

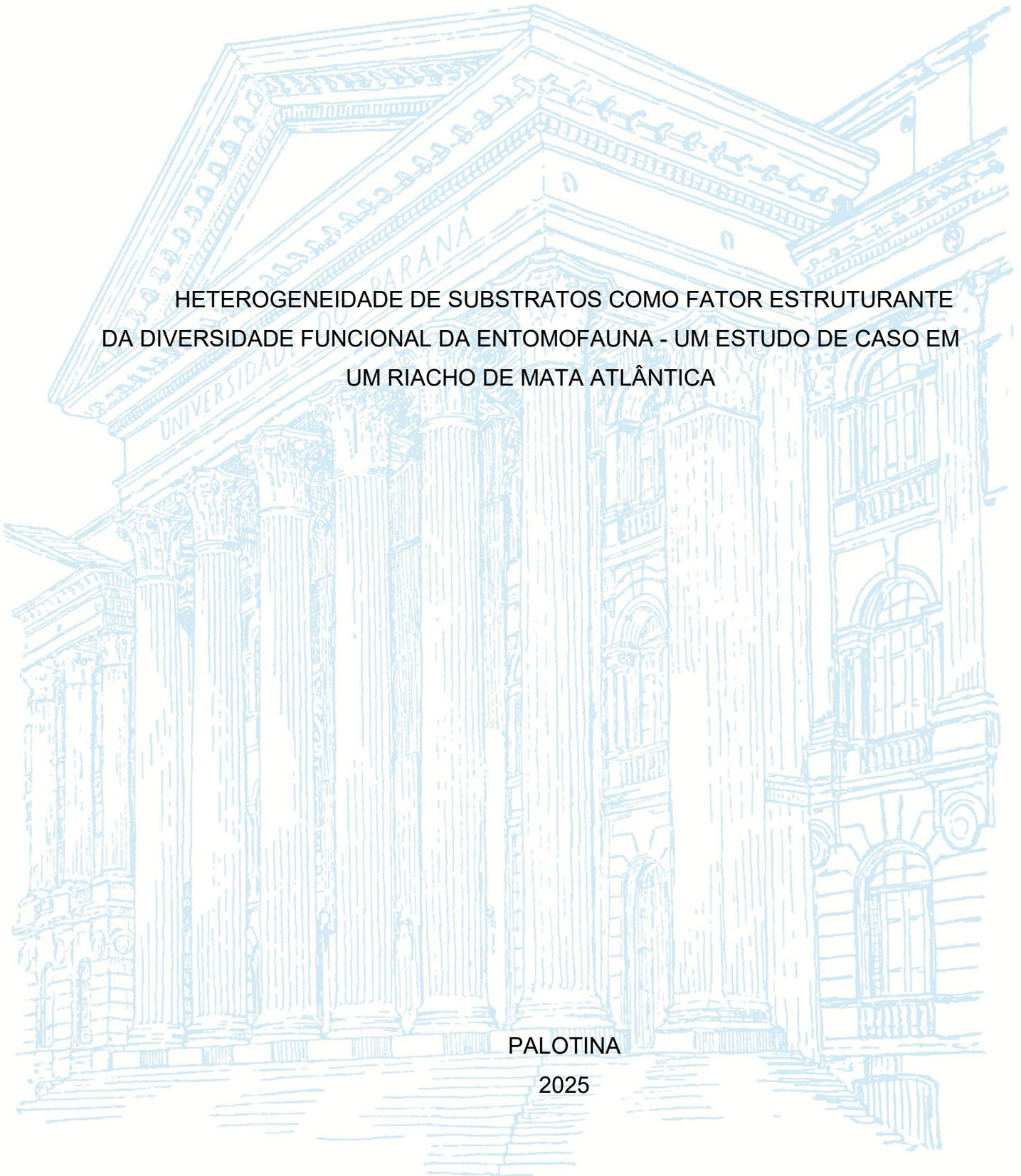
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

BEATRIZ FACI ALVES

HETEROGENEIDADE DE SUBSTRATOS COMO FATOR ESTRUTURANTE
DA DIVERSIDADE FUNCIONAL DA ENTOMOFAUNA - UM ESTUDO DE CASO EM
UM RIACHO DE MATA ATLÂNTICA

PALOTINA

2025



Beatriz Faci Alves

HETEROGENEIDADE DE SUBSTRATOS COMO FATOR ESTRUTURANTE
DA DIVERSIDADE FUNCIONAL DA ENTOMOFAUNA - UM ESTUDO DE CASO EM
UM RIACHO DE MATA ATLÂNTICA

TCC apresentada ao curso de Graduação em Ciências Biológicas, Setor de Palotina, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientadora: Profa. Dr^a Lucíola Thais Baldan

PALOTINA

2025

TERMO DE APROVAÇÃO

BEATRIZ FACI ALVES

HETEROGENEIDADE DE SUBSTRATOS COMO FATOR ESTRUTURANTE
DA DIVERSIDADE FUNCIONAL DA ENTOMOFAUNA - UM ESTUDO DE CASO EM
UM RIACHO DE MATA ATLÂNTICA

TCC apresentada ao curso de Graduação em Ciências Biológicas, Setor Palotina, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Prof(a). Dr(a) Lucíola Thais Baldan

Orientadora – Departamento de Biodiversidade, UFPR

Prof. Dr. Victor Pereira Zwiener

Departamento de Biodiversidade, UFPR

Msc. Jhenifer Simões dos Santos

Palotina, 04 de julho de 2025.

RESUMO

Este estudo investigou a diversidade funcional de macroinvertebrados em três tipos de substratos (fino, grosso e folhiço) no riacho Jumelo, um rio de segunda ordem na Bacia do Baixo Rio Iguaçu, Brasil. A hipótese testada foi que substratos mais heterogêneos (ex.: folhiço) sustentam maior diversidade funcional devido à maior disponibilidade de recursos. Foram analisados traços funcionais como respiração, grupos alimentares, formato corporal e hábitos de locomoção, utilizando diversidade beta funcional para comparar as assembleias entre os substratos. Os resultados indicaram que a respiração branquial (61,9%) e os raspadores (até 49,2%) foram predominantes em todos os substratos. O formato corporal achatado (58,4%) e o hábito agarrador (38,8%) foram os traços mais frequentes. A diversidade beta funcional revelou dissimilaridade significativa entre os substratos, com o substrato fino mais diferente dos outros substratos devido à perda de traços, enquanto o folhiço e o substrato grosso exibiram maior diversidade funcional. A PERMANOVA não detectou diferenças significativas na composição funcional entre os substratos, foi observada significância apenas na composição taxonômica entre o substrato fino e grosso. Apesar de não apresentar diferença significativa o estudo destaca o papel da heterogeneidade do substrato na estruturação da diversidade funcional de macroinvertebrados, com o folhiço e o substrato grosso proporcionando mais nichos e sustentando funções ecológicas diversas. As descobertas contribuem para o entendimento da dinâmica ecológica de comunidades de macroinvertebrados no rio Jumelo.

Palavras-chave: traços funcionais; heterogeneidade de substratos; insetos aquáticos; ecologia de riachos.

ABSTRACT

This study investigated the functional diversity of macroinvertebrates across three types of substrates (fine, coarse, and leaf litter) in the Jumelo stream, a second-order river in the Lower Iguazu River Basin, Brazil. The tested hypothesis was that more heterogeneous substrates (e.g., leaf litter) support greater functional diversity due to increased resource availability. Functional traits such as respiration, feeding groups, body shape, and locomotion habits were analyzed, using functional beta diversity to compare assemblages among substrates. The results indicated that branchial respiration (61.9%) and scrapers (up to 49.2%) were predominant across all substrates. Flattened body shape (58.4%) and the clinger habit (38.8%) were the most frequent traits. Functional beta diversity revealed significant dissimilarity among substrates, with the fine substrate being the most distinct due to trait loss, whereas leaf litter and coarse substrate exhibited higher functional diversity. PERMANOVA did not detect significant differences in functional composition among substrates; significance was only observed in taxonomic composition between the fine and coarse substrates. Although no significant functional differences were found, the study highlights the role of substrate heterogeneity in structuring the functional diversity of macroinvertebrates, with leaf litter and coarse substrate providing more niches and supporting diverse ecological functions. The findings contribute to understanding the ecological dynamics of macroinvertebrate communities in the Jumelo River.

Keywords: Functional traits; substrate heterogeneity; aquatic insects; stream ecology.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – LOCAL DE AMOSTRAGEM NO RIO JUMELO	26
--	----

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – ABUNDÂNCIA DOS TRAÇOS FUNCIONAIS DE MACROINVERTEBRADOS NAS QUATRO COLETAS REALIZADAS NO RIO JUMELO, 2016/2017.....	31
GRÁFICO 2 – ABUNDÂNCIA DOS TRAÇOS FUNCIONAIS DE MACROINVERTEBRADOS NOS SUBSTRATOS (FINO, GROSSO E FOLHIÇO) NO RIO JUMELO, 2016/2017.....	32
GRÁFICO 3 – ANÁLISE DA DISSIMILARIDADE DOS GRUPOS FUNCIONAIS DE MACROINVERTEBRADOS NAS QUATRO COLETAS E TRÊS SUBSTRATOS COLETADOS NO RIO JUMELO NOS ANOS DE 2016 E 2017.....	33
GRÁFICO 4 – ANÁLISE DE COORDENADAS PRINCIPAIS DOS GÊNEROS SIGNIFICATIVOS QUANTO À COMPARAÇÃO DE SUBSTRATOS NA COLETA DO RIO JUMELO NOS ANOS 2016 E 2017.	35

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – ATRIBUTOS FUNCIONAIS ESCOLHIDOS PARA ANÁLISE, ADAPTADOS.....	29
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

GFA	- Grupo Funcional Alimentar
MOPF	- Matéria Orgânica Particulada Fina
MOFG	- Matéria Orgânica Particulada Grossa
PCoA	- Análise de Coordenadas Principais
PERMANOVA	- <i>Permutational Multivariate Analysis of Variance</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 MACROINVERTEBRADOS	18
2.2 DIVERSIDADE FUNCIONAL	20
2.3 DIVERSIDADE FUNCIONAL DE MACROINVERTEBRADOS.....	21
2.4 HETEROGENEIDADE DE SUBSTRATOS	23
MATERIAL E MÉTODOS	26
2.5 ÁREA DE ESTUDO.....	26
2.6 AMOSTRAGEM E PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS.....	27
2.7 TRATAMENTO DOS DADOS	28
2.8 TRAÇO FUNCIONAIS.....	28
2.9 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	29
3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	31
4 DISCUSSÃO	36
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

Os macroinvertebrados são um grupo formado por organismos de diferentes classificações taxonômicas, possuindo integrantes dos filos Platyhelminthes, Nematoda, Annelida, Mollusca e Arthropoda, sendo este último mais representado pela classe Insecta (Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera, Odonata, entre outros) (Samuelsson, Soeiro, Manzatto, 2022). Esses organismos compartilham características, como o tamanho corporal superior a 0,5 mm e apresentarem parte ou todo o seu ciclo de vida na água, ocupando diferentes tipos de substratos, como sedimentos, folhiço, macrófitas e rochas (Silveira; Queiroz, 2006; Brandimarte; Melo, 2016; Hamada, Nessimian, Querino, 2019; Camargo, Souza, Silva, 2022; Samuelsson, Soeiro, Manzatto, 2022).

Ecologicamente os macroinvertebrados são importantes nas dinâmicas de ciclagem de nutrientes e no fluxo de energia de teias tróficas aquáticas, por atuarem principalmente na decomposição de matéria orgânica (Negrão; Cunha, 2019). Além desse papel no ecossistema, os macroinvertebrados podem ser usados como bioindicadores, principalmente por apresentarem uma grande variação de adaptações ao ecossistema, proporcionando diferentes respostas as variações ambientais. Nesse contexto, destacam-se os táxons Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT) que devido à alta sensibilidade as perturbações são bons indicadores da qualidade da água (Baptista, 2008; Docile; Figueiró, 2013; Szalkiewicz; Kałuża; Grygoruk, 2022).

A maneira mais utilizada de estudar a diversidade de macroinvertebrados é a partir da riqueza taxonômica, onde são usadas métricas como riqueza, abundância e outros índices que não levam em consideração o papel ecológico dos organismos, somente a presença e quantidade (Calaça; Grelle, 2016). Porém, a estrutura e composição das comunidades de macroinvertebrados estão relacionadas com as características ambientais e disponibilidade de recursos alimentares (Luiza-Andrade; Montag; Juen, 2017).

A diversidade funcional busca entender por meio de diferenças morfológicas, ecológicas e comportamentais (traços funcionais) como os organismos interagem, modificam e são afetados pelas condições do ambiente (Calaça; Grelle, 2016). Tendo isso em vista, a avaliação da diversidade funcional torna-se mais interessante, pois se baseia na análise de como as propriedades, os bens e os

serviços ecossistêmicos prestados pelas espécies influenciam no funcionamento do ecossistema, como postulado por Tilman (2001).

A forma mais comum de avaliar a diversidade funcional de macroinvertebrados é por meio dos grupos de traços funcionais, principalmente os relacionados à morfologia, mobilidade, ecologia e história de vida (Luiza-Andrade; Montag; Juen, 2017), os quais estão diretamente vinculados às condições ambientais. Por exemplo, os tipos de respiração refletem adaptações à disponibilidade de oxigênio dissolvido no corpo hídrico (Chapman et al., 2004), enquanto os grupos tróficos funcionais estão conectados a dinâmica de matéria orgânica do ambiente aquático (Merrit; Cummins; Campbell, 2019). Portanto, uso de características funcionais permite avaliações mais complexas sobre o funcionamento dos ecossistemas aquáticos (Berger et al., 2017).

Como postulado na Teoria do Modelo de Habitat, de Southwood (1977), as características do ambiente influenciam na estrutura e dinâmica das comunidades, criando condições distintas. Em ambientes aquáticos, a correnteza tem papel na estruturação das comunidades de macroinvertebrados por conta do processo de deriva, ou seja, os macroinvertebrados são continuamente transportados pelo fluxo de água (Barbero; Oberto; Gualdoni, 2013). A disponibilidade de alimentos também é um fator estruturante das comunidades de invertebrados aquáticos, pois os táxons estão presentes em locais que apresentam o alimento de preferência desses organismos (Hussain; Pandit, 2012). A heterogeneidade estrutural dos substratos influencia a composição das assembleias de macroinvertebrados por oferecer diferentes condições de refúgio e forrageio (Mathers et al., 2024). Sendo assim, as comunidades são em geral constituídas por organismos com adaptações para a heterogeneidade dos ambientes (Townsend; Hildrew, 1994).

A diversidade de substratos é um fator determinante na constituição da comunidade de macroinvertebrados, pois os substratos oferecem diferentes condições ecológicas (Mathers et al., 2024), como abrigo contra predadores e arraste, sendo também uma importante fonte de alimentação (Gething et al., 2020). Sendo assim, influenciam diretamente a composição funcional das comunidades, por estarem relacionados às condições de permanência e resistência dos organismos no ambiente.

Este estudo teve como objetivo investigar a diversidade funcional de macroinvertebrados em três tipos de substratos, testando a hipótese de que

substratos com maior diversidade de refúgio e forrageio sustentam maior diversidade funcional devido à maior disponibilidade de recursos ecológicos. Assim como verificar a se houve influência da sazonalidade na composição das comunidades. Para isso, foram analisados como traços a respiração, grupo funcional alimentar (GFA), formato corporal e hábito, utilizando diversidade beta funcional para comparar as assembleias entre substratos. Espera-se que diferentes tipos de substratos suportem conjuntos distintos de traços funcionais, refletindo a adaptação dos organismos às condições microambientais específicas de cada substrato.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MACROINVERTEBRADOS

Os macroinvertebrados são um grupo de organismos que apresentam características em comum, como serem visíveis a olho nu, com tamanho superior a 0,5 mm, são invertebrados, ou seja, não apresentam coluna vertebral, estão presentes em diferentes partes de corpos hídricos, podendo estar fixos aos substratos, em partes de macrófitas, rochas ou em suspensão na coluna d'água (Hamada; Nessimian; Querino, 2019; Samuelsson; Soeiro; Manzatto, 2022). Esses organismos são encontrados em todos os tipos de ambientes de água doce (lênticos e lóticos), apresentando o seu ciclo de vida todo ou parcialmente no ambiente aquático (Camargo; Souza; Silva, 2022; Samuelsson; Soeiro; Manzatto, 2022).

A importância ecológica dos macroinvertebrados aquáticos está associada à sua participação na ciclagem de nutrientes e fluxo de energia nas teias tróficas aquáticas e terrestres. Desempenham papel importante na decomposição da matéria orgânica de origem alóctone e autóctone e na redistribuição da matéria particulada ao longo do ecossistema, função desempenhada principalmente pelos trituradores, que quebram a matéria orgânica particulada grossa (MOPG) deixando-a disponível para os outros organismos bentônicos (Negrão; Cunha, 2019; Merrit; Cummins; Campbell, 2019). Sendo assim, a composição funcional das comunidades de macroinvertebrados está ligada ao funcionamento ecológico dos riachos, com implicações diretas sobre a manutenção da qualidade da água e dos serviços ecossistêmicos associados.

Apresentam uma grande riqueza taxonômica (Samuelsson; Soeiro; Manzatto, 2022), com representantes dos grupos Platyhelminthes, Nematoda, Annelida, Mollusca, Arthropoda, sendo este último mais representado pela classe Insecta (Ephemeroptera, Trichoptera, Plechoptera, Odonata, entre outros), o que proporciona uma gama ampla de adaptações às condições do meio (Silveira; Queiroz, 2006; Brandimarte; Melo, 2016; Portela, 2020; Samuelsson; Soeiro; Manzatto, 2022). São altamente diversos ocupando diferentes microhabitats, como sedimento fino, folhiço, rochas e macrófitas (Samuelsson; Manzatto, 2022). Devido a interação dos macroinvertebrados com o ambiente, a composição taxonômica e funcional varia com diferentes fatores ambientais, como a qualidade da água, tipo de substrato e disponibilidade de recursos (Barbola et al., 2011).

Atualmente, os estudos que abordam macroinvertebrados aquáticos estão concentrados nas áreas de sistemática, principalmente taxonomia e estrutura das comunidades. Mas também há estudos das respostas desses organismos a alterações ambientais, sobretudo aquelas decorrentes das atividades antrópicas, como uso e ocupação do solo, presença de espécies exóticas invasoras, construção de barragens e canalização dos cursos d'água. Nesse contexto, os macroinvertebrados têm sido utilizados como bioindicadores da qualidade ambiental (Andrade, 2016; Brandimarte; Melo, 2016). Além desses usos, os macroinvertebrados são estudados quanto a sua participação em processos tróficos, redes alimentares e interações com os substratos para entender melhor os mecanismos que impulsionam a diversidade dos organismos bentônicos (Boyero et al., 2011; Samuelsson; Manzatto, 2022).

O grupo de macroinvertebrados, com ênfase para a classe Insecta, é utilizado no biomonitoramento (Baptista, 2008) para avaliar a integridade e o nível de contaminação do ambiente (Portela, 2020). Docile e Figueiró (2013) destacam que os principais motivos para o uso de macroinvertebrados em análises de qualidade ambiental são o amplo conhecimento das características ecológicas desse grupo, o ciclo de vida ser relativamente curto, refletindo as alterações ambientais na comunidade mais rapidamente, além de possuírem uma grande diversidade taxonômica e funcional favorecendo uma variedade maior de respostas das comunidades frente a uma perturbação.

2.2 DIVERSIDADE FUNCIONAL

Os métodos mais utilizados para estudos da biodiversidade são a riqueza e diversidade, mas esses e outros assumem que todas as espécies possuem o mesmo papel ecológico, isto é, ecologicamente possuem o mesmo “valor” ou “importância” para o ecossistema, não considerando as diferenças de características funcionais, o que pode ocasionar limitações na explicação da diminuição da biodiversidade ou outros fenômenos ecológicos, portanto não são os meios mais adequados para avaliar a relação entre a diversidade e os processos ecossistêmicos, incluindo os efeitos causados por ações antrópicas (Calaça; Grelle, 2016; Liu et al., 2021).

Por outro lado, a diversidade funcional aborda como as propriedades, os bens e os serviços ecossistêmicos realizados pelas espécies afetam o funcionamento do ecossistema (Tilman, 2001; Andrade, 2016). Em outras palavras, é uma forma de averiguar e compreender a relação entre diversidade biológica e os processos ecossistêmicos (Andrade, 2016; Braga, 2024). As diferentes espécies atuam de maneira direta ou indireta no funcionamento dos ecossistemas devido a suas características físicas, químicas e comportamentais e, por meio desses atributos que se torna possível determinar a diversidade funcional (Colzani, 2011). Como destacado por Poff et al. (2006), duas comunidades com constituições taxonômicas distintas podem apresentar uma diversidade funcional semelhante. Sendo, portanto, a diversidade funcional uma boa alternativa para ampliar os estudos que buscam compreender a diversidade de macroinvertebrados e como ela pode ser influenciada.

Um ponto importante na diversidade funcional são os traços funcionais, os quais são características bem definidas e mensuráveis dos organismos que retratam adaptações às condições do habitat, e por serem fundamentalmente medidas de forma individual, podem ser usadas para comparação (Berger et al., 2017). Uma das formas usadas para medir a diversidade funcional são os grupos funcionais, onde organismos com características funcionais semelhantes são agrupados, tendo a premissa que os indivíduos de um mesmo grupo são mais semelhantes entre si do que comparados a outros grupos (Tilman, 2001).

Como já citado anteriormente, atualmente a diversidade funcional tem sido utilizada como uma abordagem complementar à taxonomia clássica em estudos

ecológicos, principalmente em trabalhos de biomonitoramento, na elaboração de estratégias de conservação e na avaliação das relações entre biodiversidade e serviços ecossistêmicos (Colzani, 2011). A abordagem de diversidade funcional permite inferir não apenas quais espécies estão presentes em um ecossistema, mas também possibilita uma compreensão mais profunda do funcionamento ecológico (Cadotte et al., 2011; Petchey; Gaston, 2006).

2.3 DIVERSIDADE FUNCIONAL DE MACROINVERTEBRADOS

O estudo da diversidade de macroinvertebrados permite conhecer melhor a ecologia desse grupo, entender mais profundamente as relações entre os macroinvertebrados e os ecossistemas aquáticos e colabora para a conservação (Luiza-Andrade; Montag; Juen, 2017). O número de trabalhos que abordam a diversidade funcional de macroinvertebrados vem aumentando ao longo dos anos, mas ainda é recente no Brasil e América do Sul, em grande parte pela falta de conhecimento da diversidade biológica desse grupo (Luiza-Andrade; Montag; Juen, 2017).

As características nos estudos de diversidade funcional de macroinvertebrados são em geral classificados em quatro grupos: morfologia, mobilidade (locomoção, habitat e dispersão), ecologia e história de vida (reprodução, número de descendentes, tempo de vida) (Andrade, 2016; Luiza-Andrade; Montag; Juen, 2017). Os traços funcionais mais utilizados em pesquisas são os enquadrados no grupo funcional alimentar, que reflete adaptações comportamentais e morfológicas para obtenção de alimento, um dos motivos do uso difundido dessa classificação é que a composição da comunidade é modificada por alterações ambientais, refletindo nos grupos funcionais alimentares (GFA) e a relação entre os tipos de GFA fornecem informações da qualidade da água (Callisto; Moreno; Barbosa, 2001; Tomanova; Goitia; Helesic, 2005; Merrit; Cummins; Campbell, 2019; Pimentel; Couceiro; Salcedo, 2020).

Os fragmentadores são responsáveis pela quebra de matéria orgânica particulada grossa (MOPG > 1mm) em matéria orgânica particulada fina (MOPF < 1mm), que fica disponível para outros organismos, como os coletores. Os coletores-filtradores possuem estruturas adaptadas para captura de MOPF dispersas na coluna d'água. Assim como os coletores-filtradores, os coletores-catadores também

se alimentam de MOPF, porém as que são depositadas ao substrato. Os raspadores raspam o perifíton presentes na superfície de substratos presentes no riacho, como troncos e outras partes vegetais submersas e rochas. Por fim, os predadores são aqueles que se alimentam de outros animais vivos, como peixes e outros invertebrados aquáticos, a exemplo a ordem Odonata que é exclusivamente composta por predadores (Cummins; Merrit; Andrade, 2005; Merrit; Cummins; Campbell, 2019).

O uso de grupos funcionais por tipo de respiração permite a comparação e avaliação do papel do oxigênio dissolvido como preditor de estratégias respiratórias dos táxons que compõem a comunidade de macroinvertebrados. Muitas são as estratégias respiratórias, como a tegumentar, branquial e as que usam ar atmosférico, que refletem adaptações morfofisiológicas dos organismos às condições físicas e químicas do ambiente, como disponibilidade de oxigênio (Chapman et al., 2004). Podemos assim utilizar a distribuição dos macroinvertebrados bentônicos conforme o tipo respiratório para fornecer informações sobre a qualidade da água e do ambiente.

O formato corporal dos macroinvertebrados bentônicos está bastante interligado a capacidade de resistência hidrodinâmica e o modo como interagem com os substratos. Corpos achatados proporcionam uma maior estabilidade frente à correnteza além de permitir que se escondam entre fendas e interstícios (Hynes, 1970; Serra et al., 2019). Por outro lado, os corpos em formato cilíndrico e oval não apresentam tanta resistência à correnteza, mas facilita com que esses organismos se enterrem em substratos finos (Ding et al., 2017). Portanto, o formato corporal atua como um indicador morfofuncional da preferência de habitat, refletindo estratégias adaptativas à estrutura física do leito e da correnteza.

Os organismos bentônicos possuem diversos tipos de locomoção, que estão conectados ao estágio de desenvolvimento e comportamento momentâneo do organismo (Salles; Ferreira-Júnior, 2019). Os grupos principais são os agarradores, que possuem estruturas que facilitam sua fixação ao substrato como rochas, raízes e troncos, mas podem adotar outros tipos de locomoção conforme a necessidade, como escalador, se locomovendo no horizonte pelos substratos. Os reptantes em geral se locomovem pelos substratos em locais de correnteza moderada, mas podem apresentar comportamentos facultativos, como natação e a fixação temporário ao substrato. Os nadadores se locomovem pela coluna d'água, porém

não ficam o tempo todo nadando, podem apresentar outros tipos de locomoção. Por fim os escavadores são aqueles que se enterram totalmente ou parcialmente no substrato (Huryn; Wallace, 2019; Salles; Ferreira-Júnior, 2019).

2.4 HETEROGENEIDADE DE SUBSTRATOS

A Teoria do Modelo de Habitat postula que características do ecossistema podem influenciar na composição e dinâmicas das comunidades. Sendo assim em ambientes aquáticos, fatores como correnteza, profundidade, temperatura, oxigênio dissolvido e de tipos substratos são características determinadoras da estrutura de assembleias de organismos aquáticos. Riachos são dinâmicos com variedade de habitats suportando nichos ecológicos distintos, portanto essa variação física e química influencia a distribuição e adaptação das espécies (Southwood, 1977; Callisto, Moreno; Barbosa, 2001). Esse ponto é reforçado por Townsend e Hildrew (1994) que determinaram em seu trabalho que comunidades bentônicas podem ser constituídas por táxons com características adaptadas à heterogeneidade espacial e temporal do habitat.

Como encontrado no trabalho de Lamouroux et al. (2004) muitas características funcionais estão relacionadas ao fluxo da água, ao substrato ou mudanças tróficas do micro-habitat. Muitos são, portanto, os fatores que influenciam a composição das comunidades de macroinvertebrados, como a temperatura, vegetação ripária e aquática, as características químicas da água (pH, turbidez e oxigênio dissolvido), a dinâmica de cheia e seca natural ou intensificada pela ação antrópica, a disponibilidade e distribuição dos recursos alimentares, além das características físicas do canal (correnteza, profundidade, largura, dinâmica de deposição de sedimentos) e os substratos presentes no corpo d'água (Hussain; Pandit, 2012).

Como mostrado no trabalho de Gething et al. (2020), a variedades de substratos, mesmo em ambientes aquáticos alterados, é fundamental para a composição funcional das comunidades. A mesma relação foi obtida em ecossistema naturais, em que trechos com folhizo e madeira submersa possuem maior riqueza funcional e maior complexidade de traços (Roux; Clinton, 2023). Destacando que a variedade de habitats é uma das principais responsáveis pela diversidade de funções ecológicas desempenhadas pelos macroinvertebrados.

Mathers et al. (2024) destaca que a variação ambiental a nível de habitat é um fator primário da riqueza e composição de comunidades de organismos aquáticos. Dando ênfase ao fato de que habitats com constituição de substratos distintos tendem a apresentar comunidades discretas de macroinvertebrados, pois oferecem maior variedade de refúgio e forrageio. O trabalho de Pereira et al. (2017) é um bom exemplo desse aumento da diversidade em substratos mais heterogêneos, pois em seu resultado obteve uma maior abundância e diversidade grupos funcionais alimentares em substratos como rochas e folhiços, que são mais diversos que os substratos formados por sedimentos. O mesmo foi obtido no estudo de Gething et al. (2020), ressaltando o fato de que a colonização de substratos orgânicos artificiais e mineralógicos apresentaram uma diversidade taxonômica maior do que os demais substratos, devido a sua grande heterogeneidade. Essa maior diversidade está relacionada ao fato de que os substratos proporcionam uma fonte mais diversa de alimentação, proteção contra correnteza e predadores, o que favorece o estabelecimento e a coexistência dos táxons.

A presença de macroinvertebrados nos substratos é determinada pela natureza e granulometria do substrato. Podem ser de origem inorgânica como argila/silte (4-64 μ m), areia (64 μ m - 2 mm), cascalho (2-64mm), bloco (64 - 256 mm), matacão (>256 mm) e laje, ou de origem orgânica/vegetal como plantas hidrófitas, vasculares arbóreas, arbustivas, raízes, folhiço e até mesmo substratos orgânicos de origem animal (Salles; Ferreira-Júnior, 2019)

Os substratos desempenham múltiplas funções ecológicas para os macroinvertebrados aquáticos, como suporte físico. A estrutura dos substratos fornece locais para fixação, abrigo contra a correnteza e proteção contra predadores. Alguns tipos de substratos também contribuem para a alimentação dos organismos como o folhiço que fornece matéria orgânica particulada grossa, já os seixos e rochas contribuem com o perifíton associado (Gething et al. 2020). Sendo assim, a diversidade e complexidade do substrato influenciam diretamente a composição funcional das comunidades, por estar relacionado às condições de permanência e resistência dos organismos no ambiente.

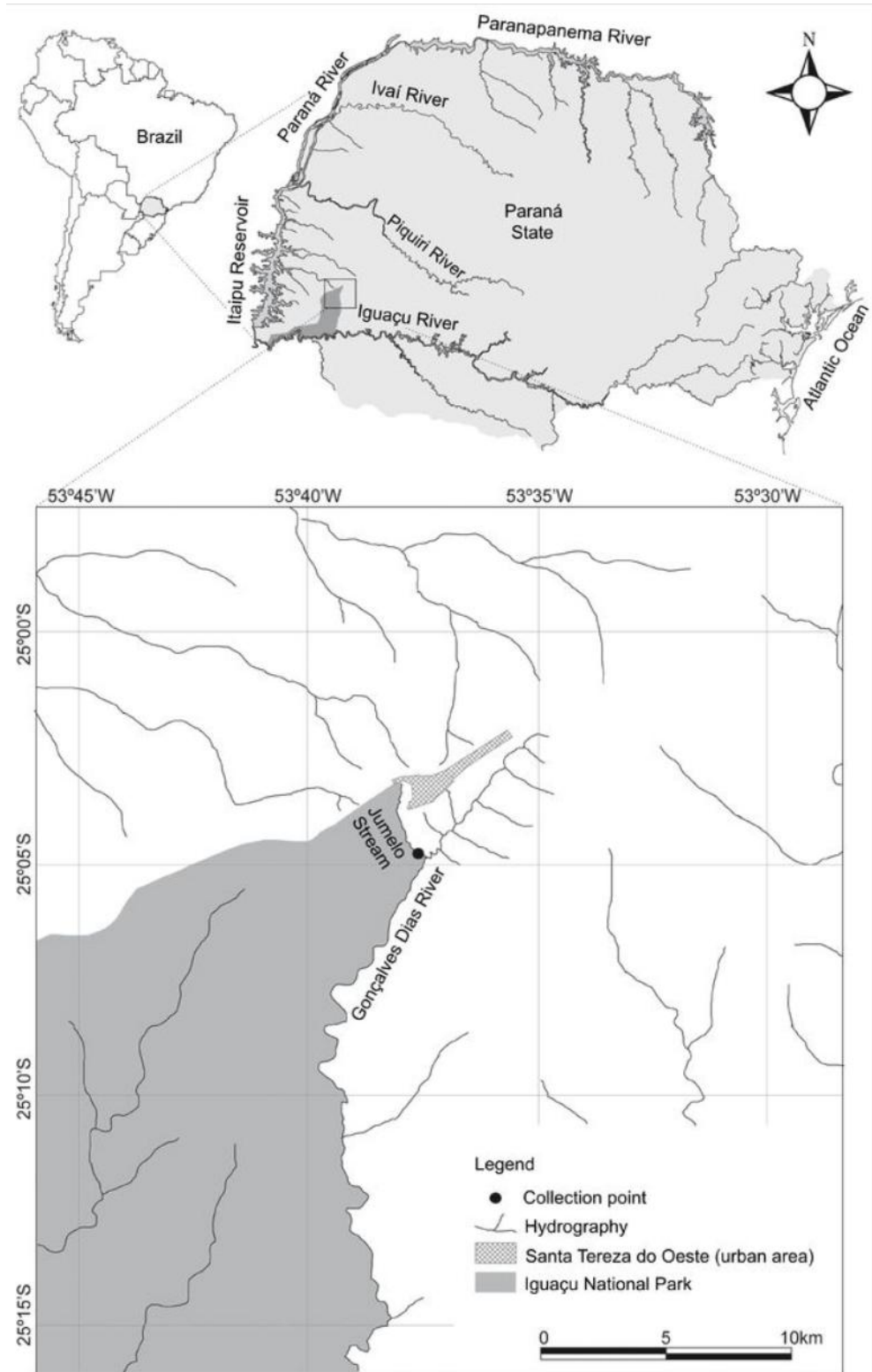
O sedimento fino, por exemplo em processos de assoreamento do riacho, pode ser um importante estressor impactando as comunidades de macroinvertebrados, por efeitos complexos e imediatos, como danos às estruturas respiratórias (brânquias) ou estruturas de alimentação, soterramento dos indivíduos,

abrasão ou então mudanças nas características físicas e químicas do curso d'água, reduzindo oxigênio dissolvido e aumentando a turbidez. Todos esses impactos são dependentes de diferentes fatores, como tempo de exposição, tamanho das partículas, vulnerabilidade da biota, velocidade da correnteza (McKenzie et al., 2020; Ntloko et al., 2021)

MATERIAL E MÉTODOS

2.5 ÁREA DE ESTUDO

FIGURA 1 – LOCAL DE AMOSTRAGEM NO RIO JUMELO



FONTE: Santos et al. (2020).

O riacho Jumelo é um rio de segunda ordem da Bacia do Baixo Rio Iguaçu, no estado do Paraná, Brasil, situado na borda leste do Parque Nacional do Iguaçu (PNI) (Santos et al., 2020). Caracterizado por sua margem direita ser parte do PNI e a esquerda apresentar pouco vegetação ripária e atividade agrícola, tendo uma cobertura vegetal de 62%, enquanto a área rural corresponde a 25% e a urbana equivale a 13% (Delariva et al. 2018).

Os dados de presença e abundância dos macroinvertebrados do riacho Jumelo são os mesmos do trabalho “Seasonal records of benthic macroinvertebrates in a stream on the eastern edge of the Iguaçu National Park, Brazil” (Santos et al., 2020) produzidos em parceria entre o LaQaL (Universidade Federal do Paraná) e Linbio (Universidade Estadual do Oeste do Paraná).

As coletas foram conduzidas em quatro campanhas sazonais entre maio/2016 e março/2017, abrangendo variações sazonais de pluviosidade e temperatura. Sendo a primeira coleta em maio/2016, época caracterizada pela transição para o período seco, com precipitação moderada e temperaturas em declínio; a segunda coleta foi em agosto/2016, no ápice da estiagem, que apresenta mínimas pluviométricas e térmicas; a terceira coleta ocorreu em dezembro/2016, durante a estação chuvosa, com picos de precipitação e elevação térmica e a última coleta foi realizada em março/2017, um período úmido, mantendo altos índices pluviométricos e temperaturas elevadas (Santos et al., 2020).

2.6 AMOSTRAGEM E PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS

Utilizando um amostrador *Surber* (malha de 0,5 mm) foram coletadas triplicatas nas seguintes categorias de substrato: fino (areia/argila < 5mm e cascalho 5-15 mm), “grosso” (seixos de 25-50 mm e matacões > 50 mm) e serrapilheira (folhas e galhos da vegetação ripária), totalizando 36 amostras (Santos et al., 2020). Os processos laboratoriais e preparo dos materiais coletados seguiram o descrito no protocolo para amostragem e preparo de amostras de macroinvertebrados bentônicos (Santos et al., 2020). A identificação realizou-se a nível de ordem/subordem, família/subfamília ou gênero por meio da literatura listada na metodologia de Santos et al. (2020).

2.7 TRATAMENTO DOS DADOS

Os organismos analisados foram aqueles pertencentes à classe Insecta, devido ao maior uso desses indivíduos no biomonitoramento e pela facilidade de identificação a níveis taxonômicos mais acurados. A identificação foi realizada até o nível de gênero. Os organismos identificados somente a níveis superiores (família ou ordem) deu-se pelo tamanho diminuto, pelo material estar danificado ou falta de informações nas chaves disponíveis. Dentre esses, destaca-se a ordem Diptera, que não foi utilizada no presente trabalho.

2.8 TRAÇO FUNCIONAIS

A escolha dos traços funcionais utilizados realizou-se com apoio na literatura disponível. Os traços escolhidos foram citados nos oito ou em metade dos estudos usados como base, sendo: grupo funcional alimentar, respiração, formato corporal e hábito de locomoção, totalizando 28 categorias (Poff, 2006; Colzani; Siqueira; Suriano, Roque, 2013; Zardo, 2019; Rojas; Díaz; Riaño, 2020; Assis, 2022; Camargo; Souza; Silva, 2022; Lee; Lee; Park, 2022; Silva, 2022), listadas na TABELA 1. As informações referentes aos traços funcionais das espécies foram obtidas por meio da literatura disponível (ANEXO1).

Os dados numéricos utilizados são referentes à abundância dos gêneros, por consequência dos traços funcionais, separados entre as quatro coletas e entre os três tipos de substratos (fino, grosso e folhiço), para avaliar a variação qualitativa dos atributos funcionais.

Para analisar a diversidade funcional foi montada uma matriz de traços funcionais por coleta e por substrato, contendo 28 atributos funcionais, contemplando os traços funcionais citados acima: Grupo Funcional Alimentar (GFA), Respiração, Hábito, Formato Corporal e a abundância dos indivíduos identificados a nível de gênero.

TABELA 1 – ATRIBUTOS FUNCIONAIS ESCOLHIDOS PARA ANÁLISE, ADAPTADOS

Traço	Categorias
Respiração	Branquial Tegumentar Aérea
Grupo Funcional Alimentar	Coletor Coletor-filtrador Coletor-raspador Coletor-triturador-raspador Predador Raspador Triturador
Formato corporal	Achatado Aerodinâmico Cilíndrico
Hábito	Agarrador Agarrador-escalador Agarrador-reptante Escalador Escalador-nadador Escavador Escavador-agarrador Escavador-fossador Fossador Fossador-agarrador Fossador-escalador Fossador-nadador Nadador Nadador-agarrador Reptante

FONTE: O autor (2025).

2.9 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A primeira análise foi qualitativa, com o objetivo de ver quais gêneros e traços funcionais estavam presentes nas amostras, tanto por coleta quanto por tipo de substrato. Para a parte das análises quantitativas foram usadas as informações de abundância, visto que os traços funcionais eram variáveis categóricas. Foi calculado a abundância relativa de todos os traços funcionais em cada coleta e substrato.

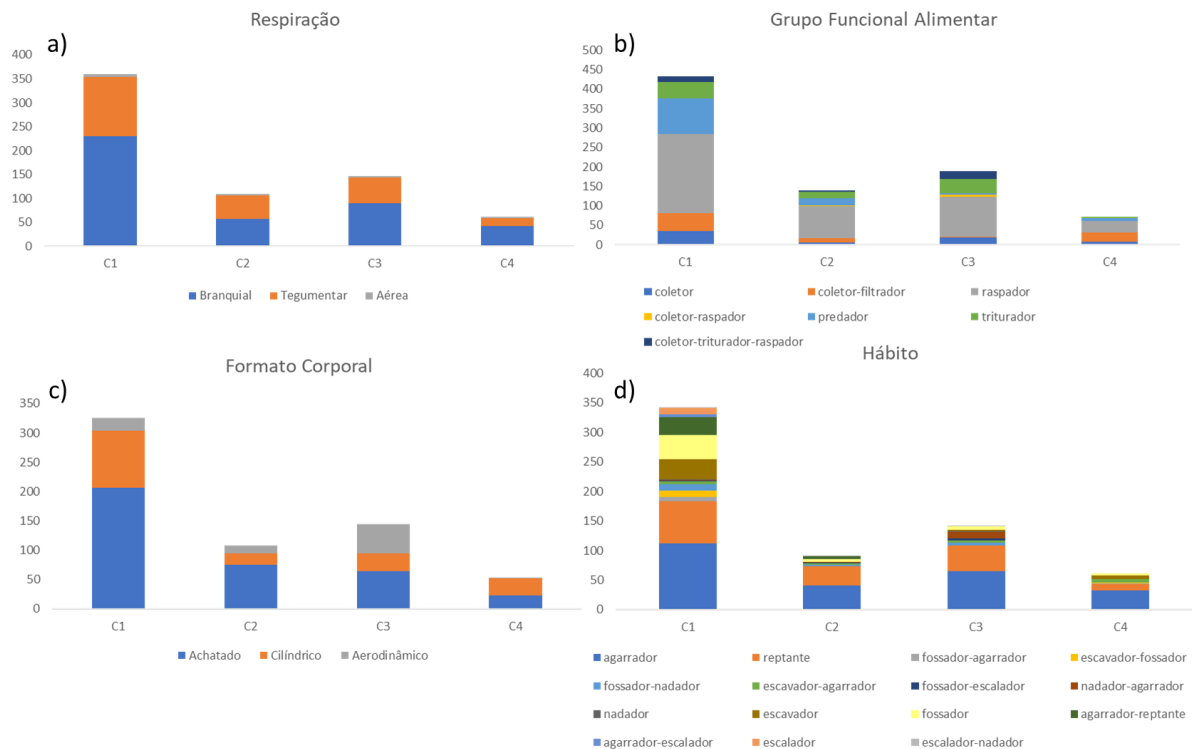
As análises estatísticas foram realizadas no software R *version* 4.3.3. A Diversidade Beta Funcional foi analisada mediante a sua separação em dois componentes: Brepl (β -*replacement*), que avalia a substituição das características funcionais e Brich (β -*richness*) a qual verifica a perda ou ganho de traços funcionais (Wang et al., 2021). Os valores de dissimilaridade variam no intervalo de 0 e 1, onde valores maiores representam dissimilaridade maior entre as comunidades (Liu; Wang, 2018).

Para verificar a dissimilaridade de cada grupo funcional nas coletas e substratos foram feitas PCoA's (Análise de Coordenadas Principais), com a matriz de distância de Bray-Curtis. A função *envifit* foi usada para avaliar se as variáveis estão significativamente relacionadas às coordenadas (vetores) da PCoA, ou seja, se os traços podem ser explicados pela PCoA. Por fim, foi realizada uma PERMANOVA (*Permutational Multivariate Analysis of Variance*), usando a matriz de dissimilaridade de Bray-Curtis, para averiguar se há diferença significativa nos grupos funcionais entre as quatro coletas e entre os tipos de substratos.

3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A respiração branquial foi a estratégia predominante em todas as coletas (C1 – 63,9%; C2 – 51,8%; C3 – 61,2% e C4 – 70,5%) (GRÁFICO 1) e tipos de substrato analisados (fino – 50,5%; grosso – 67,6% e 61,3%) (GRÁFICO 2), seguida pela respiração tegumentar (fino – 47,6%; grosso – 28,7% e 37,7%) (GRÁFICO 2). Quanto ao grupo funcional alimentar, os organismos raspadores foram os mais representativos em todas as coletas (C1 – 36,9%; C2 – 48,2%; C3 – 40,8% e C4 – 49,2%) (GRÁFICO 1). Dentre os substratos, o grupo funcional alimentar raspador foi o mais abundante (61,4%), já o segundo mais abundante alterou-se entre os substratos, no substrato fino foi o grupo predador (41,0%), no grosso foi o coletor-filtrador (29,6%) e no folhiço foi o grupo dos trituradores (23,9%) (GRÁFICO 2).

GRÁFICO 1 – ABUNDÂNCIA DOS TRAÇOS FUNCIONAIS DE MACROINVERTEBRADOS NAS QUATRO COLETAS REALIZADAS NO RIO JUMELO, 2016/2017.



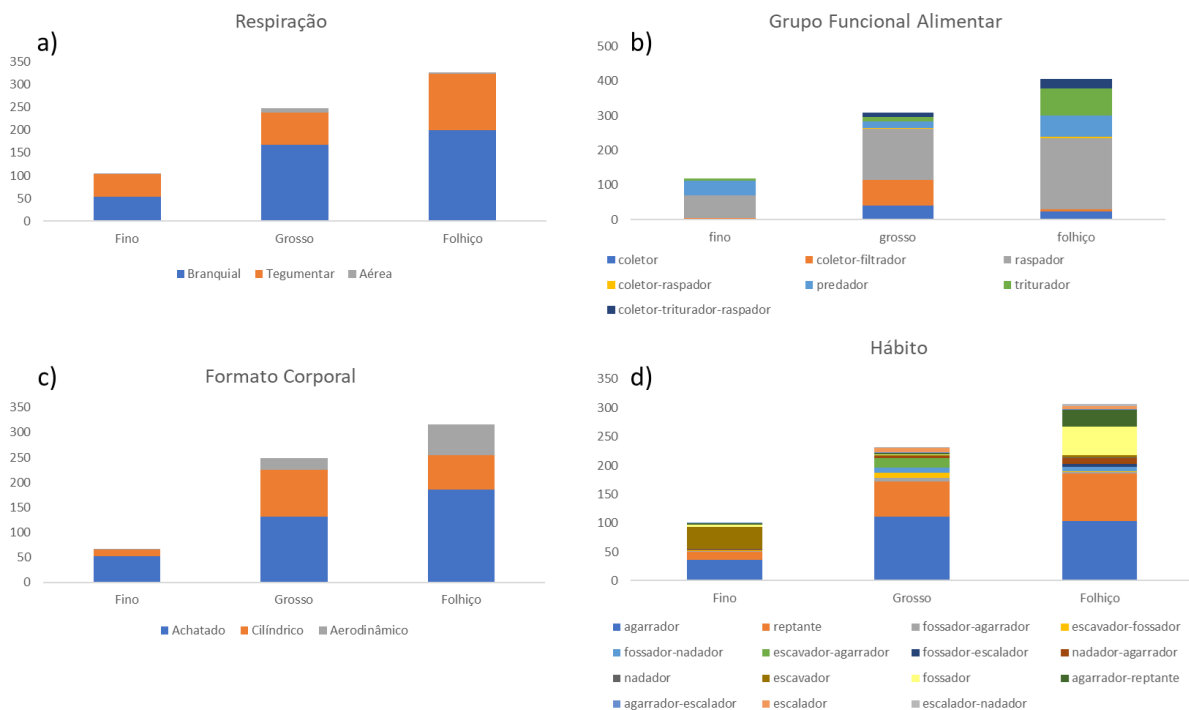
FONTE: O autor (2025).

Em relação ao formato corporal, a forma achatada foi a mais abundante nas coletas C1 (63,4%), C2 (69,4%) e C3 (44,4%) (GRÁFICO 1). Contudo, na quarta coleta (C4), o formato cilíndrico (54,7%) superou o achatado (43,4%) (GRÁFICO 1).

Já nos substratos o formato predominante foi o achatado (fino – 78,8%; grosso – 52,8% e folhiço – 58,5%), ressaltando um aumento na abundância relativa do corpo cilíndrico no substrato grosso (37,9%) (GRÁFICO 2).

Entre os hábitos locomotores, os mais frequentes ao longo das coletas foram agarrador (C1 - 32,7%; C2 – 44,6%; C3 – 45,8%; C4 – 52,5%) e reptante (C1 – 20,7%; C2 – 35,9%; C3 – 30,3%; C4 – 18,0%). Observa-se uma redução na diversidade de hábitos ao longo do tempo, sendo a primeira coleta a que apresentou maior variedade (14) e abundância de estratégias de locomoção. Nos substratos folhiço e grosso, os hábitos agarrador (33,3% e 47,6%, respectivamente por substrato) e reptante (26,9% e 26,2%, respectivamente por substrato) foram predominantes, enquanto no substrato fino destacou-se o hábito escavador (37,3%). O substrato folhiço, por sua vez, apresentou a maior diversidade de hábitos locomotores (14), com ênfase em agarrador (33,7%), reptante (27,1%), fossador (16,0%) e agarrador-reptante (9,8%).

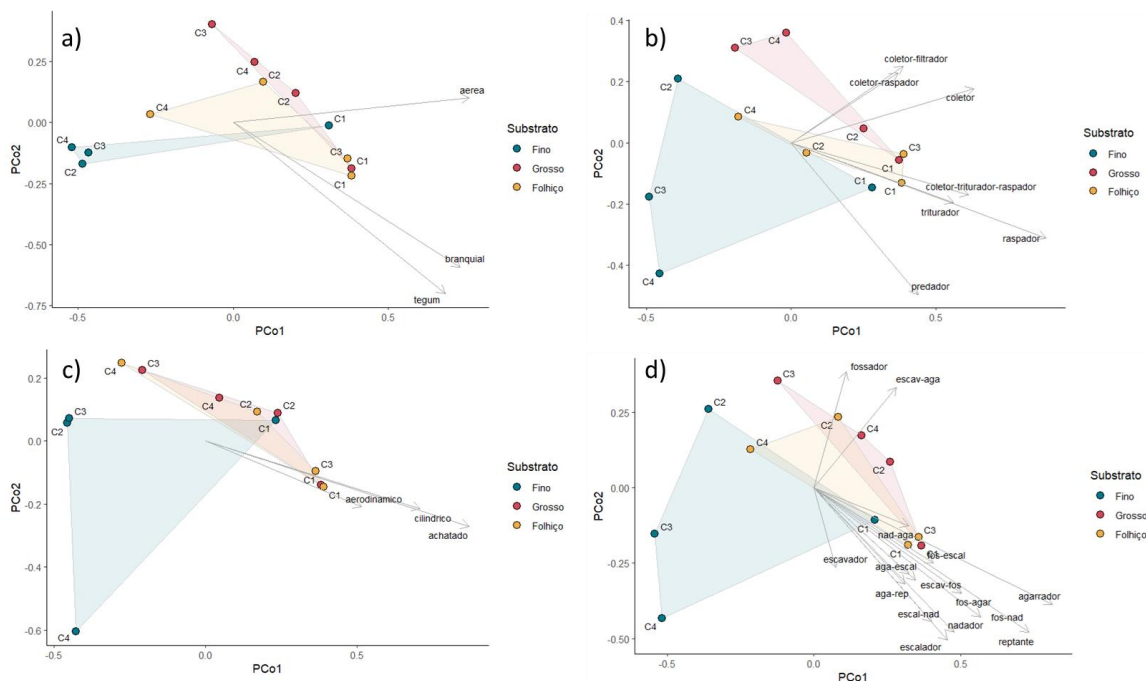
GRÁFICO 2 – ABUNDÂNCIA DOS TRAÇOS FUNCIONAIS DE MACROINVERTEBRADOS NOS SUBSTRATOS (FINO, GROSSO E FOLHIÇO) NO RIO JUMELO, 2016/2017.



FONTE: O autor (2025).

Na análise de vetores (*envifit*), os dois tipos de respiração que mais influenciaram na estruturação da comunidade foram a branquial ($R^2 = 0,88$; $p = 0,001$) e tegumentar ($R^2 = 0,96$; $p = 0,001$), enquanto a aérea ($R^2 = 0,59$; $p = 0,022$) teve uma correlação menor, mas ainda significativa. Os grupos funcionais alimentares apresentaram diferentes graus de associação com a ordenação da comunidade de macroinvertebrados, sendo que raspadores ($R^2 = 0,87$, $p = 0,001$) e predadores ($R^2 = 0,44$; $p = 0,049$) foram os grupos que mais influenciaram na estrutura da comunidade, enquanto os demais não tiveram uma correlação significativa.

GRÁFICO 3 – ANÁLISE DA DISSIMILARIDADE DOS GRUPOS FUNCIONAIS DE MACROINVERTEBRADOS NAS QUATRO COLETAS E TRÊS SUBSTRATOS COLETADOS NO RIO JUMELO NOS ANOS DE 2016 E 2017



FONTE: O autor (2025).

Sendo fos-agar: fossador agarrador; escav-fos: escavador-fossador; fos-nad: fossador-nadador; escav-aga: escavador-agarrador; fos-escal: fossador-escalador; nad-aga: nadador-agarrador; aga-rep: agarrador-reptante; aga-escal: agarrador-escalador; escal-nad: escalador-nadador.

Quanto ao formato corporal, os tipos achatados ($R^2 = 0,83$; $p = 0,001$) e cilíndrico ($R^2 = 0,55$; $p = 0,031$) foram os que mais se correlacionaram com a ordenação da comunidade. Em relação ao hábito locomotor, houve níveis distintos de associação dos hábitos e a ordenação da comunidade estudada, sendo que o

hábito com maior correlação foi agarrador ($R^2 = 0,81$; $p = 0,003$) juntamente com reptante ($R^2 = 0,77$; $p = 0,003$) e fossador-nadador ($R^2 = 0,51$; $p = 0,038$). Enquanto os grupos de locomoção nadador ($R^2 = 0,47$; $p = 0,072$), escalador ($R^2 = 0,46$; $p = 0,055$) e escalador-nadador ($R^2 = 0,36$; $p = 0,095$) apresentaram uma associação moderada.

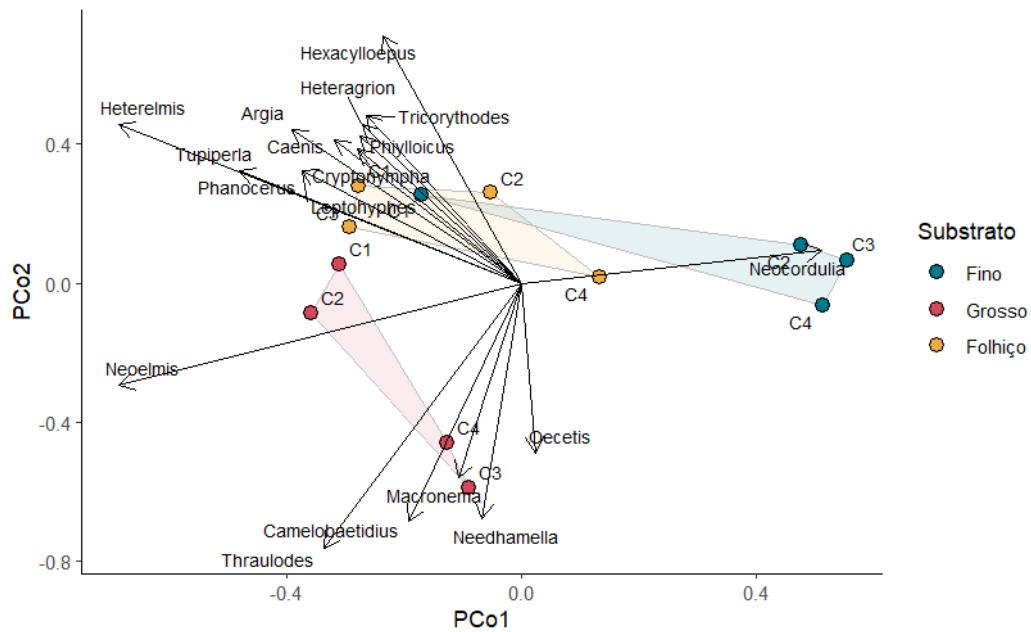
A análise da diversidade beta funcional indicou que as coletas C2 e C3 apresentaram baixa dissimilaridade (0,4491), sendo a pequena diferença entre elas atribuída à substituição de traços funcionais ($brepl = 0,0405$). Por outro lado, as coletas C1 e C4 mostraram alta dissimilaridade (0,8556), explicada principalmente pela perda ou aquisição de traços funcionais. De modo geral, a coleta 1 se destacou por sua maior diferenciação em relação às demais, com dissimilaridade superior a 0,7000 em todas as comparações.

Entre os substratos, o fino apresentou as maiores diferenças funcionais quando comparado ao folhiço (0,7764) e ao grosso (0,7638), sendo essa dissimilaridade majoritariamente explicada pela perda ou ganho de traços (valores $> 0,5000$). Já a diferença entre os substratos grosso e folhiço foi menor, atribuída principalmente à substituição de características funcionais ($brepl = 0,4079$), com pouca perda de traços.

Alguns gêneros foram significativamente explicados pela PCoA (GRÁFICO 4), como é o caso de *Heterelmis* (0,004), *Thraulodes* (0,011), *Hexacylloepus* (0,035), *Neoelmis* (0,041) e *Camelobaetidius* (0,041). Pela análise da PCoA é possível associar determinados gêneros aos substratos, mesmo não havendo significância, essa relação pode ser explicada pelo tipo de refúgio e forrageio dos organismos.

Como *Neocordulia* que foi relacionado ao substrato fino, enquanto os gêneros *Thraulodes*, *Neoelmis* e *Camelobaetidius*, que foram significativamente explicados pela PCoA, apresentaram uma relação maior com o substrato grosso. Por fim, o substrato folhiço foi o que apresentou maior número de gêneros associados, entre eles *Heterelmis* e *Hexacylloepus* (GRÁFICO 4).

GRÁFICO 4 – ANÁLISE DE COORDENADAS PRINCIPAIS DOS GÊNEROS SIGNIFICATIVOS QUANTO À COMPARAÇÃO DE SUBSTRATOS NA COLETA DO RIO JUMELO NOS ANOS 2016 E 2017.



FONTE: O autor (2025).

Por fim, a análise PERMANOVA não detectou diferenças significativas na composição funcional entre as coletas e entre os tipos de substrato. Quanto a composição de gênero houve diferença significativa entre os substratos fino e grosso ($p = 0,037$).

4 DISCUSSÃO

Conforme destacado por Santos et al. (2020), a coleta C4 (março/2017), realizada no período de maior precipitação e temperaturas mais elevadas, apresentou redução no número de táxons, possivelmente associada à baixa capacidade de infiltração do solo e à redução da vegetação ripária. Esses fatores contribuem para o processo de assoreamento do rio Jumelo, modificando características físicas e morfológicas do riacho, além de proporcionar uma vazão maior que intensifica o deslocamento dos macroinvertebrados. A predominância de organismos agarradores e perda de alguns tipos de locomoção podem indicar a influência do arraste dos macroinvertebrados, tendo em vista que locomoção agarradora é uma adaptação à correnteza (Huryn; Wallace, 2019)

No estudo feito por Larsen, Pace e Ormerod (2011) a abundância da respiração tegumentar aumentou no substrato fino, assim como ocorreu nos resultados do presente trabalho, mesmo que a respiração branquial tenha sido predominante. Um dos pontos que pode explicar um aumento em outras adaptações respiratórias, no caso a tegumentar, é pelo fato do sedimento fino ser capaz de danificar com maior facilidade os órgãos respiratórios desses organismos (Ntloko et al., 2021).

De acordo com a Teoria do Rio Contínuo (*Continuum River*), a estrutura e funcionamento das comunidades ao longo do sistema fluvial são fortemente influenciados por um gradiente contínuo de fatores físicos gerados pelo processo de drenagem e pela estrutura do ambiente no entorno. Os fatores geomórficos do rio juntamente com o ciclo hidrológico estabelecem um padrão de estrutura e funcionamento das comunidades de macroinvertebrados por meio da regulação do transporte, armazenamento e utilização de matéria orgânica e disponibilidade de e estrutura de partículas inorgânicas (Vannote et al., 1980).

Os substratos podem ser utilizados pelos macroinvertebrados como fonte de alimento, de refúgio e área de forrageio (Molokwu et al., 2014). Dessa forma, a abundância desses organismos está diretamente relacionada com as características do microhabitat. Em estudo realizado por Pereira et al. (2017) em rios no nordeste brasileiro, observou-se maior abundância de macroinvertebrados em substratos rochosos, que fornecem uma maior estabilidade, área de colonização, alimentação e

refúgio, esse resultado é divergente do encontrado no presente trabalho, já que o substrato folhiço apresentou maior abundância de macroinvertebrados. Esses dados possivelmente estão relacionados ao fato do substrato folhiço prover refúgio e matéria orgânica, especialmente para trituradores, coletores, coletores-filtradores e raspadores.

Cursos d'água com substratos pedregosos, assim como aqueles contendo pedaços vegetais, tendem a abrigar maior biomassa e riqueza de espécies de insetos aquáticos em comparação a trechos com substrato mais fino (Hussain; Pandit, 2012). Esse padrão pode explicar os resultados observados neste estudo quanto à diversidade beta funcional, em que o substrato fino se diferenciou funcionalmente dos demais, principalmente devido à perda de características funcionais associadas ao refúgio e forrageio. Em contrapartida, os substratos folhiço e grosso conferirem maior heterogeneidade estrutural, permitindo a coexistência de organismos com diferentes estratégias funcionais.

Partes vegetais como folhas representam a principal fonte de *inputs* alóctones de um riacho, que são colonizadas por diferentes macroinvertebrados, por fornecer refúgio e matéria orgânica (Bruder; Schindler; Moretti; Gessner, 2013). Os trituradores, por se alimentarem de material particulado grosso (MPG > 1mm) (Meritt; Cummins; Campbell, 2019), possuem papel importante na decomposição do folhiço, quebrando a matéria orgânica em partículas menores, que serão aproveitadas por outros grupos funcionais alimentares como os coletores (Boyero et al., 2011). Esses dados explicam o número elevado de trituradores no substrato folhiço, substrato com maior concentração de material orgânico particulado grosso.

Os raspadores comumente raspam ou cisalham o perífiton (algas, fungos e bactérias) aderido à superfície de rochas e estruturas vegetais (Vannote et al., 1980; Shimano et al., 2012). Conforme a Teoria do Rio Contínuo, a dominância de raspadores acompanha as mudanças na produção primária, com maior predominância em rios de médio porte (4^a - 6^a ordem). A alta abundância de raspadores no registrada neste estudo, mesmo sendo esse um riacho de 2^a ordem, pode ser explicada por um aumento na disponibilidade de produtores primários (autotróficos), favorecido pela maior incidência de luz solar em razão da cobertura vegetal (Thorp; Covich, 2001), tendo em vista que apenas uma margem do riacho possui vegetação preservada (Parque Nacional do Iguaçu) enquanto a outra apresenta como uso e ocupação do solo atividades agrícolas e pecuárias.

Os indivíduos de formato corporal achatado foram os predominantes em todos os substratos por conta do favorecimento da permanência em locais com fluxo de água mais intenso e a facilidade de se esconder entre os pedaços grandes de substrato (Hynes, 1970; Serra et al., 2019). O corpo cilíndrico, embora, esperados com maior frequência no substrato fino por facilitar que os organismos se enterrarem (Ding et al., 2017), apresentou um aumento da abundância no substrato grosso onde havia maior correnteza, o que pode explicar esse resultado é o fato dos organismos apresentarem adaptações morfológicas para se agarrarem ao substrato, como o caso de alguns gêneros da família Elmidae (Coleoptera), que são cilíndricos mas possuem hábito agarrador, além de ser uma das famílias com maior abundância (Passos; Nessimian; Junior, 2007; González-Córdora; Zúñiga; Manzo, 2020; Santos et al., 2020).

Macroinvertebrados possuem variadas formas de locomoção, que são muito relativas, pois mudam conforme o estágio de desenvolvimento dos organismos assim como do momento e da atividade que o indivíduo está desempenhando (Salles; Ferreira-Júnior, 2019). Agarradores, por exemplo, possuem estruturas especializadas de fixação ao substrato, sendo encontrados aderidos a rochas, troncos, raízes e folhiço em regiões com correnteza, mas isso não impede que eles escalem os substratos. Já os reptantes, embora geralmente se desloquem sobre substratos em locais de correnteza moderada, também são capazes de nadar e se fixar ao substrato quando necessário (Salles; Ferreira-Júnior, 2019). Nos resultados deste trabalho, houve menor diversidade de hábitos de locomoção no substrato fino, provavelmente devido a diminuição de estruturas para fixação usadas pelos agarradores e escaladores e por tornar a locomoção reptante mais difícil.

A diferença marginalmente significativa nos hábitos de locomoção observada entre o substrato fino e os demais (grosso e folhiço) está relacionada à maior abundância de escavadores e à menor riqueza de traços funcionais. Como discutido anteriormente, substratos finos oferecem menor diversidade estrutural, limitando as possibilidades de refúgio e forrageio. Assim, organismos escavadores, como o gênero *Progomphus* (Gomphidae, Odonata), adaptados a viver enterrados no sedimento, tendem a predominar nesses ambientes (Salles; Ferreira-Júnior, 2019).

Assim como encontrado nesse trabalho, em que houve diferença significativa na composição de gêneros entre os substratos fino e grosso, o estudo de Santos et

al. (2025), encontrou diferença dos gêneros entre os substratos, indicando que alguns gêneros possuem preferência por determinado microhabitat.

Por exemplo o gênero *Thraulodes* (Leptophlebiidae, Ephemeroptera) que foi significativamente representado pela PCoA, foi mais fortemente relacionado ao substrato rochoso, como já citado por Silva (2003), esse gênero é em geral encontrado em rochas de áreas de correnteza, com características que possivelmente explicam essa maior relação, como brânquias maiores e o corpo achatado, sendo o último favorável para o hábito do gênero de se esconder entre os cascalhos, para evitar a correnteza.

Outro gênero que foi significativamente representado pela PCoA foi o *Heterelmis* (Elmidae, Coleoptera), associado ao substrato folhiço, como esperado, tendo em vista que esses organismos são geralmente encontrados em sedimentos rochosos e acúmulos de folhas em locais de correnteza (Passos; Nessimian; Junior, 2007; Braun et al., 2018). Um traço que pode explicar a ocorrência de *Heterelmis* nesses microhabitats, é o grupo funcional alimentar raspador, pois se alimentam do biofilme presente na superfície de substratos vegetais (Merri; Cummins; Campbell, 2019).

O gênero *Macronema* (Hydropsychidae, Trichoptera), que está relacionado ao substrato rochoso, com larvas que constroem abrigos fixos ao substrato, usam areia e seda, para captura de alimentos, pois age como um filtro, capturando matéria particulada (Pes; Santos; Barcelos-Silva; Camargos, 2019). Assim, o hábito alimentar coletor-filtrador (Merri; Cummins, 1996) indica características adaptadas para substratos rochosos em área de corredeira.

Os gêneros *Neoelmis* e *Hexacylloepus* (ambos Elmidae, Coleoptera) apresentaram associação aos substratos grosso e folhiço, respectivamente. Ambos possuem traços parecidos, como o hábito alimentar raspador e locomoção agarrador, que são favoráveis para ambos os substratos (Shimano et al., 2012; Salles; Ferreira-Júnior, 2019). Os dois gêneros possuem registros de ocorrência em diferentes tipos de substratos, como rochas e folhiço (Passos; Nessimian; Junior, 2007; González-Córdora; Zúñiga; Manzo, 2020).

Organismos do gênero *Camelobaetidius* (Baetidae, Ephemeroptera) apresentam uma adaptação diferente dos demais gêneros da família Baetidae, as garras tarsais são em formato de espátula (Salles et al., 2019), que pode auxiliar no processo de raspagem do perifíton aderido ao substrato, natação e aderência.

Embora essas adaptações não sejam relacionadas a esses usos pela literatura, tais características ajudam a explicar os resultados encontrados no presente trabalho, em que o gênero apresentou relação com o substrato grosso.

A presença significativa do gênero *Neocordulia* (Libellulidae, Odonata) no substrato fino, até certo ponto foi o esperado pela literatura, pois como Carvalho e Nessiman (1998) pontuam que esses organismos são encontrados em diferentes substratos como os sedimentares, rochosos e raízes presentes tanto em áreas de erosão quanto deposição de sedimento. O hábito reptante e alimentação predadora podem ser uma boa explicação para a ocorrência em diferentes substratos, pois não precisam de características específicas do substrato como locais de fixação e acúmulo de matéria orgânica.

Embora o gênero *Phylloicus* (Calamoceratidae, Trichoptera) não tenha apresentado diferença significativa entre os substratos, a PCoA mostrou forte tendência desse táxon com o substrato folhiço, o que pode ser elucidado, principalmente por serem organismos trituradores e usarem parte do substrato para construir suas casas (Pimentel; Couceiro; Salcedo, 2020).

No trabalho feito por Roux e Clinton (2023) foi demonstrado a importância do folhiço, como preditor nos modelos estatísticos de diversidade funcional, por sustentarem conjuntos mais diversos de traços ecológicos. Reforçando a importância de substratos orgânicos e estruturalmente complexos na manutenção de comunidades funcionalmente diversas. Em contrapartida, substratos finos tendem a atuar como fatores limitantes da diversidade de insetos aquáticos. Por ter uma alta compactação de baixa estabilidade, reduzindo a disponibilidade de locais para fixação, locomoção e abrigo (Roux; Clinton, 2023). De forma geral, os resultados obtidos corroboram com essa ideia, houve maior diversidade funcional de macroinvertebrados em substratos rochosos e orgânicos, enquanto no substrato fino apresentou menor riqueza de organismos com características específicas como hábito de locomoção escavador.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo demonstrou que habitats com tipos diferentes de substratos desempenham um papel fundamental na composição da diversidade funcional de macroinvertebrados aquáticos no riacho Jumelo, corroborando com a hipótese de que substratos mais complexos (folhiço e grosso) comportam maior quantidade de traços funcionais por oferecer mais opções de nichos ecológicos.

Os substratos folhiço e grosso influenciaram os grupos funcionais alimentares e hábitos de locomoção, fato evidente com a maior diversidade desses traços, refletindo a disponibilidade de recursos para refúgio e forrageio. Enquanto o substrato fino apresentou uma comunidade menos diversa funcionalmente, com perda de traços funcionais.

Os resultados encontrados nesse estudo podem ser utilizados em projetos de conservação de ambientes aquáticos (riachos), principalmente em análises de qualidade ambiental, pois como abordado, a diversidade funcional de macroinvertebrados reflete as condições do ecossistema. Assim, a bioeconomia relacionada a esses ambientes pode ser avaliada usando como ferramenta a análise da diversidade funcional da entomofauna, com ênfase nos processos de assoreamento e na homogeneização do leito dos rios, que provocam a perda de diversidade de habitats e microhabitats.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. L. **Uso da abordagem diversidade funcional na estrutura das comunidades de macroinvertebrados aquáticos**. 2016. 80 f. Dissertação (Mestrado em Zoologia, Área: Conservação e Ecologia) – Museu Paraense Emílio Goeldi e Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

ASSIS, J. V. de M. **Efeitos do uso da terra na diversidade beta de macroinvertebrados aquáticos da bacia hidrográfica do Rio Itaqueri, São Paulo, Brasil**. 2022. 83 f. Tese (Doutorado em Ciências na área de concentração em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022.

BAILEY, R. C., NORRIS, R. H., REYNOLDS, T. B. Taxonomic resolution of benthic macroinvertebrate communities in bioassessments. **J. N. Am. Benthol. Soc.** vol. 20, p. 280-286, 2001.

BAPTISTA, D. F. Uso de macroinvertebrados em procedimentos de biomonitoramento em ecossistemas aquáticos. **Oecologia Brasiliensis**. n. 12 (3), p. 425-441, 2008.

BARBERO, M. D.; OBERTO, A. M.; GUALDONI, C. M. Spatial and temporal patterns of macroinvertebrates in drift and on substrate of a mountain stream (Cordoba, Central Argentina). **Acta Limnologica Brasiliensia**. vol. 25, n. 4, p. 375-386, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S2179-975X2013000400003>

BARBOLA, I. F., MORAES, M. F. P., ANAZAWA, T. M., NASCIMENTO, E. A., SEPKA, E. R., POLEGATTO, C. M., MILLÉO, J., SCHÜHLI, G. S. Avaliação da comunidade de macroinvertebrados aquáticos como ferramenta para o monitoramento de um reservatório na bacia do rio Pitanguí, Paraná, Brasil. **Iheringia, Série Zoologia**. n. 101(1-2), p. 15-23, 2011.

BERGER, E., HAASE, P., SCHAFFER, R. B., SUNDERMANN, A. Towards stressor-specific macroinvertebrate indices: Which traits and taxonomic groups are associated with vulnerable and tolerant taxa? **Science of the Total Environment**. n. 619-620, p. 144-154, 2018.

BOYERO, L.; PEARSON, R. G.; DUDGEON, D.; GRAÇA, M. A. S.; GESSNER, M. O.; ALBARIÑO, R. J.; FERREIRA, V.; YULE, C. M.; BOULTON, A. J.; ARUNACHALAM, M.; CALLISTO, M.; CHAUVET, E.; RAMÍREZ, A.; CHARÁ, J.; MORETTI, M. S.; GONÇALVES, J. F.; HELSON, J. E.; CHARÁ-SERNA, A. M.; ENCALADA, A. C.; DAVIES, J. N.; LAMOTHE, S.; CORNEJO, A.; LI, A. O. Y.; BURIA, L. M.; VILLANUEVA, V. D.; ZUÑIGA, M. C.; PRINGLE, C. M. Global distribution of key trophic guild contrasts with common latitudinal diversity patterns. **Ecology**. vol. 92(9), p. 1839-1848, 2011.

BRANDIMARTE, A. L.; MELO, A. L. U. Scientometric trends of freshwater benthic invertebrates studies in Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**. vol. 28, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S2179-975X4816>

BRAGA, J. M. **Entendendo a desproporcionalidade de macroinvertebrados aquáticos em relações tamanho-densidade em riachos de Mata Atlântica**. 2024. 52 f. Monografia (Bacharelado em Gestão e Análise Ambiental) - Departamento de Ciências Ambientais da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2024.

BRAUN, B. M.; BERTASO, T. R. N.; PIRES, M. M.; SPIES, M. R.; KOTZIAN, C. B. Responses of riffle beetle assemblages to deforestation in a semi-deciduous Atlantic Forest remnant. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. vol. 90, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201820160853>

BRUDER, A.; SCHIDLER, M. H.; MORETTI, M. S.; GESSNER, M. O. Litter decomposition in a temperate and tropical stream: the effects of species mixing litter quality and shredders. **Freshwater Biology**. vol. 59, p. 438-449, 2013. DOI: 10.1111/fwb.12276

CADOTTE, M. W.; CARSCADDEN, K.; MIROTCNICL, N. Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological processes and services. [Journal of Applied Ecology](https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02048.x). vol. 48, p. 1079-1087, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02048.x>

CALAÇA, A. M., GRELE, C. E. V. Diversidade funcional de comunidades: discussões conceituais e importantes avanços metodológicos. **Oecologia Australis**, n. 20(4), p. 401-516, 2016.

CALLISTO, M.; MORENO, P.; BARBOSA, F. A. R. Habitat diversity and benthic functional trophic groups at Serra do Cipó, Southeast Brazil. **Revista Brasileira de Biologia**. vol. 62, p. 259-266, 2001.

CAMARGO, P. R. da S.; SOUZA, F. de; SILVA, R. G. da. Influência das atividades antrópicas na diversidade funcional de macroinvertebrados aquáticos na Bacia do Baixo Rio Grande. **Research, Society and Development**. vol. 11, n. 6, p. 1-15, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i6.28964>

CARVALHO, A. L.; NESSIMIAN, J. L. 1998. Odonata do oeste do Rio de Janeiro, Brasil: hábitos e hábitos das larvas. pp.03-28. In NESSIMIAN, J. L.; CARVALHO, A. L. (eds). **Ecologia de insetos aquáticos**. Séries Oecologia Brasiliensis, vol. V. PPGE-UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil.

CARVALHO, C. J. B. de; CASARI, S.; CONSTANTINO, R.; RAFAEL, J. A.; MELO, G. A. R. (orgs.). Coleoptera Linnaeus, 1758. In: RAFAEL, J. A.; MELO, G. A. R.; CARVALHO, C. J. B. de; CASARI, S.; CONSTANTINO, R. (orgs.). **Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia**. 2. ed. Manaus: Editora INPA, 2024. p. 659–680. ISBN 978-65-5633-046-4. DOI: <https://doi.org/10.61818/56330464c31>.

CASARI, S. A.; BIFFI, G.; IDE, S. Coleoptera Linnaeus, 1758. In: RAFAEL, J. A.; MELO, G. A. R.; CARVALHO, C. J. B. de; CASARI, S. A.; CONSTANTINO, R. (eds.). **Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia**. 2. ed. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 2024. p. 575-698. DOI: 10.61818/56330464c31.

CHAPMAN, L. J.; SCHNEIDER, K. R.; APODACA, C.; CHAPMAN, C. A. Respiratory ecology of macroinvertebrates in a swamp-river system of east Africa. **Biotropica**. vol. 36, p. 572-585, 2004.

COLZANI, E. **Diversidade funcional e riqueza de táxons de macroinvertebrados em córregos na Região Neotropical**. 2011. 98 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia e Conservação da Biodiversidade) – Programa de Pós-Graduação em Entomologia e Conservação da Biodiversidade da Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2011.

COLZANI, E.; SIQUEIRA, T.; SURIANO, M. T.; ROQUE, F. O. Responses of Aquatic Insect Functional Diversity to Landscape Changes in Atlantic Forest. **Biotropica**. vol. 45, p. 343-350, 2013.

CORRÊA, L. C. D. **Efeitos do impacto ambiental sobre a diversidade taxonômica e funcional de macroinvertebrados aquáticos em áreas de mineração na Floresta Nacional Sacará-Taquera, PA (Brasil)**. 2017. 136 f. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Conservação - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

CUMMINS, K. W.; MERRITT, R. W.; ANDRADE, P. C. N. The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in south Brazil. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, vol. 40, p. 69-89, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01650520400025720>

DA-SILVA, E. R. Ninfas de *Thraulodes* Ulmer, 1920 (Insecta: Ephemeroptera: Leptophlebiidae) ocorrentes no Rio de Janeiro, Brasil. **Bio Neotropica**. vol. 3, p. 1-7, 2003.

DELARIVA, R. L., NEVES, M. P., LARENTIS, C.; KLIEMANN, B. C. K.; BALDASSO, M. C.; WOLFF, L. L. Fish fauna in forested and rural streams from an ecoregion of high endemism, lower Iguazu River basin, Brazil. **Biota Neotropica**, vol. 18 (3), p. 1-12, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2017-0459>

DING, N.; YANG, W.; ZHOU, Y.; GONZÁLES-BERGOZONI, I.; ZHANG, J.; CHEN, K.; VIDAL, N.; JEPPESEN, E.; LIU, Z.; WANG, B. Different responses of functional traits and diversity of stream macroinvertebrates to environmental and spatial factors in the Xishuangbanna watershed of the upper Mekong River Basin, China. **Science of the Total Environment**. vol. 574, p. 288-299, 2017.

DEDIEU, N.; RHONE, M.; VIGOUROUX, R.; CÉRÉGHINO, R. Assessing the impact of gold mining in headwater streams of Eastern Amazonia using Ephemeroptera assemblages and biological traits. **Ecological Indicators**. vol. 52, p. 332-340, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.12.012>

DEWALT, R. E.; KONDRATIEFF, B. C.; SANDBERG, J. B. Order Plecoptera. In: THORP, J. H.; ROGERS, D. C. (ed.). **Thorp and Covich's freshwater invertebrates: ecology and general biology**. 4. ed. San Diego: Academic Press. v. 1, p. 933-949, 2015

DOCILE, T. N.; FIGUEIRÓ, R. Histórico e perspectivas da utilização de macroinvertebrados no monitoramento biológico de ecossistemas aquáticos no Brasil. **Acta Scientiae e Technicae**. v. 1, n. 1, p. 33-44, 2013.

FERREIRA-JR, N.; PINTO, A. P.; HAMADA, N. Ephemeroptera. In: HAMADA, N.; NESSIMIAN, L.; QUERINO, R. B. **Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia**. Manaus: Editora INPA, 2019. p. 143–169.

GETHING, K. J.; RIPLEY, M. C.; MATHERS, K. L.; CHADD, R. P.; WOOD, P. J. The influence of substrate type on macroinvertebrate assemblages within agricultural drainage ditches. **Hydrobiologia**. vol. 847, p. 4273-4284, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04416-6>

GIMENEZ, B. C.G. **Avaliando a diversidade funcional de insetos aquáticos em riachos sob a influência de diferentes usos do solo**. 2017. 33 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) - Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Biologia, Maringá, 2014.

GONZÁLEZ-CÓRDOBA, M.; ZÚÑIGA, M. C.; MANZO, V. La familia Elmidae (Insecta: Coleoptera: Byrrhoidea) en Colombia: riqueza taxonómica y distribución. **Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.** vol. 44, p. 522-553, 2020. DOI: <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1062>

HAMADA, N.; NESSIMIAN, L.; QUERINO, R. B. **Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia**. Manaus. Editora INPA, 2019.

HURYN, A. D.; WALLACE, J. B. Habitat, life history, secondary production, and behavioral adaptations of aquatic insects. In: MERRITT, R. W.; CUMMINS, K. W.; BERG, M. B. *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. 5 ed. Kendall Hunt Publishing, 2019, p. 38-58.

HUSSAIN, Q. A.; PANDIT, A. K. Macroinvertebrates in streams: A review of some ecological factors. **International Journal of Fisheries and Aquaculture**. vol, 4 (7), p. 114-123, 2012.

HYNES, H. B. N. Anatomical and behavioral adaptations of benthic invertebrates. In: HYNES, H. B. N. **The ecology of running waters**. Liverpool: Liverpool University Press, 1970. p. 121-160.

LAMOUREUX, N.; DOLÉDEC, S.; GAYRAUD, S. Biological traits of stream macroinvertebrate communities: effects of microhabitat, reach, and basin filters. **Journal of the North American Benthological Society**. vol. 23, p. 449-466, 2004. DOI: 10.1899/0887-3593(2004)023<0449:BTOSMC>2.0.CO;2.

LARSEN, S.; PACE, G.; ORMEROD, S. J. Experimental effects of sediment deposition on the structure and function of macroinvertebrate assemblages in temperate streams. **River Research and Applications**. vol. 27, p. 257-267, 2011. DOI: 10.1002/rra.1361.

LEE, D. Y.; LEE, D. S.; PARK, Y. S. Taxonomia and Functional Diversity of Benthic Macroinvertebrate Assemblages in Reservoirs of South Korea. **Environmental Research and Public Health**. vol. 20, p. 1-17, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph20010673>

LIU, Z.; LI, Z.; CASTRO, D. M. P.; TAN, X.; JIANG, X.; MENG, X.; GE, Y.; XIE, Z. Effects of different types of land-use on taxonomic and functional diversity of benthic macroinvertebrates in a subtropical river network. **Environmental Science and Pollution Research**. vol. 38, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13867-w>

LIU, X.; WANG, H. Effects of loss of lateral hydrological connectivity on fish functional diversity. **Conservation Biology**, vol. 32, p. 1336-1345, 2018.

LOPEZ, J. F. M. **Revising the neotropical genus *Americabaetis* Kluge, 1992 (Ephemeroptera: Baetidae): Phylogenetic classification, new species description, identification tools, and additional records**. 2024. 152 f. Tese (Doutorado em Entomologia) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Entomologia, Viçosa, 2024.

LUIZA-ANDRADE, A.; MONTAG, L. F. A.; JUEN, L. Functional diversity in studies of aquatic macroinvertebrates community. **Scientometrics**. vol. 111, p. 1646-1656, 2017. DOI: 10.1007/s11192-017-2315-0

MCKENZIE, M.; MATHERS, K. L.; WOOD, P. J.; ENGLAND, J.; FOSTER, I.; LAWLER, D.; WILKES, M. Potential physical effects of suspended fine sediment on lotic macroinvertebrates. **Hydrobiologia**. vol. 847, p. 697-711, 2020.

MATHERS, K. L.; ARMITAGE, P. D.; HILL, M.; BICKERTON, M.; MCKENZIE, M.; PARDO, I.; TICKNER, D.; WOOD, P. J. Context specific effects of substrate composition on the taxonomic and functional diversity of macroinvertebrate communities in temperate lowland streams. **Ecology and Evolution**. vol. 14, 2024. DOI: 10.1002/ece3.70034

MELO, A. S.; BUCKUP, L.; BOND-BUCKUP, G.; CASTIGLIONI, D. S.; BUENO, A. A. P. Invertebrados aquáticos. In: BUCKUP, G. B. **Biodiversidade dos Campos de Cima da Serra**. 2 ed. Porto Alegre: Libretos, p. 58-75, 2010.

MERRITT, R. W.; CUMMINS, K.W. **An introduction to the aquatic insects of North America**. 3. Ed. California: Kendall/Hunt Publishing company, 1996.

MERRITT, R. W.; CUMMINS, K. W.; CAMPBELL, E. Y. Uma Abordagem Funcional para a Caracterização de Riachos Brasileiros. In: HAMADA, N.; NESSIMIAN, L.; QUERINO, R. B. **Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia**. Manaus: Editora INPA, 2019. p. 67- 85.

MOLOKWU, N.; VAZ, P.; BRADSHAW, T. BLAKE, A.; HENESSEY, C.; MERTEN, E.

Effects of substrate on the benthic macroinvertebrate community: An experimental approach. **Ecological Engineering**. vol. 73, p. 109-114, 2014.

NEGRÃO, N. G.; CUNHA, C. M. Diversidade de macroinvertebrados bentônicos na avaliação do uso do solo e qualidade ambiental da bacia do Guabirola, Guarapuava, PR, Brasil. **Revista Geografar**. vol. 14, n. 1, p. 7-26, 2019. ISSN 1981-089X.

NEISS, U. G. **Taxonomia de Odonata (Insecta), com ênfase na caracterização morfológica e biológica e biologia de larvas, na Amazônia Central, Brasil**. 2012. 331 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2012

NTLOKO, P.; PALMER, C. G.; AKAMAGWUNA, F. C.; ODUME, O. N. Exploring Macroinvertebrates Ecological Preferences and Trait-Based Indicators of Suspended Fine Sediment Effects in the Tsitsa River and Its Tributaries, Eastern Cape, South Africa. **Water**. vol. 13, p. 1-17, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13060798>

PEREIRA, T. S.; PIO, J. F. G.; CALOR, A. R.; COPATTI, C. E. Can the substrate influence the distribution and composition of benthic macroinvertebrates in streams in northeastern Brazil? **Limnologica**. vol. 63, p. 27-30, 2017.

PASSOS, M. I. S.; NESSIMIAN, J. L.; JUNIOR, N. F. Chaves para identificação dos gêneros de Elmidae (Coleoptera) ocorrentes no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**. vol. 51, p. 42-53, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0085-56262007000100008>

PES, A. M.; SANTOS, A. P. M.; BARCELOS-SILVA, P.; CAMARGOS, L. M. Ordem Trichoptera. In: HAMADA, N.; NESSIMIAN, L.; QUERINO, R. B. **Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia**. Manaus: Editora INPA, 2019. p. 388–429.

PETCHEY, O. L.; GASTON, K. J. Functional diversity: back to basics and looking forward.

Ecology Letters. v. 9, n. 6, p. 741-758, 2006.

DOI: [10.1111/j.1461-0248.2006.00924.x](https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00924.x).

PIMENTEL, D. R.; COUCEIRO, S. R.M; SALCEDO, A. K. M. Dieta de larvas de *Phylloicus* (Trichoptera: Calamoceratidae) em riachos florestais do Oeste do Pará, Amazônia central brasileira. **Acta Limnologica Brasiliensia**. vol. 32, 2020. D

PINTO, Â.P. 2024. Cap. 15, Odonata Fabricius, 1793, pp. 187-233. In: RAFAEL, J. A.; MELO, G. A. R.; CARVALHO, C. J. B. de; CASARI, S. & CONSTANTINO, R. (eds). **Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia**. 2ª ed. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus. 880 pp. <https://doi.org/10.61818/56330464c15>

POFF, N. L., OLDEN, J. D., VIEIRA, N. K. M., FINN, D. S., SIMMONS, M. P., KONDRATIEFF, B. C. Functional trait niches of North American lotic insects: trait-based ecological applications in light of phylogenetic relationships. **The North**

American Benthological Society. n. 25(4), p. 730-755, 2006.

PORTELA, M. B. **Diversidade funcional da metacomunidade de macroinvertebrados aquáticos no nordeste do Brasil.** 2020. 81 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

ROJAS, C. A. D.; MOTTA-DÍAZ, Á. J.; ARANGUREN-RIAÑO, N. Estudio de la diversidad taxonómica y funcional de los macroinvertebrados en un río de montaña Andino. **Revista Biología Tropical.** vol. 68, p. 132-149, 2020.

ROUX, A. J.; CLINTON, S. M. Evaluation of the Relationship between Stream Habitat Quality and Taxa and Traits Richness and Diversity in Piedmont Streams in North Caroline. **Hidrobiology.** vol. 2. p. 363-381, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/hydrobiology2020024>

SALLES, F. F.; NASCIMENTO, J. M. C. de; CRUZ, P. V.; BOLDRINI, R.; BELMONT, E. L. L. Ordem Ephemeroptera. *In:* HAMADA, N.; NESSIMIAN, J. L.; QUERINO, R. B. **Insetos aquáticos na Amazônia brasileira.** Manaus: Editora INPA, 2019. p. 189-211.

SALLES, F. F.; FERREIRA-JÚNIOR, N. Hábitat e hábitos. *In:* HAMADA, N.; NESSIMIAN, J. L.; QUERINO, R. B. **Insetos aquáticos na Amazônia brasileira.** Manaus: Editora INPA, 2019. p. 37-47.

SAMUELSSON, E., & MANZATTO, A. G. Análise Cientométrica De Pesquisa Mundial Sobre Macroinvertebrados Aquáticos No Banco De Dados Da Web Of Science Entre 1947 E 2022. **Revista Científica Da Faculdade De Educação E Meio Ambiente,** 14(2), 273–293. <https://doi.org/10.31072/rcf.v14i2.1335>

SAMUELSSON, E.; SOEIRO, H. M. de A. do N.; MANZATTO, A. G. Studies with aquatic macroinvertebrates in the Amazon biome: a scientometric analysis. **Research, Society and Development,** [S. l.], v. 11, n. 13, p. e168111335308, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i13.35308. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/35308>. Acesso em: 18 nov. 2024.

SANTOS, J. S.; WOLFF, L. L.; BALDAN, L. T.; GUIMARÃES, A. T. B. Seasonal records of benthic macroinvertebrates in a stream on the eastern edge of the Iguaçu National Park, Brazil. **Biodiversity Data Journal.** vol. 8, p. , 2020.

SANTOS, J. S. dos; OLIVEIRA, R. C. de; DUARTE, T; PERES, C. K. Beta diversity of aquatic insects (Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera) across stream microhabitats. **Acta Limnologia Brasiliense.** vol. 37, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1590/S2179-975X7524>

SARTORI, M.; BRITTAIN, J. E. Order Ephemeroptera. *In:* THORP, J. H.; ROGERS, D. C. (ed.). **Thorp and Covich's freshwater invertebrates: ecology and general biology.** 4. ed. San Diego: Academic Press, 2015. v. 1, p. 873–891.

SERRA, S. R. Q.; CORTES, R. M. V.; GRAÇA, M. A. S.; PINTO, P.; ANASTÁCIO, P. M.; MACHADO, A. L.; CALAPEZ, A. R.; FEIO, M. J. Invertebrados. *In*: FEIO, M. A.; FERREIRA, V. **Rios de Portugal: comunidades, processos e alterações**. Coimbra: Coimbra University Press, 2019. p. 147-169.

SHIMANO, Y. **Ephemeroptera (Insecta) do leste matogrossense, Brasil: Diversidade, distribuição funcional e estudos ecológicos da teoria neutra e teoria de nicho**. 2012. 129 f. Dissertação (Pós-graduação em Ecologia e Conservação da Biodiversidade) - Universidade do Estado de Mato Grosso, Nova Xavantina, 2012.

SILVEIRA, M.P., QUEIROZ, J. F. Uso de coletores com substrato artificial para monitoramento biológico de qualidade de água. Comunicado Técnico, 39. São Paulo: **Embrapa Meio Ambiente**; 2006.

SOUTHWOOD, T. R. E. Habitat, the templet for ecological strategies? **Journal of Animal Ecology**, vol. 46, n. 2, p. 337-365, 1977.

SPENCE, J. R.; ANDERSEN, N. M. Biology of water striders: Interactions between systematics and ecology. **Annu. Rev. Entomol.** vol. 39, p. 101-128, 1994.

SUHLING, F.; SÁNCHEZ-HERRERA, M.; SAMWAYS, M. J. Order Odonata. *In*: THORP, J. H.; ROGERS, D. C. (ed.). **Thorp and Covich's freshwater invertebrates: ecology and general biology**. 4. ed. San Diego: Academic Press, 2015. v. 1, p. 893–931.

SZAŁKIEWICZ, E.; KAŁUŻA, T.; GRYGORUK, M. Detailed analysis of habitat suitability curves for macroinvertebrates and functional feeding groups. **Scientific Reports**. vol. 12, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15096-8>

THORP, J. H.; COVICH, A. P. An overview of freshwater habitats. *In*: THORP, J. H.; COVICH, A. P. **Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates**. 2 ed. San Diego: Academic Press, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-690647-9.X5000-5>

TILMAN, D. Functional Diversity. **Encyclopedia of Biodiversity**. vol. 3, p. 587-596, 2001

TOMANOVA, S.; GOITIA, E.; HELESIC, J. Trophic levels and functional feeding groups of macroinvertebrates in neotropical streams. **Hydrobiologia**, vol. 556, n. 1, p. 251-264, 2006. DOI: [10.1007/s10750-005-1255-5](https://doi.org/10.1007/s10750-005-1255-5).

TOMANOVA, S.; USSEGLIO-POLATERA, P. Patterns of benthic community traits in neotropical streams: Relationship to mesoscale spatial variability. **Fundamental and Applied Limnology**. vol. 170, p. 243-255, 2007.

TOMANOVA, S.; MOYA, N.; OBERDORFF, T. Using macroinvertebrate biological traits for assessing biotic integrity of neotropical streams. **River Research and Applications**. vol. 24, p. 1230-1239, 2008.

TOWNSEND, C. R., HILDREW, A. G. Species traits in relation to a habitat templet for river systems. **Freshwater Biology**. vol. 31, p. 265-275, 1994. DOI: 10.1111/j.1365-2427.1994.tb01740.x

USSEGLIO-POLATERA, P.; BOURNAUD, M.; RICHOUX, P.; TACHET, H. Biological and ecological traits of benthic freshwater macroinvertebrates: Relationships and definition of groups with similar traits. **Freshwater Biology**. vol. 43, p. 175-205, 2000.

VANNOTE, R. L.; MINSHALL, G. W.; CUMMINS, K. W.; SEDELL, J. R., CUSHING, C. E. The River Continuum Concept. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**. vol. 37, p. 131-137, 1980.

WANG, J.; DING, C.; TAO, J.; JIANG, X.; HEINO, J.; DING, L.; SU, W.; CHEN, M.; ZHANG, K.; HE, D. Damming affects riverine macroinvertebrate metacommunity dynamics: Insights from taxonomic and functional beta diversity. **Science of the Total Environment**. vol 763, 2021. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142945>

WIGGINS, Glenn B. **Larvae of the North American Caddisfly Genera (Trichoptera)**. 2. ed. Toronto: University of Toronto Press, 1996. ISBN 978-1442655065.

ZARDO, D. C. **Qualidade da água e estrutura taxonômica e funcional de macroinvertebrados em áreas úmidas com colônias de nidificação de aves aquáticas no sul do Brasil**. 2019, 142 f. Tese (Doutorado em Biologia) - Programa de Pós-Graduação em Biologia, Universidade do Vale do Rio dos Sinos UNISINOS, São Leopoldo, 2019.

ANEXO 1 – TÍTULO DO ANEXO

Lista de referência usadas para classificação dos gêneros por traços funcionais

Respiração	Casari; Biffi; Ide (2024); DeWalt; Kondratieff; Sandberg (2015); Didieu et al. (2015); Ding et al. (2017); Ferreira-Junior et al. (2019); Neiss (2012); Pes et al. (2019); Poff et al. (2006); Salles et al. (2019); Spence; Andersen (1994); Suhling et al. (2015); Tomanova; Polatera (2007).
Grupo Alimentar Funcional	Casari; Biffi; Ide (2024); Castro (2017); Colzani, Siqueira, Suriano Roque (2013); Corrêa (2017); Didieu et al. (2015); Merritt; Cummins e Campbell (2019); Sartori e Brittain (2015); Shimano (2011); Spence e Andersen (1994).
Formato Corporal	Melo et al. (2010); Casari; Biffi; Ide (2024); Castro (2017); Didieu et al. (2015); Ferreira-Junior et al. (2019); Neiss (2012); Pinto (2024); Poff et al. (2006); Salles et al. (2019); Tomanova; Moya e Oberdorff (2008); Tomanova e Polatera (2007).
Hábito Locomoção	Carvalho e Nessimian (1998); Castro (2017); Didieu et al. (2015); Lopez (2024); Salles e Ferreira-Junior (2019); Pes et al. (2019); Poff et al. (2006); Thorp e Covich (2015).