a bancada de testes desenvolvida onde se pode notar o circuito de entrada de água supersaturada e os dutos de esgotamento dos tanques. Também é possível verificar os vertedores triangulares usados para aferir as vazões individuais dos tanques.

Figura 3 - Esboço da Bancada

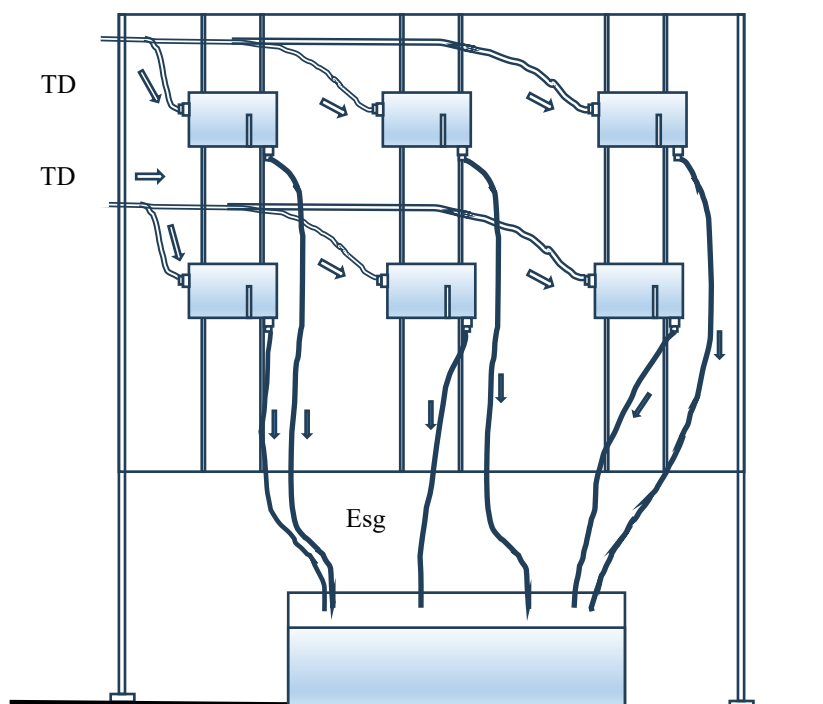


Figura 4- Tanques de teste de indivíduos de até 100 mm de comprimento furcal

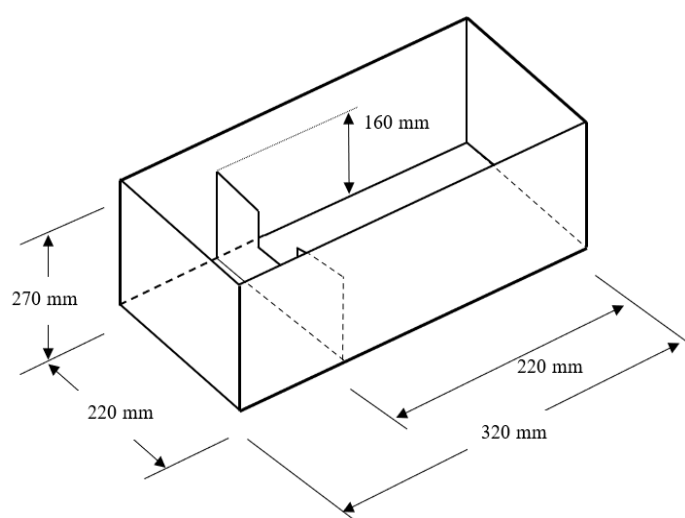


Figura 5 - Bancada montada



ENSAIOS DE COMISSIONAMENTO E RESULTADOS OBTIDOS

Para o comissionamento do sistema utilizou-se um saturador gasoso de pequeno porte e indivíduos de Tilápia (*Oreochromis niloticus* /espécie exótica) que foram adquiridos em um pesqueiro local. A bancada foi posicionada de forma a permitir filmagens e registros fotográficos dos indivíduos ao longo dos testes (Figura 6). Os testes foram feitos de acordo com a aprovação do Comitê de Ética no Uso de Animais, registrado sob o número CEUA nº 3265040425, e aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal de São João del-Rei (CEUA/UFSJ) em 5 de setembro de 2025. Após 02 horas de exposição dos peixes a taxas de saturação gasosa superiores a 120% pode-se perceber os primeiros sintomas da doença de bolhas, TIC (1976), que estão mostrados na figura 7. É importante deixar registrado que um dos tanques foi utilizado como tanque controle onde a saturação gasosa foi mantida em 100%.

Figura 6 – Resultado dos testes de comissionamento da bancada de testes TDG



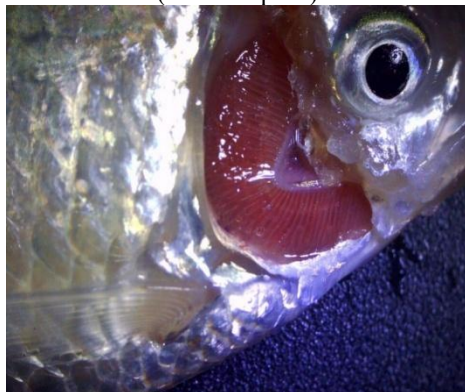
Figura 7 – Formação de bolhas em indivíduo testado (tilápia).



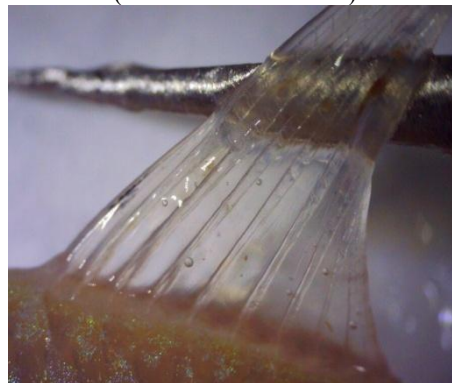
Na sequência foram feitos testes com o Lambari Rosa (*Astyanax altiparanae*) que apresentou concentração de bolhas nas brânquias (I), nadadeira dorsal (II), nadadeira caudal (III), nadadeira lateral (IV), olhos (V) e nadadeira caudal inferior (VI), vide a Figura 8. O tempo médio de óbito no aquário com 120% foi de 2:20 horas. Nesses testes também foi usado um tanque controle com saturação gasosa de 100%.

Figura 8 - Imagens da espécie Lambari Rosa (*Astyanax altiparanae*).

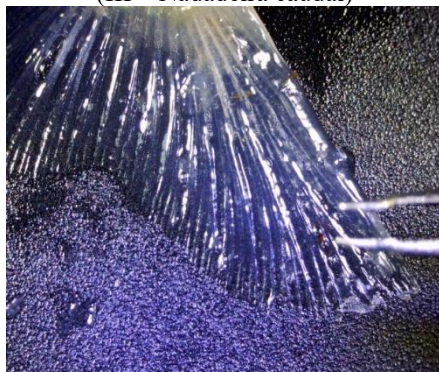
(I – Brânquias)



(II – Nadadeira dorsal)



(III – Nadadeira caudal)



(IV - Nadadeira lateral)



Figura 8 - Imagens da espécie Lambari Rosa (*Astyanax altiparanae*) – cont...

(V - Olhos)



(VI – Nadadeira inferior caudal)



CONCLUSÕES FINAIS

O dimensionamento do volume de tanques de teste carece de maiores detalhes na literatura. De uma forma geral os tanques são dimensionados de acordo com a experiência das equipes de pesquisadores e em função de características das espécies a serem testadas. A experiência com peixes Neotropicals é bastante escassa e a literatura raramente apresenta uma descrição detalhada das dimensões dos tanques. Assim a procura por valores representativos utilizados por diversas equipes ao redor do mundo pode ser uma ferramenta útil no sentido de facilitar o dimensionamento de bancadas de teste. Os valores médios obtidos na literatura mostraram que para cada litro de água pode-se hospedar em torno de 8 gramas de massa viva de peixe. Entretanto ao se observar a literatura pode-se verificar nitidamente que existem duas classes de tanques, quais seja: i) a de grandes volumes representada pelos autores Yuan *et al.* (2018); Santos *et al.* (2008); Viana *et al.* (2013); Santos *et al.* (2004); Vicentini e Martinez (2009); Sampaio *et al.* (2012); Sampaio *et al.* (2016); Santos *et al.* (2007); Magalhães *et al.* (2010); Magalhães *et al.* (2009); Martinez *et al.* (2024a) & Martinez *et al.* (2024b) que indica uma média de 18,1 gramas de massa viva por litro (desvio padrão de 5 gramas) e; ii) os autores TIC (1976); Liao *et al.* (2024); Wang *et al.* (2018); Velásquez *et al.* (2022); Abernethy *et al.* (2001) e Beirão *et al.* (2015) recomendam um valor de 3,7 gramas de massa viva por litro com ou desvio padrão de 1,9 gramas. O valor obtido por essa análise se encontra entre essas duas correntes e recomenda a hospedagem de 8 gramas de massa viva por litro de água armazenado. Os testes iniciais mostraram que os indivíduos colocados nas caixas se adaptaram bem e conseguiram se manter em bom estado durante a aclimação nos tanques. A observação do comportamento nesses tanques também foi considerada boa indicando que essa relação pode ser um indicativo de parâmetro para o projeto de sistemas de testes com peixes. Após a morte dos indivíduos foi feita a autópsia e verificou-se que existiam lesões típicas das doenças de bolhas. Os indivíduos controle (em saturação de 100%) em um dos tanques da bancada não apresentaram sintomas e sobreviveram a um período de observação de 96 horas sendo devolvidos aos tanques de manutenção e em perfeitas condições. Isso mostra que as dimensões dos tanques podem ser consideradas satisfatórias e podem ser usadas como orientação para futuros trabalhos.

AGRADECIMENTOS

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

BIBLIOGRAFIA

- ABERNETHY, CARY S, AND AMIDAN, BRETT G., (2001). *“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.
- BEIRÃO, B. V.; MARCIANO, N. C. B.; DIAS, L. S.; FALCAO, R. C.; DIAS, E. W.; FABRINO, D. L.; MARTINEZ, C. B.; SILVA, L. G. M.; WALKER, R. WW.; BROWN, R.; DENG, Z. DD. (2015). *“Barotrauma em peixes em usinas hidrelétricas: Ferramentas para o estudo,”* Boletim Sociedade Brasileira de Ictiologia Número 115, 2015.
- BLAHM T.H, McCONNELL B, SNYDER G, R. (1974). *“Gas supersaturation Research National Marine Fisheries Service Pescott Facility”* Tic - Technical Information Center (1974).
- JIALIN LIAO, HUI CHEN, XIN YANG, HAORAN SHI, QUAN YUAN, (2024). *“Impact of short-term total dissolved gas supersaturation on cognitive function and swimming performance in medaka (Oryzias latipes),”* Environmental Sciences Europe, p. 11, 3 10 2024.
- MAGALHÃES, V, P. F., MAGALHÃES, P. H. V., MARTINEZ C. B., (2010). *“Aparato para Avaliação do Efeito de Pressurização e de descompressão em Peixes,”* em XXIV Congresso Latinoamericano de Hidráulica, Punta Del Este, Uruguay, 2010.
- MAGALHÃES, V. P. F, (2009). *“Metodologia para Avaliação dos Efeitos de Pressão e Turbulência em Peixes”*., Belo Horizonte: UFMG, 2009.
- MARTINEZ, C.B, RIBEIRO, DIEIMYS SANTOS, FERRAZ, G. M. F., SILVA, L. G. CASTRO, A. L. F., NEVES, JULIANO MAFRA, (2024). *“Dimensionamento de Tanques de Teste de Influência dos Gases Dissolvidos em Água Em Peixes Neotropicais,”* em II FluHidros e XVI ENES, 2024.
- MARTINEZ, C.B, RIBEIRO, D.S. FERRAZ, G.M.F. FERRAZ, MARTINS, L.G., CASTRO, A, L. F., NEVES J. M., (2024). *“Dimensionamento de aparato de saturação gasosa para ensaio em peixes neotropicais,”* em Simpósio Nacional de Mecânica dos Fluidos e Hidráulica e XVI ENES - Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, Curitiba, agosto de 2024.
- QUAN YUAN, ZHIGUANG ZHANG, KEFENG LI, RUIFENG LIANG, BO ZHU, AND YUANMING WANG, (2024). *“Effect of Total Dissolved Gas Supersaturation on Swimming Performance of Migratory Fish for Traversing Velocity Barriers,”* Aquaculture Research, Vols. 1 de 2Volume 2024, p. 11, 19 August 2024.
- QUINTELA A. C., (1985). *Hidráulica, segunda ed.*, vol. 1, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1985, p. 519.
- SAMPAIO, M. CC; VINA, E. M. F., SANTOS, H. A., MARTINEZ, C. B., (2012). *“Análise da Capacidade Natatória de Peixes em Função do Tempo de Permanência em Laboratório,”* em VIII Simpósio Brasileiro Sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas, Porto Alegre – RS, 2012.

SAMPAIO, MILA & MARTINEZ, CARLOS & VIANA, EDNA & PILZ DE CASTRO, ANA & ANDRÉS, EDWIN & MANCILLA RICO, EDWIN, (2016). “*Análise da Capacidade Natatória de Peixes em Função do Intervalo de Tempo Incrementado nos Testes.*,” LIMA, PERÚ, 2016.

SANTOS, H. A., POMPEU, P. S., MARTINEZ, C. B., (2007). “*A Importância do Estudo da Capacidade Natatória de Peixes para a Conservação de Ambientes Aquáticos Neotropicais,*” RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 12, nº 3, pp. 141 - 149, 03 Jul 2007.

SANTOS, HA, POMPEU, PS, VICENTINI, GS, AND MARTINEZ, CB., (2008). “*Swimming performance of the freshwater neotropical fish: Pimelodus maculatus Lacepède, 1803,*” Braz. J. Biol., vol. 68, nº 2, pp. 433-439, 2008.

SANTOS, HERSÍLIA; FARIA V., EDNA M.; VICENTINI, GIUSEPPE C.; MARTINEZ, C. B., (2004). “*Estudo Comparativo das Velocidades de Nado das Espécies Brasileiras Pimelodus maculatus e Astyanax bimaculatus,*” em XXI Congresso Latinoamericano de Hidráulica, São Pedro, Estado de São Paulo, Brasil, Outubro, 2004.

TIC - TECHNICAL INFORMATION CENTER (1974) “*Energy Research and Development Administration, Gas Supersaturation Research National Marine Fisheries Service Prescott Facility—1971 to 1974,*” vol. 1, Washington: Published by Technical Information Center Energy Research and Development Administration, 1976, pp. 11 - 22.

VELÁZQUEZ-WALLRAF, A., FERNÁNDEZ, A., CABALLERO, M.J. *et al.*, (2022). “*Establishment of a fish model to study gas-bubble lesions.*,” Scientific reports, 2022.

VIANA, EDNA M. F.; MILA C. SAMPAIO; DÉBORAH LUISA LUCAS DA SILVA; HERSÍLIA DE A. E SANTOS; MARCO TULIO C. FARIA; CARLOS B. MARTINEZ, (2013). “*Determinação da Velocidade Real de Nado de Peixes dentro do Tunel Hidrodinâmico,*” Bento Gonçalves RGS - Brasil, 2013.

VICENTINI, GIUSEPPE CAMPOS; MARTINEZ, C.B., (2009). “*Levantamento da Velocidade Prolongada de Peixes — Um Estudo de Caso com o Mandi (Pimelodus Maculatus),*” RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos, p. 13, 29 jJun 2009.

YUANMING WANG, YONG LI, RUIDONG AN & KEFENG LI, (2018). “*Effects of Total Dissolved Gas Effects of Total Dissolved Gas Effects of Total Dissolved Gas Species in the Upper Yangtze River,*” Scientific Reports, vol. 8, p. 10, 03 July 2018.