

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

PROPOSTA DE SISTEMA DE TESTES DE HABITAT DE PEIXES NEOTROPICAIS

Carlos Barreira Martinez¹; Dieimys Santos Ribeiro²; Guilherme Ferraz³; Juliano Mafra Neves⁴ & Liandro da Rosa⁵

Abstract: This paper presents a proposal for a test apparatus to study the influence of gas supersaturation on fish habitat preference. To this end, the subject is investigated in relevant publications where procedures adopted to determine the preference of fish species according to various factors are observed. It begins with a study of methodologies for determining ecological flows based on consideration of the physiological aspects of individuals (fish) and then investigates a set of publications describing tests conducted in a laboratory environment. The main focus is on determining the physical dimensions of the benches and the respective flow rates, depths and working speeds depending on the species of fish, taking into account the furcal length versus mass ratio of the individual and the volume of the testing environment. The general arrangement obtained sought to maintain dimensions of live mass versus water volume consistent with data available in the literature and generated two bench models. The first was designed exclusively to assess the preference of fish for different levels of gas saturation and the second has an additional feature, which is to assess the impact of the swimming capacity of fish under different TDG conditions.

Keywords: Gas supersaturation; Ichthyofauna; Spillway; Hydroelectric power plant (HPP) operation.

Resumo: Este trabalho apresenta uma proposta de aparato de teste para estudo da influência da supersaturação gasosa sobre a preferência de habitats de peixes. Para tanto faz-se uma investigação desse tema em publicações relevantes onde são observados procedimentos adotados para a determinação da preferência das espécies de peixes em função de diversos fatores. Inicia-se com o estudo de metodologias de determinação de vazões ecológicas a partir de consideração aspectos fisiológicos dos indivíduos (peixes) e na sequência investiga-se um conjunto de publicações que descrevem testes conduzidos em ambiente de laboratório. O foco principal é dado na determinação de dimensões físicas das bancadas e das respectivas vazões, profundidades e velocidades de trabalho em função das espécies de peixes levando em consideração a relação comprimento furcal versus massa do indivíduo e volume do ambiente de testes. O arranjo geral obtido procurou manter dimensões de massa viva versus volume de água coerentes com dados disponíveis na literatura e gerou dois modelos de bancada. A primeira destinada exclusivamente a avaliar a preferência dos peixes para diversos níveis de saturação gasosa e a segunda com uma funcionalidade adicional que é a avaliação do impacto da capacidade de nado de peixes sob diversas condições de TDG.

Palavras-Chave – Saturação gasosa; Ictiofauna; Vertedouro; Operação de UHE.

1 PPGEM /MPEH / UNIFEI &. PPGMEC / UFMG. Av. BPS, 1303. Itajubá / MG. e-mail: cmartines@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 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.

INTRODUÇÃO

O problema da supersaturação gasosa devido a concentração de Gases Dissolvidos Totais (TDG) envolve diversas áreas de conhecimento humano e deve ser encarado por equipes profissionais de diversas áreas. Diante disso a “Teoria do Homem Universal” na qual um indivíduo tem conhecimento de todos os aspectos do fluxo de informações se torna frágil dando lugar a um ambiente onde cada profissional deve entender o suficiente sobre aspectos sistêmicos de forma a poder formular perguntas certas e saber se as respostas são razoáveis. Dentro dessa visão a formatação de experimentos destinados a investigar efeitos da modificação do escoamento a jusante de estruturas hidráulicas deve envolver diversas áreas, tais como a biologia, hidráulica, mecânica e de controle e automação etc. de forma que os aparatos destinados aos experimentos respondam de forma coerente às perguntas a serem formuladas. Assim um dos questionamentos a ser investigados trata da tolerância de espécies de peixes às águas supersaturadas e sobre quais são as preferências por habitats em função do nível de supersaturação gasosa. Define-se como habitat o lugar onde um organismo vive e se desenvolve, representado pelo conjunto de fatores bióticos e abióticos. As modificações da característica da água devido ao aumento da concentração de TDG na água que excede a capacidade de saturação natural sob determinadas condições de temperatura e pressão impacta a percepção dos indivíduos e muitas vezes pode levar a morte, Nebeker *et al.* (1976). Devido a isso surgiu a necessidade de se desenvolver aparatos de testes de preferência de habitats onde a variável a ser investigada é a concentração de TDG observando-se a variação de comportamento sob diversas situações de modo a ser possível contribuir para o entendimento do impacto da supersaturação gasosa sobre as comunidades de peixes Neotropicais.

REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Diversos autores têm se debruçado sobre a influência da concentração de TDG em peixes, entretanto esses estudos não enfocaram indivíduos (peixes) de regiões neotropicais, objeto dessa investigação. Os trabalhos sobre habitats devem levar em consideração a sucessão longitudinal de espécies em função de variáveis como profundidade média, velocidade média, temperatura, qualidade da água ou outras características que exibem mudança gradual. Esta perspectiva pode ser definida como uma abordagem de macro habitat para a ecologia fluvial, Bovee (1982), Bovee *et al.* (1998). O *Guidelines on the care and use of fish in research*, COUNCIL ON ANIMAL (2005), apresenta um conjunto de diretrizes de cuidado e uso de animais que devem servir de orientação para experimentos tanto em laboratório quanto em campo. Com relação a capacidade de hospedagem de indivíduos (peixes) recomenda que seja utilizada uma relação de 44 litros por grama de peixe divididos em 4 zonas experimentais o que representa 11 litros por grama de massa viva, DePasqual *et al.* (2020). Nessa mesma publicação é apresentado um aparato de teste experimental e um protocolo que recomenda usar uma pontuação de preferência para o uso da estrutura no habitat a partir do índice de preferência Jacobs (1974) que é calculado pela equação.

$$J = \frac{(r_x - p)}{[(r_x + p) - 2 * r_x * p]} \quad (1)$$

onde x é a zona de interesse, r_x é a razão entre os peixes na zona x e o número total de peixes em todas as zonas e p é a proporção disponível de todas as zonas no tanque experimental. As diversas características de macro habitat, como temperatura e qualidade da água, definem limites de adequação para diferentes espécies. Também é necessário levar em consideração características como geologia, elevação, declive e suprimento de água que determinam mudanças longitudinais na forma, padrão e dimensões do canal do rio. Nessa publicação os autores citam que os peixes e invertebrados não

respondem diretamente às características físicas do macro habitat; em vez disso, respondem às condições de micro-habitat associadas ao macro-habitat. Isso indica que é possível simular condições de micro-habitat e inferir, a partir daí, situações ao longo do rio. Ainda de acordo com a literatura a concentração do constituinte da água a partir da mistura com várias concentrações de elementos pode ser obtida a partir da equação 2, Bovee (1982), (pag. 28).

$$C_t = \frac{Q_r * C_r + Q_i * C_i}{Q_r + Q_i} \quad (2)$$

Onde: C_t é a concentração do constituinte após a mistura completa do material no curso d'água; Q é a vazão do rio acima do ponto de entrada “ r ” do produto químico ou da água saturada; C é a concentração de fundo do constituinte “ r ” no rio acima do ponto de entrada; Q_i é a vazão do emissário, e C_i a concentração do constituinte no emissário. A extensão do comprimento da mistura - CM - em pés pode ser estimada pela equação 3.

$$CM = \frac{0,058 * W^2 * V}{D^{3/2} * S^{1/2}} \quad (3)$$

onde “ W ” é a largura superior do curso d'água em pés; “ V ” a velocidade média em pés/seg; “ D ” é a profundidade média em pés; “ S ” o declive da superfície da água para o trecho. Outra observação importante é que as principais espécies de caça, esporte ou comércio devem estar entre as espécies-alvo, Bovee (1982). Os experimentos desenvolvidos por, Lambert e Hanson (1989), com trutas com comprimento furcal de 30 cm indicou que peixes maiores foram encontrados em profundidades de até 240 cm sendo que a maioria dos indivíduos observados foi encontrado na metade inferior da coluna d'água. Esse autor verificou que os indivíduos da mesma espécie tendem a se agrupar em habitats comuns. Um estudo sobre vazões residuais, desenvolvido no Rio Timbuí no trecho dentro da reserva biológica Santa Lúcia, município de Santa Teresa no estado do Espírito Santo, descreve que as informações físicas coletadas e utilizadas foram: a) profundidade do rio; b) velocidade da água a 50% da profundidade do curso, Sarmento *et al.* (1999), o que, em parte, coincide com outros autores Bovee (1982), Bovee *et al.* (1998). A avaliação do bem-estar de peixes foi objeto de um estudo desenvolvido por Volpato *et al.* (2005), Volpato *et al.* (2007), que listou 13 itens a serem considerados nos estudos, quais sejam:

- i. *Opções no teste de preferência. Quanto mais opções são dadas, mais estaremos próximo do fator preponderante que conduz a preferência do peixe no aspecto em teste;*
- ii. *Opção por Testes em laboratório ou no habitat da espécie. Em alguns casos a condução de testes de preferência no próprio habitat dos animais pode ser um bom instrumento, mas dependendo do ambiente isso pode se tornar inviável (nota dos autores);*
- iii. *Contraste das opções de escolha com alguma reconhecidamente preferida. A recomendação é criar um ambiente com o mais amplo espectro de ofertas, de forma que se possa assumir que alguma condição preferida esteja presente;*
- iv. *Contraste das opções de escolha com alguma reconhecidamente aversiva. Isso reforça que no sistema de teste o animal pode evitar coisas desagradáveis;*
- v. *Vieses do aparelho no teste de preferência. Antes que o teste seja conduzido, devemos afastar toda possibilidade de que o aparelho de teste (ou local de teste) determine ou afete a preferência do peixe;*
- vi. *Vieses espaciais do animal. Alguns animais têm clara preferência pelo lado esquerdo (canhotos), ou pelo lado direito (dextros);*
- vii. *Tendência inata e aprendizagem. A preferência inata por algumas escolhas tais como substratos ou iluminação podem interferir nas escolhas dos indivíduos;*

- viii. *Quantificação da preferência. As variáveis mais frequentemente quantificadas nos testes de preferência são a latência para exibir certo comportamento, tempo gasto em cada local ou condição e frequência de vezes que ocupa cada local ou condição;*
- ix. *Medida da intensidade da preferência. Saber o que um peixe prefere não é o mesmo que conhecer o quanto ele investe nessa escolha. Para conhecer essa intensidade de preferência, ao menos em outros vertebrados, os pesquisadores têm usado testes que impõem aos animais dificuldades crescentes, de forma a se avaliar até que ponto eles enfrentam e mantem a preferência;*
- x. *Ritmos biológicos. O horário do dia pode afetar a reação dos peixes em testes de preferência onde, por exemplo, a percepção visual seja importante;*
- xi. *Condição social. Muitos testes de preferência devem ser realizados em montagens experimentais (no campo ou no laboratório) para se conseguir o controle de variáveis que fogem de sua realidade no ambiente natural;*
- xii. *Preferência ou maior atenção? Atentar que uma característica testada pode chamar mais a atenção do animal, levando a uma interpretação equivocada do teste de preferência. Uma forma de amenizar tal problema é por meio da repetição dos testes num mesmo indivíduo;*
- xiii. *Inferências precipitadas. Um equívoco que se observa é que o peixe pode escolher algum alimento e, a partir daí, infere-se que ele prefira um certo componente desse alimento.*

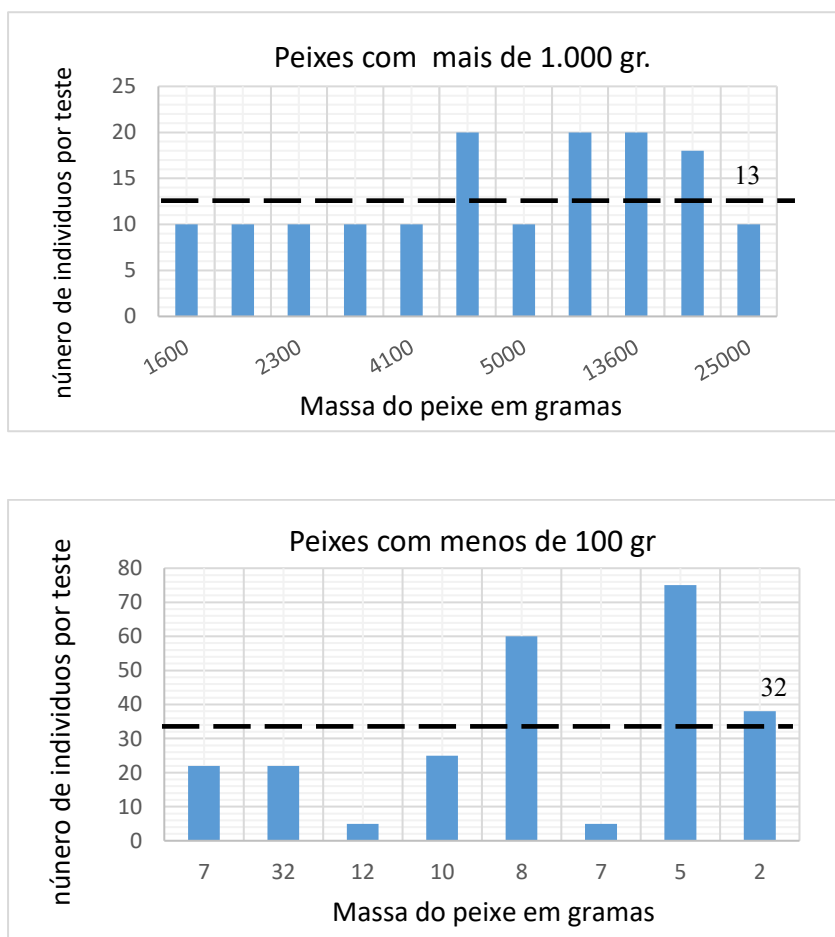
Uma informação pertinente pode ser obtida na Publicação intitulada “Preferências de habitat de peixes nativos comuns em um rio tropical no Sudeste do Brasil”, Costa *et al.* (2013), onde os autores descrevem a preferência de indivíduos de sete espécies diferentes em função de profundidade, velocidade do escoamento e tipo de substrato. A Preferência de habitat do lambari, *Hyphessobrycon luetkenii* (Characidae), na lagoa do Peri, Ilha de Santa Catarina foi objeto de uma publicação Hensen *et al.* (2016), que apresentou técnicas de coleta de indivíduos e a abundância em diversas áreas da lagoa associadas a ausência / presença de macrófitas no local e a profundidade concluindo que essa espécie tem preferência por habitats em regiões rasas e com presença de macrófitas. O Guia para métodos e análise de pesquisa de habitat fluvial, Jowett *et al.* (2008), apresenta alguns pontos que devem ser observados em trabalhos de preferência de habitats, quais sejam: i) observe a profundidade, velocidade e cobertura fluvial; ii) faça amostragem de uma ampla gama de habitats, se possível; iii) colete o máximo de dados sobre adequação de habitat e revise os critérios à medida que mais dados se tornam disponíveis; iv) tenha em mente que a preferência por habitat é baseada na comparação do habitat em que a espécie é encontrada e os habitats disponíveis, mas interprete os resultados com cuidado; v) considere o estágio de vida ou atividade com a maior necessidade de vazão e não confunda as atividades (por exemplo, repouso e alimentação). DePasqual *et al.* (2020), apresenta um método para avaliar as preferências de habitat em animais em cativeiro. O protocolo pode ser facilmente adaptado para considerar uma variedade de fatores ambientais (por exemplo, cascalho versus areia como substrato, plantas de plástico versus plantas vivas, baixo fluxo versus alto fluxo de água) em diferentes espécies aquáticas ou para uso com espécies terrestres. O artigo “Testes de preferência social em peixes-zebra: uma revisão sistemática”, Ogi *et al.* (2021), apresenta os principais fatores que afetam o comportamento do peixe-zebra durante testes de preferência social. Os autores identificaram três categorias de pesquisa social usando peixe-zebra: estudos realizados em peixe-zebra selvagem não tratado, em peixe-zebra selvagem tratado farmacologicamente e em peixes geneticamente modificados. O texto apresenta um aparato constituído de tanque de teste de preferência social com três câmaras (cinco áreas) e dois estímulos sociais que pode ser útil para um aparato de teste de preferência para águas super saturadas com TDG. Para se obter uma amostra que seja representativa do objeto de estudo é necessário determinar o tamanho de amostras. Miot (2011)

afirma que a escolha da fração populacional que compõe a amostra do estudo implica que o pesquisador assuma certo grau de erro relacionado à estimativa dos parâmetros populacionais de cada variável. Entretanto essa abordagem não se aplica a esse tipo de experimentação com animais vertebrados em testes de ecotoxicidade. Para isso fizemos uma análise de número de indivíduos usados em testes de supersaturação gasosa e obtivemos um parâmetro para dimensionar o número de indivíduos a serem selecionados para o teste de preferência de habitat. Esse resultado está apresentado na Tabela 1 a seguir que indica o uso de 13 indivíduos com mais de 1.000 gr. e 33 indivíduos com menos de 100gr. em cada teste para um determinado nível de TDG. Devido à dificuldade de encontrar relatos do número “n” para indivíduos entre 100 gr. e 1.000 gr. na literatura iremos adotar para esse caso “n” igual a 23 que é média entre os dois valores obtidos.

Tabela 1 - Número de indivíduos por teste (n).

Indivíduos > 1.000 gr. – n média 13		
Massa (gr.)	n (teste)	Referência
1600	10	Bouck (1976), pg. 12
2050	10	Bouck (1976), pg. 12
2300	10	Bouck (1976), pg. 12
2300	10	Bouck (1976), pg. 12
4100	10	Bouck (1976), pg. 12
4500	20	Bouck (1976), pg. 01.
5000	10	Bouck (1976), pg. 01.
11400	20	Bouck (1976), pg. 12.
13600	20	Bouck (1976), pg. 01.
25000	18	Bouck (1976), pg. 14.
25000	10	Bouck (1976), pg. 22.
Indivíduos <100 gr. – n média 32		
Massa (gr.)	n (teste)	Referência
7	22	Ogi <i>et al.</i> (2021).
32	22	Quan <i>et al.</i> (2024).
12	5	Xin <i>et al.</i> (2024).
10	25	Quan <i>et al.</i> (2024).
8	60	Liu <i>et al.</i> (2019).
7	5	Yuan <i>et al.</i> (2024).
5	75	Wang <i>et al.</i> (2018).
2	38	Liau <i>et al.</i> (2024).

Figura 1- Número de indivíduos por teste (n).



Os níveis de saturação gasosa (TDG) a serem ensaiados devem seguir aqueles apresentados por Agostinho, et al. (2021) e não devem superar 150% e nem ter valores inferiores a 90%. A relação de massa viva versus volume de água de aparatos adotada nesse trabalho é de 14,4 gramas / por litro que corresponde a utilizada em experimentos com peixes neotropicais, Santos *et al.* (2008), Viana *et al.* (2013), Santos *et al.* (2004), Vicentini *et al.* (2009), Sampaio *et al.* (2012), Santos *et al.* (2007). Recomenda-se que os testes sejam feitos em triplicata de forma a dar robustez aos resultados.

MODELO DE APARATO PROPOSTO

O DIMENSIONAMENTO DO VOLUME DOS TANQUES

Parte-se do pressuposto que o aparato de teste deve abrigar em cada tanque um número de indivíduos simultaneamente que seja compatível com seu comportamento na natureza. Como estamos desenvolvendo um aparato para ser utilizado por espécies com massa superior a 1.000 gramas. Assim optamos por calcular um sistema que possa abrigar até 13 peixes (Tabela 1 e Figura 1) em testes de preferêcia de habitat. A hipótese adotada é que o aparato poderá propiciar um ambiente considerado natural, com água obtida de um rio ou do dos tanques de manutenção e mais quatro ambientes com distintos graus de TDG, 110%, 120%, 130% e 140% TDG por exemplo. Com esse arranjo teremos 05 seções com distintos habitats. Também optamos por calcular o aparato para abrigar indivíduos de até 500 mm de comprimento furcal que indica uma massa viva individual de aproximadamente 3.000 gramas. Dessa forma, adotando-se a recomendação acima apresentada (14,4 gramas / por litro) o volume do tanque deve ser de aproximadamente 540 litros. Utilizando as dimensões da Tabela 2 a seguir e adotando um tanque com lamina d'água igua a 3 vezes a maior altura de um individuo de 500 mm podemos inferir que a profundidade do tanque será de 375 mm. Utilizando-se uma borda livre de 125 mm tem-se um tanque de altura total de 500 mm. Caso a opção seja por ambientes de formato quadrado teremos 05 tanques de 1.200mm por 1.200 mm com 500 mm de altura e volume útil de 540 litros. Nesse caso o arranjo sugerido para esses tanques pode ser observado na Figura 2a, onde se apresenta um aparato em formato de cruz onde a região central é preenchida com água natural (rio) e é utilizada para a inserção de peixes no início dos testes. Os demais tanques são ligados por aberturas ao tanque central sendo que as taxas de TDG são obtidas por meio de mistura de água proveniente do saturador com água bruta usando a equação 2 para se determinar as porcentagens de mistura para se obter os valores desejados de TDG. O comprimento da mancha de TDG dentro dos tanques pode ser estimado pela equação 3. Isso será especialmente útil quando se desejar fazer testes de influência do aumento da saturação gasosa na capacidade de nados dos peixes. Para a determinação da distribuição da água com altos valores de TDG dentro dos tanques surge-se usar traçadores (tinta diluída) de forma a verificar zonas de baixas concentrações nos tanques. Caso seja detectado áreas de recirculação a sugestão é posicionar estruturas internas que eliminem essa característica nos tanques de teste. O controle dos níveis de saturação deve ser feito por meio de registros de vazão que podem ser operados manualmente ou por meio de válvulas automatizadas. Se a opção for por um sistema que permita fazer testes de habitat e de capacidade de nado dos indivíduos o arranjo adotado é um aparato em formato retangular, tipo canal, com os tanques sendo posicionados em paralelo. Nesse arranjo, vide Figura 2b, pode-se notar que a área de inserção dos peixes está situada em uma extremidade do aparato. Os tanques (seções) de teste de habitat estão posicionados lado a lado e tem a dosagem de TDG reguladas por meio de mistura de água proveniente do saturador com água natural usando para isso registros de controle de vazão. Seguindo as dimensões volumétricas anteriores (540 litros) por tanque de água saturada se obtém as dimensões de 3.600 mm de comprimento por 400 mm de largura e 500 mm de altura. O tanque utilizado para a inserção de peixes no início dos testes (água de rio) tem dimensões de 1.200 mm por 1.200 mm e 500 mm de altura. Todos esses tanques têm lâmina d'água de 375 mm com borda livre de 125 mm. A medição dos valores de TDG deve ser feita por meio de medidores disponíveis no mercado.

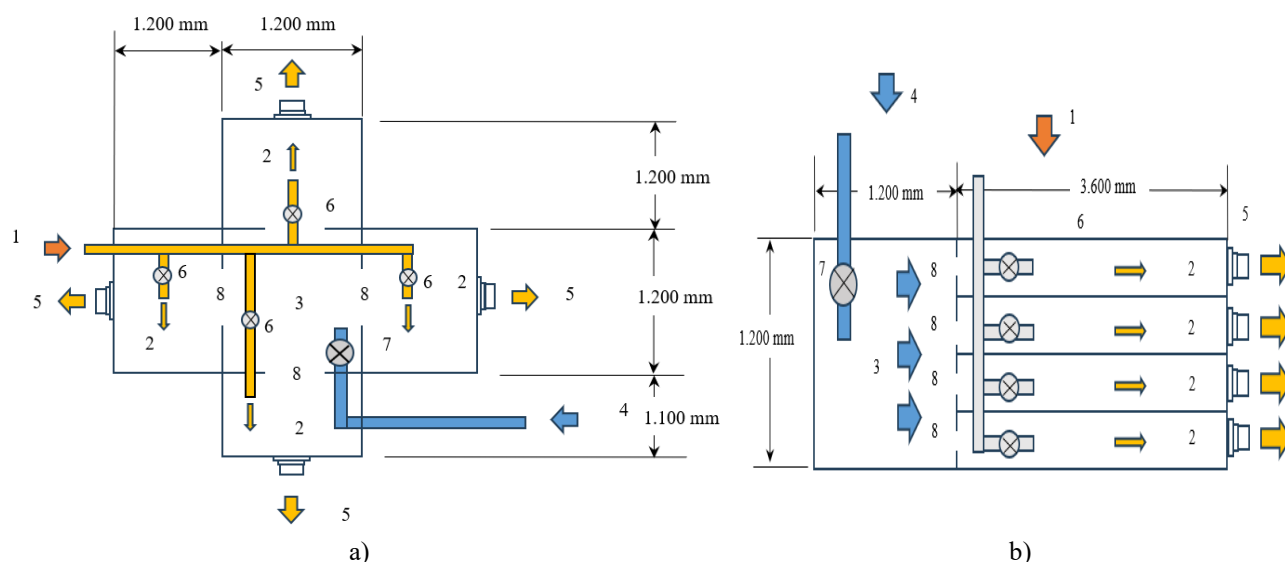
A observação do comportamento dos peixes deve ser feita por meio de filmagem dos experimentos com câmeras de vídeo posicionadas sobre e na lateral dos aparatos. As imagens devem ser armazenadas para análise posterior usando uma pontuação de preferência para o uso da estrutura no habitat a partir do índice de “preferência de Jacobs”, Jacobs (1974), que é calculado pela equação 1 já apresentada.

Tabela 2 - Dimensões Características dos peixes

Comprimento do peixe (mm)	Peso do peixe (kg)*	Pintado		Curimatá	
		a _p (largura)	b _p (altura)	a _p (largura)	b _p (altura)
500	3.00	110	90	80	125
400	1.54	90	70	60	100
300	0.65	65	55	45	75
200	0.19	45	35	20	50
100	0.05	25	18	15	25
50	0.01	12	8	8	10

* adotamos o mesmo peso para as duas espécies.

Figura 2 - Modelo de bancada de testes em cruz.



1 – Entrada de água supersaturada.

2 – Tanques de teste(habitats).

3 – Tanque de água natural.

4 – Entrada de água natural (bruta / rio).

5 – Sistema de esgotamento de tanques de habitats.

6 – Registros de controle de vazão (TDG).

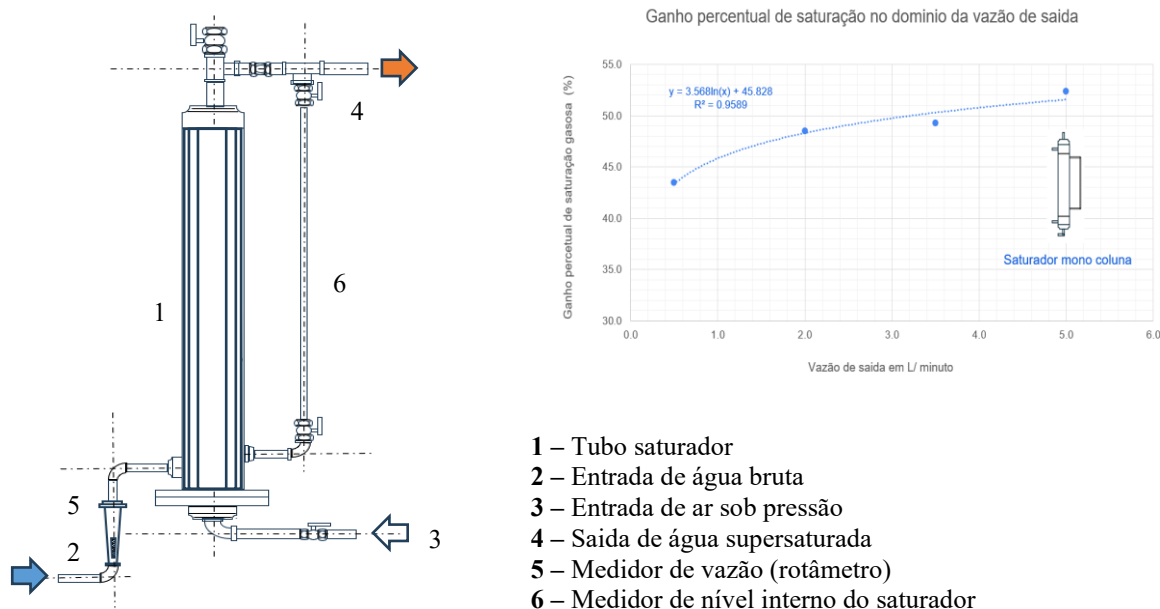
7 – Registro de controle (água bruta).

8 – Abertura de comunicação entre habitats (agua bruta / TDG).

O SISTEMA GERADOR DE TDG

O sistema de saturação gasosa usado para alimentar esse aparato é baseado no equipamento proposto por Martinez *et al.* (2024) e possui um sistema interno de difusor gasoso constituído por um duto permeável que produz um borbulhamento interno e permite uma elevada mistura ar/água. As dimensões do tubo saturador são: i) diâmetro de 4 polegadas (100 mm); ii) diâmetro do difusor interno $\frac{3}{4}$ de polegadas (20mm); iii) comprimento do duto central é de 2,5 metros. O circuito hidráulico de alimentação do saturador é de 1 polegada (25 mm). O sistema tem capacidade de elevar o TDG em 50% a partir de um valor de entrada da água de alimentação podendo facilmente produzir água saturada a 140%. A Figura 3 apresenta um desenho esquemático do saturador em questão e a curva de elevação de saturação no domínio da vazão de saída.

Figura 3 – Saturador gasoso utilizado Martinez *et al.* (2024).



RESULTADOS

Os aparatos propostos foram dimensionados a partir de um levantamento efetuado na literatura onde se identificou que a relação volume da água versus massa do peixe deve ser de 14,4 gramas de peixe vivo / por litro de água. Outro parâmetro obtido da literatura foi o número (n) de indivíduos a serem utilizados nos experimentos que variou em função da massa deles. Assim o “n” para peixes com menos de 100 gramas foi identificado como sendo em torno de 32. Para peixes com mais de 1.000 gramas o valor médio de “n” é 13. Diante disso recomendamos que para valores entre 100 gramas e 1.000 gramas se utilizem um “n” de 23 (valor médio). Esse número de indivíduos permite calcular a massa viva a ser mantida nos tanques e com isso o volume deles. A hipótese utilizada foi de 13 indivíduos com massa de 3.000 gr nos tanques. Com isso o volume da água em cada tanque é de 540 litros. O sistema é constituído por 5 tanques (seções) o que implica em um volume total de 2.700 litros. O primeiro aparato, em formato de cruz, segue um modelo utilizado para testes de habitat tradicional onde se consegue inferir a preferência dos peixes por determinadas situações, em especial de preferência por substratos e áreas de cobertura versus áreas não cobertas. Nesse aparato as seções têm dimensões iguais sendo constituídas de 5 tanques de 1.200 mm X 1.200 mm com 500 mm de altura. O segundo aparato, em formato retangular, permite verificar preferências por habitats e pode ser usado para medir a capacidade de nado de indivíduos submetidos a diversos níveis de TDG permitindo verificar a interferência do aumento de saturação gasosa no nado dos peixes. O aparato é constituído de 4 tanques com formato retangular com 3.600 mm X 400 mm com 500 mm de altura conectados a um tanque de 1.200 mm X 1.200 mm com 500 mm de altura. Os próximos passos serão a construção de modelos desses aparatos na escala 1:2 de forma verificar se existem regiões de recirculação que indiquem a necessidade de possíveis modificações nos sistemas de entrada / saída de água no sistema. Espera-se que esse tipo de sistema ajude a entender os efeitos de supersaturação gasosa em peixes contribuindo para a implantação de procedimentos de operação de vertedores que diminuam as mortes causadas pelo aumento de TDG.

AGRADECIMENTOS

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

REFERENCIAS

- AGOSTINHO, D. C. ALVES, L. C. GOMES, R. M. DIAS, M. PETRERE JR E F. M. PELICICE, (2021). *"Fish die-off in river and reservoir: A review on anoxia and gas supersaturation,"* Neotropical Ichthyology, 2021.
- BOUCK G.R., (1976). *"Gas Bubble Disease,"* Technical Information Center - Energy Research and Development Administration, 1976.
- BOVEE, K. D., B. L. LAMB, J. M. BARTHOLOW, C. B. STALNAKER, J. TAYLOR AND J. HENRIKSEN.,(1998). *"Stream Habitat Analysis Using the Instream Flow Incremental Methodology,"* vol. 1, U. D. o. Interior, U. G. Survey e B. R. D. I. a. T. Report, Eds., Fort Collins, CO, 1998, p. 131.
- BOVEE, KEN D.,(1982). *"A Guide to Stream Habitat Analysis Using the Instream Flow Incremental Methodology,"* Fort Collins, Colorado: U.S. Fish and Wildlife Service - FWS/OBS-82/26, 1982.
- CANADIAN COUNCIL ON ANIMAL CARE, (2005). *"Guidelines on: the care and use of fish in research, teaching and testing,"* Canadian Council on Animal Care, Ottawa, 2005.
- COSTA, MARCUS RODRIGUES DA, TAILAN MORETTI MATTOS, JOYCE L. C. BORGES, AND FRANCISCO GERSON ARAÚJO, (2013). *"Habitat preferences of common native fishes in a tropical river in southeastern Brazil",* Neotropical Ichthyology, vol. 11, nº 4, pp. 871-880, 2013.
- DEPASQUAL, CAIRSTY , STURGILL, JENNIFER, BRAITHWAITE, VICTORIA A., (2020). *"A Standardized Protocol for Preference Testing to Assess Fish Welfare,"* Journal of Visualized Experiments, p. 04, 22 feb 2020.
- HENSEN, M.C.; PUPO, M. M.; SILVEIRA, T. C. L., (2016). *"Preferência de habitat do lambari, Hyphessobrycon luetkenii (Characidae), na Lagoa do Peri",* Ilha de Santa Catarina, P. E. U. 2016, Ed., Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016, pp. 285 -303.
- JACOBS, J.,(1974). *"Quantitative measurement of food selection.,"* Oecologia, pp. 413 - 417, 16 jan. 1974.
- JOWETT, I.G.; HAYES, J.W.; DUNCAN, M.J., (2008). *"A guide to instream habitat survey methods and analysis.,"* NIWA Science and Technology Series, 2008.
- LAMBERT, T. R., HANSON, D. F., (1989). *"Development of habitat suitability criteria for trout in small streams.,"* Regulated Rivers: Research and Managemen, vol. 3, pp. 291 - 303, 1989.
- LIAO, JIALIN; CHEN, HUI; YANG, XIN; SHI, HAORAN; YUAN, QUAN, (2024). *"Impact of short-term total dissolved as supersaturation on cognitive function and swimming performance in medaka (Oryzias latipes),"* Environmental Sciences Europe, p. 11, 2024.
- LIU X, LI N, FENG C, FU CI, ONG Q, LAI J, (2019). *"Lethal effect of total dissolved gassupersaturated,"* Scientific Reports, vol. 9, 2019.
- LIU XIAOQING; LI, NA; FENG, CUIXIA; FU, CHENGHUA; GONG, QUAN; LAI, JIANSHEG; JIANG, ZHU JIANG, (2019). *"Lethal Effect of Total Dissolved Gas-Supersaturated Water with Suspended Sediment on River Sturgeon (Acipenser dabryanus),"* Scientific Reports, 2019.
- MARTINEZ, CARLOS BARREIRA; RIBEIRO DIEIMYS SANTOS; FERRAZ, GUILHERME; SILVA, LUIZ GUSTAVO; CASTRO, ANDREY L. FAGUNDES DE; NEVES, JULIANO MAFRA, (2024). *"Dimensionamento de Aparato de Saturação Gasosa para ensaios em Peixes Neotropicais,"* em Simpósio Nacional de Mecânica dos Fluidos e Hidráulica, Curitiba, 2024.

- MIOT HÉLIO AMARANTE, (2011). “*Tamanho da amostra em estudos clínicos e experimentais,*” J. vasc. bras, vol. 10, nº 4, 2011.
- OGI A, LICITRA R, NAEF V, MARCHESE M, FRONTE B, GAZZANO A, SANTORELLI FM, (2021). “*Social Preference Tests in Zebrafish: A Systematic Review,*,” Front Vet Sci, pp. 1-3, 22 Jan. 2021.
- QUAN YUAN, ZHIGUANG ZHANG, KEFENG LI, RUIFENG LIANG, BO ZHU, YUANMING WANG, (2024). “*Effect of Total Dissolved Gas Supersaturation on Swimming Performance of Migratory Fish for Traversing Velocity Barriers,*” Aquaculture Research, p. 11, 19 08 2024.
- 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.
- 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, C.B., (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.
- SARMENTO, R, PELISSARI, V. B., TEIXEIRA, R. L., (1999). “*Índices de preferencia de habitats para peixes na determinação da vazão residual do rio Timbui,*” em XIII SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte, 1999.
- V. NEBEKER; D. G. STEVENS; J. R. BRETT, (1976). “*Effects of Gas Supersaturated Water on Freshwater Aquatic Invertebrates. in Gas Bubble Disease,*” O. R. T. ERDA Technical Information Center, Ed., Oak Ridge, Tennessee, 1976, p. 50 61.
- 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,*” B. G. 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.
- VOLPATO, G. L., (2007). “*Considerações metodológicas sobre os testes de preferência na avaliação do bem estar em peixes,*” Revista Brasileira de Zootecnia, pp. 53-61, July 2007.
- VOLPATO, GILSON LUIZ; TRAJANO, ELEONORA, (2005). “*Biological Rhythms,*” em The Physiology of Tropical Fishes, vol. 21, 2005, pp. 101-153.
- WANG, YUANMING; LI, YONG; RUIDONG AN & LI, KEFENG, (2018). “*Effects of Total Dissolved Gas Supersaturation on the Swimming Performance of Two Endemic Fish Species in the Upper Yangtze River,*” Scientific Reports, p. 10, 03 July 2018.
- XIN YANG, HAORAN SHI, XIAOQING LIU, YADONG OU, XINCONG LIU, MINNE LI, QUAN YUAN,(2024) “*Effect of total dissolved gas supersaturation on the passage behavior of silver carp (Hypophthalmichthys molitrix) and ya-fish (Schizothorax prenanti) through an experimental vertical slot fishway,*” Ecotoxicology and Environmental Safety, vol. 277, 01 06 2024.