



FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA

XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

Proteção da ictiofauna em hidrelétricas brasileiras por meio de barreiras acústicas

Mota L. P. L.¹, Garavelli, S. L.² Maroja, A. M.³;

¹ Centro Universitário de Brasília, Brasília, DF, Brasil, leticia.mota@sempreceub.com

² Centro Universitário de Brasília, Brasília, DF, Brasil, sergio.garavelli@ceub.edu.br

³ Curso de Ciências Naturais, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil, amaroja@unb.br

Resumo

A energia hidráulica no Brasil representa mais de 65% na matriz elétrica, entretanto, a produção desta energia tem como consequências impactos ambientais nos rios e prejuízos a ictiofauna. Para preservar rotas migratórias de peixes, têm-se adotado sistemas de transposição e alternativas para a repulsão da ictiofauna visando evitar o acúmulo de peixes no sopé das barragens, em especial durante as manutenções periódicas e intempestivas das turbinas. Este trabalho é parte de um projeto de pesquisa que irá propor e testar barreiras acústicas que atendam as particularidades das espécies de peixes existentes na área de estudo, a Usina Hidrelétrica de Jirau na região amazônica. Este artigo apresenta os resultados das simulações de diferentes configurações de barreiras acústicas, com potencial de afugentar a ictiofauna a jusante dos tubos de sucção durante a manobra de parada, evitando seu aprisionamento. Inicialmente foram considerados dois parâmetros acústicos, determinados pelo grupo de pesquisa: o menor nível de estímulo sonoro detectável, de 120 dB, re: 1μPa e faixa de frequência entre 100 e 5000Hz, faixa de audição estimada para peixes amazônicos. Na simulação, além dos parâmetros citados, foi considerado o som residual produzido pela operação das turbinas, a relação sinal/ruído e o decaimento da intensidade do som na água com a distância, chegando a uma barreira com intensidade mínima de 160 dB, re: 1μPa. Foram realizadas simulações com dois tipos de arranjos de fontes sonoras, o primeiro com uma fonte e segundo com quatro fontes. Os resultados indicaram que os arranjos propostos são eficientes e tem potencial de afugentamento e proteção da ictiofauna. As duas barreiras acústicas propostas atenderam as especificações e os resultados indicaram que o arranjo com uma fonte sonora é mais adequado para o propósito, pois além de eficaz apresenta o melhor custo-benefício.

Palavras-chave: barreira sonora, peixes amazônicos, turbinas, hidrelétrica, ruído subaquático

PACS: 43.50.Rq, 43.30.-k

Abstract

Hydraulic energy in Brazil represents more than 65% of the electrical matrix, however, the production of this energy has environmental impacts on rivers and damages to ichthyofauna. To preserve fish migratory routes, transposition systems and alternatives have been adopted for the repulsion of ichthyofauna to avoid the accumulation of fish at the foot of the dams, especially during periodic and untimely maintenance of the turbines. This work is part of a research project that will propose and test acoustic barriers that meet the particularities of fish species existing in the study area, Jirau Hydroelectric Power Plant, in the Amazon region. This article presents the results of the simulations of different configurations of acoustic barriers, with the potential to scare away the ichthyofauna downstream of the suction tubes during the stop maneuver, avoiding the entrapment. Initially, two acoustic parameters were considered, determined by the research group: the lowest detectable sound stimulus level, 120 dB, re: 1μPa and frequency range between 100 and 5000Hz, estimated hearing range for Amazon fish. In the simulation, in addition to the mentioned parameters, the residual sound produced by the operation of the turbines, the signal/noise ratio and the decay of the sound intensity in the water were considered, reaching a barrier with a minimum intensity of 160 dB, re: 1μPa. Simulations were performed with two types of sound source arrangements, the first with one source and the second with four sources. The results indicated that the proposed arrangements are efficient and have the potential to chase away and protect the ichthyofauna. The two proposed acoustic barriers met the specifications and the results indicated that the arrangement with a sound source is more suitable for the purpose, because in addition to being effective, it presents the best cost-benefit.



Keywords: sound barrier, amazon fish, turbines, hydroelectric plant, underwater noise

1. INTRODUÇÃO

Sob a perspectiva histórica podemos observar como a energia elétrica vem se tornando cada vez mais indispensável para a humanidade. A grande maioria das atividades realizadas pelo homem tangem a utilização da eletricidade, seja para a iluminação durante o período noturno, utilização de eletrodomésticos ou acesso aos recursos tecnológicos.

A presente pesquisa está inserida nos estudos relacionados ao sistema de produção elétrica brasileira. No Brasil, a geração de energia elétrica é prevalentemente composta por usinas hidroelétricas, e apresenta também outros setores de produção de energia, como: energia eólica, energia solar, energia termelétrica, gás natural, biomassa entre outros. As hidroelétricas representam mais de 65% da matriz elétrica [1].

As usinas hidroelétricas produzem energia elétrica mediante a utilização do potencial hidráulico do rio. Consequentemente, se faz necessário o alagamento de grandes áreas e/ou mudanças nos cursos dos rios para a construção deste sistema de produção, e por conseguinte, ocasiona impactos a vida da ictiofauna (peixes) presente nos rios. As hidrelétricas influenciam de diversas maneiras a vivência dos peixes em sua esfericidade, desde a sua construção até o seu modo produtivo, podendo afetar seu estilo de vida reprodutivo, sua permanência no seu habitat natural entre outros impactos ambientais.

Andrade e Araújo [2]**Erro! Fonte de referência não encontrada.** destacam que é de extrema importância a adoção pelas usinas de sistemas de monitoramento e contenção eficazes com o objetivo de mitigar possíveis danos à ictiofauna e ao mesmo tempo permitir o funcionamento das unidades geradoras. Trabalho esse complexo, mas muito necessário para todas as partes envolvidas para a produção de energia elétrica por usinas hidroelétricas.

Existem técnicas e mecanismos, como descrito no Programa Peixe Vivo por Loures *et al.* [3]**Erro! Fonte de referência não**



Figura 1: Área de estudo: Usina Hidrelétrica Jirau
(Fonte: Google Maps, 2021)

encontrada., para a minimização dos efeitos causados pelas usinas aos peixes, essas principais técnicas são: barreiras físicas (como grades e telas), barreiras elétricas, uso de som para afastamento, sistema de transposição de peixes (SPT), luz estroboscópica e cortina de bolhas.

O presente trabalho tem como objeto de estudo a Usina Hidroelétrica (UHE) Jirau localizada no rio Madeira a 120km da capital Porto Velho, no estado de Rondônia, no Brasil. O intuito do projeto de pesquisa é produzir uma barreira acústica para a repulsão dos peixes aprisionados nos canais de fuga das UHE brasileiras. Este artigo apresenta os resultados das simulações de diferentes configurações de barreiras acústicas, com o potencial de afastar a ictiofauna a jusante dos tubos de sucção durante a manobra de parada, evitando seu aprisionamento.

As usinas hidroelétricas mais comuns são as de acumulação, estas dispõem de grandes reservatórios, porque as vazões de período seco são inferiores a vazão essencial para o cumprimento da matriz energética necessária para o atendimento populacional. Portanto, o estoque de água e o desnível das vazões afluente e defluente conferem garantia da produção de eletricidade. Entretanto, para a construção desse

tipo de usina é inevitável o desmatamento e alagamento das regiões vizinhas para a execução do depósito para água, essa ação pode causar danos ao meio ambiente.

Por outro lado, existem as usinas fio d'água, as quais dispensam reservatórios ou quando utilizam são em pequenas dimensões. A sua seleção decorre de vazões que são iguais ou superiores a vazão essencial para o atendimento da produção de energia necessária. Portanto, não há necessidade de estocagem de água, uma vez que, as vazões afluentes e defluentes são iguais. Apesar de ser menos invasiva ao meio ambiente, pela inexistência de um reservatório, a usina hidrelétrica de fio d'água produz uma menor quantidade de energia. A UHE Jirau, objeto de estudo do presente trabalho, é classificada como usina fio d'água.

A UHE Jirau possui 50 unidades geradoras (UG) com turbinas tipo bulbo, potência instalada de 3.750 MW, situada dentre os dez maiores agentes de capacidade instalada conforme informações publicadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica [4].

Estudos relacionados a simulação de barreiras acústicas, mediante a utilização uma fonte sonora para emissão de som para o afugentamento dos peixes, é uma área de pesquisa nova e com estudos ainda incipientes. Efetuou-se pesquisas de artigos relacionados e praticamente não foram encontrados muitos estudos sobre o tema, principalmente projetos desenvolvidos no Brasil. Portanto, esta área de pesquisa é um avanço para as técnicas de estudo de mecanismos de barreiras de proteção a ictiofauna presente a jusante da barragem das usinas hidrelétricas.

Loures *et al.* [3] destacam que apesar de estudos sobre barreiras acústicas serem realizados desde 1980, os resultados da aplicação do som para a repulsão de peixes têm evidenciado dados variáveis, inconstantes e com pouca eficácia em alguns casos. Essa inconsistência de dados é proveniente da especificação de cada espécie, devido à grande variação da faixa detectável audível pelos peixes, trazendo um grau de complexidade de atender a variedade de espécies (sensíveis a baixas, médias ou altas

frequências) que podem estar presentes no rio.

Logo, o entendimento dos parâmetros acústicos da ictiofauna local é imprescindível para construção da barreira acústica, uma vez que, o ruído produzido pela barreira deve ser específico para as espécies de peixes mais abundantes no local de estudo, evitando sons com frequência próxima produzidas pelas turbinas hidrelétricas, como também, sons com alta intensidade capazes de prejudicar a saúde dos peixes. Outra consideração a se fazer é em relação aos sons residuais subaquáticos praticados nos locais com altos NPS (tomadas d'água e tubos de sucção) que podem dificultar a percepção pelos peixes [5].

Na pesquisa inicial realizada por Dias, Maroja e Garavelli [6], que também fez parte do mesmo projeto de Pesquisa e Desenvolvimento, foram cruzados dados da árvore genealógica das espécies mais abundantes na UHE Jirau com outros trabalhos e obteve-se uma estimativa, para o menor estímulo detectável e a faixa detectável de frequência da ictiofauna da região de estudo: o menor nível de estímulo sonoro detectável de 120 dB, re: 1 μ Pa e a faixa de audição entre 100 e 5000Hz. Considerando o som residual produzido pela operação das turbinas, a relação sinal/ruído e o decaimento da intensidade do som na água com a distância, o estudo propõe uma barreira com intensidade mínima de 160 dB re: 1 μ Pa, a depender dos níveis de pressão sonora subaquático nas proximidades das unidades geradoras da UHE Jirau.

Em outra etapa foi realizada a caracterização dos sons aéreos na vizinhança da usina. Os resultados mostram que os ruídos ambientais aéreos na área externa da usina bem como no limite com a área de floresta que circunda o empreendimento os NPS estão de acordo com os valores estabelecidos pelas normas vigentes. O espectro sonoro não apresenta sons tonais mesmo nas medidas realizadas em pontos próximos as unidades geradoras. Os níveis sonoros variam de 65 dB nas proximidades da casa de máquinas, onde existe fluxo de carros e caminhões a valores próximos a 40 dB na área de floresta que circunda a usina.



As barreiras acústicas exibem diversas características adequadas para a repulsão dos peixes, como a independência da luminosidade e turbidez do rio, reduzida atenuação conforme a profundidade e a habilidade de ser direcionada. Por consequência, a barreira sonora é uma excelente opção de mecanismo para o caso do local de estudo, UHE Jirau, visto que, a água do Rio Madeira é procedente do regime local de chuvas e do degelo das encostas dos Andes, o que provoca o transporte de parcela de sedimentos em suspensão, sendo eles: silte, argila e areia os quais vão depositando-se às margens do rio, sem contar o amplo agrupamento de árvores inteiras, grandes troncos e/ou galhos, comprometendo a turbidez e luminosidade das águas do rio do local de estudo.

2. METODOLOGIA

Inicialmente, foi efetuada uma pesquisa de revisão bibliográfica a respeito das espécies de peixes ribeirinhos a jusante da UHE de Jirau, visto que é essencial ter conhecimento a respeito da ictiofauna presente na área de estudo [7] para a construção de uma barreira de som adequada. Na pesquisa não foram encontrados estudos com os dados necessários, o menor nível de estímulo detectável e a faixa detectável de frequência de audição dos peixes [8] para as espécies da região amazônica. Com isso, foram utilizados os dados levantados pela equipe do projeto [6].

Tendo os dados de intensidade e frequências necessários para o planejamento inicial da barreira acústica, o próximo passo foi elaborar modelos e realizar as simulações. Em função da dificuldade de encontrar software para a elaboração das simulações no ambiente subaquático, foi feita a opção pelo SoundPlan, software comercial conhecido, elaborado para a simulação do ruído no ar.

Além do nível de referência da água ser diferente do ar, fator que pode ser contornado com relativa facilidade, existe o problema da diferença da perda de transmissão na água (PT) e no ar serem diferentes. A Figura 3 [9] apresenta a perda de transmissão para uma fonte pontual na água. Segundo Kinsler [9] a perda de

transmissão pode ser separada em duas partes, a perda geométrica e perdas devido a absorção e outros efeitos não geométricos. Conforme pode ser observado, para distâncias pequenas a PT é a mesma para diferentes frequências, semelhante ao que ocorre no ar, pois a região é dominada pelas perdas geométricas. Ou seja, as perdas devido aos efeitos termodinâmicos e outros fatores não geométricos não são relevantes para pequenas distâncias. Como as barreiras acústicas no caso da UHE de Jirau, serão projetadas para atuarem somente próximas as entradas do tubo de sucção, é possível a utilização do SoundPlan, desde que a adequação do ruído de referência seja feita (re: 1 μ Pa).

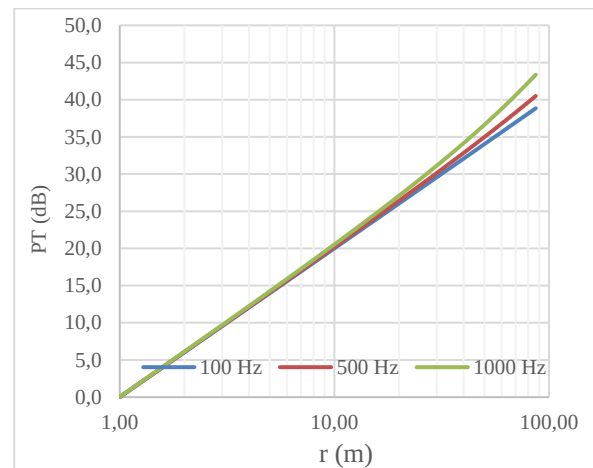


Figura 3 – Perda de transmissão para uma fonte pontual na água

Então, para a efetuação da simulação, lançou-se os elementos da barragem e suas saídas a jusante do rio. A porção da barragem mais próxima a margem direita foi a escolhida como área de cálculo para simulação, veja a imagem da área no quadro de destaque na Figura 4. O aterro separa duas porções do conjunto de turbinas. A profundidade da água em média é de 25m nas proximidades da barragem. A casa de máquinas abriga as turbinas e demais equipamentos da usina. As aberturas correspondem aos tubos de sucção onde no futuro a barreira será testada. A altura da entrada de cada tubo é de 12,5m e a largura de 14m. Pode-se imaginar que o fundo do rio, a fonte sonora, a barragem etc. como se estivessem contidos em uma grande sala, simulando um ambiente subaquático. Os elementos apresentados na figura estão em escala.

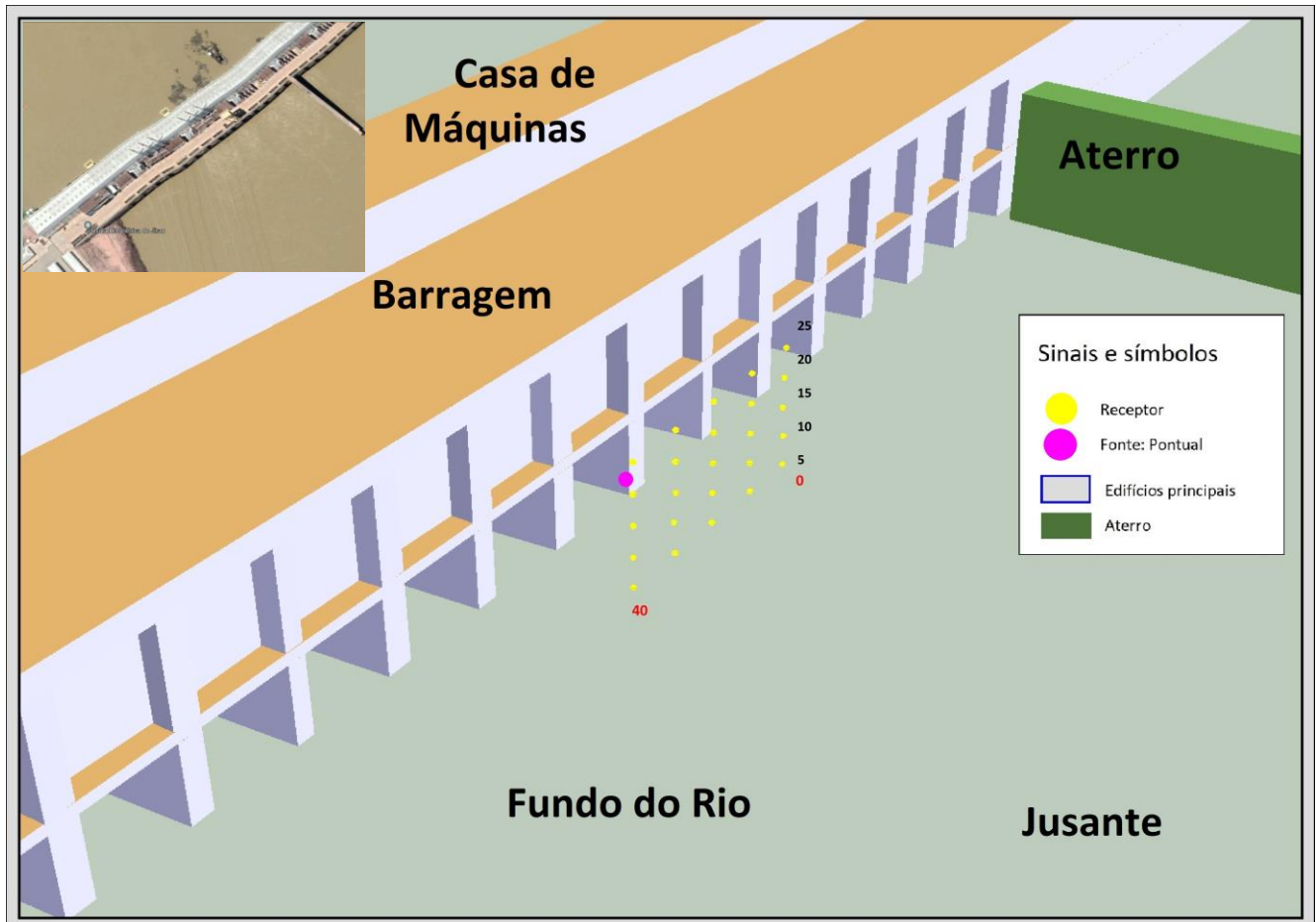


Figura 4 – Perspectiva em 3D da área de cálculo (Fonte: Autores). No quadro de destaque a imagem da área de cálculo (Fonte: Google Earth)

A fonte, destacada em rosa, foi posicionada no centro e a 2m à frente da entrada de um dos tubos de sucção. A profundidade de operação da fonte acústica que será utilizada é de 18m, assim a fonte foi posicionada a uma altura de 8m em relação ao fundo da barragem.

A Figura 4 mostra ainda um plano de receptores de ruídos, destacados em amarelo, que permite avaliar a eficiência da fonte sonora. No eixo vertical, a altura inicial é de 5m e se estende até 25m, com intervalos de 5m. Na horizontal a posição inicial está a 20m a esquerda da fonte, “posição zero”, e a final a 20m a direita, “posição 40”, indicada na figura. O distanciamento horizontal entre os receptores é de 10m.

Foram realizadas simulações com dois diferentes de arranjos de barreiras acústicas para ver a eficiência das barreiras de som na proteção da ictiofauna e averiguação de qual arranjo seria suficiente para o cumprimento desta função. Os dois arranjos simulados foram:

um arranjo com apenas uma fonte pontual de 175 dB (re: 1 μ Pa) e outro arranjo com quatro fontes pontuais de 169 dB (re: 1 μ Pa) que somadas produzem o mesmo efeito que a fonte de 175 dB no eixo perpendicular a barragem e que passa sobre a fonte pontual. As quatro fontes foram posicionadas a 0,8m acima e abaixo da posição da fonte pontual indicada na Figura 4, bem como 0,8m a direita e a esquerda da mesma posição. Todas a uma distância de 2m da entrada dos tubos de sucção.

O ruído escolhido para o teste foi o ruído rosa, padrão do software. A intensidade foi ajustada em cada caso de modo que a potência desejada fosse atingida pela fonte.

3. RESULTADOS

Conforme resultados de Dias, Maroja e Garavelli [6], foi possível verificar que a espécie *Lepomis macrochirus* é a única que a intensidade do limiar auditivo ultrapassa 100 dB (re: 1 μ Pa), por outro lado, as demais espécies



apresentam valores de 60, 75 e 90 dB (re: 1 μ Pa). Outra análise, é em relação a faixa de frequência percebida pelos peixes que apresenta valores a partir de 100 Hz a no máximo 5000 Hz, consequentemente, a ictiofauna da UHE de Jirau possui maior aptidão a escutar sons de baixa e média frequências. Os resultados mostram assim que se pode estipular o menor nível de estímulo para que seja audível pelos peixes em 100 dB (re: 1 μ Pa).

Duarte *et al.* em 2018 [10] realizaram medidas do som residual próximo as turbinas da UHE Três Marias em Minas Gerais. O pico do espectro está em 175Hz com intensidade de 120 dB (re: 1 μ Pa), para esta frequência. O espectro evidencia baixas frequências com limite superior em 500Hz. Assim foi estimado um ruído residual da ordem de 120dB (re: 1 μ Pa) para barreira simulada.

Com os dados do ruído residual em mãos, iniciou-se a verificação do NPS necessário para a fonte da barreira acústica. Utilizando o maior ruído residual de 120dB (re:1 μ Pa), considerou-se dois fatores importantes, sendo eles: a relação sinal/ruído e o decaimento do som com a distância. A figura 1 mostra que para uma distância de 20m da fonte a perda de transmissão é de 26 dB (re: 1 μ Pa). Assim, considerando 15 dB para relação sinal/ruído chegamos a uma fonte com intensidade no mínimo de 161 dB (re: 1 μ Pa) para a repulsão da ictiofauna do rio Madeira. Entretanto, nesta pesquisa, majorou-se o valor da fonte e adotou-se a medida de 175 dB (re: 1 μ Pa).

Para avaliar a eficiência das barreiras com a distância foram efetuadas verificações dos NPS em planos, análogos ao apresentado na Figura 1 para distância de 15m, nas distâncias 5, 15 e 30 metros da fonte sonora. Os resultados obtidos nas simulações estão expressos na Tabelas 1.

Tabela 1 – Comparação dos resultados da simulação com os dois diferentes arranjos de fonte sonora

d (m)	Rec	Posição dos receptores		NPS (re: 1 μ Pa)	
		P	Z	1 Fonte	4 Fontes
	R1	0	5	141,7	141,7
	R2	0	10	141,7	141,8
	R3	0	15	141,3	141,4
	R4	0	20	140,6	140,6
	R5	0	25	139,6	139,6

5	R6	10	5	146,4	146,5
	R7	10	10	146,6	146,6
	R8	10	15	145,5	145,5
	R9	10	20	143,8	143,8
	R10	10	25	142,0	142,0
	R11	20	5	152,0	152,0
	R12	20	10	152,6	152,6
	R13	20	15	149,1	149,1
	R14	20	20	145,9	145,9
	R15	20	25	143,3	143,3
	R16	30	5	146,9	147,0
	R17	30	10	147,1	147,1
	R18	30	15	145,9	145,9
	R19	30	20	144,0	144,1
	R20	30	25	142,2	142,2
	R21	40	5	141,8	141,8
	R22	40	10	141,8	141,9
	R23	40	15	141,4	141,5
	R24	40	20	140,7	140,7
	R25	40	25	139,7	139,7
15	R26	0	5	139,8	139,9
	R27	0	10	139,9	139,9
	R28	0	15	139,6	139,6
	R29	0	20	139,1	139,1
	R30	0	25	138,3	138,4
	R31	10	5	142,5	142,5
	R32	10	10	142,6	142,6
	R33	10	15	142,1	142,1
	R34	10	20	141,2	141,2
	R35	10	25	140,1	140,1
	R36	20	5	144,2	144,2
	R37	20	10	144,3	144,3
	R38	20	15	143,6	143,6
	R39	20	20	142,4	142,4
	R40	20	25	141,0	141,0
	R41	30	5	142,9	142,9
	R42	30	10	142,9	142,9
	R43	30	15	142,4	142,4
	R44	30	20	141,4	141,5
	R45	30	25	140,3	140,3
	R46	40	5	140,1	140,1
	R47	40	10	140,1	140,1
	R48	40	15	139,8	139,8
	R49	40	20	139,3	139,3
	R50	40	25	138,5	138,5
30	R51	0	5	136,5	136,5
	R52	0	10	136,5	136,6
	R53	0	15	136,4	136,4
	R54	0	20	136,1	136,1
	R55	0	25	135,7	135,7
	R56	10	5	137,7	137,7
	R57	10	10	137,7	137,7
	R58	10	15	137,5	137,5
	R59	10	20	137,2	137,2
	R60	10	25	136,7	136,7
	R61	20	5	138,2	138,2
	R62	20	10	138,2	138,3
	R63	20	15	138,0	138,1
	R64	20	20	137,7	137,7
	R65	20	25	137,1	137,1

R66	30	5	137,9	137,9
R67	30	10	137,9	137,9
R68	30	15	137,7	137,7
R69	30	20	137,3	137,4
R70	30	25	136,8	136,8
R71	40	5	136,7	136,8
R72	40	10	136,8	136,8
R73	40	15	136,6	136,6
R74	40	20	136,3	136,3
R75	40	25	135,9	135,9

d – distância fonte/receptor; Rec - receptor

Os resultados da Tabela 1 indicam que as duas configurações apresentam resultados semelhantes. O que se pode concluir é que ambas as configurações de fontes serão eficientes, pois até mesmo a 30 metros de distância da fonte sonora o som produzido será percebido pelos peixes (os valores estão 15dB acima do som residual), cumprindo a sua função de afugentar e/ou evitar a entrada dos peixes no tubo de sucção. Entretanto, não irá incomodar a ictiofauna local além do necessário. A Figura 5 mostra os NPS a 5m da fonte pontual.

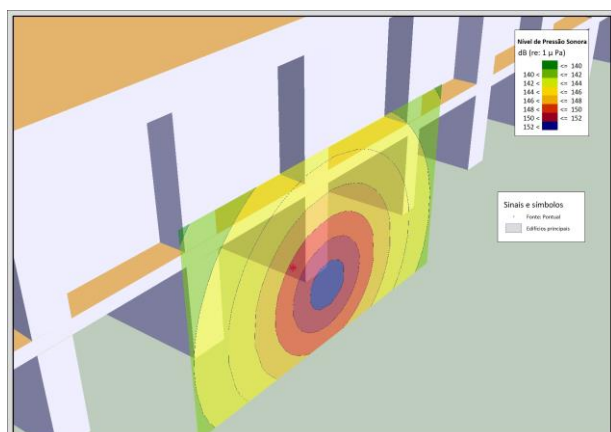


Figura 5 – NPS a 5m da fonte pontual (Fonte: Autores)

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ictiofauna pode ser afetada pela construção e operação das usinas hidrelétricas. Os danos ocasionados pela subida dos peixes pelo tubo de sucção podem ser mitigados com a implantação de barreiras acústicas, solução ainda pouco explorada, principalmente no Brasil.

Com o intuito de produzir barreiras sonoras eficazes para a repulsão dos peixes confinados no tubo de sucção, em decorrência de manutenções periódicas ou intermitentes na unidade geradora, realizou-se estudos característicos a respeito dos parâmetros

acústicos da audição dos peixes e dos sons residuais subaquáticos provenientes da operação das turbinas para a simulação e otimização do mecanismo de proteção da ictiofauna. Analisado todos os componentes indispensáveis para a construção da barreira, observou-se e definiu-se a necessidade de os arranjos das barreiras de som apresentarem intensidade da ordem de 175 dB (re: 1 µ Pa) para o cumprimento do objetivo estabelecido em projeto.

Neste trabalho, empregou-se de dois tipos de arranjos de barreira: com uma fonte pontual única e, outro arranjo, com quatro fontes pontuais. As simulações evidenciaram que os dois modelos de barreiras se mostraram eficientes para o combate a subida dos peixes pelo conduto de sucção das barragens. Portanto, o arranjo de barreiras acústicas com apenas uma fonte já seria satisfatório para a função de mecanismo de proteção aos peixes.

Com o exposto no trabalho, apesar de ser conduzido na usina hidroelétrica de Jirau, evidencia-se que a solução das barreiras acústicas pode ser aplicada em outras UHE no Brasil.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Programa de P&D da Energia Sustentável do Brasil (ANEEL/PD-06631-0009/2019), a Universidade de Brasília (UnB) Campus Planaltina e ao Centro de Ensino de Brasília (CEUB) pelo apoio à realização do Projeto.

REFERÊNCIAS

- [1] EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Panorama e Perspectivas sobre Integração Energética Regional. Rio de Janeiro: EPE, 2018. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>.
- [2] Andrade, F.; Prado, I. G.; Loures, R. C. e Godinho, A.L. Evaluation of techniques used to protect tailrace fishes during turbine maneuvers at Três Marias Dam, Brazil. Neotropical Ichthyology 10 (4): 723-730, 2012. doi: [10.1590/S1679-62252012000400005](https://doi.org/10.1590/S1679-62252012000400005)
- [3] Loures, R. C. e Godinho, A. L. (orgs.) Avaliação de Risco de Morte de Peixes em Usinas Hidrelétricas. Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais, (Serie Peixe Vivo, 5), 2016. ISBN 978-85-87929-61-7.



- [4] Agência Nacional de Energia Elétrica/ANEEL. Informações Gerenciais dezembro 2018. ANEEL. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>.
- [5] Hawkins, A. D. Underwater sound and fish behaviour. In: Picher, T. J. (ed.). The behavior of teleost fishes. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, p. 14-51, 1986.
- [6] Dias, M. F.; Maroja, A. M. e Garavelli, S. L. Sistema para repulsão de ictiofauna em hidroelétricas brasileiras. Fórum Ambiental da Alta Paulista, 16(5): 180-191, 2020. doi:10.17271/1980082716520202657.
- [7] Queiroz, Luiz Jardim de; Torrente-Vilara, Gislene; Ohara, Willian Massaharu; Pires, Tiago Henrique da Silva; Zuanon, Jansen & Doria, Carolina Rodrigues da Costa (Org.) Peixes do rio Madeira Volume 1, Santo Antônio Energia, São Paulo, 2013. Disponível em: <https://www.santoantonioenergia.com.br/peixes/doriomadeira/ictio1.pdf>.
- [8] Ladich, F. e Fay, R. R. Auditory evoked potential audiometry in fish. Rev Fish Biology Fisheries, 23:317–364, 2013. doi: [10.1007/s11160-012-9297-z](https://doi.org/10.1007/s11160-012-9297-z)
- [9] KINSLER, Lawrence E., Austin R. Frey, Alan B. Coppens, James V. Sanders, Fundamentals of Acoustics, 4th Edition. ISBN: 978-0-471-84789-2 December 1999.
- [10] Duarte, M.H.L.; Melo, R.M.C.; Scarpelli, M.D.A.; Carvalho, Thiago M. A.; Padovese, Linilson R.; Bazzoli, Nilo e Rizzo, Elizete. Effects of hydroelectric turbine noise on the behaviour of *Leporinus taeniatus* (Characiformes: Anostomidae) in captivity. J Ethol 37: 59–65, 2019. doi:[10.1007/s10164-018-0568-6](https://doi.org/10.1007/s10164-018-0568-6)