


IMPLEMENTAÇÃO E INSTRUMENTALIZAÇÃO DO AQUÁRIO PARA EXPERIMENTOS RELACIONADOS A ICTIOFAUNA

 <https://doi.org/10.56238/sevened2024.029-046>

Miguel Vieira de Melo Neto

Mestre em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural
Universidade de Brasília
Brasília, Distrito Federal, Brasil
E-mail: miguelv17@gmail.com

Ézio Sargentini Júnior

Doutor em Química
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Manaus, Amazonas, Brasil
E-mail: eziosargentini@gmail.com

Marcos Alexandre Bolson

Mestrado em Ciências
Universidade de São Paulo
Manaus, Amazonas, Brasil
E-mail: mabolson@gmail.com

Tania Machado da Silva

Doutora em Ciências Ambientais
Universidade de Brasília
Brasília, Distrito Federal, Brasil
E-mail: taniams.venturo@gmail.com

Luiz Fabrício Zara

Doutor em Química Analítica
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Brasília, Distrito Federal, Brasil
E-mail: fabriciozara@gmail.com

RESUMO

A análise dos comportamentos de organismos aquáticos diante de fatores estressantes do ambiente é uma forma de avaliar a qualidade ambiental e reduzir os impactos negativos. Neste estudo, foi proposto o uso de aquários para observar o comportamento de peixes expostos a barreiras comportamentais. Para isso, foram instalados em um conjunto de 3 aquários sistemas de circulação de água, oxigenação, injeção e dispersão de amostra líquida, além de um sistema de monitoramento remoto com captura de imagens. Um software foi desenvolvido para identificar a posição dos peixes nos aquários e controlar a introdução da amostra. Os resultados mostraram que esse método é eficaz para analisar o comportamento dos peixes e pode ser adaptado para estudar outros estímulos estressantes.

Palavras-chave: Ambiente controlado. Bolhas de ar. Ictiofauna. Barreiras comportamentais.

1 INTRODUÇÃO

A crescente necessidade de geração de energia elétrica limpa e renovável para abastecer indústria, agricultura, comércio e residência resulta na construção de usinas hidrelétricas (FRIGOTTO *et al.*, 2023). Essas usinas requerem manutenção programada e intempestiva, a fim de maximizar a geração de energia e minimizar custos. Porém, durante essas paradas, a vazão operacional reduzida pode facilitar a entrada peixes nos tubos de sucção, nas galerias da tomada da água e nos poços de esgotamento (PERRY *et al.*, 2014). Com isso, é necessário o desenvolvimento de sistemas de barreiras comportamentais adequados a diferentes espécies, a fim de mitigar ou até mesmo impedir a entrada desses peixes em áreas indevidas (DA SILVA *et al.*, 2022). Os sistemas comportamentais têm demonstrado eficácia, porém cada espécie reage de maneira diferente, exigindo investigações mais aprofundadas (ZIELINSKI *et al.*, 2014; DENNIS *et al.*, 2019). Essa necessidade é acentuada por serem tratadas espécies tropicais, as quais vivem em condições diferentes das encontradas em ambientes temperados (MURCHY *et al.*, 2022; DE MENDONÇA MAROJA *et al.*, 2023).

A utilização de ambientes controlados na realização de experimentos é comum na ciência, pois, é utilizado como piloto a fim de ajustar os procedimentos com o intuito de simular ao máximo as condições ambientais. Além de diminuir os custos operacionais inerente a implementação do sistema de bolhas e o respectivo experimento em campo (Da Silva, 2010; Zielinski *et al.*, 2014; Zielinski & Sorensen, 2015). Apesar de não serem totalmente eficazes, há a importância do desenvolvimento de sistemas comportamentais com o máximo de eficácia possível, para isso é necessário o desenvolvimento de aquários para serem utilizados como ambientes controlados nos experimentos (Zielinski & Sorensen, 2015). Neste estudo, foi proposto o desenvolvimento de aquários instrumentalizados para observar o comportamento de peixes expostos a barreiras comportamentais.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

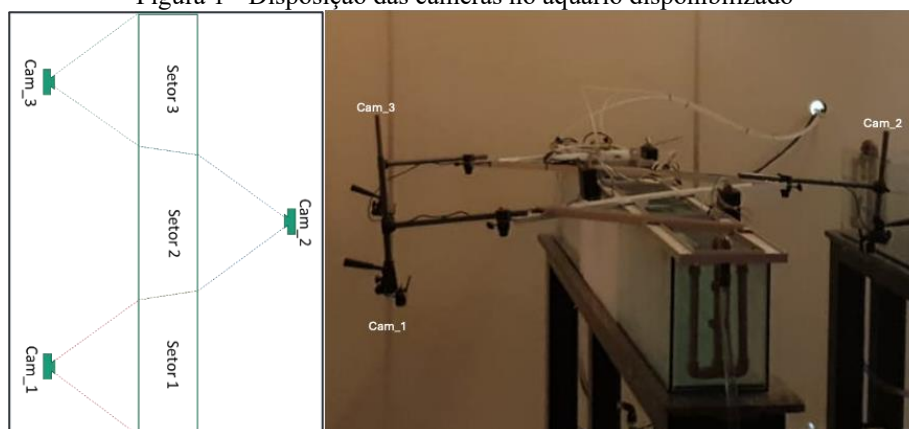
2.1 AQUÁRIOS INSTRUMENTALIZADOS PARA ANÁLISES DOS COMPORTAMENTOS DOS PEIXES

A avaliação do efeito da bolha no comportamento da ictiofauna utilizou-se 03 aquários com a capacidade de 100 L e dimensões 20x30x200 cm (L x A x C), equipados com sistemas de circulação e recirculação de água e oxigenação. Cada aquário possui capacidade útil aproximada de 100 litros e coluna d'água de 26 cm. O sistema de recirculação presente nos aquários possui uma bomba do modelo Aw500s de 24V, capaz de bombear 10 litros por minuto, e um sensor de vazão do modelo FY-B7 baseado no Efeito Hall (Hall *et al.*, 1879). Esses aparelhos foram conectados ao aquário utilizando tubos de polietileno cristal de 3/4 de polegada. O controle do fluxo é feito por uma fonte de alimentação de 350 W que oferece voltagens reguladas de 5, 12, 17 e 24 V, com taxas de fluxo de 3,5; 6,6; 8,8; e 10,6 L/min, respectivamente. É fundamental destacar que a integração do sistema de inserção de

amostra líquida ao sistema de circulação é crucial. Dito sistema é composto por: bomba de fluxo peristáltico da Ismatec UK Ltd., modelo MC-MS/CA8: equipamento que tem a capacidade de controlar com precisão a taxa de líquidos e que possui a funcionalidade de ser operado à distância (Formato et al. 2019); dispositivo de interação e gerenciamento: o gadget_TTGO T-Display, equipado com um chip_ESPRESSIF 32 de 240 MHz, é capaz de ser configurado para receber orientações de um computador e transformá-las em sinais elétricos para ativar a bomba peristáltica.

Para monitorar o comportamento dos peixes, um sistema de captura de imagens foi desenvolvido com 3 câmeras Full HD, com resolução de 1080p/30fps, dispostas num perfil móvel de alumínio em formato “V”, sendo a câmera central oposta às câmeras das extremidades evitando sobreposição de imagem (Figura 1). Um software específico detecta e registra a posição dos espécimes ao longo do aquário, bem como controla a introdução das bolhas e das luzes permanentes. O software utiliza linguagem computacional C# (C Sharp) e as funcionalidades da biblioteca open source de visão computacional OpenCvSharp. Os aquários estão localizados no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA.

Figura 1 - Disposição das câmeras no aquário disponibilizado



Fonte: Elaborado pelos autores.

2.2 PROTOCOLO EXPERIMENTAL

As espécies Tambaqui (*Colossoma macropomum*); Matrinã (*Brycon*); Acará Amazônico (*Cichlasoma amazonarum*); Dianema Tigre (*Dianema Urostriatum*); Mandi (*Pimelodus blochii*) foram adquiridas comercialmente e mantidas em tanque de aclimatação (5.000 L) por 60 dias à temperatura média de 26 ± 1 °C, sendo alimentados com ração comercial e expostos ao fotoperíodo natural de 12/12 horas. Para execução dos ensaios foram selecionados aleatoriamente e transferidos 30 indivíduos do tanque de aclimatação para os aquários instrumentalizados com 18 horas de antecedência, sendo mantidos em jejum. Previamente, os aquários receberam 50% (v/v) da água do tanque de aclimatação, minimizando alterações significativas nos parâmetros físico-químicos da água, e, por conseguinte, mudanças de comportamento e/ou enfermidades nos peixes. Na primeira etapa dos ensaios o sistema

de bolhas ficou desligado durante 15 minutos, sendo adquiridas as imagens do comportamento dos peixes. Na sequência (segunda etapa), foi ligado os sistemas de bolhas e adquiridas as imagens do comportamento dos peixes por 15 minutos. Na última etapa, foi desligado os sistemas de bolhas e adquiridas as imagens do comportamento dos peixes por 15 minutos.

2.3 SISTEMA DE CORTINA DE BOLHA INTEIRA NA PARTE INFERIOR NO AQUÁRIO (20 CM)

A geração de barreira de bolhas pelo compressor de ar (Vulcan Trent VC 25), trabalhando com pressão de 2,5 bar) vinculado a uma mangueira micro perfurada para difusão de gases com tamanho de bolha de 50 a 500 μm .

Para gerar a luz permanente, na parte superior do aquário, no mesmo ponto em que foi instalado o sistema de cortina de bolhas, foi adaptado uma estrutura com as dimensões de 20 x 30 cm com uma fenda de 3 mm para geração de uma fenda de luz sobre o eixo da dispersão das bolhas. Dentro dessa caixa havia uma lâmpada de diodo emissor de luz da marca Taschibra com a potência de 9 W e bivolt, o qual foi utilizado a cor amarela (quente, 3000 K).

Além da utilização de cortina de bolhas e luz permanente, os aquários foram preparados para integrar um sistema de inserção de amostra líquida. Esse sistema é composto por uma bomba de fluxo peristáltico da Ismatec UK Ltd., modelo MC-MS/CA8, equipamento capaz de controlar com precisão a taxa de líquidos e que pode ser operado remotamente (FORMATO et al. 2019). O dispositivo de interação e gerenciamento utilizado é o gadget_TTGO T-Display, equipado com um chip ESPRESSIF 32 de 240 MHz, configurado para receber comandos de um computador e transformá-las em sinais elétricos para ativar a bomba peristáltica.

É importante ressaltar que os aquários instrumentalizados estão localizados em um laboratório no Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA). Este laboratório conta com controle de luz e temperatura, a fim de não interferir no comportamento dos peixes utilizados nos experimentos.

2.4 PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA AQUISIÇÃO, CONTROLE E TRATAMENTO DE IMAGENS DOS AQUÁRIOS

A elaboração de um programa computacional na linguagem de computador C# (C Sharp), o qual foi compilado no Microsoft Visual Studio, utilizando as ferramentas disponíveis na biblioteca de visão computacional de código aberto OpenCvSharp. O mencionado programa possui como funcionalidade, detectar e registrar a posição dos peixes no aquário, assim como controlar as bolhas.

Com o intuito de localizar os peixes, o software analisa as imagens capturadas pelas câmeras, juntando-as para criar uma única visualização do aquário. Esse processo passa por seis etapas: (1) transformação em escala de cinza e redução de ruído utilizando o filtro Gaussian Blur. Essa etapa suaviza a imagem e impedir detecções falsas; (2) utilizando uma cópia da imagem original, é criada

uma imagem com de background com o filtro Gaussian Blur ajustado de forma diferente; (3) a diferença entre as duas imagens é calculada para ressaltar os objetos de interesse; (4) a imagem resultante é então binarizada com o filtro Threshold, convertendo-o em preto e branco; (5) é aplicado o filtro Dilate à imagem binarizada para melhorar a definição e corrigir falhas internas no objetos; (6) na última etapa, ocorre a contagem e registro dos peixes em coordenadas cartesianas.

As informações do processo de detecção são armazenadas em um documento em formato .csv a uma frequência de dez frames por segundo (10 Hz), na qual cada linha registra data, horário e localização de cada peixe identificado em cada frame analisado. Simultaneamente, um arquivo em formato .mp4 é gerado para gravar todos os frames em um vídeo de streaming com uma taxa de 10 Hz, permitindo a escolha de incluir ou não marcadores para os peixes.

2.5 PROTOCOLO EXPERIMENTAL PARA TESTE COM CORTINA DE BOLHAS

As espécies Tambaqui (*Colossoma macropomum*), Matrinã (*Brycon spp.*), Acará Amazônico (*Cichlasoma amazonarum*), Dianema Tigre (*Dianema Urostriatum*) e Mandi (*Pimelodus blochii*) foram adquiridas comercialmente e mantidas em tanque de aclimação de 5.000 L por 60 dias, à temperatura média de 26 ± 1 °C. Durante esse período, foram alimentados com ração comercial e expostos ao fotoperíodo natural de 12/12 horas.

Para execução dos ensaios, 30 indivíduos foram selecionados aleatoriamente e transferidos do tanque de aclimação para os aquários instrumentalizados com 18 horas de antecedência, sendo mantidos em jejum. Previamente, os aquários receberam 50% (v/v) da água do tanque de aclimação, minimizando alterações significativas nos parâmetros físico-químicos da água e, por conseguinte, mudanças de comportamento e/ou enfermidades nos peixes.

Na primeira etapa dos ensaios, o sistema de bolhas foi mantido desligado durante 15 minutos, sendo adquiridas as imagens do comportamento dos peixes. Em seguida (segunda etapa), o sistema de cortina de bolhas foi ligado, e as imagens do comportamento dos peixes foram capturadas por 15 minutos. Na etapa final, o sistema de cortina de bolhas foi desligado novamente, e as imagens do comportamento dos peixes por mais 15 minutos.

3 RESULTADOS

Para verificar o funcionamento do sistema de cortina de bolhas, foi realizado um teste inicial antes dos ensaios comportamentais. Para tanto, o compressor, operando a uma pressão de 2,5 bar, foi vinculado à mangueira microp perfurada para difusão de gases, a fim de avaliar a formação da cortina de bolhas. Os resultados mostraram-se satisfatórios, com a cortina de bolhas sendo formada conforme esperado e a gravação do teste confirmando a eficácia do sistema (Figura 2).

Figura 2 – Imagem do teste de formação de cortina no sistema de cortina de bolhas.



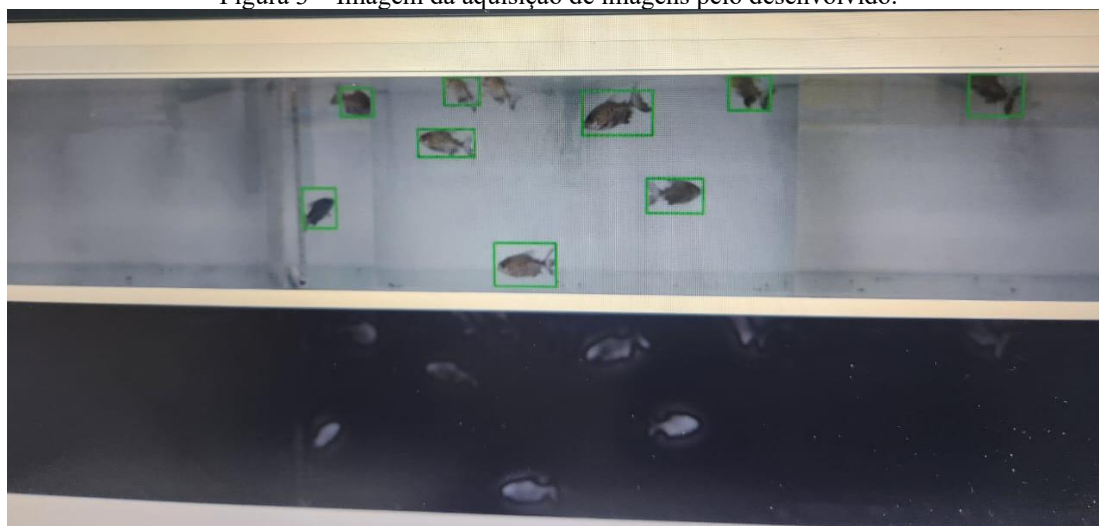
Fonte: Elaborada pelos autores.

Com base nos testes preliminares, o sistema de cortina de bolhas e demais componentes dos aquários instrumentalizados confirmam-se adequados para execução dos experimentos planejados. Os aquários, equipados com sistemas de circulação, recirculação de água e oxigenação, provaram-se eficientes em todas as fases dos ensaios, possibilitando manter a estabilidade das propriedades físico-químicas da água e a observação controlada do comportamento dos peixes. A integração do sistema de bolhas com o centro de controle remoto e capacidade de inserção de amostras líquidas permite a flexibilidade dos experimentos, com possibilidade de alterações das condições experimentais sem interferir com significância no funcionamento dos demais sistemas.

O *software* desenvolvido para aquisição, controle e tratamento de imagens desempenhou um papel crucial na captura e análise do comportamento dos peixes. A detecção e o registro das posições dos peixes ao longo dos aquários ocorreram sem falhas, com o sistema de câmeras em perfil "V" garantindo uma cobertura completa do ambiente. A combinação das imagens das três câmeras em uma única visualização do aquário permitiu um monitoramento contínuo e preciso do movimento dos peixes, evitando sobreposições e maximizando a clareza das observações.

Durante a fase experimental, os peixes foram monitorados em três etapas: com o sistema de cortina de bolhas desligado, ligado e novamente desligado. Os dados coletados pelo *software*, armazenados em formato .csv e vídeos em .mp4, permitiram uma análise detalhada das alterações comportamentais induzidas pela ativação da cortina de bolhas (Figura 3). O sistema detectou mudanças claras nos padrões de natação e de comportamento, como natação rápida, imobilidade e letargia, que foram consistentemente observadas em todas as espécies testadas.

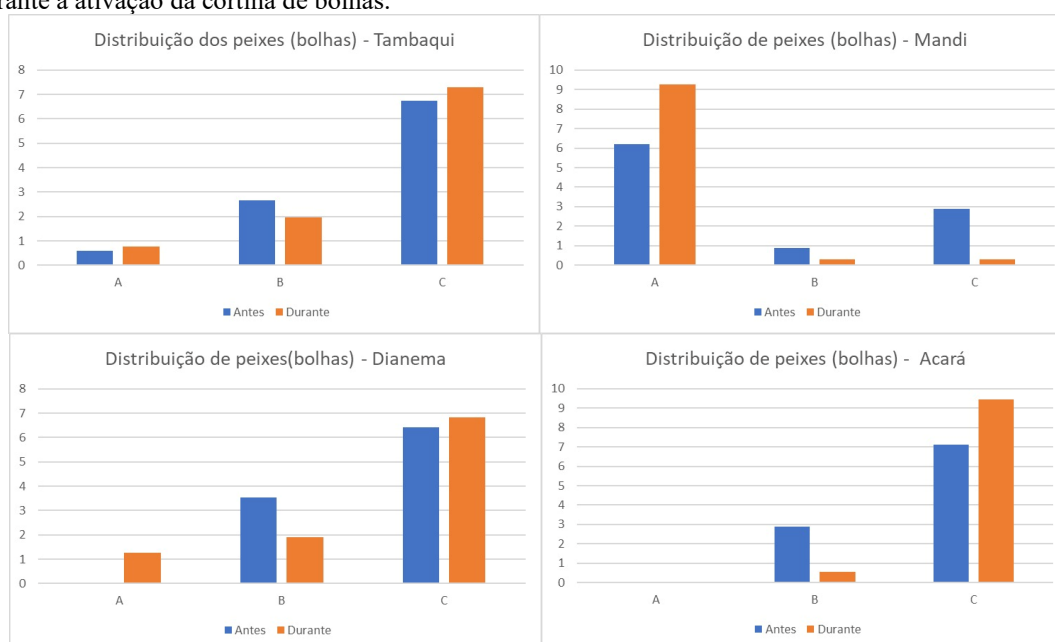
Figura 3 – Imagem da aquisição de imagens pelo desenvolvido.



Fonte: Elaborada pelos autores.

A Figura 4 apresenta a distribuição média dos espécimes das cinco espécies participantes do experimento, nos três setores do aquário instrumentalizado, antes e durante a ativação da cortina de bolhas. Com exceção dos espécimes de mandi, as demais espécies de peixe apresentaram tendência de locomoção para longe da cortina de bolhas, ficando, em sua maioria, posicionados no setor 3 do aquário. Esse comportamento reflete a eficiência da cortina de bolhas como barreira físico-comportamental para peixes. Entretanto, o experimento é feito em um ambiente fechado. Dessa forma, com o passar do tempo e sem a possibilidade de fuga pra regiões mais distantes, alguns espécies tendem a “enfrentar” o risco e, por conseguinte, os demais espécimes participantes do experimento seguem o “peixe líder”, conforme observado na análise do comportamento descrita acima.

Figura 4 – Distribuição média dos espécimes da ictiofauna utilizada no estudo nos três setores do aquário instrumentalizado, antes e durante a ativação da cortina de bolhas.



Fonte: Elaborada pelos autores.



Figueiredo e colaboradores (2023) executaram experimentos utilizando o sistema de inserção de amostras líquidas dos aquários para introduzir hipoxantina-3-N-óxido, uma substância de alarme que tem se mostrado eficaz em provocar respostas comportamentais em espécies de peixes do grupo *Osteriophysan*. No ensaio com as espécies Matrinxã e Tambaqui, a concentração de $6,0 \mu\text{g L}^{-1}$ de hipoxantina-3-N-óxido foi introduzida no ambiente aquático, resultando em comportamentos incomuns como letargia, forrageio para o fundo e ataques. Esses resultados confirmam a eficácia da hipoxantina-3-N-óxido como um indutor de sinais de alarme em peixes, demonstrando o potencial de seu uso em práticas de manejo da ictiofauna, especialmente em áreas impactadas por atividades hidrelétricas. A possibilidade de aplicação remota e precisa da substância utilizando o sistema de monitoramento e controle desenvolvido reforça a viabilidade de futuros estudos e aplicações práticas com essa abordagem.

4 CONCLUSÃO

De maneira geral, o aquário instrumentalizado, combinado com o software de monitoramento, mostrou-se altamente eficaz para a condução dos experimentos planejados. A precisão no controle das variáveis experimentais e a capacidade do *software* em processar e analisar imagens em tempo real forneceram resultados confiáveis, demonstrando a viabilidade e a potencialidade do sistema para estudos futuros sobre barreiras comportamentais e químicas em peixes.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Programa de P&D da Energia Sustentável do Brasil (ANEEL/PD-06631-0009/2019).



REFERÊNCIAS

DA SILVA, Flavio Nakamura Alves. Efeito de campo elétrico no comportamento de peixes brasileiros e estudo de barreira elétrica como mecanismo de controle de movimentação de peixes. 2010.

DA SILVA, T.M et al. Deterring fish by increasing the flow rate in bulb turbines. *The International Journal on Hydropower and Dams*, v. 29, n. 4, p. 62- 65, 2022.

DENNIS, Clark E.; ZIELINSKI, Daniel; SORENSEN, Peter W. A complex sound coupled with an air curtain blocks invasive carp passage without habituation in a laboratory flume. *Biological Invasions*, v. 21, p. 2837-2855, 2019.

DE MENDONÇA MAROJA, Armando et al. Reação da ictiofauna da região amazônica a diferentes impulsos sonoros: Reaction of ichthyofauna in the amazon region to different sound impulses. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 6, n. 3, p. 2538-2549, 2023.

FIGUEIREDO, Wilyane Silva et al. Eficácia da hipoxantina-3-N-óxido como método alternativo na proteção da ictiofauna em usinas hidrelétricas: Efficacy of hypoxanthine-3-N-oxide as an alternative method to protect ichthyofauna in hydroelectric power plants. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 6, n. 2, p. 1108-1116, 2023.

FORMATO, Gaetano et al. Fluid–structure interaction modeling applied to peristaltic pump flow simulations. *Machines*, v. 7, n. 3, p. 50, 2019.

FRIGOTTO, Sabrina et al. O potencial energético renovável do Brasil como vetor apto a retardar a mudança climática. *OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA*, v. 21, n. 10, p. 17662-17677, 2023.

HALL, Edwin H. et al. On a new action of the magnet on electric currents. *American Journal of Mathematics*, v. 2, n. 3, p. 287-292, 1879.

MURCHY, Kelsie A. et al. Behavioral responses of native and invasive fishes of the Upper Mississippi River to 100 hp boat motor acoustic stimulus. *Management of Biological Invasions*, v. 13, n. 4, p. 750-768, 2022.

PERRY, R. W. et al. Using a non-physical behavioural barrier to alter migration routing of juvenile chinook salmon in the Sacramento–San Joaquin River delta. *River Research and Applications*, v. 30, n. 2, p. 192-203, 2014.

ZIELINSKI, D. P. et al. Laboratory experiments demonstrate that bubble curtains can effectively inhibit movement of common carp. *Ecological engineering*, v. 67, p. 95-103, 2014.

ZIELINSKI, D. P.; SORENSEN, P. W. Field test of a bubble curtain deterrent system for common carp. *Fisheries Management & Ecology*, v. 22, n. 2, 2015.