



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI



THAIZ MARIA RAMOS

**Padrão de distribuição de larvas de EPT (Ephemeroptera, Plecoptera,
Trichoptera) em riachos na Amazônia Oriental**

BELÉM
2025

THAIZ MARIA RAMOS

Padrão de distribuição de larvas de EPT (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera) em riachos na Amazônia Oriental

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-graduação em Zoologia do convênio da Universidade Federal do Pará e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito para obtenção do título de Mestre em Zoologia.

Área de concentração: Biodiversidade e conservação.

Linha de Pesquisa: Ecologia animal

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Koroiva

Coorientador: Prof. Dr. Leandro Juen

BELÉM

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- R175p Ramos, Thaiz.
Padrão de distribuição de larvas de EPT (Ephemeroptera,
Plecoptera, Trichoptera) em riachos na Amazônia Oriental / Thaiz
Ramos. — 2025.
62 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Dr. Ricardo Koroiva
Coorientador(a): Prof. Dr. Leandro Juen
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em
Zoologia, Belém, 2025.
1. Dispersão. 2. Traços funcionais. 3. Insetos aquáticos. 4.
Variáveis ambientais. I. Título.

CDD 591.7

FOLHA DE APROVAÇÃO

THAIZ MARIA RAMOS

Padrão de distribuição de larvas de EPT (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera) em riachos na Amazônia Oriental

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zoologia, do convênio da Universidade Federal do Pará e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Zoologia, sendo a COMISSÃO JULGADORA composta pelos seguintes membros:

Prof. Dra. ANA LUIZA ANDRADE

Universidade Federal de Rondônia/ UNIR

Prof. Dra. ANA PAULA JUSTINO DE FARIA

Universidade Estadual do Piauí/ UEPI

Prof. Dra. JEANE MARCELLE CAVALCANTE DO NASCIMENTO

Universidade Federal do Pará/ UFPA

Prof. Dr. RAPHAEL LIGEIRO BARROSO SANTOS

Universidade Federal do Pará/ UFPA

Prof. Dr. VICTOR SATORU SAITO

Universidade Federal de São Carlos/ UFSCar

Dedico essa dissertação ao meu filho
felino Ninja e aos meus pais Heloisa
Ramos e Marco Aurélio Ramos

“Toda a coisa que vemos, devemos vê-la sempre pela primeira vez, porque realmente é a primeira vez que a vemos. E então cada flor amarela é uma nova flor amarela, ainda que seja o que se chama a mesma de ontem. A gente não é já o mesmo nem a flor a mesma. O próprio amarelo não pode ser já o mesmo.”

Alberto Caeiro (Heterônimo de Fernando Pessoa)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a mim mesma, por ter tido coragem de sair da zona de conforto (desconfortável), me permitindo viver muitas experiências profissionais e pessoais em Belém.

Ao meu filho felino Ninja, por ter sido meu companheiro desde o primeiro dia no Pará e por todas as vezes que esteve presente para me dar carinho e mordidas quando me senti sozinha.

Aos meus pais Heloisa e Marco, por todo apoio emocional e financeiro, por terem me incentivado desde que compartilhei as minhas ideias de mudança e por sempre me apoiarem.

Ao meu namorado e futuro companheiro de vida Jean, por toda parceria e respeito que compartilhamos e por ter me ensinado o que é um amor tranquilo.

Aos meus irmãos João Pedro e Mariana, à minha cunhada Elizandra e à minha sobrinha Valentina, por estarem disponíveis todo domingo à noite para uma chamada de vídeo para falarmos sobre a vida.

À minha dinda Eliana, por ser presente e se importar comigo desde sempre.

Às minhas amigas gaúchas Victória e Ketrin e às minhas amigas paraenses Silvia e Eduarda, por terem sido minha rede de apoio e estarem sempre dispostas para uma conversa, um café ou uma procrastinação saudável.

Às minhas colegas de apartamento, de profissão e amigas Luísa, Bárbara e Lívia, pelas conversas, risadas e aprendizados.

Às minhas vizinhas e amigas Jéssica, Yorgana, Daniele e Lucas, por terem aberto as portas das suas vidas quando cheguei.

Aos meus amigos EPTólogos Gabriel, Juan Mateo e Ingrid, por todo ensinamento compartilhado.

Aos demais amigos do laboratório, agradeço por terem feito parte da minha jornada, por terem me auxiliado em cada pergunta besta que eu fazia e pelos almoços no RU.

Aos amigos do vôlei, que tornaram meus últimos meses em Belém mais divertidos e leves.

À minha psicóloga Caroline, por ter acompanhado todas essas mudanças desde 2022 e por ter me ajudado a enxergar as coisas com mais clareza.

Ao Deller (Succinato de Desvenlafaxina Monoidratado), por diminuir minha ansiedade desde que eu acordo até a hora de dormir, há três anos.

Ao Laboratório de Ecologia e Conservação (LABECO), por toda infraestrutura necessária para o desenvolvimento dessa dissertação.

Aos meus orientadores Ricardo Koroiva e Leandro Juen, por terem acreditado e confiado que eu seria capaz de realizar esse trabalho, pelo conhecimento que adquiri com vocês e pelo suporte acadêmico, e algumas vezes emocional, ao longo desses dois anos e pelo incentivo na minha próxima etapa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), pela concessão da minha bolsa de mestrado. Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPQ) pelo financiamento no projeto “Diminuindo as lacunas Lineanas e Wallaceanas da biota aquática na Amazônia”. À Fundação Amazônica de Amparo a Estudos e Pesquisa do Pará – FAPESPA, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento no projeto “Padrões de distribuição da biodiversidade aquática no Estado do Pará”. Ao ICMBio e ao Programa Monitora por disponibilizar apoio logístico para a realização da coleta na RESEX do Rio Cajari.

Aos membros da banca avaliadora, pelo aceite e pelas contribuições que certamente tornarão meu trabalho muito melhor.

E a todos que, de alguma forma, contribuíram para a elaboração dessa dissertação e que participaram da minha jornada acadêmica e de vida, muito obrigada!

SUMÁRIO

<i>ABSTRACT</i>	9
RESUMO	10
INTRODUÇÃO GERAL	11
Referências Bibliográficas	12
Capítulo 1	15
Capítulo 2	42
CONCLUSÕES GERAIS	61

Distribution pattern of EPT larvae (Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera) in streams in the Eastern Amazon

ABSTRACT

Dispersal is the movement of organisms between habitats in the landscape. It is essential for the establishment of species in new locations and for the maintenance of genetic diversity in the region. Its efficiency depends on the dispersal capacity of individual species, environmental variables and the distance between habitats. The mechanisms of community structuring and anthropogenic impacts on aquatic invertebrates have been assessed using approaches based on species' functional traits, but the use of this method to determine species' dispersal potential is still understudied. Therefore, the dispersal potential of most species is determined indirectly based on functional traits and mainly using expert knowledge. Based on this scenario, the aim of this dissertation was to evaluate the dispersal pattern of EPT larvae (Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera) and attempt to classify the dispersal potential of genera based on functional dispersal traits and relate these traits to environmental variables. The dissertation is divided into two chapters. In Chapter 1, we examine how functional dispersal traits of EPT larvae are related to environmental conditions of rivers in the eastern Amazon. Most of the traits and their categories were negatively or positively related to some of the nine physicochemical variables selected in the study. Thus, we confirm the fact that environmental conditions influence the composition of functional dispersal traits. In Chapter 2, we classify the dispersal potential of the genera of EPT larvae based on the functional dispersal traits and after consultation with experts of each order. The Ephemeroptera was the order with the most genera with high dispersal potential, while the Plecoptera genera had medium and low values for dispersal. The Trichoptera genera had very different values for dispersal potential. We also investigated whether the dispersal ability of EPT larval genera was reflected in their abundance and prevalence in the rivers of eastern Amazonia, which was not confirmed. In our study, we found that functional traits, whether related to dispersal or not, are excellent tools to be used as *proxies*.

Keywords: dispersal, functional traits, environmental variables, aquatic insects

Padrão de distribuição de larvas de EPT (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera) em riachos na Amazônia Oriental

RESUMO

A dispersão é o deslocamento de organismos entre habitats na paisagem, sendo essencial para a colonização de espécies em novos locais e para manter a diversidade genética na região, e a sua eficiência está relacionada com a capacidade de dispersão de cada espécie, com as variáveis ambientais e com a distância entre os habitats. Os mecanismos de estruturação da comunidade e os impactos antrópicos sobre os invertebrados aquáticos têm sido avaliados através de abordagens baseadas em traços funcionais das espécies, mas a utilização deste método para determinar o potencial dispersivo das espécies ainda é pouco estudado. Com base nisso, o potencial dispersivo da maioria das espécies é observado de forma indireta ao utilizar traços funcionais e principalmente utilizando o conhecimento de especialistas. A partir deste cenário, o objetivo da dissertação foi avaliar o padrão de distribuição de larvas de EPT (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera), buscando classificar o potencial dispersivo dos gêneros com base em traços funcionais de dispersão e relacionar esses traços às variáveis ambientais. A dissertação está dividida em dois capítulos. No capítulo 1 avaliamos como os traços funcionais de dispersão de larvas de EPT estão relacionados com as condições ambientais de riachos da Amazônia Oriental. A maioria dos traços e suas categorias tiveram alguma associação, negativa ou positiva com algumas das nove variáveis físico-químicas selecionadas no estudo. Assim, corroboramos o fato de que as condições do ambiente influenciam a composição de traços funcionais de dispersão. No capítulo 2 classificamos o potencial dispersivo dos gêneros de larvas de EPT com base nos traços funcionais de dispersão e em consultas aos especialistas das ordens. Ephemeroptera foi a ordem com mais gêneros com alta capacidade de dispersão, enquanto os gêneros de Plecoptera tiveram valores médios e baixos para a dispersão. Já os gêneros de Trichoptera tiveram valores para o potencial dispersivo bem variados. Também avaliamos se a capacidade de dispersão dos gêneros de larvas de EPT estaria sendo refletido pela abundância e pela ocorrência nos riachos da Amazônia Oriental, o que não foi corroborado. Em nosso estudo, vimos o papel dos traços funcionais, sejam relacionados a dispersão ou não, sendo excelentes ferramentas utilizadas como *proxies*.

Palavras-chave: dispersão, traços funcionais, variáveis ambientais, insetos aquáticos.

INTRODUÇÃO GERAL

As comunidades biológicas são estruturadas espacial e temporalmente pela combinação de fatores bióticos (interações ecológicas), abióticos (condições físico-químicas do habitat) e de dispersão, sendo o conhecimento desses fatores essencial para o monitoramento e a conservação da biodiversidade (Heino et al. 2015). O processo de dispersão de espécies entre as diferentes comunidades configura a ecologia de metacomunidades, assim, as condições ambientais e as interações bióticas são responsáveis por classificar o conjunto de espécies coexistentes entre os locais (Heino et al. 2015; Veríssimo et al. 2024).

A dinâmica das comunidades é influenciada ativamente pela dispersão, sendo caracterizada como o deslocamento de organismos entre habitats na paisagem e sendo essencial para colonização de espécies em novos locais, mantendo a diversidade genética na região (Brown e Lomolino 2006). A eficiência da dispersão está relacionada com a capacidade de dispersão de cada espécie, com as variáveis ambientais e com a distância entre os habitats, que podem facilitar ou até mesmo impedir que esse movimento aconteça (Bowler e Benton 2005). O processo de dispersão é influenciado por fatores intrínsecos dos indivíduos ou da espécie e por fatores extrínsecos do ambiente em que o táxon está inserido, por exemplo traços funcionais como formato corporal e tipo de locomoção podem determinar o movimento do organismo, assim como a disponibilidade de habitat e as condições do meio também podem afetar o processo dispersivo (Clobert et al. 2009; Kappes e Haase 2012; Veríssimo et al. 2024).

Os mecanismos de estruturação da comunidade e impactos antrópicos sobre os invertebrados aquáticos têm sido avaliados através de abordagens baseadas em traços funcionais das espécies (Castro et al. 2018). A utilização da composição taxonômica varia naturalmente em grandes escalas espaciais, assim, a utilização dos traços biológicos geram respostas estáveis frente aos ambientes naturais e antropizados, permitindo a identificação dos fatores que alteram a comunidade (Castro et al. 2018). O uso de características funcionais como *proxies* para determinar dispersão das espécies vem sendo utilizados em trabalhos de metacomunidades (p.e. Castro et al. 2018; Veríssimo et al. 2024), mas a utilização deste método para determinar o potencial dispersivo das espécies ainda é pouco estudado (p.e. Sarramejane et al. 2017, 2020). Com base nisso, o potencial dispersivo da maioria das espécies é observado de forma indireta ao utilizar traços funcionais e principalmente utilizando o conhecimento de especialistas (Peredo Arce et al. 2021).

A partir deste cenário, o objetivo geral da dissertação foi avaliar o padrão de distribuição de larvas de EPT (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera), buscando classificar o potencial dispersivo dos gêneros com base em traços funcionais de dispersão e relacionar esses traços às variáveis

ambientais. Para isso, a dissertação está dividida em dois capítulos cujos objetivos são: (1) avaliar a relação dos traços funcionais de dispersão com as condições ambientais dos riachos na Amazônia Oriental; (2a) avaliar se a capacidade de dispersão de EPT estaria sendo refletida pela sua ocorrência e abundância; e (2b) classificar o potencial dispersivo dos gêneros de larvas de EPT.

No primeiro capítulo avaliamos como os traços funcionais de dispersão de larvas de EPT estão relacionados com as condições ambientais de riachos da Amazônia Oriental. Espera-se que os traços funcionais de dispersão como o formato corporal (hidrodinâmico, cilíndrico e achatado) e a flexibilidade corporal ($<10^\circ$, $>10^\circ$ e $<45^\circ$, $>45^\circ$) estejam relacionados ao fluxo da água, acarretando melhor ou pior mobilidade em condições de velocidade distintas. Espera-se que a disponibilidade de microhabitats e de diferentes substratos estejam associados a organismos construtores de abrigos, devido as suas preferências de habitat. E por último, é esperado que os diferentes tipos de locomoção (nadador, escavador, agarrador e contração muscular) estejam relacionados ao substrato dominante, possibilitando a permanência em riachos com alta velocidade da água, por exemplo.

No segundo capítulo classificamos o potencial dispersivo dos gêneros de larvas de EPT com base nos traços funcionais de dispersão e em consultas aos especialistas das ordens. Aplicamos a Métrica de Capacidade de Dispersão adaptada (DCMa) de Li et al. (2016), utilizando apenas as informações de dispersão ativa e passiva para os estágios larvais dos gêneros. Ainda no segundo capítulo, avaliamos se a capacidade de dispersão dos gêneros de larvas de EPT estaria sendo refletido pela sua abundância e ocorrência nos riachos da Amazônia Oriental. É esperado que os gêneros com potencial dispersivo alto estejam em maior abundância e que ocorram em mais riachos. Em contraste, espera-se que os gêneros com baixo potencial dispersivo estejam em menor abundância e em menos locais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bonada N, Doledec S, Statzner B (2007) Taxonomic and biological trait differences of stream macroinvertebrate communities between mediterranean and temperate regions: Implications for future climatic scenarios. *Global Change Biology* 13: 1658-1671. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01375.x>

Bowler DE, Benton TG (2005) Causes and consequences of animal dispersal strategies: relating individual behaviour to spatial dynamics. *Biological Reviews* 80: 205-225. <https://doi.org/10.1017/s1464793104006645>

Brown JH, Lomolino MV (2006) *Biogeography*. FUNPEC, 691 pp.

Castro D, Dolédec S, Callisto M (2018) Land cover disturbance homogenizes aquatic insect functional structure in neotropical savana streams. *Ecological Indicators* 84: 573-582. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.09.030>

Clobert J, Le Galliard JF, Cote J, *et al* (2009) Informed dispersal, heterogeneity in animal dispersal syndromes and the dynamics of spatially structured populations. *Ecology letters* 12: 197-209. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01267.x>

Downes B, Lancaster J (2018) Itinerant, nomad or invader? A field experiment sheds light on the characteristics of successful dispersers and colonists. *Freshwater Biology* 63: 1394-1406. <https://doi.org/10.1111/fwb.13167>

Heino, J (2015) Deconstructing occupancy frequency distributions in stream insects: effects of body size and niche characteristics in different geographical regions. *Ecological Entomology* 40: 491-499, 2015. <https://doi.org/10.1111/een.12214>

Kappes H, Haase P (2012) Slow, but steady: dispersal of freshwater molluscs. *Aquatic Sciences* 74: 1-14. <https://doi.org/10.1007/s00027-011-0187-6>

Luiza-Andrade A, Da Silva R, Juen L (2023) Contribution of rare genera of aquatic insects to functional diversity in streams with multiple land use in the Amazon. *Hydrobiologia* 850: 21-38. <https://doi.org/10.1007/s10750-022-05035-z>

Peredo Arce A, Hörrén T, Schletterer M, Kail J (2021) How far can EPTs fly? A comparison of empirical flying distances of riverine invertebrates and existing dispersal metrics. *Ecological Indicators* 125: 107465. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107465>

Sarremejane R, Mykrä H, Bonada N, Aroviita J, Muotka T (2017) Habitat connectivity and dispersal ability drive the assembly mechanisms of macroinvertebrate communities in river networks. *Freshwater Biology* 62: 1073-1082. <https://doi.org/10.1111/fwb.12926>

Sarremejane R, Cid N, Stubbington R, *et al* (2020) DISPERSE, a trait database to assess the dispersal potential of European aquatic macroinvertebrates. *Scientific Data* 7: 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00732-7>

Veríssimo MES, Medeiros CR, Molozzi J (2024) The dispersal potential of benthic macroinvertebrates is influenced by factors acting at small spatial scales in tropical estuaries. *Hydrobiologia* 851: 4503-4520. <https://doi.org/10.1007/s10750-024-05603-5>

Capítulo 1

Relação entre traços funcionais de dispersão em larvas de EPT (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera) e as condições ambientais de riachos da Amazônia Oriental

O capítulo 1 desta dissertação foi elaborado e formatado conforme as normas da publicação científica da *Hydrobiologia*, as quais se encontram em anexo (Anexo 1).

Relação entre traços funcionais de dispersão em larvas de EPT (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera) e as condições ambientais de riachos da Amazônia Oriental

Thaiz Ramos^{1,2*}, Leandro Juen^{1,2}, Ricardo Koroiva^{1,3}

¹Programa de Pós-Graduação em Zoologia, Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências Biológicas, Rua Augusto Corrêa, 1, Guamá, Belém, PA, Brazil

²Laboratório de Ecologia e Conservação, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 1, Guamá, Belém, PA, Brazil

³Departamento de Engenharia e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, Av. Santa Elizabete, s/n, Centro, Rio Tinto, PB, Brazil

*Corresponding author: thaiz_mramos@hotmail.com

ORCID IDs:

TR: 0000-0002-6493-9047

LJ: 0000-0002-6188-4386

RK: 0000-0002-6658-0824

***Artigo será submetido no periódico *Hydrobiologia* após a incorporação das sugestões da banca avaliadora.**

Resumo

Os insetos aquáticos utilizam diversas estratégias de dispersão para encontrar locais adequados às suas necessidades ambientais. A estrutura das comunidades está sendo analisada por meio de abordagens baseadas em traços funcionais, avaliando seu potencial de dispersão e relações com as condições ambientais. Nosso objetivo foi investigar como os traços funcionais de dispersão de larvas de EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) se relacionam com as condições ambientais de riachos na Amazônia Oriental. Coletamos em 32 igarapés, 14 no Marajó, PA e 18 na RESEX Cajari, AP. Nossos resultados indicaram que a composição dos traços funcionais foi fortemente influenciada pelas variáveis ambientais, evidenciando a sensibilidade dos traços de dispersão às mudanças ambientais. Encontramos relações dos tipos de locomoção e flexibilidade com todas as variáveis selecionadas. Os organismos que constroem abrigos foram associados a matéria orgânica, cobertura de dossel, fluxo, oxigênio dissolvido, pH e temperatura, enquanto os de vida livre foram relacionados ao abrigo de madeira no riacho. Nosso trabalho confirma o papel fundamental das variáveis ambientais na composição de traços funcionais de dispersão, moldando a capacidade de dispersão das comunidades aquáticas, especialmente os insetos do grupo EPT. Esses traços podem servir como um proxy para uma abordagem conservacionista, refletindo a qualidade do ecossistema.

Palavras-chave: dispersão, traços funcionais, variáveis ambientais, insetos aquáticos.

1. Introdução

A dispersão é definida como o deslocamento de organismos entre habitats na paisagem, sendo essencial para a colonização de espécies em novos locais e para manter a diversidade genética na região (Brown & Lomolino, 2006). Sua eficiência está relacionada com a capacidade de dispersão de cada espécie, com as variáveis ambientais e com a distância entre os habitats, que podem facilitar ou até mesmo impedir que esse movimento aconteça (Bowler & Benton, 2005). Esse processo pode ocorrer de forma ativa quando o próprio organismo se desloca entre habitats, ou de forma passiva quando um organismo inteiro ou seu propágulo é transportado por um vetor, que pode ser por ação de agentes externos, como por exemplo, pela água (hidrocoria) ou pelo vento (anemocoria) (Green et al., 2016; Viana et al., 2016).

Os insetos aquáticos possuem diversas estratégias de dispersão que os possibilitam encontrar regiões ou locais mais adequados para suas exigências ambientais, bem como, para conseguir superar as restrições impostas por questões ambientais e/ou geográficas (Luiza-Andrade et al., 2023). Os insetos adultos podem migrar ativamente pelo voo, ou serem levados pelo vento, já as larvas irão dispersar-se de forma ativa devido as características funcionais relacionadas a dispersão (Luiza-Andrade et al., 2023) ou de forma passiva através da capacidade de deriva aquática em ambientes lóticos (Downes & Lancaster, 2018). No entanto, o estudo sobre a dispersão desses organismos ainda é complexo e pouco estudado, em virtude do seu tamanho diminuto impossibilitando a coleta de dados observacionais, como marcação-recaptura (Bilton et al., 2001; Saito et al., 2015), principalmente se tratando das formas imaturas.

Embora pouco se saiba sobre a aptidão à dispersão dos insetos aquáticos, os mecanismos de estruturação das comunidades têm sido avaliados através de abordagens baseadas em traços funcionais das espécies (Castro et al., 2018). Assim, *proxies* para avaliar esse processo são comumente utilizados em estudos de metacomunidades (por exemplo, Castro et al., 2018; Veríssimo et al., 2024). A separação de táxons de acordo com às suas características morfológicas e ecológicas é uma estratégia que pode determinar seu potencial dispersivo, refletindo em sua capacidade de se moverem e ocuparem novos habitats (Heino et al., 2015). A avaliação de traços funcionais de dispersão pode auxiliar no entendimento de como essas espécies chegam a diferentes habitats e como podem ser impactadas pelas variações no ambiente (Heino et al., 2015), contribuindo de forma fundamental para tentar estabelecer medidas mitigatórias das alterações ambientais e a implementação de ações eficientes de conservação.

Embora os traços funcionais relacionados a dispersão de larvas e de adultos de insetos aquáticos sejam amplamente analisados em ecossistemas temperados e subtropicais referentes (por exemplo, Bonada et al., 2007; Miserendino et al., 2025; Malmqvist, 2000; Peredo Arce et al., 2021), ainda são poucas as pesquisas que abordem essas dinâmicas em riachos tropicais (p.e. Castro et al., 2018; Veríssimo et al., 2024) e amazônicos (p.e. Tomanova et al., 2008; Dedieu et al., 2015). Em regiões como a Amazônia Oriental, os riachos são ecossistemas-chave, desempenhando papéis críticos na manutenção da biodiversidade (Shimano et al., 2021). Essas áreas abrigam uma grande diversidade de insetos

aquáticos, incluindo EPT (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera), cujos representantes apresentam gêneros com grande plasticidade morfológica, como consequência as composições das comunidades alteram-se ao longo dos gradientes ambientais (Lewin et al., 2013; Peredo Arce et al., 2021).

EPT é um grupo de insetos aquáticos considerados bioindicadores da qualidade ambiental de riachos por gerarem respostas rápidas frente às alterações no habitat (Juen et al., 2016). Alguns traços funcionais relacionados à dispersão de larvas de EPT já foram reportados na literatura anteriormente, como o formato e a flexibilidade corporal e o tipo de locomoção (Hamada et al., 2014; Castro et al., 2018; Luiza-Andrade et al., 2023). Esses traços podem ser diretamente influenciados pelos fatores ambientais como o fluxo da água, cobertura de dossel e vegetação ripária, matéria orgânica, largura e profundidade do riacho e parâmetros físico-químicos como temperatura e oxigênio dissolvido (Brasil et al., 2017; Luiza-Andrade et al., 2017, 2022; Cruz et al., 2022). A relação entre variáveis ambientais e traços funcionais é preditiva, pois restrições no ambiente moldam a composição funcional das comunidades locais (Poff & Ward, 1990; Bonada et al., 2006).

Com base nessas premissas, este estudo tem como objetivo avaliar como os traços funcionais de dispersão de larvas de EPT estão relacionados às condições ambientais de riachos da Amazônia Oriental. Espera-se que o formato corporal e a flexibilidade corporal apresentem adaptações ao fluxo da água, permitindo maior mobilidade em diferentes condições hidráulicas. As especificações de abrigo, como preferência por substratos específicos, são esperadas como resposta à disponibilidade de microhabitats e à proteção contra predadores. Espera-se que o tipo de locomoção esteja associado ao substrato dominante, facilitando a permanência em riachos com maior turbulência. Essas predições refletem adaptações funcionais a condições locais, contribuindo para a compreensão dos mecanismos estruturadores de comunidades aquáticas em ecossistemas tropicais.

2. Material e Métodos

2.1. Áreas de estudo

O estudo foi realizado em 32 igarapés, sendo 14 na Área de Proteção Ambiental (APA) Arquipélago do Marajó, com distância média de 8.39 km entre os pontos, e 18 igarapés na Reserva Extrativista (RESEX) do Rio Cajari, com distância média de 3.61 km entre os pontos (figura 1).

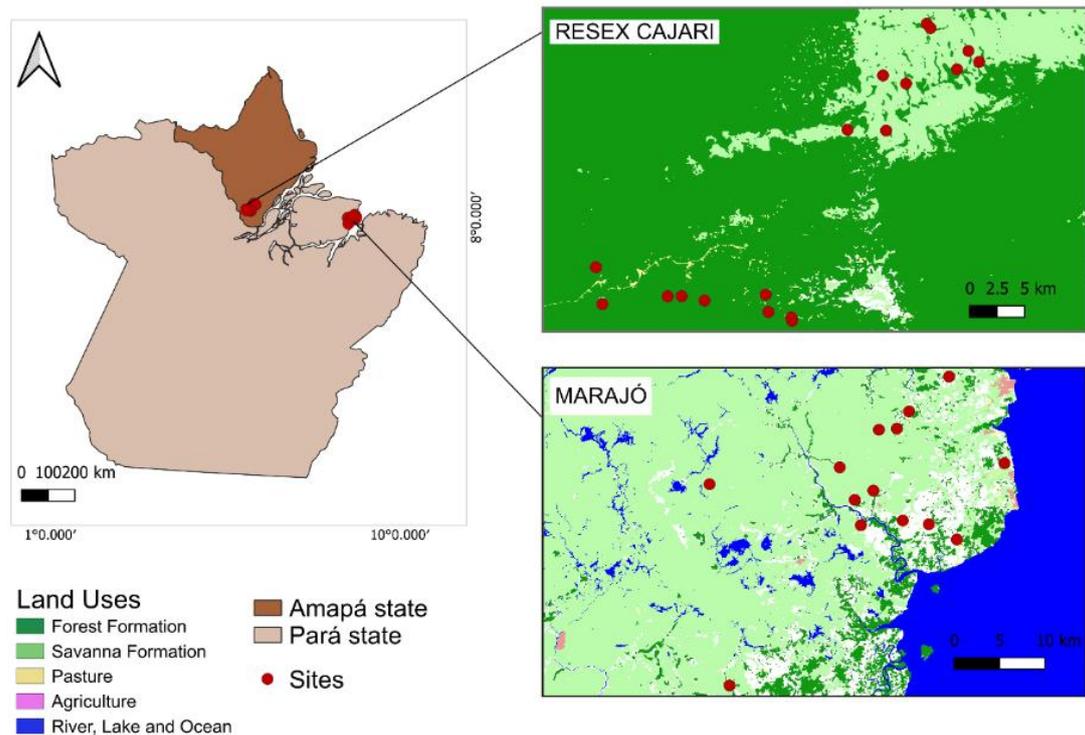


Figura 1. Mapas das áreas de amostragem de larvas de EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera). RESEX do Rio Cajari, Amapá e Arquipélago do Marajó, Pará.

2.1.1. Área de Proteção Ambiental Arquipélago do Marajó

O Arquipélago do Marajó situa-se ao norte do Estado do Pará, abrangendo 12 municípios, com uma área de 5.998.570 ha, sendo considerado o maior arquipélago fluviomarinho do mundo (CNUC, 2016). A vegetação é definida como Floresta Ombrófila Densa, sendo encontrados ecossistemas de igapó, terra firme, várzea e campos naturais e a região em que o arquipélago está inserido é caracterizada pelo conjunto de canais fluviais, como baías, lagos, igarapés e rios, sendo este movimento fluvial o fator limitante para a definição paisagística da região (BRASIL, 2007).

Conforme a classificação climática de Köppen, o clima do arquipélago é considerado tropical úmido (Af) e tropical úmido de monção (Am), o primeiro é caracterizado pela precipitação média maior ou igual a 60 mm no mês de estiagem e o segundo pela excessiva precipitação por um determinado período, apresentando alta pluviosidade tendo uma precipitação média anual maior do que 2.000 mm (BRASIL, 2007). A temperatura média anual é de 26°C e a umidade relativa média anual é maior do que 80%, considerada alta (BRASIL, 2007).

O Marajó está inserido na foz do Rio Amazonas, com influência de outros rios como o Tocantins, e possui influência das marés oceânicas contribuindo para a biodiversidade única da região. As comunidades locais vivem do extrativismo do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) e do buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.) e da criação de búfalo, sendo a base da

economia local, também vem sendo introduzidos arrozais na região. Esse tipo de economia foi intensificado nos últimos anos, contribuindo para a degradação dos ecossistemas do Arquipélago (para mais informações veja Montag et al., 2011).

2.1.2. Reserva Extrativista do Rio Cajari

A RESEX do Rio Cajari situa-se ao Sul do Estado do Amapá, localizada nos municípios de Mazagão, Laranjal do Jari e Vitória do Jari, possuindo uma área de 532.397,20 ha (CNUC, 2022). A vegetação é definida como Floresta Ombrófila Densa, sendo encontradas florestas e campos de várzea e florestas de terra firme, cerrado e áreas de transição (Da Luz Freitas et al., 2017). De acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo Af e Am como no Arquipélago do Marajó, sendo Af próximo ao rio Amazonas no canal Norte e Am no Centro e Norte da reserva (Da Luz Freitas et al., 2017). A temperatura média anual é de 26°C, a precipitação média anual é de 2.300 mm e com umidade relativa média anual de 85% (CNUC, 2022).

A reserva, margeada pelo rio Amazonas na região oriental e pela rodovia BR 156 não pavimentada, foi criada para promover segurança fundiária para as comunidades locais, tendo como atividades econômicas a extração dos frutos e das palmeiras do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.), da andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) e principalmente da castanha-do-Pará (*Bertholletia excelsa* Humn. & Bonpl.) (Funi & Paese, 2012). Segundo o Boletim de Desmatamento do Estado do Amapá de 2022, a Reserva apresentou a segunda maior área de desmatamento para o ano, sendo 5.169 km² de áreas prejudicadas. As famílias locais praticam a extração manual de produtos florestais, podendo utilizar o fogo para manejo, também há as práticas no uso do solo realizadas por produtores que estabeleceram uma agropecuária comercial intensiva próxima à reserva (Funi & Paese, 2012).

2.2. Amostragem e triagem de EPT

As coletas ocorreram no período de menor precipitação na região, para tentar diminuir os possíveis efeitos sazonais sobre esses sistemas. No Arquipélago do Marajó ocorreram em outubro de 2022 e junho de 2023 e na RESEX do Rio Cajari em outubro de 2023. O projeto foi realizado com autorização junto ao SISBIO/ICMBio (Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade) (autorização número 32538-2).

Em cada igarapé foi demarcado um transecto de 150 m, dividido em 10 seções de 15 m cada. Cada seção foi subdividida em três segmentos de cinco metros. Somente os dois primeiros segmentos de cada seção foram amostrados, o terceiro foi utilizado somente para acesso ao próximo segmento (Shimano et al., 2018). As larvas de EPT foram coletadas com a utilização de rapiché de 18 cm de diâmetro e 0,250 mm de abertura da malha. Em cada segmento foram realizadas duas coletas com rapiché, sempre buscando contemplar os diferentes tipos de substratos e de microhabitats

existentes (figura 2). O material coletado foi triado em campo com bandejas e pinças e depositados em tubos Falcon com álcool 85% (Shimano & Juen, 2016; Shimano et al., 2018).

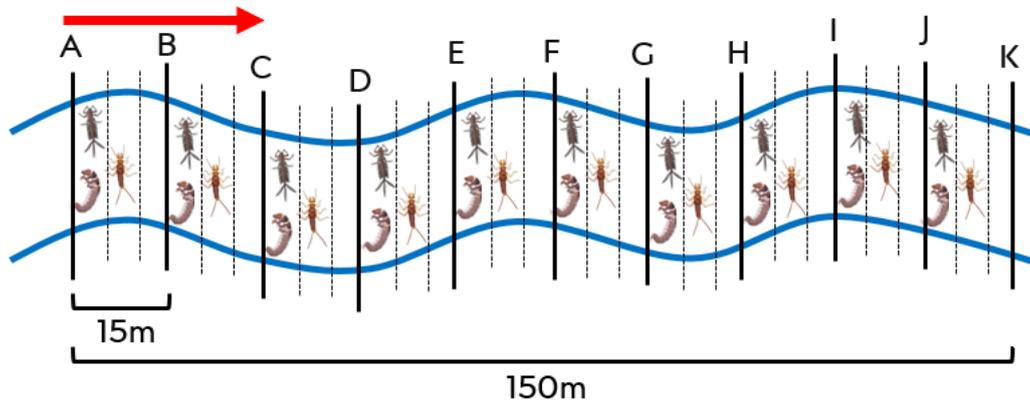


Figura 2. Diagrama esquemático da amostragem de larvas de EPT em um transecto de 150 metros em cada riacho. A seta vermelha representa a direção jusante-montante em que a coleta é realizada.

Em laboratório, os exemplares foram examinados através do estereomicroscópio e identificados a nível de gênero utilizando bibliografia especializada (Pes et al., 2005; Domínguez & Fernández, 2009; Hamada et al., 2014; Hamada et al., 2018).

Em campo, foi aplicado o Protocolo de Avaliação Ambiental de Peck et al. (2006), adaptado para a região neotropical por Callisto et al. (2014), sendo avaliadas aproximadamente 200 variáveis ambientais para cada riacho amostrado como declividade, direção, fluxo, profundidade e largura do riacho, substrato, madeiras submersas e superficiais, cobertura de dossel, estimativa de zona ripária, abrigo para peixes e parâmetros físico-químicos como temperatura, pH, oxigênio dissolvido e condutividade. Esse protocolo vem sendo utilizado com sucesso para avaliar e representar a variação ambiental de sistemas aquáticos na Amazônia, mostrando grande eficiência (Luiza-Andrade et al., 2017, 2022, 2023; Shimano et al., 2021; Cruz et al., 2022; Faria et al., 2023).

2.3. Análise Estatística

Em nosso estudo cada riacho foi considerado uma unidade amostral, totalizando, portanto, 32 amostras. Selecionamos os traços funcionais relacionados a dispersão de larvas de EPT a partir de dados de literatura, sendo representados por: formato corporal, flexibilidade corporal, tipo de abrigo e tipo de locomoção (tabela 1). Para determinar a distribuição de cada traço funcional relacionado a dispersão foi aplicada uma Média Ponderada da Comunidade (CWM), que realiza a ponderação do traço pela abundância relativa de espécies para cada riacho amostrado. Para cada traço, foi inserido dados Fuzzy conforme Santos et al. (2024) (material suplementar, tabela 1).

Tabela 1. Traços funcionais e suas categorias associados à dispersão de larvas de EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera).

Traço	Categoria	Relação com a dispersão	Referências
Formato Corporal	Hidrodinâmico Cilíndrico Achatado	O tipo de formato corporal pode determinar a colonização em diferentes ambientes.	Luiza et al., 2023.
Flexibilidade Corporal	<10° >10° e <45° >45°	A maior flexibilidade corporal permite a ocorrência em locais e capacidade de escapar de predadores e de obtenção de alimento.	Castro et al., 2018.
Tipo de Abrigo	Vida Livre Abrigo Móvel Abrigo Fixo Abrigo Levemente Fixo	As condições do substrato irão contribuir para a abundância e a distribuição de organismos construtores de abrigo.	Rabení et al., 2005; Santos et al., 2024.
Tipo de Locomoção	Agarrador Contração Muscular Escavador Nadador	A relação do tipo de locomoção com o substrato está associada diretamente com a dispersão e colonização dos organismos.	Luiza-Andrade et al., 2023.

Elaborada pela autora

Através do protocolo aplicado em campo foram retiradas as variáveis que apresentaram pouca variação, onde 90% das observações foram iguais a zero e que ao menos em uma área de estudo (Arquipélago do Marajó ou RESEX do Rio Cajari) as observações foram iguais a zero. Em seguida aplicou-se o coeficiente de variação, mantendo as variáveis que obtiveram valores maiores do que 40%. As variáveis restantes foram selecionadas através da literatura (Shimano & Juen, 2016; Brasil et al., 2017; Luiza-Andrade et al., 2017, 2022; Cruz et al., 2022; Menna-Barreto et al., 2024), levando em consideração a biologia do organismo e a dispersão. Para reduzir as diferenças de escalas, os valores das variáveis foram transformados aplicando log10. Em seguida, foi calculado o fator de inflação de variância (vif), mantendo na análise somente as variáveis com vif <3.0.

As variáveis ambientais selecionadas foram substrato matéria orgânica, média abrigo madeira pequena, sequência de fluxo rápido e lento, razão largura e profundidade no trecho, média de dossel nas margens, pH, condutividade, porcentagem de oxigênio dissolvido e temperatura. Todas essas variáveis estão relacionadas com a distribuição do grupo EPT entre os riachos, conforme dados já citados na literatura (tabela 2).

Tabela 2. Variáveis ambientais relacionadas ao grupo EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) com base na literatura.

Variáveis Ambientais	Referências
Cobertura de dossel	Luiza-Andrade et al., 2017.
Condutividade	Menna-Barreto et al., 2024
Fluxo da corrente	Cruz et al., 2022.
Largura e profundidade do canal	Luiza-Andrade et al., 2017, 2022.
Madeira dentro do canal	Luiza-Andrade et al., 2017, 2022.
Substrato matéria orgânica	Brasil et al., 2017; Cruz et al., 2022.
Oxigênio dissolvido	Cruz et al., 2022; Luiza-Andrade et al., 2022.
pH	Shimano & Juen, 2016; Luiza-Andrade et al., 2017.
Temperatura da água	Shimano & Juen, 2016; Luiza-Andrade et al., 2017, 2022; Menna-Barreto et al., 2024.
Vegetação ripária	Luiza-Andrade et al., 2022.

Elaborada pela autora.

Para avaliar a nossa hipótese utilizamos uma Análise de Redundância (RDA). A RDA tem como função relacionar duas matrizes, sendo uma matriz de CWM (matriz resposta) e uma matriz de variáveis ambientais (matriz preditora). Para testar a significância foi utilizado um teste de permutação com 9.999 permutações. As variáveis com carga $>|0.4|$ foram mantidas para interpretação. As análises foram realizadas no programa estatístico R versão 4.3.1, utilizando o pacote *vegan* (figura 3).

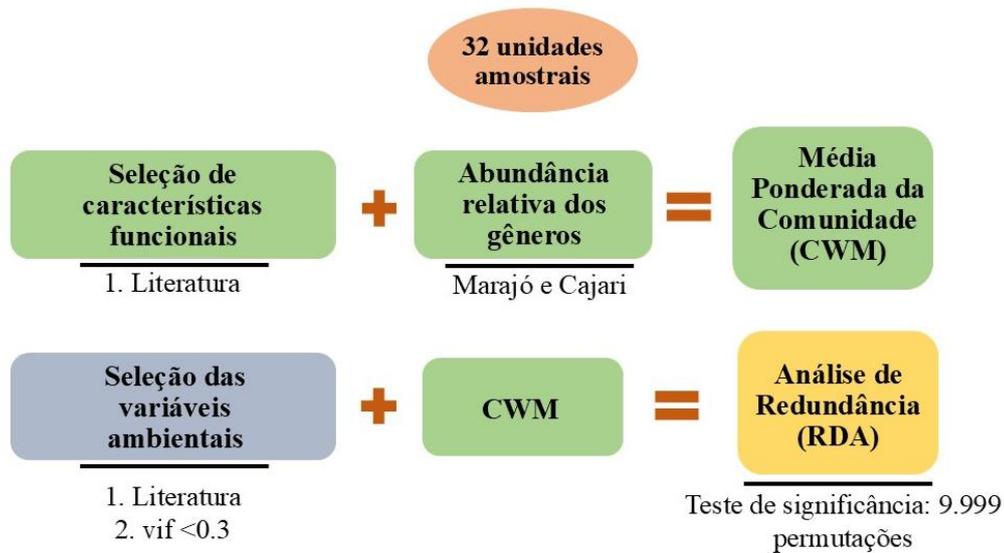


Figura 3. Fluxograma do processo para a aplicação das análises Média Ponderada da Comunidade (CWM) e Análise de Redundância (RDA), através do programa estatístico R versão 4.3.1, pacote *vegan*.

3. Resultados

Foram coletados 3.038 exemplares de larvas de EPT, sendo 558 no Arquipélago do Marajó e 2.480 na RESEX do Rio Cajari. Ephemeroptera foi representada por 989 indivíduos, Plecoptera por 549 indivíduos e Trichoptera por 1.503 indivíduos (material suplementar, tabela 2).

Houve relação entre as variáveis ambientais e os traços de larvas de EPT ($F=2.093$; $p=0.0205$). A RDA explicou 24,08% da distribuição dos traços entre os riachos ($r^2_{adj}=0.2408$). O eixo I contribuiu com 34.11% da explicação dessa distribuição e o eixo II com 6.4%. A temperatura apresentou uma associação forte e positiva com a RDA2 e fraca e negativa com a RDA1, enquanto a razão largura e profundidade uma associação forte e negativa com a RDA2 e fraca e negativa com a RDA1. A porcentagem de matéria orgânica, sequência de fluxo rápido e lento, cobertura de dossel marginal, oxigênio dissolvido e o pH tiveram uma associação forte e negativa com a RDA1 e com a RDA2. A média de abrigo de madeira pequena e a condutividade apresentaram associação forte e positiva com a RDA1 e forte e negativa com a RDA2.

Os traços de contração muscular, flexibilidade $>45^\circ$, abrigo fixo e formato corporal cilíndrico foram negativamente relacionados a porcentagem de matéria orgânica, média de cobertura de dossel, sequência de fluxo rápido e lento, oxigênio dissolvido e pH. Os traços escavador, contração muscular e flexibilidade $>10^\circ$ e $<45^\circ$ foram positivamente relacionados à temperatura e negativamente relacionado à razão largura e profundidade do riacho. Enquanto os traços agarrador, abrigo móvel e flexibilidade $<10^\circ$ foram negativos à temperatura e positivos à largura e profundidade. Os traços escavador, flexibilidade $>10^\circ$ e $<45^\circ$ e vida livre foram negativamente relacionados à condutividade e a média de abrigo de madeira pequena. O formato corporal achatado e o tipo de locomoção nadador

foram positivos ao fluxo lento e rápido. Os traços hidrodinâmico e abrigo levemente fixo não tiveram relação significativa com nenhuma variável (figura 4).

A hipótese de que os traços funcionais de dispersão de larvas de EPT estariam relacionadas as condições ambientais de riachos amazônicos foi corroborada, visto que somente dois traços não foram associados a nenhuma variável e as demais foram relacionadas tanto positiva quanto negativamente com as variáveis ambientais do estudo.

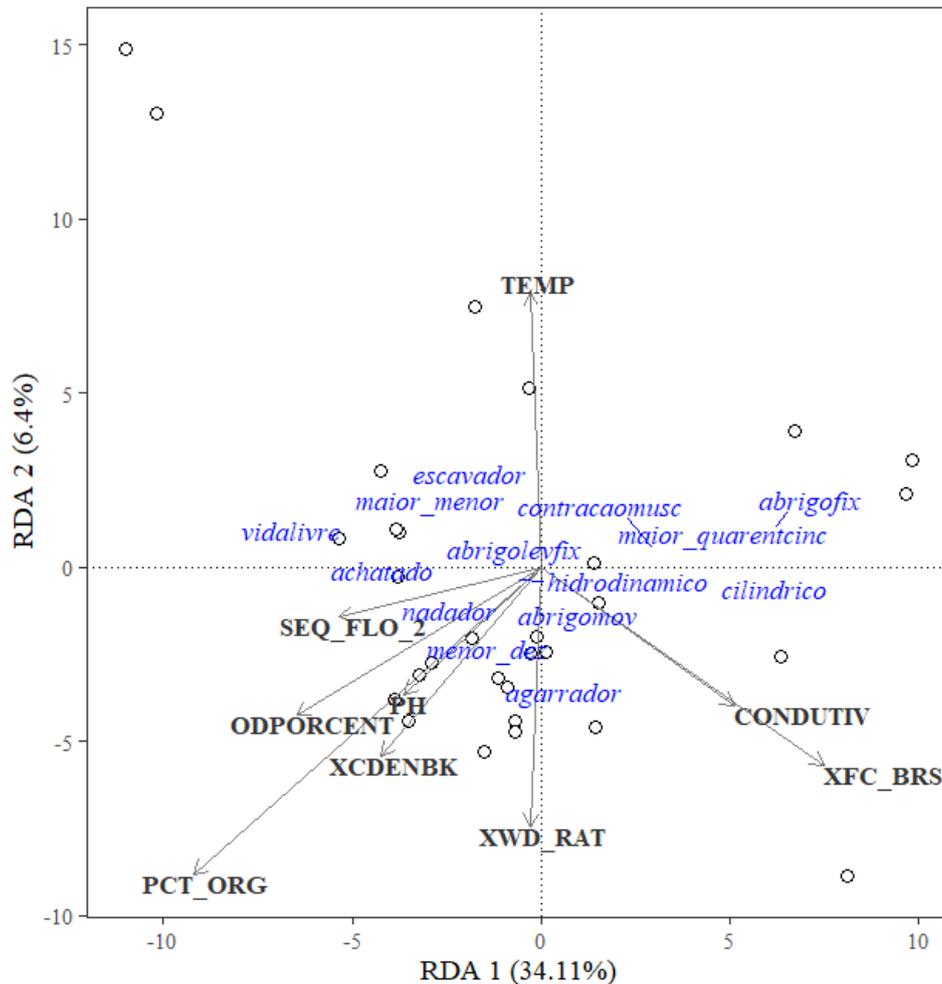


Figura 4. Biplot representando a distribuição dos traços funcionais e das variáveis ambientais. PCT_ORG: substrato matéria orgânica; XFC_BRS: média abrigo madeira pequena; SEQ_FLO_2: sequência fluxo rápido e lento; XWD_RAT: razão largura e profundidade do trecho; XCDENBK: média cobertura de dossel marginal; PH: pH; CONDUTIV: condutividade; ODORCENT: porcentagem de oxigênio dissolvido; TEMP: temperatura.

4. Discussão

Nossos resultados mostram como os traços funcionais relacionados a dispersão (formato e flexibilidade corporal, tipo de locomoção e especificações de abrigos) se relacionam com as condições ambientais que possuem efeito na distribuição das larvas de EPT. Nossa hipótese de que os traços funcionais de dispersão de larvas de EPT estão

relacionados às condições ambientais de riachos da Amazônia Oriental foi corroborada, demonstrando que a maioria dos traços, exceto formato corporal hidrodinâmico e abrigo levemente fixo, estão fortemente associados às variáveis ambientais.

Nossos resultados mostraram que a composição dos traços funcionais foi fortemente determinada pelas variáveis ambientais, assim como demonstrado em outros estudos onde as variáveis hidromorfológicas foram as mais importantes, como nutrientes e sedimentos (p.e. Ding et al. 2017). Encontramos relações entre os tipos de locomoção e todas as variáveis selecionadas no estudo (p.e. contração muscular e temperatura, matéria orgânica, oxigênio dissolvido, fluxo, cobertura de dossel, etc). Resultado semelhante foi registrado na literatura onde os tipos de locomoção foram influenciados por variáveis como fluxo e vegetação ripária (Ding et al. 2017). Em nosso estudo os nadadores foram associados somente ao tipo de fluxo e a contração muscular com um conjunto maior de variáveis como cobertura de dossel marginal, fluxo, temperatura e entre outras métricas limnológicas. Os tipos de locomoção nadador, agarrador, escavador e contração muscular são associados a ambientes de referência e com alta integridade ambiental (p.e. Tomanova et al., 2008; Dedieu et al., 2015; Miserendino et al., 2025). Apesar disso, há registro na literatura apontando que os escavadores foram subclassificados em endobentônicos ou epibentônicos, sendo o primeiro associado a mineração de ouro e o segundo em locais em que anteriormente havia tido essa atividade (Dedieu et al., 2015).

Em nosso estudo, a flexibilidade $>45^\circ$ foi negativamente associada a maior cobertura de dossel marginal e positiva ao substrato (Castro et al., 2018), além de associada a outras variáveis físico-químicas como oxigênio dissolvido e matéria orgânica. A associação de uma alta flexibilidade corporal ao substrato garante que esses organismos ocupem uma maior quantidade de espaços no sedimento (Gayraud & Philippe, 2001; Lamouroux et al., 2004; Descloux et al., 2014; Castro et al., 2018). A baixa flexibilidade ($<10^\circ$) foi correlacionada fortemente a ambientes com alta integridade ambiental em alguns estudos (Castro et al., 2018; Miserendino et al., 2025), mas em nosso estudo foi relacionada negativamente a temperatura e positiva a largura e profundidade do riacho. De forma contrastante, a flexibilidade intermediária ($>10^\circ$ e $<45^\circ$) foi associada negativamente a condutividade, substrato de madeira, largura e profundidade do riacho, mas positivamente com a temperatura.

A temperatura também estava associada a abrigos móveis e a três tipos de formatos corporais. Sabe-se que a temperatura, juntamente com outras variáveis como cobertura de dossel, fluxo e substrato, são essenciais para a estruturação do conjunto de insetos (Poff et al., 2006; Silva et al., 2014; Brasil et al., 2020; Luiza-Andrade et al., 2022). O aumento da temperatura faz com que os níveis de oxigênio dissolvido diminuam (Chessman, 2015; Ding et al., 2017), além disso, o fluxo da corrente tem influência sobre a temperatura da água e ao oxigênio dissolvido, onde águas mais correntes fazem com que a água seja mais fria e aumente os níveis de OD, podendo também determinar a composição de características funcionais (Ding et al., 2017).

Em nosso trabalho, os formatos corporais cilíndrico e achatado foram os únicos relacionados com alguma variável, cilíndrico de forma negativa a sequência de fluxo, matéria orgânica, cobertura de dossel, oxigênio dissolvido e pH, e achatado foi positivamente relacionado ao fluxo. O aparecimento do formato cilíndrico pode ter evoluído para a sobrevivência desses organismos em riachos com sub condições mais extremas e substratos instáveis, em contrapartida o fluxo pode ter sido o estressor para o aparecimento do formato hidrodinâmico na evolução de organismos lóticos (Ding et al., 2017). Os formatos corporais hidrodinâmico e achatado estão associados a locais mais preservados, enquanto cilíndrico a locais perturbados, esse resultado responde a uma diminuição de táxons hidrodinâmicos e achatados como uma resposta as alterações no fluxo da corrente (Tomanova et al., 2008).

Outro resultado que colabora com nossa suposição é que outros estudos encontraram relação dos formatos achatado com locais de mineração de ouro (Dedieu et al., 2015) e cilíndrico em alterados por ações de urbanização (Miserendino et al., 2025). Em nosso estudo, o formato hidrodinâmico não foi associado a nenhuma variável ambiental. Uma possível explicação é por termos coletado em riachos dentro de um gradiente de condições ambientais já previamente modificados por ações antrópicas e que, portanto, já teriam selecionado os mais resistentes ao longo do tempo de impacto na área. Outro motivo não excludente é o fato de que os riachos do Arquipélago do Marajó podem possuir condições ambientais peculiares, como, por exemplo, por não possuírem fluxo rápido há a formação de ambientes praticamente lênticos, o que deve influenciar a ausência do formato hidrodinâmico.

Organismos que constroem abrigos fixos ou móveis foram negativamente associados a porcentagem de matéria orgânica, cobertura de dossel, fluxo, oxigênio dissolvido, pH e temperatura. Táxons que possuem refúgios de areia e detritos estariam relacionados a riachos com alto grau de impacto devido a sedimentação, assim desenvolvendo características de resiliência e resistência (Ding et al., 2017). É esperado uma relação positiva entre uma maior cobertura de vegetação ripária e organismos com abrigos, uma vez que as condições do substrato de riachos desempenham um papel fundamental na dispersão de táxons que constroem refúgios (Castro et al., 2018). Assim, substratos heterogêneos permitem a fixação e a sobrevivência de comunidades mais biodiversas, enquanto substratos homogêneos expõem os organismos. Assim, os traços funcionais podem agir como um *proxie*, podendo ser utilizados para uma abordagem conservacionista, onde a composição das características funcionais dos táxons pode determinar a qualidade do ecossistema em que estão inseridos.

6. Agradecimentos

Agradecemos a equipe do Laboratório de Ecologia (LABECO) da Universidade Federal do Pará, pelo apoio e suporte nas coletas, triagem e identificação do material. Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPQ) (processo: 428961/2018-5) via o projeto “Diminuindo as lacunas Lineanas e Wallaceanas da biota aquática na Amazônia”; À Fundação Amazônica de Amparo a Estudos e Pesquisa do Pará – FAPESPA, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (processos: 068/2020 e 2019/25445-1), através do projeto “Padrões de distribuição da biodiversidade aquática no Estado do Pará” e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pela bolsa de estudo de mestrado para T.R. (número 88887.824464/2023-00). LJ agradece ao CNPq pela bolsa de produtividade em Pesquisa (Processo: 304710/2019-9). Agradecemos ao ICMBio e ao Programa Monitora por disponibilizar apoio logístico e suporte para a realização da coleta na RESEX do Rio Cajari. Agradecemos, em especial, aos especialistas Gabriel Cruz, Juan Mateo Rivera Pérez e Lucas Lima, que contribuíram na revisão dos traços funcionais de larvas de EPT.

Declaração de disponibilidade de dados

O conjunto de dados utilizados durante o presente estudo está disponível junto ao autor correspondente mediante solicitação.

Declarações

Conflitos de interesse: Os autores declaram que não há conflitos de interesse financeiro ou pessoal neste artigo.

7. Referências Bibliográficas

Bilton, D. T., J. R. Freeland, & B. Okamura, 2001. Dispersal in freshwater invertebrates. *Annual review of ecology and systematics* 32: 159-181. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114016>

Bonada, N., N. Prat, V. H. Resh & B. Statzner, 2006. Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. *Annual review of entomology* 51: 495-523.

<https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151124>

Bonada, N., S. Doledec & B. Statzner, 2007. Taxonomic and biological trait differences of stream macroinvertebrate communities between mediterranean and temperate regions: Implications for future climatic scenarios. *Global Change Biology* 13: 1658-1671. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01375.x>

Bowler, D. E. & T. G. Benton, 2005. Causes and consequences of animal dispersal strategies: relating individual behaviour to spatial dynamics. *Biol. Rev.* 80: 205-225. <https://doi.org/10.1017/S1464793104006645>

Brasil, 2008. Plano de Desenvolvimento Territorial Sustentável do Arquipélago do Marajó. Presidência da República, Casa Civil, Grupo Executivo Interministerial, Grupo executivo do Estado do Pará.

Brasil, L. S., N. F. da S. Giehl, J. D. Batista, B. O. de Resende & H. S. R. Cabette, 2017. Aquatic insects in organic and inorganic habitats in the streams on the Central Brazilian savanna. *Revista Colombiana de Entomología* 43: 286–291. <https://doi.org/10.25100/socolen.v43i2.5961>

Brown, J. H. & M. V. Lomolino, 2006. *Biogeography*. FUNPEC.

Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC)., (2016). APA Baía do Marajó. Ministério do Meio Ambiente. Retrieved from <https://uc.socioambiental.org/arp/1362>.

Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC)., (2022). Reserva Extrativista do Rio Cajari. Ministério do Meio Ambiente. Retrieved from <https://uc.socioambiental.org/arp/627>.

Callisto, M., C. B. M. Alves, J. de M. Lopes & M. A. de Castro, 2014. Condições ecológicas em bacias hidrográficas de empreendimentos hidrelétricos. CEMIG, Belo Horizonte.

Carlson, P. E., R. K. Johnson & B. G. McKie, 2013. Optimizing stream bioassessment: habitat, season, and the impacts of land use on benthic macroinvertebrates. *Hydrobiologia* 704: 363-373. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1251-5>

Castro, D., S. Dolédec & M. Callisto, 2018. Land cover disturbance homogenizes aquatic insect functional structure in neotropical savana streams. *Ecological Indicators* 84: 573-582. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.09.030>

Chessman, B. C., 2015. Relationships between lotic macroinvertebrate traits and responses to extreme drought. *Freshwater Biology* 60: 50-63. <https://doi.org/10.1111/fwb.12466>

- Cruz, G. M., A. P. J. Faria & L. Juen, 2022. Patterns and metacommunity structure of aquatic insects (Trichoptera) in Amazonian streams depend on the environmental conditions. *Hydrobiologia* 849: 2831-2843.
<https://doi.org/10.1007/s10750-022-04901-0>
- Da Luz Freitas, J., R. B. Lima e Silva, A. C. dos Santos, F. de O. Cruz Junior, E. S. dos Santos & M. A. Sardinha, 2017. Análise fitossociológica de fragmentos florestais da reserva extrativista do Rio Cajari, norte da Amazônia. *Revista Brasileira de Geografia Física* 10: 1875-1888. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v10.6.p1875-1888>
- Dedieu, N., M. Rhone, R. Vigouroux & R. Céréghino, 2015. Assessing the impact of gold mining in headwater streams of Eastern Amazonia using Ephemeroptera assemblages and biological traits. *Ecological Indicators* 52: 332-340.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.12.012>
- Descloux, S., T. Datry & P. Usseglio-Polatera, 2014. Trait-based structure of invertebrates along a gradient of sediment colmatation: Benthos versus hyporheos responses. *Science of the Total Environment* 466: 265-276.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.06.082>
- Ding, N., W. Yang, Y. Zhou et al, 2017. 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* 574: 288-299. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.053>
- Ditsche, P., A. P. Summers, 2014. Aquatic versus terrestrial attachment: water makes a difference. *Beilstein Journal of Nanotechnology* 5: 2424-2439. <https://doi.org/10.3762/bjnano.5.252>
- Ditsche, P., F. Hoffmann, S. Kaehlert, A. Kesel & S. Gorb, 2023. Hydrofoil-like legs help stream mayfly larvae to stay on the ground. *Journal of Comparative Physiology A* 209: 325-336. <https://doi.org/10.1007/s00359-023-01620-2>
- Domínguez, E. & H. R. Fernández, 2009. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. *Sistemática e biología*. Fundação Miguel Lillo, Tucumán, Argentina.
- Downes, B. & J. Lancaster, 2018. Itinerant, nomad or invader? A field experiment sheds light on the characteristics of successful dispersers and colonists. *Freshwater Biology* 63: 1394-1406. <https://doi.org/10.1111/fwb.13167>

Faria, A. P. J., R. Ligeiro, L. B. Calvão, X. Giam, M. A. Leibold & L. Juen, 2024. Land use types determine environmental heterogeneity and aquatic insect diversity in Amazonian streams. *Hydrobiologia* 851: 281-298.
<https://doi.org/10.1007/s10750-023-05190-x>

Funi, C. & A. Paese, 2012. Spatial and Temporal Patterns of Deforestation in Rio Cajarí Extrative Reserve, Amapá, Brazil. *PLOS ONE* 7: 12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051893>

Gayraud, S. & M. Philippe, 2001. Does subsurface interstitial space influence general features and morphological traits of the benthic macroinvertebrate community in streams? *Archiv für Hydrobiologie* 151: 667-686.
<https://doi.org/10.1127/archiv-hydrobiol/151/2001/667>

Green, A.J., A. Lovas-Kiss, C. Reynolds, et al, 2023. Dispersal of aquatic and terrestrial organisms by waterbirds: A review of current knowledge and future priorities. *Freshwater Biology* 68: 173-190.
<https://doi.org/10.1111/fwb.14038>

Hamada, N. J., Nessimian & R. Querino, 2014. *Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia*. Manaus: Editora do INPA.

Hamada, N., J. H. Thorp & D. C. Rogers, 2018. *Thorp and covich's freshwater invertebrates: Volume 3: Keys to neotropical Hexapoda*. Academic press.

Heino, J., 2015. Deconstructing occupancy frequency distributions in stream insects: effects of body size and niche characteristics in different geographical regions. *Ecological Entomology* 40: 491-499.
<https://doi.org/10.1111/een.12214>

Juen, L., E. J. Cunha, F. G. Carvalho, et al, 2016. Effects of oil palm plantations on the habitat structure and biota of streams in Eastern Amazon. *River Research and Applications* 32: 2081-2094. <https://doi.org/10.1002/rra.3050>

Lamouroux, N, S. Dolédec & S. Gayraud, 2004. Biological traits of stream macroinvertebrate communities: effects of microhabitat, reach, and basin filters. *Journal of the North American Benthological Society* 23: 449-466.
[https://doi.org/10.1899/0887-3593\(2004\)023<0449:BTOSMC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1899/0887-3593(2004)023<0449:BTOSMC>2.0.CO;2)

Lewin, I., I. Czerniawska-Kusza, K. Szoszkiewicz, A. E. Ławniczak & S. Jusik, 2013. Biological indices applied to benthic macroinvertebrates at reference conditions of mountain streams in two ecoregions (Poland, the Slovak Republic). *Hydrobiologia* 709: 183–200. <https://doi.org/10.1007/s10750-013-1448-2>

Luiza-Andrade, A., L. S. Brasil, N. L. Benone, Y. Shimano, A.P.J. Farias, L. F. Montag, S. Dolédec & L. Juen, 2017. Influence of oil palm monoculture on the taxonomic and functional composition of aquatic insect communities in eastern Brazilian Amazonia. *Ecological Indicators* 82: 478–483. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.006>

Luiza-Andrade, A., R. R. Silva, Y. Shimano, A. P. J. Faria, M. N. Cardoso, L. S. Brasil, R. Ligeiro, R. T. Martins, N. Hamada & L. Juen, 2022. Niche breadth and habitat preference of Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera (Insecta) in streams in the Brazilian Amazon. *Hydrobiologia* 849: 4287–4306. <https://doi.org/10.1007/s10750-022-04987-6>

Luiza-Andrade, A., R. R. da Silva & L. Juen, 2023. Contribution of rare genera of aquatic insects to functional diversity in streams with multiple land use in the Amazon. *Hydrobiologia* 850: 21–38. <https://doi.org/10.1007/s10750-022-05035-z>

Malmqvist, B., 2000. How does wing length relate to distribution patterns of stoneflies (Plecoptera) and mayflies (Ephemeroptera)? *Biological conservation* 93: 271–276. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(99\)00139-1](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(99)00139-1)

Menna-Barreto, T. R., A. E. Siegloch, S. Santos, T. G. dos Santos, M. A. P. Velloso & M. R. Spies, 2024. Aquatic insects in subtropical streams: the role of different grassland ecosystems and local environmental descriptors. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 96: e20230918. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202420230918>

Milesi, S. V., S. Dolédec & A.S. Melo, 2016. Substrate heterogeneity influences the trait composition of stream insect communities: an experimental in situ study. *Freshwater science* 35: 1321–1329. <https://doi.org/10.1086/688706>

Miserendino, M. L., E. A. Williams-Subiza, C. Brand, C. N. Horak & Y. A. Assef, 2025. Macroinvertebrate functional traits differed with land use practices at Patagonian streams. *Aquatic Sciences* 87: 3. <https://doi.org/10.1007/s00027-024-01129-z>

Montag, L., T.Freitas & A. Cristina, 2011. Environmental Assessment and Aquatic Biodiversity Conservation of Amazonian Savannas, Marajó Island, Brazil. *Research in Biodiversity – Models and Applications*.

Peck, D. V., A.T. Herlihy, B. H. Hill, R. M. Hughes, P. R. Kaufmann, D. J. Klemm, J. M. Lazorchak, F. H.

McCormick, S. A. Peterson, P. L. Ringold, T. Magee & M. Cappaert, 2006. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington, D.C.

Peredo Arce, A., T. Hörren, M. Schletterer & J. Kail, 2021. How far can EPTs fly? A comparison of empirical flying distances of riverine invertebrates and existing dispersal metrics. *Ecological Indicators* 125: 107465.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107465>

Pes, A. M. O., N. Hamada & J. L. Nessimian, 2005. Chaves de identificação de larvas para famílias e gêneros de Trichoptera (Insecta) da Amazônia Central, Brasil. *Revista Brasileira de Entomologia* 49: 181-204. <https://doi.org/10.1590/S0085-56262005000200002>

Poff, N. L. & J. V. Ward, 1990. Physical habitat template of lotic systems: recovery in the context of historical pattern of spatiotemporal heterogeneity. *Environmental management* 14: 629-645. <https://doi.org/10.1007/BF02394714>

Poff, N. L., J. D. Olden, N. K. M. Vieira, D. S. Finn, M. P. Simmons & B. C. Kondratieff, 2006. Functional trait niches of North American lotic insects: traits-based ecological applications in light of phylogenetic relationships. *Journal of the North American Benthological Society* 25: 730-755.

[https://doi.org/10.1899/08873593\(2006\)025\[0730:FTNONA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1899/08873593(2006)025[0730:FTNONA]2.0.CO;2)

Rabeni, C. F., K. E. Doisy & L.D. Zweig, 2005. Stream invertebrate Community functional responses to deposited sediment. *Aquatic Sciences* 67: 395-402. <https://doi.org/10.1007/s00027-005-0793-2>

Saito, V.S., J. Soininen, A. A. Fonseca-Gessner & T. Siqueira, 2015. Dispersal traits drive the phylogenetic distance decay of similarity in Neotropical stream metacommunities. *Journal of Biogeography* 42: 2101-2111.

<https://doi.org/10.1111/jbi.12577>

Santos, N. B. B., G. M. Cruz, J. S. Monteles, A. P. J. Faria, et al, 2024. Database of immature stage traits of Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera (EPT) genera for the Amazon. *Aquatic Sciences* 86: 35.
<https://doi.org/10.1007/s00027-024-01051-4>

Sarremejane, R., H. Mykrä, N. Bonada, J. Aroviita & T. Muotka, 2017. Habitat connectivity and dispersal ability drive the assembly mechanisms of macroinvertebrate communities in river networks. *Freshwater Biology* 62: 1073-1082.
<https://doi.org/10.1111/fwb.12926>

Silva, D. R. O., R. Ligeiro, R. M. Hughes & M. Callisto, 2014. Visually determined stream mesohabitats influence benthic macroinvertebrate assessments in headwater streams. *Environmental monitoring and assessment* 186: 5479-5488. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3797-3>

Shimano, Y. & L. Juen, 2016. How oil palm cultivation is affecting mayfly assemblages in Amazon streams. *Annales De Limnologie-International Journal of Limnology* 52: 35-45. <https://doi.org/10.1051/limn/2016004>

Shimano, Y., M. Cardoso & L. Juen, 2018. Ecological studies of mayflies (Insecta, Ephemeroptera): Can sampling effort be reduced without losing essential taxonomic and ecological information? *Acta Amazonica* 48: 137-145.
<https://doi.org/10.1590/1809-4392201700583>

Shimano, Y., D. S. Nogueira & L. Juen, 2021. Environmental variation in Amazonian interfluves and its effects on local mayfly assemblages. *Hydrobiologia* 848: 4075-4092. <https://doi.org/10.1007/s10750-021-04626-6>

Tomanova, S., N. Moya & T. Oberdorff, 2008. Using macroinvertebrate biological traits for assessing biotic integrity of neotropical streams. *River research and applications* 24: 1230-1239. <https://doi.org/10.1002/rra.1148>

Veríssimo, M. E. S., C. R. Medeiros & J. Molozzi, 2024. The dispersal potential of benthic macroinvertebrates is influenced by factors acting at small spatial scales in tropical estuaries. *Hydrobiologia* 851:4503-4520.
<https://doi.org/10.1007/s10750-024-05603-5>

Viana, D. S., J. Figuerola, K. Schwenk, M. Manca, A. Hobæk, M. Mjelde, C. D. Preston, R. J. Gornall, J. M. Croft, R. A. King, A. J. Green & L. Santamaría, 2016. Assembly mechanisms determining high species turnover in aquatic communities over regional and continental scales. *Ecography* 39: 281-288. <https://doi.org/10.1111/ecog.01231>

Material suplementar

Tabela 1. Banco de dados com codificação Fuzzy dos traços funcionais de gêneros amostrados no presente estudo com base em Santos et al., 2024 e consulta a especialistas (ver em Agradecimentos).

Táxon	Formato Corporal				Tipo de Locomoção			Flexibilidade Corporal				Tipo de Abrigo		
	Hidrodinâmico	Cilíndrico	Achatado	Agarrador	Contração Muscular	Escavador	Nadador	<10°	>10° e <45°	>45°	Vida livre	Móvel	Fixo	Levemente Fixo
<i>Askola</i>	25	0	75	8	38	24	30	0	47	53	100	0	0	0
<i>Aturbina</i>	0	100	0	29	29	0	43	0	25	75	100	0	0	0
<i>Brasilocaenis</i>	0	0	100	0	0	100	0	0	100	0	100	0	0	0
<i>Caenis</i>	0	0	100	29	43	29	0	0	50	50	100	0	0	0
<i>Callibaetis</i>	100	0	0	40	0	0	60	0	25	75	100	0	0	0
<i>Callibaetoides</i>	50	50	0	0	0	0	100	0	0	100	100	0	0	0
<i>Campsurus</i>	0	100	0	0	25	75	0	0	25	75	0	0	0	100
<i>Campylocia</i>	0	0	100	29	29	43	0	0	50	50	100	0	0	0
<i>Cloeodes</i>	40	60	0	29	43	0	29	0	25	75	100	0	0	0
<i>Coryphorus</i>	0	0	100	0	0	100	0	0	0	100	100	0	0	0
<i>Cryptonympha</i>	0	100	0	29	29	14	29	0	25	75	100	0	0	0
<i>Farrodes</i>	25	0	75	29	29	0	43	0	0	100	100	0	0	0

<i>Hagenulopsis</i>	25	0	75	0	33	67	0	0	47	53	100	0	0	0
<i>Hydrosmilodon</i>	25	0	75	0	25	75	0	0	47	53	100	0	0	0
<i>Microphlebia</i>	0	0	100	0	100	0	0	0	100	0	100	0	0	0
<i>Miroculis</i>	25	0	75	0	50	0	50	0	47	53	100	0	0	0
<i>Paracloeodes</i>	40	60	0	17	50	0	33	0	25	75	100	0	0	0
<i>Paramaka</i>	25	0	75	0	60	0	40	0	47	53	100	0	0	0
<i>Simothraulopsis</i>	25	0	75	0	50	0	50	0	47	53	100	0	0	0
<i>Terpides</i>	0	100	0	29	22	33	29	0	67	33	100	0	0	0
<i>Thraulodes</i>	25	0	75	29	29	14	29	0	75	25	100	0	0	0
<i>Traverhyphes</i>	0	0	100	100	0	0	0	0	50	50	100	0	0	0
<i>Tricorythopsis</i>	0	0	100	100	0	0	0	0	50	50	100	0	0	0
<i>Ulmeritoides</i>	25	0	75	8	38	24	30	0	47	53	100	0	0	0
<i>Waltzoyphius</i>	100	0	0	29	43	0	29	0	25	75	100	0	0	0
<i>Anacroneuria</i>	0	0	100	33	50	0	17	50	50	0	100	0	0	0
<i>Macrogynoplax</i>	0	0	100	33	50	0	17	50	50	0	100	0	0	0
<i>Amazonatolica hamadae</i>	0	100	0	0	50	50	0	0	0	100	0	100	0	0
<i>Cernotina</i>	0	100	0	0	100	0	0	0	0	100	0	0	100	0
<i>Chimarra</i>	0	100	0	50	50	0	0	0	0	100	0	0	100	0

<i>Cyrnellus</i>	0	100	0	100	0	0	0	0	0	100	0	0	100	0
<i>Helicopsyche</i>	0	0	100	100	0	0	0	50	50	0	0	100	0	0
<i>Leptonema</i>	0	100	0	50	33	0	17	0	0	100	0	0	100	0
<i>Macronema</i>	0	100	0	100	0	0	0	0	0	100	0	0	100	0
<i>Macrostemum</i>	0	100	0	100	0	0	0	0	50	50	0	0	100	0
<i>Marilia</i>	0	100	0	0	50	50	0	75	25	0	0	100	0	0
<i>Nectopsyche</i>	0	100	0	33	50	17	0	75	25	0	0	100	0	0
<i>Oecetis</i>	0	100	0	50	50	0	0	75	25	0	0	100	0	0
<i>Phylloicus</i>	0	100	0	25	75	0	0	50	50	0	0	100	0	0
<i>Polypectropus</i>	0	100	0	100	0	0	0	0	0	100	0	0	100	0
<i>Smicridea</i>	0	100	0	50	33	0	17	0	0	100	0	0	100	0
<i>Triplectides</i>	0	100	0	0	100	0	0	75	25	0	0	100	0	0

Elaborada pela autora

Tabela 2. Abundância e ocorrência dos gêneros de EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) nos riachos do Arquipélago do Marajó e da RESEX do Rio Cajari

Ordem	Família	Gênero	Abundância	
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Aturbina</i>	15	
		<i>Americabaetis</i>	2	
		<i>Callibaetis</i>	28	
		<i>Callibaetoides</i>	1	
		<i>Cloeodes</i>	3	
		<i>Cryptonympha</i>	4	
		<i>Paracloeodes</i>	2	
		<i>Waltzoyphius</i>	41	
		Caenidae	<i>Brasilocaenis</i>	60
			<i>Caenis</i>	6
	<i>Coryphorus</i>		2	
	Coryphoridae	<i>Coryphorus</i>	2	
	Eythyplociidae	<i>Campylocia</i>	216	
	Leptohiphidae	<i>Tricorythopsis</i>	4	
		<i>Traverhypes</i>	1	
	Leptophlebiidae	<i>Askola</i>	7	
		<i>Farrodes</i>	16	
		<i>Hagenulopsis</i>	32	
		<i>Hydrosmilodon</i>	4	
		<i>Microphlebia</i>	7	
		<i>Miroculis</i>	464	
		<i>Paramaka</i>	3	
		<i>Simothraulopsis</i>	44	
<i>Terpides</i>		2		
<i>Thraulodes</i>		4		
<i>Ulmeritoides</i>	15			
	Polymitarcyidae	<i>Campsurus</i>	6	
Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	380	

		<i>Macrogynoplax</i>	169
Trichoptera	Calamoceratidae	<i>Phylloicus</i>	162
	Helicopsychidae	<i>Helicopsyche</i>	78
	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	166
		<i>Macronema</i>	142
		<i>Macrostemum</i>	86
		<i>Smicridea</i>	475
		Leptoceridae	<i>Amazonatolica hamadae</i>
		<i>Nectopsyche</i>	1
		<i>Oecetis</i>	5
		<i>Triplectides</i>	67
	Odontoceridae	<i>Marilia</i>	49
	Philopotamidae	<i>Chimarra</i>	135
	Polycentropodidae	<i>Cernotina</i>	106
		<i>Cyrnellus</i>	2
		<i>Polypsectropus</i>	24
			3.038

Elaborado pela autora.

Capítulo 2

**Potencial dispersivo de larvas de EPT
(Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera) em
riachos da Amazônia Oriental**

O capítulo 2 desta dissertação foi elaborado e formatado conforme as normas da publicação científica da *Neotropical Entomology*, as quais se encontram em anexo (Anexo 2)

Potencial dispersivo de larvas de EPT (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera) em riachos da Amazônia Oriental

Thaiz Ramos^{1,2*}, Leandro Juen^{1,2}, Ricardo Koroiva^{1,3}

¹Programa de Pós-Graduação em Zoologia, Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências Biológicas, Rua Augusto Corrêa, 1, Guamá, Belém, PA, Brazil

²Laboratório de Ecologia e Conservação, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 1, Guamá, Belém, PA, Brazil

³Departamento de Engenharia e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, Av. Santa Elizabeth, s/n, Centro, Rio Tinto, PB, Brazil

*Corresponding author: thaiz_mramos@hotmail.com

ORCID IDs:

TR: 0000-0002-6493-9047

LJ: 0000-0002-6188-4386

RK: 0000-0002-6658-0824

***Artigo será submetido no periódico *Neotropical Entomology*, após a incorporação das sugestões da banca avaliadora**

Resumo

A dispersão de invertebrados pode ser avaliada indiretamente, utilizando características morfológicas e ecológicas como *proxies* ou por meio de consultas a especialistas. Nosso estudo teve como objetivos classificar gêneros de EPT (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera) quanto à capacidade de dispersão e verificar se essa capacidade é refletida na sua abundância e ocorrência na Amazônia Oriental. Coletamos amostras em 32 igarapés, 14 no Marajó, PA, e 18 na RESEX Cajari, AP. Nossos resultados indicaram que a abundância e a ocorrência dos gêneros de EPT não foram influenciadas pela capacidade de dispersão, sugerindo que outros fatores podem influenciar essa distribuição. As larvas de Ephemeroptera apresentaram um potencial dispersivo mais elevado em comparação às outras ordens do estudo, enquanto os gêneros de Plecoptera apresentaram baixa e mediana capacidade de dispersão. Já os gêneros de Trichoptera abrangeram diferentes valores, com potencial dispersivo variando de 0 (baixo) a 1 (alto). Deste modo, demonstramos que, não necessariamente, organismos com maior capacidade de dispersão estarão presentes em mais locais, no entanto, a complexidade do assunto e a falta de informação das espécies neotropicais promovem limitações para conclusões mais amplas, indicando novas questões a serem avaliadas na distribuição de EPT na região amazônica e neotropical.

Palavras-chave: dispersão, capacidade de dispersão, insetos aquáticos, traço funcional.

1. Introdução

A capacidade de dispersão pode ser mensurada diretamente na natureza, observando e marcando o deslocamento dos indivíduos das espécies, mas, para organismos pequenos, como os invertebrados, a forma mais frequente é de forma indireta, inferindo sobre esse processo utilizando características morfológicas e ecológicas das espécies como *proxies* para realizar estimativas desse potencial (Heino et al. 2017; Sarramejane et al. 2020) ou ainda, por meio de observações e consultas a especialistas (Peredo Arce et al. 2021). Macroinvertebrados aquáticos e semiaquáticos possuem diversos modos de dispersão, podendo ter diferentes estratégias ao longo do seu ciclo de vida (Sarramejane et al. 2020).

Os insetos aquáticos na sua fase imatura podem dispersar-se de forma ativa pela água, devido ao seu tipo de locomoção, ou de forma passiva, tendo elevada capacidade de deriva em ambientes lóticos, enquanto na sua fase adulta dispersam-se através do voo ou do vento (Viana et al. 2016; Sarramejane et al. 2020; Luiza-Andrade et al. 2023). No entanto, o estudo da dispersão de insetos aquáticos é difícil devido a onipresença desses organismos no ambiente, dificultando na determinação de onde e como eles chegaram a um determinado local (Graham et al. 2017). Apesar de existirem alguns estudos referentes a dispersão aérea de EPT (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera) (por exemplo, Malmqvist 2000; Müller-Peddinghaus e Hering 2013; Peredo Arce et al. 2021; Gerber et al. 2023), o conhecimento sobre a dispersão larval é ainda escasso.

Estudos anteriores (Tomanova et al. 2008; Dedieu et al. 2015; Ding et al. 2017; Castro et al. 2018; Miserendino et al. 2025) têm demonstrado que traços funcionais de dispersão nas larvas de EPT como formato corporal, flexibilidade corporal, tipo de abrigo e tipo de locomoção podem ser influenciados por fatores ambientais, como velocidade da corrente, substrato do leito do riacho e disponibilidade de abrigo. Esses traços biológicos e ecológicos podem servir como *proxies* para medir a capacidade de dispersão dos organismos (Heino et al. 2017; Sarramejane et al. 2020). No entanto, a relação específica entre esses traços e a capacidade de dispersão foi observada somente em regiões temperadas da Europa (Sarramejane et al. 2017, 2020), sendo incipiente esse tipo de estudo para a região tropical e amazônica.

O grupo EPT, composto por insetos aquáticos das ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera, possuem diferentes estratégias de dispersão dependendo de características que contribuem para o potencial dispersivo (Peredo Arce et al. 2023), como o tipo de locomoção, o formato corporal, o tipo de abrigo e a flexibilidade corporal (Rabení et al. 2005; Castro et al. 2018; Luiza-Andrade et al. 2023; Santos et al. 2024). Assim, as distâncias percorridas e a capacidade de dispersão das espécies diferem muito (Peredo Arce et al. 2021). O potencial dispersivo das espécies de macroinvertebrados, mais especificamente EPT, já foi calculado anteriormente através da Métrica de Capacidade de Dispersão (DCM) (Li et al. 2016), no entanto os autores não utilizaram traços funcionais para determinar o valor para cada táxon. Outros pesquisadores desenvolveram o banco de dados “DISPERSE”, utilizando traços funcionais de

dispersão de macroinvertebrados aquáticos (Sarramejane et al. 2020). Ambos trabalhos abrangem somente a biodiversidade europeia.

Neste sentido, os objetivos deste estudo foram (1) classificar os gêneros de larvas de EPT quanto a sua capacidade de dispersão (fraco ou forte dispersor) através de traços funcionais (formato coporal, flexibilidade corporal, tipo de locomoção e tipo de abrigo) e consulta a especialistas e (2) avaliar se o potencial dispersivo é refletido na presença e abundância dos gêneros em riachos da Amazônia Oriental. Especificamente, espera-se que os gêneros com maior capacidade de dispersão sejam mais abundantes e estejam presentes em mais riachos, enquanto gêneros com menor capacidade de dispersão sejam menos abundantes e ocorram em menos riachos.

2. Material e Métodos

2.1. Áreas de estudo

As coletas dos exemplares de EPT foram realizadas em 32 igarapés, 14 na Área de Proteção Ambiental (APA) Arquipélago do Marajó e 18 na Reserva Extrativista (RESEX) do Rio Cajari (figura 1). A APA Arquipélago do Marajó está localizada no norte do Estado do Pará, com uma área de 5.998.570 ha, situado na foz do rio Amazonas, sendo influenciado por outros rios e pelas marés oceânicas (CNUC 2016). A vegetação é Floresta Ombrófila Densa, com ecossistemas de igapó, terra firme, várzea e campos naturais (BRASIL 2007). A RESEX do Rio Cajari está localizada no Sul do Estado do Amapá, possuindo uma área de 532.397,20 ha, sendo margeada pelo Amazonas e pela rodovia federal BR156 não pavimentada (CNUC 2022). A vegetação é Floresta Ombrófila Densa, com florestas e campos de várzea e florestas de terra firme, cerrado e áreas de transição (Da Luz Freitas et al. 2017). O clima de ambas as Unidades de Conservação é tropical úmido (Af) e tropical úmido de monção (Am), com precipitação média anual maior do que 2.000 mm e temperatura média anual de 26°C (BRASIL 2007; Da Luz Freitas et al. 2017; CNUC 2022).

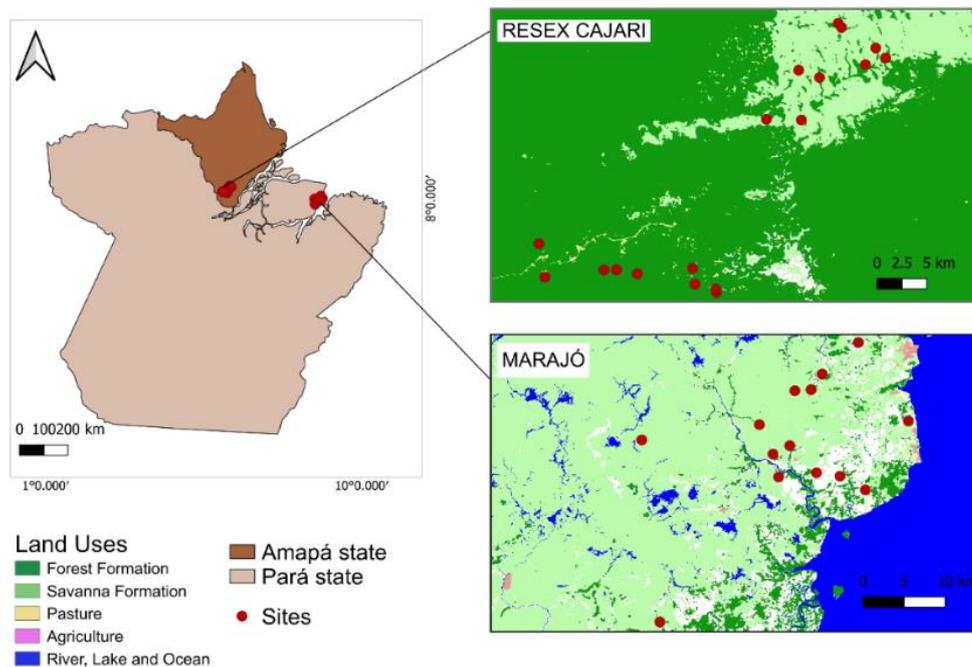


Figura 1. Mapas das áreas de amostragem de larvas de EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera). RESEX do Rio Cajari, Amapá e Arquipélago do Marajó, Pará.

2.2. Amostragem e triagem de EPT

As coletas ocorreram em outubro de 2022 e junho de 2023 no Arquipélago do Marajó e em outubro de 2023 na RESEX do Rio Cajari. O projeto foi realizado com autorização junto ao SISBIO/ICMBio (Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade) (autorização número 32538-2).

Seguindo a metodologia de Shimano et al. (2018), em cada igarapé foi demarcado um transecto de 150 m, dividido em 10 seções de 15 m cada (figura 2). As larvas de EPT foram coletadas com rapiché de 18 cm de diâmetro e 0,250 mm de abertura da malha. Foram realizadas quatro subamostras por seção, buscando contemplar os diferentes substratos e microhabitats existentes. O material coletado foi triado em campo com bandejas e pinças e depositados em tubos Falcon com álcool 85%. Em laboratório, as larvas foram examinadas através do estereomicroscópio e identificadas a nível de gênero utilizando bibliografia especializada (Pes et al. 2005; Domínguez e Fernández 2009; Hamada et al. 2014; Hamada et al. 2018).

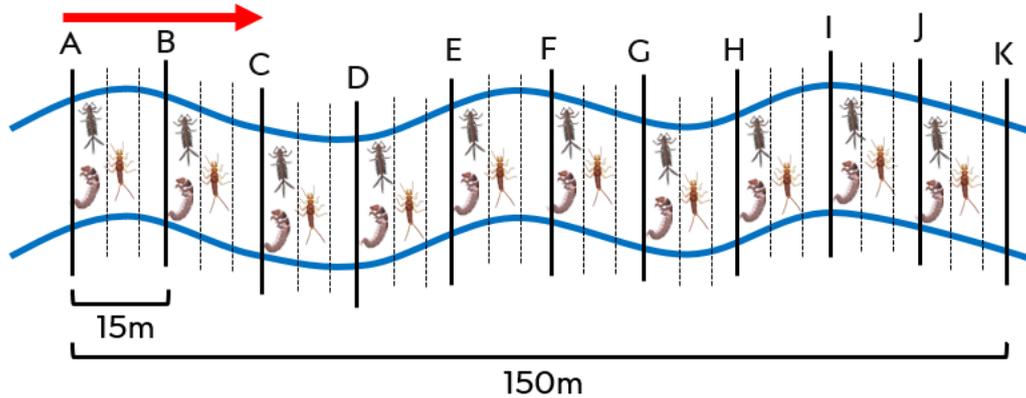


Figura 2. Diagrama esquemático da amostragem de larvas de EPT em um transecto de 150 metros em cada riacho. A seta vermelha representa a direção jusante-montante em que a coleta é realizada.

2.3. Capacidade de dispersão

Para determinar a capacidade de dispersão dos gêneros de EPT foi aplicada a Métrica de Capacidade de Dispersão (DCM) adaptada de Li et al. (2016). Essa métrica calcula a capacidade de dispersão para os quatro modos de dispersão: ativo aquático (aqa), passivo aquático (aqp), ativo aéreo (aea) e passivo aéreo (aep). No entanto, neste estudo adaptamos somente para larvas (DCMa), estabelecendo os modos de dispersão ativo aquático (aqa) e passivo aquático (aqp).

Para cada gênero de EPT foi definida uma pontuação de 0 a 3, baseada em dados da literatura referentes a características funcionais relacionadas a dispersão de larvas de EPT (p.e. Rabení et al. 2005; Castro et al. 2018; Luiza-Andrade et al. 2023; Santos et al. 2024) (tabela 1) e consultas à especialistas (veja em Agradecimentos). Os valores para os gêneros *Caenis*, *Chimarra* e *Oecetis* foram baseados nos dados de Li et al. (2016) que reportaram a ocorrência para a Europa. Para padronizar a métrica, a soma final de cada gênero foi definida com um intervalo entre 0 e 1 (mínimo-máximo), sendo classificado o gênero com menor pontuação (min_c) e o gênero com maior pontuação (max_c). Assim, o pior dispersor foi representado com a pontuação 0 e o melhor dispersor com a pontuação 1 (equação 1).

Tabela 1. Traços funcionais associados à dispersão de larvas de EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera).

Grupo do traço	Traço	Categoria	Relação com a dispersão	Referências
Morfologia	Formato	Hidrodinâmico	O formato corporal pode influenciar a	Ditsche e
	Corporal	Cilíndrico	ocorrência da deriva aquática ou a	Summers
		Achatado	sustentação no substrato, pois	2014; Ditsche
			determina a resiliência do organismo	et al. 2023;

ao fluxo da corrente. Corpos achatados reduzem o efeito da corrente sobre o indivíduo. Já corpos hidrodinâmicos e cilíndricos podem ser facilmente transportados pela corrente.

Flexibilidade Corporal	<10° >10° e <45° >45°	Devido a sua agilidade, indivíduos com maior flexibilidade conseguem chegar a mais locais, e livrar-se de predadores e obter alimentos.	Castro et al., 2018; Santos et al., 2024.
------------------------	-----------------------------	---	---

Tipo de Abrigo	Vida Livre Abrigo Móvel Abrigo Fixo Abrigo Levemente Fixo	A presença de organismos que constroem abrigos indica os recursos disponíveis no ambiente. Assim, as condições do substrato irão contribuir para a abundância e a distribuição desses organismos.	Rabení et al. 2005; Santos et al. 2024.
----------------	--	---	---

Ecologia	Tipo de Locomoção	Agarrador Contração Muscular Escavador Nadador	A relação do tipo de locomoção com o substrato está associada diretamente com a dispersão e colonização dos organismos. Por exemplo, a deposição de sedimentos finos pode favorecer organismos escavadores, e com essa deposição haveria uma diminuição do fluxo da corrente, favorecendo organismos nadadores.	Castro et al. 2018; Luiza-Andrade et al. 2023.
----------	-------------------	---	---	--

Elaborada pela autora.

Equação 1. Métrica de Capacidade de Dispersão adaptada (DCMa) de Li et al. (2016). aqa_i = modo de dispersão ativo aquático do gênero; aqp_i = modo de dispersão passivo aquático do gênero; $mín_c$ = gênero com menor somatório; $máx_c$ = gênero com maior somatório.

$$DCMa = \frac{(aqa_i + aqp_i) - mín_c}{máx_c - mín_c}$$

2.4. Análise de dados

No nosso estudo, cada gênero foi considerado uma unidade amostral, totalizando 43 amostras. Para avaliar a relação entre DCMa e a abundância de larvas de EPT e entre DCMa e a ocorrência dos gêneros nos riachos, aplicamos duas regressões simples. Nossa variável explanatória foram os valores de DCMa para cada gênero e as variáveis respostas foram a abundância e a ocorrência de larvas de EPT. Em ambas as regressões testamos os pressupostos de independência e homogeneidade das variâncias. As análises foram realizadas no programa estatístico R versão 4.3.1.

3. Resultados

Foram coletados 3.038 indivíduos de EPT, representados por 43 gêneros, sendo Ephemeroptera com 26 gêneros, Plecoptera com dois e Trichoptera com 15. Ephemeroptera foi representada por sete famílias: Baetidae (8 gêneros), Caenidae (2), Coryphoridae (1), Euthyplociidae (1), Leptohiphidae (2), Leptophlebiidae (11) e Polymitarciidae (1). Trichoptera também foi representada por sete famílias: Calamoceratidae (1), Helicopsychidae (1), Hydropsychidae (4), Leptoceridae (4), Odontoceridae (1), Philopotamidae (1) e Polycentropodidae (3). Plecoptera foi representada apenas pela família Perlidae (2) (tabela 2).

Tabela 2. Abundância e ocorrência dos gêneros de EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) nos riachos do Arquipélago do Marajó e da RESEX do Rio Cajari

Ordem	Família	Gênero	Abundância	Ocorrência
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Aturbina</i>	15	7
		<i>Americabaetis</i>	2	1
		<i>Callibaetis</i>	28	5
		<i>Callibaetoides</i>	1	2
		<i>Cloeodes</i>	3	2

		<i>Cryptonympha</i>	4	3
		<i>Paracloeodes</i>	2	1
		<i>Waltzoyphius</i>	41	3
Caenidae		<i>Brasilocaenis</i>	60	13
		<i>Caenis</i>	6	6
Coryphoridae		<i>Coryphorus</i>	2	2
Eythyplociidae		<i>Campylocia</i>	216	10
Leptohyphidae		<i>Tricorythopsis</i>	4	2
		<i>Traverhyphes</i>	1	1
Leptophlebiidae		<i>Askola</i>	7	4
		<i>Farrodes</i>	16	9
		<i>Hagenulopsis</i>	32	13
		<i>Hydrosmilodon</i>	4	3
		<i>Microphlebia</i>	7	4
		<i>Miroculis</i>	464	22
		<i>Paramaka</i>	3	3
		<i>Simothraulopsis</i>	44	12
		<i>Terpides</i>	2	1
		<i>Thraulodes</i>	4	1
		<i>Ulmeritoides</i>	15	3
Polymitarcyidae		<i>Campsurus</i>	6	3
Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	380	13
		<i>Macrogynoplax</i>	169	9
Trichoptera	Calamoceratidae	<i>Phylloicus</i>	162	14
	Helicopsychidae	<i>Helicopsyche</i>	78	11
	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	166	16
		<i>Macronema</i>	142	16
		<i>Macrostemum</i>	86	15
		<i>Smicridea</i>	475	20

Leptoceridae	<i>Amazonatolica</i>		
	<i>hamadae</i>	2	2
	<i>Nectopsyche</i>	1	1
	<i>Oecetis</i>	5	3
	<i>Triplectides</i>	67	8
Odontoceridae	<i>Marilia</i>	49	5
Philopotamidae	<i>Chimarra</i>	135	13
Polycentropodidae	<i>Cernotina</i>	106	16
	<i>Cyrnellus</i>	2	1
	<i>Polyplectropus</i>	24	5
		3.038	

Elaborado pela autora.

Os gêneros de EPT com maior potencial dispersivo (DCMa=1) foram *Americabaetis*, *Callibaetoides* e *Terpides* (Ephemeroptera) e *Leptonema*, *Macronema*, *Macrostemum* e *Smicridea* (Trichoptera) e com menor potencial dispersivo (DCMa=0) foram *Oecetis* e *Chimarra* (Trichoptera). Ephemeroptera compreendeu a maior quantidade de gêneros com DCMa acima de 0.50 (24 gêneros de 26), três gêneros tiveram DCMa=1, 10 com DCMa=0.75, 11 com DCMa=0.50 e somente dois gêneros com DCMa=0.25, sendo esses dois gêneros integrantes da família Caenidae (*Brasilocaenis* e *Caenis*). Plecoptera compreendeu apenas dois gêneros, sendo *Anacroneuria* com capacidade de dispersão mediana (DCMa=0.50) e *Macrogynoplax* com capacidade de dispersão baixa (DCMa=0.25). Para Trichoptera, quatro gêneros tiveram DCMa=1, seis com DCMa=0.50, três com DCMa=0.25 e dois com DCMa=0 (tabela 3).

Tabela 3. DCMa (Métrica de Capacidade de Dispersão adaptada) dos gêneros de EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) amostrados em riachos do Arquipélago do Marajó e da RESEX do Rio Cajari.

Ordem	Família	Gênero	Dispersão		DCMa
			Ativa	Passiva	
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Americabaetis</i>	3	3	1.00
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Callibaetoides</i>	3	3	1.00
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	<i>Terpides</i>	3	3	1.00

Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	3	3	1.00
Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Macronema</i>	3	3	1.00
Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Macrostemum</i>	3	3	1.00
Trichoptera	Hydropsychidae	<i>Smicridea</i>	3	3	1.00
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Aturbina</i>	3	2	0.75
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Callibaetis</i>	3	2	0.75
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Cloeodes</i>	3	2	0.75
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Cryptonympha</i>	3	2	0.75
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Paracloeodes</i>	3	2	0.75
Ephemeroptera	Baetidae	<i>Waltzoyphius</i>	3	2	0.75
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	<i>Hagenulopsis</i>	3	2	0.75
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	<i>Hydrosmilodon</i>	3	2	0.75
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	<i>Paramaka</i>	3	2	0.75
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	<i>Simothraulopsis</i>	3	2	0.75
Ephemeroptera	Coryphoridae	<i>Coryphorus</i>	2	2	0.50
Ephemeroptera	Eythyplociidae	<i>Campylocia</i>	3	1	0.50
Ephemeroptera	Leptohyphidae	<i>Tricorythopsis</i>	2	2	0.50
Ephemeroptera	Leptohyphidae	<i>Traverhyphes</i>	2	2	0.50
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	<i>Askola</i>	3	1	0.50
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	<i>Farrodes</i>	3	1	0.50
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	<i>Microphlebia</i>	2	2	0.50
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	<i>Miroculis</i>	2	2	0.50
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i>	3	1	0.50
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	<i>Ulmeritoides</i>	3	1	0.50
Ephemeroptera	Polymitarcyidae	<i>Campsurus</i>	2	2	0.50
Plecoptera	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	2	2	0.50
Trichoptera	Leptoceridae	<i>Amazonatolica</i>	2	2	0.50
		<i>hamadae</i>			
Trichoptera	Leptoceridae	<i>Nectopsyche</i>	2	2	0.50
Trichoptera	Leptoceridae	<i>Triplectides</i>	2	2	0.50

Trichoptera	Odontoceridae	<i>Marilia</i>	2	2	0.50
Trichoptera	Polycentropodidae	<i>Cernotina</i>	2	2	0.50
Trichoptera	Polycentropodidae	<i>Cynellus</i>	2	2	0.50
Ephemeroptera	Caenidae	<i>Brasilocaenis</i>	1	2	0.25
Ephemeroptera	Caenidae	<i>Caenis</i>	1	2	0.25
Plecoptera	Perlidae	<i>Macrogynoplax</i>	2	1	0.25
Trichoptera	Calamoceratidae	<i>Phylloicus</i>	2	1	0.25
Trichoptera	Helicopsychidae	<i>Helicopsyche</i>	2	1	0.25
Trichoptera	Polycentropodidae	<i>Polyplectropus</i>	1	2	0.25
Trichoptera	Leptoceridae	<i>Oecetis</i>	1	1	0.00
Trichoptera	Philopotamidae	<i>Chimarra</i>	1	1	0.00

Elaborada pela autora.

A hipótese de que a capacidade de dispersão de larvas de EPT seria refletida através da abundância e da ocorrência dos gêneros, onde gêneros com maior DCMa estariam em maior abundância e em mais riachos e os com menor DCMa estariam em menor abundância e presentes em menos riachos, não foi corroborada. As regressões não mostraram relação estatisticamente significativa entre DCMa e abundância ($F_{1,41}=0.042$; $p=0.839$) e entre DCMa e ocorrência ($F_{1,41}=0.07$; $p=0.793$).

4. Discussão

Nossos resultados mostraram que a abundância e a ocorrência das larvas de EPT não refletem a capacidade de dispersão dos gêneros. Nossa hipótese de que gêneros com maior ou menor potencial dispersivo estão em mais ou menos locais, respectivamente, não foi corroborada. Esse resultado demonstra que, não necessariamente, organismos com maior capacidade de dispersão estarão presentes em mais locais.

Em nossos resultados visualizamos que os gêneros de Ephemeroptera tiveram os maiores valores de dispersão entre o grupo EPT. Esta definição pode ser devido ao traço de abrigo, onde todos os gêneros encontrados, exceto *Campsurus*, são de vida livre. Além disso, a presença de brânquias pode auxiliar no deslocamento. Os únicos gêneros com dispersão menor que 0.50 foram *Brasilocaenis* e *Caenis*, ambos da família Caenidae e ambos com o formato corporal achatado, que proporciona maior estabilidade contra a deriva aquática (Ditsche e Summers, 2014; Ditsche et al. 2023), e com todos os tipos de locomoção (agarrador, escavador e contração muscular), exceto nadador, o que também pode

auxiliar na sustentação no substrato (Ditsche et al. 2023), não sofrendo tanto com o fluxo da corrente. Esse resultado também foi demonstrado em outro estudo sobre potencial dispersivo, utilizando a dispersão de larvas e adultos (Li et al. 2016).

Como corroborado pelos especialistas consultados (veja em Agradecimentos), o potencial dispersivo de Plecoptera demonstrou ser mediano e baixo (*Anacroneuria* e *Macrogynoplax*, respectivamente), os gêneros possuem o corpo achatado facilitando sua permanência em ambientes de grande fluxo. Além disso, sabe-se que esses organismos agarram-se ao substrato, geralmente em rochas, no entanto, quando estão em suspensão para predação e/ou deslocamento são considerados bons nadadores. Para Trichoptera, os valores do DCMa foram bem distribuídos, com potencial dispersivo variando entre 0 e 1. Os gêneros com o potencial dispersivo mais alto foram da família Hydropsychidae (*Leptonema*, *Macronema*, *Macrostemum* e *Smicridea*), os indivíduos desses gêneros constroem redes fixas facilitando sua locomoção, visto que não há um abrigo de areia ou pedras para ser carregado durante o movimento. Em nosso estudo, *Chimarra* (Philopotamidae) e *Oecetis* (Leptoceridae) foram classificados com potencial dispersivo baixo, outro estudo já havia tido esse mesmo resultado, no entanto, considerou também a dispersão passiva e ativa dos adultos dos gêneros (Li et al. 2016).

A complexidade do assunto e a falta de informação das espécies neotropicais promovem limitações para conclusões mais amplas. Entre os pontos em aberto, existem trabalhos que determinaram ou valorizam o papel dos traços funcionais como *proxies* para a dispersão na região neotropical (p.e. Castro et al. 2018; Luiza-Andrade et al. 2022; Santos et al. 2024), no entanto poucos são os que medem diretamente o potencial dispersivo de cada gênero e ainda assim são encontrados trabalhos apenas para outras regiões geográficas (p.e. Li et al. 2016; Sarramejane et al. 2017, 2020; ambos para a Europa). Assim, optamos por determinar o potencial dispersivo de cada táxon seguindo trabalhos mais gerais sobre dispersão e traços funcionais relacionados, entrando em contato com especialistas de cada ordem.

Outra limitação é a falta de conhecimento sobre o papel da dispersão aérea para as espécies da região. Sabe-se que os organismos adultos alados tendem a dispersar-se a montante para compensar a deriva aquática (Kopp et al. 2001; Peredo Arce et al. 2021), por isso, estudos que foquem no quão dispersivos são os adultos em comparação com as larvas também podem ser interessantes para o esclarecimento quanto a dispersão geral de EPT. Mesmo com estas questões em aberto, nosso trabalho demonstra um avanço para o conhecimento quanto ao potencial dispersivo de cada gênero de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera para a Amazônia Oriental, podendo ser utilizado em trabalhos de restauração de habitats degradados e alterados, como aplicado em outros estudos europeus (p.e. Li et al. 2016; Gillmann et al. 2024).

5. Conclusões

Em nosso estudo avaliamos se o potencial dispersivo (DCMa) de cada gênero de EPT estaria sendo refletido na abundância e ocorrência dos gêneros, o que não foi corroborado. Nossos resultados demonstraram que os gêneros de Ephemeroptera possuem um potencial dispersivo mais elevado em comparação às outras ordens do estudo, enquanto os gêneros de Plecoptera possuem baixa e mediana capacidade de dispersão. Já os gêneros de Trichoptera abrangeram diferentes valores, com potencial dispersivo variando de 0 (baixo) a 1 (alto). Deste modo demonstramos que, não necessariamente, organismos com maior capacidade de dispersão estarão presentes em mais locais, no entanto a complexidade do assunto e a falta de informação da dispersão das espécies neotropicais e amazônicas promovem limitações para conclusões mais amplas, indicando novas questões a serem avaliadas na distribuição de EPT na região.

6. Agradecimentos

Agradecemos a equipe do Laboratório de Ecologia (LABECO) da Universidade Federal do Pará, pelo apoio e suporte nas coletas, triagem e identificação do material. Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPQ) (processo: 428961/2018-5) via o projeto “Diminuindo as lacunas Lineanas e Wallaceanas da biota aquática na Amazônia”; À Fundação Amazônica de Amparo a Estudos e Pesquisa do Pará – FAPESPA, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (processos: 068/2020 e 2019/25445-1), através do projeto “Padrões de distribuição da biodiversidade aquática no Estado do Pará” e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pela bolsa de estudo de mestrado para T.R. (número 88887.824464/2023-00). LJ agradece ao CNPq pela bolsa de produtividade em Pesquisa (Processo: 304710/2019-9). Agradecemos ao ICMBio e ao Programa Monitora por disponibilizar apoio logístico e suporte para a realização da coleta na RESEX do Rio Cajari. Agradecemos, em especial, aos especialistas Fábio Quinteiro, Gabriel Cruz, Jeane Marcelle Cavalcante do Nascimento, Juan Mateo Rivera Pérez, Lucas Lima e Marina Miguel Ferreira, que contribuíram na definição das pontuações da dispersão dos gêneros do estudo.

Declaração de disponibilidade de dados

O conjunto de dados utilizados durante o presente estudo está disponível junto ao autor correspondente mediante solicitação.

Declarações

Conflitos de interesse: Os autores declaram que não há conflitos de interesse financeiro ou pessoal neste artigo.

7. Referências Bibliográficas

Brasil (2007) Plano de Desenvolvimento Territorial Sustentável do Arquipélago do Marajó. Presidência da República, Casa Civil, Grupo Executivo Interministerial, Grupo executivo do Estado do Pará, Brasil.

CNUC (2016) Cadastro Nacional de Unidades de Conservação. APA Baía do Marajó. Ministério do Meio Ambiente. <https://uc.socioambiental.org/arp/1362>. Accessed 01 September 2023.

CNUC (2022) Cadastro Nacional de Unidades de Conservação. Reserva Extrativista do Rio Cajari. Ministério do Meio Ambiente. <https://uc.socioambiental.org/arp/627>. Accessed 01 September 2023.

Castro D, Dolédec S, Callisto M (2018) Land cover disturbance homogenizes aquatic insect functional structure in neotropical savana streams. *Ecological Indicators* 84: 573-582. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.09.030>

Da Luz Freitas J, Lima e Silva RB, Dos Santos FO et al (2017) Análise fitossociológica de fragmentos florestais da reserva extrativista do Rio Cajari, norte da Amazônia (Phytosociological analysis of forest fragments of the cajari river extractive reserve, northern amazon). *Revista Brasileira de Geografia Física* 10: 1875-1888. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v10.6.p1875-1888>

Dedieu N, Rhone M, Vigouroux R, Céréghino R (2015) Assessing the impact of gold mining in headwater streams of Eastern Amazonia using Ephemeroptera assemblages and biological traits. *Ecological Indicators* 52: 332-340. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.12.012>

Ding N, Yang W, Zhou Y et al (2017) 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* 574: 288-299. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.053>

Ditsche P, Summers AP (2014) Aquatic versus terrestrial attachment: water makes a difference. *Beilstein Journal of Nanotechnology* 5: 2424-2439. <https://doi.org/10.3762/bjnano.5.252>

Ditsche P, Hoffmann F, Kaehlert S et al (2023) Hydrofoil-like legs help stream mayfly larvae to stay on the ground. *Journal of Comparative Physiology A* 209: 325-336. <https://doi.org/10.1007/s00359-023-01620-2>

Domínguez E, Fernández HR (2009) *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática e biología*. Tucumán: Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina.

Gerber R, Piscart C, Roussel JM, Bergerot B (2023) Morphology-based classification of the flying capacities of aquatic insects: A first attempt. *Current Zoology* 70: 607-617. <https://doi.org/10.1093/cz/zoad047>

Gillmann SM, Lorenz AW, Kaijser W et al (2024) How tolerances, competition and dispersal shape benthic invertebrate colonisation in restored urban streams. *Science of the Total Environment* 929: 172665. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172665>

Graham SE, Stoney R, Smith B (2017) Dispersal distances of aquatic insects: upstream crawling by benthic EPT larvae and flight of adult Trichoptera along valley floors. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 51: 146-164. <https://doi.org/10.1080/00288330.2016.1268175>

Hamada N, Nessimian, J, Querino R (2014) *Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia*. INPA, Manaus.

Hamada N, Thorp JH, Rogers DC (2018) *Thorp and covich's freshwater invertebrates: Volume 3: Keys to neotropical Hexapoda*. Academic press.

Heino J, Alahuhta J, Ala-Hulkko T et al (2017) Integrating dispersal proxies in ecological and environmental research in the freshwater realm. *Environmental Reviews* 25: 334-349. <https://doi.org/10.1139/er-2016-0110>

Kopp M, Jeschke JM, Gabriel W (2001) Exact compensation of stream drift as an evolutionarily stable strategy. *Oikos* 92: 522-530. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2001.920313.x>

Li F, Sundermann A, Stoll S, Haase P (2016) A newly developed dispersal metric indicates the succession of benthic invertebrates in restored rivers. *Science of the Total Environment* 569: 1570-1578. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.251>

Luiza-Andrade A, Da Silva R, Juen L (2023) Contribution of rare genera of aquatic insects to functional diversity in streams with multiple land use in the Amazon. *Hydrobiologia* 850: 21-38. <https://doi.org/10.1007/s10750-022-05035-z>

Malmqvist B (2000) How does wing length relate to distribution patterns of stoneflies (Plecoptera) and mayflies (Ephemeroptera)? *Biological conservation* 93: 271-276. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(99\)00139-1](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(99)00139-1)

Miserendino ML, Williams-Subiza EA, Brand C et al (2025) Macroinvertebrate functional traits differed with land use practices at Patagonian streams. *Aquatic Sciences* 87: 3. <https://doi.org/10.1007/s00027-024-01129-z>

Müller-Peddinghaus E, Hering, D (2013) The wing morphology of limnephilid caddisflies in relation to their habitat preferences. *Freshwater Biology* 58: 1138-1148. <https://doi.org/10.1111/fwb.12114>

Peredo Arce A, Hörren T, Schletterer M, Kail J (2021) How far can EPTs fly? A comparison of empirical flying distances of riverine invertebrates and existing dispersal metrics. *Ecological Indicators* 125: 107465. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107465>

Peredo Arce A, Kail J, Tasser E et al (2023) The effect of riparian forest on landscape connectivity for the EPT community across European regions. *Hydrobiologia*. <https://doi.org/10.1007/s10750-023-05353-w>

Pes AMO, Hamada N, Nessimian JL (2005) Chaves de identificação de larvas para famílias e gêneros de Trichoptera (Insecta) da Amazônia Central, Brasil. *Revista Brasileira de Entomologia* 49: 181-204. <https://doi.org/10.1590/S0085-56262005000200002>

Rabeni CF, Doisy KE, Zweig LD (2005) Stream invertebrate Community functional responses to deposited sediment. *Aquatic Sciences* 67: 395-402. <https://doi.org/10.1007/s00027-005-0793-2>

Santos NBB, Cruz GM, Monteles JS et al (2024) Database of immature stage traits of Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera (EPT) genera for the Amazon. *Aquatic Sciences* 86: 35. <https://doi.org/10.1007/s00027-024-01051-4>

- Sarremejane R, Mykrä H, Bonada N, Aroviita J, Muotka T (2017) Habitat connectivity and dispersal ability drive the assembly mechanisms of macroinvertebrate communities in river networks. *Freshwater Biology* 62: 1073-1082. <https://doi.org/10.1111/fwb.12926>
- Sarremejane R, Cid N, Stubbington R, et al (2020) DISPERSE, a trait database to assess the dispersal potential of European aquatic macroinvertebrates. *Scientific Data* 7: 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00732-7>
- Shimano Y, Cardoso M, Juen L (2018) Ecological studies of mayflies (Insecta, Ephemeroptera): Can sampling effort be reduced without losing essential taxonomic and ecological information? *Acta Amazonica* 48: 137-145. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201700583>
- Tomanova S, Moya N, Oberdorff T (2008) Using macroinvertebrate biological traits for assessing biotic integrity of neotropical streams. *River research and applications* 24: 1230-1239. <https://doi.org/10.1002/rra.1148>
- Viana DS, Figuerola K, Schewnk M et al (2015) Assembly mechanisms determining high species turnover in aquatic communities over regional and continental scales. *Ecography* 39: 281-288. <https://doi.org/10.1111/ecog.01231>

CONCLUSÕES GERAIS

A presente dissertação avaliou a capacidade de dispersão de larvas dos gêneros de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera, utilizando os traços funcionais formato e flexibilidade corporal e tipo de abrigo e de locomoção como *proxies* para determinar a dispersão. Para o primeiro capítulo avaliamos como esses traços se relacionam as condições ambientais dos riachos e mostramos que a maioria dos traços e suas categorias tiveram associação, negativa ou positiva, com algumas das nove variáveis físico-químicas selecionadas no estudo. Corroboramos o fato de que as condições do ambiente influenciam a composição de traços funcionais de dispersão, com isso, moldando o potencial dispersivo das comunidades de insetos aquáticos e contribuindo para o conhecimento dos fatores que estruturam a distribuição de EPT em riachos amazônicos.

No segundo capítulo avaliamos se o potencial de dispersão de cada gênero de EPT estava sendo refletido pela sua abundância e ocorrência nos riachos, fato esse que não foi suportado, demonstrando que variados fatores podem estar determinando a presença de cada gênero nos locais. A dinâmica de um ecossistema é diversificada, sendo provável que um conjunto de fatores moldam a dispersão, assim, estudos que incorporam outros fatores intrínsecos ou extrínsecos são necessários para entender como esse movimento ocorre. Além disso, neste mesmo capítulo classificamos cada gênero de EPT na sua fase larval conforme seu potencial dispersivo, utilizando traços funcionais de dispersão e consultas a especialistas das ordens. Ephemeroptera teve mais gêneros com alta capacidade de dispersão, enquanto os gêneros de Plecoptera tiveram valores médios e baixos para a dispersão. Já os gêneros de Trichoptera tiveram valores para o potencial dispersivo bem variados. O uso da métrica para determinar a dispersão de organismos bioindicadores da qualidade ambiental é uma ferramenta importante de ser explorada, pois pode ser utilizada para monitorar a saúde dos ecossistemas aquáticos.

Em nosso estudo, vimos o papel dos traços funcionais, sejam relacionados a dispersão ou não, sendo excelentes ferramentas utilizadas como *proxies*. Assim, indicamos sua possível utilização em abordagens conservacionistas onde a composição das características funcionais dos táxons pode auxiliar na determinação da qualidade do ecossistema em que estão inseridos.