



INSETOS AQUÁTICOS BIOINDICADORES DE MUDANÇAS DE USO DA TERRA NO PARÁ, BRASIL: EVIDÊNCIAS E PERSPECTIVAS

Leandro Schlemmer Brasil^{1}, José Max Barbosa Oliveira-Junior², Yulie Shimano³, Karina Dias-Silva⁴ & Leandro Juen⁵*

¹ Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Avenida Universitária, nº 3.500, Bairro Parque Universitário, CEP: 78690-000, Pontal do Araguaia, MT, Brasil.

² Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas, Rua Vera Paz, s/n, Bairro Salé, CEP: 68040-255, Santarém, PA, Brasil.

³ Instituto Nacional de Pesquisa do Pantanal, Campus Avançado do Museu Paraense Emílio Goeldi, Av. Fernando Corrêa da Costa, nº 2367, Boa Esperança, CEP: 78060-900, Cuiabá, MT, Brasil.

⁴ Universidade Federal do Pará, Faculdade de Ciências Biológicas, Rua. Coronel José Porfírio, nº 2515, Recreio, CEP: 68372-040, Altamira, PA, Brasil.

⁵ Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências Biológicas, Rua Augusto Corrêa, nº 01, Guamá, CEP: 66075-110, Belém, PA, Brasil.

E-mails: Leandro.brasil@ufmt.br (*autor correspondente); josemaxoliveira@gmail.com; shimano.yulie@gmail.com; diassilvakarina@gmail.com; leandrojuen@gmail.com

Resumo: Esta revisão teve como objetivo avaliar o histórico da utilização de alguns grupos de Insetos Aquáticos como bioindicadores de alteração ambiental no estado do Pará, assim como discutir as perspectivas futuras dessa temática à luz das novas tecnologias. Verificou-se consideráveis avanços no uso das Ordens Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Heteroptera e Odonata para monitorar a qualidade ambiental de riachos impactados por diversas atividades antrópicas. Os impactos ambientais mais proeminentes são oriundos de atividades como pecuária, agricultura, mineração, extração de madeira e urbanização. Além dos tradicionais métodos de estudos de espécies indicadoras, constatou-se que o uso de mudanças na estrutura das comunidades, em facetas como a riqueza de espécies, abundância de indivíduos e diversidade beta para monitorar a qualidade ambiental foi eficiente. Em perspectivas futuras, precisa-se conhecer melhor a biologia das espécies para que aspectos comportamentais e funcionais sejam utilizados conjuntamente com as medidas taxonômicas tradicionais para o monitoramento ambiental. Isso possibilitará uma visão mais completa de como os ecossistemas aquáticos são afetados, permitindo o planejamento de medidas mais eficazes de monitoramento e de mitigação dos impactos provocados pelas alterações ambientais na biodiversidade aquática, em especial dos insetos.

Palavras-chave: Monitoramento ambiental, Amazônia, Riachos, Biota aquática, Biomonitoramento, Impactos ambientais.

AQUATIC INSECTS BIOINDICATORS OF LAND USE CHANGE IN PARÁ, BRAZIL: EVIDENCE AND PERSPECTIVES: This review aimed to evaluate the history of the use of some groups of aquatic insects as environmental bioindicators in Pará State, as well as to discuss the future perspectives of this theme in the light of new technologies. Considerable advances have been made in the use of Ephemeroptera, Plecoptera,

Trichoptera, Heteroptera and Odonata Orders to monitor the environmental quality of streams impacted by various anthropic activities. The most prominent environmental impacts come from activities such as livestock, agriculture, mining, logging and urbanization. In addition to the traditional methods of studying indicator species, we found that the use of the community structure, such as species richness, individual abundances and beta diversity to monitor environmental quality, were efficient. In future perspectives, it is necessary to better understand the species biology so that behavioral and functional aspects can be used together with the traditional taxonomic measures for environmental monitoring. This will enable a more complete view of how aquatic ecosystems are affected, allowing the planning of more effective measures for monitoring, and mitigating the impacts caused by environmental changes on aquatic biodiversity, especially insects.

Keywords: Environmental monitoring, Amazon, Streams, Aquatic Biota, Biomonitoring, Environmental impacts.

INTRODUÇÃO

Os processos de uso e alteração de cobertura da terra são tópicos de extrema relevância na agenda global de pesquisa ambiental (Watrin *et al.* 2020), a mudança contínua no uso da terra tem sido historicamente mais intensa nos trópicos e nos países em desenvolvimento (Seymour & Harris 2019). Esses processos são responsáveis por alterações do balanço energético e influenciam o clima, alterando a refletividade terrestre, a composição química da atmosfera e os ciclos biogeoquímicos (Watrin *et al.* 2020). Dentre os processos que causam maior impacto no meio ambiente está o desmatamento, aonde entre os anos de 2000 e 2012 aproximadamente 35% das florestas tropicais foram perdidas, sendo quase metade somente na América do Sul (Hansen *et al.* 2013).

A taxa acumulada de desmatamento na Amazônia Legal Brasileira entre 1988 e 2020 é de aproximadamente 41.341,325 km², sendo que o estado do Pará responde por aproximadamente 38% desse total (15.766,700 km²) e continua apresentando as maiores taxas de perda florestal entre os estados da Amazônia Legal Brasileira (INPE 2021) (Figura 1). Nos últimos 20 anos, o desmatamento, tanto na Amazônia Legal como no estado do Pará, foi mais alto entre os anos de 2001 e 2003. Entre 2003 e 2012, houve uma considerável diminuição, mas desde então, a taxa de desmatamento vem crescendo a cada ano (Figura 1).

Dentre os estados da Amazônia Legal Brasileira, o Pará apresentou a maior perda florestal em 2020

(5.192 km²), com uma taxa de desmatamento crescente de 43% quando comparada a 2019 (INPE 2021) (Figura 1). Essa taxa segue uma história de ocupação antrópica (últimos 50 anos) causada principalmente pela construção de estradas (Siqueira-Gay *et al.* 2020), projetos hidrelétricos (Athayde *et al.* 2019), mineração (Lobo *et al.* 2018) e a expansão da agricultura (Brown *et al.* 2016), processos que desafiam a conservação florestal no estado (Siqueira-Gay *et al.* 2020).

É notório que o estado do Pará sofreu um intenso desmatamento nas últimas décadas, dando espaço para usos subsequentes da terra muitas vezes mais nocivos ou que culminam na eliminação completa do restante da vegetação remanescente. Embora, atualmente, grande parte da área desmatada esteja sob uso agrícola (após perturbação principalmente com práticas de corte e queima) (Carreiras *et al.* 2014), o estado apresenta um gradiente de uso da terra (Moura *et al.* 2013). As áreas alteradas compreendem desde áreas de terra abandonada que frequentemente suportam florestas em diferentes estágios de regeneração, tais como florestas secundárias, que se desenvolveram após a eliminação da vegetação ou após algum distúrbio antrópico (Putz & Redford 2010, Paula *et al.* 2021) (Figura 2B), áreas de reflorestamento tipicamente de eucalipto (*Eucalyptus* sp. L'Hér.), teca (*Tectona grandis* Linn. F) ou paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke) até áreas de pastagem de gado e agricultura mecanizada, tipicamente arroz e soja (*Oryza sativa* L.; *Glycine max* L.), respectivamente (Gardner *et al.* 2013, Moura *et al.* 2013, Oliveira-Junior *et al.* 2015)

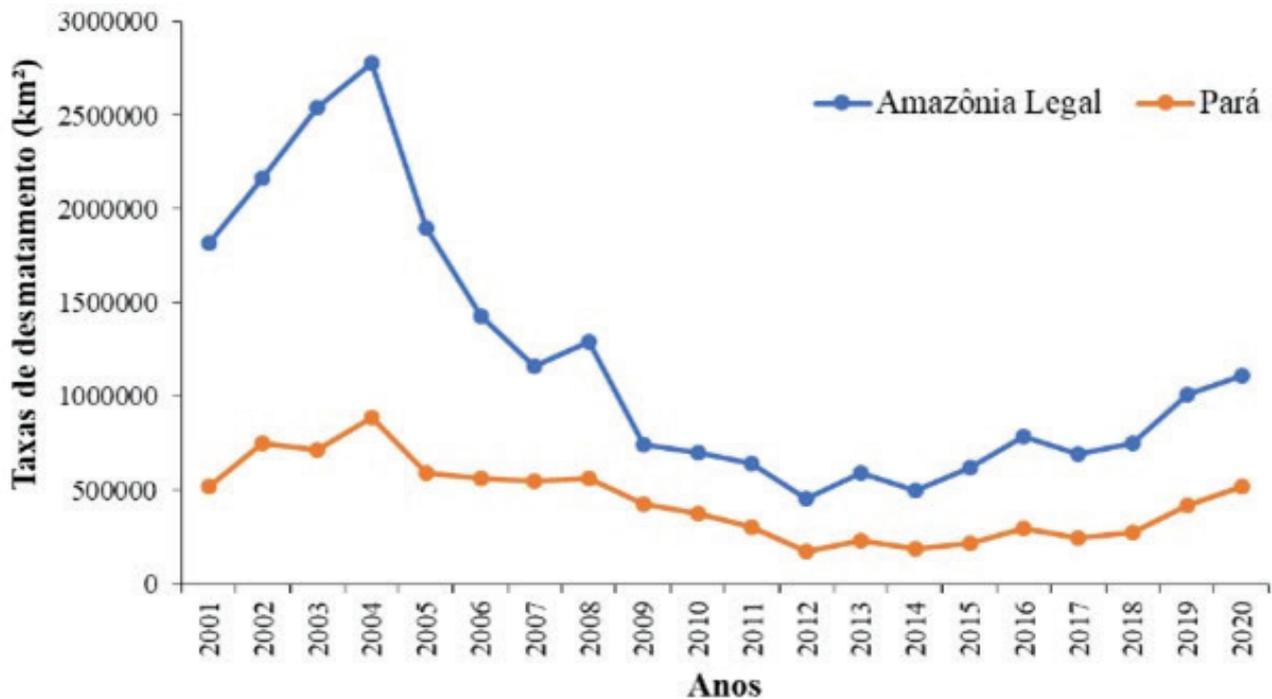


Figura 1. Taxas de desmatamento (em km²) anual da Amazônia Legal Brasileira e estado do Pará na série histórica do PRODES (Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite). Fonte: elaborado a partir de INPE (2021).

Figure 1. Annual deforestation rates (in km²) of the Brazilian Legal Amazon and the Pará state in the historical series of PRODES (Project for Monitoring Deforestation in the Legal Amazon by Satellite). Source: elaborated from INPE (2021).

(Figura 2C; D). No entanto, ainda existem remanescentes florestais preservados compostos por floresta primária (Gardner *et al.* 2013, Moura *et al.* 2013, Oliveira-Junior *et al.* 2015; Oliveira-Junior *et al.* 2019) (Figura 2A; Figura 3).

Apesar do desmatamento ocorrer na bacia de drenagem ela também afeta direta ou indiretamente os sistemas aquáticos, em especial a estrutura ecológica e o funcionamento dos igarapés que dependem fortemente do uso/cobertura da terra circundante (Castro *et al.* 2018) (Figura 3A-F). O uso da terra está estreitamente relacionado com a configuração da paisagem em escala espacial ampla. No entanto, o que é observado em escalas espaciais menores, como na zona riparia no entorno dos riachos, também podem influenciar a hidromorfologia (Villeneuve *et al.* 2018), qualidade da água (Dahm *et al.* 2013) e habitats ribeirinhos (Turunen *et al.* 2018) e, conseqüentemente afetam a qualidade e condições ambientais para as assembleias bióticas (Baptista *et al.* 2014), como é o caso dos insetos aquáticos.

Os insetos aquáticos são aqueles que vivem pelo menos um estágio do seu ciclo de vida

nos ambientes aquáticos. Nos estudos de bioindicadores de qualidade da água, eles são amostrados em córregos, rios, lagos e represas, entre outros ambientes, principalmente no estágio de larva ou ninfa. A resolução taxonômica utilizada geralmente é de espécie, gêneros, família (*e.g.*, Chironomidae, Simuliidae), ordem (*e.g.*, Ephemeroptera, Diptera, Trichoptera, Coleoptera) ou agrupamentos que incluem táxons que podem responder de forma similar a um determinado impacto, como é o caso de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT), ou até mesmo de grupos funcionais.

Existe uma extensa literatura demonstrando que mudanças no uso da terra estão associadas a alterações significativas na abundância de insetos aquáticos (Gimenez *et al.* 2015), na proporção de taxa tolerantes (Walsh *et al.* 2001), na diversidade (Hepp *et al.* 2013) e na distribuição de grupos funcionais (Brasil *et al.* 2014). Em um estudo cienciométrico, foram analisados 355 artigos onde 76,4% destes tratavam exclusivamente da relação dos Insetos Aquáticos com as mudanças do uso da terra na bacia hidrográfica, 16,3% com

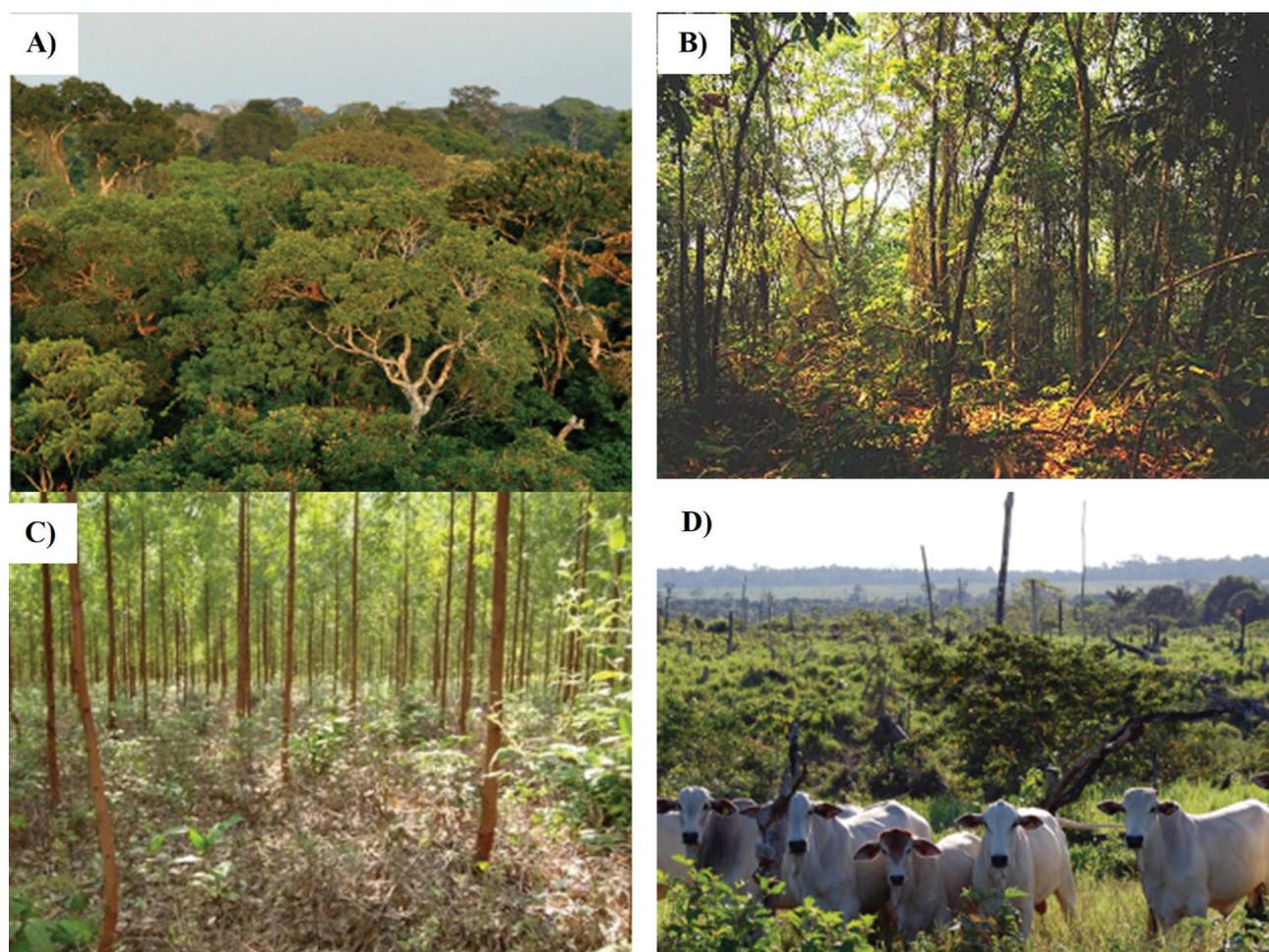


Figura 2. Gradiente de uso da terra no estado do Pará, Brasil: (A) florestas primárias; (B) floresta secundária; (C) áreas de reflorestamento e (D) agropecuária. Fonte: imagens disponíveis em: <https://www.rasnetwork.org/>.

Figure 2. Land use gradient in the Pará state, Brazil: (A) primary forests; (B) secondary forest; (C) reforestation areas and (D) agriculture. Source: images available at: <https://www.rasnetwork.org/>.

essas mudanças nas zonas ribeirinhas e 7,3% incluíram tanto a mudança do uso da terra na bacia hidrográfica toda quanto apenas na zona ribeirinha (Brasil *et al.* 2020a).

Há também expressiva literatura sobre a relação entre mudanças de uso/cobertura da terra e os insetos aquáticos para o estado do Pará, abordando as ordens Ephemeroptera (Shimano & Juen 2016), Plecoptera (Paiva *et al.* 2017), Trichoptera (Paiva *et al.* 2017), Heteroptera (Cunha & Juen 2020, Cunha *et al.* 2020), Odonata (Oliveira-Junior *et al.* 2017), Coleoptera (Nogueira *et al.* 2016) e Diptera (Sonoda *et al.* 2018). De fato, as características do habitat dos igarapés são significativamente correlacionadas ao uso e cobertura da terra (Nessimian *et al.* 2008). As consequências ecológicas da mudança no uso da terra podem ser muito negativas, especialmente

em ecossistemas lóticos, que além de receberem os impactos que ocorrem em sua bacia de drenagem, também podem espalhar esse impacto ao longo da sua drenagem através da lixiviação, com consequências muito longe de seu ponto de origem. Por isso, possuem capacidade de integrar impactos ambientais em grandes escalas espaciais (Palmer *et al.* 2002).

A partir das constantes mudanças de uso da terra (Seymour & Harris 2019) e dos consideráveis impactos dessas atividades sobre os ambientes aquáticos e da conhecida eficiência dos Insetos Aquáticos como bioindicadores (Brasil *et al.* 2020), essa revisão visa demonstrar lacunas de conhecimento e os desafios e oportunidades para a utilização de Insetos Aquáticos como bioindicadores de mudanças do uso da terra no Estado do Pará. Esse recorte geográfico foi

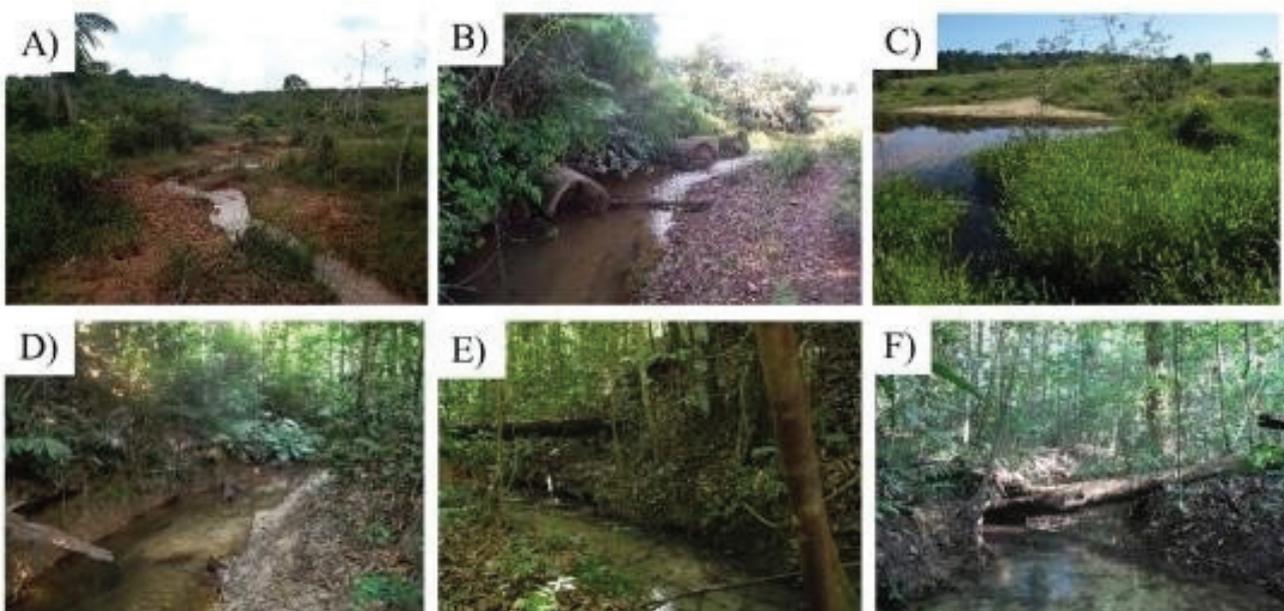


Figura 3. Exemplos de diferentes usos da terra circundantes à igarapés do estado do Pará, Brasil; (A) solo exposto; (B) construção civil; (C) pastagem; e (D-F) floresta primária.

Figure 3. Examples of different land use surrounding streams in the Pará state, Brazil; (A) exposed soil; (B) civil construction; (C) pasture; and (D-F) primary forest.

selecionado devido a urgência em se definir políticas públicas mitigadoras da intensa devastação ambiental que ocorre no estado do Pará (Fearnside 2005), uma vez que apesar da biodiversidade não se pautar por divisas políticas, essas são as diretrizes geográficas para a legislação estadual, que deve complementar a legislação ambiental federal considerando as particularidades regionais.

MATERIAL E MÉTODOS

Para realizar esta revisão, realizamos uma busca no sítio da Web os Science utilizando os termos “Ephemeroptera”, “Odonata”, “Heteroptera”, “Plecoptera”, “Trichoptera”, “EPT”, “insetos aquáticos”, “macroinvertebrados aquáticos”, seguindo do nome do estado “Pará” ou “Amazônia”. Durante a revisão e avaliação dos artigos encontrados, retiramos os artigos que não se enquadravam no nosso objetivo.

Para reconstruir o histórico da utilização de alguns grupos de Insetos Aquáticos como bioindicadores de alterações ambiental no estado do Pará, foram discutidos separadamente os principais trabalhos que utilizaram as Ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT), Heteroptera e Odonata. Com essa revisão não pretendemos descrever sistematicamente todos

os trabalhos dessa temática, mas pretendemos fornecer uma síntese da temática a luz das perspectivas dos autores. Por isso, a parte introdutória aborda o histórico de mudanças de uso e ocupação da terra no estado do Pará, em seguida fez-se uma detalhada discussão dos achados de biomonitoramento para cada grupo taxonômico citados acima e por fim, apresenta-se uma perspectiva geral do conhecimento atual e das questões futuras a serem avançadas.

RESULTADO E DISCUSSÃO

De acordo com nossas pesquisas, o primeiro estudo ecológico realizado com insetos aquáticos no Pará foi realizado entre os anos de 1990-1992, em um lago situado à margem direita do Rio Trombetas, no município de Oriximiná (Callisto 1993). Esse projeto, tinha como objetivo avaliar como as comunidades aquáticas se comportariam após o lago receber rejeitos de mineração de bauxita. Essa pesquisa gerou inúmeros trabalhos com insetos aquáticos, onde foi constatado que a composição e distribuição dos macroinvertebrados sofreram alteração em razão da atividade de mineração (Callisto 1993), em razão do período hidrológico (Callisto & Esteves 1995), evidenciando os grupos dominantes em áreas naturais (Chironomidae e Chaoboridae) e nas áreas alteradas pelo rejeito

de bauxita (*Campsurus*) (Callisto & Esteves 1996). O projeto também verificou a distribuição funcional na área (Callisto & Esteves 1998), a fragilidade ecológica dos macroinvertebrados bentônicos (Callisto *et al.* 1998a), dentre outras informações acerca da sazonalidade, relação com variáveis limnológicas e com o sedimento (Callisto *et al.* 1998b, 1998c, 1998d). Nesse mesmo projeto foi realizado o primeiro manuscrito com bioindicadores no estado do Pará (Callisto *et al.* 1998b). Onde observaram que a distribuição de insetos aquáticos era substancialmente alterada em locais com rejeitos de bauxita, incluindo a ausência dessa fauna em alguns dos anos amostrados, fato que sugeria a perda drástica de insetos aquáticos devido a influência desses rejeitos.

O uso das Ordens EPT como bioindicadores

Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera são ordens de insetos aquáticos muitas vezes estudadas em conjunto, e são conhecidas como EPT. Elas compõem um grupo bastante diverso em riachos de pequeno porte e ocorrem, principalmente, em águas limpas e bem oxigenadas (Bispo e Oliveira 2007; Hamada e Silva 2014). As três ordens são compostas por insetos de pequeno a médio porte, anfibióticos, com as fases imaturas aquáticas e adultas terrestres e aladas (Domínguez *et al.* 2006; Pes *et al.* 2014). EPT são organismos sensíveis à perturbações ambientais, e uma vez que qualquer alteração ambiental gera alterações na abundância, riqueza, composição desse grupo, eles são muito utilizados em avaliações ambientais e índices multimétricos (Martins *et al.* 2014).

Atualmente no Brasil, a ordem Ephemeroptera é composta por 10 famílias, 85 gêneros e 426 espécies (Salles *et al.* 2022). Plecoptera, por sua vez, é pouco diversa nos trópicos, sendo representada por quatro famílias, 12 gêneros e 199 espécies (Lecci & Duarte 2022). Já Trichoptera é o grupo mais diverso de EPT, com 16 famílias, 72 gêneros e 867 espécies registradas no Brasil até o momento (Santos *et al.* 2022).

Por muitos anos, os estudos com macroinvertebrados como bioindicadores eram descritivos. Porém, ao longo do tempo, com o avanço na taxonomia dos grupos e o desenvolvimento de novas análises estatísticas, estudos com as ordens Ephemeroptera,

Trichoptera e Plecoptera começaram a surgir. Leal & Esteves (2000) foram os primeiros a utilizar a abordagem de bioindicadores. Nesse trabalho eles estudaram o ciclo de vida e produção secundária de *Campsurus notatus* Needham e Murphey, 1942 (Ephemeroptera) nos córregos com influência de rejeito de bauxita no município de Oriximiná, Pará, Brasil. Os autores concluíram que *C. notatus* apresentou alta capacidade de adaptação nos córregos alterados quando comparado às outras espécies de insetos aquáticos. A presença de rejeito de bauxita criou condições ecológicas favoráveis para a colonização dessa espécie (Leal & Esteves 2000), portanto ela foi apontada como bioindicadora de alterações ambientais, em virtude da alta biomassa apresentada em locais alterados/impactados.

Mais de 15 anos depois, Shimano e Juen (2016) realizaram um trabalho com o intuito de identificar gêneros de Ephemeroptera que poderiam ser usados como grupos bioindicadores de áreas de floresta primária e/ou áreas com plantação de dendê (*Elaeis guineenses* Jacq.) no município de Tailândia, Pará. No estudo, os autores analisaram a associação dos gêneros com doze variáveis ambientais mensuradas nos dois tratamentos. Quatro gêneros foram associados com pelo menos uma das doze variáveis ambientais testadas: *Campylocia*, *Miroculis*, *Ulmeritoides* e *Campsurus*. *Campsurus* foi associado apenas com uma variável (porcentagem de raízes finas) e *Campylocia* mostrou associações tanto positivas quanto negativas para floresta e plantação de dendê. Por outro lado, *Ulmeritoides* e *Miroculis* apresentaram a mesma associação (todos positivos ou todos os negativos para o tratamento) com quatro variáveis ambientais (*Miroculis*: pH, temperatura, declive e porcentagem de árvores vivas; *Ulmeritoides*: pH, temperatura, porcentagem de árvores vivas e porcentagem de raízes finas), se mostrando assim, mais indicados para serem utilizados como bioindicadores, uma vez que refletiam a alteração de mais de uma variável ambiental. *Miroculis* foi associado a áreas de floresta e *Ulmeritoides* com a plantação de palma de dendê (Tabela 1, Figura 4). Os autores salientam que esses dois gêneros seriam ótimos bioindicadores considerando a facilidade de identificação, que pode ser realizada em campo através da morfologia das brânquias (Shimano & Juen, 2016). No ano seguinte, Faria

et al. (2017) estudaram os efeitos da presença de populações tradicionais sob a comunidade de EPT, nos municípios de Portel e Melgaço. Esses autores corroboraram os resultados de Shimano & Juen (2016) quanto ao uso de *Ulmeritoides* como indicador de áreas alteradas, porém, verificaram que *Miroculis* também foi associado a áreas alteradas (Tabela 1). Adicionalmente, Faria *et al.* (2017) observaram que *Brasilocaenis* (Ephemeroptera) foi associado a áreas alteradas por populações tradicionais “ribeirinhas”, que utilizam a terra para cultivo de plantas locais e agricultura de corte e queima (Figura 4; Tabela 1). *Macronema* (Trichoptera) e *Campsurus* foram associadas às áreas conservadas (Figura 4; Tabela 1). *Macronema* foi o primeiro gênero da ordem Trichoptera a ser indicado como possível bioindicador no estado do Pará (Tabela 1).

Áreas de exploração de madeira convencional e de impacto reduzido também foram estudadas na região de Paragominas, Pará. A extração madeireira convencional é o corte raso de toda

a floresta e a técnica de impacto reduzido, uma retirada apenas de um número limitado de espécies alvo, mantendo a maior parte da floresta em pé (Calvão *et al.* 2016). Cardoso *et al.* (2018), em Paragominas, demonstraram que *Hagenulopsis minuta* Spieth, 1943 (Ephemeroptera) obteve alta abundância em áreas controle e áreas de exploração de madeira de impacto reduzido, enquanto *Campylocia* (Figura 4) e *Farrodes* (Ephemeroptera) tiveram altas abundâncias em áreas alteradas por retirada convencional de madeireira (Tabela 1).

Outras abordagens foram utilizadas com espécies bioindicadoras, como a utilizada por Brito *et al.* (2018) em seu estudo no município de Paragominas. Esses autores verificaram se havia congruência entre as respostas biológicas apresentadas por diferentes grupos de insetos aquáticos (por exemplo, EPT juntos, apenas a ordem Odonata, apenas a ordem Trichoptera etc.) com as respostas de toda comunidade de invertebrados aquáticos (Tabela 1). Caso

Tabela 1. Táxons e métricas de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT) e sua indicação de acordo com estudos realizados no Estado do Pará. (2000-2020).

Table 1. *Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera (EPT) taxa and metrics and their indication according to studies conducted in the Pará state (2000–2020).*

Táxon/Métrica	Parâmetro	Indicação	Nível	Trabalho
<i>Anacroneturia</i>	Presença	Área conservada	Local e Regional	Brito <i>et al.</i> 2020
<i>Brasilocaenis</i>	Presença	Área alterada, presença de comunidades tradicionais		Faria <i>et al.</i> 2017
<i>Caenis</i>	Presença	Área conservada	Local	Brito <i>et al.</i> 2020
<i>Campsurus</i>	Presença	Área conservada		Faria <i>et al.</i> 2017
<i>Campsurus</i>	Presença	Área conservada	Local	Brito <i>et al.</i> 2020
<i>Campsurus notatus</i>	Presença	Áreas de mineração		Leal e Esteves, 2000
<i>Campylocia</i>	Presença	Área alterada pela exploração de madeira		Cardoso <i>et al.</i> 2018
<i>Campylocia</i>	Presença	Área conservada	Local e Regional	Brito <i>et al.</i> 2020
<i>Cryptonympha</i>	Presença	Área com menor cobertura vegetal	Regional	Brito <i>et al.</i> 2020
<i>Cyrnellus</i>	Presença	Área com menor cobertura vegetal	Local	Brito <i>et al.</i> 2020
<i>Farrodes</i>	Presença	Área alterada pela exploração de madeira		Cardoso <i>et al.</i> 2018

Tabela 1. Continua na próxima página...
Table 1. Continues on next page...

Tabela 1. ...continuação
Table 1. ...continued

Táxon/Métrica	Parâmetro	Indicação	Nível	Trabalho
		Presença Área Controle		
<i>Hagenulopsis minuta</i>		Presença Área de Exploração de Madeira de Impacto Reduzido		Cardoso <i>et al.</i> 2018
<i>Macrogynoplax</i>	Presença	Área conservada	Local e Regional	Brito <i>et al.</i> 2020
<i>Macronema</i>	Presença	Área conservada		Faria <i>et al.</i> 2017
<i>Macronema</i>	Presença	Área conservada	Local	Brito <i>et al.</i> 2020
<i>Miroculis</i>	Presença	Área conservada		Shimano e Juen, 2016
<i>Miroculis</i>	Presença	Área alterada, presença de comunidades tradicionais		Faria <i>et al.</i> 2017
<i>Miroculis</i>	Presença	Área conservada	Local e Regional	Brito <i>et al.</i> 2020
<i>Oecetis</i>	Presença	Área conservada	Local e Regional	Brito <i>et al.</i> 2020
<i>Oxyethira</i>	Presença	Área com menor cobertura vegetal	Local	Brito <i>et al.</i> 2020
<i>Phylloicus</i>	Presença	Área conservada	Local e Regional	Brito <i>et al.</i> 2020
<i>Polyplectropus</i>	Presença	Área conservada	Local e Regional	Brito <i>et al.</i> 2020
<i>Triplectides</i>	Presença	Área conservada	Local e Regional	Brito <i>et al.</i> 2020
<i>Ulmeritoides</i>	Presença	Área de plantação de palma de dendê		Shimano e Juen 2016
<i>Ulmeritoides</i>	Presença	Área alterada, presença de comunidades tradicionais		Faria <i>et al.</i> 2017
<i>Zelusia</i>	Presença	Área conservada	Local e Regional	Brito <i>et al.</i> 2020
Trichoptera	Abundância	São substitutos para estudo de invertebrados aquáticos		Brito <i>et al.</i> 2018
	Riqueza alta	Área conservada (Alta presença de grandes dendritos lenhosos)		Montag <i>et al.</i> 2018
	Composição de GFF	São substitutos para estudo de invertebrados aquáticos		Brito <i>et al.</i> 2018
EPT	Composição de Gêneros	São substitutos para estudo de invertebrados aquáticos		Brito <i>et al.</i> 2018
	Composição de GFF	São alteradas de acordo com o HII e porcentagem de Cobertura Vegetal		Andrade <i>et al.</i> 2020
	Diversidade alfa	Diminui de acordo com o aumento de impactos ambientais		Paiva <i>et al.</i> 2021

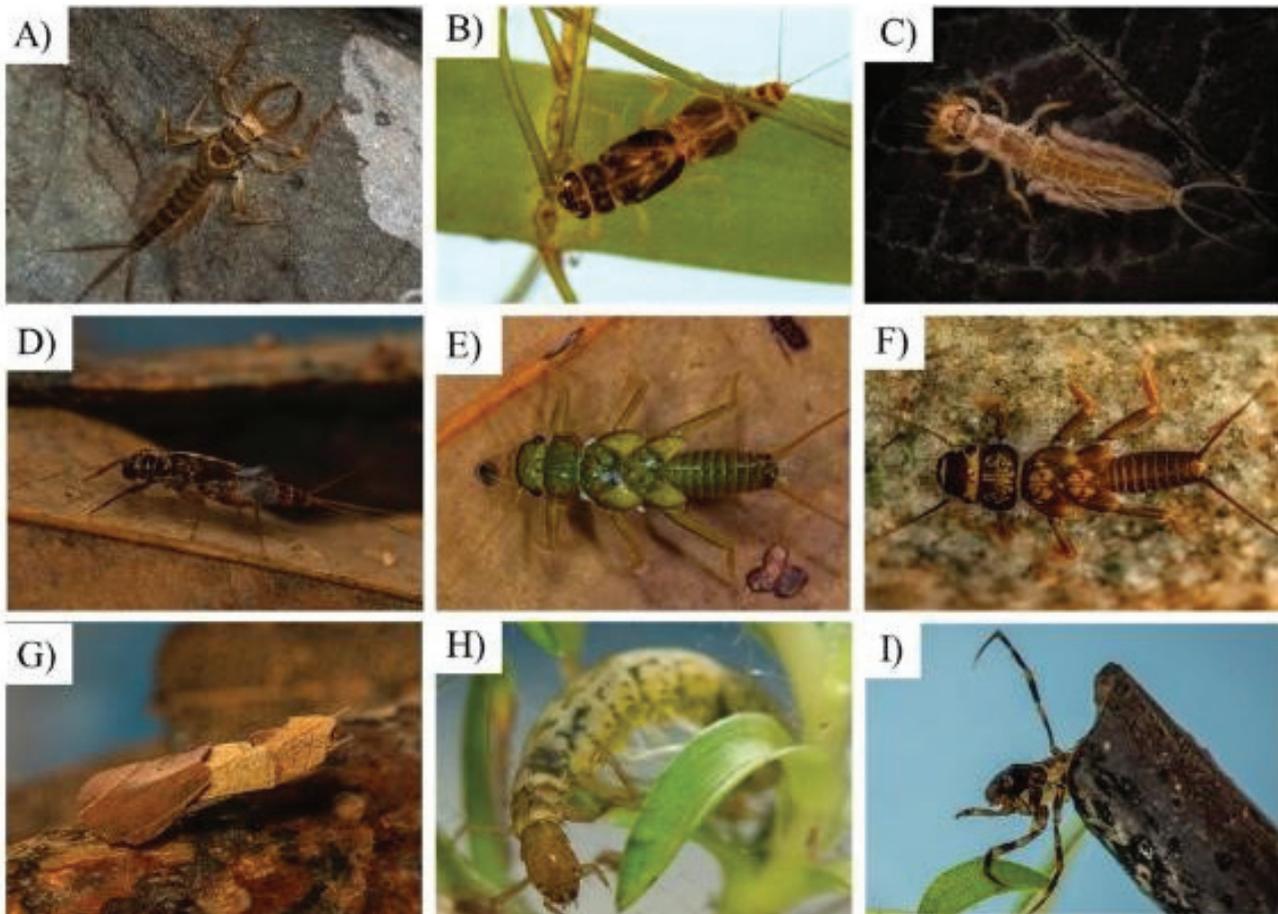


Figura 4. Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT) indicadores de qualidade da água no Estado do Pará, de acordo com a literatura: (A) *Campylocia* (B) *Caenis*; (C) *Campsurus*; (D) *Ulmeritoides*; (E) *Macrogynoplax* (F) *Anacroneuria* (G) *Phylloicus* (H) *Macronema*; (I) *Triplectides*. Autoria das fotos: Dr. Frederico F. Salles.

Figure 4. Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera (EPT) indicators of water quality in the Pará state, according to the literature: (A) *Campylocia*; (B) *Caenis*; (C) *Campsurus*; (D) *Ulmeritoides*; (E) *Macrogynoplax*; (F) *Anacroneuria*; (G) *Phylloicus*; (H) *Macronema*; (I) *Triplectides*. Author of the photos: Dr. Frederico F. Salles.

algum desses grupos apresentasse respostas semelhantes à comunidade total de invertebrados, ele poderia ser utilizado em estudos futuros para representar essa comunidade, tornando a avaliação ambiental mais rápida e com um custo financeiro menor. Os resultados desse trabalho mostraram que a abundância de Trichoptera, composição de gêneros e de grupos funcionais de EPT ou famílias de invertebrados seguem os mesmos padrões e por isso, podem ser utilizados como bioindicadores em substituição a toda a comunidade de invertebrados aquáticos. Por exemplo, caso haja algum empreendimento novo na região e seja necessário fazer um estudo de monitoramento de fauna, qualquer uma dessas métricas acima poderia ser utilizada para gerar informações da biodiversidade de

insetos aquáticos. A riqueza de EPT também já foi associada à grandes dendritos lenhosos em um estudo realizado nos municípios de Portel e Melgaço, que por sua vez, são encontradas apenas na área florestada que estavam estudando (Montag *et al.* 2018) (Tabela 1).

Voltando à abordagem de espécies indicadoras, Brito *et al.* (2020), trabalhando em áreas com diferentes gradientes de cobertura vegetal no município de Paragominas verificaram se haveria espécies indicadoras de perda de floresta em escala local e regional (bacia hidrográfica). Dentre os macroinvertebrados indicadores, eles encontraram associações de EPT às seguintes condições: a) em escala regional: *Campylocia*, *Miroculis* e *Zelusia* (Ephemeroptera), *Anacroneuria*, *Macrogynoplax* (Plecoptera) e

Oecetis, *Phylloicus*, *Polyplectropus*, *Triplectides* (Trichoptera) foram considerados sensíveis por serem impactadas pelo desmatamento, enquanto *Cryptonympha* foi considerado tolerante e associado positivamente com o aumento de desmatamento (Tabela 1); b) em escala local: *Zelus*, *Campsurus*, *Miroculis*, *Campylocia*, *Caenis* (Ephemeroptera), *Anacroneuria*, *Macrogynoplax* (Plecoptera) e *Phylloicus*, *Polyplectropus*, *Oecetis*, *Macronema* (Trichoptera) foram considerados sensíveis, com respostas negativas à perda de floresta, e *Oxyethira* e *Cyrnellus* (Trichoptera) foram considerados tolerantes, com respostas positivas à perda de floresta (Tabela 1).

Em 2020 foi realizado o primeiro e único estudo com biomarcadores ecotoxicológicos utilizando insetos aquáticos do Estado do Pará (Mendes *et al.* 2020a). A espécie de Ephemeroptera *C. anceps* foi analisada juntamente com uma espécie de Odonata e outra de Heteroptera, em riachos impactados por plantação de palma de dendê. Não foi observada alteração na atividade metabólica de *C. anceps*, por outro lado, houve para as espécies de Odonata (*Mnesarete aenea*) e de Heteroptera (*Cylindrostethus palmaris*), resultado que valida o uso de insetos aquáticos como organismos modelo de estudos ecotoxicológicos e de ferramenta para o monitoramento ambiental.

A composição de EPT não foi influenciada pelas variações de oxigênio, pH, largura e profundidade dos riachos da Floresta Nacional de Carajás (Andrade *et al.* 2020), no entanto, a composição de Grupos Funcionais Alimentares desse grupo foi afetada pelo Índice de Integridade de Hábitat (IIH) em escala local (Nessimian *et al.* 2008) e pela porcentagem de cobertura vegetal, em escala regional (Andrade *et al.* 2020) (Tabela 1). O IIH reflete as mudanças de origem antrópica perceptíveis de estrutura dentro do canal dos riachos, na zona ripária e no uso da terra além da zona ripária (Nessimian *et al.* 2008). Recentemente, Paiva *et al.* (2021) realizaram uma abordagem diferente usando EPT, analisando a partição da diversidade (diversidade alfa e beta) em córregos com diferentes níveis de distúrbios ambientais no município de Paragominas. Eles verificaram que apenas a diversidade alfa diminuiu conforme há o aumento de impactos ambientais. Os autores reforçam a importância de se avaliar os diferentes componentes da diversidade para

entender os efeitos dos impactos antrópicos na Amazônia.

O uso da ordem Odonata como bioindicador

Odonata tem uma fase de vida aquática quando são jovens e outra fase terrestre e alada, quando adultos (Corbet 1999). São predadores, ajudando no equilíbrio das teias tróficas e até mesmo, auxiliando no controle biológico de outras espécies de insetos que causam problemas de saúde para a população humana (Saha *et al.* 2012). A ordem Odonata, no Brasil, tem as Subordens Zygoptera e Anisoptera. A maior parte dos Zygoptera são espécies pousadoras, que ficam boa parte do dia, pousadas na vegetação da margem dos riachos com as asas fechadas enquanto a maior parte dos Anisoptera passam boa parte do dia voando, e quando pousam ficam com as asas abertas (Corbet 1999).

No estado do Pará, em especial, apesar de existirem algumas espécies depositadas na coleção entomológica do Museu Paraense Emílio Goeldi de expedições que datam desde 1940, o estudo de Odonata vem se consolidando apenas nas últimas décadas (Mendoza-Penagos *et al.* 2022). O impedimento taxonômico existente sobre os insetos aquáticos no estado do Pará é grande, fato que dificulta estudos biológicos e ecológicos sobre essa fauna. As atividades de coleta, identificação e descrição de novas espécies no estado se tornam difícil pela sua extensa área geográfica, difícil acesso às áreas remotas e poucos taxonomistas presentes no estado (Mendoza-Penagos *et al.* 2022). No entanto, a partir de 2000, o conhecimento taxonômico sobre Odonata começou a crescer no estado (Carvalho *et al.* 2009, Pinto & Carvalho 2009).

Em 2012, o primeiro trabalho sobre padrões biogeográficos de Odonata na Amazônia foi publicado (Juen & De Marco 2012), utilizando o arcabouço teórico criado por Wallace (1854) que demonstrou pela primeira vez, com primatas, que os grandes rios da Amazônia eram barreiras geográficas que levaram espécies com menor capacidade de dispersão a processos históricos de especiação, mudando a composição em cada uma das margens dos grandes rios. Esses autores verificaram que as espécies Zygoptera (Odonata), as quais estima-se que tenham menor poder de dispersão, apresentaram padrões de distribuição

mais claros e menor proporção de espécies compartilhadas entre os diferentes interflúvios do bioma amazônico. Mais recentemente, Brasil *et al.* (2017, 2018) e Alves-Martins *et al.* (2019), também estudando os padrões biogeográficos de Odonata na Amazônia, acrescentaram aos achados de Juen & De Marco (2012) que além das barreiras à dispersão criadas pelos grandes rios, as condições ambientais dos riachos e a distância espacial entre as regiões eram fatores estruturantes para os padrões de diversidade de Odonata na Amazônia. Esses resultados tem efeitos diretos no planejamento de conservação e na realização de monitoramentos ambientais, uma vez que esses padrões naturais de diversidade devem ser considerados no desenho amostral de quem pretende conservar ou avaliar impactos ambientais na ordem Odonata.

Diante dessas questões transversais a qualquer estudo em biodiversidade, tais como conhecer as espécies e sua distribuição espacial, destacamos aqui os estudos de Odonata no Estado do Pará que se deparam com uma agressiva conversão da paisagem (Gardner *et al.* 2013). Mesmo existindo lacunas de conhecimentos básicos, a velocidade de transformação da paisagem para fins antrópicos ocorre em maior rapidez do que a geração de conhecimentos pela ciência. Assim, em virtude da urgência, para monitorar impactos ambientais, começou-se a utilizar Odonata como organismo alvo, uma vez que até então, já vinham se mostrando eficientes em outros lugares ou regiões até mesmo do Brasil, como observado por Ferreira-Peruquetti & De Marco (2002).

Apenas em 2015 foi publicado o primeiro trabalho avaliando impactos ambientais em riachos expostos a um gradiente com múltiplos usos da terra, como agricultura, pecuária e extração de madeira, utilizando Odonata como bioindicador, em Paragominas, no sudeste paraense (Oliveira-Junior *et al.* 2015). Neste estudo, os autores listaram cinco espécies de Odonata indicadoras de riachos ambientalmente preservados: *Heteragrion aurantiacum* Selys, 1862; *Protoneura tenuis* Selys, 1860; *Mnesarete aenea* (Selys 1853); *Argia infumata* (Selys 1865) e *Chalcopteryx rutilans* (Rambur 1842) (Figura 5). Calvão *et al.* (2016), ainda no sudeste paraense, avaliaram os impactos da extração de madeira convencional e com técnicas de impacto reduzido utilizando Odonata. Esses autores

constataram que a composição de espécies de Odonata era muito alterada em riachos impactados pelo corte convencional de madeira, uma vez que existia um aumento considerável na entrada de luz nas áreas de corte convencional, o que afeta diretamente os Odonata com menor ou limitada capacidade de termorregulação em áreas ensolaradas (De Marco *et al.* 2015). No entanto, onde a extração ocorria utilizando técnicas com impactos reduzidos, a composição não diferia das áreas naturais (controle). Esse fato também foi observado por Roque *et al.* (2015) em um estudo sobre insetos aquáticos saprofíticos no estado do Amazonas. Monteiro-Júnior *et al.* (2016) também evidenciaram alterações na composição de espécies de Odonata, onde foram comparadas as comunidades de Odonata de riachos de dentro da Floresta Nacional de Caxiuanã e de áreas do seu entorno. Das 43 espécies registradas pelos autores, 17 foram exclusivas da Floresta Nacional de Caxiuanã, 17 exclusivas do entorno e nove espécies comuns aos dois ambientes. Juen *et al.* (2016), utilizando a fauna de Odonata, Heteroptera e peixes, demonstraram que os avanços das áreas de plantação de palma de dendê sobre a floresta amazônica alteravam condições ambientais dos riachos, principalmente o aumento da entrada de luz, com impactos negativos principalmente na riqueza de espécies de Odonata da subordem Zygoptera.

Miguel *et al.* (2017) realizaram um estudo metodológico para estabelecer quais medidas de diversidade de Odonata eram mais sensíveis para detectar impactos ambientais, utilizando 50 riachos em um gradiente impactado por múltiplos usos da terra na região de Paragominas, PA. Essa região é um mosaico com predomínio de pastagens, partes agrícolas e muitas estradas que cortam os igarapés, sendo novamente o aumento da entrada de luz nos riachos o impacto ambiental mais severo para os Odonata adultos. Apesar de Odonata responder bem ao gradiente com diversas facetas, como por exemplo, a riqueza de espécies e abundância de indivíduos, a mudança na composição de espécies foi com o desmatamento e com maior entrada de luz, altera a frequência de ocorrência das espécies e com isso, a proporção dos indivíduos da subordem Anisoptera passa a ser maior, uma vez que esses táxons conseguem sobreviver em áreas ensolaradas (Oliveira-Junior

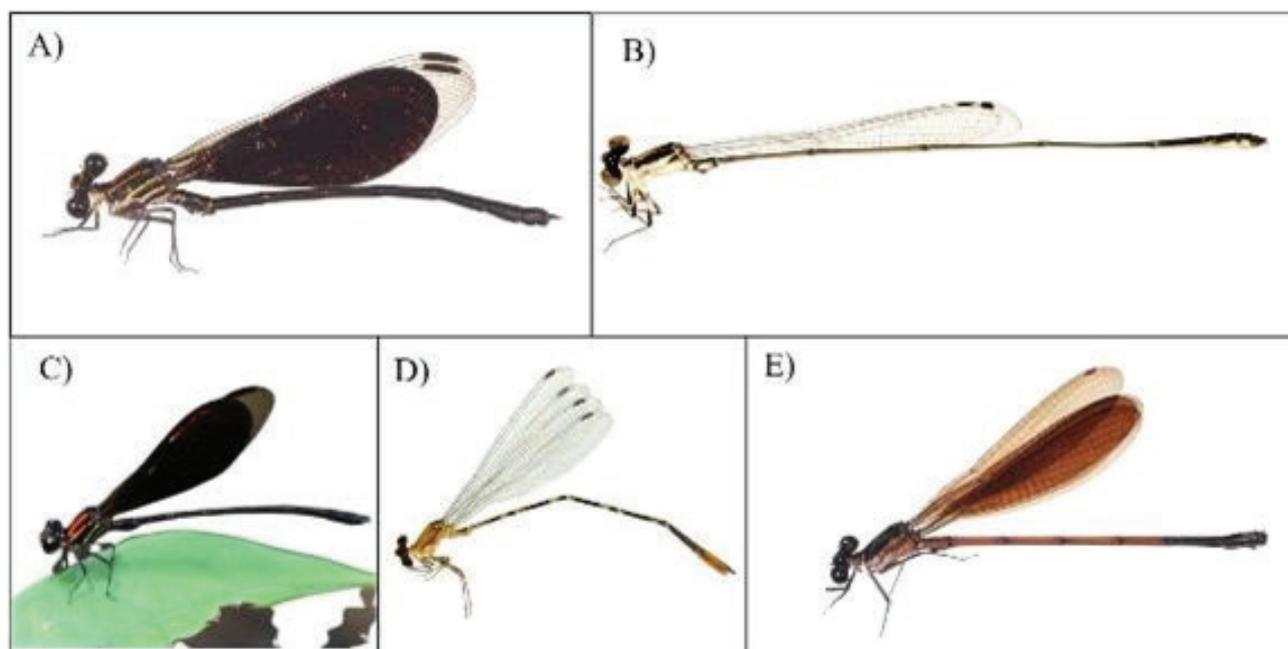


Figura 5. Espécies indicadoras de Odonata. A) *Chalcopteryx rutilans*, B) *Protoneura tenuis*, C) *Chalcopteryx rutilans*, D) *Heteragrion aurantiacum*, E) *Argia infumata*. Autoria das fotos: A, C e E, Dr. Adolfo C. Rivera; B e D, Dr. Diogo S. Vilela.

Figure 5. Odonata indicator species. (A) *Chalcopteryx rutilans*, (B) *Protoneura tenuis*, (C) *Chalcopteryx rutilans*, (D) *Heteragrion aurantiacum*, (E) *Argia infumata*. Author of the photos: A, C and E, Dr. Adolfo C. Rivera; B and D, Dr. Diogo S. Vilela.

& Juen 2019).

Os trabalhos que utilizam larvas de Odonata para avaliar alterações ambientais ainda são incipientes no estado do Pará, no entanto, seus resultados indicam o potencial de uso desse estágio de vida para esses fins. Mendes *et al.* (2019, 2020b) demonstraram que tanto as medidas de diversidade tradicionais, como riqueza de espécies ou diversidade beta, quanto as características morfológicas foram alteradas em riachos que drenam áreas de plantação de palma de dendê. As características morfológicas foram usadas para gerarem índices de diversidade morfológicas, cujos valores sempre foram maiores em riachos de áreas florestas, mostrando haver maior variação e diversidade morfológica. Ao passo que em áreas de plantação de dendê os valores foram menores, mostrando maior homogeneização morfológicas dos gêneros que conseguiram persistir nos ambientes afetados pelo uso do solo.

O uso da Ordem Hemiptera (Heteroptera) como bioindicador

Heteroptera apresenta integrantes com hábitos terrestres e aquáticos (Grazia *et al.* 2012). Dentre

os aquáticos, os representantes são popularmente conhecidos como percevejos e apresentam distribuição mundial, exceto na Antártida, mas apresentam maior diversidade nas zonas tropicais (Polhemus & Polhemus 2008, Mazzucconi *et al.* 2009). As infraordens Gerromorpha, Nepomorpha e Leptodomorpha são as que constituem os insetos associados aos ecossistemas aquáticos (Schuh & Slater 1995). Essas infraordens abrangem cerca de 4800 espécies, sendo a maior riqueza atribuída a Nepomorpha (2300 spp.), seguida de Gerromorpha (2100 spp.) e Leptodomorpha (380 spp.) (Polhemus & Polhemus 2008).

Nepomorpha inclui as espécies aquáticas e Gerromorpha e Leptodopodomorpha, as semiaquáticas (Schuh & Slater 1995, Nieser & Melo 1997). As espécies de Nepomorpha habitam uma grande variedade de igarapés e seus micro-habitats específicos despertam o interesse de cientistas e leigos. Entretanto, muitas espécies continuam não descritas e ainda se sabe pouco sobre sua distribuição (Nieser & Melo 1997). As espécies de Gerromorpha e Leptopodomorpha vivem sobre a lâmina d'água, plantas aquáticas e margens dos cursos d'água, podendo ser encontradas nos mais

variados ambientes (Nieser & Melo 1997, Ditrich *et al.* 2008). A maioria das famílias de Heteroptera aquáticos e semiaquáticos é predadora, exceto Corixidae, que podem ser onívoros de acordo com Polhemus & Polhemus (2008).

No Brasil, Moreira *et al.* (2011) registraram cerca de 15 famílias, 66 gêneros e 479 espécies de Gerromorpha e Nepomorpha. No Estado do Pará, representantes de três famílias, 21 gêneros e 89 espécies de Gerromorpha, e seis famílias, 16 gêneros e 63 espécies de Nepomorpha foram registrados (Moreira *et al.* 2011, Moreira 2020, Ribeiro *et al.* 2020). Novas espécies e novos registros de espécies para o Pará continuam sendo publicados com frequência (*e.g.*, Rodrigues *et al.* 2015, Floriano & Moreira 2015; Magalhães *et*

al. 2016, Dos Santos *et al.* 2021), o que evidencia a necessidade de estudos acerca dessas infraordens na região.

Estudos avaliando Heteroptera aquáticos e semiaquáticos como bioindicadores de alterações ambientais vem sendo desenvolvidos no estado do Pará, onde tem sido observado que a composição de Gerromorpha e Nepomorpha é modificada em monocultura de dendê. Os maiores valores de diversidade beta dessa assembleia foram observados em igarapés de floresta, que apresentou seis espécies de Gerromorpha (*Stridulivelia strigosa* (Hungerford 1929), *Rhagovelia evidis* Bacon, 1948, *Tachygerris celocis* (Drake; Harris, 1931), *Brachymetra lata* Shaw, 1933, *Rhagovelia jubata* Bacon, 1948, *Microvelia* sp.2) e quatro

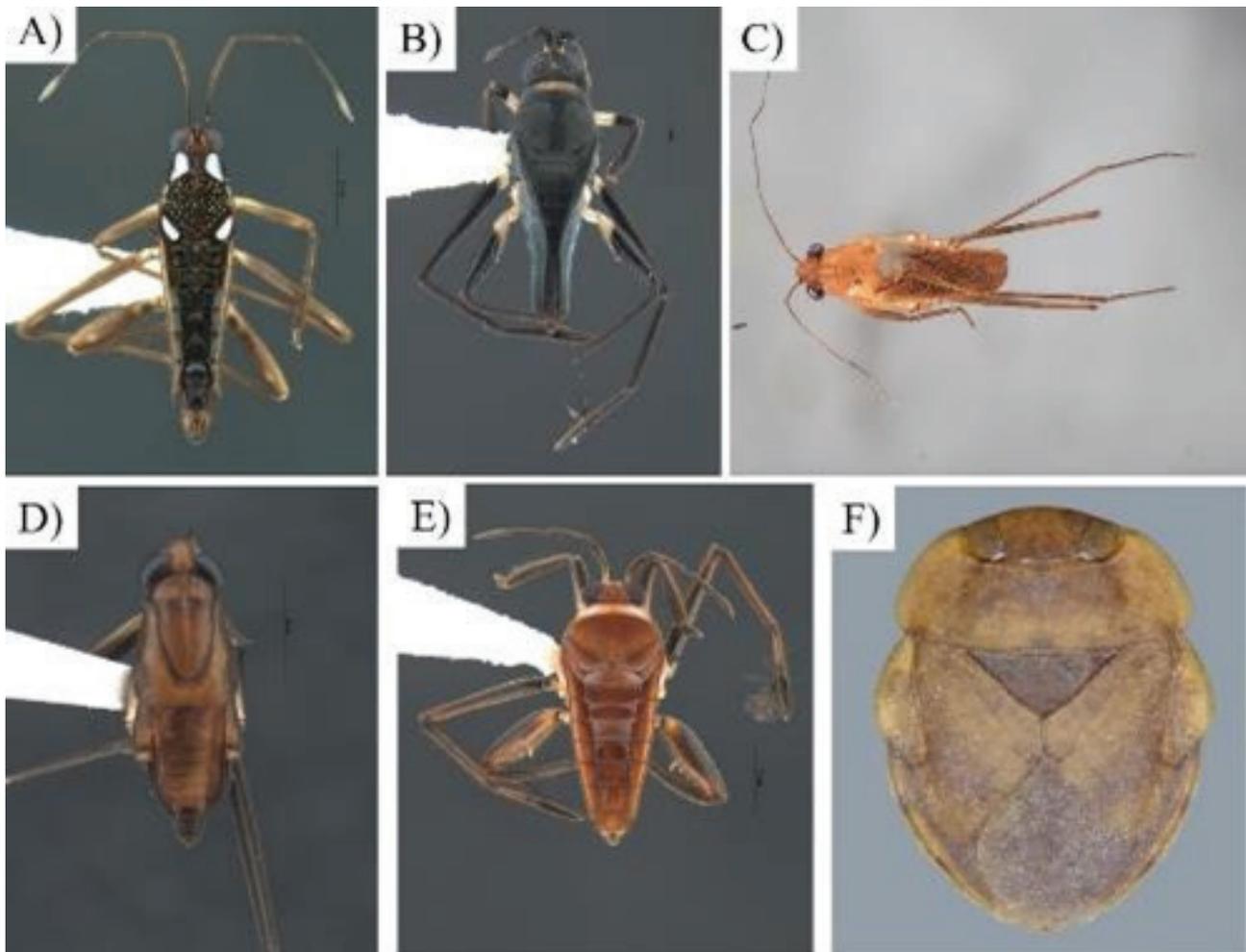


Figura 6. Espécies indicadoras de Heteroptera (Hemiptera). A) *Stridulivelia strigosa*, B) *Rhagovelia evidis*, C) *Tachygerris celocis*, D) *Brachymetra lata*, E) *Rhagovelia jubata*, F) *Limnocoris burmeister*. Autoria das fotos: A, B, D e E, Dra Juliana M. S. Rodrigues; C, Dra Carla Fernanda BURGUEZ Floriano; E, Dr Higor Rodrigues.

Figure 6. *Heteroptera* (Hemiptera) indicator species. (A) *Stridulivelia strigosa*, (B) *Rhagovelia evidis*, (C) *Tachygerris celocis*, (D) *Brachymetra lata*, (E) *Rhagovelia jubata*, (F) *Limnocoris burmeister*. Author of the photos: A, B, D and E, Dr. Juliana M. S. Rodrigues; C, Dr. Carla Fernanda BURGUEZ Floriano; E, Dr. Higor Rodrigues.

de Nepomorpha (*Tenagobia* spp, *Limnocoris burmeisteri* De Carlo, 1967, *Martarega gonostyla* Truxal, 1949, *Ranatra tuberculifrons* Montandon, 1907). Apenas uma espécie de Gerromorpha *Rhagovelia brunae* Magalhães & Moreira 2016 foi indicadora de áreas de plantação de palma (Cunha & Juen 2017) (Figura 6). A riqueza de Heteroptera também respondeu negativamente a alteração ambiental, ou seja, locais com menores valores de integridade ambiental apresentaram as menores riquezas (Cunha *et al* 2015). Heteroptera, geralmente, tem respondido a alterações físicas do habitat, e não às variáveis limnológicas, evidenciando sua maior associação com a presença e estrutura de vegetação nos igarapés analisados (Cunha & Juen 2015, Juen *et al.* 2016). Um índice multimétrico incluindo Heteroptera e outras ordens de insetos aquáticos e peixes (Chen *et al.* 2017) foi proposto para avaliar o efeito de impactos antropogênicos sobre igarapés em Paragominas e Santarém. Nessa região, o índice mostrou que houve perda de riqueza com o aumento do distúrbio antropogênico.

As variáveis, imersão do substrato, largura, profundidade e declividade do canal do igarapé, além da presença de vegetação em suas margens são os fatores locais direcionadores da metacomunidade de Gerromorpha (Cunha & Juen 2020). Todos estes resultados são atribuídos a especificidade de algumas espécies de Heteroptera, por locais sombreados, presença de substrato e estabilidade dos igarapés, o que reduz a competição e permite a coexistência de várias espécies.

Perspectivas futuras sobre o uso de insetos aquáticos como bioindicadores no estado do Pará

Apesar de todas as dificuldades de logística para chegar no campo devido a precariedade ou inexistência de estradas, e o diminuto montante financeiro disponível par pesquisas de campo o conhecimento sobre os bioindicadores tem aumentado bastante nos últimos anos (Godoy *et al.* 2019, Molineri *et al.* 2020). Isso também vem acontecendo no estado do Pará (Mendoza-Penagos *et al.* 2021), conforme apresentado e discutido acima. Principalmente em virtude da chegada de mais pesquisadores que trabalham com insetos aquáticos e da contratação de pesquisadores

recém-formados que atuam na pesquisa e na formação de novos cientistas. Hoje temos pesquisadores que estudam insetos aquáticos nas principais cidades do estado e orientando nos programas de pós-graduação, possibilitando a formação de novos pesquisadores, bem como, a realização de dissertações e teses usando os insetos aquáticos como organismos alvo.

O Pará é um dos estados que apresentam grandes empreendimentos realizados e planejados para serem instalados nos próximos anos. Esses empreendimentos incluem: hidrelétricas, áreas para mineração, construção ou pavimentação de estradas, portos entre outros (Lu *et al.* 2013). Mas infelizmente, apesar de amplamente comprovado que os insetos aquáticos são excelentes ferramentas de bioindicação e de algumas ordens (Ephemeroptera e Odonata) já serem avaliadas pelo ICMBio (ICMBio 2018) quanto ao seus status de conservação, a maioria dos empreendimentos ainda não monitoram os impactos sobre os ambientes aquáticos ou, quando o fazem, é apenas sobre os vertebrados. Apesar de Odonata já ser usado pelo ICMBio no monitoramento das unidades de conservação na Amazônia (Brasil *et al.* 2020b), infelizmente para os empreendimentos nem sempre isso acontece. Por isso, um dos desafios para os próximos anos é divulgar, cada vez mais, a eficiência dos insetos aquáticos como organismos bioindicadores e induzir as agências ambientais Federais, Estaduais e Municipais a utilizarem esses organismos para avaliar como as alterações ambientais afetam a qualidade da água.

Algumas abordagens têm aumentado muito nos últimos anos e contribuído bastante para que possamos entender melhor o que está acontecendo com os organismos bioindicadores. Isso é muito importante, porque eles podem criar resistência ou sensibilidade as alterações de habitats, cuja consequência é um aumento ou diminuição da sua abundância (Miguel *et al.* 2017). Além disso, precisamos aumentar nossa capacidade de prever o que acontece no funcionamento da comunidade com o desaparecimento de determinadas espécies (Luiza-Andrade *et al.* 2017). Uma dessas abordagens é a diversidade funcional, que busca mensurar as características morfológicas, biológicas, comportamentais e de história de vida das espécies, tornando possível associações entre

os atributos funcionais e as condições ambientais (Poff *et al.* 2006). A diversidade funcional é bastante promissora nos estudos ecológicos. Porém, o uso eficaz de tal ferramenta seria melhor aplicável se houvesse uma amostragem representativa dos padrões globais, com a existência de um entendimento mais aprofundado dos mecanismos que levam à presença ou ausência dos indivíduos em um ecossistema.

A diversidade filogenética também é uma abordagem promissora que procura inserir ou avaliar as relações filogenéticas das espécies na diversidade da localidade amostrada. Essa abordagem é importante, uma vez que, sabemos que a perda de espécies dentro de uma linhagem evolutiva não é aleatória, visto que a relação filogenética pode influenciar como as espécies respondem aos impactos humanos (Carvalho *et al.* 2021, Bastos *et al.* 2021). Por exemplo, espécies estreitamente relacionadas tendem a mostrar alta similaridade de características e comportamentos, consequentemente, respondem de forma semelhante as ameaças (Felsenstein 1985). Por outro lado, espécies não aparentadas podem responder de forma diferente às ameaças humanas (Loyola *et al.* 2014). Porém, infelizmente para insetos aquáticos, as filogenias existentes são para poucas famílias e, quando muito, a nível de gênero (Rehn 2003) e a ausência de grandes árvores filogenéticas limita os avanços nos estudos de ecologia e conservação.

Outra abordagem que pode auxiliar no avanço dos estudos de bioindicadores é a ecotoxicologia. Na maioria das vezes, o efeito das alterações ambientais sobre os organismos começa em escalas de menores níveis de organização biológica (dano celular), de mais difícil detecção, alterando estrutural (*e.g.*, assimetria flutuante, má formação morfológica) e funcionalmente (*e.g.*, perda de funções ecossistêmicas, danos a teia trófica). Avaliações em menores níveis de organizações biológica, como molecular e morfológico, tornam possível detectar efeitos adversos à saúde dos organismos mais precocemente (Matthews *et al.* 1982). Assim, o efeito das alterações no hábitat pode gerar danos macromoleculares nas espécies que, por sua vez, podem refletir em mudanças dos parâmetros que usamos, como abundância e presença/ausência das espécies no ambiente (Mendes *et al.*

2020a). Porém, infelizmente, avaliações de riscos ecológicos para comunidades aquáticas, sob uma perspectiva ecotoxicológica, ainda são escassas (Adams *et al.* 2021), principalmente para insetos aquáticos na Amazônia (Mendes *et al.* 2020a). Acreditamos que a aplicação dessa abordagem pode detectar bons indicadores ambientais e, através do biomonitoramento, evitar possíveis processos de extinção de espécies. Assim, diante do cenário atual, futuramente com maiores investimentos em pesquisas ecotoxicológicas será possível obter uma maior compreensão dos efeitos antropogênicos sobre os danos causados às espécies de insetos aquáticos.

CONCLUSÃO

Temos avançado e as perspectivas futuras são muito positivas no uso dos insetos aquáticos como bioindicadores, sendo possível monitorar condições ambientais de mudanças no uso do solo por atividades de retirada de madeira, pastagem, plantio de curto (*e.g.* soja) ou de longa duração (dendê) e mineração. Para isso os insetos aquáticos das ordens Ephemeroptera, Heteroptera, Odonata, Plecoptera e Trichoptera são muito eficientes, podendo utilizar as métricas clássicas de variação da riqueza de espécies, abundância de indivíduos, composição e/ou espécies bioindicadores, bem como, métricas mais elaboradas como diversidade funcional e diversidade filogenética.

Indubitavelmente, um dos principais desafios é aumentar o conhecimento de biologia e ecologia básica das espécies. Informações como o tipo de habitat, especificidade, capacidade de dispersão, tempo de desenvolvimento, quantidade de ciclos de vida e de reprodução são essenciais para aumentar nosso entendimento sobre a sensibilidade ou resiliências das espécies. Inserir os possíveis efeitos da história evolutiva, da morfologia, do comportamento e da coloração pode ser primordial para entendermos melhor o padrão de distribuição das espécies e de sua sensibilidade. Associado ou paralelamente a todos esses tópicos, precisamos tentar simplificar os protocolos de monitoramento, para tentar aumentar a participação das pessoas no monitoramento pela ciência cidadã (Bried *et al.* 2020). Atualmente o ICMBio já utiliza Odonata para o monitoramento da qualidade ambiental

de igarapés dentro de Unidades de Conservação na Amazônia (Brasil *et al.* 2020b), mas isso pode ser expandido para outros grupos como EPT e Heteroptera. No estado do Pará, parcerias entre universidade e empresas já vem promovendo o uso de insetos aquáticos para monitorar impactos ambientais em áreas de plantação de dendê e mineração, o que aponta um caminho importante para conciliar o desenvolvimento da pesquisa com aporte financeiro privado vindo das empresas e melhora na qualidade do monitoramento ambiental nas empresas vindas dos especialistas que estão nas universidades.

REFERÊNCIAS

- Adams, E., Leeb, C., & Brühl, C. A. 2021. A exposição a pesticidas afeta a capacidade reprodutiva de sapos comuns (*Bufo bufo*) em uma paisagem vitícola. *Ecotoxicology*, 1-11.
- Alves-Martins, F., Brasil, L. S., Juen, L., De Marco Jr, P., Stropp, J., & Hortal, J. 2019. Metacommunity patterns of Amazonian Odonata: the role of environmental gradients and major rivers. *PeerJ*, 7, e6472. DOI: 10.7717/peerj.6472
- Athayde, S., Duarte, C. G., Gallardo, A. L. C. F., Moretto, E. M., Sangoi, L., Dibo, A. P. A., Siqueira-Gay, J. & Sanchez, L. E. 2019. Improving policies and instruments to address cumulative impacts of small hydropower in the Amazon. *Energy Policy*, 132, 265-271. DOI: 10.1016/j.enpol.2019.05.003
- Baptista, V. A., Antunes, M. B., Martello, A. R., Figueiredo, N. S. B., Amaral, A. M. B., Secretti, E. & Braun, B. 2014. Influence of environmental factors on the distribution of families of aquatic insects in rivers in southern Brazil. *Ambiente & Sociedade*, 17(3), 153-174. DOI: 10.1590/S1414-753X2014000300010
- Bispo, P.C., Oliveira, L.G. 2007. Diversity and structure of Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera (Insecta) assemblages from riffles in mountain streams of Central Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 24, 283-293. DOI: 10.1590/S0101-81752007000200004
- Brasil, L. S., Oliveira-Júnior, J. M., Calvão, L. B., Carvalho, F. G., Monteiro-Júnior, C. S., Dias-Silva, K., & Juen, L. 2018. Spatial, biogeographic and environmental predictors of diversity in Amazonian Zygoptera. *Insect conservation and diversity*, 11(2), 174-184. DOI: 10.1111/icad.12262
- Brasil, L. S., Vieira, T. B., Oliveira-Junior, J. M. B., Dias-Silva, K., & Juen, L. 2017. Elements of metacommunity structure in Amazonian Zygoptera among streams under different spatial scales and environmental conditions. *Ecology and Evolution*, 7(9), 3190-3200. DOI: 10.1002/ece3.2849
- Brasil, L. S., Luiza-Andrade, A., Calvão, L. B., Dias-Silva, K., Faria, A. P. J., Shimano, Y., Oliveira-Junior, J. M. B., Cardoso, M. N., & Juen, L. 2020a. Aquatic insects and their environmental predictors: a scientometric study focused on environmental monitoring in lotic environmental. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(3): 194. DOI: 10.1007/s10661-020-8147-z
- Brasil, L. S., Dantas, D. D. F., Polaz, C. N. M., Raseira, M. B., & Juen, L. 2020b. Monitoramento participativo em igarapés de unidades de conservação da Amazônia brasileira utilizando Odonata. *Heterina Boletín de la Sociedad Odonatología Latinoamericana*, 2:8-13.
- Brasil, L. S., Juen, L., Batista, J. D., Pavan, M. G., & Cabette, H.S.R. 2014. Longitudinal distribution of the functional feeding groups of aquatic insects in stream of the Brazilian Cerrado Savanna. *Neotropical Entomology* 43(5), 421-428. DOI: 10.1007/s13744-014-0234-9
- Brito, J. G., Martins, R. T., Oliveira, V. C., Hamada, N., Nessimian, J. L., Hughes, R. M., Ferraz, S. F. B., & De Paula, F. R. 2018. Biological indicators of diversity in tropical streams: Congruence in the similarity of invertebrate assemblages. *Ecological Indicators*, 85, 85-92. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.09.001
- Brito, J. G., Roque, F. O., Martins, R. T., Nessimian, J. L., Oliveira, V. C., Hughes, R. M., De Paula, R. R., Ferraz, S. F. B., & Hamada, N. 2020. Small forest losses degrade stream macroinvertebrate assemblages in the eastern Brazilian Amazon. *Biological Conservation*, 241, 108263. DOI: 10.1016/j.biocon.2019.108263
- Brown, D. S., Brown, J. C., & Brown, C. 2016. Land occupations and deforestation in the Brazilian Amazon. *Land Use Policy*, 54, 331-338. DOI: 10.1016/j.landusepol.2016.02.003
- Callisto, M. 1993. Macroinvertebrate fauna of an Amazonian lake impacted by bauxite mining - Lago Batata. *Chironomus Newsletter*, 5, 15-15.

- Callisto, M., & Esteves, F. 1995. Distribuição da comunidade de macroinvertebrados bentônicos em um ecossistema amazônico impactado por rejeito de bauxita - Lago Batata (Pará, Brasil). *Oecologia Brasiliensis*, 1, 335-348.
- Callisto, M., & Esteves, F. 1996. Macroinvertebrados bentônicos em dois lagos amazônicos: lago Batata (um ecossistema impactado por rejeito de bauxita) e lago Mussurá (Brasil). *Acta Limnológica Brasiliensis*, 8, 137-147.
- Callisto, M., & Esteves, F. 1998. Categorização funcional dos macroinvertebrados bentônicos em quatro ecossistemas lóticos sob influência das atividades de uma mineração de bauxita na Amazônia Central (Brasil). *Oecologia Brasiliensis*, 5, 223-234.
- Callisto, M., Esteves, F., Goncalves, J., & Fonseca, J. 1998b. Benthic macroinvertebrates as indicators of ecological fragility of small rivers (igarapés) in a bauxite mining region of Brazilian Amazonia. *Amazoniana*, 15, 1, 1-9.
- Callisto, M., Esteves, F., Goncalves, J., & Fonseca, J. 1999. Impact of bauxite tailings on the distribution of benthic macrofauna in a small river (igarapé) in Central Amazonia, Brazil. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 71, 4, 447-455.
- Callisto, M., Fonseca, J., & Goncalves, J. 1998a. Benthic macroinvertebrates of four Amazonian streams influenced by bauxite mine (Brazil). *Proceedings of the International Association of Theoretical and Applied Limnology*, 26, 983-985.
- Callisto, M., Fonseca, J., & Goncalves, J. 1998c. Benthic macroinvertebrate community structure in an Amazonian lake impacted by bauxite tailing (Pará, Brazil). *Proceedings of the International Association of Theoretical and Applied Limnology*, 26, 2053-2055.
- Callisto, M., Gonçalves, J. F. Jr., Fonseca, J. J. L., & Esteves, F. A. 1998d. Impact of bauxite tailings on sediment granulometry and distribution of benthic macrofauna in an igarapé in Central Amazonia, Brazil. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 71, 4, 443-451.
- Calvão, L. B., Nogueira, D. S., de Assis Montag, L. F., Lopes, M. A., & Juen, L. 2016. Are Odonata communities impacted by conventional or reduced impact logging? *Forest Ecology and Management*, 382, 143-150. DOI: 10.1016/j.foreco.2016.10.013
- Cardoso, M. N., Calvão, L. B., Montag, L. F. A., Godoy, B. S., & Juen, L. 2018. Reducing the deleterious effects of logging on Ephemeroptera communities through reduced impact management. *Hydrobiologia*. 823, 191-203. DOI: 10.1007/s10750-018-3705-x
- Carreiras, J. M. B., Jones, J., Lucas, R. M., & Gabriel, C. 2014. Land Use and Land Cover Change Dynamics across the Brazilian Amazon: Insights from Extensive Time-Series Analysis of Remote Sensing Data. *PLoS ONE*, 9(8), e104144. DOI: 10.1371/journal.pone.0104144
- Carvalho, A. L., Pinto, Â. P., & Ferreira-Jr, N. 2009. *Castoraeschna corbeti* sp. nov. from Floresta Nacional de Carajés, Pará state, Brazil (Odonata: Aeshnidae). *International Journal of Odonatology*, 12(2), 337-346. DOI: 10.1080/13887890.2009.9748350
- Carvalho, F. G., de Oliveira Roque, F., Barbosa, L., de Assis Montag, L. F., & Juen, L. 2019. Oil palm plantation is not a suitable environment for most forest specialist species of Odonata in Amazonia. *Animal Conservation*, 21(6), 526-533. DOI: 10.1111/acv.12427
- Castro, D. M. P., Dolédec, S., & Callisto, M. 2018. Land cover disturbance homogenizes aquatic insect functional structure in neotropical savanna streams. *Ecological Indicators*, 84, 573-582. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.09.030
- Chen, K., Hughes, R. M., Brito, J. G., Leal, C. G., Leitão, R. P., Oliveira-Junior, J. M. B., ... & Zuanon, J. 2017. A multi-assembly, multi-metric biological condition index for eastern Amazonia streams. *Ecological Indicators*, 78, 48-61. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.03.003
- Corbet, P. S. 1999. *Dragonflies: behaviour and ecology of Odonata*. Colchester: Harley books. P. 882.
- Cunha, E. J., & Juen, L. 2020. Environmental drivers of the metacommunity structure of insects on the surface of tropical streams of the Amazon. *Austral Ecology*, 45(5), 586-595. DOI:10.1111/aec.12873
- Cunha, E. J., & Juen, L. 2017. Impacts of oil palm plantations on changes in environmental heterogeneity and Heteroptera (Gerromorpha and Nepomorpha) diversity. *Journal of Insect Conservation*, 21(1), 111-119. DOI: 10.1007/

- s10841-017-9959-1
- Cunha, E. J., Guterres, A. P. M., Godoy, B. S., & Juen, L. 2020. Wing dimorphism in semiaquatic bugs (Hemiptera, Heteroptera, Gerromorpha) as a tool for monitoring streams altered by oil palm plantation in the Amazon. *Ecological Indicators*, 117, 106707. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106707
- Dahm, V., Hering, D., Nemitz, D., Graf, W., Schmidt-Kloiber, A., Leitner, P., Melcher, A., & Feld, C. K. 2013. Effects of physico-chemistry, land use and hydromorphology on three riverine organism groups: a comparative analysis with monitoring data from Germany and Austria. *Hydrobiologia*, 704, 389–415. DOI: 10.1007/s10750-012-1431-3
- De Marco, P., Batista, J. D., & Cabette, H. S. R. 2015. Community assembly of adult odonates in tropical streams: an ecophysiological hypothesis. *PLoS One*, 10(4), e0123023. DOI: 10.1371/journal.pone.0123023
- Ditrich, T., Papáček, M., & Broum, T. 2008. Spatial distribution of semiaquatic bugs (Heteroptera: Gerromorpha) and their wing morphs in a small scale of the Pohořský Potok stream spring area (Novohradské Hory Mts.). *Silva Gabreta*, 14(3), 173-178.
- Faria, A. P. J., Ligeiro, R., Callisto, M., & Juen, L. 2017. Response of aquatic insect assemblages to the activities of traditional populations in eastern Amazonia. *Hydrobiologia*, 802, 39–51. DOI: 10.1007/s10750-017-3238-8
- Felsenstein, J. 1985. Phylogenies and the comparative method. *The American Naturalist*, 125(1), 1-15.
- Ferreira-Peruquetti, P., & De Marco Jr, P. 2002. Efeito da alteração ambiental sobre comunidades de Odonata em riachos de Mata Atlântica de Minas Gerais, Brasil. *Revista brasileira de Zoologia*, 19(2), 317-327. DOI: 10.1590/S0101-81752002000200002
- Floriano, C. F. B., & Moreira, F. F. F. 2014. A new species of Rhagovelia Mayr, 1865 (Hemiptera: Heteroptera: Veliidae) from Brazil. *Zootaxa*, 4018(3), 437-443. DOI: 10.11646/zootaxa.4018.3.7
- Gardner, T. A., Ferreira, J., Barlow, J., Lees, A. C., Parry, L., Vieira, I. C. G., ... & Zuanon, J. 2013. A social and ecological assessment of tropical land uses at multiple scales: the Sustainable Amazon Network. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1619), 20120166. DOI: 10.1098/rstb.2012.0166
- Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 368(1619), 20120166. DOI: 10.1098/rstb.2012.0166
- Jimenez, B. C. G., Lansac-Toha, F. A., & Higuti, J. 2015. Effect of land use on the composition, diversity and abundance of insects drifting in neotropical streams. *Brazilian Journal of Biology*, 75(4), 52-59. DOI: 10.1590/1519-6984.03914
- Grazia, J., Cavichioli, R. R., Wolff, V. R. S., Fernandes, J. A. M., & Takiya, D. M. 2012. Hemiptera. In: Rafael, J.A., Melo, G.A.R., et al. (Ed). *Insetos do Brasil: Diversidade e taxonomia*. Holos, 28, 810.
- Hamada, N.; Silva, J. O. *Ordem Plecoptera* (283-288p). In: Hamada, N., J.L. Nessimian & R.B. Querino (Eds.). *Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia*. Manaus: Editora do INPA, p. 728.
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Kommareddy, A., et al. 2013. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342, 850-853. DOI: 10.1126/science.1244693
- Hepp, L. U., Restello, R. M., Milesi, S. V., Biasi, C., & Molozzi, J. 2013. Distribution of aquatic insects in urban headwaters streams. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 25(1), 1-9. DOI: 10.1590/S2179-975X2013005000014
- INPE (2021). Projeto PRODES: Monitoramento da floresta Amazônica Brasileira por satélite. Disponível em: www.obt.inpe.br/prodes (acessado em 29 de março de 2021).
- Juen, L., & De Marco, P. 2012. Dragonfly endemism in the Brazilian Amazon: competing hypotheses for biogeographical patterns. *Biodiversity and Conservation*, 21(13), 3507-3521. DOI: 10.1007/s10531-012-0377-0
- Juen, L., Cunha, E. J., Carvalho, F. G., Ferreira, M. C., Begot, T. O., Andrade, A. L., Shimano, Y., Leão, P., Pompeu, P.S., & Montag, L. F. A. 2016. Effects of oil palm plantations on the habitat structure and biota of streams in Eastern Amazon. *River Research and Applications*, 32(10), 2081-2094.
- Leal, J. J. F., & Esteves, F. A. 2000. Life cycle and production of *Campsurus notatus* (Ephemeroptera, Polymitarcyidae) in an Amazonian lake impacted by bauxite tailings (Para, Brazil). *Hydrobiologia*, 437, 91-99. DOI:

- 10.1023/A:1026526101039
- Lecci, L. & Duarte, T. 2022. Plecoptera in Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil. PNUD. Disponível em: <<http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil/304>>. Acesso em: 23 Jun. 2022.
- Lobo, F. D. L., Souza-Filho, P. W. M., Novo, E. M. L. M., Carlos, F. M., & Barbosa, C. C. F. 2018. Mapping Mining Areas in the Brazilian Amazon Using MSI/Sentinel-2 Imagery (2017). *Remote Sensing*, 10, 1178. DOI: 10.3390/rs10081178
- Loyola, R. D., Lemes, P., Brum, F. T., Provete, D. B., & Duarte, L. D. 2014. Clade-specific consequences of climate change to amphibians in Atlantic Forest protected areas. *Ecography*, 37(1), 65-72. DOI: 10.1111/j.1600-0587.2013.00396.x
- Magalhães, O. M., Moreira, F. F., Galvão, C. 2016. A new species of Rhagovelia Mayr, 1865 (Hemiptera: Heteroptera: Veliidae) from Pará State, with an updated key to Brazilian species of the robusta group. *Zootaxa*, 4171(3), 586-594. DOI: 10.11646/zootaxa.4171.3.12.
- Martins, R. T., Oliveira, V. C. & Salcedo, A. K. M. 2014. Uso de insetos aquáticos na avaliação de impactos antrópicos em ecossistemas. In: Hamada, N., J.L. Nessimian & R.B. Querino (Eds.). *Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia*. pp. 117-128. Manaus: Editora do INPA.
- Mazzucconi, S. A. 2009. A new species of Martarega White, 1879 from South America (Hemiptera: Heteroptera: Notonectidae), with an identification key to all described species of the genus. *Aquatic Insects*, 33 (2), 113-126. DOI: 10.1080/01650424.2011.600317
- Mendes, T. P., Amado, L. L., & Juen, L. 2020a. Glutathione S-transferase activity in *Mnesarete aenea* (Odonata), *Campylocia anceps* (Ephemeroptera), and *Cylindrostethus palmaris* (Hemiptera) from forest and oil palm plantation areas in the Eastern Amazon. *Ecological Indicators*, 118, 106770. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106770
- Mendes, T. P., Benone, N. L., & Juen, L. 2019. To what extent can oil palm plantations in the Amazon support assemblages of Odonata larvae? *Insect Conservation and Diversity*, 12(5), 448-458. DOI: 10.1111/icad.12357
- Mendoza-Penagos, C. C., Vinagre, S. F., Miranda-Filho, J., Cruz, A., Carvalho, F. G., Oliveira-Junior, J. M. B., Calvão, L. B., & Juen, L. 2022. Coleções Científicas na América Latina: A Coleção de adultos de Odonata do Laboratório de Ecologia e Conservação (LABECO) da UFPA. *Hetaerina*, 4, 20-22.
- Miguel, T. B., Oliveira-Junior, J. M. B., Ligeiro, R., & Juen, L. 2017. Odonata (Insecta) as a tool for the biomonitoring of environmental quality. *Ecological Indicators*, 81, 555-566. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.06.010
- Montag, L. F. A., Leão, H., Benone, N. L., Monteiro-Júnior, C. S., Faria, A. P. J., Nicacio, G., Ferreira, C. P., Garcia, D. H. A., Santos, C. R. M., Pompeu, P. S., Winemiller, K. O., & Juen, L. 2018. Contrasting associations between habitat conditions and stream aquatic biodiversity in a forest reserve and its surrounding area in the Eastern Amazon. *Hydrobiologia*. DOI: 10.1007/s10750-018-3738-1
- Monteiro-Júnior, C. S., Esposito, M. C., & Juen, L. 2016. Are the adult odonate species found in a protected area different from those present in the surrounding zone? A case study from eastern Amazonia. *Journal of insect conservation*, 20(4), 643-652. DOI: 10.1007/s10841-016-9895-5
- Moreira, F. F. F. 2020. Veliidae in Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil. PNUD. Disponível em: <<http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil/1596>>. Acesso em: 28 Ago. 2020
- Moreira, F. F. F., Barbosa, J. F., Ribeiro, J. R. I., & Alecrim, V. P. 2011. Checklist and distribution of semiaquatic and aquatic Heteroptera (Gerromorpha and Nepomorpha) occurring in Brazil. *Zootaxa* 2958, 1-74. DOI: 10.11646/zootaxa.2958.1.1
- Moura, N. G. M., Lees, A. C. L., Andretti, C., Davis, B., Solar, R., Aleixo, A., Barlow, J., Ferreira, J., & Gardner, T. 2013. Avian biodiversity in multiple-use landscapes of the Brazilian Amazon. *Biological Conservation*, 167, 339-348. DOI: 10.1016/j.biocon.2013.08.023
- Nessimian, J. L., Venticinque, E., Zuanon, J., De Marco, P., Gordo, M., Fidelis, L., Batista, J. D., & Juen, L. 2008. Land use, habitat integrity, and aquatic insect assemblages in Central Amazonian streams. *Hydrobiologia*, 614, 117-131. DOI: 10.1007/s10750-008-9441-x

- Nieser, N. & Melo, A. L. 1997. Os heterópteros aquáticos de Minas Gerais: guia introdutório com chave de identificação para as espécies de Nepomorpha e Gerromorpha. Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais: Belo Horizonte. p. 177.
- Oliveira-Junior, J. M. B., & Juen, L. 2019. The Zygoptera/Anisoptera ratio (Insecta: Odonata): a new tool for habitat alterations assessment in Amazonian streams. *Neotropical Entomology*, 48, 1–9. DOI: 10.1007/s13744-019-00672-x
- Oliveira-Junior, J. M. B., Junior, P. D. M., Dias-Silva, K., Leitão, R. P., Leal, C. G., Pompeu, P. S., Gardner, T. A., Hughes, R. M., & Juen, L. 2017. Effects of human disturbance and riparian conditions on Odonata (Insecta) assemblages in eastern Amazon basin streams. *Limnologia*, 66, 31-39. DOI: 10.1016/j.limno.2017.04.007
- Oliveira-Junior, J. M. B., Shimano, Y., Gardner, T. A., Hughes, R. M., de Marco Júnior, P., & Juen, L. 2015. Neotropical dragonflies (Insecta: Odonata) as indicators of ecological condition of small streams in the eastern Amazon. *Austral Ecology*, 40(6), 733-744. DOI: 10.1111/aec.12242
- Pes, A. M.; Santos, A. P. M.; Barcelos-Silva, P.; Camargos, L. M. 2014. Ordem Trichoptera. In: Hamada, N., J. L. Nessimian & R.B. Querino (Eds.). *Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia*. pp. 391-433. Manaus: Editora do INPA.
- Paiva, C. K. S., Faria, A. P. J., Calvão, L. B., & Juen, L. 2021. The anthropic gradient determines the taxonomic diversity of aquatic insects in Amazonian streams. *Hydrobiologia*, 848, 1073–1085. DOI: 10.1007/s10750-021-04515-y
- Paiva, C. K. S., Faria, A. P. J., Calvão, L. B., & Juen, L. 2017. Effect of oil palm on the Plecoptera and Trichoptera (Insecta) assemblages in streams of eastern Amazon. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189, 393. DOI: 10.1007/s10661-017-6116-y
- Paula, F. R., Leal, C. G., Leitão, R.P, Ferraz, S. F. B., Pompeu, P. S., Zuanon, J. A. S., & Hughes, R. M. 2021. The role of secondary riparian forests for conserving fish assemblages in eastern Amazon streams. *Hydrobiologia*, 1-18. DOI: 10.1007/s10750-020-04507-4
- Pinto, A. P., & Carvalho, A. L. 2009. On a small collection of dragonflies from Barcarena municipality, Pará state, Brazil, with the rediscovery of *Acanthallagma luteum* Williamson & Williamson. *Bulletin of American Odonatology*, 11(1), 11-16.
- Poff, N. L., Olden, J. D., Vieira, N. K., Finn, D. S., Simmons, M. P., & Kondratieff, B. C. 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(4), 730-755. DOI: <https://doi.org/bkk4mq>
- Polhemus, J. T., & Polhemus, D. A. 2008. Global diversity of true bugs (Heteroptera: Insecta) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595, 379-391. DOI: 10.1007/s10750-007-9033-1
- Putz, F.E., & Redford, H. K. 2010. Tropical forest definitions, degradation, phase shifts, and further transitions. *Biotropica*, 42, 10-20. DOI: 10.1111/j.1744-7429.2009.00567.x
- Rehn, A. C. 2003. Phylogenetic analysis of higher-level relationships of Odonata. *Systematic Entomology*, 28(2), 181-240. DOI: 10.1046/j.1365-3113.2003.00210.x
- Ribeiro, J. R. I., Rodrigues, H. D. D., Barbosa, J. F., & Stefanello, F. 2020. *Nepidae* in Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil. PNUD. Disponível em: <<http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil/2273>>. Acesso em: 28 Ago. 2020
- Rodrigues, H. D. D., Moreira, F. F. F., Nieser, N., Chen, P. P., Melo, A. L., Dias-Silva, K., & Giehl, N. F. S. (2015). The genus *Paravelia* Breddin, 1898 (Hemiptera: Heteroptera: Veliidae) in Brazil, with descriptions of eight new species. *Zootaxa*, 3784(1), 1-47. DOI: 10.11646/zootaxa.3784.1.1
- Roque, F. O., Escarpinati, S. C., Valente-Neto, F., & Hamada, N. 2015. Responses of aquatic saproxylic macroinvertebrates to reduced-impact logging in Central Amazonia. *Neotropical Entomology*, 44(4), 345-350. DOI: 10.1007/s13744-015-0295-4
- Salles, F. F. & Boldrini, R. 2022. *Ephemeroptera* in Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil. PNUD. Disponível em: <<http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil/122>>. Acesso em: 23 Jun. 2022
- Santos, A. P. M.; Dumas, L. L., Henriques-Oliveira, A. L., Souza, W. R. M., Camargos, L. M., Calor, A. R., Pes, A. M. O. 2022. *Trichoptera* in Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil. PNUD. Disponível em: <<http://fauna.jbrj.gov.br/>>

- fauna/faunadobrasil/278>. Acesso em: 23 Jun. 2022.
- Saha, N., Aditya, G., Banerjee, S., & Saha, G. K. 2012. Predation potential of odonates on mosquito larvae: Implications for biological control. *Biological Control*, 63(1), 1-8. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2012.05.004
- Schuh, R. T., & Slater, J. A. 1995. True bugs of the world (Hemiptera: Heteroptera). Classification and natural history. Ithaca: Cornell University Press, p. 336.
- Shimano, Y., & Juen, L. 2016. How oil palm cultivation is affecting mayfly assemblages in Amazon streams. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*, 52, 35-45. DOI: 10.1051/limn/2016004
- Siqueira-Gay, J., Yanai, A. M., Lessmann, J., Pessôa, A. C. M., Borja, D., Canova, M., & Borges, R. C. 2020. Pathways to positive scenarios for the Amazon forest in Pará state, Brazil. *Biota Neotropica*, 20(s1): DOI: 10.1590/1676-0611-bn-2019-0905
- Sonoda, K. C., Monteles, J. S., Ferreira, A., & Gerhard, P. 2018. Chironomidae from Eastern Amazon: Understanding the differences of land-use on functional feeding groups. *Journal of Limnology*, 77(s1), 196-202. DOI: 10.4081/jlimnol.2018.1799
- Turunen, J., Louhi, L., Mykrä, H., Aroviita, J., Putkonen, E., Huusko, A., & Muotka, T. 2018. Combined effects of local habitat, anthropogenic stress, and dispersal on stream ecosystems: a mesocosm experiment. *Ecol. Appl.* 28(6), 1606-1615. DOI: 10.1002/eap.1762
- Villeneuve, B., Piffady, J., Valette, L., Souchon, Y., & Usseglio-Polatera, P. 2018. Direct and indirect effects of multiple stressors on stream invertebrates across watershed, reach and site scales: A structural equation modelling better informing on hydromorphological impacts. *Science of Total Environ.* 612, 660-671. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.197
- Wallace, A. R. 1854. On the monkeys of the Amazon. *Annals and Magazine of Natural History*, 14(84), 451-454.
- Walsh, C. J., Sharpe, A. K., Breen, P. F., & Sonneman, J. A. 2001. Effects of urbanization on streams of the Melbourne region, Victoria, Australia: benthic macroinvertebrate communities. *Freshwater Biology*, 46, 535-551. DOI: 10.1046/j.1365-2427.2001.00690.x
- Watrin, O. S., Silva, T. M., Porro, R., Oliveira Jr., M. M., & Belluzzo, A. P. 2020. Land use and land cover dynamics in a sustainable development project in the Transamazon highway region, Pará state, Brazil. *Sociedade & Natureza*, 32, 88-100. DOI: 10.14393/SN-v32-2020-45146

Submitted: 15 September 2021

Accepted: 30 June 2022

Published on line: 22 July 2022

Associate Editor: Gudryan Barônio