



Dissuasão de peixes associada à dispersão de bolhas em turbina tipo

Tania Machado da Silva

Doutora, UnB, Brasil

taniamachado91@gmail.com.br

Willyane Silva Figueiredo

Doutora, UnB, Brasil

willyane@gmail.com

Alexandre Silva dos Santos

Mestre, UnB, Brasil

alexandre.santos@unb.br

Miguel Vieira de Melo Neto

Mestre, UnB, Brasil

miguelv17@gmail.com

Luiz Fabrício Zara

Professor Doutor, UnB, Brasil

fabriciozara@gmail.com

RESUMO

Durante os procedimentos de manutenção de unidades geradoras, a manobra operacional de parada da turbina ocasiona baixa vazão, podendo propiciar o acúmulo de peixes dentro do tubo de sucção. Atentando as premissas de proteção a ictiofauna, vários sistemas de repulsão têm sido desenvolvidos para minimizar o confinamento e os possíveis riscos à ictiofauna. O principal objetivo deste estudo foi investigar a efetividade dissuasiva na ictiofauna causada pela dispersão de bolhas ao longo do tubo de sucção durante a parada de unidade geradora. O monitoramento da ictiofauna no tubo de sucção foi feito com o auxílio de sistema hidroacústico. O procedimento de dispersão de bolhas foi feito utilizando o sistema de injeção de ar comprimido embutido no tubo de sucção das Unidades Geradoras da UHE Jirau, no rio Madeira - Rondônia. Foram acompanhadas 09 paradas de máquinas feitas em duas etapas, sendo a primeira etapa referente a parada convencional e a segunda etapa a parada da unidade geradora com dispersão de bolhas. A movimentação da ictiofauna confinada, durante as duas etapas, foi acompanhada continuamente por um sistema hidroacústico de monitoramento em tempo real instalado nas comportas vagões. Os resultados mostram a redução de cerca de 42% da movimentação da ictiofauna após o procedimento de dispersão de bolhas, possibilitando inferir considerável diminuição no confinamento da ictiofauna no tubo de sucção. Esta efetividade observada, em ambiente desfavorável com elevada turbidez do rio Madeira, infere considerável potencialidade dessa tecnologia robusta e de baixo custo para proteção da ictiofauna no setor hidrelétrico.

PALAVRAS-CHAVE: Dissuasão de ictiofauna. Bolhas de ar. Efeito comportamental. Rio Madeira.

1. INTRODUÇÃO

A matriz energética brasileira é composta por uma variedade de fontes, incluindo hidrelétricas, termelétricas, eólicas, solares, biomassa e nuclear. Detendo cerca de 12 % do volume total de água doce disponível no mundo, o Brasil, historicamente, tem a hidroeletricidade como sua principal fonte de geração de energia. A potência total instalada em operação no Brasil é de 182.974,2 MW, destes, cerca de 49,65 % são provenientes do setor hidrelétrico (Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2022).

A opção brasileira pelas usinas hidrelétricas pode ser justificada basicamente pela segurança temporal no provimento de energia (em função da formação de um reservatório) e pelo grande potencial hidrelétrico ainda disponível no território brasileiro (MORETTO et al., 2012). No Brasil, o potencial hídrico remanescente está na Região Amazônica e o grande interesse hidrelétrico voltado para essa região é resultante das grandes quedas topográficas existentes nos afluentes do rio Amazonas a partir do Escudo Brasileiro (na parte sul da região) e do Escudo Guianense (no lado norte), além dos valores dos potenciais estudados e estimados na região (FEARNSIDE, 2013). O processo de decisão do balanço positivo de um empreendimento hidrelétrico é extremamente complexo, devendo ocorrer de forma cuidadosa e embasado em critérios ambientais, técnicos e econômicos (MENDES et al., 2017). Apesar da hidroeletricidade ser considerada uma fonte sustentável, com baixa emissão de gases do efeito estufa, durante todas as fases, desde o planejamento até a operação, os empreendimentos do Setor Elétrico enfrentam diversas preocupações relacionadas ao meio ambiente. Entre elas, uma das questões mais evidentes diz respeito aos efeitos causados sobre a vida aquática, sobretudo os impactos sobre a ictiofauna (Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), 2015; DA SILVA et al., 2021).

Durante os procedimentos de manutenção, as manobras operacionais de paradas programadas e/ou intempestivas de unidades geradoras, propicia a baixa vazão de operação

podendo causar o acúmulo de ictiofauna no interior do tubo de sucção, principalmente em rios de alta piscosidade, representando riscos para a comunidade aquática (SCHILT, 2007). O aprisionamento da ictiofauna no tubo de sucção, demanda operações complexas de resgate da ictiofauna, os quais seguem protocolos rígidos de segurança de trabalho para as equipes de resgate, podendo levar a passivos econômicos, caso o período sem geração de energia elétrica se estenda. Nessa perspectiva, novas regras operativas e diversas tecnologias para proteção da ictiofauna têm sido desenvolvidos no intuito de minimizar possíveis impactos e otimizar os procedimentos de manutenção (DA SILVA et al., 2022; FIGUEIREDO et al., 2022; SANTANA et al., 2022).

No Brasil é registrada a ocorrência de cerca de 2.600 espécies de peixes válidas (HILSDORF & MOREIRA, 2008). No rio Madeira foram inventariadas cerca de 920 espécies, o que atribui a esse rio o título de maior riqueza de espécies da ictiofauna registrada na Amazônia (DE QUEIROZ et al., 2013). O movimento migratório de peixes é de extrema importância na modulação de sua fisiologia reprodutiva, sendo necessário para o desenvolvimento das gônadas (ovários e testículos) e para a maturação dos gametas após desova, além de propiciar a dispersão dos ovos e larvas (HILSDORF & MOREIRA, 2008). Fatos como esse, associado à grande diversidade de peixes encontrada no rio Madeira, demanda, de empreendimentos hidrelétricos situados nessa região, o desenvolvimento e a utilização de métodos de monitoramento e repulsão de ictiofauna mais abrangentes

As barreiras físicas ou mecânicas (telas e grades), utilizadas no setor hidrelétrico são indicadas para uma ampla gama de espécies, entretanto, requerem onerosas e constantes manutenções preventivas e corretivas (DE ANDRADE et al., 2012). Outras tecnologias de proteção da ictiofauna, são as barreiras comportamentais, as quais utilizam estímulos sonoros, luzes estroboscópicas, correntes elétricas e cortinas de bolhas para atingir os sistemas sensoriais dos peixes (ZIELINSKI et al., 2014; DIAS et al., 2020; FIGUEIREDO et al., 2021). As respostas comportamentais são complexas e específicas de cada espécie frente à determinados estímulos sensoriais, além de ser influenciadas por condições ambientais, tais como vazão e turbidez (PERRY et al., 2014).

Atentando às premissas de proteção a ictiofauna, este estudo investiga a efetividade dissuasiva da ictiofauna causada pela dispersão de bolhas ao longo do tubo de sucção de turbina hidrelétrica do tipo bulbo na Usina Hidrelétrica (UHE) Jirau, no rio Madeira – Rondônia.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

A Usina Hidrelétrica Jirau (UHE Jirau) está localizada na região amazônica, no Rio Madeira (Figura 1). A UHE Jirau possui capacidade instalada de 3.750 MW, sendo a quarta maior geradora de energia elétrica do Brasil, representando cerca de 3,7% de toda a energia hidrelétrica do país. A usina conta com 50 unidades geradoras tipo bulbo, distribuídas em duas casas de força (CF1 e CF2), com descarga nominal de 550 m³ s⁻¹ e garantia física de 2.211,6 MW (ESBR, 2022).

Figura 1 - Estrutura das áreas de estudo da UHE Jirau, no rio Madeira, Rondônia.

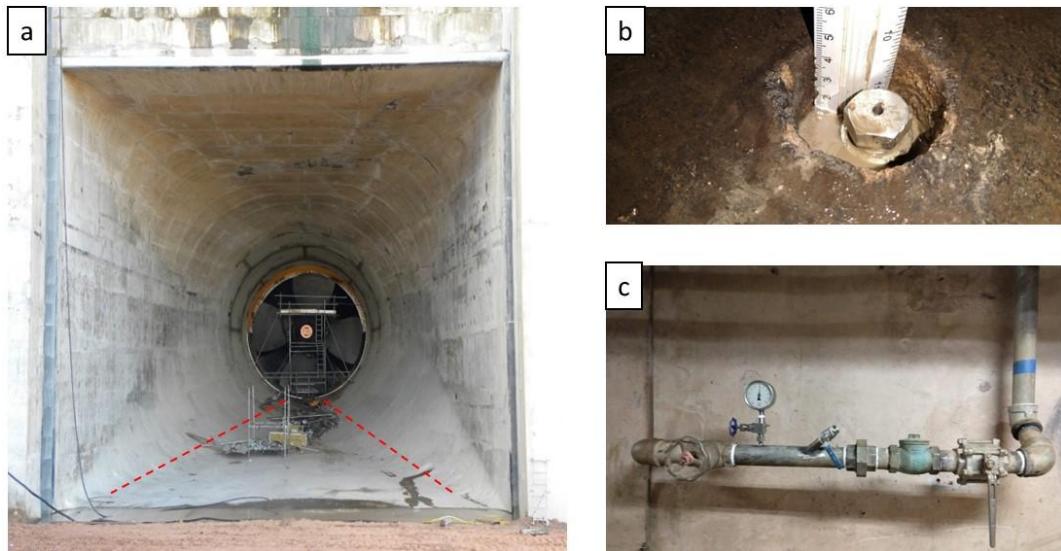


Fonte: Jirau Energia – ESBR.

2.2. Manobra operativa de dissuasão da ictifauna

A estrutura civil do tubo de sucção das unidades geradoras do tipo bulbo da UHE Jirau possui um sistema de injeção de ar comprimido embutido, composto por 8 bicos injetores sextavados distribuídos igualitariamente nas laterais com espaçamentos de 6,0 m (Figura 2). A manobra operativa de dissuasão da ictiofauna inicia com a abertura total da válvula de acionamento manual da linha de injeção de ar comprimido (7 bar) com o tubo de sucção aberto. A descida da comporta vagão ocorre somente após 15 minutos de dispersão de bolha ao longo do tubo de sucção. Imediatamente após a confirmação de fechamento da unidade geradora, é acionado manualmente o bloqueio mecânico (86 M), fechada a válvula da linha de injeção de ar comprimido e consolidado o procedimento de parada da unidade.

Figura 2 – Sistema de injeção de ar comprimido no tubo de sução da unidade geradora da UHE Jirau. a – Visão frontal e indicação da localização dos bicos injetores; b – Bico injetor sextavado; c – Válvula de acionamento manual da injeção de ar comprimido. Fonte: Acervo Venturo Engenharia e Consultoria ambiental.



Fonte: Autor.

2.3. Monitoramento da ictiofauna confinada

A avaliação em tempo real da movimentação da ictiofauna confinada no tubo de sucção é feita utilizando o sistema hidroacústico de varredura de baixa e de alta frequência, desenvolvido pela Venturo Consultoria Ambiental. No plano de face da comporta vagão foram fixados 2 transdutores cerca de 9,0 m acima da parte inferior da comporta vagão, de forma que o transdutor fique no centro do tubo de sucção após o fechamento da unidade geradora. Os transdutores são conectados por cabeamento específico e resistente ao equipamento hidroacústico, na laje superior do paramento de jusante da casa de força (Figura 3). O sistema de geração de imagens utilizou frequências distintas, permitindo a demarcação de áreas de coberturas específicas da movimentação da ictiofauna no tubo de sucção da unidade geradora do tipo bulbo. O sistema hidroacústico foi ajustado para frequências de 250 a 350 kHz, com largura de feixe horizontal de 0,9º, largura de feixe vertical de 39º e angulo de inclinação na vertical de 26º (DA SILVA et al., 2022).

Figura 3 – Sistema hidroacústico acoplado ao plano de face da comporta vagão da UHE Jirau (Patente nº BR 102015000457-5 A2). a – Comporta vagão; b – Detalhe da fixação dos transdutores; c – Detalhe do cabeamento; d – Operação do equipamento hidroacústico.



Fonte: DA SILVA et al (2021).

2.4. Avaliação da efetividade dissuasiva da ictiofauna

Para a avaliação a efetividade da dissuasão da ictiofauna pela dispersão de bolhas, o procedimento de parada programada de nove unidades geradoras UHE Jirau (maio a agosto/2022), foi feito em duas etapas. Na primeira etapa, a parada da unidade geradora ocorreu de forma convencional, sem ocorrência de qualquer método de repulsão da ictiofauna. Enquanto que, na segunda etapa, a parada da unidade geradora ocorreu com a execução da manobra operativa de dissuasão da ictiofauna. Nas duas etapas, após completa vedação do tubo de sucção, o monitoramento da movimentação da ictiofauna confinada foi feito por cerca de 20 minutos. As imagens foram arquivadas e posteriormente analisadas utilizando software para visualização, com ajuste de composição colorida de falsa cor “Blue – Turquoise” e valor do pixel de 0,000361 m². As movimentações dos espécimes de ictiofauna confinada foram classificadas

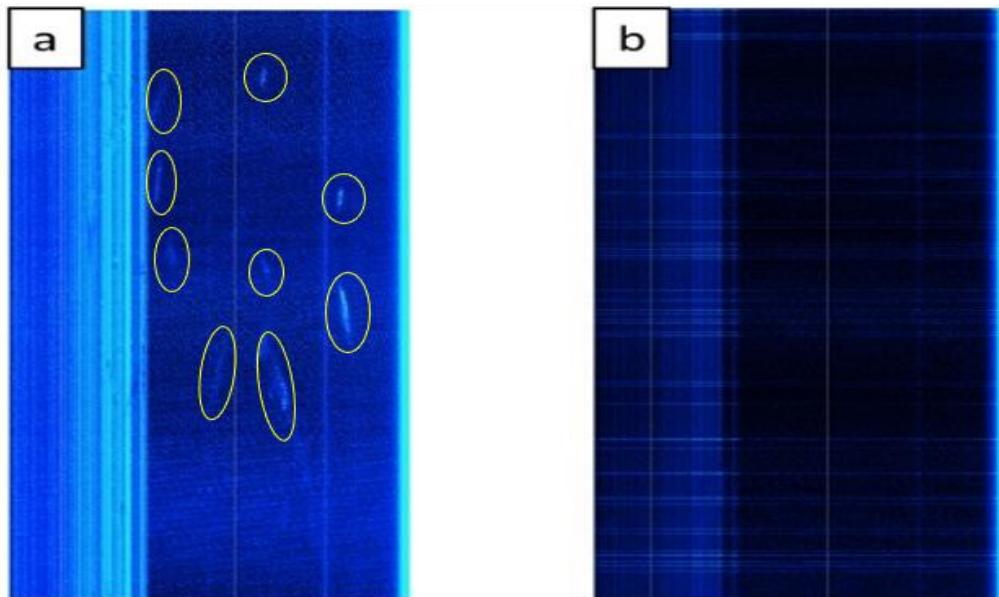
em função do tamanho na tela de interface do software nas categorias < 1,0 cm; > 1,0 a < 2,0 cm e > 2,0 cm (DA SILVA et al., 2021).

3. RESULTADOS

O sistema hidroacústico com os transdutores instalados no plano de fase da comporta vagão (Sistema SeeSub) possibilitou a visualização em tempo real da movimentação da ictiofauna confinada no tubo de sucção durante as paradas previstas das unidades geradoras, resguardando de quaisquer impactos a ictiofauna.

As imagens subaquáticas multifrequenciais em tempo real evidenciaram a diminuição da movimentação da ictiofauna após a execução da manobra operativa de dissuasão da ictiofauna (Figura 4), sendo importante ressaltar que as duas unidades geradoras adjacentes permaneceram em operação. A avaliação em tempo real, com rapidez e robustez, possibilita a interrupção do procedimento operacional de parada da unidade geradora caso haja risco de danos a assembleia de peixes confinada.

Figura 4 – Exemplos de imagens subaquáticas multifrequenciais do tubo de sucção durante a primeira etapa (a) e segunda etapa (b) da parada prevista da unidade geradora da UHE Jirau. Fonte: Acervo Venturo Engenharia e Consultoria ambiental.



Fonte: Autor.

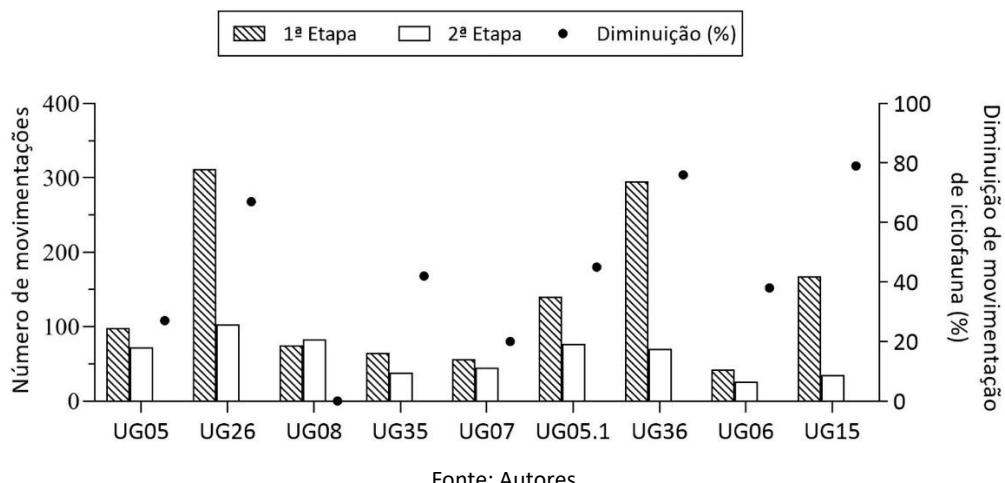
Adicionalmente, os resultados obtidos na avaliação quantitativa após a primeira etapa, indicaram mediana de 98 e média de 139 ± 96 movimentações durante 20 minutos. Enquanto que na segunda etapa, após execução da manobra de dissuasão da ictiofauna por dispersão de bolhas, a movimentação mediana foi de 70 e a média de 61 ± 24 . A análise integrada dos resultados obtidos para os dois grupos experimentais (primeira e segunda etapa), mostrou diferença significativa na movimentação da ictiofauna confinada no tubo de sucção (teste de Mann-Whitney, $p < 0,05$), possibilitando estimar a redução de cerca de 42% da movimentação da ictiofauna no tubo de sucção após procedimento dissuasão da ictiofauna (Figura 5).

Considerando todas as paradas de unidades geradoras analisadas, em apenas 15% não foi observada eficiência da manobra de dissuasão da ictiofauna do tubo de sucção, estando este fato possivelmente relacionado à várias questões externas ou até mesmo a presença de predadores que possam ter inimizado a dissuasão dos espécimes.

A estratificando da ictiofauna confinada no tubo de sucção em função do tamanho na tela de interface do software nas categorias < 1,0 cm; > 1,0 e < 2,0 cm; e > 2,0 cm, durante as paradas das unidades geradoras, mostraram a efetividade da manobra operativa de dissuasão de ictiofauna nas diferentes faixas de tamanho dos espécimes (Figura 6). É importante destacar que a manobra de dissuasão minimizou o confinamento de espécimes de maior porte (> 3 cm) com 68% de efetividade relativa, sendo de grande importância quando se considera o esforço, humano e material, para o desenvolvimento de atividades de resgate de ictiofauna do tubo de sucção.

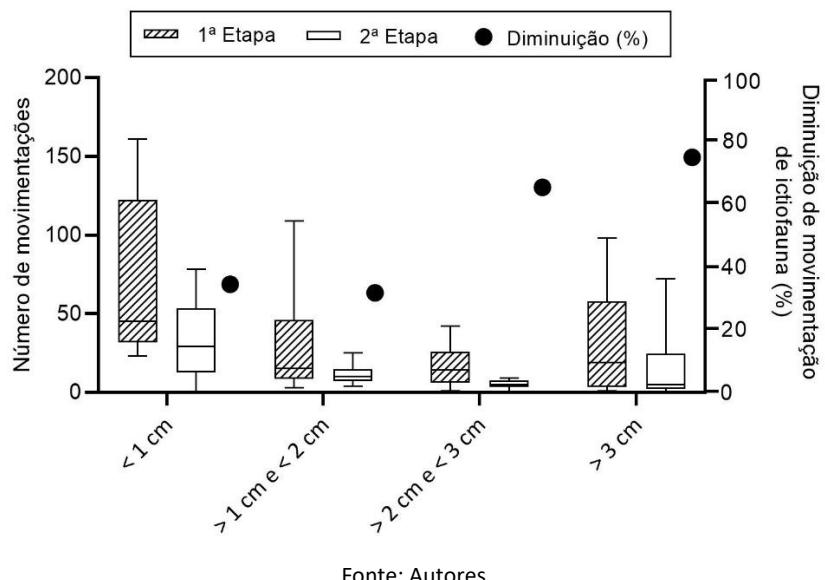
Os resultados da efetividade da manobra operativa de dissuasão da ictiofauna indicam claramente a eficiência da utilização da dispersão de bolhas na repulsão de peixes de turbinas do tipo bulbo. Neste procedimento operacional pode ser inferido a ocorrência dos estímulos sonoros e táteis na parte interna do tubo de sucção e um possível efeito de atratividade da ictiofauna na parte externa do tubo de sucção e próxima a superfície, devido a ebulição das bolhas de ar.

Figura 5 – Avaliação quantitativa da movimentação da ictiofauna confinada no tubo de sucção durante a primeira etapa (convencional) e segunda etapa (manobra de dissuasão) das paradas previstas das unidades geradoras da UHE Jirau.



Fonte: Autores.

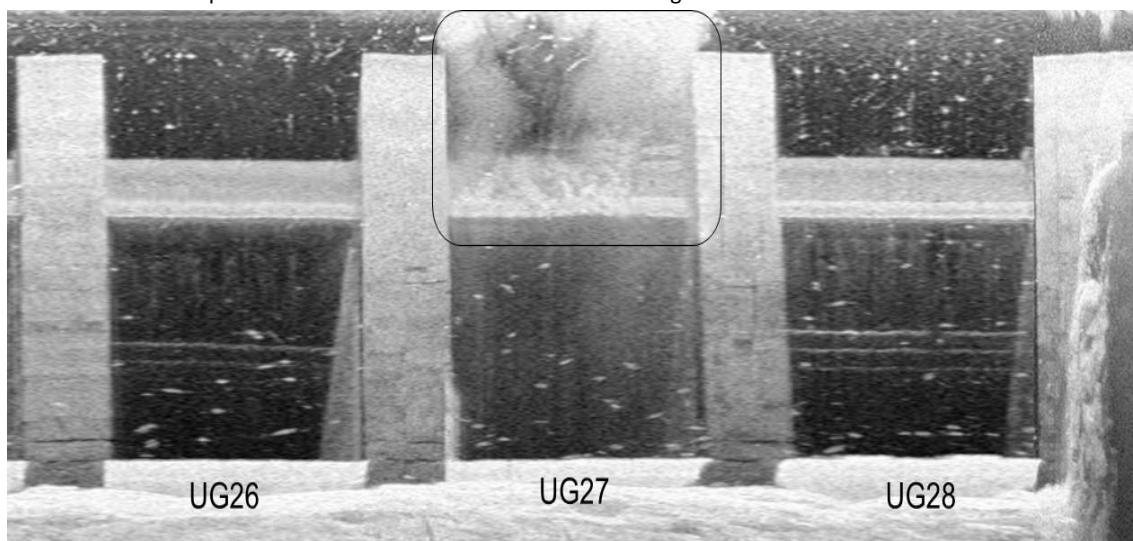
Figura 6 – Estratificação em função do tamanho relativo da ictiofauna confinada no tubo de sucção durante a primeira etapa (convencional) e segunda etapa (manobra de dissuasão) das paradas previstas das unidades geradoras da UHE Jirau.



Fonte: Autores.

A imagem subaquática em perfil transversal ao desemboque do tubo de sucção das unidades geradoras durante a manobra operativa de dissuasão da ictiofauna mostra a efervescência na região do plano de vedação superior do tubo de sucção e a pluma de dispersão gasosa, sendo na superfície observado a formação de cardume de peixes próximo ao paramento de jusante da unidade geradora (Figura 7).

Figura 7 – Imagem subaquática em perfil transversal ao desemboque do tubo de sucção durante a manobra operativa de dissuasão da ictiofauna na unidade geradora UG27 da UHE Jirau.



Fonte: Autores.

4. DISCUSSÃO

Atualmente, barreiras físicas são amplamente utilizadas no setor hidrelétrico, tanto em vista sua eficiência no que se refere ao impedimento da passagem de peixes para às turbinas. Entretanto, essas tecnologias requerem muita manutenção e podem ser relativamente onerosas (ZIELINSKI et al., 2014). Além disso, esses métodos negligenciam aspectos biológicos e comportamentais das espécies de peixes, considerando apenas aspectos puramente físicos (JESUS et al., 2019).

Nessa perspectiva, as barreiras comportamentais para peixes têm se mostrado eficazes em reduzir os impactos causados pelas estruturas hidráulicas das barragens, pois além de impedir o acesso da ictiofauna às turbinas de produção elétrica, sistemas de bombeamento, sistemas adutores, entre outros, auxilia no direcionamento da ictiofauna aos sistemas de transposição de peixes (STP), promovendo o contínuo ecológico e reduzindo a possibilidade de mortalidade e ferimentos de peixes. Essas barreiras funcionam por meio da emissão controlada de estímulos primários, visando atingir os sistemas sensoriais dos peixes e provocar reações desejadas, seja de atração ou repulsão. A modulação dos estímulos emitidos possibilita desenvolver as reações desejadas em indivíduos-alvo, ajudando a criar barreiras eficazes e seletivas (ZIELINSKI et al., 2014; JESUS et al., 2019).

Jesus e colaboradores (2019) estudaram, em condições laboratoriais, os efeitos repulsivos da cortina de bolhas isoladamente e combinada com luz estroboscópica (600 flashes/minuto) na espécie *Salmo trutta*, durante os períodos diurno e noturno. Foram observadas diferenças comportamentais nos testes com a cortina de bolhas, sendo observado efeito repulsivo durante o dia e levemente atrativo durante os testes noturnos. Por outro lado, nos testes que utilizaram ambos os estímulos em conjunto (bolhas e luz), a espécie apresentou um comportamento repulsivo superior à cortina de bolhas isoladamente, durante ambos os períodos (diurno e noturno).

Em estudo sobre a eficiência da cortina de bolhas para desviar a migração do salmão do Atlântico, Leander e colaboradores (2021) constataram que em laboratório as bolhas desviaram 95 % dos peixes e em ambientes naturais 90%. Contudo, nesse experimento as bolhas não afetaram a migração no escuro, indicando que pistas visuais são necessárias para a real eficiência desse sistema.

O rio Madeira apresenta elevada turbidez, principalmente em períodos chuvosos, causando grande grau de atenuação da intensidade de luz ao atravessar a água devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e de detritos orgânicos, algas e bactérias, plânctons, entre outros (BARBOSA et al., 2018). Dessa forma, a elevada turbidez desse ecossistema impede a passagem de luz, o que pode reduzir a eficiência das bolhas como procedimento repulsivo de ictiofauna.

A efetividade observada na dissuasão da ictiofauna, neste ambiente de elevada turbidez, na UHE Jirau infere considerável potencialidade dessa tecnologia robusta e de baixo custo para proteção da ictiofauna no setor hidrelétrico.

5. CONCLUSÕES

A manobra operativa de dissuasão da ictiofauna utilizando dispersão de ar comprimido ao longo do tubo de sucção agrupa estímulos primários de repulsão no interior do tubo de sucção e estímulos de atratividade na região externa do tubo de sucção próxima a superfície. A manobra operacional reduziu em 42% a movimentação da ictiofauna no tubo de sucção, inferindo menor quantidade de peixes confinados, sendo efetiva em todos os tamos de peixes. Dessa forma, a utilização desse procedimento operacional como sistema de dissuasão de ictiofauna no tubo de sucção de unidades geradoras tipo bulbo se mostrou uma estratégia inovadora e eficiente na proteção da ictiofauna.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, **Sistema de Informações de Geração da ANEEL – SIGA**, 2022, Disponível em:
<<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjIILWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2liwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSlSmMiOjR9>> Access: jun. 2022
- BARBOSA, J.G., GUIMARÃES, J.R.D. AND BRAGA, A.C. Análise da turbidez da água na bacia do rio das Almas, Goiás. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.22, n. 2, p.620 - 628, 2018.
- CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais. **Tópicos de manejo e conservação da Ictiofauna para o setor Elétrico**. 1 ed. Belo Horizonte: Cemig, 2015.
- DA SILVA, T. M.; FIGUEIREDO, W. S.; ZARA, L. F. Hydraulic flow rate increase maneuver for ichthyofauna repulsion in bulb-type generating units – Jirau Hydroelectric Power Plant. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 17, n. 4, p. 53 – 63, 2021. <https://doi.org/10.17271/1980082717420213049>
- 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. 4, p. 62- 65, 2022.
- DE ANDRADE, F.; PRADO, I. G.; LOURES, R. C.; GODINHO, A. L. Evaluation of techniques used to protect tailrace fishes during turbine maneuvers at Três Marias Dam, Brazil. **Neotropical Ichthyology**, v. 10, n. 4, p. 723 – 730, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252012000400005>
- DE QUEIROZ, L. J.; TORRENTE-VILARA, G.; OHARA, W. M.; PIRES, T. H. S.; ZUANON, J.; DORIA, C. R. C. (Org.) **Peixes do rio Madeira - Volume 1**, Santo Antônio Energia, São Paulo, 2013. Disponível em:
https://www.santoantonioenergia.com.br/peixes_doriomadeira/ictio1.pdf
- DIAS, M. F.; MAROJA, A. M.; GARAVELLI, S. L.; Sistema para repulsão de ictiofauna em hidroelétricas brasileiras. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 16, n. 5, p. 180 – 191, 2020. <https://doi.org/10.17271/1980082716520202657>
- ESBR - Energia Sustentável do Brasil. 2022. Available in: <<https://www.esbr.com.br/empresa#a-usina-hidreletrica-jirau>>. Access: jun. 2022
- FEARNSIDE, P. M. 2013. Viewpoint-decision making on amazon dams: Politics trumps uncertainty in the madeira river sediments controversy. **Water Alternatives**, v. 6, n. 2, p 313 – 325, 2013.
- FIGUEIREDO, W. S.; DA SILVA, T. M.; ZARA, L. F. Promising chemical barrier substance applied to ichthyofauna in hydroelectric plants. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 17, n. 4, p. 43 – 51, 2021. <https://doi.org/10.17271/1980082717420213048>
- FIGUEIREDO, W. S.; DA SILVA, T. M.; Respostas comportamentais de peixes expostos à hipoxantina-3-n-óxido e perspectivas de aplicabilidade no setor hidrelétrico. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 13, n. 10, p. 43-52, 2022. <https://orcid.org/0000-0002-4144-4949>

HILSDORF, A. W. S.; MOREIRA, R. G. **Piracema, por que os peixes migram?** Scientific American Brasil, p. 76-80, 2008. Disponível em: <https://www.umc.br/artigoscientificos/art-cient-0089.pdf>

JESUS, J.; AMORIM, M. C. P.; FONSECA, P. J.; TEIXEIRA, A.; NATÁRIO, S.; CARROLA, J.; VARANDAS, S.; PEREIRA, L. T.; CORTES, R. M. V. Acoustic barriers as an acoustic deterrent for native potamodromous migratory fish species. **Journal of Fish Biology**, v. 95, p. 247 – 25, 2019. <https://doi.org/10.1111/jfb.13769>

LEANDER, J.; KLAMINDER, J.; HELLSTRÖM, G.; JONSSON, M. Bubble barriers to guide downstream migrating Atlantic salmon (*Salmo salar*): An evaluatin using acoustic telemetry. **Ecological Engineering**, v. 160, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106141>

MENDES, C. A. B.; BELUCO, A.; CANALES, F. A. Some important uncertainties related to climate change in projections for the Brazilian hydropower expansion in the Amazon. **Energy**, v. 141, n. 15, p. 123–138, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.09.071>

MORETTO, E. M.; GOMES, C. S.; ROQUETTI, D. R.; JORDÃO, C. O. Histórico, tendências e perspectivas no planejamento espacial de usinas hidrelétricas brasileiras: A antiga e atual fronteira amazônica. **Ambiente & Sociedade**, v. 15, n. 3, p. 141–164, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2012000300009>

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. <https://doi.org/10.1002/rra.2628>

SANTANA, M. L. E.; DA SILVA, T. M.; FIGUEIREDO, W. S; ZARA, L. F. Diversidade taxonômica e funcional da ictiofauna confinada durante parada de unidade geradora em hidrelétrica. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 13, n. 8, 2022.

SCHILT, C. R. Developing fish passage and protection at hydropower dams. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 104, n. 3-4, p. 295 – 325, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2006.09.004>

ZIELINSKI, D. P.; VOLLE, 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. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.03.003>