



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

GERSON ROSIVAN DE LIMA PAES

**UTILIZAÇÃO DE ÍNDICES BIÓTICOS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE
ECOLÓGICA D'ÁGUA E INTEGRIDADE DE IGARAPÉS AMAZÔNICOS**

BELÉM – PA

2024

GERSON ROSIVAN DE LIMA PAES

**UTILIZAÇÃO DE ÍNDICES BIÓTICOS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE
ECOLÓGICA D'ÁGUA E INTEGRIDADE DE IGARAPÉS AMAZÔNICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como parte das exigências para a obtenção de grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia

Linha de pesquisa: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmicas Socioambientais:

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Karina Dias da Silva

Belém – Pa

2024

**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)**

P126u Paes, Gerson Rosivan de Lima.

Utilização de índices bióticos para avaliação da qualidade ecológica d'água e integridade de igarapés amazônicos/ Gerson Rosivan de Lima Paes. — 2024.
45 f.

Orientador(a): Prof^a. Dra. Karina Dias da Silva
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências,
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém, 2024.

1. Ecologia. 2. Igarapés amazônicos. 3. Índices Bióticos. I. Título.

CDD 574.526322

GERSON ROSIVAN DE LIMA PAES

**UTILIZAÇÃO DE ÍNDICES BIÓTICOS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE
ECOLÓGICA D'ÁGUA E INTEGRIDADE DE IGARAPÉS AMAZÔNICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como parte das exigências para a obtenção de grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia

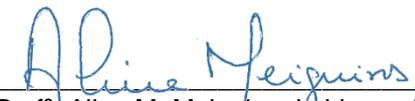
Linha de pesquisa: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmicas Socioambientais:

Data da Defesa: 30/04/2024

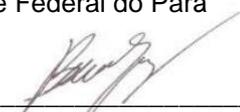
Banca Examinadora:



Prof^a. Karina Dias da Silva – Orientadora
Doutora em Ciências Ambientais
Universidade Federal do Pará



Prof^a. Aline M. Meiguins de Lima – Membro Interno
Doutora em Desenvolvimento Socioambiental
Universidade Federal do Pará



Prof. Bruno Spacek Godoy – Membro Interno
Doutor em Ecologia e Evolução.
Universidade Federal do Pará



Prof. Erlane José Rodrigues da Cunha – Membro Externo
Doutor em Zoologia
Universidade Federal do Pará

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a Nossa Senhora por me iluminarem, protegerem e guiarem, principalmente nos momentos que o fardo foi pesado.

A presente dissertação de mestrado não chegaria ao seu êxito, sem o precioso apoio de várias pessoas:

A minha esposa Lucielly que esteve ao meu lado nessa jornada me apoiando e segurando as pontas, quando de minha ausência, no nosso lar.

Aos meus filhos (Fellype, Luigi e Layla), que embora não tivessem conhecimento disto, mas iluminaram de maneira especial os meus pensamentos me levando a buscar mais conhecimentos, sendo minha luz quando pensava em desistir.

A minha orientadora Dr^a. Karina Dias da Silva pelos ensinamentos passados, pela paciência na orientação e incentivo que tornaram possível a conclusão deste trabalho.

Aos doutores Leandro Juen, Aline M. Meiguins de Lima, Bruno Spacek Godoy e Erlane José Rodrigues da Cunha por terem aceitado o convite para compor a banca de avaliação da pesquisa e pelas contribuições durante a qualificação e a defesa final.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais - UFPA, pelo conhecimento passado durante as aulas, que contribuíram para meu desenvolvimento profissional.

A minha família, minha mãe Dona Rozilda e meus irmãos Ediego e Ravenna.

Por último, e não menos importante, aos amigos pelo incentivo e apoio de sempre, principalmente aos amigos caminhoneiros, Gerson, Luciano e David pela carona e boas conversas, durante a ida para a Universidade.

RESUMO

Os ecossistemas aquáticos de água doce são importantes nos aspectos, ecológico, social e econômico, e os macroinvertebrados bentônicos são de extrema importância para a manutenção da estrutura e funcionamento desses ecossistemas. Nesse sentido, alguns estudos relacionam a produção agrícola, principalmente as baseadas em monoculturas, aos impactos negativos nos ecossistemas onde se instalam, resultando em degradação ambiental e deterioração dos recursos naturais. Assim, o estudo investiga a qualidade ecológica d'água e a integridade dos igarapés em áreas cultivo de dendezeiros. Utilizando-se da aplicação de índices bióticos e abióticos, tais como riqueza de gêneros, BMWP, ASPT e HII e também a aplicação dos Modelos Lineares Generalizados (GLM) para a detecção de mudanças ambientais. Os resultados demonstram elevada riqueza de táxons de EPT, aferindo uma boa qualidade ecológica d'água dos igarapés, ratificadas pelas análises do BMWP e ASPT. O modelo GLM, apresentou relações negativas da temperatura sobre a riqueza de táxons e BMWP, e uma relação positiva entre BMWP e HII. Em conclusão, os resultados dão suporte à visão de que a utilização conjunta de índices (bióticos e abióticos), oferecem uma abordagem mais ampla na avaliação dos ecossistemas aquáticos, auxiliando na compreensão da saúde e integridade desses ambientes.

Palavras-chave: ecologia; igarapés amazônicos; índices bióticos.

ABSTRACT

Freshwater aquatic ecosystems are important in ecological, social and economic aspects, and benthic macroinvertebrates are extremely important for maintaining the structure and functioning of these ecosystems. In this sense, some studies relate agricultural production, especially those based on monocultures, to negative impacts on the ecosystems where they are installed, resulting in environmental degradation and deterioration of natural resources. Thus, the study investigates the ecological quality of water and the integrity of streams in oil palm cultivation areas. Using the application of biotic and abiotic indices, such as genus richness, BMWP, ASPT and HII, and also the application of Generalized Linear Models (GLM) to detect environmental changes. The results demonstrate a high richness of EPT taxa, measuring good ecological water quality in the streams, confirmed by the BMWP and ASPT analyses. The GLM model showed negative relationships between temperature and taxon richness and BMWP, and a positive relationship between BMWP and HII. In conclusion, the results support the view that the joint use of indices (biotic and abiotic) offers a broader approach to the assessment of aquatic ecosystems, helping to understand the health and integrity of these environments.

Keywords: ecology; amazonian streams; biotic indices.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Área de estudo, pontos de coletas	22
Figura 2- Esquema do desenho de amostragem usado no levantamento aquático. .	23
Figura 3- GLM: relação de Riqueza de EPT e Temperatura d'água.....	29
Figura 4 - Relação EPT-BMWP com HII (A) e Temperatura d'água (B)	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Pontuações dos índices riqueza de táxons EPT, EPT-BMWP e EPT-ASPT e a classificações da qualidade ecológica do corpo d'água.....	27
Tabela 2- Resultados do Modelo Linear Generalizado (GLM) para as relações de riqueza de táxons EPT.	29
Tabela 3- Resultados do Modelo Linear Generalizado (GLM) para as relações de EPT-BMWP.	30
Tabela 4- Resultados do Modelo Linear Generalizado (GLM) para as relações de EPT-ASPT.	30

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL	11
1.1 Justificativa e interdisciplinaridade da pesquisa	11
1.2 Objetivos	13
1.2.1 Objetivo Geral	13
1.2.2 Objetivos Específicos	13
1.3 Referencial Teórico	13
1.4 Estrutura da Dissertação	16
CAPÍTULO 2 UTILIZAÇÃO DE ÍNDICES BIÓTICOS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE ECOLÓGICA D'ÁGUA E INTEGRIDADE DE IGARAPÉS AMAZÔNICOS.....	17
Resumo:.....	17
2.1 Introdução.....	18
CAPÍTULO 3 MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1 Área de Estudo	21
3.2 Delineamento de coleta	22
3.2.1 Coleta, identificação e armazenamento de EPT	22
3.3 Cálculo dos índices bióticos	23
3.4 Variáveis ambientais	24
3.5 Análise de dados	24
REFERÊNCIAS.....	35
CAPÍTULO 4 RESULTADOS	26
4.1 Descrição das assembleias de insetos aquáticos	26
4.2 Riqueza e Condição biótica de EPT nos riachos de áreas de floresta e dendezeiro	26

4.3 Diferenças na riqueza, BMWP e ASTP de EPT entre áreas de floresta e dendezeiros	28
4.4 Efeitos das variáveis ambientais na diversidade e qualidade biótica dos riachos	29
CAPÍTULO 5 DISCUSSÃO.....	31
CAPÍTULO 6 CONCLUSÕES.....	33
CAPÍTULO 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	34
REFERÊNCIAS GERAIS	42

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL

A rápida expansão do cultivo de dendzeiro, se justifica pela elevada capacidade de produção de óleo por unidade de área e pela diversidade de utilização de seu óleo, alimentação, cosmético, biodiesel, entre outros (Brazilio *et al.*, 2012; Qaim *et al.*, 2020). Essa monocultura afeta diretamente as funções dos ecossistemas, onde se instala, interferindo no armazenamento de carbono, no ciclo de nutrientes, na regeneração do solo e no processo de purificação do ar e da água (Qaim *et al.*, 2020), tornando-se uma séria ameaça à conservação e à biodiversidade das florestas, afetando também o bem-estar humano, pois limita o acesso dos pobres aos serviços ecossistêmicos (Córdoba *et al.*, 2022), tendo em vista, que seu cultivo impacta diretamente no modo de vida e subsistência das comunidades tradicionais, em que os alimentos produzidos pela agricultura familiar e as atividades extrativistas fazem parte da dieta e da fonte de renda das populações locais.

Para avaliar os impactos antrópicos causados pela dendzeicultura aos ecossistemas aquáticos, a pesquisa teve como cerne a qualidade ecológica d'água e a integridade do habitat dos igarapés amazônicos, valendo-se da análise da condição biótica, utilizando como bioindicadores os insetos aquáticos das ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT), conhecidos pela sua sensibilidade e respostas rápidas as alterações nas condições ambientais (Santos *et al.*, 2023, Faria *et al.*, 2017), tendo a área de floresta como referência e área de cultivo de dendzeiros, como a área principal de análise.

Com base na coleta e classificação dos insetos aquáticos, houve a necessidade de incluir índices abióticos a pesquisa. Assim, o trabalho discutiu as relações das variáveis ambientais (bióticas e abióticas) na classificação da qualidade ecológica d'água dos igarapés estudados.

1.1 Justificativa e interdisciplinaridade da pesquisa

A ocupação humana na Amazônia e consequentemente as alterações no uso da terra tem impactado diretamente na sustentabilidade ambiental da região, estando relacionada à perda da biodiversidade, da resiliência do funcionamento do ecossistema e, principalmente, no aumento da variabilidade climática (Almeida *et al.*, 2020). A necessidade do crescimento do agronegócio brasileiro, principalmente para a pecuária e a agricultura, com destaque para as monoculturas de cultivo de dendê,

tem transformado fortemente as paisagens tropicais, resultando num aumento do desmatamento de florestas tropicais, com fortes impactos na biodiversidade e nas funções dos ecossistemas (Qaim *et al.*, 2020). Apresentando, também, impactos significativos nos ecossistemas aquáticos, resultando em mudanças no habitat físico, na hidrologia e na qualidade da água desses ambientes (Nessimian *et al.*, 2008). Estudos têm apontado que a conversão de paisagens naturais em plantações de dendezeiros leva à diminuição da integridade ambiental e à redução da diversidade de espécies aquáticas (Cunha *et al.*, 2015, Cunha; Juen, 2017; Shimano; Juen, 2016; Rojas-Castillo *et al.*, 2023).

Assim, a dendeicultura representa um dos principais desafios ambientais e sociais globais do século XXI, se por um lado seus impactos diretos no meio ambiente, abrangem desde o desmatamento, a perda de biodiversidade até impactos agrícolas, como aplicação de pesticidas e fertilizantes, além de impactos indiretos na mudança de uso da terra (Azhar *et al.*, 2021). Por outro lado, as mudanças de uso da terra relacionadas à dendeicultura têm contribuído para ganhos líquidos substanciais em benefícios de nível familiar e comunitário, por meio de oportunidades de geração de emprego e renda para comunidades rurais, além de contribuir para os cofres do Estado (Córdoba *et al.*, 2022; Ayompe; Schaafsma; Egho, 2021). Assim, compreender os efeitos dessa monocultura sobre a biodiversidade amazônica, com um olhar específico sobre o ecossistema aquático, no tocante a integridade e qualidade d'água dos igarapés, torna-se cada vez mais importante devido à relevância da água no contexto amazônico e global.

O PPGCA se concentra na área de "Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia" objetivando a interdisciplinaridade dos problemas ambientais da Amazônia, perpassando os estudos sobre os processos que regem o funcionamento dos ecossistemas, bem como as mudanças ocorridas nos usos da terra e do clima, e de forma essas mudanças afetam o funcionamento biogeoquímico e físico da Amazônia, e suas implicações na biodiversidade e na sociedade. Assim, a presente pesquisa, enquadra-se na linha "Ecossistemas Amazônicos e Dinâmicas Socioambientais", apresentando sua interdisciplinaridade com as Ciências Ambientais, ao sublinhar a produção de conhecimentos integrados, avaliando as interações entre dinâmicas de uso da terra, área de floresta e de cultivo de dendezeiro, e seus impactos na integridade ambiental, qualidade ecológica d'água e biodiversidade de igarapés amazônicos. Tendo a utilização de índices bióticos como

o fio condutor da avaliação dessas interações e dinâmicas, a partir do uso dos insetos das ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT), como bioindicadores.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a qualidade ecológica d'água e a integridade dos igarapés em áreas de floresta e cultivo de dendezeiros com a utilização de índices bióticos, tendo como bioindicadores de alteração ambiental, os insetos bentônicos das ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT).

1.2.2 Objetivos Específicos

- Objetivo I - Comparar os índices de riqueza de táxons de EPT, *Biological Monitoring Working Party Score System* (BMWP), *Average Score Per Taxon* (ASPT) e Índice de Integridade do Habitat (HII) nas áreas de floresta e de cultivo de dendezeiro;
- Objetivo II - Classificar biologicamente a qualidade ecológica d'água dos igarapés pesquisados, com base na pontuação dos índices EPT-BMWP e EPT-ASPT;
- Objetivo III - Avaliar a sensibilidade da riqueza de táxons EPT, dos índices EPT-BMWP, EPT-ASPT e HII para avaliação de impactos antrópicos na qualidade ecológica d'água de igarapés amazônicos.

1.3 Referencial Teórico

Os ecossistemas aquáticos têm sofrido constantes alterações em suas paisagens, resultantes, principalmente, dos múltiplos impactos ambientais provenientes das atividades antrópicas, como a expansão das fronteiras agrícolas (Callisto *et al.*, 2001), o desmatamento e uso inadequado do solo em regiões ripárias e planícies de inundação (Goulart; Callisto, 2003). Essas alterações influenciam diretamente os igarapés (Allan, 2004; Dudgeon, 2006), pois a retirada da vegetação do seu entorno, causa diminuição de sombreamento nos corpos d'água, aumenta a temperatura, diminui a disponibilidade de substratos, aumenta escoamento superficial de água, a entrada de partículas e poluentes, assoreamento, alteração das variáveis limnológicas e perda de biodiversidade aquática (Shimano; Juen, 2013; Cunha; Juen, 2017; Juen *et al.*, 2016). O que torna importante a avaliação dos impactos ambientais

sobre a integridade ecológicas desses igarapés, com metodologias que forneçam um espectro completo de informações, mediante um biomonitoramento eficiente.

Para o biomonitoramento, o estudo partiu da compreensão de como a comunidade de organismos bentônicos se comportam quando submetidos a alterações ambientais. Os macroinvertebrados bentônicos foram escolhidos, pois são organismos que habitam o substrato de fundos de habitats aquáticos, sendo de extrema importância para a manutenção da estrutura e funcionamento do ecossistema aquático, pois sua abundância e diversidade reflete na qualidade ecológica da água e conseqüentemente na manutenção da integridade do ecossistema aquático (Callisto *et al.*, 2001; Cao *et al.*, 2018), incluem uma diversificada gama de insetos e crustáceos com papéis ecológicos variados (Lim *et al.*, 2024), e têm sua população aumentada ou diminuída quando há alteração na composição hídrica natural, pois respondem às perturbações no ambiente aquático, em qualquer período e de forma rápida. (Andrade *et al.*, 2020). Além disso, esses organismos possuem um ciclo de vida relativamente longo, uso de metodologias e equipamentos simples para sua coleta/amostra, estão entre os melhores indicadores da qualidade de água em ambientes lóticos (Monteiro *et al.*, 2008; Lim *et al.*, 2024).

Como bioindicadores, organismos cuja presença ou ausência são indicativos biológicos de alguma condição ambiental, utilizados para avaliar como alterações ambientais afetam a qualidade ecológicas d'água (Brasil *et al.*, 2022), temos os insetos aquáticos, um grupo muito heterogêneo de hexápodes que possuem em comum a permanência no meio aquático durante algum estágio do seu ciclo de vida (Hamada *et al.*, 2014; Brasil *et al.*, 2022). Dessa forma, os insetos, desempenham um papel importante na manutenção e funcionamento da cadeia alimentar e do ciclo da matéria desses ecossistemas, pois realizam a ciclagem do material orgânico, agindo ora como predadores, atuando no controle das populações de outros insetos, ora como alimentos para outros organismos (Wallace; Webster, 1996; Cunha *et al.*, 2017). Assim, a pesquisa usou como bioindicadores os insetos das ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT), devido à sensibilidade que possuem às alterações nos ambientes aquáticos, respondendo rapidamente a pequenas mudanças nas condições ambientais (Santos *et al.*, 2023, Faria *et al.*, 2017) e pela necessidade que possuem de elevadas concentrações de oxigênio dissolvido na água, sendo encontrados em ambientes com alta diversidade de habitats e microhabitats (Goulart; Callisto, 2003).

Nos últimos anos, tem-se observado no Brasil, um crescente interesse na pesquisa e produção de trabalhos envolvendo insetos aquáticos como organismos-alvo para a avaliação da saúde ambiental (Cunha *et al.*, 2015; Brito *et al.*, 2018; Brasil *et al.*, 2022), esses estudos tendem a analisar a relação dessas espécies com os diversos tipos impactos antrópicos. Essa relação é estudada através de Índices de Integridade Biótica ou Índices multimétricos (MMIs), que surgiram como uma ferramenta para a avaliação da saúde do ecossistema, representando uma ampla gama de características biológicas e respostas a gradientes naturais e distúrbios antrópicos (Ruaro; Gubiani, 2013 e Ruaro *et al.*, 2020). Esses índices usam trechos de rios como referência, a fim de comparar sua condição ecológica com as comunidades avaliadas (Baptista *et al.*, 2011).

Entre eles, temos, o Índice Multimétrico Bentônico, baseado na análise da estrutura e composição das comunidades de macroinvertebrados bentônicos (Ferreira *et al.*, 2012). Com destaque para os índices bióticos, BMWP (*Biological Monitoring Working Party Score System*), que é um índice que leva em consideração a condição biológica e o tipo de rio na interpretação das comunidades bentônicas com relação à qualidade da água, utilizando um sistema de pontuação baseado em macroinvertebrados bentônicos (Hawkes, 1998). Esse sistema de pontuação, ordena as famílias em 10 grupos, com valores numéricos, que representam a capacidade de tolerância da família à poluição, desta forma, quanto mais próximo o táxon estiver de 0, mais tolerante a poluição será; quanto mais próximo de 10, mais sensível (Andrade *et al.*, 2020). E o índice ASPT (*Average Score Per Taxon*) que utiliza o sistema de pontuações do BMWP no processo de avaliação da qualidade ecológica d'água (Walley e Hawkes, 1997), com a vantagem de utilizar uma resolução taxonômica de macroinvertebrados aquáticos em nível de família, diminuindo significativamente os custos de aplicação (Junqueira *et al.*, 2000; Silva *et al.*, 2016), ao utilizar o nível familiar, uma vez que agrega mais grupos sensíveis do que tolerantes e também porque o nível de identificação familiar utilizado é facilmente alcançado quando comparado a espécies e nível de gênero (Baptista *et al.*, 2011).

Para complementar os dados dos índices de integridade biótica, utilizou-se também, o Índice de Integridade do Habitat (HII) que consiste em um questionário de 12 itens, com perguntas que objetivam estimar o uso da terra, largura e estado de conservação da mata ciliar, dispositivos de retenção de sedimentos, sedimentos dentro do canal, estrutura e desgaste dos barrancos marginais, caracterização do leito

do rio quanto ao substrato, tipos de corredeiras, vegetação aquática e detritos (Nessimian *et al.*, 2008). Na qual, cada pergunta dispõe de quatro a seis alternativas, ordenadas por escores para representar sistemas cada vez mais íntegros. (Nessimian *et al.*, 2008; Santos *et al.*, 2023). Pois as variações das características físicas do canal dos igarapés podem influenciar diretamente na estrutura das comunidades de insetos aquáticos. (Barreiros *et al.*, 2023)

1.4 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação é constituída, por três capítulos, desenvolvido em forma de artigo científico e formatado segundo as normas adotadas pelo PPGCA, que se fundamenta nas normas mais atuais definidas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Objetivando ser submetido a revistas científicas, após as contribuições sugeridas pela banca examinadora.

O primeiro capítulo, compõe-se da introdução geral. Enquanto, o segundo está organizado em cinco tópicos estruturantes. Na INTRODUÇÃO, é realizado uma breve discussão dos conceitos estruturantes da pesquisa, como ecossistemas aquáticos, dendeicultura e índices multimétricos. Em MATERIAIS E MÉTODOS, são apresentados a área de estudos, o processo de coletas dos dados e principalmente, o processo de análise dos dados. Como consequência das análises dos dados, o tópico RESULTADOS, apresenta a consolidação dos achados e a quantificação e classificação dos dados. Na DISCUSSÃO, os achados são debatidos a luz, dos trabalhos mais expressivos e atuais sobre os impactos da dendeicultura nos ecossistemas aquáticos, finalizando com as CONCLUSÕES que traz uma síntese do apanhado geral das discussões da pesquisa. E por fim, o capítulo final, CONSIDERAÇÕES FINAIS, trazendo as contribuições da pesquisa ao meio acadêmico.

CAPÍTULO 2 UTILIZAÇÃO DE ÍNDICES BIÓTICOS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE ECOLÓGICA D'ÁGUA E INTEGRIDADE DE IGARAPÉS AMAZÔNICOS

Resumo:

Os ecossistemas aquáticos de água doce são importantes nos aspectos, ecológico, social e econômico, e os macroinvertebrados bentônicos são de extrema importância para a manutenção da estrutura e funcionamento desses ecossistemas. Nesse sentido, alguns estudos relacionam a produção agrícola, principalmente as baseadas em monoculturas, aos impactos negativos nos ecossistemas onde se instalam, resultando em degradação ambiental e deterioração dos recursos naturais. Assim, o estudo investiga a qualidade ecológica d'água e a integridade dos igarapés em áreas cultivo de dendezeiros. Utilizando-se da aplicação de índices bióticos e abióticos, tais como riqueza de gêneros, BMWP, ASPT e HII e também a aplicação dos Modelos Lineares Generalizados (GLM) para a detecção de mudanças ambientais. Os resultados demonstram elevada riqueza de táxons de EPT, aferindo uma boa qualidade ecológica d'água dos igarapés, ratificadas pelas análises do BMWP e ASPT. O modelo GLM, apresentou relações negativas da temperatura sobre a riqueza de táxons e BMWP, e uma relação positiva entre BMWP e HII. Em conclusão, os resultados dão suporte à visão de que a utilização conjunta de índices (bióticos e abióticos), oferecem uma abordagem mais ampla na avaliação dos ecossistemas aquáticos, auxiliando na compreensão da saúde e integridade desses ambientes.

Palavras-chave: ecologia; igarapés amazônicos; índices bióticos.

USE OF BIOTIC INDEXES TO ASSESS THE ECOLOGICAL QUALITY OF WATER AND INTEGRITY OF AMAZON STREAMS

Abstract:

Freshwater aquatic ecosystems are important in ecological, social and economic aspects, and benthic macroinvertebrates are extremely important for maintaining the structure and functioning of these ecosystems. In this sense, some studies relate agricultural production, especially those based on monocultures, to negative impacts on the ecosystems where they are installed, resulting in environmental degradation and deterioration of natural resources. Thus, the study investigates the ecological quality of water and the integrity of streams in oil palm cultivation areas. Using the application of biotic and abiotic indices, such as genus richness, BMWP, ASPT and HII, and also the application of Generalized Linear Models (GLM) to detect environmental changes. The results demonstrate a high richness of EPT taxa, measuring good ecological water quality in the streams, confirmed by the BMWP and ASPT analyses. The GLM model showed negative relationships between temperature and taxon richness and BMWP, and a positive relationship between BMWP and HII. In conclusion, the results support the view that the joint use of indices (biotic and abiotic) offers a broader approach to the assessment of aquatic ecosystems, helping to understand the health and integrity of these environments.

Keywords: ecology; amazonian streams; biotic indices.

2.1 Introdução

Os ecossistemas aquáticos de água doce são importantes nos aspectos ecológico, social e econômico, que junto aos organismos aquáticos contribuem para a existência e manutenção das comunidades locais, contribuindo assim para as relações sociais e ambientais (Ferreira *et al.*, 2023), além de desempenhar um papel fundamental na manutenção da biodiversidade, sendo essenciais para a sobrevivência da civilização humana (Lim *et al.*, 2024).

Esses ecossistemas são fortemente influenciados pelas alterações que ocorrem em suas paisagens, principalmente as baseadas em monoculturas, pois desencadeiam um processo de degradação ambiental e de deterioração dos recursos naturais provocando perdas contínuas da biodiversidade, perda da qualidade física,

química e biológica do solo (Embrapa, 2018), alterações tanto na estrutura do habitat, quanto nas características físico-químicas da água (Ferreira *et al.*, 2018), além de contribuir para o desmatamento nos trópicos e ameaçar a biodiversidade tropical (Shimano; Juen, 2016).

A conversão de paisagens naturais para a implantação de dendezeiros tem diminuído a integridade ambiental dos igarapés na Amazônia, reduzindo a quantidade de folhas arrastadas pelas chuvas para os córregos, efeito que é reforçado pelo manejo das plantações (Juen *et al.*, 2016), consequentemente reduzindo a riqueza de espécies aquáticas de Heteroptera (Cunha *et al.*, 2015), imaturos de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (Luiza-Andrade *et al.*, 2017) e de assembleias de peixes (Ferreira *et al.*, 2018). Com isso, o cultivo de dendezeiros causa impactos que variam de pequena a grande escala, incluindo modificações das paisagens, alterações nos microhabitats e possíveis efeitos negativos no clima e na biodiversidade local (Luskin; Potts, 2011, Azhar *et al.*, 2023).

Uma das alternativas para avaliar os impactos causados pelas alterações antrópicas é a análise da condição biótica, caracterizada pela utilização de índices bióticos, na qual incorpora informações sobre a biota aquática no processo de classificação, avaliação e monitoramento de qualidade de cursos d'água (Ferreira *et al.*, 2012). Estudos com índices bióticos, têm mostrado potencial em fornecer abordagens de monitoramento de baixo custo, baixo esforço e alta eficiência para a conservação dos ecossistemas naturais, preenchendo lacunas de conhecimento, especialmente em biomas tropicais.

Pode-se utilizar também, a análise das condições abiótica, que inclui aspectos geológicos, geomorfológicos, climáticos, características químicas da água, aspectos hidromorfológicos e características da vegetação ripária circundante dos ecossistemas aquáticos (Callisto *et al.*, 2001; Santos *et al.*, 2023). A utilização conjunta de índices bióticos e abióticos na avaliação dos ecossistemas aquáticos oferece uma abordagem mais completa e robusta para compreender a saúde e integridade desses ambientes.

Levando em consideração a importância da qualidade ecológica d'água para a conservação dos ecossistemas aquáticos e de estudos que utilizam componentes da biodiversidade como indicadores biológicos, sobre tudo na região amazônica, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade ecológica d'água e a integridade dos igarapés em áreas de floresta e cultivo de dendezeiros, utilizando

principalmente índices bióticos, tendo a riqueza de táxons EPT como fator preditor. Assim, testou-se as hipóteses: i) igarapés em áreas de cultivo de dendzeiros serão classificados, de acordo com os índices bióticos, predominantemente como ruins e pobres quanto a qualidade ecológica d'água e com uma menor riqueza de táxons EPT, enquanto igarapés em áreas de floresta serão principalmente classificados como excelentes e bons; e ii) A qualidade ecológica d'água dos igarapés, aferida pelos índices bióticos, vai ser afetada pela integridade do habitat e variáveis físico-químicas da água. A integridade do habitat vai apresentar relação positiva com o a qualidade d'água dos igarapés.

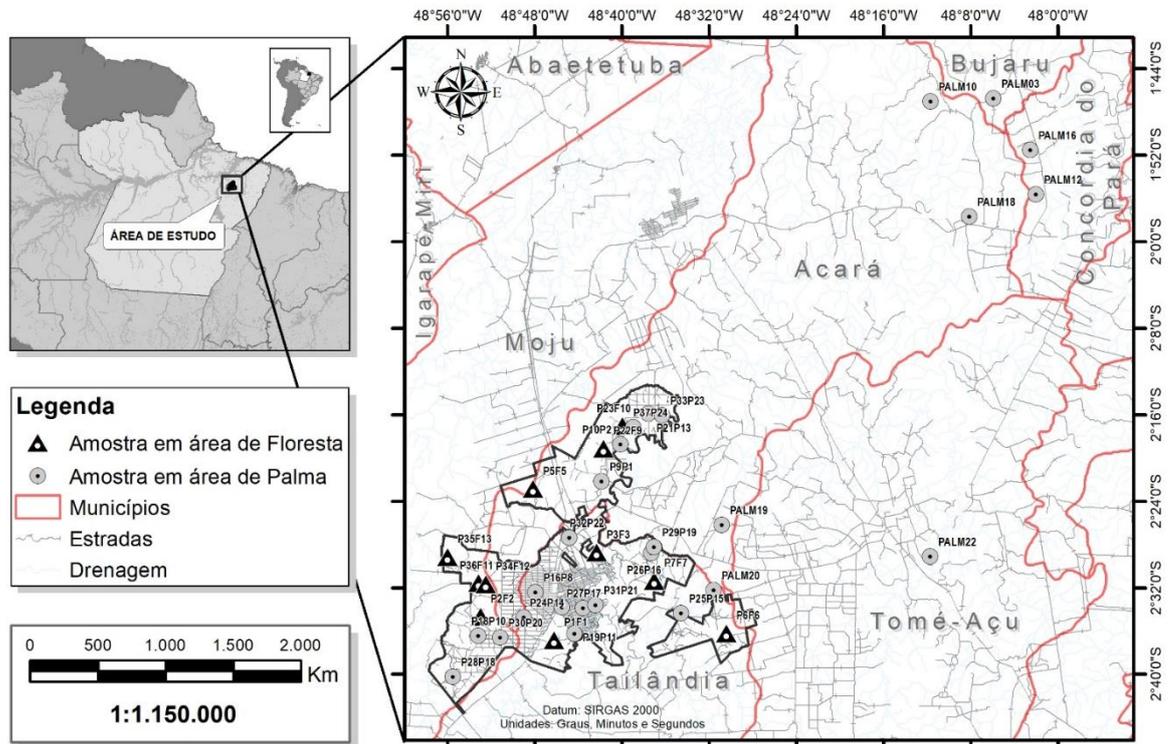
CAPÍTULO 3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

O estudo foi realizado no Complexo Agroindustrial do Grupo Agropalma, com sede no município de Tailândia, na Mesorregião do Nordeste do Estado do Pará, na Amazônia Oriental, com coletas em 03 municípios (Tailândia, Acará, Moju). Suas terras abrangem 107.000 hectares, com 39.5952 hectares plantados com dendzeiros, dos quais 4.087 hectares são orgânicos, 3.965 hectares convertidos, 3.200 hectares são usados para infraestruturas (indústrias, estradas e habitação) e o restante, aproximadamente 64.000 hectares, é reserva florestal protegida (Agropalma, 2024). E na Biopalma, hoje administrado pelo Grupo BBF (Brasil Bio Fuels), que possui uma área plantada de aproximadamente 60,4 mil hectares dos quais 7 mil hectares são de parceiros da agricultura familiar (Grupo BBF, 2022), com coletas nos municípios de Acará, Bujarú, Concórdia do Pará, Tailândia e Tomé-Açú.

Os igarapés estudados que drenam entre as plantações apresentam faixa de vegetação ciliar, que variam no entorno de 15 a 30 metros. A vegetação é do tipo Floresta Ombrófila densa. O clima da região é caracterizado como tropical úmido (*Af*) conforme a classificação de Köopen (Peel *et al.*, 2007), com uma estação mais chuvosa, que ocorre de dezembro a maio, e uma estação com menor precipitação pluviométrica de junho a novembro, a média anual é de 2.344 mm, com a média mensal de até 427 mm em março, e 54 mm em setembro (Albuquerque *et al.*, 2010). A temperatura média anual é em torno de 26 °C, e a umidade relativa do ar em torno de 85% (Shimano; Juen, 2016; Luiza-Andrade *et al.*, 2017).

Figura 1 – Área de estudo, pontos de coletas



3.2 Delineamento de coleta

As coletas foram realizadas em 37 igarapés classificados como baixa ordem (1ª, 2ª e 3ª, classificação de Strahler, 1957), localizados na bacia hidrográfica do rio Acará. Durante os meses de novembro a dezembro de 2012 e julho a agosto de 2013 (período de estiagem), a escolha desse período deve-se ao fato de macroinvertebrados bentônicos serem mais abundantes nesse período (Luíza-Andrade *et al.*, 2017). Onze dos 37 igarapés estão em área de floresta nativa e 26 em área de cultivo de dendzeiros.

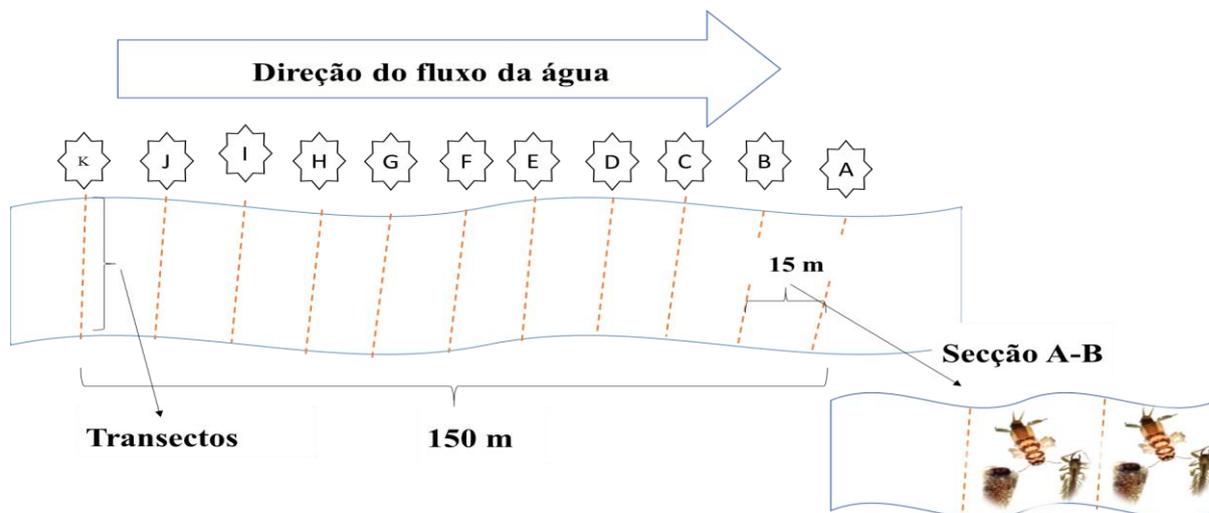
3.2.1 Coleta, identificação e armazenamento de EPT

Em cada igarapé foram estabelecidos trechos de 150 m, divididos em 10 secções longitudinais de 15 metros. Cada secção foi nomeada com as letras “A” (jusante) a “K” (montante) compondo um total de 10 transecções longitudinais (A-B, B-C, C-D, ..., J-K) (Luíza-Andrade *et al.*, 2017; Shimano; Juen, 2016).

Os imaturos de EPT foram amostrados nos 15 m de cada secção, estes foram subdivididos em três segmentos de 5 m. As amostras foram realizadas nos dois primeiros segmentos enquanto o terceiro segmento foi utilizado para ter acesso ao

trecho subsequente (Shimano; Juen, 2016; Luíza-Andrade *et al.*, 2017). Para a coleta foi utilizada uma rede entomológica (rapichê) de 18 cm de diâmetro (malha de 2 mm), passada duas vezes no substrato do leito para a margem - no início (5m) e meio (10m) de cada secção. Esse método visa uma coleta mais inclusiva da diversidade de espécies presentes nos substratos ao longo do canal (Shimano; Juen, 2016).

Figura 2- Esquema do desenho de amostragem usado no levantamento aquático.



Fonte: Adaptado de Juen *et al.* (2016).

O material foi pré-triado em campo, com auxílio de bandejas brancas, peneira doméstica (18 centímetros de diâmetro e malha de 2 mm), e pinças entomológicas. Os indivíduos foram conservados e transportados em tubos com álcool a 85%. Em laboratório, o material foi identificado com auxílio de especialistas e uso de chaves de identificação (Lecci; Froehlich, 2007; Pes *et al.*, 2005; Domínguez *et al.*, 2006).

3.3 Cálculo dos índices bióticos

O índice biótico EPT-BMWP foi calculado com base nos valores obtidos na soma do número de famílias EPT encontradas em cada local com pontuações atribuído a cada família (1-10) de acordo com seu grau de resistência para distúrbios ambientais, conforme metodologia proposta por Junqueira e Campos (1998). Pontuações próximas a 1 indicam as famílias mais tolerantes à perturbação ambiental, enquanto valores próximos a 10 famílias mais sensíveis (Junqueira *et al.*, 2000). A pontuação final de cada local corresponderá a categorias biológicas de corpos de água. Quanto mais alto a pontuação EPT-BMWP, mais preservado é o local (Walley; Hawkes, 1996, 1997; Buss *et al.*, 2003; Junqueira *et al.*, 2000). As pontuações obtidas

no índice EPT-BMWP classificam a qualidade do corpo d'água em cinco categorias: categoria I (>81) classifica a qualidade da água como excelente, categoria II (80–61) como boa, categoria III (60–41) como razoável, categoria IV (40–26) como ruim, e a categoria V (<25) como muito ruim ou pobre.

O EPT-ASPT (*Average Score Per Taxon*) foi calculado dividindo-se a pontuação do EPT-BMWP pelo número de famílias EPT coletadas no local (Walley; Hawkes, 1997). A pontuação do EPT-ASPT será dividida em quatro classes: água limpa (>6), qualidade duvidosa (5-6), poluição moderada (4-5) e poluição grave (<4) (Gonçalves; Menezes, 2011; Silva *et al.*, 2016).

3.4 Variáveis ambientais

Na avaliação da integridade física do habitat foi utilizado a aplicação do questionário do Índice de Integridade do Habitat (HII), para cada riacho amostrado. O resultado foi expresso numericamente numa escala de zero a um, em que valores mais próximos de um representam ambientes com os níveis mais elevados de integridade (Nessimian *et al.*, 2008; Santos *et al.*, 2023).

Um conjunto de indicadores físico-químicos de água doce também foi incluído. A média dessas variáveis (temperatura, Oxigênio dissolvido, e pH) foram medidas usando uma sonda multiparâmetro Horiba U50 em três pontos dentro de cada transecção (0 m, 75 m e 150 m). E por fim, a riqueza de táxons EPT foi mensurada através da contagem das espécies encontradas nas amostras.

3.5 Análise de dados

Após o cálculo dos índices e tratamento dos dados, realizamos o teste de normalidade (Teste de Shapiro-Wilk) e homocedasticidade de variância (Teste de Levene test) nos dados a riqueza de táxons EPT, EPT-BMWP e EPT-ASPT. Uma vez que os dados não seguiram uma distribuição normal e homoscedasticidades das variâncias, realizamos o teste não paramétrico de Mann-Whitney (test U) para avaliar se riachos em áreas de dendeneiro apresentam menor riqueza de EPT, EPT-BMWP e EPT-ASTP que em áreas de floresta. Esse teste compara dois grupos não pareados indicando se há diferença entre os grupos a partir do ranqueamento dos dados.

Para testar nossa hipótese de que a riqueza de EPT, EPT-BMWP e EPT-ASTP são afetados pela integridade do habitat (HII) e variáveis físico-químicas utilizamos Modelos Lineares Generalizados (GLM) uma vez que as variáveis não

apresentaram normalidade nas variáveis respostas (riqueza de EPT, EPT-BMWP e EPT -ASTP). Como variáveis preditoras utilizamos o índice de Integridade do habitat (HII), temperatura da água, pH e oxigênio dissolvido. Foram usadas as famílias de distribuição de erro Poisson para as os modelos de riqueza de EPT e EPT-BMWP, e distribuição de erro Gamma para o modelo de EPT-ASTP. Os modelos gerados foram testados com uma Anova com 9.999 permutações.

As análises foram executadas no software R (R Core Team, 2021) a partir dos pacotes *car* (Fox; Weisberg 2019) e *lme4* (Bates *et al.*, 2015).

CAPÍTULO 4 RESULTADOS

4.1 Descrição das assembleias de insetos aquáticos

Foram coletados 7.900 exemplares de EPT, representados em 16 famílias e distribuídos em 43 gêneros, conforme apêndice. Entre os Ephemeroptera, as famílias mais abundantes foram Leptophlebiidae (n= 3401), Euthyplociidae (n= 687), Baetidae (n= 82) e Polymitarciidae (n= 37); os menos abundantes foram os Leptohyphidae (n= 24), Caenidae (n=05) e Coryphoridae (n= 02). Encontramos apenas uma família Plecoptera, Perlidae (n = 797). Enquanto as famílias de Trichoptera mais abundantes foram Helicopsychidae (n= 1454), Calamoceratidae (n= 496), Philopotamidae (n = 390) e Leptoceridae (n = 322); e os menos abundantes foram Polycentropodidae (n = 169), Odontoceridae (n = 23) e Glossossomatidae (n = 11). Assim, os Ephemeroptera representam 54% dos insetos coletados, enquanto os Plecoptera representam apenas 10%, e por fim, os Trichoptera com 36% de representatividade.

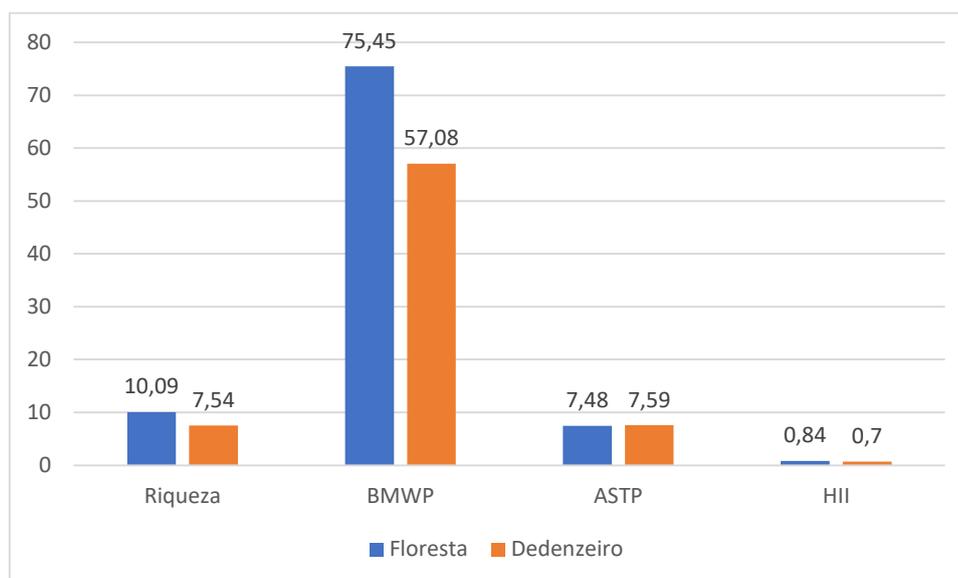
Observou-se que todas as ordens e famílias foram encontradas em ambas as áreas pesquisadas, porém, somente quatro gêneros de Ephemeroptera não foram encontrados em área de floresta (*Callibaetis*, *Cryptonympha*, *Macunahyphes* e *Hapsiphlebia*) e um em área de dendezeiros (*Tricorythopsis*). Também não foram encontradas, na área de dendezeiros, os gêneros *Enderleina* (Plecoptera) e *Amazonatolica* (Trichoptera).

4.2 Riqueza e Condição biótica de EPT nos riachos de áreas de floresta e dendezeiro

Os cálculos da riqueza de táxons EPT apresentam média superior em igarapés de área de floresta, conforme o gráfico 1, manifestando uma superioridade de táxons em riachos de áreas de floresta, essa diminuição em área de cultivo de dendezeiro reflete os impactos devido as perturbações antrópicas causadas pela plantação.

O índice biótico EPT-BMWP reflete os resultados do índice de riqueza, demonstrando, no tocante a qualidade superior na área de floresta (gráfico 1), mas também ressalta que a maioria dos igarapés analisados possuem uma boa qualidade ecológica d'água, pois, a presença de grupos como Plecoptera e Trichoptera, considerados sensíveis à poluição e a estressores, indica boa qualidade da água (Melo; Abessa, 2021).

Gráfico 1 - Média dos índices



Enquanto media do índice EPT-ASPT, demonstra uma leve superioridade das áreas de dedezeiros, possivelmente isso ocorra, pela variação dos resultados dos índices por igarapés, pois há uma variação dados, com mínima de 6,5 e máxima de 8,5. E por fim, os valores do Índice de Integridade do Habitat (HII) apresentam maiores valores em áreas de floresta, ressaltando que os ambientes com maior integridade de seu ambiente, possuem valores maiores no índice.

Assim, a classificação da qualidade ecológica d'água, demonstrada na Tabela 1, ressalta que em área de floresta a água foi classifica como 36,4% excelente, 54,5% boa e 9,1% regular. Na área de dedezeiro, 15,4% excelente, 34,6% boa, 30,8% regular, 15,4% ruim e 3,8% pobre. Enquanto no índice EPT-ASPT, classificou como água limpa (Tabela 1), 100% todos os igarapés analisados

Tabela 1- Pontuações dos índices riqueza de táxons EPT, EPT-BMWP e EPT-ASPT e a classificações da qualidade ecológica do corpo d'água.

(continua)

Pontos	Área	Riqueza	Categoria BMWP	BMWP	Qualidade	ASTP	Qualidade
P1F1	Floresta	8	III	60	Regular	7,5	Água limpa
P22F09	Floresta	12	I	88	Excelente	7,3	Água limpa
P23F10	Floresta	9	II	68	Bom	7,6	Água limpa
P2F2	Floresta	12	I	89	Excelente	7,4	Água limpa
P34F12	Floresta	10	II	75	Bom	7,5	Água limpa
P35F13	Floresta	10	II	77	Bom	7,7	Água limpa

(conclusão)

Pontos	Área	Riqueza	Categoria BMWP	BMWP	Qualidade	ASTP	Qualidade
P36F11	Floresta	11	I	81	Excelente	7,4	Água limpa
P3F3	Floresta	9	II	68	Bom	7,6	Água limpa
P5F5	Floresta	9	II	68	Bom	7,6	Água limpa
P6F6	Floresta	11	I	82	Excelente	7,5	Água limpa
P7F7	Floresta	10	II	74	Bom	7,4	Água limpa
P10P2	Dendzeiro	8	II	63	Bom	7,9	Água limpa
P16P8	Dendzeiro	7	III	53	Regular	7,6	Água limpa
P18P10	Dendzeiro	10	II	77	Bom	7,7	Água limpa
P19P11	Dendzeiro	9	II	70	Bom	7,8	Água limpa
P20P12	Dendzeiro	6	III	51	Regular	8,5	Água limpa
P21P13	Dendzeiro	7	III	59	Regular	8,4	Água limpa
P24P14	Dendzeiro	9	II	67	Bom	7,4	Água limpa
P25P15	Dendzeiro	6	III	45	Regular	7,5	Água limpa
P26P16	Dendzeiro	2	V	17	Ruim	8,5	Água limpa
P27P17	Dendzeiro	5	III	41	Regular	8,2	Água limpa
P28P18	Dendzeiro	5	IV	33	Ruim	6,6	Água limpa
P29P19	Dendzeiro	4	IV	27	Ruim	6,8	Água limpa
P30P20	Dendzeiro	4	IV	26	Ruim	6,5	Água limpa
P31P21	Dendzeiro	7	III	53	Regular	7,6	Água limpa
P32P22	Dendzeiro	7	III	53	Regular	7,6	Água limpa
P33P23	Dendzeiro	9	II	69	Bom	7,7	Água limpa
P37P24	Dendzeiro	10	II	74	Bom	7,4	Água limpa
P9P1	Dendzeiro	4	IV	30	Ruim	7,5	Água limpa
PALM03	Dendzeiro	9	II	70	Bom	7,8	Água limpa
PALM10	Dendzeiro	11	I	81	Excelente	7,4	Água limpa
PALM12	Dendzeiro	9	II	67	Bom	7,4	Água limpa
PALM16	Dendzeiro	11	I	83	Excelente	7,5	Água limpa
PALM18	Dendzeiro	5	III	41	Regular	8,2	Água limpa
PALM19	Dendzeiro	12	I	86	Excelente	7,2	Água limpa
PALM20	Dendzeiro	11	I	82	Excelente	7,5	Água limpa
PALM22	Dendzeiro	9	II	66	Bom	7,3	Água limpa

4.3 Diferenças na riqueza, BMWP e ASTP de EPT entre áreas de floresta e dendzeiros

Comparando a riqueza de táxons EPT em igarapés de floresta e dendzeiros foi observada uma maior riqueza de táxons em áreas de floresta ($W = 225,5$, $p = 0,005$). Para o índice EPT-BMWP também foi encontrada uma maior qualidade ecológica nos igarapés de floresta quando comparados aos das áreas de dendzeiros ($W = 225$, $p = 0,006$). Contudo, o índice EPT-ASPT não evidenciou diferenças na qualidade biótica entre as áreas ($W = 111,5$, $p = 0,302$), como demonstrado na

aproximidade das médias.

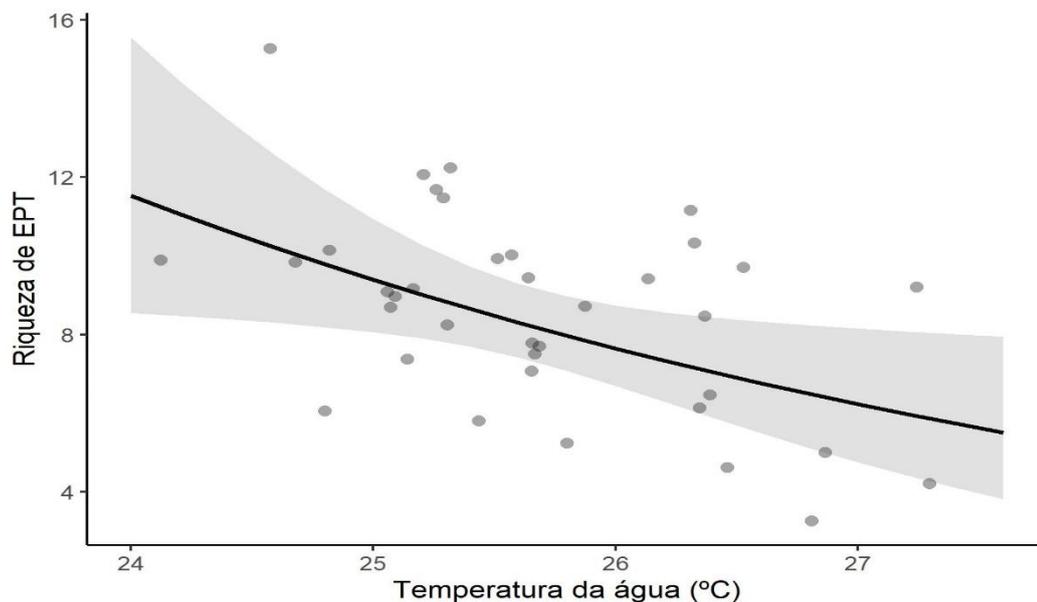
4.4 Efeitos das variáveis ambientais na diversidade e qualidade biótica dos riachos

Considerando a relação entre a variação ambiental e a riqueza de EPT, observou-se que a riqueza de táxons EPT foi afetada pelo ambiente. O modelo explicou 22,9% da variação da riqueza de EPT, onde somente a temperatura afetou a riqueza de EPT (Tabela 2), mostrando um efeito negativo sobre a riqueza de EPT (Figura 3).

Tabela 2- Resultados do Modelo Linear Generalizado (GLM) para as relações de riqueza de táxons EPT.

	Estimativa	Erro Padrão	Qui-quadrado	GL	P
(Intercepto)	6,341	2,449			
HII	0,994	0,733	1,8768	1	0,170
Temperatura	-0,205	0,088	5,48	1	0,019
pH	0,060	0,223	0,074	1	0,785
Oxigênio Dissolvido	0,002	0,039	0,0043	1	0,947

Figura 3- GLM: relação de Riqueza de EPT e Temperatura d'água.



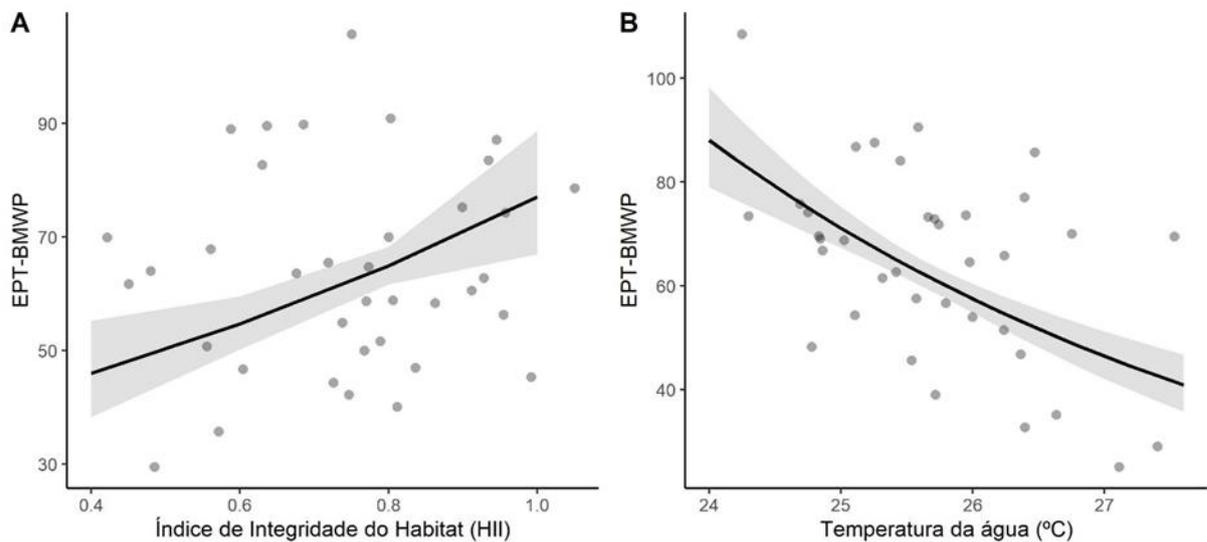
O modelo para o EPT-BMWP indicou que as variáveis ambientais também causaram efeito na condição biótica. O modelo explicou 23,6% da variação de EPT-

BMWP, onde tanto o HII quanto a temperatura, (Tabela 3), afetaram a qualidade biótica, apresentando relações positiva e negativa, respectivamente (Figura 4).

Tabela 3- Resultados do Modelo Linear Generalizado (GLM) para as relações de EPT-BMWP.

	Estimativa	Erro Padrão	Qui-quadrado	GL	P
(Intercepto)	8,758	0,891			
HII	0,859	0,265	10,636	1	0,001
Temperatura	-0,213	0,032	44,548	1	<0,001
pH	0,032	0,081	0,166	1	0,683
Oxigênio	0,008	0,014	0,338	1	0,560
Dissolvido					

Figura 4 - Relação EPT-BMWP com HII (A) e Temperatura d'água (B)



Entretanto para o índice EPT-ASTP não foi encontrado nenhum efeito significativo das variáveis ambientais (Tabela 4).

Tabela 4- Resultados do Modelo Linear Generalizado (GLM) para as relações de EPT-ASPT.

	Qui-quadrado	GL	P
HII	2.05938	1	0.151
Temperatura	1.0624	1	0.302
pH	0.77124	1	0.379
Oxigênio	0.9031	1	0.342
Dissolvido			

CAPÍTULO 5 DISCUSSÃO

Os resultados do presente estudo indicam significativo impacto do cultivo de dendezeiros nos ecossistemas aquáticos, pois afetam diretamente na composição de espécies de larvas de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera, conforme demonstrados nos resultados do índice de riqueza de táxons EPT. Com maior impacto antrópico, os igarapés em área de cultivo de dendezeiro são afetados diretamente pelas alterações ocorridas em seu entorno, assim alguns insetos aquáticos sofrem com o aumento da incidência de radiação nos corpos d'água, que eleva a temperatura, com o assoreamento, além das alterações nas variáveis limnológicas, conseqüentemente essas alterações promovem a perda de biodiversidade aquática (Shimano; Juen, 2013; Cunha; Juen, 2015; Juen *et al.*, 2016; Paiva *et al.*, 2017). Assim, a expansão do cultivo de dendezeiro em áreas próximas a igarapés amazônicos deve ser repensada e medidas de conservação e restauração devem integrar ações para garantir a diversidade desses ecossistemas.

Os dados obtidos corroboraram, parcialmente, com nossa “hipótese i”, pois, a princípio, hipótese de que o cultivo de dendezeiro interfere negativamente na qualidade ecológica d'água dos igarapés tornou-se falsa, evidências demonstram um baixo impacto do cultivo na qualidade ecológica d'água, apresentando uma classificação de 65,4% de seus pontos, com qualidade boa ou regular, sendo a sua totalidade, 100%, considerada com água limpa. Entretanto, foram confirmadas as demais premissas, como a riqueza de táxons de EPT inferior em área de cultivo de dendezeiro, resultado também encontrado nos estudos de Cunha *et al.* (2015), na qual os igarapés de área de floresta apresentaram maior riqueza de espécies em relação aos das plantações, assim, como nos estudos de Santos *et al.* (2023), esse índice foi o único a demonstrar diferenças significativas entre os locais analisados (floresta e dendezeiro).

Considerando a influência do ambiente na riqueza das espécies, o modelo linear evidenciou uma relação negativa entre a diversidade (riqueza) e condição biótica de EPT (BMWP) e a temperatura, mostrando uma relação, na qual o aumento da temperatura proporciona uma diminuição na riqueza total de espécies. Essas mesmas relações, da temperatura com espécies aquáticas, já foram encontradas em outros estudos, em áreas de cultivo de dendezeiro (Cunha; Juen, 2017; Cunha *et al.*, 2020) e em estudos de qualidade d'água (Lim *et al.*, 2024). Além disso, houve relação positiva entre a integridade dos riachos (HII) e o EPT-BMWP, demonstrando uma

sensibilidade do EPT-BMWP aos gradientes da estrutura física do habitat, os pontos que tiveram as pontuações de índice biótico mais baixas, estão relacionados a área de cultivo de dendezeiro. Isso ocorre, por exemplo, pela redução da quantidade de folhas arrastadas pelas chuvas para os córregos causados pelo manejo das plantações de dendezeiros (Juen *et al.*, 2016), pelas alterações na estrutura física do habitat e nas características físico-químicas da água (Ferreira *et al.*, 2018). E consequentemente, essas alterações no habitat, reduzem a riqueza de Heteroptera (Cunha *et al.*, 2015), larvas de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (Luiza-Andrade *et al.*, 2017), podendo ameaçar a biodiversidade tropical (Shimano; Juen, 2016). Os índices EPT-BMWP e HII provaram ser uma ferramenta excelente no monitoramento da qualidade ecológica d'água dos igarapés amazônicos, principalmente pela otimização de tempo e uso limitado de recursos financeiros, destacando-se o uso de insetos aquáticos pelo índice EPT-BMWP e pela simplicidade do uso do protocolo do índice HII, que mesmo sendo um índice de habitat físico, possui a capacidade de avaliar as pressões antrópicas em locais de igarapés, chegando a superar índices bióticos (Santos *et al.*, 2023). Entretanto, a utilização do índice EPT-ASTP não se mostrou eficaz, pois não apresentou nenhuma relação entre os índices bióticos ou abióticos, assim, esse índice não apresenta diferenças entre diferentes tipos de usos da terra e a condição biológica de igarapés da amazônicos (Santos *et al.*, 2023).

CAPÍTULO 6 CONCLUSÕES

Os macroinvertebrados bentônicos, conforme a literatura, tem se mostrado excelentes bioindicadores de qualidade ecológica d'água em ecossistemas aquáticos, por sua importância na estrutura e no funcionamento dos ambientes lóticos, tendo a diversidade de táxons de EPT como eficientes preditores na análise da integridade dos igarapés amazônicos, principalmente pela facilidade de captura, bem como pelo processo de identificação dos grupos e famílias.

A avaliação dos impactos causados pela dendeicultura nos ecossistemas aquáticos, com a utilização de índices bióticos (Riqueza de EPT, BMWP e HII), provaram-se uma excelente opção, tanto pela simplicidade do sistema de pontuação, quanto pela relação custo-benefício que os índices apresentam. Apenas o índice ASPT não apresentou eficiência, pois não demonstrou relação significativa com outras variáveis e nem diferenças entre as áreas analisadas. Dessa forma, a utilização de índices bióticos por programas de monitoramento de bacias hidrográficas permite distinguir de forma mais abrangente quaisquer alterações nos corpos d'água, que podem não ser perceptíveis, somente por análises físico-químicas. A utilização conjunta dos índices bióticos e abióticos, oferecem uma abordagem mais ampla na avaliação dos ecossistemas aquáticos, pois cada índice fornece informações únicas que podem se complementar, para auxiliar na compreensão da saúde e integridade desses ambientes.

Pode-se concluir que os igarapés em área de dendezeiro, sofrem alterações, tanto sua integridade física quanto na qualidade d'água, porém os dados do índice ASPT demonstram que, apesar dos impactos, a qualidade ecológica d'água nessa área continua classificada com qualidade limpa, a mesma da área de floresta. Não diferente o índice BMWP, corrobora, ao classificar com uma alta porcentagem, cerca de 80%, as águas da área de dendezeiro como boa ou regular. Em contrapartida, sobre a riqueza de táxons de EPT, o estudo ratifica os anteriores, ao comprovar que a riqueza de EPT foi o único indicador que diferenciou significativamente as áreas analisadas no tocante a qualidade d'água. Assim, o cultivo de dendezeiro afeta diretamente a diversidade de EPT, mas interfere pouco na qualidade ecológica d'água, possivelmente pela análise ter sido realizada, com uma plantação já desenvolvida, o que permite um maior sombreamento sobre os igarapés, podendo servi até como proteção para o assoreamento, nesse caso, mais estudos precisam ser desenvolvidos para buscar entender o baixo impacto dessa cultura nos igarapés amazônicos.

CAPÍTULO 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho teve como maior limitação, a não coleta de dados pelo autor, pois foi utilizado os dados de coleta de um professor colaborador, com os dados trabalhados, o autor perde ao não participar do processo, não desenvolvendo percepção dos detalhes aferidos a coleta e tratamento dos dados. Mas, acredita-se ter atingido as metas propostas, de analisar a qualidade ecológica d'água e a integridade dos igarapés em áreas de floresta e de cultivo de dendezeiros com a utilização de índices de qualidade biótica. Demonstrando a eficiência dos insetos bentônicos das ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT), como bioindicadores de alteração ambiental em ambientes de igarapés amazônicos.

A pesquisa demonstra ser possível a utilização de um índice simples, como o índice de riqueza de táxons EPT, em estudos de monitoramento de qualidade ecológica d'água, principalmente pela facilidade de captura desses insetos aquáticos, como pelo processo de identificação. Isso permitiu a redução de custos e rapidez nas conclusões de estudos necessários à conservação ou sobre áreas sob impacto eminente. Ressalta-se a importância da utilização de índices bióticos por programas de monitoramento de ambientes lóticos, pois permite distinguir de forma mais abrangente quaisquer alterações nos corpos d'água, que podem não ser perceptíveis, somente por análises físico-químicas, podendo fornecer subsídios para a proposição de estratégias de conservação e/ou recuperação de ecossistemas degradados.

Mostrou, também, a importância de avaliar a estrutura física do habitat dos corpos d'água, com o auxílio do HII, um protocolo de aplicação simples que é realizado visualmente no ambiente pesquisado. Dessa forma, a utilização conjunta dos índices bióticos e abióticos, oferecem uma abordagem mais ampla na avaliação dos ecossistemas aquáticos, pois as informações podem se complementar, para auxiliar na compreensão da saúde e, também da integridade física desses ambientes.

Assim, o presente estudo contribuiu ao buscar discutir a importância do monitoramento da qualidade ecológica d'água dos igarapés amazônicos, com índices de fácil aplicação e baixo custo financeiros, dado a quantidade de igarapés na região amazônica. Ressalta-se que os igarapés fazem parte da paisagem de muitas comunidades tradicionais amazônicas, bem como são utilizados para pesca, irrigação e como espaços de lazer por essa população.

Baseado nos resultados encontrados, sugere-se que: (i) que estudos futuros busquem adaptar esses índices bióticos e abióticos, com características dos

ecossistemas aquáticos amazônicos; (ii) ampliar esses estudos para outras populações de macroinvertebrados bentônicos de diferentes bacias hidrográficas, no intuito de buscar padrões para o Bioma Amazônico; (iii) considerar no planejamento de gestão dos recursos hídricos a utilização conjunta de índices bióticos e abióticos.

REFERÊNCIAS

AGROPALMA. **Sobre a Agropalma**, 2024. Disponível em: <http://www.agropalma.com.br>. Accessed online January 2024,

ALBUQUERQUE M.F.; SOUZA E.B.; OLIVEIRA M.C.F.; SOUZA-JR J.A. Precipitação nas mesorregiões do Estado do Pará: Climatologia, variabilidade e tendências nas últimas décadas (1978–2008). **Rev. Bras. Climatol.**, v.6, p.151–168, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v6i0.25606>

ALLAN, J.D. Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 35, p.257–284, 2004. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.120202.110122>

ALMEIDA, A. S.; VIEIRA, I. C. G.; FERRAZ, S. F. B. Long-term assessment of oil palm expansion and landscape change in the eastern Brazilian Amazon. **Land Use Policy**, v 90, e104321, Jan. 2020.

ANACLÉTO, M. J. P.; LIGEIRO, R.; BARBOSA, J. E. DE L.; MOLOZZI, J.; CALLISTO, M. Effects of an atypical drought on the benthic macroinvertebrate community in a tropical reservoir. **Biota Neotropica**. v.18, n.2, e20170352. <http://dx.doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2017-0352>

AYOMPE, L. M.; SCHAAFSMA, M.; EGOH, B. N. Towards sustainable palm oil production: The positive and negative impacts on ecosystem services and human wellbeing. **Journal of Cleaner Production**, v.278, e 123914, 2021.

AZHAR, B.; OON, A.; LECHNER, A.M.; ASHTON-BUTT, A.; YAHYA, M. S.; LINDENMAYER, D. B. Large-scale industrial plantations are more likely than smallholdings to threaten biodiversity from oil palm replanting spatial disturbances. **Global Ecology and Conservation**, v. 45, e02513, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02513>

AZHAR, B.; NOBILLY, F.; LECHNER, A. M.; TOHIRAN, K. A.; MAXWELL, T. M. R.; ZULKIFLI, R.; KAMEL, M. F.; OON, A. Mitigating the risks of indirect land use change (ILUC) related deforestation from industrial palm oil expansion by sharing land access with displaced crop and cattle farmers. **Land Use Policy**, v.107, e 105498, 2021.

BRASIL, L. S.; OLIVEIRA-JUNIOR, J. M. B.; SHIMANO, Y.; DIAS-SILVA, K.; JUEN, L. Insetos aquáticos bioindicadores de mudanças de uso da terra no Pará, Brasil: evidências e perspectivas. **Oecologia Australis** v.26, n.3, p. 424–444, 2022. <https://doi.org/10.4257/oeco.2022.2603.03>

BATES, D.; MÄCHLER, M.; BOLKER, B.; WALKER, S. Fitting linear mixed-effects models using lme4. **Journal of Statistical Software**, v.67, n.1, p.1–48, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.09.001>

BRAZILIO, M.; BISTACHIO, N. J.; PERINA, V. C. S.; NASCIMENTO, D. D. O Dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.): **Revisão - Bioenergia em revista: Diálogos**, v. 2, n. 1, p.27-45, jan./jun. 2012.

BRITO, J. G.; MARTINS, R. T.; OLIVEIRA, V. C.; HAMADA, N.; NESSIMIAN, J. L.; HUGHES, R. M.; FERRAZ, S. F.B.; PAULA, F. R. Biological indicators of diversity in tropical streams: Congruence in the similarity of invertebrate assemblages. **Ecological Indicators** 85 (2018) 85–92. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.09.001>

BUSS, D.F., BAPTISTA, D., NESSIMIAN, J.L., 2003. Bases conceituais para aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios. **Cad. Saúde Pública** 19 (2), 465–473. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2003000200013>

CALLISTO, M. *et al.* Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.6, p.71-82, 2001. DOI: 10.21168/rbrh.v6n1.p71-82

CAO, X., CHAI, L., JIANG, D., WANG, J., LIU, Y., HUANG, Y., 2018. Loss of biodiversity alters ecosystem function in freshwater streams: potential evidence from benthic macroinvertebrates. **Ecosphere** 9, e02445. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2445>.

CARMO, D. U. C., PEREIRA, C. S. S., CARVALHO, C. V. A. Controle de qualidade de água em tempo real utilizando uma sonda multiparamétrica de baixo custo. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v.16, n.4, p. 1822-1836, 2023. <http://dx.doi.org/10.55905/revconv.16n.4-022>

CARVALHO, C. M.; SILVEIRA, S. LA ROVERE, E. L.; IWAMA, A. Deforested and degraded land available for the expansion of palm oil for biodiesel in the state of Pará in the Brazilian Amazon. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Volume 44, April 2015, Pages 867-876. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.026>.

CHEN, K., HUGHES, R.M., BRITO, J.G., LEAL, C.G., LEITÃO, R.P., DE OLIVEIRA-JÚNIOR, J.M., HAMADA, N. 2017. A multi-assemblage, multi-metric biological condition index for eastern Amazonia streams. **Ecol. Indic.** 78:48-61. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.03.003>.

CÓRDOBA, D., JUEN, L., SELFA, T., PEREDO, A.M., MONTAG, L.F.A., SOMBRA, D., SANTOS, M.P.D., 2019. Understanding local perceptions of the impacts of large-scale oil palm plantations on ecosystem services in the Brazilian Amazon. **Forest Policy and Economics**, v. 109, 102007. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2019.102007>

CÓRDOBA, D.; JUEN, L.; SELFA, T.; PEREDO, A. M.; MONTAG, L. F. A.; SOMBRA, D.; SANTOS, M. P. D. Compreendendo as percepções locais dos impactos da monocultura de palma nos serviços ecossistêmicos da Amazônia Brasileira. *In:*

FARIAS, A. L. A. (org.) **O grande projeto da dendeicultura na Amazônia: impactos, conflitos e alternativas**. Belém: NUMA/UFPA, 2022. p. 169-222.

CUNHA E.J., DE ASSIS MONTAG L.F., JUEN L. Oil palm crops effects on environmental integrity of Amazonian streams and Heteropteran (Hemiptera) species diversity. **Ecological Indicators**, v. 52, p. 422–429, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.12.024>

CUNHA E.J., GUTERRES, A. P. M., GODOY, B. S., JUEN L. Wing dimorphism in semiaquatic bugs (Hemiptera, Heteroptera, Gerromorpha) as a tool for monitoring streams altered by oil palm plantation in the Amazon. **Ecological Indicators**, v. 117, e106707, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106707>

CUNHA, E.J., JUEN, L. Impacts of oil palm plantations on changes in environmental heterogeneity and Heteroptera (Gerromorpha and Nepomorpha) diversity. **J Insect Conserv.** v. 21, p. 111–119, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10841-017-9959-1>

DE PAIVA, C.K.S., DE FARIA, A.P.J., CALVÃO, L.B. *et al.* Effect of oil palm on the Plecoptera and Trichoptera (Insecta) assemblages in streams of eastern Amazon. **Environ Monit Assess.** 189, 393, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6116-y>

DOMÍNGUEZ E, MOLINERI C, PESCADOR ML, HUBBARD MD, NIETO C. Ephemeroptera of South America. In: Adis J, Arias JR, Rueda-delgado G, Wantzen KM (Eds) **Aquatic biodiversity of Latin America**. v. 2, p 646, Pensoft, Moscow/Sofia, 2006.

DUDGEON, D., ARTHINGTON, A.H., GESSNER, M.O., KAWABATA, Z.I., KNOWLER, D.J., LEVÊQUE, C., NAIMAN, R.J., RICHARD- PRIEUR, A.H., SOTO, D., STIASSNY, M.J., SULLIVAN, C.A. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. **Biol. Rev.** v. 81, p. 163–182, 2006. <https://doi.org/10.1017/S1464793105006950>

EMBRAPA. Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira. – Brasília, DF: **Embrapa**, 2018. 212 p.

FARIA, A.P.J.E., LIGEIRO, R., CALLISTO, M., JUEN, L. Response of aquatic insect assemblages to the activities of traditional populations in eastern Amazonia. **Hydrobiologia**. v. 802 (1), p. 39–51, 2017. DOI: 10.1007/s10750-017-3238-8

FERREIRA, W. R., MACEDO, D. R., & HUGHES, R. M. Development of a multimetric index based on benthic macroinvertebrates for assessing the biological condition of streams in the Central Amazon. **Ecological Indicators**, v. 23, p. 223-232, 2012.

FERREIRA, W. R.; RODRIGUES, D. N.; ALVES, C. B. M.; CALLISTO, M. Biomonitoramento de Longo Prazo da Bacia do Rio das Velhas Através de um Índice Multimétrico Bentônico. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n.3, p. 253-259 - Jul/Set 2012. DOI: 10.21168/rbrh.v17n3.p253-259

FERREIRA, M. C.; BEGOT, T. O.; PRUDENTE, B. S.; JUEN, L.; MONTANG, L. F. A. Effects of oil palm plantations on habitat structure and fish assemblages in Amazon

streams. **Environ Biol Fish.** v. 101, p. 547–562, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10641-018-0716-4>

FERREIRA, V.; BINI, L. M.; LOS ANGELES, M.; SAGRARIO, G.; KOVALENKO, K. E.; NASELLI-FLORES, L.; PADIAL, A. A.; PADISÁK, J. Aquatic ecosystem services: an overview of the Special Issue. **Hydrobiologia**, v. 850, p. 2473–2483, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10750-023-05235-1>

FOX, J.; WEISBERG, S. (2019). An {R} Companion to Applied Regression, Third Edition. Thousand Oaks CA: Sage. URL: <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/> Accessed online January 2024

GONCALVES, F.B., MENEZES, M.S. Uma análise comparativa de índices bióticos que utilizam Macroinvertebrados avaliar a qualidade da água em um rio costeiro do estado do Paraná, sul do Brasil. **Biota Neotropica**. v. 11, n. 4, p. 27–36, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032011000400002>

GRUPO BBF. Relatório de Sustentabilidade. 2022. Disponível em https://www.grupobbff.com.br/download-pdf/download.php?url=https://brasilbiofuels-institucional-prd.s3.sa-east-1.amazonaws.com/app/uploads/2023/06/Relatorio-de-Sustentabilidade-2022_PT_compressed.pdf. Acesso em 01/04/2024

HAMADA, N.; NESSIMIAN, J. L.; QUERINO, R. B. (ed.) **Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia** – Manaus: Editora do INPA, 2014.

HAWKES, H. A. Origin and development of the Biological Monitoring Working Party Score System (Technical Note). **Water Research**. v. 32, n. 3, pp. 964-968, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(97\)00275-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(97)00275-3).

JUEN, L.; CUNHA, E. J.; CARVALHO, F. G.; FERREIRA, M. C.; BEGOT, T. O.; ANDRADE, A. L.; SHIMANO, Y.; LEÃO, H.; POMPEU, P. S.; MONTAG, L. F. A. Effects of oil palm plantations on the habitat structure and biota of streams in eastern Amazon. **River Research and Applications** (2016). <https://doi.org/10.1002/rra.3050>

JUNQUEIRA, M. V., AMARANTE, M. C., DIAS C. F. S., FRANÇA, E. S. Biomonitoramento da qualidade das águas da Bacia do Alto Rio das Velhas (MG/Brasil) através de macroinvertebrados. **Acta Limnol. Bras.** v. 12, p. 73-87, 2000.

JUNQUEIRA, V. M.; CAMPOS, S. C. M. Adaptation of the “BMWP” method for water quality evaluation to Rio das Velhas Watershed (Minas Gerais, Brazil). **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 10, n. 2, p. 125-135, 1998.

LECCI, L.S., FROEHLICH, C.G., 2007. Plecoptera. *In*: Froehlich, C.G. (Ed.), **Guia Online: Identificação De Larvas De Insetos Aquáticos Do Estado De São Paulo**, (Accessed Jan, 2024). http://sites.ffclrp.usp.br/aguadoce/Guia_online/.

LIM, S.; WON, D. H.; DO, Y. Enhancing river health assessment: Innovations and applications of the AquaShan Index. **Ecological Indicators**, Volume 160, March 2024,

111867. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111867>

LUIZA-ANDRADE, A.; BRASIL, L. S.; BENONE, N. L.; SHIMANOC, Y.; FARIAS, A. P. J.; MONTAGA, L. F.; DOLÉDEC, S.; JUEN, L. Influence of oil palm monoculture on the taxonomic and functional composition of aquatic insect communities in eastern Brazilian Amazonia. **Ecological Indicators**. v. 82, p. 478–483, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.006>

LUSKIN, M.S., POTTS, M.D. Microclimate and habitat heterogeneity through the oil palm lifecycle. **Basic Appl. Ecol.** v. 12, p. 540–551, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2011.06.004>

MARTINS, I., SANCHES, B., KAUFMANN, P.R., HUGHES, R.M., SANTOS, G.B., MOLOZZI, J., CALLISTO, M. Ecological assessment of a southeastern Brazil reservoir. **Biota Neotropica**. 15(1): e20140061. <http://dx.doi.org/10.1590/1676-06032015006114>

MELO, L. C.; ABESSA, D. M. S. Using the benthic macroinvertebrates as indicators of the water quality in the “Cachoeira do Paraíso” waterfall (Itinguçu State Park, Peruíbe, SP, Brazil). **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v.4, n.4, p. 5121-5140 out./dez. 2021. <http://dx.doi.org/10.34188/bjaerv4n4-020>

MONTEIRO, T. R.; OLIVEIRA, L. G.; GODOY, B. S. Biomonitoramento da qualidade de água utilizando macroinvertebrados bentônicos: adaptação do Índice Biótico BMWP' à bacia do Rio Meia Ponte-Go. **Oecol. Bras.**, 12 (3): 553-563, 2008.

NAHUM, J. S.; MURRAY, J. D. Impactos socioespaciais da dendecultura no Brasil e na Colômbia. **Anais do VII Congresso Brasileiro de Geógrafos**. Vitória/ES – ISBN: 978-85-98539-04-1, ago 2014.

NAHUM, J. S.; SANTOS, C. B. A dendecultura na Amazônia paraense. **Geosp – Espaço e Tempo (Online)**, v. 20, n. 2, p. 281-294, mês. 2016. ISSN 2179-0892. doi: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2014.84539>.

NESSIMIAN, J. L.; VENTICINQUE, E. M.; ZUANON, J.; DE MARCO JR, P.; GORDO, M.; FIDELIS, L.; BATISTA, J. D.; JUEN, L. Land use, habitat integrity, and aquatic insect assemblages in Central Amazonian streams. **Hydrobiologia** v. 614, p. 117–131, 2008. <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9441-x>

PEEL M. C; FINLAYSON B. L; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen–Geiger climate classification. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, v. 11, p.1633–1644, 2007. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>

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

Qaim, M., Sibhatu, K. T., Siregar, H. & Grass, I. Environmental, Economic, and Social Consequences of the Oil Palm Boom. **Annual Review of Resource Economics**, v.

12, n.1, p. 321-344, 2020. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-110119-024922>.

R CORE TEAM. R: a language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2021. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Accessed online January 2024

ROJAS-CASTILLO, O.A.; KEPFER-ROJAS, S.; VARGAS, N.; JACOBSEN, D. Forest buffer-strips mitigate the negative impact of oil palm plantations on stream communities. **Science of the Total Environment**. v. 873, e162259, 2023.

RUARO, R.; GUBIANI, E. A. A scientometric assessment of 30 years of the Index of Biotic Integrity in aquatic ecosystems: Applications and main flaws. **Ecological Indicators**. v. 29, p. 105–110, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.12.016>.

RUARO, R.; GUBIANI, E. A.; HUGHES, R. M.; MORMUL, R. P. Global trends and challenges in multimetric indices of biological condition. **Ecological Indicators**. v. 110, e105862, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105862>.

SANTOS, J. V.A. S.; LIMA, M.; MONTELES, J. S.; CARRERA, D. L. R.; FARIA, A. P. J.; BRASIL, L. S.; JUEN, L. Assessing physical habitat structure and biological condition in eastern Amazonia stream sites. **Water Biology and Security**. v. 2, e100132, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.watbs.2022.100132>

SCHOOLMASTER, D.R., JR, GRACE, J.B. AND WILLIAM SCHWEIGER, E. A general theory of multimetric indices and their properties. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 3, p. 773-781, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2012.00200.x>

SILVA, K.W.D.S., EVERTON, N.D.S., MELO, M.A.D.D. Aplicação dos índices biológicos Biological Monitoring Working Party e Average Score per Taxon para avaliar a qualidade de água do rio Ouricuri no Município de Capanema, Estado do Pará, Brasil. **Revista Pan-Amazônica de Saúde**, v. 7, n. 3, p. 13–22, 2016. <http://dx.doi.org/10.5123/s2176-62232016000300002>

SHIMANO, Y.; JUEN, L. How oil palm cultivation is affecting mayfly assemblages in Amazon streams. **Ann. Limnol. - Int. J. Lim.** v. 52, p. 35–45, 2016. <http://dx.doi.org/10.1051/limn/2016004>

SHIMANO Y., JUEN L., SALLES F.F., NOGUEIRA D.S. AND CABETTE H.S.R. Environmental and spatial processes determining Ephemeroptera (Insecta) structures in tropical streams. **Ann. Limnol. - Int. J. Lim.**, v. 49, p. 31–41, 2013. <https://doi.org/10.1051/limn/2013036>

WALLACE, J. B. & J. R. WEBSTER. The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. **Annual Review of Entomology**. v. 41, p. 115–139, 1996. DOI: 10.1146/annurev.en.41.010196.000555

WALLEY, W.J., HAWKES, H.A. A computer-based reappraisal of the biological monitoring working part scores using data from the 1990. River quality survey of

england and wales. **Water Res.** v. 30, n. 9, p. 2086–2094, 1996.
[https://doi.org/10.1016/0043-1354\(96\)00013-9](https://doi.org/10.1016/0043-1354(96)00013-9)

WALLEY, W.J., HAWKES, H.A. A computer-based development of the Biological Monitoring Working Party score system incorporating abundance rating, site type and indicator value. **Water Res.** v. 31, n. 2, p. 201–210, 1997.
[https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(96\)00249-7](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(96)00249-7)

REFERÊNCIAS GERAIS

- ALLAN, J.D. Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v.35, 257–284, 2004. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.120202.110122>
- ALMEIDA, A. S.; VIEIRA, I. C. G.; FERRAZ, S. F. B.; Long-term assessment of oil palm expansion and landscape change in the eastern Brazilian Amazon. **Land Use Policy**, v. 90, e104321, Jan. 2020.
- ANDRADE, M. H. S.; FREITAS, S. C.; ELEUTÉRIO, A. S. Qualidade Ecológica da Água: Monitoramento com bioindicadores e análise do uso e ocupação da terra em uma Bacia Hidrográfica Urbana. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 11, p. 88187-88200, nov. 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-296>
- AYOMPE, L. M.; SCHAAFSMA, M.; EGOH, B. N. Towards sustainable palm oil production: The positive and negative impacts on ecosystem services and human wellbeing. **Journal of Cleaner Production**, v.278, e 123914, 2021.
- AZHAR, B.; NOBILLY, F.; LECHNER, A. M.; TOHIRAN, K. A.; MAXWELL, T. M. R.; ZULKIFLI, R.; KAMEL, M. F.; OON, A. Mitigating the risks of indirect land use change (ILUC) related deforestation from industrial palm oil expansion by sharing land access with displaced crop and cattle farmers. **Land Use Policy**, 107, e. 105498. 2021.
- BAPTISTA, D. F.; SOUZA, R. S. G. de; VIEIRA, C. A.; MUGNAI, R.; SOUZA, A. S.; OLIVEIRA, R. B. S. de. Multimetric index for assessing ecological condition of running waters in the upper reaches of the Piabanha-Paquequer-Preto Basin, Rio de Janeiro, Brazil. **Zoologia** v. 28, n. 5, p. 619–628, Oct. 2011. <https://doi.org/10.1590/S1984-46702011000500010>
- BARREIROS, N.M.; GIARRIZZO, T.; GODOY, B.S. Beta diversity of Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera on multiples spatial extents in Xingu River rapids. **Acta Limnologica Brasiliensis**, v. 35, e23. 2023.
- BRASIL, L. S.; OLIVEIRA-JUNIOR, J. M. B.; SHIMANO, Y.; DIAS-SILVA, K.; JUEN, L. Insetos aquáticos bioindicadores de mudanças de uso da terra no Pará, Brasil: evidências e perspectivas. **Oecologia Australis** v. 26, n. 3, p. 424–444, 2022. <https://doi.org/10.4257/oecco.2022.2603.03>
- BRAZILIO, M.; BISTACHIO, N. J.; PERINA, V. C. S.; NASCIMENTO, D. D. O Dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.): **Revisão - bioenergia em revista: diálogos**, v. 2, n. 1, p.27-45, jan./jun. 2012.
- BRITO, J. G.; MARTINS, R. T.; OLIVEIRA, V. C.; HAMADA, N.; NESSIMIAN, J. L.; HUGHES, R. M.; FERRAZ, S. F.B.; PAULA, F. R. Biological indicators of diversity in tropical streams: Congruence in the similarity of invertebrate assemblages. **Ecological Indicators** v. 85, p. 85–92, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.09.001>

CALLISTO, M. *et al.* Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.6, p.71-82, 2001. DOI: 10.21168/rbrh.v6n1.p71-82

CAO, X.; CHAI, L.; JIANG, D.; WANG, J.; LIU, Y.; HUANG, Y. Loss of biodiversity alters ecosystem function in freshwater streams: potential evidence from benthic macroinvertebrates. **Ecosphere**. v. 9, e02445. 2018. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2445>.

CÓRDOBA, D.; JUEN, L.; SELFA, T.; PEREDO, A. M.; MONTAG, L. F. A.; SOMBRA, D.; SANTOS, M. P. D. Compreendendo as percepções locais dos impactos da monocultura de palma nos serviços ecossistêmicos da Amazônia Brasileira. *In*: FARIAS, A. L. A. (org.) **O grande projeto da dendeicultura na Amazônia: impactos, conflitos e alternativas**. Belém: NUMA/UFPA, 2022. p. 169-222.

CUNHA, E.J.; MONTAG, L.F.de Assis; JUEN, L. Oil palm crops effects on environmental integrity of Amazonian streams and Heteropteran (Hemiptera) species diversity. **Ecological Indicators**, v.52, p.422–429, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.12.024>

CUNHA, E.J., JUEN, L. Impacts of oil palm plantations on changes in environmental heterogeneity and Heteroptera (Gerromorpha and Nepomorpha) diversity. **J Insect Conser.** v 21, 111–119 (2017). <https://doi.org/10.1007/s10841-017-9959-1>

DUDGEON, D., ARTHINGTON, A.H., GESSNER, M.O., KAWABATA, Z.I., KNOWLER, D.J., LEVÊQUE, C., NAIMAN, R.J., RICHARD- PRIEUR, A.H., SOTO, D., STIASSNY, M.J., SULLIVAN, C.A., 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. **Biol. Rev.** 81, 163–182. <https://doi.org/10.1017/S1464793105006950>

FARIA, A.P.J.E., LIGEIRO, R., CALLISTO, M., JUEN, L., 2017. Response of aquatic insecta assemblages to the activities of traditional populations in eastern Amazonia. **Hydrobiologia** 802 (1), 39–51. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3238-8>

FERREIRA, W. R.; RODRIGUES, D. N.; ALVES, C. B. M.; CALLISTO, M. Biomonitoramento de longo prazo da Bacia do Rio das Velhas Através de um Índice Multimétrico Bentônico. RBRH – **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Volume 17, n.3 - Jul/Set 2012, 253-259. DOI: 10.21168/rbrh.v17n3.p253-259

GOULART, M. & CALLISTO, M. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. **Revista da FAPAM**, ano 2, no 1. 2003.

HAMADA, N.; NESSIMIAN, J. L.; QUERINO, R. B. (ed.) **Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia** – Manaus: Editora do INPA, 2014.

HAWKES, H. A. Origin and development of the Biological Monitoring Working Party Score System (Technical Note). **Water Research**. Vol. 32, No. 3, pp. 964-968, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(97\)00275-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(97)00275-3).

JUEN, L.; CUNHA, E. J.; CARVALHO, F. G.; FERREIRA, M. C.; BEGOT, T. O.; ANDRADE, A. L.; SHIMANO, Y.; LEÃO, H.; POMPEU, P. S.; MONTAG, L. F. A. Effects of oil palm plantations on the habitat structure and biota of streams in eastern Amazon. **River Research and Applications** (2016). <https://doi.org/10.1002/rra.3050>

JUNQUEIRA, M. V., AMARANTE, M. C., DIAS C. F. S., FRANÇA, E. S. Biomonitoramento da qualidade das águas da Bacia do Alto Rio das Velhas (MG/Brasil) através de macroinvertebrados. **Acta Umol. Bras.**, 12:73-87, 2000.

LIM, S.; WON, D. H.; DO, Y. Enhancing river health assessment: Innovations and applications of the AquaShan Index. **Ecological Indicators**, Volume 160, March 2024, 111867. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111867>

MONTEIRO, T. R.; OLIVEIRA, L. G.; GODOY, B. S. Biomonitoramento da qualidade de água utilizando macroinvertebrados bentônicos: adaptação do Índice Biótico BMWP' à bacia do Rio Meia Ponte-Go. **Oecol. Bras.**, 12 (3): 553-563, 2008.

NESSIMIAN, J. L.; VENTICINQUE, E. M.; ZUANON, J.; DE MARCO JR, P.; GORDO, M.; FIDELIS, L.; BATISTA, J. D.; JUEN, L. Land use, habitat integrity, and aquatic insect assemblages in Central Amazonian streams. **Hydrobiologia**, v. 614, p. 117–131, 2008. <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9441-x>

QAIM, M., SIBHATU, K. T., SIREGAR, H. & GRASS, I. (2020). Environmental, Economic, and Social Consequences of the Oil Palm Boom. **Annual Review of Resource Economics**, 12(1), 321-344. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-110119-024922>.

ROJAS-CASTILLO, O.A.; KEPFER-ROJAS, S.; VARGAS, N.; JACOBSEN, D. Forest buffer-strips mitigate the negative impact of oil palm plantations on stream communities. **Science of the Total Environment** 873 (2023) 162259

RUARO, R.; GUBIANI, E. A. A scientometric assessment of 30 years of the Index of Biotic Integrity in aquatic ecosystems: Applications and main flaws. **Ecological Indicators** 29 (2013) 105–110. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.12.016>.

RUARO, R.; GUBIANI, E. A.; HUGHES, R. M.; MORMUL, R. P. Global trends and challenges in multimetric indices of biological condition. **Ecological Indicators** 110 (2020) 105862. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105862>.

SANTOS, J. V.A. S.; LIMA, M.; MONTELES, J. S.; CARRERA, D. L. R.; FARIA, A. P. J.; BRASIL, L. S.; JUEN, L. Assessing physical habitat structure and biological condition in eastern Amazonia stream sites. **Water Biology and Security**, v. 2, e100132, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.watbs.2022.100132>

SILVA, K.W.D.S.; EVERTON, N.D.S.; MELO, M.A.D.D. Aplicação dos índices biológicos Biological Monitoring Working Party e Average Score per Taxon para avaliar a qualidade de água do rio Ouricuri no Município de Capanema, Estado do Pará, Brasil. **Revista Pan-Amazônica de Saúde**, V. 7, n. 3, p. 13–22. 2016. <http://dx.doi.org/10.5123/s2176-62232016000300002>

SHIMANO, Y.; JUEN, L. How oil palm cultivation is affecting mayfly assemblages in Amazon streams. **Ann. Limnol. - Int. J. Lim.**, v.52, p.35–45, 2016. <http://dx.doi.org/10.1051/limn/2016004>

SHIMANO, Y.; JUEN, L.; SALLES, F.F.; NOGUEIRA, D.S.; CABETTE, H.S.R. Environmental and spatial processes determining Ephemeroptera (Insecta) structures in tropical streams. **Ann. Limnol. - Int. J. Lim.**, v.49, p.31–41, 2013. <https://doi.org/10.1051/limn/2013036>

WALLACE J. B.; WEBSTER, J. R. The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. **Annual Review of Entomology** v.41, p.115–139, 1996. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.41.010196.000555>

WALLEY, W.J.; HAWKES, H.A. A computer-based development of the Biological Monitoring Working Party score system incorporating abundance rating, site type and indicator value. **Water Res.**, v.31, n. 2, p. 201–210, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(96\)00249-7](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(96)00249-7)