

DIVERSIDADE FUNCIONAL DE MICROCRUSTÁCEOS DE ÁGUA DOCE: UMA REVISÃO DE ESTUDOS BRASILEIROS DOS ÚLTIMOS 14 ANOS

Functional diversity of freshwater microcrustaceans: a review of brazilian studies from the last 14 years

Thais Carneiro^{1*}; Bárbara Oleinski¹; Edélti Faria Albertoni¹

¹Programa de Pós-graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Instituto de Ciências Biológicas (ICB), Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil.

*E-mail: azevedocarneirothais@gmail.com

Data do recebimento: 28/05/2025 - Data do aceite: 14/07/2025

RESUMO: Os ambientes aquáticos de água doce brasileiros abrigam uma importante diversidade de microcrustáceos. Nos últimos anos, a abordagem funcional tem sido utilizada em estudos ecológicos, avaliando a influência de fatores ambientais em traços morfológicos, comportamentais e fisiológicos. O objetivo deste estudo foi identificar informações sobre as tendências na avaliação da diversidade funcional de microcrustáceos de água doce no território brasileiro, nos últimos 14 anos. Foi utilizada a base de dados Portal de Periódicos CAPES, buscando as palavras-chave em inglês: “functional diversity”, “microcrustaceans” e “freshwater” ou “zooplankton”. Foram analisados 33 artigos, em que foi observado um aumento no número de publicações a partir do ano de 2018. A região sudeste concentra o maior número de artigos publicados. A maioria desses estudos foi realizada em lagos e lagoas. Cladóceros e copépodes foram as classes mais analisadas. Traços comportamentais e a riqueza funcional destacaram-se por serem os parâmetros funcionais mais considerados. O presente estudo ressalta a carência de trabalhos sobre diversidade funcional de microcrustáceos em diversas regiões do país, em que muitas lacunas permeiam a Classe Ostracoda principalmente. Por fim, ressalta-se a necessidade de estudos em áreas úmidas temporárias e permanentes, além do uso de traços fisiológicos.

Palavras-chave: Traços funcionais, índices funcionais, variáveis ambientais, funções ecológicas, serviços ecossistêmicos

ABSTRACT: Brazilian freshwater aquatic environments are home to an important diversity of microcrustaceans. In recent years, the functional approach has been widely used in ecological studies, evaluating the influence of environmental factors on morphological, behavioral, and physiological traits. The objective of this study was to identify information about trends in the evaluation of the functional diversity of freshwater microcrustaceans in the Brazilian territory over the last 14 years. CAPES Journal Portal database was used to search for the keywords in English: “functional diversity” and “microcrustaceans” and “freshwater” or “zooplankton”. A total of 33 articles were analyzed, showing an increase in publications since 2018. The results indicated that the southeastern region concentrates the highest number of published articles. The majority of these studies were conducted in lakes and ponds. Cladocerans and copepods were the most analyzed classes during the studies. Behavioral traits and functional richness stood out for being the most considered functional parameters during the analyses. The present study highlights the lack of studies on functional diversity of microcrustaceans in several regions of the country, with many gaps, especially within the Ostracoda Class. Finally, the need for studies in temporary and permanent wetlands, as well as the use of physiological traits is emphasized.

Keywords: Functional traits, functional indices, environmental variables, ecological functions, ecosystem services

Introdução

As regiões geográficas do Brasil são compostas por biomas que estruturam um mosaico de ecossistemas (Nascimento e Ribeiro, 2017). Dentre os componentes presentes nos ecossistemas, destacam-se os sistemas aquáticos, que são amplamente distribuídos e variados (MMA, 2025). Esses ambientes são importantes na manutenção do ciclo de vida e sobrevivência de diferentes espécies (Dodds e Whiles, 2017) e o metabolismo dos ecossistemas aquáticos é modulado de forma direta pelas comunidades aquáticas (Bakhtiyar *et al.* 2020). Nesse contexto, a caracterização das comunidades tem sido utilizada como uma importante ferramenta na avaliação das condições ambientais (Zebral *et al.* 2021; Mazzoni *et al.* 2023).

Os microcrustáceos são representados, principalmente, por Cladocera, Copepoda e Ostracoda (Thorp e Covich, 2001). Esses organismos são reconhecidos pela sua elevada abundância e distribuição na maioria dos ambientes aquáticos (Hébert e Beisner, 2020), atuando como importantes componentes no funcionamento dos ecossistemas por meio do fluxo de energia e na ciclagem de nutrientes (Sodré e Bozelli, 2019). Nesse sentido, estudos com abordagens baseadas em características morfológicas e funcionais têm sido utilizados para descrever as comunidades de microcrustáceos de ambientes marinhos (Li *et al.* 2022) e de água doce (Gomes *et al.* 2019).

As comunidades de microcrustáceos são influenciadas por um complexo de fatores físicos, químicos e biológicos (De Souza Santos *et al.* 2024). As variações na compo-

sição química da água alteram características fisiológicas e comportamentais, favorecendo algumas espécies específicas (Carvalho e Bonecker, 2016). Sabe-se que elevadas concentrações de nutrientes (Cruz-Rosado *et al.* 2020), alterações no fluxo hidrológico (cheia e seca) (Gomes *et al.* 2020) e a sazonalidade (Pedroti *et al.* 2024) influenciam, diretamente, na abundância e na riqueza de espécies da comunidade de microcrustáceos. Desse modo, por serem sensíveis às alterações químicas (ex.: concentração de nutrientes) (Shen *et al.* 2021), físicas (ex.: temperatura) (Bomfim *et al.* 2021) e bióticas (ex.: pressões por herbivoria) (Guo *et al.* 2021), constituem-se em uma importante ferramenta de biomonitoramento, pois fornecem uma rápida resposta sobre a integridade ambiental do ecossistema aquático (Hébert *et al.* 2017).

Aliado a tais características ambientais, as respostas de características intrínsecas das espécies permitem avaliar sua funcionalidade no ambiente, formando uma abordagem alternativa (Mouillot *et al.* 2013; Josué *et al.* 2021), de modo a oferecer resposta imediata de como as alterações nas condições ambientais afetam a composição funcional da comunidade (Coelho e Henry, 2021) em diferentes escalas de tempo e espaço (Magurran, 2021). A abordagem funcional pode ser utilizada para mensurar a diversidade de qualquer comunidade presente nos ecossistemas aquáticos, inclusive microcrustáceos de água doce (Branco *et al.* 2023). Seus componentes envolvem as medidas de diversidade funcional, definida como a variabilidade de traços funcionais dos indivíduos (Tilman, 2001). Já os traços funcionais são quaisquer características mensuráveis, morfológicas, fisiológicas ou comportamentais, que influenciam nas taxas de sobrevivência, crescimento e reprodução das espécies (Violle *et al.* 2007). Contudo, a composição dos diferentes traços funcionais é diretamente influenciada por fatores físicos, químicos e biológicos

do ambiente aquático (Braghin *et al.* 2021; Fintelman Oliveira *et al.* 2023).

Além da escolha dos traços funcionais, a utilização de índices de diversidade funcional é essencial nos estudos que buscam entender a composição funcional da comunidade (Calaça e Grelle, 2016). Índices de diversidade são valores mensuráveis e atribuídos aos traços funcionais das espécies (Sodré e Bozelli, 2019), que medem diferenças entre os traços funcionais a partir da riqueza, da abundância relativa e da variação entre as características (Villéger *et al.* 2008; Mammola *et al.* 2021). O uso integrado dos traços funcionais e dos índices funcionais de diversidade revela as funções da comunidade e prevê a resiliência frente a perturbações ambientais (Hébert *et al.* 2017; Branco *et al.* 2023).

Nos últimos anos, os estudos que abordam a diversidade funcional, na avaliação das comunidades aquáticas, vêm crescendo ao redor do mundo (Branco *et al.* 2023). Inclusive o Brasil está entre os países que mais estudam a diversidade funcional de zooplâncton em geral (Gomes *et al.* 2019). Apesar de possuir diversos tipos de ambientes aquáticos espalhados por seu território, os estudos taxonômicos concentram-se em lagos e lagoas (Castilho-Noll *et al.* 2023). Entretanto, ainda não se tem quantificado as tendências e perspectivas, exclusivamente, sobre diversidade funcional de microcrustáceos de água doce no país. Assim, o estudo foi desenvolvido com o objetivo de identificar informações acerca das tendências sobre a avaliação da diversidade funcional de microcrustáceos de água doce do território brasileiro, nos últimos 14 anos, com foco nas seguintes questões: (i) O número de trabalhos sobre a temática aumentou ao longo dos anos? (ii) Quais as regiões geográficas que mais desenvolvem estudos avaliando a diversidade funcional de microcrustáceos? (iii) Qual o tipo de ambiente aquático mais avaliado? (iv) Quais as classes de microcrustáceos mais estudadas? (v)

Qual o tipo de traço funcional (morfológico, fisiológico, comportamental) mais analisado?
(vi) Quais os índices de diversidade funcional mais utilizados?

Material e métodos

Foi realizada uma busca por artigos científicos originais desenvolvidos no Brasil, na base de dados CAPES (Coordenação de Desenvolvimento de Pessoal de Ensino Superior), que inclui coleções das Revistas *Web of Science*, *Scopus* e *Science Direct* (<http://www.periodicos.capes.gov.br/index.php>), nos últimos 14 anos (de Janeiro de 2010 até dezembro de 2024), seguindo metodologia adaptada (Pereira et al. 2022; Castilho-Noll et al. 2023; Bomfim et al. 2024). Foram utilizadas as seguintes combinações de palavras-chave em inglês: “functional diversity”, “microcrustaceans” e “freshwater” ou “zooplankton”, além de operadores booleanos “and” e “or” (Figura 1). Identificamos o número de artigos (n=75) e quantificamos os artigos relacionados ao objetivo deste estudo (n=33) (Figura 1). A partir da triagem, foi extraído, em cada um dos artigos, o ano de publicação, estudos por cada região do

Brasil, tipo de ambiente analisado, classes de microcrustáceos avaliados, tipo de traço funcional e índice funcional mais utilizados (Figura 1). Estudos categorizados como teses, dissertações, artigos de revisão e anais de congressos não foram considerados na revisão, bem como estudos em ambientes aquáticos marinhos (n=9) de qualquer categoria. Por fim, estudos internacionais (n=6) também foram excluídos (Figura 1). Para avaliar a tendência temporal em relação ao número de publicações, foi realizada uma análise de regressão linear, considerando os anos (2010-2024) como variável independente e o n° de publicações como dependente. A análise foi realizada no *software* R (versão 4.5.1), utilizando a função *lm()* do pacote *stats*.

Resultados e discussão

O número de publicações sobre diversidade funcional de microcrustáceos de água doce, no Brasil, aumentou ao longo dos últimos 14 anos (Figura 2), com o maior número de publicações no ano de 2021, com 9 artigos publicados. A análise de regressão linear indicou uma tendência crescente significativa ($p < 0,01$) com um coeficiente de

Figura 1 - Diagrama mostrando o fluxo da busca por artigos científicos, indicando o número total de registros encontrados e selecionados na base de dados. FO: fora do escopo, I: internacional, M: marinho, OG: outros grupos de organismos.

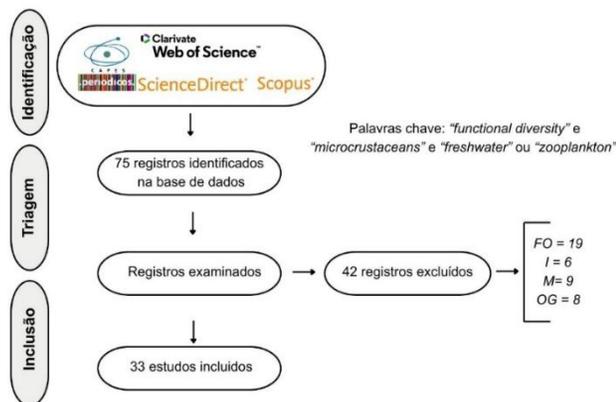
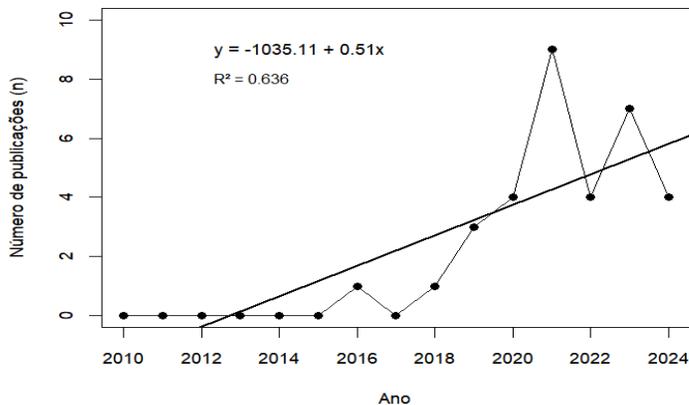


Figura 2 - Número de trabalhos brasileiros desenvolvidos ao longo dos últimos 14 anos sobre diversidade funcional de microcrustáceos de água doce (2010-2024).

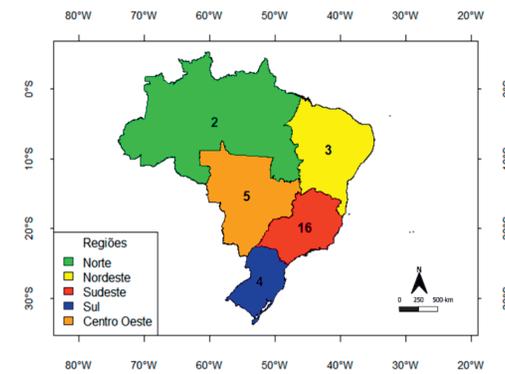


determinação $R^2=0,636$. Esses resultados sugerem que em torno de 63,6% da variação no número de publicações pode ser explicada pelo avanço da quantidade de estudos ao longo dos anos. Entre o período avaliado neste estudo (janeiro de 2010 à dezembro de 2024), o registro mais antigo de estudos nessa temática em território brasileiro foi em 2016 (Figura 2). De acordo com Gomes *et al.* (2019), o Brasil está entre os países que mais estudam a diversidade funcional de microcrustáceos, em geral com enfoque em zooplâncton. No entanto, os resultados aqui encontrados indicam que, apesar do aumento de estudos ao decorrer dos anos, a média de trabalhos foi de 5 a 6 por ano.

A maioria dos estudos concentrou-se nas regiões Sudeste ($n=16$) e Centro Oeste ($n=5$) (Figura 3). As regiões Sul ($n=4$), Nordeste ($n=3$) e Norte ($n=2$) apresentaram os menores números de publicações (Figura 3). Um estudo recente de Castilho-Noll *et al.* (2023) constatou esse mesmo padrão para microcrustáceos, no entanto, com aspectos taxonômicos. A região Sudeste possui uma grande infraestrutura institucional (MEC,

2024) que contribui para um aporte maior de pesquisas, elevando o número de estudos nos ambientes aquáticos pertencentes a essa região. Dessa forma, destaca-se a necessidade de novos estudos de diversidade funcional, principalmente na região norte brasileira.

Figura 3 – Mapa do Brasil com número de publicações por regiões geográficas entre o período de 2010 a 2024. Norte ($n=2$), Nordeste ($n=3$), Centro Oeste ($n=5$), Sudeste ($n=16$), Sul ($n=4$).



Lagos e lagoas foram os ambientes aquáticos de água doce mais analisados em estudos na temática de diversidade funcional

com microcrustáceos (n=15) (Figura 4a), o mesmo padrão retratado por Castilho *et al.* (2023), entretanto, para estudos com aspectos taxonômicos. Já as planícies de inundação e rios apresentaram o menor número de estudos desenvolvidos (n=6 e n=4, respectivamente) (Figura 4). Esses resultados corroboram com os de Bomfim *et al.* (2024), que retratam que os rios, principalmente, são escassos em relação a estudos com microcrustáceos zooplantônicos em geral. Em relação às classes de microcrustáceos mais estudadas, os cladóceros e os copépodos estiveram presentes na maioria dos estudos registrados em nossa busca (Figura 4b). Em contrapartida, os ostracodes foram analisados em somente 1 estudo. Os cladóceros lideram o número de estudos em todos os tipos de ambientes do Brasil (Castilho *et al.* 2023), uma vez que são indivíduos de elevada ocorrência no território brasileiro (Elmoor-Loureiro *et al.* 2023). O baixo número de estudos relacionados à Ostracoda eram esperados, em decorrência da dificuldade para a identificação desses organismos, podendo ser um dos motivos de serem pouco estudados. Dessa forma, destaca-se a necessidade de estudos para o grupo em específico.

Ao todo, 13 tipos de traços funcionais de microcrustáceos de água doce foram analisados nos artigos encontrados na revisão

(Figura 5). O tipo de alimentação (n=33) e o tamanho do corpo (n=30) foram os traços funcionais mais avaliados nos estudos (Figura 5). Foi observado que a categoria de traços comportamentais predominou em grande parte das análises contidas nos estudos nacionais (Figura 5).

O termo “traços funcionais” descreve papéis ecológicos das espécies, ou seja, como ocorre a interação entre a comunidade e o ambiente (Díaz e Cabido, 2001), e qual a influência no desempenho e aptidão dos organismos (Nock *et al.* 2016). Entre as três categorias de traços funcionais (morfológicos, comportamentais e fisiológicos) (Sodré e Bozelli, 2019; Branco *et al.* 2023), os traços comportamentais foram os mais avaliados. Traços comportamentais são características sobre a forma de alimentação, tipo de locomoção, entre outros (Sodré e Bozelli, 2019), sendo essenciais para a sobrevivência dos organismos. Por exemplo, o tipo de alimentação dos microcrustáceos foi evidenciado em todos os estudos encontrados durante nossa revisão, sendo que este difere nos cladóceros quanto à posição do aparelho de filtração (Barnett *et al.* 2007), revelando um traço funcional essencial para avaliação das comunidades.

Outro traço comumente avaliado nas publicações foi o tamanho do corpo. Este é

Figura 4 – (a) Número de publicações por tipo de ecossistema aquático de água doce entre o período de 2010 a 2024. Lago/Lagoa (n=15), Reservatórios (n=8), Planície de Inundação (n=6), Rios (n=4). (b) Número de publicações por classe de microcrustáceos de água doce entre o período de 2010 a 2024. Cladocera (n=16), Copépoda (n=16), Ostracoda (n=1).

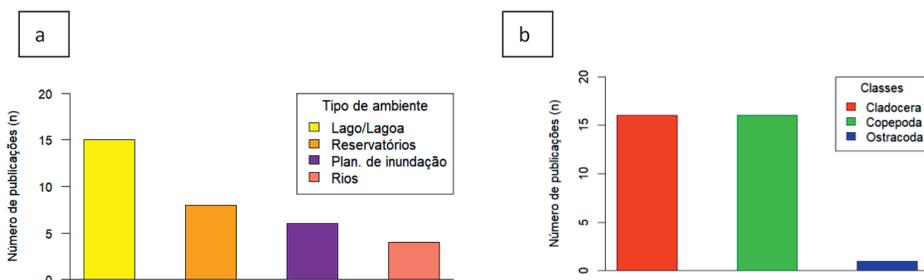
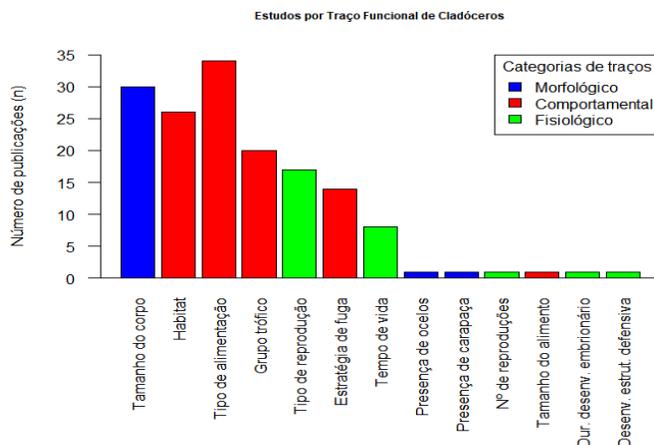


Figura 5 – Número de publicações por categorias de traços funcionais morfológicos, comportamentais e fisiológicos de microcrustáceos de água doce entre o período de 2010 a 2024.

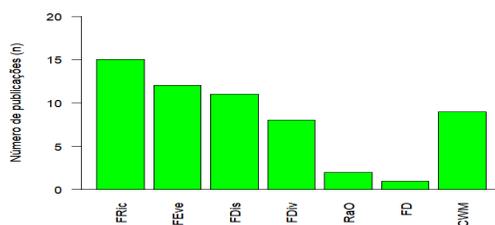


um efeito resposta excelente na avaliação de funções vitais dos organismos (Litchman *et al.* 2013), pois taxas fisiológicas e corporais, como excreção, metabolismo e alimentação, são alteradas conforme aumenta o tamanho do corpo (Rizo *et al.* 2017). Já os traços fisiológicos, como tipo de reprodução e tempo de desenvolvimento embrionário, foram os menos avaliados. Contudo, as características citadas acima são fundamentais para o entendimento de processos ecológicos, dinâmica das comunidades aquáticas e adaptação dos indivíduos a alterações ambientais e climáticas (Branco *et al.* 2023). Apesar do aumento do número de estudos de diversidade funcional ao longo dos anos, um desafio recorrente é a escolha dos tipos de traços e da quantidade de traços a serem analisados (Garnier *et al.*, 2017). Na maioria das vezes, os traços analisados não respondem ao principal objetivo da pesquisa, como foi observado em alguns dos artigos durante nossa busca.

Nos artigos encontrados, 7 índices de diversidade funcional foram analisados (Figura 6). A riqueza funcional (FRic) (n=15) foi o índice mais utilizado nos estudos realizados

no Brasil, seguido da regularidade funcional (FEve) (n=12) e da dispersão funcional (FDis) (n=11). Em contrapartida, o FDiv (divergência funcional), o RaO (entropia quadrática de RaO) e FD (diversidade funcional) foram pouco analisados entre os estudos (n=8, n=2, n=1, respectivamente). Cada índice tem características específicas, representando a diversidade dos traços funcionais da comunidade e suas possíveis variações e combinações entre as espécies (Quadro 1).

Figura 6 – Número de publicações por índices de diversidade funcional mais utilizados nos estudos brasileiros com microcrustáceos de água doce entre o período de 2010 a 2024. FRic = riqueza funcional, FEve = regularidade funcional, FDis = dispersão funcional, FDiv = divergência funcional, RaO = entropia quadrática, FD = diversidade funcional, CWM = média ponderada da comunidade.



Quadro 1 – Características dos índices de diversidade funcional mais utilizados nos estudos brasileiros com microcrustáceos de água doce entre o período de 2010 a 2024, conforme Villéger *et al.* (2008), Laliberté e Legendre (2010), Calaça e Grelle (2016) e De Bello *et al.* (2021). sp: espécie.

Índice funcional	Fórmula matemática	Características
FRic (Riqueza funcional)	$\text{Volume do Convex Hull } (V)$, representa o número total de traços funcionais das sp da comunidade	Mede o espaço funcional preenchido pelo número de características (traços funcionais) distintas dentro de uma comunidade.
FEve (Regularidade funcional)	$\text{FEve} = \frac{\sum_{i=1}^{S-1} \min\left(\frac{l_i}{l}, 1\right) - \frac{S-1}{S}}{1 - \frac{S-1}{S}}$ onde S = número total de sp da comunidade; l_i = peso da conexão entre duas sp no espaço funcional, de acordo pela frequência l = média dos comprimentos l_i (diferença funcional entre sp)	Identifica o quão regular é a distribuição do número dos indivíduos em relação aos valores dos traços funcionais.
FDis (Dispersão funcional)	N $FDis = \sum p_i m_i$, onde, $i = 1$ N = número total de sp da comunidade; p_i = abundância relativa da sp; m_i = média ponderada dos traços funcionais	Determina o quão dispersas estão as espécies no traço funcional médio da comunidade.
FDiv (Divergência funcional)	$FDiv = \frac{\sum_{i=1}^S a_i \cdot d_i - \bar{d} }{\sum_{i=1}^S d_i - \bar{d} }$ onde S = número total de sp da comunidade; a_i = abundância da sp i ; d_i = distância da sp i ao centroide do espaço funcional; \bar{d} = média das distâncias d_i	Analisa se as espécies da comunidade são funcionalmente semelhantes ou se os traços são irregulares em sua distribuição.
RaO (Entropia quadrática de Rao)	$\text{RaoQ} = \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^S p_i \cdot p_j \cdot d_{ij}$ onde S = número total de sp da comunidade; p_i, p_j = abundâncias das sp i e j ; d_{ij} = distância funcional entre as sp i e j	Mede a média das dissimilaridades funcionais entre cada par de espécies de uma comunidade, ponderada pelas abundâncias de ambas as espécies.
FD (Diversidade funcional)	$FD = i' \cdot h2$ onde, i = abundância relativa de cada sp; $h2$ = segundo eixo de um espaço funcional (PCA)	Expressa toda a variação de traços funcionais entre as espécies de uma determinada comunidade.
CWM (Média ponderada da comunidade)	$CWM = \sum_{i=1}^S p_i \cdot t_i$ onde S = número total de sp da comunidade; p_i = abundância ou presença/ausência da sp i t_i = valor do traço funcional da sp i	Representa os traços funcionais mais comuns da comunidade (média dos valores), ponderada pela abundância relativa das espécies com maior dominância.

Além da escolha dos traços funcionais, a utilização de índices de diversidade funcional é essencial nos estudos que buscam entender a composição funcional da comunidade (Calaça e Grelle, 2016). Os índices de diversidade funcional refletem, muitas das vezes, alterações ambientais que influenciam diretamente a composição funcional da comunidade (De Bello *et al.* 2021). A riqueza funcional, avaliada em grande parte dos estudos, por exemplo, tende a ser elevada conforme a disponibilidade de alimento no ambiente aquático, favorecendo o ciclo de vida da comunidade (Josué *et al.* 2021). Entretanto, variáveis limnológicas, como turbidez da água e profundidade, podem influenciar negativamente a diversidade funcional (Braghin *et al.* 2021). Ambientes eutrofizados, por exemplo, alteram a composição e os índices de diversidade funcional, favorecendo espécies mais especializadas, com melhor seletividade na captura de alimentos e capacidade de fuga de predadores (Duré *et al.* 2021). A heterogeneidade do ambiente aquático (Picapedra *et al.* 2022) e a invasão de novas espécies (Barroeta *et al.* 2022) também modificam a estrutura da comunidade, diminuindo a riqueza funcional da comunidade.

Assim, em recentes revisões da literatura, Branco *et al.* (2023) e Castilho-Noll *et al.* (2023) ressaltaram que uma das principais lacunas e desafios a serem estudados atualmente é a ecologia funcional de microcrustáceos de água doce.

Conclusão

O número de estudos, no Brasil, que abordam diversidade funcional de microcrustáceos tem crescido ao longo dos anos, embora com um pico no ano 2021 e diminuição nos anos mais recentes. Os estudos funcionais de microcrustáceos se concentram na região Su-

deste do território brasileiro, principalmente nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro. Esse padrão demonstra um déficit geográfico, limitando o número de estudos nas demais regiões do Brasil que, em grande maioria, apresentam ambientes aquáticos importantes para conservação e biodiversidade de comunidades aquáticas. Além disso, muitos ambientes aquáticos, como áreas úmidas e rios, não são avaliados na maioria desses estudos, podendo levar à perda de muitas informações ecológicas e de funções ecossistêmicas que esses ecossistemas integram com muitas comunidades aquáticas.

A ênfase dos estudos com a comunidade de cladóceros e copépodos limita o conhecimento da composição funcional de ostracodes. Avaliar uma maior diversidade de grupos taxonômicos possibilita uma melhor caracterização funcional das comunidades, bem como uma maior resposta a futuras alterações ambientais. Caracterizar as comunidades de maneira geral, incluindo traços funcionais morfológicos, comportamentais e fisiológicos, permite compreender a composição funcional de muitas espécies. Traços funcionais específicos devem ser analisados com o propósito de responder ao principal objetivo do trabalho. Diante disso, estudos futuros devem priorizar trabalhar com traços relevantes, ou seja, características funcionais ecológicas importantes para processos vitais da comunidade, respondendo às hipóteses em questão. Assim, uma abordagem funcional que compreenda a maioria das características essenciais das comunidades aquáticas, aliada à avaliação de diferentes ecossistemas aquáticos do território brasileiro, possibilita o conhecimento sobre ambientes aquáticos ainda pouco investigados, visando a iniciativas de conservação e preservação eficazes. Dessa forma, ressalta-se a necessidade de estudos com enfoque em Ostracoda, ainda incipientes.

REFERÊNCIAS

- BAKHTIYAR, Y.; ARAFAT, M.Y.; ANDRABI, S.; TAK, H.I. Zooplankton: The Significant Ecosystem Service Provider in Aquatic Environment. *In*: BHAT, R. A.; HAKEEM, K. R.; SAUD AL-SAUD, N. B. (Eds.). **Bioremediation and Biotechnology, Cham: Springer International Publishing**, v. 3, 2020, p. 227-244. Doi: [10.1007/978-3-030-46075-4_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-46075-4_10).
- BARROETA, Z.; VILLATE, F.; URIARTE, I.; IRIARTE, A. Impact of Colonizer Copepods on Zooplankton Structure and Diversity in Contrasting Estuaries. **Estuaries and Coasts**, v. 45, n. 8, p. 2592-2609, dez. 2022. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12237-022-01105-6>.
- BOMFIM, F. D. F.; LANSAC-TÔHA, F.M.; BONECKER, C.C; LANSAC-TÔHA, F.A. Determinants of zooplankton functional dissimilarity during years of El Niño and La Niña in floodplain shallow lakes. **Aquatic Sciences**, v. 83, n. 2, p. 41, abr. 2021. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00027-021-00796-6>.
- BRAGHIN, L. D. S. M.; DIAS, L.S.M.; SIMÕES, N.R.; BONECKER, C.C. Food availability, depth, and turbidity drive zooplankton functional diversity over time in a Neotropical floodplain. **Aquatic Sciences**, v. 83, n. 1, p. 10, jan. 2021. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00027-020-00763-7>.
- BRANCO, C. W. C.; FINTELMAN-OLIVEIRA, E.; DOS SANTOS MIRANDA, V. B. A review of functional approaches for the study of freshwater communities with a focus on zooplankton. **Hydrobiologia**, v. 850, n. 21, p. 4719-4744, dez. 2023. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10750-023-05227-1>.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Ecossistemas. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/mudanca-do-clima/oceano-e-clima/ecossistemas>. Acesso em: 3 maio 2025.
- BRASIL. Ministério da Educação. Universidades federais se destacam em ranking nacional. Disponível em: <https://www.gov.br/mec/pt-br/assuntos/noticias/2024/outubro/universidades-federais-se-destacam-em-ranking-nacional>. Acesso em: 5 maio 2025.
- CALAÇA, A. M.; GRELLE, C. E. V. Diversidade funcional de comunidades: discussões conceituais e importantes avanços metodológicos. **Oecologia Australis**, v. 20, n. 04, p. 401-416, dez. 2016. Doi: <https://doi.org/10.4257/oeco.2016.2004.01>.
- CARVALHO, P. F. D.; BONECKER, S. L. C. Variação da composição e abundância das espécies da Classe Appendicularia e seu uso como potenciais bioindicadoras de regiões e massas de água superficiais na área da Baía de Campos, Rio de Janeiro, Brasil. **Iheringia. Série Zoológica**, v. 106, n. 0, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1590/1678-4766e2016022>.
- CASTILHO-NOLL, M. S. M. G.; PERBICHE-NEVES, N. G.; DOS SANTOS, L. T. F.; SCHWIND, F. M.; LANSAC-TÔHA, A. C. S. D.; SILVA, B. R. D.; MEIRA, C. Y.; JOKO, C. S.; DE MORAIS-JÚNIOR, E. E. C.; SILVA, E. M.; ESKINAZI-SANT'ANNA, F. R.; OLIVEIRA, G. D. S.; SANTOS, J. V. F. D.; SILVA, J. L.; PORTINHO, K.; DE ARAUJO-PAINA, L. J.; CHIARELLI, L. P.; DINIZ, L. D. S. M.; BRAGHIN, L. F. M.; VELHO, M. E. T. D.; SOUZA, M. L. C. D.; SILVA, M. A.; ROCHA, M.; PROGÊNIO, N.; FERREIRA, P. H.; CIRILLO, P. H. R.; MORARI, R. L.; ARRIEIRA, T.; MANTOVANO, V.; GAZULHA, V. L. D. S. A. D.; MELO, A. R.; GHIDINI, M. D. M.; JÚNIOR, F. A.; LANSAC-TÔHA, C. C.; BONECKER, N. R. SIMÕES. A review of 121 years of studies on the freshwater zooplankton of Brazil. **Limnologia**, v.100: 126057. 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.limno.2023.126057>.
- COELHO, P. N.; HENRY, R. Functional groups of microcrustaceans along a horizontal gradient in

a Neotropical lake colonized by macrophytes. **Aquatic Sciences**, v. 83, n. 1, p. 3, jan. 2021. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00027-020-00759-3>.

COVICH, A.P.; THORP, J.H. Introduction to the Subphylum Crustacea. In: THORP, J.H; COVICH, A.P. (Eds.). **Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates**. 2. ed. Boston: Academic Press, 2011, p. 777-800.

CRUZ-ROSADO, L.; CONTRERAS-SÁNCHEZ, W.M.; HERNÁNDEZ-VIDAL, U.; GÓMEZ-GUTIERREZ, J.; CONTRERAS-GARCIA, M.; MCDONAL-VERA, A. Seasonal variability of near-surface zooplankton community structure in the southern Gulf of Mexico. **Latin American Journal of Aquatic Research**, v. 48, n. 4, p. 649–661, 1 set. 2020.

DE BELLO, F.; CARMONA, C. P.; DIAS, A. T. C.; GÖTZENBERGER, L.; MORETTI, M.; BERG, M. P. **Handbook of Trait-Based Ecology: From Theory to R Tools**. Cambridge University Press, 2021.

DE SOUZA SANTOS, G.; DINIZ, L.P.; SILVA, E.E.C.; DE PAULA, T.L.; GOMES, P.C.; CALVI, R.X.; DELFIM, B.L.; SIMÕES, N.R.; ESKINAZI, E.M. What drives zooplankton taxonomic and functional β diversity? A review of Brazilian rivers. **Hydrobiologia**, v. 851, n. 5, p. 1305–1318, mar. 2024. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10750-023-05394-1>.

DODDS, W.K.; WHILES, M.R. *Freshwater Ecology*. Edition Academic Press, 2017. p 981.

DÍAZ, Sandra; CABIDO, Marcelo Ruben. Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 16, n. 11, p. 646-655, 2001. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(01\)02283-2](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02283-2).

DURÉ, G. A. V.; SIMÕES, BAGHIN, L. S. M.; RIBEIRO, S. M. M. S. Effect of eutrophication on the functional diversity of zooplankton in shallow ponds in Northeast Brazil. **Journal of Plankton Research**, v. 43, n. 6, p. 894-907, 23 nov. 2021. Doi: <https://doi.org/10.1093/plankt/fbab064>.

FINTELMAN-OLIVEIRA, E.; KRUK, C.; LACEROT, G.; KLIPPEL, G.; BRANCO, C.W.C. Zooplankton functional groups in tropical reservoirs: discriminating traits and environmental drivers. **Hydrobiologia**, v. 850, n. 2, p. 365–384, jan. 2023. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10750-022-05074-6>.

GARNIER, E.; NAVAS, M.L.; & GRIGULIS, K. *Plant Functional Diversity: Organism Traits, Community Structure, and Ecosystem Properties*. Oxford University Press, Oxford, UK. 2016. Doi: 10.1093/acprof:oso/9780198757368.001.0001

GOMES, L. F.; BARBOSA, J.C.; DE OLIVEIRA BARBOSA, H.; VIEIRA, M.C.; VIEIRA, L.C.G. Environmental and spatial influences on stream zooplankton communities of the Brazilian Cerrado. **Community Ecology**, v. 21, n. 1, p. 25-31, abr. 2020. Doi: <https://doi.org/10.1007/s42974-020-00008-5>.

GOMES, L. F.; PEREIRA, H.R.; VIEIRA, M.C.; MARTINS, P.R.; ROITMAN, I.; VIEIRA, L.C. Zooplankton functional-approach studies in continental aquatic environments: a systematic review. **Aquatic Ecology**, v. 53, n. 2, p. 191-203, jun. 2019. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10452-019-09682-8>.

GUO, Y.; BOUGHTON, E. H.; QIU, J. Interactive effects of land-use intensity, grazing and fire on decomposition of subtropical seasonal wetlands. **Ecological Indicators**, v. 132, p. 108301, dez. 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108301>.

HÉBERT, M.P.; BEISNER, B. E. Functional Trait Approaches for the Study of Metazooplankton Ecology. In: TEODÓSIO, M. A.; BARBOSA, A. B. (Eds.). **Zooplankton Ecology**. 1. ed. First. | Boca Raton: CRC Press, [2021]: CRC Press, 2020. p. 3-27.

HÉBERT, M.P.; BEISNER, B. E.; MARANGER, R. Linking zooplankton communities to ecosystem functioning: toward an effect-trait framework. **Journal of Plankton Research**, v. 39, n. 1, p. 3-12, jan. 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.222>.

- JOSUÉ, I. I. P.; SODRÉ, E.O.; SETUBAL, R.B.; CARDOSO, S.J.; ROLAND, F.; FIGUEIREDO-BARROS, M.P.; BOZELLI, R.L. Zooplankton functional diversity as an indicator of a long-term aquatic restoration in an Amazonian lake. **Restoration Ecology**, v. 29, n. 5, p. e13365, jul. 2021. Doi: <https://doi.org/10.1111/rec.13365>.
- LALIBERTÉ, E.; LEGENDRE, P. A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. **Ecology**, v. 91, n. 1, p. 299-305, jan. 2010. Doi: <https://doi.org/10.1890/08-2244.1>.
- LI, Y.; GE, R.; ZHUANG, Y.; LIU, G.; ZHENG, Z. Functional diversity and groups of crustacean zooplankton in the southern Yellow Sea. **Ecological Indicators**, v. 136, p. 108699, mar. 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108699>.
- MAGURRAN, A. E. Measuring biological diversity. **Current Biology**, v. 31, n. 19, p. R1174-R1177, out. 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.07.049>.
- MAMMOLA, S.; CARMONA, C.P.; GUILHERME, T.; CARDOSO, P. Concepts and applications in functional diversity. **Functional Ecology**, v. 35, n. 9, p. 1869-1885, set. 2021. Doi: <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13882>.
- MAZZONI, A.C.; LANZER, R.; PIRES, M.M.; SCHAFFER, A.; MALTCHIK, L.; STENERT, C. Environmental factors are the major drivers of macroinvertebrate assemblage structure in southern Brazilian coastal lakes. **Lakes & Reservoirs: Science, Policy and Management for Sustainable Use**, v. 28, n. 1, p. e12442, jan. 2023. Doi: <https://doi.org/10.1111/re.12442>.
- MOUILLOT, D.; GRAHAM, N.A.J.; VILLÉGER, S.; MASON, NORMAN W.H.; BELLWOOD, D.R. A functional approach reveals community responses to disturbances. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 28, n. 3, p. 167-177, mar. 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.004>.
- NOCK, C. A.; VOGT, R. J.; BEISNER, B. E. **Functional Traits**. Em: WILEY (Ed.). Encyclopedia of Life Sciences. 1. ed. [s.l.] Wiley, 2016. p. 1-8.
- PEDROTI, V. P.; DANTAS-FILHO, J.; SANTOS, B.L.; INHEIRO, M.M.; SOUZA, R.G.; PRADO, E.J.R.; DA SILVA, F.C.; SCHONS, SCHONS, S.V. Biodiversity, spatial, and seasonal distribution of the zooplankton community in semi-intensive fish farms in Rondônia state, Brazil. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 50, 30 dez. 2024. Doi: <https://doi.org/10.20950/1678-2305/bip.2024.50.e918>.
- PEREIRA, M. L. M.; VASCONCELOS, I. M. B.; MACEDO, A. J.; MUXAGATA, E.; LOPES LEÃES PINHO, G.; AGOSTINI, V. O. Estratégias de control de mejillones invasores: una revisión. **INNOTECH**, n. 23 ene-jun, p. e563, 2022. Doi: <https://doi.org/10.26461/23.08>.
- PICAPEDRA, P. H. D. S.; FERNANDES, C.; BAUMGARTER, G.; SANCHES, P.V. Drivers of zooplankton spatial dynamics in a small neotropical river. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 34, p. e13, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1590/s2179-975x6421>.
- SHEN, J.; QUIN, G.; YU, R.; ZHAO, Y.; YANG, J.; AN, S.; LIU, R.; LENG, X.; WAN, Y. Urbanization has changed the distribution pattern of zooplankton species diversity and the structure of functional groups. **Ecological Indicators**, v. 120, p. 106944, jan. 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106944>.
- SODRÉ, E. D. O.; BOZELLI, R. L. How planktonic microcrustaceans respond to environment and affect ecosystem: a functional trait perspective. **International Aquatic Research**, v. 11, n. 3, p. 207-223, set. 2019. Doi: <https://doi.org/10.1007/s40071-019-0233-x>.
- TILMAN, D. Functional Diversity. Em: Encyclopedia of Biodiversity. [s.l.] Elsevier, 2001. p. 109-120.
- VILLÉGER, S.; MASON, N. W. H.; MOUILLOT, D. New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. **Ecology**, v. 89, n. 8, p. 2290-2301, ago. 2008.

VIOLLE, C.; NAVAS, M.L.; VILE, D.; KAZAKOU, E.; FORTUNEL, C.; HUMMEL, I.; GARNIER, E. Let the concept of trait be functional! **Oikos**, v. 116, n. 5, p. 882-892, maio 2007. Doi: https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15559*.x.

ZEBRAL, Y.D.; RIGHI, B.D.P.; ANNI, I.S.A; ESCARRONE, A.L.V.; ROZA, M.; VIEIRA, C.E.D.; COSTA, P.G.; BIANCHINI, A. Pollution levels and biomarker responses in zooplankton from three hydrographic regions of southern Brazil: An integrated approach for water quality monitoring. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 5, p. 106180, out. 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106180>.

