



Barreira comportamental de dispersão de bolhas e luz associada à proteção da ictiofauna no setor hidrelétrico

Behavioral barrier of bubble and light dispersion associated with the protection of ichthyofauna in the hydroelectric sector

Barrera conductual de dispersión de burbujas y de luz asociada a la protección de la ictiofauna en el sector hidroeléctrico

Miguel Vieira de Melo Neto

Mestre, UnB, Brasil

miguelv17@gmail.com

Tania Machado da Silva

Doutora, UnB, Brasil.

taniamachado91@gmail.com

Tarek Rodrigo Fernandes

Tecnólogo, Venturo, Brasil.

tarekquimica@gmail.com

Ézio Sargentini Junior

Doutor, INPA, Brasil.

eziosargentini@gmail.com

Luiz Fabricio Zara

Professor Doutor, UnB, Brasil.

fabriciozara@gmail.com



RESUMO

O presente artigo tem como objetivo a investigação da eficácia de uma barreira comportamental composta por cortina de bolhas e luz permanente para proteger a ictiofauna durante manobras operacionais em usinas hidrelétricas, visando mitigar impactos ambientais. Para tanto foram utilizados aquários instrumentais com cinco espécies de peixes juvenis (*Cichlasoma amazonarum*, *Dianema urostriatum*, *Pimelodus blochii*, *Brycon spp.* e *Colossoma macropomum*). As experiências foram filmadas em três etapas: antes, durante e após a ativação da barreira. O comportamento dos peixes foi analisado por meio de contagem em setores específicos a cada 15 segundos. A lacuna preenchida pela pesquisa sobre barreiras comportamentais em ambientes aquáticos tropicais, utilizando espécies nativas e contribuindo para mitigação dos impactos de tecnologias hidrelétricas sobre a ictiofauna. A ativação da barreira reduziu significativamente a presença dos peixes nos setores próximos à barreira, com eficiência média de 82% na dissuasão dos indivíduos. Espécies como Matrinxã e Acará Amazônico demonstraram maior eficiência em evitar a barreira. O estudo indica que a cortina de bolhas em consórcio com luz permanente apresenta elevada potencialidade para proteção da ictiofauna, visando impedir a entrada e confinamento de ictiofauna, durante manobras operacionais do setor hidroelétrico.

PALAVRAS-CHAVE: cortina de bolhas; luzes; confinamento de ictiofauna.

SUMMARY

The present article aims to investigate the effectiveness of a behavioral barrier composed of a bubble curtain and permanent light to protect fish fauna during operational maneuvers in hydroelectric plants, aiming to mitigate environmental impacts. For this purpose, instrumental aquariums were used with five species of juvenile fish (*Cichlasoma amazonarum*, *Dianema urostriatum*, *Pimelodus blochii*, *Brycon spp.* and *Colossoma macropomum*). The experiments were filmed in three stages: before, during and after barrier activation. The behavior of the fish was analyzed by counting in specific sectors every 15 seconds. The gap filled by research on behavioral barriers in tropical aquatic environments, using native species and contributing to mitigating the impacts of hydroelectric technologies on fish fauna. Activating the barrier significantly reduced the presence of fish in sectors close to the barrier, with an average efficiency of 82% in deterring individuals. Species such as Matrinxã and Acará Amazônico demonstrated greater efficiency in avoiding the barrier. The study indicates that the bubble curtain in conjunction with permanent light has high potential for protecting ichthyofauna, aiming to prevent the entry and confinement of ichthyofauna during operational maneuvers in the hydroelectric sector.

KEYWORDS: bubble curtain; lights; confinement of ichthyofauna.

RESUMEN

El presente artículo tiene como objetivo investigar la efectividad de una barrera comportamental compuesta por una cortina de burbujas y luz permanente para proteger la fauna ictícola durante maniobras operativas en plantas hidroeléctricas, con el objetivo de mitigar los impactos ambientales. Para ello se utilizaron acuarios instrumentales con cinco especies de peces juveniles (*Cichlasoma amazonarum*, *Dianema urostriatum*, *Pimelodus blochii*, *Brycon spp.* y *Colossoma macropomum*). Los experimentos se filmaron en tres etapas: antes, durante y después de la activación de la barrera. El comportamiento de los peces se analizó contando en sectores específicos cada 15 segundos. El vacío llenado por la investigación sobre barreras de comportamiento en ambientes acuáticos tropicales, utilizando especies nativas y contribuyendo a mitigar los impactos de las tecnologías hidroeléctricas en la fauna ictícola. La activación de la barrera redujo significativamente la presencia de peces en sectores cercanos a la barrera, con una eficiencia promedio del 82% para disuadir a los individuos. Especies como Matrinxã y Acará Amazônico demostraron mayor eficiencia para evitar la barrera. El estudio indica que la cortina de burbujas en conjunto con la luz permanente tiene un alto potencial para proteger la ictiofauna, con el objetivo de evitar el ingreso y confinamiento de la ictiofauna durante las maniobras operativas en el sector hidroeléctrico.

PALABRAS CLAVE: cortina de burbujas; luces; Confinamiento de la ictiofauna.



1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento do setor hidrelétrico em diferentes biomas brasileiros potencializa o risco de impactos ambientais à ictiofauna, podendo afetar a distribuição e migração das comunidades aquáticas. Nessa perspectiva, o desenvolvimento sustentável requer a mitigação desses impactos, e diversas tecnologias de proteção têm sido empregadas, incluindo barreiras físicas, sistemas de isca elétrica, eclusas para peixes, redes de proteção, câmeras, sonares e dispositivos de atração e repulsão, como luzes estroboscópicas e cortinas de bolhas (TAFT, 2020; DA SILVA *et al.*, 2022; SANTANA *et al.*, 2022).

Estudos associados a eficiência de manobras de elevação do fluxo hidráulico, com o objetivo de evitar o confinamento da ictiofauna no tubo de sucção de unidades geradoras, utilizando um sistema hidroacústico de monitoramento em tempo real da movimentação da ictiofauna, demonstraram, ao longo de 105 paradas de unidades geradoras para manutenção, uma redução de aproximadamente 91% no confinamento dos peixes. Essa estratégia mostrou-se inovadora e eficiente na mitigação de impactos socioambientais (DA SILVA *et. al.*, 2023).

Figueiredo e colaboradores (2024) avaliaram o potencial da condroitina para o desenvolvimento de uma barreira comportamental para dissuasão da ictiofauna. Nos ensaios feitos durante a parada de unidades geradoras, a injeção de uma solução concentrada de condroitina ao longo do tubo de sucção resultou em uma redução de 55% no número de peixes confinados, devido ao efeito dissuasivo da substância.

Entre as soluções mais promissoras estão as barreiras comportamentais, como som, luzes e cortinas de bolhas. Essas abordagens tendem a ser menos intrusivas para o meio ambiente e a paisagem, uma vez que não requerem a construção de estruturas físicas grandes e permanentes. Além disso, essas barreiras podem ser ajustadas e adaptadas com maior facilidade para responder a mudanças nas condições hidrológicas ou no comportamento dos peixes (PERRY *et al.*, 2014). Outra vantagem é o custo potencialmente menor a longo prazo, devido à menor necessidade de manutenção e reparos frequentes (ZIELINSKI *et al.*, 2014). No entanto, a eficácia dessas tecnologias pode variar conforme a resposta de cada espécie aos estímulos sensoriais e às condições ambientais, como vazão e turbidez (PERRY *et al.*, 2014).

Cada espécie de peixe pode reagir de maneira diferente a determinados estímulos, o que evidencia a necessidade de empregar uma variedade de barreiras comportamentais para proteger uma ampla gama de espécies (STEWART *et al.*, 2014). A utilização de múltiplas barreiras pode reduzir os efeitos adversos de cada tecnologia individualmente, proporcionando uma mitigação de impactos mais eficaz. A diversificação dessas barreiras também permite ajustes para diferentes ambientes e condições, resultando em um monitoramento mais eficiente e flexível (MARTIN *et al.*, 2021).

Nesse contexto, este estudo investiga a potencialidade da utilização da cortina de bolhas em consórcio com luz permanente no desenvolvimento de uma barreira comportamental, visando impedir a entrada e o confinamento de ictiofauna durante manobras operacionais em usinas hidrelétricas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS



2.1 Aquário instrumentalizado e arranjo de câmeras de monitoramento

Para avaliar o efeito da cortina de bolhas em conjunto com luz permanente, foram utilizados três aquários de vidro com dimensões de 20 x 30 x 200 cm (Largura x Altura x Comprimento), cada um equipado individualmente com sistemas de oxigenação e recirculação. Uma moldura de alumínio foi desenvolvida para ser fixada em todos os aquários durante os testes, garantindo uniformidade nas configurações para gravação dos vídeos. Nesta moldura, foram posicionadas três câmeras com entrada Universal Serial Bus (USB) da marca Logitech, modelo C920e Full HD, cobrindo setores específicos do aquário (A, B e C), de modo a evitar sobreposição das imagens e garantir que nenhuma área ficasse fora do campo de visão das câmeras. Todos os equipamentos do aquário e as imagens das câmeras foram controladas por um *software* desenvolvido com a linguagem computacional C# (C Sharp) e a biblioteca "open source" de visão computacional "*OpenCvSharp*".

2.2 Sistema de cortina de bolhas e luz

A barreira de bolhas (20 cm) foi gerada por um compressor de ar (Vulcan Trent VC25), operando a uma pressão de 2,5 bar conectado a uma mangueira microperfurada para difusão de gases com tamanho de bolha de 50 a 500 µm.

Na parte superior do aquário foi adaptada uma estrutura para geração de uma fenda de luz sobre o eixo da dispersão das bolhas. Essa estrutura consiste em uma caixa de 20 x 30 cm, com uma abertura de 3 mm para criar uma fenda de luz ao longo do eixo de dispersão das bolhas. Dentro dela, estava uma lâmpada de diodo emissor de luz da Taschibra, com 9 W de potência e compatível com voltagem bivolt, configurada para emitir luz na cor amarela (3000 K). Alguns detalhes do aquário instrumentalizado, do arranjo de câmeras de monitoramento e dos sistemas de cortina de bolhas e luz estão apresentados na Figura 1.

Figura 1 – Detalhes dos acessórios e componentes do aquário instrumentalizado utilizado nos ensaios para avaliação do comportamento da ictiofauna em resposta à cortina de bolhas associada à luz permanente.



Fonte: Autor, 2024.

2.3 Protocolo experimental

Os experimentos foram conduzidos no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), em Manaus, AM, Brasil, onde os aquários estão localizados. Para minimizar possíveis influências no comportamento dos peixes, a iluminação do laboratório foi ajustada para baixa luminosidade, utilizando uma luz amarela.

Nos ensaios, foram utilizadas cinco espécies juvenis de peixes: Acará Amazônico (*Cichlasoma amazonarum*), Dianema Tigre (*Dianema Urostriatum*), Mandi (*Pimelodus blochii*), Matrinxã (*Brycon*) e Tambaqui (*Colossoma macropomum*). Os espécimes foram adquiridos comercialmente e mantidos em tanques de aclimatação (5.000 L) por 60 dias, com temperatura média de $26 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Durante este período, eles foram alimentados com ração comercial e expostos ao fotoperíodo natural de 12/12 horas (FIGUEIREDO et al., 2023). Na noite anterior a cada experimento, 30 espécimes de uma das espécies participantes foram selecionados do tanque de aclimatação e transferidos para os aquários instrumentalizados, onde foram mantidos *overnight*, sem qualquer intervenção, permitindo sua ambientação.

O experimento foi feito em triplicata (3 aquários), com 10 espécimes em cada ensaio. A duração total de gravação foi de 45 minutos, divididos da seguinte forma: os primeiros 15 minutos sem barreira de bolhas e luz, os 15 minutos seguintes com barreira de bolhas e luz ativadas e os últimos 15 minutos sem a barreira. Durante todo o experimento, o fluxo de água foi mantido constante, com uma vazão de 3,5 L/min. Em conjunto com os sistemas de cortina de bolhas e luz, foi instalada uma comporta. Na primeira etapa do experimento, a comporta

Edição em Português e Inglês / Edition in Portuguese and English - Vol. 13, N. 40, 2025

permanecia fechada, sendo aberta juntamente com o acionamento da cortina e bolhas e luz na segunda etapa.

A Tabela 1 mostra um protocolo simplificado do experimento:

Tabela 1 - Protocolo simplificado da realização do experimento.

	Etapas	Tempo de filmagem (min)
1	Estabilização dos peixes	15
	Acionamento da cortina de bolhas e luz	
2	a) Desativação da aeração	15
	b) Abertura da comporta	
	c) Acionamento da cortina de bolhas e luz	
	Desativação a cortina de bolhas e luz	
3	a) Desativação da cortina e luz	15
	b) Acionamento da aeração	
5	Estabilização dos peixes	15

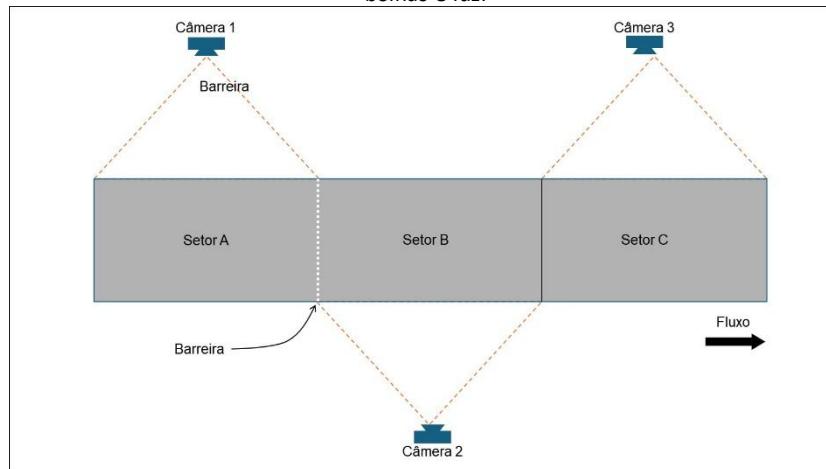
Fonte: Autor, 2024.

2.4 Análise quantitativa

O padrão de movimentação dos indivíduos foi analisado com base em três setores (A, B e C), definidos pelas imagens capturadas pelas câmeras. A Figura 2 apresenta a distribuição dos setores e a disposição das câmeras ao longo do aquário instrumentalizado, sendo o setor “A” localizado antes da dispersão das bolhas e luz, o setor “B” na porção central, e o setor “C” o mais distante da introdução das bolhas e luz.

A contagem foi feita em cada setor a cada 15 segundos de filmagem, classificando o tempo em “antes” e “durante” o acionamento da barreira de bolhas e luz. Em intervalos de 15 segundos, foi contabilizado o número de indivíduos presentes em cada setor.

Figura 2 – Croqui da disposição das câmeras e distribuição dos setores (A, B e C) utilizados para avaliação da movimentação da ictiofauna, antes e durante o acionamento da barreira comportamental composta por cortina de bolhas e luz.



Fonte: Autor, 2024.



2.5 Análise estatística

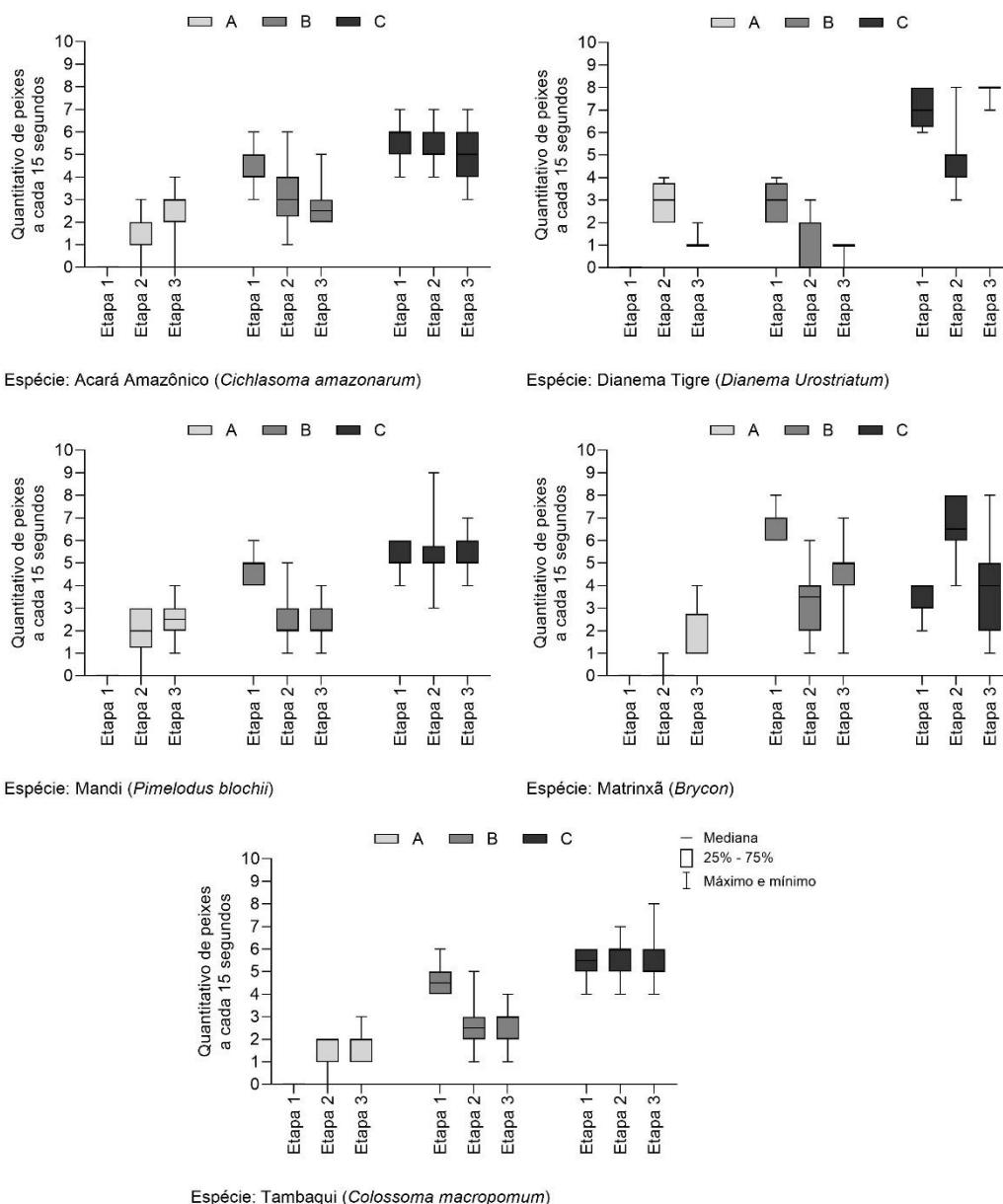
A análise estatística incluiu uma análise descritiva, precedida pelo teste de normalidade de Shapiro-Wilk (valor de α adotado para o nível de significância de 0,05) para determinar a distribuição dos dados. Para a análise quantitativa, foi realizada uma análise de variância (ANOVA/MANOVA) para dados paramétricos e o teste de Friedman (para medidas repetidas) para dados não paramétricos. Quando foram identificadas diferenças significativas entre os grupos (Setores A, B e C, antes e depois), foram realizadas análises pós-hoc: o teste de Tukey para dados paramétricos e o teste de Wilcoxon para dados não paramétricos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fim de verificar a potencialidade da utilização da cortina de bolhas em consórcio com luz permanente no desenvolvimento de uma barreira comportamental, foram feitos 15 ensaios com as espécies Acará Amazônico (*Cichlasoma amazonarum*), Dianema Tigre (*Dianema Urostriatum*), Mandi (*Pimelodus blochii*); Matrinxã (*Brycon*) e Tambaqui (*Colossoma macropomum*), totalizando 11,25 horas de filmagens.

As análises quantitativas foram feitas considerando o número de espécimes presentes em cada setor (A, B e C) a cada 15 segundos de gravação, durante as três etapas do experimento (Etapa 1 - antes da ativação da barreira de cortinha de bolhas e luz; Etapa 2 - durante a ativação da barreira; e Etapa 3 - após a desativação da barreira), refletindo o comportamento das espécies analisada em resposta ao estímulo visual e físico fornecido pela cortina de bolhas e luz (Figura 3).

Figura 3 – Distribuição do número de espécimes das cinco espécies de peixes (Acará Amazônico, Dianema Tigre, Mandi, Matrinxã e Tambaqui) nos três setores do aquário (A, B e C) durante as três etapas do experimento, sendo a Etapa 1 antes da ativação da barreira de cortinha de bolhas e luz, a Etapa 2 durante a ativação da barreira e a Etapa 3 após a desativação da barreira.



Fonte: Autor, 2024.

Quanto aos resultados para espécie Acará, durante as três etapas do experimento, o Setor C apresentou a maior mediana em comparação com os demais setores, comportamento reforçado após a ativação da barreira na Etapa 2. Na análise comparativa entre as Etapas 1 e 2, foram observadas diferenças significativas nos Setores A ($p=0,0004$) e B ($p=0,0112$), no entanto, esse padrão não foi observado no Setor C ($p=0,1474$). Assim, de forma geral, verificou-se uma preferência pelo setor mais distante da barreira, comportamento que sugere a sensibilidade dessa espécie frente ao estímulo aplicado, com tendência a evitar áreas que possam gerar perturbação ou risco.



Em relação aos dados para a espécie *Dianema Tigre*, assim como observado para o Acará, houve uma preferência pelo Setor C, que apresentou maior mediana em todas as etapas do experimento. Entretanto, após o acionamento da barreira na Etapa 2, alguns indivíduos a atravessaram, com uma média de 4 peixes (40% dos espécimes). No Setor B, foi observada diminuição significativa entre as Etapas 1 e 2 ($p=0,0006$), o que indica que os indivíduos que se encontravam neste setor atravessaram a barreira durante sua ativação.

Para o Mandi, também se observou preferência pelo Setor C, sendo a mediana neste setor constante nas três etapas, sem indicativo de diferença entre elas ($p>0,05$). Em relação aos Setores A e B, na comparação entre as Etapas 1 e 2, observou-se um aumento significativo de indivíduos no Setor A ($p=0,0006$), indicando a passagem de alguns indivíduos pela barreira, 2 indivíduos em média (20% dos espécimes), além da diminuição significativa de indivíduos no Setor B ($p=0,0001$).

Os dados para a espécie Matrinxã mostram uma redistribuição dos peixes entre os setores na Etapa 2, com redução significativa no Setor B ($p=0,0001$) e aumento no Setor C ($p=0,0001$), sugerindo que a barreira fez com que os peixes se afastassem do Setor A, buscando refúgio no Setor C. Após a desativação da barreira na Etapa 3, nota-se que os peixes retornam para o Setor B com a mediana aumentando significativamente em comparação com a Etapa 2 ($p=0,0002$). Contudo, o Setor C continua sendo aquele preferido pelos indivíduos, indicando a cautela dos peixes em relação à barreira previamente ativada.

Por fim, para a espécie Tambaqui, também foi observada preferência pelo Setor C, sendo que não houve diferença entre as três etapas para esse setor ($p>0,05$). No Setor B, foi observada uma redução significativa ($p=0,0002$) de indivíduos quando comparadas as Etapas 1 e 2. Após a desativação da barreira na Etapa 3, os espécimes tenderam a permanecer onde estavam, não sendo observada diferença significativa entre as Etapas 2 e 3 para todos os setores ($p>0,05$).

De maneira geral, a remoção da barreira física e ativação da barreira de cortina de bolhas e luz na Etapa 2 provoca uma mudança no comportamento das espécies analisadas. Após a liberação do Setor A, espera-se que os peixes o considerem como uma área adicional para exploração. Contudo, observa-se certa aversão a esse setor, com preferência pelos Setores B e C, sendo este último ainda mais atrativo. Esse comportamento sugere que a introdução da barreira comportamental gera um estímulo negativo, levando os peixes a evitarem os setores mais próximos à barreira (Setores A e B).

Além disso, ao se considerar a quantidade de indivíduos que passaram a barreira durante sua ativação na Etapa 2, observa-se uma eficiência média de cerca de 82%, com o Matrinxã apresentando maior responsividade, com 100% de eficiência, seguido pelo Acará Amazônico com 87%, Tambaqui com 85% e Mandi com 80% de eficiência. A menor eficiência foi registrada para a espécie *Dianema Tigre*, que apresentou 60% de eficiência.

Estudos anteriores sobre a eficiência de cortina de bolhas e/ou luz no comportamento de peixes tendem a focar em outras espécies (STEWART *et al.* 2014, PATRICK *et al.*, 1985; TAYLOR *et al.*, 2005). A utilização de espécies nativas de sistemas tropicais (CAVALCANTE *et al.*, 2014; MIRANDA RIBEIRO, 1912; DE QUEIROZ *et al.*, 2023; HOWES, 1989, MIRANDE, 2010) torna este estudo mais alinhado com as condições dos corpos hídricos encontrados no Brasil.



Além disso, a inclusão de cinco espécies permitiu observar diferentes comportamentos, considerando que cada espécie de peixe pode reagir de maneira distinta a determinados estímulos (STEWART *et al.*, 2014). Por exemplo, as espécies que apresentaram menor eficiência em relação à barreira foram a Dianema e o Mandi, que tendem a habitar o fundo dos rios, entre a vegetação marginal ou no folhiço, ou se esconder em pedras (DE QUEIROS *et al.*, 2023). Como o aquário experimental é totalmente aberto e livre de esconderijos, a estrutura da barreira de bolhas pode ter sido percebida como uma de sombra, o que pode ter atraído essas espécies para mais perto da barreira, resultando em sua passagem por ela. Em um ambiente natural, onde existiriam rotas de fuga, o comportamento dessas espécies poderia ser o afastamento. Tendo em vista que, mesmo com a passagem de alguns indivíduos, a maior parte se manteve distante, no Setor C.

Em contrapartida, as espécies Matrinxã, Acará Amazônico e Tambaqui apresentaram os melhores resultados em termos de eficiência da barreira comportamental, mantendo-se afastadas do Setor A. Essas espécies possuem comportamento semelhante entre si, utilizando diversos habitats de acordo com as estações do ano (AFFONSO *et al.*, 2012), além de formarem cardumes em situações de risco (PARRA *et al.*, 2009). Esse comportamento pode ter influenciado em sua permanência nos setores mais afastados, especialmente no Setor C.

4 CONCLUSÕES

A análise geral do comportamento das espécies Acará Amazônico (*Cichlasoma amazonarum*), Dianema Tigre (*Dianema Urostriatum*), Mandi (*Pimelodus blochii*); Matrinxã (*Brycon*) e Tambaqui (*Colossoma macropomum*), ao longo das três etapas do experimento evidencia não apenas uma resposta imediata aos estímulos da barreira comportamental de cortina de bolhas em consórcio com luz permanente, mas também demonstra um comportamento adaptativo ao longo do tempo, sendo observada uma busca por refúgio em setores que oferecem menor perturbação ambiental, no caso o Setor C. Esse comportamento sugere que em um ambiente natural, onde existe um canal de fuga, os peixes tenderão a se afastar da perturbação gerada pela barreira comportamental. Nessa perspectiva, a cortina de bolhas em consórcio com luz permanente apresenta elevada potencialidade para proteção da ictiofauna, visando impedir a entrada e confinamento de ictiofauna, durante manobras operacionais do setor hidroelétrico.

5 REFERÊNCIAS

AFFONSO, E. G.; BRASIL, E. M.; DE SOUZA, R. T. Y. B.; ONO, E. A. Criação de matrinxã (*brycon amazonicus*) em canais de igarapé no alto rio Negro, AM. In: Desvendando as fronteiras do conhecimento da região amazônica do alto rio Negro, Editores: Luiz Augusto Gomes de Souza e Eloy Guillermo Castellón, 2012. Disponível em: <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/36097>. Acesso em 19 de setembro de 2024.

BROWN, G. E.; ADRIAN, J. C.; SHIH Jr, E. M. L.. Behavioural responses of fathead minnows to hypoxanthine-3-N-oxide at varying concentrations. *Journal of Fish Biology*, United Kingdom, v.58, p.1465-1470, 2001. DOI: 10.1111/j.1095-8649.2001.tb02301.x.



Edição em Português e Inglês / Edition in Portuguese and English - Vol. 13, N. 40, 2025

CAVALCANTE, D. P. Feeding ecology of *Cichlasoma amazonarum* (Teleostei, Cichlidae) in Central Amazon Lakes, Brazil. **UAKARI**. [s.l.], v. 10, n. 1, 2014.

DA SILVA, T. M.; FIGUEIREDO, W. S.; ZARA, L. F.; SILVA, L. L. O.; MELO JUNIOR, J. O.; RIBEIRO, F. S. L.; OBARA, M. K. T. Deterring fish by increasing the flow rate in bulb turbines. **The International Journal on Hydropower and Dams**, v. 29, n. 04, 2022.

DA SILVA, T. M.; FIGUEIREDO, W. S.; DOS SANTOS, A. S.; DE MELO NETO, M. V.; ZARA, L. F. Dissuasão de peixes associada à dispersão de bolhas em turbina tipo bulbo. **Scientific Journal ANAP** (Edição Especial - Anais do XIX Fórum Ambiental da Alta Paulista: Eixo 2 - Ambiental), v. 01, n. 09, 2023.

DE QUEIROZ, L. J.; TORRENTE-VILARA, G; OHARA, W. M.; PIRES, T. H. S.; ZUANON, J; DORIA, C. R. C. **Ictiofauna do rio Madeira: monitoramento e conservação**. 3ª ed., Porto Velho: Santo Antônio Energia, 2023.

FIGUEIREDO, W. S.; DA SILVA, T. M.; ZARA, L. F. Promising chemical barrier substance applied to ichthyofauna in hydroelectric plants. **Eletronic Journal Environmental Forum of Alta Paulista**, v. 17, n. 04, 2021.

FIGUEIREDO, W. S; DA SILVA, T. M.; SARGENTINI, E. C. P.; BOLSON, M. A., PEREIRA, G. M.; ROCHA, C. P.; SARGENTINI JUNIOR, E. 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.

FIGUEIREDO, W. S.; SARGENTINI JUNIOR, E.; BOLSON, M. A.; DA SILVA, T. M.; ZARA, L. F. Behavioral analysis of fish in response to chondroitin and its applicability in the protection of ichthyofauna in the hydroelectric sector. **Eletronic Journal Environmental Forum of Alta Paulista**, v. 20, n. 01, 2024.

HOWES, G. Review of the genus Brycon (Teleostei: Characoidei). (1982). **Bulletin of the British Museum (Natural History) Zoology**, 43, 1--47. DOI: 10.5962/bhl.part.8299

LAWRENCE, B. J.; SMITH, R. J. F. Behavioral response of solitary fathead minnows *Pimephales promelas*, to alarm substance. **Journal of Chemical Ecology**, United States, v.15, n.1, p.209-219, 1989. DOI: 10.1007/BF02027783.

MARTIN, N. F.; LEIGHTON, T. G.; WHITE, P. R.; KEMP, P. S. The response of common carp (*Cyprinus carpio*) to insonified bubble curtains. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 150, n. 5, p. 3874 - 3888, 2021. DOI: 10.1121/10.0006972

MIRANDA RIBEIRO, A. Loricariidae, Callichthyidae, Doradidae e Trichomycteridae. In: Comissão de Linhas Telegraphicas Estrategicas de Matto-Grosso ao Amazonas. Anexo no. 5: 1-31, 1 pl., 1912.

MIRANDE, J. M. (2010). Phylogeny of the family Characidae (Teleostei: Characiformes) from characters to taxonomy. **Neotropical Ichthyology**, 8(3), 385–568. DOI: 10.1590/S1679-62252010000300001

PARRA, K. V.; ADRIAN Jr, J. C.; GERLAI, R. The synthetic substance hypoxanthine 3-N-oxide elicits alarm reactions in zebrafish (*Danio rerio*). **Behavioural Brain Research**, Netherlands, v. 205, n. 2, p. 336-341, 2009. DOI: 10.1016/j.bbr.2009.06.037.

PATRICK, Paul H. et al. Responses of fish to a strobe light/air-bubble barrier. **Fisheries Research**, v. 3, p. 157-172, 1985.

PERRY, R. W.; ROMINE, J. G.; ADAMS, N. S.; BLAKE, A. R.; BURAU, J. R.; JOHNSTON, S. V.; LIEDTKE, T. L. 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. DOI: 10.1002/rra.2628

SANTANA, M. L. C.; DA SILVA, T. M.; FIGUEIREDO, W. S.; ZARA, L. F. Taxonomic and functional diversity of confined ichthyofauna during hydroelectric generating unit stop. **Ibero-American Journal of Environmental Sciences**, v. 13, n. 08, 2022. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.008.0019

STEWART, H. A.; WOLTER, M. H.; WAHL, D. H. Laboratory Investigations on the Use of Strobe Lights and Bubble Curtains to Deter Dam Escapes of Age-0 Muskellunge. **North American Journal of Fisheries Management**, v. 34, p. 571-575, 2014. DOI: 10.1080/02755947.2014.892549



Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes

Technical and Scientific Journal Green Cities

ISSN 2317-8604 Suporte Online / Online Support

Edição em Português e Inglês / Edition in Portuguese and English - Vol. 13, N. 40, 2025

TAFT, E. P. Fish protection technologies: a status report. **Environmental Science & Policy**, v. 3, n. 1, p. 349-359, 2000. DOI: 10.1016/S1462-9011(00)00038-1

TAYLOR RM, PEGG MA, CHICK JH. Response of bighead carp to a bioacoustic behavioural fish guidance system. **Fisheries Management and Ecology**. 2005; 12:283-286. DOI: 10.1111/j.1365-2400.2005.00446.x

ZIELINSKI, D. P.; VOLLMER, V. R.; SVENDSEN, J. C.; HONDZO, M.; MENSINGER, A.F.; SORENSEN, P. Laboratory experiments demonstrate that bubble curtains can effectively inhibit movement of common carp. **Ecological Engineering**, v. 67, p. 95–103, 2014. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2014.03.003