

Diversidade taxonômica e funcional da ictiofauna confinada durante parada de unidade geradora em hidrelétrica

Mudanças no fluxo hidrológico e nas variáveis de qualidade da água podem mudar a dinâmica natural de toda a biota aquática, especialmente a composição das assembleias de peixes. As espécies podem responder de diferentes formas, conforme a sua adaptação, potencial de estabelecimento local e sua história de vida. As variações de respostas são distintas em diferentes escalas. Porém, muitas ainda são as lacunas do conhecimento sobre os efeitos biológicos após a implementação de usinas hidrelétricas. Com o envelhecimento dos reservatórios, é possível perceber de forma mais clara os possíveis efeitos sobre as comunidades aquáticas, desde sobre posição de espécies de atribuições funcionais mais generalistas e sedentárias até extinções locais de espécies de hábitos mais especializados. Neste sentido, foram analisados os dados secundários do Programa de Resgate e Salvamento da Ictiofauna (PRSI) de sete anos (novembro/2013 a janeiro/2021), no tubo de sucção das 50 unidades geradoras e nas gavetas da comporta vagão da UHE Jirau, sobre a ótica do processo da assembleia de peixes em reorganizar as composições taxonômica e funcional. Embora recentes, não foi observado que a descontinuidade do rio Madeira pela instalação da UHE Jirau provocou mudanças sobre a diversidade taxonômica e funcional da ictiofauna em aproximação de suas estruturas. A avaliação entre as margens, direita e esquerda, não demonstrou variações nas composições das comunidades. A incorporação dos atributos funcionais dos peixes nas avaliações das áreas de interface dos empreendimentos hidroelétricos e a jusante do reservatório possibilita melhor compreensão e descrição das comunidades desses organismos, os quais são parte da dinâmica geral do ecossistema e desempenham funções essenciais na cadeia alimentar, ciclagem de nutrientes, transferência de energia e estrutura genética.

Palavras-chave: Atributos das espécies; Estratégia de vida; Proteção da ictiofauna.

Taxonomic and functional diversity of confined ichthyofauna during hydroelectric generating unit stop

Changes in hydrological flow and water quality variables can change the natural dynamics of all aquatic biota, especially the composition of fish assemblages. Species can respond in different ways, according to their adaptation, potential for local establishment and their life history. Response variations are different on different scales. However, there are still many gaps in knowledge about the biological effects after the implementation of hydroelectric plants. With the aging of the reservoirs, it is possible to perceive more clearly the possible effects on aquatic communities, from the superposition of species with more generalist and sedentary functional attributions to the local extinctions of species with more specialized habits. In this sense, secondary data from the seven-year Ichthyofauna Rescue and Rescue Program (PRSI) were analyzed (November/2013 to January/2021), in the suction tube of the 50 generating units and in the drawers of the wagon gate of the UHE Jirau, from the perspective of the fish assemblage process in reorganizing taxonomic and functional compositions. Although recent, it was not observed that the discontinuity of the Madeira River by the installation of the UHE Jirau caused changes in the taxonomic and functional diversity of the ichthyofauna in approaching its structures. The evaluation between the margins, right and left, did not show variations in the compositions of the communities. The incorporation of the functional attributes of the fish in the evaluations of the interface areas of the hydroelectric projects and downstream of the reservoir allows a better understanding and description of the communities of these organisms, which are part of the general dynamics of the ecosystem and play essential roles in the food chain, cycling of nutrients, energy transfer and genetic structure.

Keywords: Species attributes; Life strategy; Ichthyofauna protection.

Topic: **Desenvolvimento, Sustentabilidade e Meio Ambiente**

Received: **05/08/2022**

Approved: **27/08/2022**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Murilo Luiz e Castro Santana

Universidade de Brasília, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/0434573587445104>

murilo.bio.vet@gmail.com

Tânia Machado da Silva

Universidade de Brasília, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/3803828856011519>

<https://orcid.org/0000-0002-4144-4949>

taniamachado91@gmail.com

Wllyane Silva Figueiredo

Universidade de Brasília, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/5474933764398587>

<https://orcid.org/0000-0002-5311-1279>

wlllyane@gmail.com

Luiz Fabrício Zara

Universidade de Brasília, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/0582418434279005>

<https://orcid.org/0000-0001-6110-2527>

fabriciozara@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.008.0019

Referencing this:

SANTANA, M. L. C.; 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, p.238-248, 2022. DOI:
<http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.008.0019>

INTRODUÇÃO

O potencial hidrelétrico brasileiro é estimado em 250.000 MW, sendo cerca de 160.000 MW implantados, com dados que apontam para dependência das bacias hidrográficas (THÉRY et al., 2016). Neste cenário, a Amazônia tem destaque como a nova fronteira de recursos hidrelétricos, contribuindo atualmente com cerca de 42,2% do potencial hidrelétrico brasileiro (FREITAS et al., 2008; THÉRY et al., 2016). Apesar da hidroeletricidade ser considerada uma fonte sustentável, com baixa emissão de gases do efeito estufa, um dos maiores desafios dos empreendimentos hidrelétricos é a proteção da ictiofauna (SILVA et al., 2021).

Novas tecnologias ecologicamente adequadas tornam possível um melhor cenário de pesquisa para a proteção da ictiofauna (NYQVIST et al., 2017; SILVA et al., 2018b). Assim como compreender a dinâmica de comportamentos da ictiofauna próxima às estruturas das usinas hidrelétricas (EGG, 2020). O comportamento e as diferentes respostas das espécies de peixes a essas barreiras fazem com que outras tecnologias sejam desenvolvidas e estudadas (LOURES et al., 2016). Nesta perspectiva, os dados de monitoramento da ictiofauna servem para identificar a variabilidade de comportamentos das espécies (PETITGAS et al., 1996; JUNHO, 2008; SILVA, 2018). Geralmente os monitoramentos são direcionados aos aspectos taxonômicos, porém, é essencial para uma melhor compreensão dos possíveis impactos da regulação dos rios por barragens a incorporação dos atributos funcionais dos peixes na investigação (PERÔNICO et al., 2019). A descrição das comunidades por esta ótica destaca o papel funcional desses organismos, os quais são parte da dinâmica geral do ecossistema e desempenham funções essenciais em diversos processos, como, por exemplo, na cadeia alimentar, ciclagem de nutrientes, transferência de energia e estrutura genética (HOLMLUND et al., 1999).

Associado a isso, a alteração do fluxo da água pode modificar a composição de toda a biota aquática, especialmente das assembleias de peixes (MUNIZ et al., 2020a). A impossibilidade ou o aumento da dificuldade no deslocamento das espécies pode alterar a diversidade genética local (NUNES et al., 2019), abrindo um pressuposto que diferentes espécies necessitam de diferentes abordagens para compreensão de sua aproximação das estruturas das hidrelétricas (EGG, 2020).

Neste sentido, os efeitos diretos nas diversidades taxonômica e funcional de espécies de peixes, mudam durante o tempo (PERÔNICO et al., 2019), confirmando que podem existir respostas distintas em uma escala temporal (MATTHEWS et al., 2013; PERÔNICO et al., 2019). A impossibilidade e o aumento da dificuldade no deslocamento das espécies podem intensificar a perda da diversidade genética, assim como acelerar os processos de extinções locais (NUNES et al., 2019). Entretanto, algumas espécies podem ser beneficiadas com essa relação de dispersão (BURRIDGE et al., 2020), por exemplo, em barragens em que há o domínio de espécies de menor tamanho corporal, onívoras, de hábito sedentário, com baixa capacidade de dispersão espacial e que apresentam cuidado parental (AGOSTINHO et al., 2016). Assim, é possível associar a composição funcional da ictiofauna local com esses traços funcionais, especialmente com o envelhecimento dos reservatórios (MUNIZ et al., 2020b). Quando expostas aos estressores ambientais (mudanças no fluxo, na qualidade e na temperatura da água) a assembleia de peixes pode alterar a

composição e a estrutura trófica nas áreas de influência do reservatório (VAŠEK et al., 2016).

Assim, nesse trabalho busca-se avaliar como a diversidade taxonômica e funcional da ictiofauna confinada no tubo de sucção e nas comportas vagão se comportam durante os procedimentos operacionais de parada e partida nas unidades geradoras, contribuindo para compreensão da dinâmica comportamental da ictiofauna nas áreas imediatamente a jusante da casa de força de empreendimentos hidroelétricos.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo é a Usina Hidrelétrica (UHE) Jirau, localizada no rio Madeira, Bacia Amazônica. A UHE Jirau é a quarta maior geradora de energia elétrica do Brasil em capacidade instalada (3.750 MW), 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 (Figura 1).

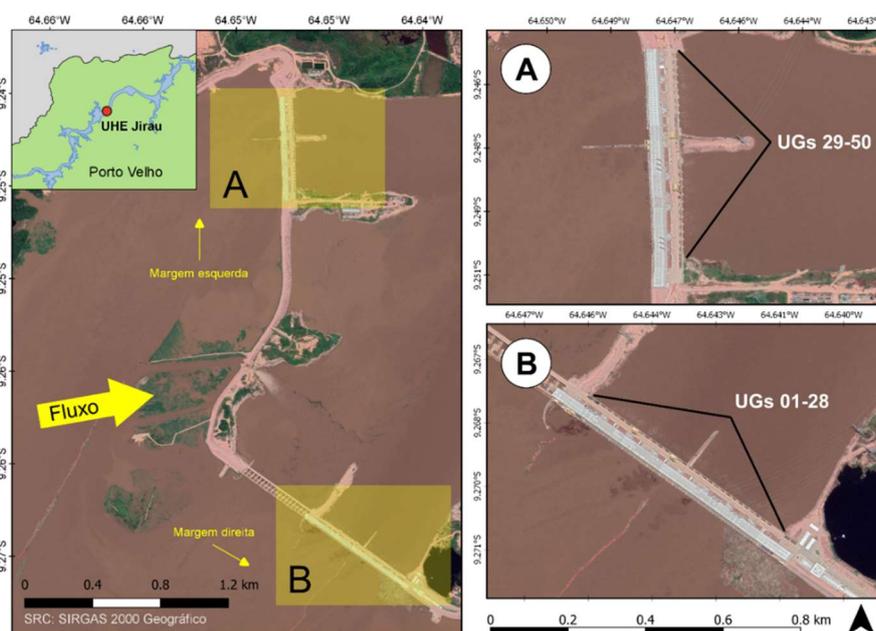


Figura 1: Espacialização e distribuição das Unidades Geradoras. A - Margem esquerda UG (29-50) – Casa de Força 2 (CF2). B - Margem direita UG (01-28) – Casa de Força 1 (CF1).

Atualmente, na UHE Jirau, durante paradas previstas e/ou intempestivas para manutenção das unidades geradoras (UG's) é utilizado um procedimento operacional que minimiza o confinamento da ictiofauna no tubo de sucção (MO-COPE-US-67-SH-UG-00002). Neste procedimento de elevação do fluxo hidráulico (descarga nominal de $550 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), ocorre a descida da comporta vagão causando a redução da área de descarga do tubo de sucção e o aumento da velocidade do fluxo hidráulico de $2,5 \text{ m s}^{-1}$ para $40,6 \text{ m s}^{-1}$. Esse fluxo é mantido por cerca de 10 min e na sequência a comporta vagão alcança a soleira, ocorrendo a completa vedação do tudo de sucção (SILVA et al., 2021).

A comporta vagão utilizada neste procedimento operacional de fechamento do tubo de sucção, possui em sua estrutura metálica de fundo, interface com o reservatório de jusante, regiões abertas que podem abrigar a ictiofauna que se aproxima do paramento de jusante da usina durante o período de indisponibilidade da UG (Figura 2). Durante o procedimento de retirada da comporta vagão para o retorno

da operação da UG, pode ocorrer o aprisionamento da ictiofauna nestas gavetas da comporta vagão, sendo necessário o resgate e salvamento.



Figura 2: Imagem fotográfica do plano de face e detalhamento das estruturas de fundo/gavetas da comporta vagão utilizada no procedimento operacional de fechamento do tubo de sucção durante parada da unidade geradora.

Neste trabalho foram utilizados os dados secundários do Programa de Resgate e Salvamento da Ictiofauna, os quais foram adquiridos no período entre novembro de 2013 e janeiro de 2021. Nas análises foram consideradas as espécies confinadas dentro do tubo de sucção após o procedimento operacional de parada da unidade geradora com o esgotamento do tubo de sucção e aquelas retidas nas gavetas da comporta vagão durante o processo de abertura das unidades geradoras.

Para mensurar a diversidade taxonômica, as espécies foram identificadas com o auxílio de guias, chaves de identificação e publicações referentes a bacia estudada (QUEIROZ et al., 2013), sendo considerado o número absoluto de espécies como a riqueza. Para dados de abundância, foi considerado o total de indivíduos de cada espécie coletada por unidade amostral (considerando as UG's). Os traços funcionais de cada espécie foram obtidos com base literatura especializada (PEREIRA et al., 2021; PERÔNICO et al., 2019; QUEIROZ et al., 2013). Neste caso, foram obtidos traços relacionados ao uso de hábitat, ecologia trófica e reprodução (WINEMILLER et al., 2015).

As diversidades taxonômica e funcional foram calculadas considerando as comparações entre as espécies confinadas no tubo de sucção e nas gavetas da comporta vagão. A diversidade taxonômica foi calculada a partir do índice de Simpson, o qual é baseado na abundância de espécies (SIMPSON, 1949). Essa estimativa foi feita com o auxílio do pacote vegan versão 2.6-2 (OKSANEN, 2013). Para o cálculo da diversidade funcional foi utilizada uma matriz de atributos funcionais para cada uma das espécies. Para esse cálculo, foram compilados os dados sobre o peso, comprimento padrão, comprimento furcal, comprimento total (dados contínuos), estratégia de vida e hábito alimentar (dados categóricos), que revelam dados de história de vida e hábitos alimentares (FROESE et al., 2022). A riqueza funcional (diversidade funcional) para essas espécies (PETCHEY et al., 2002), foi calculada utilizando o pacote BAT versão 2.8.0 (CARDOSO et al., 2021).

Na análise da diversidade beta taxonômica e funcional, a diversidade beta taxonômica (TD) foi calculada a partir da matriz de espécies por UGs, utilizando o índice de Bray-Curtis para dados de composição baseados em abundância para cálculo da diversidade beta (BEALS, 1984). A diversidade beta funcional foi

determinada a partir de uma matriz de composição funcional (atributos x espécies) e a Community Weight Mean (CWM) para cada atributo em cada assembleia, que consiste na média do atributo das espécies que ocorrem na assembleia, ponderado pela sua abundância relativa (GARNIER et al., 2004). A partir da matriz de CWM foi calculada a diversidade beta funcional a partir da função “beta” do pacote BAT (CARDOSO et al., 2021). As funções “beta” e “beta.multi” do pacote BAT (CARDOSO et al., 2021) foram aplicadas ao cálculo da média da diversidade beta taxonômica e beta funcional.

Os dados de riqueza, abundância, diversidade taxonômica e funcional foram relacionados através de modelos lineares generalizados (GLMs com distribuição de Poisson para os dados de riqueza e abundância – dados de contagem) e as diferenças na diversidade beta taxonômica e funcional a partir de uma análise de PERMANOVA usando as funções betadisper e adonis2 do pacote vegan versão 2.6-2 (OKSANEN, 2013). As diferenças taxonômicas e funcionais entre as comunidades em relação as casas de força das margens esquerda (CF1) e direita (CF2) foram analisadas pela PERMANOVA. Todas as análises foram feitas em Ambiente R e os gráficos foram gerados a partir do pacote ggplot2 (WICKHAM et al., 2016).

RESULTADOS

Ao levar em consideração todos os locais de resgate no tubo de sucção e nas gavetas da comporta vagão foram encontradas 146 espécies distintas e 16.889 espécimes. Nos resgates feitos dentro dos tubos de sucção das 50 unidades geradoras foram registradas 59 espécies, com 2.012 espécimes (11,91 %), sendo 18 espécies exclusivas (12,32%). Enquanto os resgates feitos nas gavetas da comporta vagão, foram registradas 126 espécies com 14.877 espécimes (88,09 %), sendo 87 espécies exclusivas (59,59 %) nesta estrutura externa as unidades geradoras.

Os resultados revelaram que a riqueza de espécies não está distribuída de forma homogênea em relação aos pontos de amostragem. A riqueza observada nos resgates na gaveta da comporta, a qual possui livre acesso a jusante da casa de força é maior quando comparado a região de confinamento no tubo de sucção da unidade geradora (z-valor=-13.98, df= 78, $p < 0.0001$, Tabela 1, Figura 3A). A abundância de espécies (z-valor=-56.45, df= 78, $p < 0.0001$, Tabela 1, Figura 3B), a diversidade taxonômica (t-valor=-8.049, df= 78, $p < 0.0001$, Tabela 1, Figura 2C) e a diversidade funcional (t-valor=-8.198, df= 78, $p < 0.0001$, Tabela 1, Figura 2D) nos resgatadas segue o mesmo padrão, com uma maior prevalência de indivíduos presentes nas gavetas da comporta vagão, possibilitando inferir considerável eficiência do procedimento operacional que minimiza o confinamento da ictiofauna no tubo de sucção (MO-COPE-US-67-SH-UG-00002).

A diversidade beta taxonômica (Média= 0.84, Desvio padrão = 0.12) foi maior em média do que a diversidade beta funcional (Média= 0.49, Desvio padrão = 1.11), sendo que a diversidade das espécies possui diferenças na composição entre os resgates no tubo de sucção e nas gavetas da comporta ($F = 6.091$, df= 78, $p = 0.01$, Figura 4A). Além disso, as análises revelam que diferentes atributos funcionais foram encontrados nos distintos locais de resgate, evidenciando uma diversidade funcional nesses locais ($F = 26.085$, df= 78, $p = 0.001$, Figura 4B).

Tabela 1: Comparação entre média, mediana e desvio padrão da riqueza, abundância, diversidade taxonômica e funcional em relação ao tubo de sucção e a gaveta da comporta vagoão.

Índice	Local	Média	Mediana	Desvio padrão
Riqueza	Sucção	16.14	15.00	6.91
	Comporta	4.27	2.00	7.86
Abundância	Sucção	286.56	172.50	306.78
	Comporta	85.37	4.00	282.01
Div. Taxonômica	Sucção	0.73	0.75	0.14
	Comporta	0.32	0.33	0.32
Div. Funcional	Sucção	3.57	3.42	0.89
	Comporta	1.33	0.87	1.55

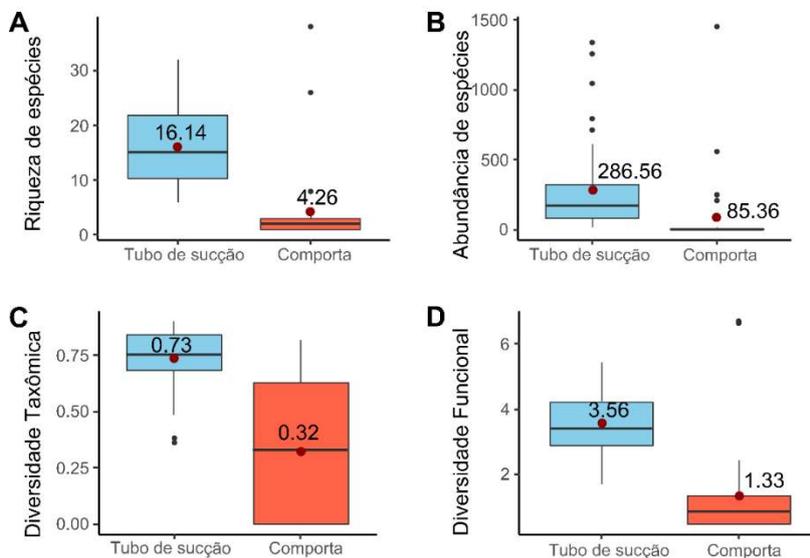


Figura 3: Comparação da riqueza (A), abundância (B), diversidade taxonômica (C) e diversidade funcional (D) das espécies resgatadas em relação ao tubo de sucção e a gaveta da comporta vagoão.

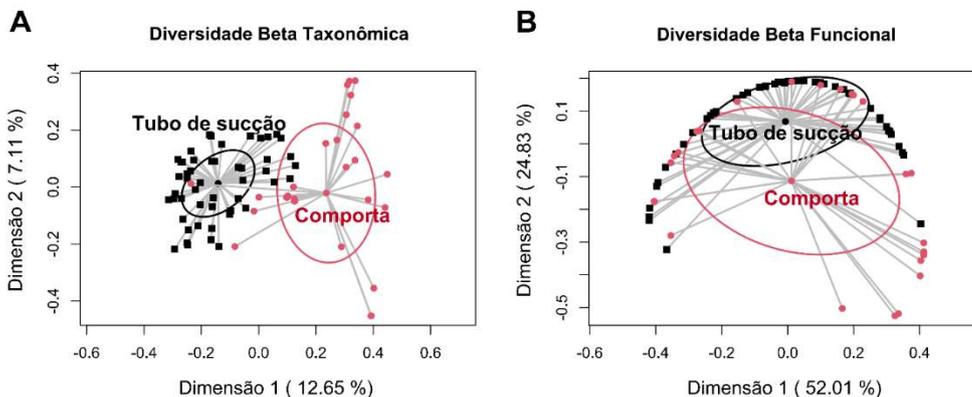


Figura 4: PERMANOVA: comparação da diversidade beta taxonômica (A) e diversidade beta funcional (B) em relação ao tubo de sucção e a gaveta da comporta vagoão.

Quando estratificado por unidades geradoras e casas de força, as análises mostram que não há diferença significativa em relação a diversidade funcional ou taxonômica, mostrando que ambas as casas de força nas margens esquerda (CF2) e direita (CF1) são similares entre os atributos avaliados, embora haja diferença entre a abundância e exclusividade de espécies. A diversidade beta taxonômica e funcional em relação entre as casas de forças CF1 e CF2 não indicarão diferenças entre a diversidade beta taxonômica ($F=1.361$, $df=78$, $p=0.2$, Figura 5A) e beta funcional ($F=0.506$, $df=78$, $p=0.5$, Figura 5A), sendo possível inferir que não existem diferenças em relação as margens direita e esquerda quanto a composição de espécies e ao tipo de atributo que ocorre nesses locais de resgate. Os resgates na CF1 apresentaram 116 espécies, sendo

42 exclusivas e um total de 6.876 espécimes (40,71 %), enquanto na margem CF2 são 104 espécies, sendo 30 exclusivas e 10.013 espécimes (59,29 %).

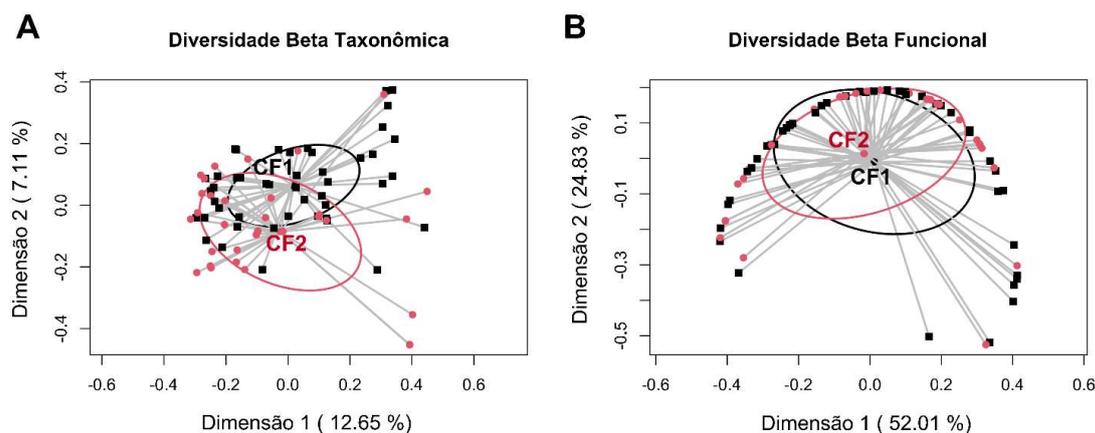


Figura 5: PERMANOVA: comparação da diversidade beta taxonômica (A) e diversidade beta funcional (B) em relação às margens esquerda (CF2) e direita (CF1) das UG's.

DISCUSSÃO

Quando utilizadas tecnologias que possam atrair ou favorecer a locomoção das espécies de peixes, no sentido jusante-montante, podem ser observadas mudanças significativas na riqueza e abundância de peixes (PETREMAN et al., 2014; SHAHRESTANI et al., 2020; SILVA et al., 2018a; TUMMERS et al., 2018). Em relação aos resultados deste trabalho, as espécies migratórias de longa distância sem cuidado parental são as mais representativas no tubo de sucção e nas gavetas da comporta vagão, confirmando que as condições hidrodinâmicas do rio, principalmente a velocidade do fluxo, bem como a guilda reprodutiva parental, influenciam os padrões de distribuição da ictiofauna e rios neotropicais (MELO et al., 2022). Em contrapartida, as espécies que foram mais expressivas em relação aos registros dos resgates, especialmente dentro do tubo de sucção, são por estratégia de vida migradoras de longa distância sem cuidado parental e pelos hábitos alimentares onívoras, carnívoras ou detritívoras. Isso se justifica pelas características que mais contribuíram para o estabelecimento destas espécies nos locais investigados: ambientes lóticos e habitat dinâmico.

A estrutura do habitat está relacionada com diferentes fatores, como a dinâmica de fluxo e sedimentos, que podem definir o estabelecimento da ictiofauna em diversos ambientes (CARRÉ et al., 2007). Nos rios, sobretudo os neotropicais, muitas são as diferenças dos componentes dos habitats internos, substratos, variáveis de qualidade da água e uso e ocupação do solo que podem influenciar na comunidade de peixes, até mesmo entre margens de um mesmo rio (CARLA et al., 2009; MONTAÑA et al., 2010). Neste sentido, os resultados deste trabalho contribuem com as informações existentes sobre diferenças entre margens de rios descontínuos, como neste caso do rio Madeira, na área imediatamente a jusante do paramento da UHE Jirau. Pois seguem a mesma tendência, com homogeneidade taxonômica e funcional entre as margens direita e esquerda do rio Madeira. Assim, mesmo que por mais diferentes possam ser as mudanças espaciais, variações podem ou não ser verificadas na estruturação ou composição taxonômica,

funcional ou genética da ictiofauna em um trecho distinto (KANTEK et al., 2008; LOU et al., 2021). Visto que quando comparadas a diversidade beta taxonômica e funcional não foi possível verificar diferenças entre as unidades geradoras dispostas nas margens esquerda (CF2) e direita (CF1) do rio madeira, sob influência da UHE Jirau.

Os resultados confirmam que as ordens Siluriformes e Characiformes são as mais ricas e abundantes na região de estudo, sendo este padrão da bacia amazônica descrito por outros estudos (COSTA et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2008; GARCIA et al., 2009; QUEIROZ et al., 2013). Entre as espécies registradas no tubo de sucção a *Calophysus macropterus* (Lichtenstein, 1819), conhecida popularmente como barbado ou barba-chata, é uma das espécies mais abundantes entre os Siluriformes resgatados (39,7 %). Esta espécie está amplamente distribuída na bacia amazônica, altamente abundante nos rios e possui hábito alimentar onívoro (NEGREIROS et al., 2019; PÉREZ et al., 2009). A espécie *Pimelodus blochii* (Valenciennes, 1840), foi registrada no tubo de sucção (7,26 %) e nas gavetas da comporta vagão (22,10 %), sendo uma espécie de comportamento gregário, ativa praticamente em todas as horas do dia, com grande capacidade de dispersão de sementes de frutas e plantas (FROESE et al., 2022; MARCANO et al., 2007; NEGREIROS et al., 2018).

O *Prochilodus nigricans* (Spix & Agassiz, 1829) da ordem dos Characiformes, conhecida como Curimatá, se diferencia das outras principais espécies resgatadas por ser detritívora e ocupar uma grande variedade de habitats dos rios amazônicos. A espécie apresenta elevada capacidade natatória, faz migrações longas para alimentação e reprodução e sua estratégia de vida está relacionada intimamente com as flutuações dos rios (BASTOS et al., 2007; BONILLA et al., 2018; REIS et al., 2016).

CONCLUSÕES

Apesar de recente, a avaliação das áreas imediatamente a jusante do reservatório da UHE Jirau no rio Madeira, não indicou mudanças sobre a diversidade taxonômica e funcional da ictiofauna em aproximação de suas estruturas. A abundância de espécies e as diversidades taxonômica e funcional mostram menor prevalência de indivíduos no tubo de sucção, evidenciando a importância de estratégias operacionais que minimizem o confinamento da ictiofauna durante paradas de unidades geradoras. A avaliação da diversidade taxonômica e funcional entre as margens direita (CF1) e esquerda (CF2) do rio Madeira, não demonstrou variações nas composições das comunidades.

A incorporação dos atributos funcionais dos peixes nas avaliações das áreas imediatamente a jusante de empreendimentos hidroelétricos possibilita melhor compreensão e descrição das comunidades desses organismos, os quais são parte da dinâmica geral do ecossistema e desempenham funções essenciais na cadeia alimentar, ciclagem de nutrientes, transferência de energia e estrutura genética.

Agradecemos ao programa de P&D em Energia Sustentável no Brasil (ANEEL/PD-06631-0009/2019) e ao programa de pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Brasília (UnB) – Campus Planaltina pelo apoio a este projeto.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; SANTOS, N. C. L.; ORTEGA, J. C. G.; PELICICE, F. M.. Fish assemblages in Neotropical reservoirs: Colonization patterns, impacts and management. **Fishes Research**, v.173, p.26-36, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2015.04.006>
- BASTOS, W. R.; ALMEIDA, R.; DÓREA, J. G.; BARBOSA, A. C.. Annual flooding and fish-mercury bioaccumulation in the environmentally impacted Rio Madeira (Amazon). **Ecotoxicology**, v.16, n.3, p.341-346, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-007-0138-0>
- BEALS, E. W.. Bray-curtis ordination: An effective strategy for analysis of multivariate ecological data. **Advances in Ecological Research**, v.14, p.1-55, 1984. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60168-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60168-3)
- BONILLA, C. A. B.; CÓRDOBA, E. A.; GÓMEZ, G.; DUPONCHELLE, F.. Population dynamics of *Prochilodus nigricans* (Characiformes: Prochilodontidae) in the Putumayo River. **Neotropical Ichthyology**, v.16, p.1-12, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20170139>
- BURRIDGE, C. P.; WATERS, J. M.. Does migration promote or inhibit diversification? A case study involving the dominant radiation of temperate Southern Hemisphere freshwater fishes. **Evolution**, p.1954-1965, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/evo.14066>
- CARLA, F.; CASATTI, L.; CARVALHO, F. R.; MARCO, A.. Fish assemblages in stream stretches occupied by cattail (Typhaceae, Angiospermae) stands in Southeast Brazil. **Neotropical Ichthyology**, v.7, n.2, p.241-250, 2009.
- CARRÉ, D. M.; BIRON, P. M.; GASKIN, S. J.. Flow dynamics and bedload sediment transport around paired deflectors for fish habitat enhancement: a field study in the Nicolet River¹. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v.34, n.6, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1139/L06-083>
- COSTA, I. D.; OHARA, W. M.; ALMEIDA, M.. Peixes da Reserva Biológica do Jaru, drenagem do rio Machado, bacia do rio Madeira, Estado de Rondônia, norte do Brasil. **Biota Neotropica**, v.17, n.1, p.1-9, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2016-0315>
- EGG, L. T. A.. **Fish behavior and movement in front of hydropower plants and hydro engineering installations**. Dissertação (Mestrado em Nutrição, Uso da Terra e Meio Ambiente) - Universität München, Munich, 2020.
- FREITAS, M. A. V.; SOITO, J. L. S.. Energia e Recursos Hídricos. **Parcerias Estratégicas**, v.13, n.27, p.177-217, 2008.
- GARCIA, A.; TELLO, S.; VARGAS, G.; DUPONCHELLE, F.. Patterns of commercial fish landings in the Loreto region (Peruvian Amazon) between 1984 and 2006. **Fish Physiology and Biochemistry**, v.35, n.1, p.53-67, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10695-008-9212-7>
- GARNIER, E.; CORTEZ, J.; BILLÈS, G.; NAVAS, M.; DEBUSSCHE, M.; LAURENT, G.; BLANCHARD, A.; AUBRY, D.; BELLMANN, A.; NEILL, C.; TOUSSAINT, J.. Plant functional markers capture ecosystem properties during secondary succession. **Ecology**, v.85, n.9, p.2630-2637, 2004.
- HOLMLUND, C. M.; HAMMER, M.. Ecosystem services generated by fish populations. **Ecological Economics**, v.29, p.253-268, 1999.
- JUNHO, R.. **Migrações ascendentes de peixes neotropicais e hidrelétricas: Proteção a jusante de turbinas e vertedouros e sistemas de transposição**. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. DOI: <https://doi.org/10.11606/T.3.2008.tde-09022009-183724>
- KANTEK, L. D. Z.; CIPRIANO, R. R.; NOLETO, R. B.; FENOCCHIO, A. S.; ARTONI, R. F.; CESTARI, M. M.. Population analysis of a chromosome polymorphism in *Astyanax* (Teleostei, Characiformes) species endemic to the Iguazu River. **Genetics and Molecular Biology**, v.1, p.239-242, 2008.
- LOU, A. C.; PEREA, S.; DOADRIO, I.. High genetic differentiation in the endemic and endangered freshwater fish *Achondrostoma salmantinum* Doadrio and Elvira, 2007 from Spain, as revealed by mitochondrial and SNP markers. **Conservation Genetics**, v.22, n.4, p.585-600, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10592-021-01381-y>
- MARCANO, D.; CARDILLO, E.; RODRIGUEZ, C.; POLEO, G.; GAGO, N.; GUERRERO, H. Y.. Seasonal reproductive biology of two species of freshwater catfish from the Venezuelan floodplains. **General and Comparative Endocrinology**, v.153, n.1-3, p.371-377, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2007.01.042>
- MATTHEWS, W. J.; MARSH, E. M.; CASHNER, R. C.; GELWICK, F.. Disturbance and trajectory of change in a stream fish community over four decades. **Oecologia**, v.173, n.3, p.955-969, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-013-2646-3>
- MELO, M. S.; SILVA, J. C.; BIALETZKI, A.. Community structure of fish larvae in different biotopes of a neotropical river. **Community Ecology**, v.23, n.1, p.1-12, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42974-021-00066-3>
- MONTAÑA, C. G.; WINEMILLER, K. O.. Local-scale habitat influences morphological diversity of species assemblages of cichlid fishes in a tropical floodplain river. **Ecology of Freshwater**, v.19, p.216-227, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2010.00406.x>
- MUNIZ, C. M.; GANASSIN, M. J. M.; AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.. Spatial and environmental factors predict the composition of non-native fish assemblages in Neotropical reservoirs. **Biological Invasions**, v.22, n.2, p.499-508, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10530-019-02105-7>
- MUNIZ, C. M.; SANTOS, N. C. L.; BAUMGARTNER, M. T.; AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.. Chronological age and reservoir characteristics as predictors of trait composition in Neotropical reservoir fish assemblages. **Ecology of Freshwater Fish**, v.29, n.2, p.241-251, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/eff.12510>
- NEGREIROS, L. P.; PEREIRA, F. B.; TAVARES, M.; TAVARES, L. E. R.. Community structure of metazoan parasites from *Pimelodus blochii* in two rivers of the Western Brazilian Amazon: same seasonal traits, but different anthropogenic

impacts. **Parasitology Research**, v.117, n.12, p.3791-3798, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00436-018-6082-5>

NEGREIROS, L. P.; PEREIRA, F. B.; TAVARES, M.. Metazoan parasites of *Calophysus macropterus* (Siluriformes: Pimelodidae) in the Acre and Iaco rivers in the western Amazon region of Brazil: diversity, similarity and seasonal variation. **Journal of Natural History**, v.53, n.23-24, p.1465-1479, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/00222933.2019.1657195>

NUNES, M. U. S.; HALLWASS, G.; SILVANO, R. A. M.. Fishers' local ecological knowledge indicate migration patterns of tropical freshwater fish in an Amazonian river. **Hydrobiologia**, v.833, n.1, p.197-215, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-019-3901-3>

NYQVIST, D.; NILSSON, P. A.; ALENÄS, I.; ELGHAGEN, J.; HEBRAND, M.; KARLSSON, S.; KLÄPPE, S.; CALLES, O.. Upstream and downstream passage of migrating adult Atlantic salmon: Remedial measures improve passage performance at a hydropower dam. **Ecological Engineering**, v.102, p.331-343, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.02.055>

OLIVEIRA, E. C.; FERREIRA, E. J. G. Spawning areas, dispersion and microhabitats of fish larvae in the Anavilhanas Ecological Station, rio Negro, Amazonas State, Brazil. **Neotropical Ichthyology**, v.6, n.4, p.559-566, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1679-62252008000400003>

PEREIRA, H. R.; GOMES, L. F.; SOARES, P. T.; MARTINS, P. R.; PELICICE, F. M.; TERESA, F. B.; VIEIRA, L. C. G.. Long-term responses of fish diversity to river regulation: a multi-metric approach. **Environmental Biology of Fishes**, v.104, n.1, p.71-84, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10641-021-01056-0>

PÉREZ, A.; FABRÉ, N. N.. Seasonal growth and life history of the catfish *Calophysus macropterus* (Lichtenstein, 1819) (Siluriformes: Pimelodidae) from the Amazon floodplain. **Journal of Applied Ichthyology**, v.25, p.343-349., 2009. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2008.01104.x>

PERÔNICO, P. B.; AGOSTINHO, C. S.; FERNANDES, R.; PELICICE, F. M.. Community reassembly after river regulation : rapid loss of fish diversity and the emergence of a new state. **Hydrobiologia**, v.867, n.2, p.519-533, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-019-04117-9>

PETCHEY, O. L.; GASTON, K. J.. Functional diversity (FD), species richness and community composition. **Ecology Letters**, v.5, p.402-411. 2002.

PETITGAS, P.; LEVENEZ, J. J.. Spatial organization of pelagic fish: Echogram structure, spatio-temporal condition, and biomass in Senegalese waters. **Journal of Marine Science**, v.53, n.2, p.147-153. 1996. DOI: <https://doi.org/10.1006/jmsc.1996.0015>

PETREMAN, I. C.; JONES, N. E.; MILNE, S. W.. Observer bias and subsampling efficiencies for estimating the number of migrating fish in rivers using Dual-frequency IDentification SONar (DIDSON). **Fisheries Research**, v.155, p.160-167, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.03.001>

QUEIROZ, L. J.; TORRENTE, G.; OHARA, W. M.; PIRES, T. H. S.; ZUANON, J.; DORIS, C. R. C.. **Peixes do rio Madeira**: Vol. I, II e

III. São Paulo: Dialeto Latin American Documentary, 2013

REIS, R. E.; ALBERT, J. S.; DARIO, F.; MINCARONE, M. M.; PETRY, P.; ROCHA, L. A.. Fish biodiversity and conservation in South America. **Journal of Fish Biology**, v.89, n.1, p.12-47, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfb.13016>

SHAHRESTANI, S., BI, H., LYUBCHICH, V., BOSWELL, K. M., HELMINEN, J., DAUPHIN, G. J. R., LINNANSAARI, T., COOPER, L. W., GUARINELLO, M. L., GREBMEIER, J. M., BAYARD, A., LOVVORN, J. R., NORTH, C. A., KOLTS, J. M., WILLIAMS, D. P., LEMBKE, C.; GRASY, S.; SILVERMAN, A.; BROADBENT, H.; CURRY, R. A.. Development of active numerating side-scan for a high-density overwintering location for endemic shortnose sturgeon (*Acipenser brevirostrum*) in the Saint John River, New Brunswick. **Fisheries Research**, v.227, p.160-167. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2017.10.010>

SILVA, A. T.; LUCAS, M. C.; CASTRO, T. S.; KATOPODIS, C.; BAUMGARTNER, L. J.; THIEM, J. D.; AARESTRUP, K.; POMPEU, P. S.; OBRIEN, G. C.; BRAUN, D. C.; BURNETT, N. J.; ZHU, D. Z.; FJELDSTAD, H. P.; FORSETH, T.; RAJARATNAM, N.; WILLIAMS, J. G.; COOKE, S. J.. The future of fish passage science, engineering, and practice. **Fish and Fisheries**, v.19, n.2, p.340-362. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/faf.12258>

SILVA, A. B.; MARTINS, S. L.; PIRES, S. H. M.; PEDRO, F. S.; LUQUEZ, F. A.; ARENHARDT, V.. Technology Management with Focus on Fish Transposition System (FTS). **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v.5, n.9, p.222-239, 2018. DOI: <https://doi.org/10.22161/ijaers.5.9.25>

SILVA, F. N. A.. **Efeito de campo elétrico no comportamento de peixes brasileiros e estudo de barreira elétrica como mecanismo de controle de movimentação de peixes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

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. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v.17, n.4, 2021.

SIMPSON, E. H.. Measurement of Diversity. **Nature**, v.163, n.4148, p.688. 1949. DOI: <https://doi.org/10.1038/163688a0>

THÉRY, H.; MELLO, N. A. T.. O sistema elétrico brasileiro. **Open Edition Journals – Confins**, n.26, 2016.

TUMMERS, J. S.; KERR, J. R.; BRIEN, P. O.; KEMP, P.; LUCAS, M. C.. Enhancing the upstream passage of river lamprey at a microhydropower installation using horizontally-mounted studded tiles. **Ecological Engineering**, v.125, p.87-97, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.10.015>

VÁŠEK, M.; PRCHALOVÁ, M.; ŘÍHA, M.; BLABOLIL, P.; ČECH, M.; DRAŠTÍK, V.; FROUZOVÁ, J.; JŮZA, T.; KRATOCHVÍL, M.; MUŠKA, M.; PETERKA, J.; SAJDLOVÁ, Z.; ŠMEJKAL, M.; TUŠER, M.; VEJŘÍK, L.; ZNACHOR, P.; MRKVIČKA, T.; SEMA, J.; KUBEČKA, J.. Fish community response to the longitudinal environmental gradient in Czech deep-valley reservoirs: Implications for ecological monitoring and management. **Ecological Indicators**, v.63, p.219-230, 2016. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.11.061>

WICKHAM, H.; CHANG, W.; WICKHAM, M. H.. Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics. **Package 'Ggplot2**, v.2, n.1, p.1-189, 2016.

WINEMILLER, K. O.; FITZGERALD, D. B.; BOWER, L. M.; PIANKA, E. R.. Functional traits, convergent evolution, and periodic tables of niches. **Ecology Letter**, v.18, p.737-751, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.12462>

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.

Todas as obras (artigos) publicadas serão tokenizadas, ou seja, terão um NFT equivalente armazenado e comercializado livremente na rede OpenSea (https://opensea.io/HUB_CBPC), onde a CBPC irá operacionalizar a transferência dos direitos materiais das publicações para os próprios autores ou quaisquer interessados em adquiri-los e fazer o uso que lhe for de interesse.



Os direitos comerciais deste artigo podem ser adquiridos pelos autores ou quaisquer interessados através da aquisição, para posterior comercialização ou guarda, do NFT (Non-Fungible Token) equivalente através do seguinte link na OpenSea (Ethereum).

The commercial rights of this article can be acquired by the authors or any interested parties through the acquisition, for later commercialization or storage, of the equivalent NFT (Non-Fungible Token) through the following link on OpenSea (Ethereum).



<https://opensea.io/assets/ethereum/0x495f947276749ce646f68ac8c248420045cb7b5e/44951876800440915849902480545070078646674086961356520679561157979225662160897/>