



PPGECO

Embrapa

Amazônia Oriental

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA**

EVERTON CRUZ DA SILVA

**EFEITO DA MONOCULTURA DE DENDÊ NA INTEGRIDADE
AMBIENTAL E SUA INFLUÊNCIA NA DIVERSIDADE DE
LIBÉLULAS (ODONATA) EM IGARAPÊS AMAZÔNICOS**

Belém– Pará

2023

EVERTON CRUZ DA SILVA

**EFEITO DA MONOCULTURA DE DENDÊ NA INTEGRIDADE
AMBIENTAL E SUA INFLUÊNCIA NA DIVERSIDADE DE
LIBÉLULAS (ODONATA) EM IGARAPÈS AMAZÔNICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia, do convênio Universidade Federal do Pará e Embrapa Amazônia Oriental, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ecologia.

Área de concentração: Ecologia

Linha de pesquisa: Ecologia de Comunidades e Ecossistemas

Orientador: Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior

Coorientador: Prof. Dr. Fernando Geraldo de Carvalho

**Belém – Pará
2023**

**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)**

C955e Cruz da Silva, Everton.
Efeito da monocultura de dendê na integridade ambiental e sua
influência na diversidade de libélulas (Odonata) em igarapés
amazônicos / Everton Cruz da Silva. — 2023.
41 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior
Coorientador(a): Prof. Dr. Fernando Geraldo de Carvalho
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em
Ecologia, Belém, 2023.

1. Elaeis guineenses. 2. biomonitoramento. 3. Índice de
Qualidade da Água. 4. libélulas. I. Título.

CDD 577.098115

EVERTON CRUZ DA SILVA

Efeito da monocultura de dendê na integridade ambiental e sua influência na diversidade de libélulas (Odonata) em igarapés amazônicos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia, do convênio Universidade Federal do Pará e Embrapa Amazônia Oriental, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ecologia, avaliado pela comissão julgadora composta pelos seguintes membros:

Data da Aprovação: __/__/__

Conceito:

Banca Examinadora:

Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior

Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA

(Orientador – Presidente)

Prof. Dr. Fernando Geraldo de Carvalho

Universidade Federal do Pará – UFPA

(Coorientador)

Prof. Dr. Leandro Juen

Universidade Federal do Pará – UFPA

(Membro interno – titular)

Prof^a. Dr^a Karina Dias Silva

Universidade Federal do Pará – UFPA

(Membro interno – titular)

Prof. Dr. Thiago Bernardi Vieira

Universidade Federal do Pará – UFPA

(Membro interno – suplente)

Prof^a. Dr^a. Lenize Batista Calvão Santos

Universidade Federal do Pará – UFPA

(Membro externo – titular)

Prof. Dr. Marciel Elio Rodrigues

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB

(Membro externo – titular)

Belém, Pará, 30 de março de 2023

Dedico esse trabalho aos meus pais,
Herivelto e Lucimar da Silva.

Amo vocês!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me concedido saúde e força para desenvolver esse trabalho.

Em especial ao meu orientador e amigo, **Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior**, ao qual tenho muito orgulho e nutro imensa gratidão por ter a chance de desfrutar de seus conhecimentos como profissional ao longo desses anos. Um excelente profissional, professor dedicado e comprometido em levar a educação sem se importar com as dificuldades, meu muito obrigado por todas as vezes que acreditou no meu potencial, mesmo quando eu deixei de acreditar. Agradeço por todos os conhecimentos repassados.

Ao meu coorientador **Prof. Dr. Fernando Geraldo de Carvalho** e ao **Prof. Dr. Leandro Juen** por toda paciência e dedicação que tiveram comigo nesse período.

Agradeço a equipe do Laboratório de Ecologia e Conservação (LABECO) da Universidade Federal do Pará (UFPA), pelo apoio logístico e auxílio na identificação dos dados.

Aos meus amigos **Tainã Rocha, Gabriel Martins, Josinete Monteles, Rafael Bastos, Victor Rennan, Ivan Alves, Renan Marins, Juliano Ló** que colaboraram muito para o desenvolvimento deste trabalho.

Também agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa. À empresa AGROPALMA, pelo financiamento e apoio em parte das coletas de dados.

Agradecimentos também à **Prof.(a) Dra. Diana Cordoba**, coordenadora do projeto *Oil Palm in Water Territories: The impacts of crop expansion on water resources and local livelihoods in the Brazilian Amazon*- financiado pela *Queen's University*, ao qual este trabalho é vinculado. Muito Obrigado!

Efeito da monocultura de dendê na integridade ambiental e sua influência na diversidade de libélulas (Odonata) em igarapés amazônicos

RESUMO

Avaliamos os efeitos da plantação de palma de dendê (*Elaeis guineenses*) sob a qualidade da água e estrutura física dos igarapés amazônicos, e seus efeitos sob a diversidade biótica de adultos de Odonata (Insecta). Testamos a seguintes hipóteses: i) igarapés que drenam monoculturas de dendê apresentam uma baixa qualidade da água e estabilidade física; ii) mudanças na qualidade da água e na estrutura física dos igarapés amazônicos afetam negativamente a abundância e riqueza de espécies de Odonata. Avaliamos 22 igarapés, sendo sete em áreas de floresta primária e 15 em plantações de palma de dendê, na Amazônia oriental, Pará, Brasil. Os nossos resultados mostraram que as variáveis físico-químicas (e.g., temperatura, oxigênio dissolvido e turbidez), e de paisagem (e.g., vegetação de 50 e 500 metros) afetaram a abundância de Odonata. Por outro lado, nossos resultados sugerem que apenas a temperatura da água afeta a riqueza dos odonatos amazônicos. Alterações na vegetação do entorno causam efeitos negativos sobre a estrutura física dos igarapés e alteram a qualidade da água. A vegetação ciliar tem influência na reprodução e manutenção das comunidades de Odonata. Como medida mitigadora, sugerimos a revisão do tamanho da zona de amortecimento que é destinada para conservação via legislação ambiental.

Palavras-chave: *Elaeis guineenses*, biomonitoramento, Índice de Qualidade da Água, libélulas.

Effect of oil palm monoculture on environmental integrity and its influence on the diversity of dragonflies (Odonata) in Amazonian streams

ABSTRACT

We evaluated the effects of oil palm (*Elaeis guineenses*) plantations on the water quality and physical structure of Amazonian streams, and their effects on the biotic diversity of adult Odonata (Insecta). We tested the following hypotheses: i) streams draining oil palm monocultures exhibit poor water quality and physical stability; ii) changes in water quality and physical structure of Amazonian streams negatively affect Odonata species abundance and richness. We evaluated 22 streams, seven in primary forest areas and 15 in oil palm plantations, in the eastern Amazon, Pará, Brazil. Our results showed that physicochemical (e.g., temperature, dissolved oxygen, and turbidity), and landscape variables (e.g., vegetation at 50 and 500 meters) affected Odonata abundance. On the other hand, our results suggest that only water temperature affects the richness of Amazonian odonates. Changes in the surrounding vegetation cause negative effects on the physical structure of streams and alter water quality. Riparian vegetation has an influence on the reproduction and maintenance of Odonata communities. As a mitigating measure, we suggest reviewing the size of the buffer zone that is set aside for conservation via environmental legislation.

Keywords: *Elaeis guineenses*, biomonitoring, Water Quality Index, dragonflies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Distribuição dos igarapés e locais de amostragem nas áreas de floresta primária e de plantações de dendê nos municípios de Acará, Mojú e Tailândia, Pará, Brasil.	4
Figura 2- Distribuição das variáveis físico-químicas da água em uma Análise de Componentes Principais (PCA) realizado com dados de igarapés de áreas de floresta primária e de plantações de palma nos municípios de Acará, Mojú e Tailândia, Pará, Brasil. IIIH = Índice de Integridade do Habitat; IQA = Índice de Qualidade da Água; OD = Oxigênio dissolvido; Tem = Temperatura da água; Tur = Turbidez; Con = Condutividade elétrica; pH = Potencial Hidrogeniônico.	12
Figura 3- Distribuição das variáveis de paisagem em uma Análise de Componentes Principais (PCA) realizado com dados de igarapés de áreas de floresta primária e de plantações de palma, nos municípios de Acará, Mojú e Tailândia, Pará, Brasil. Veg = vegetação; Solo = % de uso do solo.	13
Figura 4- Abundância das famílias da ordem Odonata (Insecta) amostradas em duas áreas (floresta primária e de plantações de palma de dendê) nos municípios de Acará, Mojú e Tailândia, Pará, Brasil	14

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1- Valores limites dos parâmetros da água para o enquadramento nas classes das águas doces no Brasil (de acordo com as resoluções CONAMA n.º 357/2005 e 430/2011) e sua classificação segundo seus diferentes tipos de usos (de acordo com a resolução CONAMA n.º 430/2011).....	6
Tabela 1- Valores médios e de desvio padrão dos parâmetros de qualidade da água dos igarapés de floresta primária e plantações de palma de dendê nos municípios de Acará, Mojú e Tailândia, Pará, Brasil. 9	9
Tabela 2- Valores finais do Índice de Qualidade da Água (IQA) e do Índice de Integridade do Habitat (IIH) de igarapés de áreas de floresta primária e de plantações de palma de dendê nos municípios de Acará, Mojú e Tailândia, Pará, Brasil. PO= ponto; F= floresta; P= palma	10
Tabela 3- Resultado da Regressão múltipla entre a proporção do uso do solo (% solo) e Índice de Integridade do Habitat (IIH) como variáveis preditoras e o Índice de Qualidade da Água (IQA) como variável resposta de dados de igarapés de áreas de floresta primária e de plantações de palma nos municípios de Acará, Mojú e Tailândia, Pará, Brasil.....	10
Tabela 4- Valores de correlação das variáveis com os eixos da Análise de Componentes Principais (PCA), valores de explicação e autovalores. Valores em negrito representam as relações a partir de 6%. IIH = Índice de Integridade do Habitat; IQA = Índice de Qualidade da Água.	11
Tabela 5- Valores de correlação das variáveis com os eixos da análise de componentes principais (PCA), valores de explicação e autovalores. Valores em negrito representam as relações a partir de 6%.....	12
Tabela 6- Lista das espécies de Odonata (Insecta) amostradas em duas áreas (floresta primária e de plantações de palma de dendê) nos municípios de Acará, Mojú e Tailândia, Pará, Brasil.	14
Tabela 7- Resultados do Modelo Linear Generalizado (GLM), descrevendo influência da qualidade da água e da estrutura física dos igarapés afetando abundância de indivíduos de Odonata em floresta primária e de plantações de palma nos municípios de Acará, Mojú e Tailândia, Pará, Brasil. Valores em negrito representam as relações significativas ao nível de $p < 0,05$. IIH = Índice de Integridade do Habitat; IQA = Índice de Qualidade da Água.	16
Tabela 8- Resultados do Modelo Linear Generalizado (GLM), descrevendo influência da qualidade da água e da estrutura física dos igarapés afetando riqueza de espécies de Odonata em florestas primária e de plantações de palma nos municípios de Acará, Mojú e Tailândia, Pará, Brasil. Valores em negrito representam as relações significativas ao nível de $p < 0,05$. IIH = Índice de Integridade do Habitat; IQA = Índice de Qualidade da Água.	16

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°C	Graus celsius
µS	Micro Siemens
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
cm	Centímetro
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GLM	Modelo Linear Generalizado
H	Hora
ha	Hectare
IIH	Índice de Integridade de Habitat
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IQA	Índice de Qualidade da Água
km	Quilômetro
km²	Quilômetro quadrado
L	Litro
LABECO	Laboratório de Ecologia e Conservação
m	Metro
mg	Miligrama
mm	Milímetro
mm³	Milímetro cúbico
n.º	Número
NTU	Unidade de turbidez nefelométrica
OD	Oxigênio dissolvido
PA	Pará
PCA	Análise de Componentes Principais
pH	Potencial Hidrogeniônico
STD	Sólidos totais dissolvidos
UFOPA	Universidade Federal do Oeste do Pará
UFPA	Universidade Federal do Pará

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE QUADROS E TABELAS	vii
LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	viii
ESTRUTURA E FORMATAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	x
RESUMO	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAL E MÉTODOS	3
2.1. Área de estudo	3
2.2. Coleta de dados.....	4
2.2.1. Dados abióticos	5
2.2.1.1. <i>Integridade e caracterização física dos igarapés</i>	5
2.2.1.2. <i>Caracterização físico e química da água e Índice de Qualidade de Água (IQA)</i>	5
2.2.1.3. <i>Avaliação da proporção do uso do solo</i>	7
2.2.2. <i>Dados bióticos</i>	8
2.3. Análise de dados	8
3. RESULTADOS	9
3.1. Dados abióticos	9
3.2. Dados bióticos.....	13
3.2.1. <i>Descrição da comunidade de Odonata</i>	13
3.2.2. <i>Efeito das variáveis ambientais sobre a comunidade de Odonata</i>	15
4. DISCUSSÃO	17
5. CONCLUSÃO	20
REFERÊNCIA	21
APÊNDICE	27

ESTRUTURA E FORMATAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A dissertação intitulada “**Efeito da monocultura de dendê na integridade ambiental e sua influência na diversidade de libélulas (Odonata) em igarapés amazônicos**” está estruturada em capítulo único, que está no formato de artigo, e será submetido a revista *Hydrobiologia*, com fator de impacto 2.822. A *Hydrobiologia* publica pesquisas originais, revisões e opiniões que investigam a biologia de ambientes de água doce e marinhos, incluindo o impacto das atividades humanas. A submissão será realizada após as considerações da banca examinadora.

O artigo foi formatado conforme as normas da referida revista, que podem ser acessadas através do link: <https://www.springer.com/journal/10750/submission-guidelines>

Efeito da monocultura de dendê na integridade ambiental e sua influência na diversidade de libélulas (Odonata) em igarapés amazônicos

Everton Cruz da Silva^{1,*}, Fernando Geraldo de Carvalho¹, Leandro Juen¹ & José Max Barbosa Oliveira-Junior^{1,2}

¹ Laboratório de Ecologia e Conservação (LABECO), Instituto de Ciências Biológicas (ICB), Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, Pará, Brasil.

² Laboratório de Estudos de Impactos Ambientais (LEIA), Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas (ICTA), Universidade Federal do Oeste Pará (UFOPA), Santarém, Pará, Brasil.

* Autor correspondente: Silva, E.C. (evertonsilva856@gmail.com)

RESUMO

Avaliamos os efeitos da plantação de palma de dendê (*Elaeis guineenses*) sob a qualidade da água e estrutura física dos igarapés amazônicos, e seus efeitos sob a diversidade biótica de adultos de Odonata (Insecta). Testamos a seguintes hipóteses: i) igarapés que drenam monoculturas de dendê apresentam uma baixa qualidade da água e estabilidade física; ii) mudanças na qualidade da água e na estrutura física dos igarapés amazônicos afetam negativamente a abundância e riqueza de espécies de Odonata. Avaliamos 22 igarapés, sendo sete em áreas de floresta primária e 15 em plantações de palma de dendê, na Amazônia oriental, Pará, Brasil. Os nossos resultados mostraram que as variáveis físico-químicas (e.g., temperatura, oxigênio dissolvido e turbidez), e de paisagem (e.g., vegetação de 50 e 500 metros) afetaram a abundância de Odonata. Por outro lado, nossos resultados sugerem que apenas a temperatura da água afeta a riqueza dos odonatos amazônicos. Alterações na vegetação do entorno causam efeitos negativos sobre a estrutura física dos igarapés e alteram a qualidade da água. A vegetação ciliar tem influência na reprodução e manutenção das comunidades de Odonata. Como medida mitigadora, sugerimos a revisão do tamanho da zona de amortecimento que é destinada para conservação via legislação ambiental.

Palavras-chave: *Elaeis guineenses*, biomonitoramento, Índice de Qualidade da Água, libélulas.

1. INTRODUÇÃO

Buscar compreender quais processos ou fatores influenciam na distribuição dos seres vivos é um dos principais desafios enfrentados a séculos pelos ecólogos (Bastos et al., 2021; Carvalho et al., 2021). Essa tarefa se torna bastante desafiadora, tendo em vista que esses processos são em sua grande maioria complexos e dinâmicos, podendo variar ao longo do espaço e do tempo (Hutchinson, 1959; Connor & Simberloff, 1979).

Uma das ideias mais bem aceitas é a teoria dos filtros ambientais, que explica que as comunidades tendem a apresentar uma convergência de nicho, isso porque o ambiente seleciona espécies com requerimentos ecofisiológicos semelhantes (Hutchinson, 1959; Polus et al., 2007; Fitt & Lancaster, 2017; Oliveira-Junior & Juen, 2019). Portanto, a distribuição espaço/temporal das espécies pode ser um reflexo de respostas às mudanças ambientais (em especial as de origens antrópicas).

Na Amazônia, as principais atividades antrópicas que afetam a biodiversidade são a urbanização, monocultura, pastagem e mineração, causando a fragmentação da vegetação e grande baixa na heterogeneidade ambiental desses ambientes (Juen et al., 2016; Bastos et al., 2021). Esse decréscimo na integridade ambiental em ecossistemas aquáticos pode condicionar uma reorganização espacial na estruturação das comunidades (Luiza-Andrade et al., 2017; Bastos et al., 2021). Segundo a hipótese da heterogeneidade de habitat, ambientes mais heterogêneos, tendem a apresentar maior quantidade de recursos como: alimento, microhabitat, sítios para reprodução e conseqüentemente maior riqueza de espécies (Bastos et al., 2021).

A conversão de grandes áreas de florestas em espaços destinados à monocultura tem sido apontada como o principal causador de impactos sobre os ecossistemas aquáticos na atualidade (Juen et al., 2016; Rojas et al., 2023). O estabelecimento dessas monoculturas de forma desordenada causa a supressão de extensas áreas florestais levando a uma menor heterogeneidade ambiental (Brook et al., 2003; Sheil et al., 2009). Além disso, essas monoculturas tendem a utilizar grandes quantidades de pesticidas artificiais que acabam sendo lixiviados para os ecossistemas aquáticos adjacentes (Carvalho, 2015; Rojas et al., 2022; 2023). Esse processo acaba afetando diretamente a dinâmica ecológica dos corpos hídricos (Nessimian et al., 1998; Lowe-McConnell, 1999), estabelecendo uma sucessão complexa de impactos que afetam a qualidade da água e o correto funcionamento de todo o ecossistema (Danielsen et al., 2009; Mendes et al., 2020).

Dessa forma, o monitoramento da qualidade da água em bacias hidrográficas é de fundamental importância para um bom planejamento da gestão e realização de ações mitigadoras (Monteiro et al., 2016). Uma das abordagens mais utilizadas é a avaliação de parâmetros físico/químicos da água, como por exemplo, temperatura, condutividade elétrica e a quantidade de oxigênio dissolvido (Esteves, 1998). Também é comum a aplicação de índices de qualidade da água (Da-Silva & Jardim, 2006) com a finalidade de fornecer indícios sobre a sua qualidade (Esteves, 1998) em conjunto com a integridade física ambiental, usando as variáveis físicas estrutural dos igarapés (Nessimian et al., 2008).

Nesse contexto, a Agência Nacional de Águas (ANA) estabeleceu nove parâmetros importantes para avaliar a qualidade da água, alguns devido sua grande importância acabam tendo certo destaque (e.g., oxigênio dissolvido, pH, turbidez, condutividade elétrica e temperatura da água). Apenas analisando esses parâmetros já é possível ter um diagnóstico do padrão de qualidade das águas que estão sendo avaliadas (Libânio, 2010), bem como, as estruturas físicas do entorno dos igarapés, por exemplo, a proporção de vegetação ripária e o tipo de uso do entorno dos igarapés (Carvalho et al., 2018).

Além da avaliação dos componentes abióticos da água, outra forma mais eficaz de avaliar a qualidade ambiental é utilizar componentes da biodiversidade, através da presença ou ausência dos chamados grupos bioindicadores, ou as variações de métricas relacionados a sua abundância e riqueza (Buss et al., 2003). As alterações no uso do solo causam modificações em atributos locais (por exemplo, temperatura local, físico-químico da água) e de paisagem (por exemplo, proporção de vegetação ripária) influenciando diretamente na distribuição e composição dos organismos aquáticos (Oliveira-Junior et al., 2019).

Nesse contexto, insetos da ordem Odonata são considerados importantes bioindicadores, sendo usados para detectar perturbações, pois apresentam riqueza, composição e distribuição fortemente associadas com as variações do habitat físico (Pinto et al., 2012; Miguel et al., 2017). Possuem características de ciclo de vida longo (Rodríguez-Capítulo, 1992), ampla distribuição nos ambientes aquáticos (Corbet, 1983) e desenvolvimento hemimetábolo com um estágio larval aquático e outro estágio adulto terrestre (Oertli, 2008), conseqüentemente, são afetados por mudanças de habitat dentro da água e por alterações no ambiente terrestre do entorno (Gorham & Vodopich, 1992; Corbet, 1999). Os indivíduos dessa ordem são sensíveis às alterações ambientais, provocando reorganização nas estruturas das comunidades (Miguel et al., 2017). O efeito do espaço e do ambiente na distribuição de Odonata está relacionado com a sua capacidade de dispersão, sensibilidade e eficiência às mudanças

ambientais (Corbet, 1999; Heiser & Schmitt, 2010; Juen & De Marco, 2012; Mendes et al., 2015).

Na Amazônia, a ordem Odonata apresenta duas subordens (Anisoptera e Zygoptera) (Corbet, 1999; De Marco et al., 2015). Os indivíduos da subordem Anisoptera em geral são maiores e têm uma excelente capacidade de dispersão (Corbet, 1999). Sua termorregulação está relacionada ao tamanho do corpo, e eles podem ser heliotérmicos, ectotérmicos e endotérmicos (ver May, 1991; De Marco et al., 2015), geralmente estão associados a ambientes abertos antropizados, sendo considerados indivíduos generalistas de habitat (De Marco et al., 2015). As espécies da subordem Zygoptera possuem tamanho corporal menor e passam a maior parte do tempo pousadas, sem grandes deslocamentos (Cobert, 1999). Quanto à termorregulação do corpo são considerados conformadores termais com maioria das espécies especialistas de habitat, por exemplo, florestais, devido a maioria das espécies serem altamente sensíveis a redução da integridade ambiental dos ecossistemas aquáticos (Monteiro-Júnior et al., 2015; Brito et al., 2021).

Nesse contexto, avaliamos os efeitos da plantação de palma de dendê (*Elaeis guineenses*) sobre a qualidade da água e estrutura física de igarapés amazônicos, e seus efeitos na diversidade biótica de adultos de Odonata (Insecta). Hipotetizamos que (i) igarapés que drenam as monoculturas de dendê apresentam uma baixa qualidade da água e integridade física; (ii) alterações na qualidade da água (variáveis locais) e na estrutura física (variáveis de paisagem) dos igarapés amazônicos afetam a abundância e riqueza de espécies de Odonata. Nossa premissa é que alterações no uso do solo causam alterações nas variáveis d'água (e.g., temperatura e oxigênio) e nas estruturas físicas (e.g., proporção de vegetação ripária), a qual influenciam na distribuição de insetos da ordem Odonata, uma vez que estes usam a vegetação no entorno dos riachos para dispersão e madeira dentro e fora do canal para oviposição (De Marco et al., 2015; Oliveira-Junior & Juen, 2019; Corbet, 1999).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

Realizamos o estudo em 22 igarapés (sendo 15 em área de plantação de dendê e sete em áreas de floresta) localizados na Rodovia PA 150, km 74, nos municípios de Acará, Mojú e Tailândia, na mesorregião do Nordeste do estado do Pará, Brasil (Figura 1). Essa área compreende 39.000 ha, sendo 64.000 ha com floresta primária e o restante de plantação de

dendê. Os igarapés estudados são pequenos corpos hídricos de primeira a terceira ordem de acordo com a classificação de Strahler (1957). O clima da região é tropical úmido, sob o sistema Köppen (Peel et al., 2007), com precipitação média anual de 2.344 mm³, estação seca de junho a novembro, e precipitação mínima de 54 mm³ em setembro, e estação chuvosa de dezembro a março, atingindo precipitação máxima de 427 mm³ (Cunha et al., 2020). A temperatura média anual na região é 26,6 °C (Cunha et al., 2020).

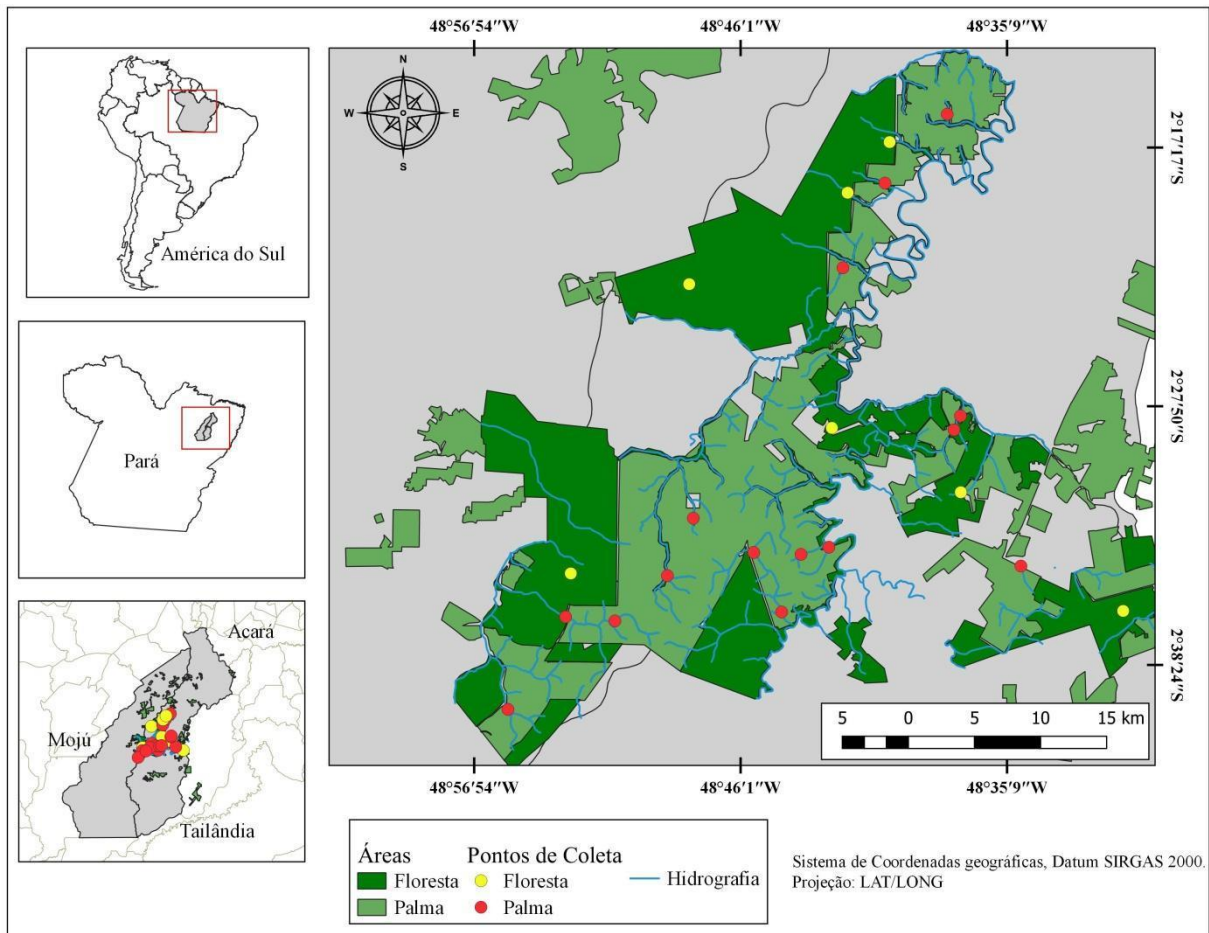


Figura 1- Distribuição dos igarapés e locais de amostragem nas áreas de floresta primária e de plantações de dendê nos municípios de Acará, Mojú e Tailândia, Pará, Brasil.

2.2. Coleta de dados

Realizamos as coletas no período de estiagem, nos meses de novembro a dezembro de 2012, e entre julho e agosto de 2013. Realizamos as coletas apenas no período de estiagem, pelos seguintes motivos: (i) reduzir os possíveis efeitos da variação sazonal nos resultados, (ii) estudos na Amazônia e no Cerrado brasileiro central demonstraram maior diversidade durante o período de estiagem (Baptista et al., 2001, Fulan & Henry, 2007) e (iii) porque a menor profundidade da coluna d'água durante este período faz com que esses insetos se concentrem

em áreas menores, o que permite encontrá-los e capturá-los com mais facilidade (Oliveira-Junior & Juen, 2019). O foco em um único período sazonal também reduz o “ruído” de amostragem nas análises e resultados (Heino, 2014).

Em cada igarapé delimitamos uma área de 150 metros, e subdividimos em dez seções de 15 metros cada, sendo dividido em três segmentos, com amostragem realizada nos dois primeiros segmentos (Juen et al., 2016). Nomeamos cada segmento por letras de “A” à “K”, sendo o segmento “A” sempre a jusante e “K” a montante, e o tempo médio de coleta em cada igarapé foi de uma hora.

2.2.1. Dados abióticos

2.2.1.1. Integridade e caracterização física dos igarapés

Para avaliar a integridade de cada igarapé, utilizamos o Índice de Integridade de Habitat (IIH) de Nessimian et al. (2008). Esse índice é composto por 12 itens que descrevem as condições ambientais dos igarapés, através de avaliação visual das características estruturais em cada margem do igarapé. Cada um desses itens é composto de quatro a seis alternativas que contribuem para o valor final do índice, com pontuações crescentes em relação à integridade do habitat (para mais detalhes ver Nessimian et al., 2008). O valor de cada item (a_0) é dividido pelo valor máximo possível para o item da questão (a_m) (Equação 1), com o objetivo de padronizar e fornecer o mesmo peso para cada um dos itens avaliados. O escore final do índice (Equação 2) é fornecido pelo valor médio desses escores (p_i) em relação ao número de itens analisados (n); assim, o valor varia de zero a um, com valores mais altos representando ambientes mais bem preservados e valores próximos de zero, representando habitats alterados (Nessimian et al. 2008).

$$p_i = \frac{a_0}{a_m} \quad \text{Equação 1}$$

$$IIH = \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{n} \quad \text{Equação 2}$$

2.2.1.2. Caracterização físico e química da água e Índice de Qualidade de Água (IQA)

Coletamos em três pontos equidistantes dentro de cada seção (transectos A, F e K), os seguintes parâmetros físico-químicos da água: oxigênio dissolvido (mg/L), condutividade elétrica ($\mu\text{S/m}$), potencial de hidrogênio (pH), turbidez (NTU), temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e sólidos totais

dissolvidos (STD), que foram obtidos com uso de uma sonda multiparâmetro Horiba (equipamento eletrônico Modelo U-5000).

Para a análise dos parâmetros e verificação da qualidade da água utilizamos como base o método de enquadramento de águas superficiais, conforme resolução do CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005 (Brasil, 2005). Essa resolução estabeleceu condições de qualidade para o enquadramento dos sistemas aquáticos no Brasil. Também nos baseamos na Resolução CONAMA n.º 430, de 13 de maio de 2011 (Brasil, 2011), que dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, alterando parcialmente e complementando a Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005 (Quadro 1).

Para isso, utilizamos os valores brutos coletados de cada parâmetro e de cada ponto individualmente, e posteriormente realizamos o enquadramento segundo os valores estabelecidos pelas resoluções do CONAMA. Após esse enquadramento, realizamos a média total dos valores brutos de cada parâmetro, através da soma dos valores brutos obtidos em cada igarapé e a divisão pelo número total de igarapés, para assim obter o valor de classificação geral de todos os igarapés (Arantes & Santos, 2020; Baptista et al., 2001).

Quadro 1- Valores limites dos parâmetros da água para o enquadramento nas classes das águas doces no Brasil (de acordo com as resoluções CONAMA n.º 357/2005 e 430/2011) e sua classificação segundo seus diferentes tipos de usos (de acordo com a resolução CONAMA n.º 430/2011).

Classes	Limites para o enquadramento	Principais Usos
Especial	Devem ser mantidas as condições naturais do corpo d'água OD: > 10,0 mg/l; pH: 6,0 a 9,0; Turbidez: 0 a 20 NTU; Condutividade Elétrica: 0 a 50 μ s/cm;	Consumo humano com desinfecção; Preservação de equilíbrio natural das comunidades aquáticas; preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
I	OD: 10 a 6 mg/l; pH: 6,0 a 9,0; Turbidez: 20 a 40 NTU; Condutividade Elétrica: 50 a 75 μ s/cm;	Consumo humano, após tratamento simplificado; proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho) Resolução CONAMA n.º 274/2000; irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas sem remoção de películas e à proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas.

II	OD: 6 a 5 mg/l; pH: 6,0 a 9,0; Turbidez: 40 a 70 NTU; Condutividade Elétrica: 75 a 100 $\mu\text{s/cm}$;	Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, Resolução CONAMA n.º 274/2000, à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto, à aquicultura e à atividade de pesca.
III	OD: 5 a 4 mg/l; pH: 6,0 a 9,0; Turbidez: 70 a 100 NTU; Condutividade Elétrica: 100 a 150 $\mu\text{s/cm}$;	Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado, à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras, à pesca amadora, à recreação de contato secundário, e à dessedentação de animais.
IV	OD: - 4mg/l; PH: 6,0 a 9,0; Turbidez: +100 NTU; Condutividade Elétrica: + 150 $\mu\text{s/cm}$;	Navegação e harmonia paisagística.

Fonte: Adaptação das resoluções CONAMA n.º 357/2005 e 430/2011, por Pinto et al. (2010).

Aplicamos também uma adaptação do Índice de Qualidade da Água (IQA) que é considerado uns dos melhores índices em uso no país (ANA, 2015). Esse índice seleciona os principais parâmetros físicos químicos da água, onde cada um recebe um peso no cálculo do índice de acordo com a sua relevância. A interpretação final do IQA para cada riacho de maneira simples é que valores de $80 \leq \text{IQA} \leq 100$ indicam qualidade ótima, $52 \leq \text{IQA} < 80$ (boa), $37 \leq \text{IQA} < 52$ (aceitável), $20 \leq \text{IQA} < 37$ (ruim) e de $0 \leq \text{IQA} < 20$ (péssimo).

2.2.1.3. Avaliação da proporção do uso do solo

Obtivemos a porcentagem da cobertura vegetal primária dos pontos amostrados na seguinte sequência: (I) mensuramos o tamanho das microbacias, para isso usamos imagens baixadas e processadas da Agência Nacional das Águas (ANA); (II) extraímos as microbacias seguindo os métodos de “Codificação de bacias hidrográficas pelo método de Otto Pfafstetter aplicação na ANA”; (III) posteriormente, convertimos as imagens interpretadas em shapefiles do TerraClass, no qual, utilizamos Terra Class TC_PA_2014_227/62 – Santarém, TC_PA_2014_222/ 62, 223/ 61, 22362, 223/ 63, 22/ 462 – Agropalma; (IV) mensuramos a porcentagem de vegetação primária dentro de cada microbacia, com imagens baixadas do satélite Sentinel-2a em 2 de novembro de 2016 (escala 1/25000 com resolução de 30 m) para validação da reclassificação do TerraClass, e por fim (V) geramos quantidade de cobertura

vegetal para cada buffer em metros quadrados de 50 e 500 metros ao redor dos pontos amostrados. TerraClass é um projeto do governo brasileiro, com o objetivo de produzir mapas sistêmicos mostrando o uso e cobertura de áreas desmatadas na Amazônia Legal Brasileira (Carvalho et al., 2018).

2.2.2. *Dados bióticos*

Para a amostragem biológica de indivíduos adultos de Odonata, utilizamos o método de varredura em áreas fixas, utilizando uma rede entomológica (40 cm de diâmetro, 65 cm de profundidade e cabo de alumínio de 90 cm de comprimento), de acordo com o protocolo de coleta descrito em Cezário et al. (2020). Para o acondicionamento dos espécimes seguimos o protocolo descrito em Lencioni (2006). Realizamos as coletas entre 10h00 e 14h00, sendo este o período do dia em que a luz do sol atinge o leito do igarapé. Estas eram as condições mínimas exigidas para garantir que todos os grupos de Odonata (conformadores térmicos, heliotérmicos e endotérmicos) estivessem ativos no momento da coleta (Oliveira-Junior et al., 2015).

Para a identificação dos espécimes coletados utilizamos chaves taxonômicas e guias ilustrados especializados (Borror, 1945; Belle, 1988; Garrison, 1990; Lencioni, 2005; 2006; Garrison et al., 2006; Garrison et al., 2010), comparando com material testemunho da coleção do Laboratório de Ecologia e Conservação da Universidade Federal do Pará, Brasil. Após a identificação, depositamos todos os exemplares como material testemunho na Coleção do Laboratório de Ecologia e Conservação da Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil.

2.3. **Análise de dados**

Para avaliar a primeira hipótese, de que igarapés que drenam áreas de monoculturas de dendê apresentam uma baixa qualidade da água e integridade física, realizamos uma regressão múltipla utilizando como variáveis preditoras a proporção (%) do uso do solo e o Índice de Integridade do Habitat (IIH) e como variável resposta o Índice de Qualidade da Água (IQA).

Para testar a segunda hipótese, de que alterações na qualidade da água (variáveis locais) e na estrutura física (variáveis de paisagem) dos igarapés estudados afetam a abundância e riqueza de espécies de Odonata, dividimos as análises em duas etapas: na primeira etapa, com objetivo de selecionar métricas, medimos a variação das variáveis locais (oxigênio dissolvido, condutividade, pH, turbidez, temperatura da água, IIH e IQA) e das variáveis de paisagem (porcentagem de vegetação (50 m, 500 m) e proporção (%) do uso solo), através de Análises de Componentes Principais (PCA). Como as variáveis locais e variáveis de paisagem possuem unidades de medidas diferentes realizamos uma padronização, a utilização dos componentes da

PCA reduz os ruídos provocados por diferenças nessas unidades além de, diminuir os possíveis efeitos de *outliers*, sem a necessidade de transformação prévia. Como critério de parada usamos o *Broken Stick* (Jackson, 1993). Elaboramos duas PCAs, uma com variáveis locais e outra com as variáveis de paisagem. Através das PCAs selecionamos para os modelos a posteriori as variáveis que tiveram uma maior correlação com os dois primeiros eixos, com o corte acima de 60% da relação.

Na segunda etapa, com o intuito de analisar os efeitos da plantação de palma de dendê sobre a abundância e a riqueza de Odonata, realizamos Modelos Lineares Generalizados (GLM) (Bates et al., 2015). Ajustamos modelos com a família Binomial negativa, que foi a que melhor se ajustava aos nossos dados tendo como parâmetro o valor de ratio mais próximo a 1 (Bates et al., 2015). Criamos dois modelos: um com variáveis locais, selecionadas pela PCA como preditoras (oxigênio dissolvido, condutividade, pH, turbidez, temperatura da água, IIH e IQA), e a abundância e riqueza de Odonata como variáveis resposta. No outro modelo usamos as variáveis de paisagem (porcentagem de vegetação (50 m, 500 m, 1000 m) e a porcentagem do uso do solo) como preditoras, e novamente a abundância e riqueza de Odonata como variáveis respostas. Para todas as análises utilizamos o software R Development Core Team (2009), e os pacotes *vegan* (Oksanen et al., 2018) e *ggplot2* (Wickham, 2009).

3. RESULTADOS

3.1. Dados abióticos

Os parâmetros de qualidade da água coletados para o estudo tiveram valores médios dentro do limite estabelecido pelo enquadramento do CONAMA n.º 357/2005 (Tabela 1; Apêndice 1).

Tabela 1- Valores médios e de desvio padrão dos parâmetros de qualidade da água dos igarapés de floresta primária e plantações de palma de dendê nos municípios de Acará, Mojú e Tailândia, Pará, Brasil.

Variáveis	Valores	
	Média	Desvio Padrão
Condutividade elétrica ($\mu\text{S/m}$)	0,016	0,006
Oxigênio dissolvido (mg/L)	6,755	0,865
Temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$)	26,02	0,815
pH	4,924	0,241
Turbidez (NTU)	3,426	7,737

Os valores do índice de qualidade da água (IQA) mantiveram-se dentro das classes: ótima ($80 \leq IQA \leq 100$) e boa ($52 \leq IQA < 80$) em igarapé de floresta primária, já os situados em áreas de monocultura ficaram todos enquadrados na classe boa. Os valores do Índice de Integridade do Habitat (IIH) variaram de 0,54 a 0,92 em igarapé de floresta primária e de 0,61 a 0,74 para de áreas de monocultura (Tabela 2).

Tabela 2- Valores finais do Índice de Qualidade da Água (IQA) e do Índice de Integridade do Habitat (IIH) de igarapés de áreas de floresta primária e de plantações de palma de dendê nos municípios de Acará, Mojú e Tailândia, Pará, Brasil. PO= ponto; F= floresta; P= palma

Pontos amostrados	Valores	
	IQA	IIH
PO1F1	9,771	0,924
PO2F2	7,924	0,843
PO3F3	8,024	0,792
PO5F5	7,958	0,847
PO6F6	7,892	0,785
PO7F7	7,744	0,543
PO22F9	7,993	0,764
PO23F10	7,992	0,792
PO9P1	8,097	0,689
PO10P2	8,055	0,606
PO16P8	8,105	0,689
PO18P10	8,045	0,668
PO19P11	8,071	0,682
PO20P12	8,134	0,668
PO21P13	8,103	0,668
PO24P14	7,941	0,694
PO25P15	8,058	0,661
PO26P16	8,014	0,717
PO27P17	8,016	0,744
PO28P18	8,041	0,727
PO29P19	8,012	0,733
PO30P20	8,071	0,719

O resultado da regressão múltipla mostrou que não houve efeito da proporção do uso do solo e da integridade do habitat sobre a qualidade da água ($R^2= 0,266$; $F=3,448$; $p= 0,436$) (Tabela 3).

Tabela 3- Resultado da Regressão múltipla entre a proporção do uso do solo (% solo) e Índice de Integridade do Habitat (IIH) como variáveis predictoras e o Índice de Qualidade da Água (IQA) como variável resposta de dados de igarapés de áreas de floresta primária e de plantações de palma nos municípios de Acará, Mojú e Tailândia, Pará, Brasil.

Variáveis	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P
-----------	--------------	-------------	--------	---------

Interseção	6,348	0,669	9,491	1,214
% solo	6,823	0,001	0,521	0,609
IIH	2,303	0,897	2,566	0,019

O resultado da PCA com variáveis locais indica que seus dois primeiros eixos explicam 61,88% da variação nos valores de condutividade, oxigênio dissolvido, temperatura da água, pH, turbidez, IIH e IQA. Sendo 34,55% no primeiro eixo e 27,33% no segundo (Figura 3). As variáveis que mais contribuíram para a formação do primeiro eixo foram temperatura da água e pH, com relação positiva e IIH e IQA com relação ao eixo negativo. No segundo eixo, as variáveis que mais contribuíram foram oxigênio dissolvido e turbidez, ambas com relação ao eixo negativo (Tabela 4).

Tabela 4- Valores de correlação das variáveis com os eixos da Análise de Componentes Principais (PCA), valores de explicação e autovalores. Valores em negrito representam as relações a partir de 6%. IIH = Índice de Integridade do Habitat; IQA = Índice de Qualidade da Água.

Variáveis ambientais locais	Eixos	
	Eixo 1	Eixo 2
Condutividade elétrica	0,432	0,262
Oxigênio dissolvido	0,331	-0,846
Temperatura da água	0,624	-0,197
pH	0,797	-0,052
Turbidez	-0,012	-0,931
IIH	-0,780	-0,466
IQA	-0,698	0,061
Explicação (%)	34,55	27,33
Autovalor	2,418	1,912

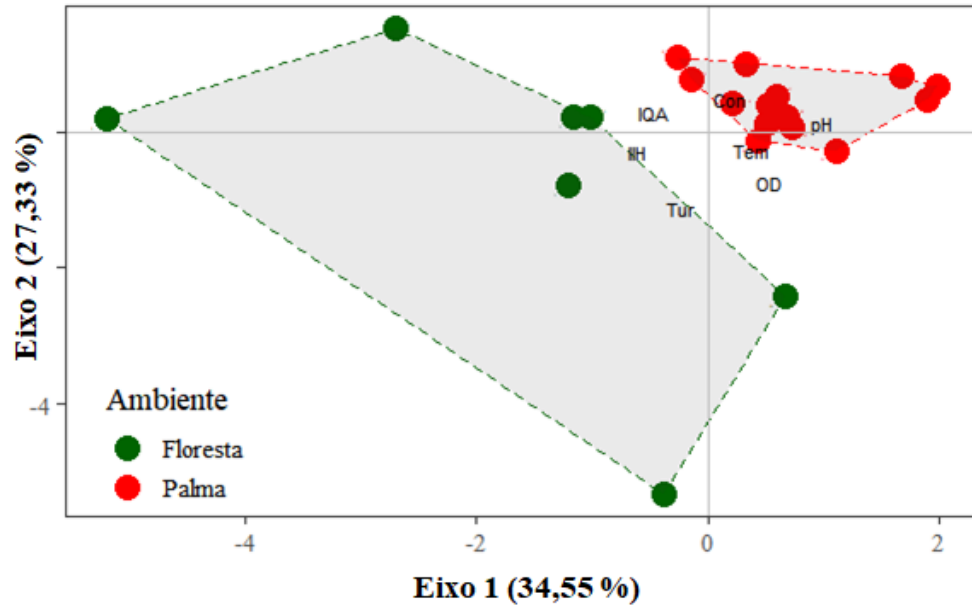


Figura 2- Distribuição das variáveis físico-químicas da água em uma Análise de Componentes Principais (PCA) realizado com dados de igarapés de áreas de floresta primária e de plantações de palma nos municípios de Acará, Mojú e Tailândia, Pará, Brasil. IIIH = Índice de Integridade do Habitat; IQA = Índice de Qualidade da Água; OD = Oxigênio dissolvido; Tem = Temperatura da água; Tur = Turbidez; Con = Condutividade elétrica; pH = Potencial Hidrogeniônico.

Já a PCA com as variáveis de paisagem indica que seus dois primeiros eixos explicam 89,32% de variação nos valores de vegetação de 50 m, vegetação de 500 m e proporção (%) do uso do solo. Sendo 58,04% no primeiro eixo e 31,28% no segundo (Figura 4). As variáveis que mais contribuíram para a formação do primeiro eixo foram vegetação de 50 m, vegetação de 500 m e proporção (%) de uso do solo, ambas com relação ao eixo positivo. No segundo eixo, a vegetação de 500 m com relação negativa e a proporção (%) do uso do solo com relação ao eixo positivo (Tabela 5).

Tabela 5- Valores de correlação das variáveis com os eixos da análise de componentes principais (PCA), valores de explicação e autovalores. Valores em negrito representam as relações a partir de 6%.

Variáveis ambientais de paisagem	Eixos	
	Eixo 1	Eixo 2
Vegetação de 50 m	0,912	-0,011
Vegetação de 500 m	0,711	-0,636
% uso do solo	0,634	0,730
Explicação (%)	58,04	31, 28
Autovalor	1,741	0,938

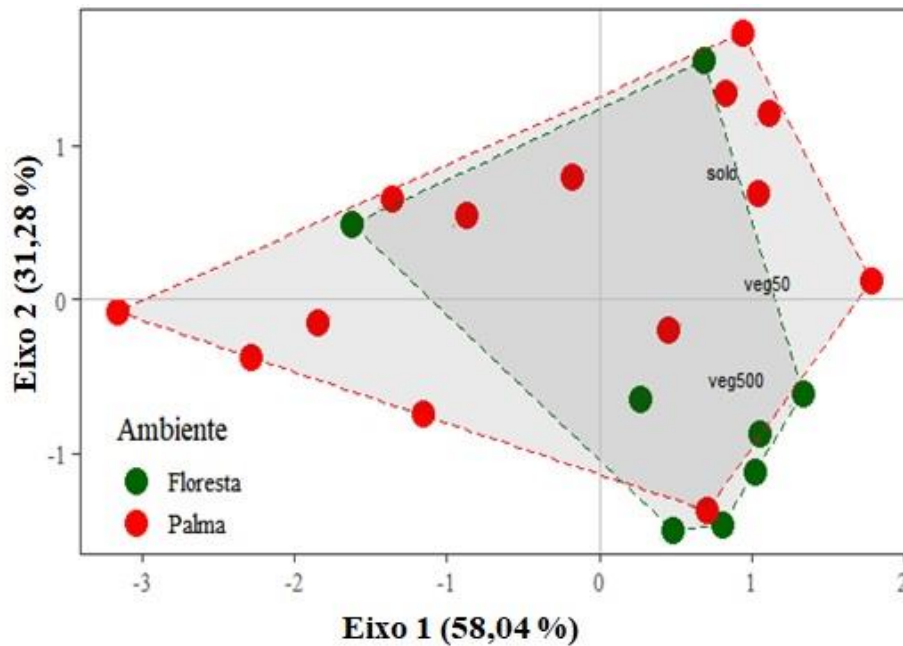


Figura 3- Distribuição das variáveis de paisagem em uma Análise de Componentes Principais (PCA) realizado com dados de igarapés de áreas de floresta primária e de plantações de palma, nos municípios de Acará, Mojú e Tailândia, Pará, Brasil. Veg = vegetação; Solo = % de uso do solo.

3.2. Dados bióticos

3.2.1. Descrição da comunidade de Odonata

Foram amostrados 513 espécimes de Odonata (Palma = 283; Floresta = 222), distribuídos em nove famílias, 23 gêneros e 42 espécies. As famílias mais abundantes foram Coenagrionidae (n.º = 201), seguido por Calopterygidae (n.º = 147) e Heteragrionidae (n.º = 89) (Figura 4). Os gêneros mais representativos foram: *Argia* (oito espécies e 122 indivíduos), *Epipleoneura* (cinco espécies e 42 indivíduos) e *Mnesarete* (quatro espécies e 129 indivíduos). As espécies com maiores abundâncias foram *Heteragrion silvarium* Sjostedt, 1918 (79 indivíduos), *Mnesarete aenea* Selys, 1853 (74 indivíduos) e *Chalcopteryx rutilans* Rambur, 1842 (43 indivíduos) (Tabela 6).

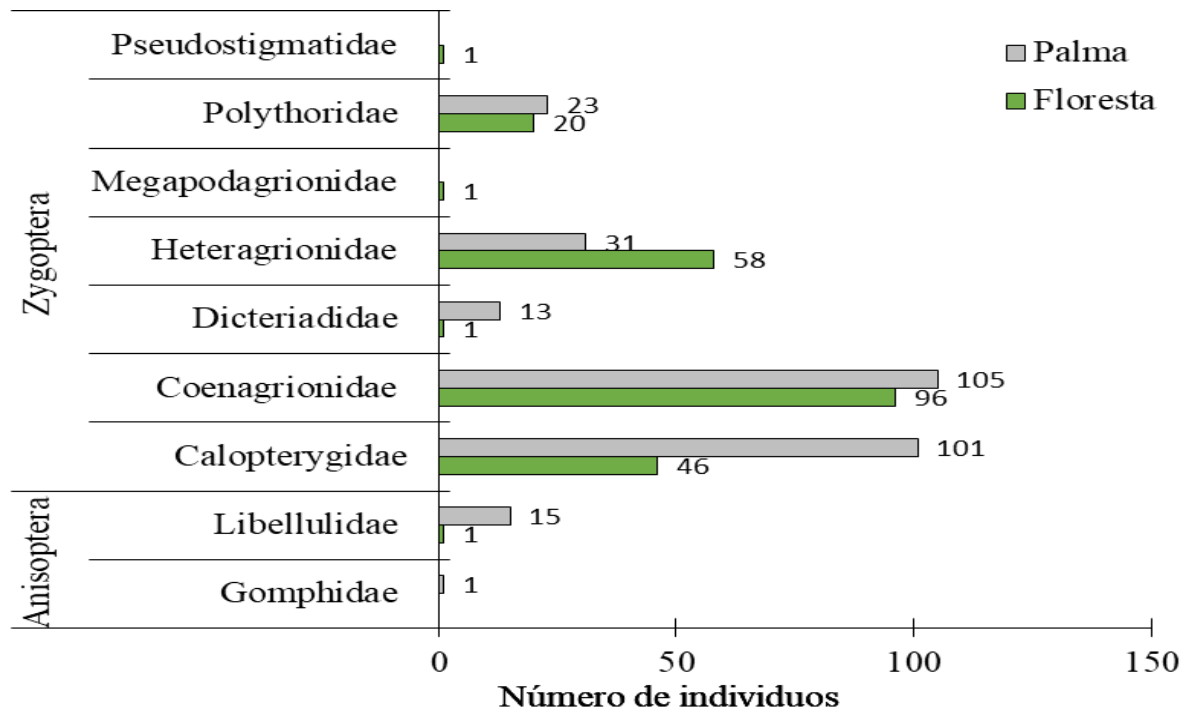


Figura 4- Abundância das famílias da ordem Odonata (Insecta) amostradas em duas áreas (floresta primária e de plantações de palma de dendê) nos municípios de Acará, Mojú e Tailândia, Pará, Brasil

Tabela 6- Lista das espécies de Odonata (Insecta) amostradas em duas áreas (floresta primária e de plantações de palma de dendê) nos municípios de Acará, Mojú e Tailândia, Pará, Brasil.

Subordens/Famílias/Espécies	Área de estudo		Total
	Floresta	Palma	
Zygoptera			
Calopterygidae			
<i>Hetaerina rosea</i> (Selys, 1853)	2	16	18
<i>Mnesarete aenea</i> (Selys, 1853)	40	33	73
<i>Mnesarete astrape</i> (De marmels, 1989)	1	-	1
<i>Mnesarete smaragdina</i> (Selys, 1869)	-	27	27
<i>Mnesarete</i> sp.	2	25	27
Coenagrionidae			
<i>Acanthagrion kennedii</i> (Williamson, 1916)	1	-	1
<i>Argia collata</i> (Selys, 1865)	9	12	21
<i>Argia fumigata</i> (Hagen in Selys, 1865)	-	5	5
<i>Argia indicatrix</i> (Calvert, 1902)	4	1	5
<i>Argia infumata</i> (Selys, 1865)	38	2	40
<i>Argia reclusa</i> (Selys, 1865)	1	-	1
<i>Argia</i> sp.	7	11	18
<i>Argia</i> sp.2	6	6	12
<i>Argia tinctipennis</i> (Selys, 1865)	11	4	15
<i>Epipleoneura kaxuriana</i> (Williamson, 1915)	1	1	2
<i>Epipleoneura metallica</i> (Rácenis, 1955)	-	19	19
<i>Epipleoneura</i> sp.	-	2	2
<i>Epipleoneura</i> sp.1	4	2	6

<i>Epipleoneura spatulata</i> (Williamson, 1915)	1	11	12
<i>Ischunura fluviatilis</i> (Selys, 1876)	-	1	1
<i>Neoneura denticulata</i> (Williamson, 1917)	-	1	1
<i>Neoneura luzmarina</i> (De Marmels, 1989)	-	22	22
<i>Protoneura tenuis</i> (Selys, 1860)	9	-	9
<i>Psaironeura tenuissima</i> (Selys, 1886)	3	-	3
Dicteriadidae			
<i>Dictérias atrosanguinea</i> (Selys, 1853)	1	12	13
Heteragrionidae			
<i>Heteragrion silvarum</i> (Sjostedt, 1918)	55	24	79
<i>Heteragrion</i> sp.	1	1	2
<i>Heteragrion</i> sp.1	1	-	1
<i>Oxystigma petiolatum</i> (Selys, 1862)	-	6	6
Perilestidae			
<i>Perilestes solutus</i> (Williamson & Williamson, 1924)	1	-	1
Polythoridae			
<i>Chalcopteryx rutilans</i> (Rambur, 1842)	20	23	43
Pseudostigmatidae			
<i>Microstigma rotundatum</i> (Selys, 1860)	1	-	1
Anisoptera			
Gomphidae			
<i>Exqzosoma</i> sp.	-	1	1
Libellulidae			
<i>Argyrothemis argentea</i> (Ris, 1909)	-	9	9
<i>Erythemis</i> sp.1	-	1	1
<i>Erythemis</i> sp.2	-	1	1
<i>Fylgia amazonica</i> (Kirby, 1889)	-	1	1
<i>Orthemis discolor</i> (Burmeister, 1839)	-	1	1
<i>Perithemis</i> sp.	-	1	1
<i>Tholymis citrina</i> (Hagen, 1867)	1	-	1
<i>Uracis ovipositrix</i> (Calvert, 1909)	-	1	1
Total geral	222	283	513

3.2.2. Efeito das variáveis ambientais sobre a comunidade de Odonata

Ao avaliar o efeito das variáveis locais sobre a abundância de Odonata através de Modelos Lineares Generalizados (GLM), os seus coeficientes mostraram que a variável oxigênio dissolvido afetou de maneira positiva a abundância da comunidade de Odonata (Estimate = 0,403; Std. Error = 0,108; z value = 3,717; p<0,001). Por outro lado, a temperatura da água (Estimate = -0,417; Std. Error = 0,086; z value = -4,869; p<0,001) e turbidez (Estimate = -0,245; Std. Error = 0,113; z value = -2,176; p = 0,030) afetaram negativamente a comunidade conforme o coeficiente de variação. Ao avaliar o efeito das variáveis de paisagem sobre a

abundância de Odonata, os seus coeficientes mostraram que a vegetação de 50 m possui relação negativa (Estimate = -0,395; Std. Error = 0,098; z value = -4,049; $p < 0,001$) e que a vegetação 500 m possui relação positiva (Estimate = 0,329; Std. Error = 0,148; z value = -0,935; $p = 0,026$) com a abundância de libélulas (Tabela 7).

Quando avaliamos o possível efeito das variáveis locais sobre a riqueza de Odonata os coeficientes indicaram influência significativa apenas da variável: temperatura da água (Estimate = -0,277; Std. Error = 0,100; z value = -2,762; $p = 0,005$) com relação negativa. Os resultados das variáveis de paisagem não indicaram influência significativa sobre a riqueza de Odonata (Tabela 8).

Tabela 7- Resultados do Modelo Linear Generalizado (GLM), descrevendo influência da qualidade da água e da estrutura física dos igarapés afetando abundância de indivíduos de Odonata em floresta primária e de plantações de palma nos municípios de Acará, Mojú e Tailândia, Pará, Brasil. Valores em negrito representam as relações significativas ao nível de $p < 0,05$. IIH = Índice de Integridade do Habitat; IQA = Índice de Qualidade da Água.

Variáveis ambientais	Coefficiente de variação	Erro padrão	Valor de z	Valor de p
Variáveis locais				
Oxigênio dissolvido	0,403	0,108	3,717	<0,001
Temperatura da Água	-0,417	0,086	-4,869	<0,001
pH	0,034	0,089	0,384	0,701
Turbidez	-0,245	0,113	-2,176	0,030
IIH	0,017	0,096	0,181	0,856
IQA	0,107	0,072	1,482	0,138
Variáveis de paisagem				
Vegetação 50 m	-0,395	0,098	-4,049	<0,001
Vegetação 500 m	0,329	0,148	2,222	0,026
% de uso do solo	0,078	0,091	0,858	0,390

Tabela 8- Resultados do Modelo Linear Generalizado (GLM), descrevendo influência da qualidade da água e da estrutura física dos igarapés afetando riqueza de espécies de Odonata em florestas primária e de plantações de palma nos municípios de Acará, Mojú e Tailândia, Pará, Brasil. Valores em negrito representam as relações significativas ao nível de $p < 0,05$. IIH = Índice de Integridade do Habitat; IQA = Índice de Qualidade da Água.

Variáveis ambientais	Coefficiente de variação	Erro padrão	Valor de z	Valor de p
Variáveis locais				
Oxigênio dissolvido	0,156	0,128	1,217	0,224
Temperatura da água	-0,277	0,100	-2,762	0,005
pH	0,139	0,103	1,342	0,18
Turbidez	-0,142	0,139	-1,024	0,306
IIH	0,024	0,112	0,218	0,828

IQA	-0,048	0,096	-0,504	0,614
Variáveis de paisagem				
Vegetação 50 m	0,000	0,104	-0,959	0,338
Vegetação 500 m	-0,134	0,144	-0,935	0,35
% de uso do solo	0,127	0,096	1,326	0,185

4. DISCUSSÃO

Os índices abióticos apresentaram resultados satisfatórios para todos os igarapés, demonstrando que a maioria apresenta características de ambientes preservados (ou minimamente alterados). Não encontramos efeito da proporção do uso do solo e da integridade do habitat sobre a qualidade da água, refutando assim a nossa hipótese I – de que os igarapés que drenam as monoculturas de dendê apresentariam uma baixa qualidade da água e integridade física. Porém, os nossos resultados demonstram que o uso da terra para plantio de dendê afeta as comunidades de Odonata, uma vez que, identificamos que as variáveis locais (e.g., temperatura da água, oxigênio dissolvido e turbidez) e as variáveis de paisagem (como vegetação na faixa de 50 e 500 metros) afetaram a abundância de Odonata. Porém, observamos que apenas a temperatura da água influenciou na riqueza dos odonatos, não corroborando totalmente nossa hipótese II – de que as alterações na qualidade da água (variáveis locais) e na estrutura física (variáveis de paisagem) dos igarapés estudados afetariam a abundância e riqueza de espécies de Odonata. Nosso estudo acumula evidências de que o estabelecimento de monoculturas de palma de dendê próximo a igarapés causa impactos significativos sobre a integridade desses ecossistemas (Cunha et al., 2015; Juen et al., 2016; Cunha & Juen, 2017; Carvalho et al., 2018; Rojas et al., 2022; 2023).

Os valores dos índices abióticos obtidos (por exemplo, valores do IQA) nas áreas de monocultura de palma, podem ter sido influenciados pelo fluxo contínuo de água que acaba carreando a maioria dos compostos que alteram as variáveis físico-químicas para as áreas de remanso (König et al., 2008). Outra explicação pode ser o maior peso no cálculo do índice atribuído a variáveis como oxigênio dissolvido e pH que tiveram valores altamente positivos nas mensurações, mascarando alterações em outros parâmetros de menor contribuição no cálculo final do índice (De Jesus Santos et al., 2016). Além disso, os igarapés estudados são mantidos com uma faixa de vegetação ripária de 30 m, considerada Área de Preservação Permanente (APP), seguindo o previsto na Lei n.º 12.651 de maio de 2012 (Brasil, 2012; Carvalho et al., 2018; Lima, 2021). Essa medida de proteção da vegetação nativa também pode ter influenciado diretamente nos valores do IIIH que leva em consideração uma avaliação visual

das características estruturais do entorno dos igarapés (Nessimian et al., 2008). Isso pode justificar os valores das pontuações próximas de um, indicando ambientes preservados (ou minimamente impactados) tanto em áreas de monocultura como em ambientes de floresta primária (Nessimian et al., 2008).

A vegetação ciliar tem influência na reprodução e manutenção das comunidades de Odonata, a retirada ou redução desse componente do ecossistema, causa significativo decréscimo de espécies especialistas de habitat (Dutra & De Marco, 2015; Resende et al., 2021), com maior ênfase naquelas que utilizam detritos lenhosos dentro e no entorno dos igarapés para oviposição, como por exemplo *Chalcopteryx rutilans* Rambur, 1842 que ovipositam em troncos à beira dos igarapés (Clausnitzer et al., 2003; Oliveira-Junior et al., 2015), ou espécies das famílias Polythoridae e Calopterygidae (Zygoptera) que também possuem oviposição endofítica e que utilizam os poleiros na escolha de parceiros para a reprodução (Carvalho et al., 2018).

Devido a essas características citadas anteriormente, o nosso estudo demonstrou influência das variáveis de paisagem na abundância de libélulas em diferentes faixas de vegetação. Em 50 m essa relação foi negativa, mas a partir de 500 m, essa interação se inverte e passa a ser positiva, semelhante ao observado por Carvalho et al. (2018). Escalas menores, estão mais suscetíveis ao efeito de borda (Mendes et al., 2015), pois tendem a ser mais homogêneas com redução de disponibilidade de microhabitat, alimento e conseqüentemente suporta menor quantidade de indivíduos (Juen et al., 2016; Cunha & Juen, 2017; Luiza-Andrade et al., 2022). Somado a esses fatores temos a construção de estradas, algo muito comum nessas áreas de monocultura, causando a fragmentação da vegetação do entorno desses ecossistemas aquáticos (Carvalho et al., 2018; Siqueira-Gay et al., 2020). Para Odonata isso pode representar um possível isolamento ou migração de espécies especialistas de habitat florestais como as espécies *Microstigma rotundatum* Selys, 1860 e *Perilestes solutus* Williamson & Williamson, 1924 registradas nesse estudo (Carvalho et al., 2018).

A fragmentação da cobertura vegetal também implica no aumento da incidência de luz solar, que tem efeito direto no controle metabólico de organismos ectotérmicos (especialmente da subordem Zygoptera). Esse aumento na entrada de luz representa maior risco de morte por dessecação de espécies especialistas de habitat florestais, como por exemplo: *M. rotundatum* e *P. solutus* (Feitosa & Manoel Filho, 2000; Oliveira-Junior et al., 2013; Calvão et al., 2018; Carvalho et al., 2018, Oliveira-Junior et al., 2019). Espécies maiores e mais resistentes de

Anisoptera e Zygoptera possuem facilidade em colonizar igarapés mais distantes (Juen & De Marco, 2011). Assim, essas espécies podem atingir ampla distribuição em função de suas habilidades dispersivas e de reprodução, já que espécies com maior tolerância e vagilidade tendem a ter maior distribuição nos ecossistemas (Calvão et al., 2018). Como exemplo de indivíduos com habilidades dispersivas temos os da família Libellulidae que são generalistas de habitat florestais (Cobert, 1999; Dutra & De Marco, 2015; Resende et al., 2021), possuem comportamento de voo intenso e preferência por ambientes abertos, atribuído ao seu processo termorregulador corporal que exige grandes intensidades de luz solar (Cobert, 1999; Oliveira-Junior & Juen, 2019). Em relação às habilidades reprodutivas a família Coenagrionidae (Zygoptera), tem como vantagem oviposição endofítica e hábito escalador no estágio larval, excelentes defesas em casos de eventos estressores (Corbet, 1999; Fulan & Henry, 2007).

Em relação às variáveis locais, os resultados indicam que a turbidez afeta a abundância de libélulas. Altos níveis dessa variável representam uma maior entrada de material alóctone nos igarapés em decorrência da redução da quantidade de dispositivos de retenção (Juen et al., 2016; Cunha & Juen, 2017), algo muito comum em igarapés próximos às plantações agrícolas (Donadio, 2005). Altos níveis de turbidez também podem causar o aumento da temperatura da água (Schllemer et al., 2008) devido às partículas responsáveis pela turbidez possuírem a capacidade de absorver calor adicional proveniente do sol (Schllemer et al., 2008). A temperatura da água também pode ser influenciada pela redução na densidade da cobertura do dossel através do aumento da radiação solar e redução da evapotranspiração (Rojas et al., 2022; 2023). Para as larvas de Odonata a presença de partículas sedimentares e o aumento da temperatura da água causam dificuldades no processo de respiração e reduz o sucesso reprodutivo (Lemmy, 1982; Cetesb, 2004). Alguns gêneros de adultos de Odonata coletados nesse estudo como *Acanthagrion*, *Erythrodiplax* e *Erythemis* representantes de ambas as subordens, já demonstram relações antagônicas com variação da temperatura da água, devido suas exigências ecofisiológicas (Carvalho et al., 2022).

Diferente das outras variáveis locais, o oxigênio dissolvido, teve relação positiva com a abundância de Odonata. As concentrações desta variável na água podem ser afetadas por diversos fatores como: fotossíntese por diatomáceas, clorofíceas e outras algas (Rojas et al., 2022). Outro fator que pode ser levado em consideração é o aumento da velocidade do fluxo da água que pode elevar a concentração de oxigênio (Corbet, 1999). A concentração de oxigênio dissolvido na água é um fator determinante para a sobrevivência de ninfas de libélulas, pois tem ligação direta com seu metabolismo respiratório (Corbet, 1999; Da Cunha et al., 2014).

Ambientes com boa oxigenação aumentam a disponibilidade de sítios adequados para oviposição de fêmeas de adultos de Odonata (Carvalho et al., 2022; De Marco et al., 2005) propiciando a possibilidade do estabelecimento de um maior número de espécies especialista de habitat florestais (Resende et al., 2021).

5. CONCLUSÃO

O nosso estudo apresenta novos indícios que a monocultura de palma de dendê próximo a corpos hídricos causa efeitos negativos sobre a estrutura física dos riachos, alterando a qualidade da água mesmo com a presença de zonas de amortecimento. Como reflexo dessas interferências antrópicas, temos modificações na abundância e riqueza das comunidades de Odonata, algo preocupante porque indica uma diminuição na heterogeneidade ambiental desses ecossistemas. A conservação da mata ciliar é uma das principais estratégias para mitigação desses impactos. Portanto, chamamos atenção para a necessidade de uma revisão do tamanho da zona de amortecimento prevista na Lei brasileira n.º 12.651 de maio de 2012. Apontamos também para a necessidade da realização de novas pesquisas avaliando a eficiência desses remanescentes florestais, testando outros tamanhos, e aproveitando o potencial bioindicador que Odonata possui. Sugerimos também o estabelecimento desse tipo monocultura em áreas que já foram convertidas anteriormente para pastagem.

REFERÊNCIA

- Arantes, J.O. & Santos, GO, 2020. Monitoramento qualitativo da água do Ribeirão Abóbora do município de Rio Verde Goiás, como instrumento de gestão de recursos hídricos. *Tecnologia e Ambiente*, 26, 158-165. doi:<https://doi.org/10.18616/ta.v26i0.5899>
- Baptista DF, Dorvillé LFM, Buss DF, Nessimian JL, 2001. Spatial and temporal organization of aquatic insects assemblages in the longitudinal gradient of a tropical river. *Rev Bras Biol* 61:295 – 394. <https://doi.org/10.1590/S0034-71082001000200012>.
- Bastos, R. C., Brasil, L. S., Oliveira-Junior, J. M. B., Carvalho, F. G., Lennox, G. D., Barlow, J., & Juen, L, 2021. Morphological and phylogenetic factors structure the distribution of damselfly and dragonfly species (Odonata) along an environmental gradient in Amazonian streams. *Ecological Indicators*, 122. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107257>.
- Bates, D.; Mächler, M.. Bolker, B. & Walker, S, 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *J. Stat. Softw.*, 67: 1-48.
- Belle, J.E. J. E. A. N, 1988. A record of the Old World species *Tamea basilaris burmeisteri* Kirby from Suriname (Odonata: Libellulidae). *Zoologische Mededelingen*, 62(1): 1-3.
- Borror, D. J, 1945. A key to the New World genera of Libellulidae (Odonata). *Annals of the Entomological Society of America*, 38(2): 168-194. <https://doi.org/10.1093/aesa/38.2.168>.
- Brasil, Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA Resolução 357/2005, Enquadramento dos Corpos Hídricos Superficiais no Brasil. Governo Federal, Brasília. Publicada no DOU nº 92, de 13 de maio de 2011, seção 1, 89p.
- Brasil, Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA Resolução 403/2011, Enquadramento dos Emissários de Esgoto que são Lançados em Corpos Hídricos Superficiais no Brasil. Governo Federal, Brasília. Publicada no DOU nº 92, de 13 de maio de 2011.
- Brito, J. Calvão, L. B. Cunha, E. R. Maioli, L. Barbirato, M. Rolim, S. & Juen, L, 2021. Environmental variables affect the diversity of adult damselflies (Odonata: Zygoptera) in western Amazonia. *International Journal of Odonatology*, 24: 108 - 121. https://doi.org/10.23797/2159-6719_24_8.
- Brook, C. & Oliver, R, 2003. Online learning communities: Investigating a design framework. *Australasian Journal of Educational Technology*, 19(2): 139 - 160. <https://doi.org/10.14742/ajet.1708>.
- Buss, D.F. Baptista, D. F. & Nessimian, J. L, 2003. Bases conceituais para a aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios. *Cadernos de Saúde Pública*. 19(2): 645-473. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2003000200013>
- Calvão, L.B. J.Oliveira-Junior, J.M.B, 2018. Land use modifies Odonata diversity in streams of the Brazilian Cerrado. *J Insect Conserv* 22, 675–685. <https://doi.org/10.1007/s10841-018-0093-5>.
- Carvalho, C. D, 2015. A expansão sustentável do cultivo da palma para a produção de biodiesel no Brasil: o caso do estado do Pará. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

- Carvalho, F. G. Roque, F. O. Barbosa, L. Montag L. F. A. & Juen, L., 2018. Oil Palm Plantation is not a Suitable Environment for Most Forest Specialist Species of Odonata in Amazonia. *Animal Conservation*, 21: 526-533. <https://doi.org/10.1111/acv.12427>.
- Carvalho, F.G. Duarte, L. Nakamura, G. Dubal dos Santos Seger, G.; Juen, L., 2021. Changes of Phylogenetic and Taxonomic Diversity of Odonata (Insecta) in Response to Land Use in Amazonia. *Forests*, 12, 1061. <https://doi.org/10.3390/f12081061>.
- Carvalho, F. G. Duarte, L. Seger, G. D. S. Nakamura, G. Guillermo-Ferreira, R., Cordero-Rivera, A. & Juen, L., 2022. Detecting Darwinian shortfalls in the Amazonian Odonata. *Neotropical Entomology*, 51(3), 404-412. <https://doi.org/10.1007/s13744-022-00961-y>
- Cetesb, 2004. “Relatório da qualidade do ar do Estado de São Paulo 2003”. CETESB, São Paulo.
- Cezário, R. R. Firme, P. P. Pestana, G. C. Vilela, D. S. Juen, L. Cordero-Rivera, A. & Guillermo, R., 2020. Sampling Methods for Dragonflies and Damselflies. In *Measuring Arthropod Biodiversity* (Santos, J. C. & Fernandes, G. W. eds). Springer, Cham, 1(1): 223-240. https://doi.org/10.1007/978-3-030-53226-0_9
- Connor, Edward F. Simberloff, Daniel, 1979. The assembly of species communities: chance or competition?. *Ecology*, v. 60, n. 6, p. 1132-1140. <https://doi.org/10.2307/1936961>
- Corbet, P. S., 1983. *A Biology of Dragonflies*. London: Clacsey.
- Corbet, P. S., 1999. *Dragonflies: Behaviour and Ecology of Odonata*. London: Ed. Comstock Pub Assoc, 802p.
- Cunha, E. J. Guterres, A. Patricia M. G. Bruno. 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 .
- 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. Assis Montag, L. F. Juen, L., 2015. Oil palm crops effects on environmental integrity of Amazonian streams and Heteropteran (Hemiptera) species diversity. *Ecological Indicators*, 52(), 422–429. doi:10.1016/j.ecolind.2014.12.024.
- Da Cunha, R. D. C. Fulan, J.Â. & dos Santos, L.R., 2014. Influência das características físicas e químicas da água na distribuição espacial de larvas de Odonata associadas à *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms no Rio Uruapiara, afluente do Rio Madeira/AM. *Estudos de Biologia Ambiente e Diversidade*, 36(85): 36-42. <http://dx.doi.org/10.7213/estud.biol.36.086.AO04>.
- Danielsen, F. Beukema, H. Burgess, N. D. Parish, F. Brühl, C. A. Donald, P. F. & Fitzherbert, E.B., 2009. Biofuel plantations on forested lands: double jeopardy for biodiversity and climate. *Conservation Biology*, 23(2): 348-358. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.01096>.
- De Marco, J. P. Latini, A. O. Resende, D. C., 2005. Thermoregulatory constraints on behavior: patterns in a neotropical dragonfly assemblage. *Neotropical Entomology*, 34(2), 155–162. doi:10.1590/S1519-566X2005000200002 .

- De Jesus Santos, V. Oliveira, F. B. S. & Palmeira, E. S, 2016. Contribuição individual dos parâmetros de qualidade da água para o Rio Cachoeira, Região Sul da Bahia. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, 252-259.
- De Marco, J. 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.org/10.1371/journal.pone.0123023. (e0123023-17).
- Dias-Silva, K. Brasil, L.S. Juen, L. Cabette, H.S.R. Costa, C.C. Freitas, P.V. de Marco, P., 2020. Influence of local variables and landscape metrics on Gerromorpha (insecta: heteroptera) assemblages in savanna streams, Brazil. *Neotrop. Entomol.* 49 (2), 191–202. <https://doi.org/10.1007/s13744-019-00748-8>.
- Donadio, N. M. Galbiatti, J. A. & Paula, R. C. D, 2005. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico, São Paulo, Brasil. *Engenharia Agrícola*, 25(1): 115-125. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162005000100013>.
- Dutra, S. & De Marco, P, 2015. Bionomic differences in odonates and their influence on the efficiency of indicator species of environmental quality. *Ecological indicators*, 49, 132-142. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.09.016>.
- Esteves, F.A, 1988. *Fundamentos de Limnologia*. Editora Interciência / FINEP. Rio de Janeiro, RJ. 575 p..
- Feitosa, F. A. C. Manoel, F. João, 2000. *Hidrologia: conceitos e aplicações*. 2. ed. Fortaleza: CPRM: REFO, LABHID-UFPE.
- Fitt, R. N. & Lancaster, L. T, 2017. Range shifting species reduce phylogenetic diversity in high latitude communities via competition. *Journal of Animal Ecology*, 86(3), 543-555. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12655>.
- Fulan, J.A. Henry, R, 2007. Temporal distribution of immature Odonata (Insecta) on Eichhornia azurea (Kunth) stands in the Camargo Lake, Paranapanema River. *Sao Paulo Rev Bras Entomol* 51:224 – 227 <https://doi.org/10.1590/S0085-56262007000200013>
- Garrison, R. W, 1990. A synopsis of the genus Hetaerina with descriptions of four new species (Odonata: Calopterygidae). *Transactions of the American Entomological Society*, 116(1): 175-259.
- Garrison, R.W. Von Ellenrieder, N. & Louton, J.A, 2006. *Dragonfly Genera of the New World: An Illustrated and Annotated Key to the Anisoptera*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 368p.
- Garrison, R.W. Von Ellenrieder, N. & Louton, J.A, 2010. *Damselfly Genera of the New World: An Illustrated and Annotated Key to the Zygoptera*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 490p.
- Gorham, C. T. & Vodopich, D. S, 1992. Effects of acidic pH on predation rates and survivorship of damselfly nymphs. *Hydrobiologia*, 242(1): 51-62. <https://doi.org/10.1007/BF00017643>.
- Heino, J, 2014. Taxonomic surrogacy; numerical resolution and responses of stream macroinvertebrate communities to ecological gradients: are the inferences transferable among regions? *Ecol Indic* 36:186 – 194 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.07.022>.

- Heiser, M. & Schmitt, T, 2010. Do different dispersal capacities influence the biogeography of the western Palearctic dragonflies (Odonata)? *Biological Journal of the Linnean Society*, 99(1): 177-195. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2009.01349.x>.
- Hutchinson, G.E, 1959. Homenagem a Santa Rosália ou por que existem tantos tipos de animais? *The American Naturalist*, 93 (870), 145-159. doi:10.1086/282070.
- International Union for Conservation of Nature, International Union for Conservation of Nature, Natural Resources. Species Survival Commission, & IUCN Species Survival Commission, 2001. IUCN Red List categories and criteria. IUCN.
- Juen L. De Marco P. Jr, 2012. Dragonfly endemism in the Brazilian Amazon: competing hypotheses for biogeographical patterns. *Biodiversity and Conservation*, 21: 3507-3521. <http://dx.doi.org/10.1007/s10531-012-0377-0>.
- Juen, L. & De Marco J, P, 2011. Odonate biodiversity in terra-firme forest streamlets in Central Amazonia: on the relative effects of neutral and niche drivers at small geographical extents. *Insect Conservation Diversity*, 4: 1-10. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4598.2010.00130.x>.
- Juen, L. Cunha, E. J. Carvalho, F. G. Ferreira, M. C. Begot, T. O. Andrade, A. L. & 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. <https://doi.org/10.1002/rra.3050>.
- König, R. Suzin, C. R. Restello, R. M. & Hepp, L. U, 2008. Qualidade das águas de igarapé da região norte do Rio Grande do Sul (Brasil) através de variáveis físicas, químicas e biológicas. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 3(1): 84-93.
- Lemly, A. D, 1982. Modification of benthic insect communities in polluted streams: combined effects of sedimentation and nutrient enrichment. *Hydrobiologia*, 87(3): 229-245. <https://doi.org/10.1007/BF00007232>.
- Lencioni F, 2005. Damselflies of Brazil: an illustrated identification guide. 1—the non-Coenagrionidae families. All Print Editora, São Paulo.
- Lencioni, F.A.A, 2006. Damselflies of Brazil, An Illustrated Identification guide: Coenagrionidae Families. All Print Editora, São Paulo, Brazil. 330p.
- Libânio, M, 2010. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. 3ª. ed. Campinas: Átomo 494 p.
- Lima, M. V, 2021. Atividade pecuária e a transformação da mata ciliar do açude Orós/CE: Um trabalho com alunos e pequenos pecuaristas/Cattle raising activity and the transformation of the riparian forest of the Orós Dam/CE: A work with students and small cattle ranchers. *Brazilian Journal of Development*, 7(9): 91148-91162. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n9-327>.
- Lowe-McConnell R.H, 1999. Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais. EDUSP, Paulo, Brazil, 535 pp.
- Luiza-Andrade, Ana, B. Leandro, S. Benone, N. L. Shimano, Y. Farias, A. P. J. Montag, L. F. Dolédec, S.; Juen, L, 2017. Influence of oil palm monoculture on the taxonomic and functional composition of aquatic insect communities in eastern Brazilian Amazonia. *Ecological Indicators*, 82(), 478–483. doi:10.1016/j.ecolind.2017.07.006

- Luiza-Andrade, A. Silva, R. R. Shimano, Y., Faria, A. P. J. J. Cardoso, M. N. Brasil, L. S. & Juen, L, 2022. Niche breadth and habitat preference of Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera (Insecta) in streams in the Brazilian Amazon. *Hydrobiologia*, 849(19), 4287-4306. <https://doi.org/10.1007/s10750-022-04987-6>
- May, M. L, 1991. Thermal adaptations of dragonflies, revisited. *Advances in Odonatology*, 5(1): 71-88,
- Mendes, T. P. Amado, L. L. & Juen, L, 2020. 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. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106770>
- Mendes, T. P. Cabette, H. S. & Juen, L, 2015. Setting boundaries: Environmental and spatial effects on Odonata larvae distribution (Insecta). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 87: 239-248.
- 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*, 8: 555-566. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.06.010>
- Monteiro, 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
- Monteiro, J. C. S. Juen, L. Hamada, N, 2015 Analysis of urban impacts on aquatic habitats in the central Amazon basin: adult odonates as bioindicators of environmental quality. *Ecological Indicators*, 48:303–311. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.021>.
- Nessimian, J. L. Venticinque, E. M. Zuanon, J. De Marco, P. Gordo, M. Fidelis, L, & Juen, L, 2008. Land use, habitat integrity, and aquatic insect assemblages in Central Amazonian streams. *Hydrobiologia*, 614(1): 117-131. <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9441-x>
- Nessimian, Jorge. L. Dorvillé, L. F. M. Sanseveriano, A.. M. Baptista, D. F, 1998. Relation between flood pulse and functional composition of the macroinvertebrate benthic fauna in the lower Rio Negro, Amazonas, Brasil. *Amazoniana*, 15: 35-50.
- Oertli, B, 2008. The use of dragonflies in the assessment and monitoring of aquatic habitats. In: Cordoba-Aguilar A (ed) *Model Organisms for Ecological and Evolutionary Research*. Oxford University Press, Oxford, 79–95. 10.1093/acprof:oso/9780199230693.001.0001
- Oksanen, J. Blanchet, F. G. Friendly, M. Kindt, R. Legendre, P. McGlenn, D. Minchin, R. R. O. Hara, R. B. Simpson, G. L. Solymos, P. Stevens, M. H. H. Szoecs, E. Wagner, H, 2018. Vegan: community ecology package. R package version 2.5–2. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Oliveira-Junior, J.M.B. & Juen, L, 2019. Structuring of Dragonfly Communities (Insecta: Odonata) in Eastern Amazon: Effects of Environmental and Spatial Factors in Preserved and Altered Streams. *Insects*, 10: 322. <https://doi.org/10.3390/insects10100322>
- Oliveira-Junior, J.M.B. Shimano, Y. Gardner, T.A. Hughes, R.M. De Marco P.Jr. & 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. <https://doi.org/10.1111/aec.12242>.

- Oliveira-Junior, J. M. B. Cabette, H. S. R. Pinto, N. S. & Juen, L, 2013. As variações na comunidade de Odonata (Insecta) em córregos podem ser preditas pelo Paradoxo do Plâncton? Explicando a riqueza de espécies pela variabilidade ambiental. *EntomoBrasilis*, 6(1), 1-8. <https://doi.org/10.12741/ebrasilis.v6i1.250>
- Peel, M. C. Finlayson, B. L. & McMahon, T. A, 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(5): 1633-1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- Pinto, A. L. Oliveira, G. H. D. & Pereira; G. A, 2010. Avaliação da eficiência da utilização do oxigênio dissolvido como principal indicador da qualidade das águas superficiais da bacia do córrego Bom Jardim, Brasilândia/MS. *Revista de Geografia, Meio Ambiente e Ensino*, 1(1): 69-82. <https://doi.org/10.4136/SERHIDRO.72>
- Pinto, N. S. Juen, L. Cabette, H. S. R. & De Marco, P, 2012. Fluctuating Asymmetry and Wing Size of *Argia tinctipennis* Selys (Zygoptera: Coenagrionidae) in Relation to Riparian Forest Preservation Status. *Neotropical Entomology*, 41(3): 178-85. <http://dx.doi.org/10.1007/s13744-012-0029-9>
- Polus, E. Vandewoestijne, S. Choutt, J. Baguette, M, 2007. Tracking the effects of one century of habitat loss and fragmentation on calcareous grassland butterfly communities. *Biodivers Conserv*, 16:3423–3436 <https://doi.org/10.1007/s10531-006-9008-y>
- Resende, B.O. Ferreira, V.R.S. Brasil, L.S. Calvão, L.B. Mendes. T.P. Carvalho, F.G, & Juen, L. (2021). Impacto de mudanças ambientais na diversidade comportamental de Odonata (Insecta) na Amazônia. *Scientific Reports* , 11 (1), 9742. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88999-7>
- Rodrigues Capítulo, A, 1992. Los Odonata de la República Argentina (Insecta). *Fauna de agua dulce de la República Argentina*, 34(1): 1-91.
- Rojas, O. Kupfer, R. S. Vargas, N. & Jacobsen, D, 2023. Faixas de proteção florestal mitigam o impacto negativo das plantações de dendzeiros nas comunidades ribeirinhas. *Ciência do Meio Ambiente Total* , 162259. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162259>.
- Rojas, O. Avendaño, C. Isakson, R. 2022. Water quality in the Lachuá ecoregion landscape: comparing streams from forest, milpa, and an oil palm plantation. *Cienc. Tecnol. Salud* 9, 21–42. <https://doi.org/10.36829/63CTS.V9I1.921>.
- Schllemer, M. A. Santos, M. D. Carletto, C. L. Kalinke, C. & Rodrigues, M. B, 2008. Análise físico-química da água residuária proveniente do processamento de biodiesel. *Synergismus scyentifica UTFPR*, 3(4).
- Sheil, D. Casson, A. Meijaard, E. Van Noordwijk, M. Gaskell, J. Sunderland-Groves, J, & Kanninen, M, 2009. The impacts and opportunities of oil palm in Southeast Asia: What do we know and what do we need to know? Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research, 51 <https://doi.org/10.17528/cifor/002792>.
- Silva, G. S. D. & Jardim, W. D. F, 2006. Um novo índice de qualidade das águas para proteção da vida aquática aplicado ao Rio Atibaia, região de Campinas/Paulínia-SP. *Química Nova*, 29(4): 689-694. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422006000400012>.

Strahler, H.N, 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Transactions American Geophysical Union, 38(6): 913-920. <https://doi.org/10.1029/TR038i006p00913>.

U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, 2307/1939574.

Venables, W. N., Smith, D. M., and the R Development Core Team, 2009. An introduction to r. <http://www.cran.r-project.org>.

Voelz, N. J. McArthur, V, 2000. An exploration of factors influencing lotic insect species richness. Biodiversity and Conservation, 9: 1543-1570. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1008984802844>.

Western Pilot Study: Field Operations Manual for Wadeable Streams. EPA 600/R-06/

Zar, J. H, 2010. Biostatistical analysis Pearson Prentice-Hall. Upper Saddle River, NJ.

APÊNDICE

Apêndice 1. Parâmetros de qualidade das águas de novembro a dezembro de 2012 e entre julho a agosto de 2013, dos igarapés (PO) de floresta primária (F) e plantações de palma de dendê (P), nos municípios de Acará, Mojú e Tailândia, Pará, Brasil. IQA = Índice de Qualidade da Água.

Pontos	Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Oxigênio dissolvido (mg/l)	Temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$)	pH	Turbidez (NTU)	IQA
PO1F1	0,032	8,19	25,11	4,53	3,30	7,92
PO2F2	0,008	5,94	24,75	4,53	0,00	8,02
PO3F3	0,012	7,30	25,18	4,82	4,70	7,96
PO5F5	0,016	6,21	25,76	4,63	2,66	7,89
PO6F6	0,018	10,72	25,57	4,75	37,43	7,74
PO7F7	0,010	4,41	24,18	4,48	0,00	8,10
PO9P1	0,016	7,34	25,72	5,14	1,00	8,05
PO10P2	0,017	7,30	26,38	4,89	0,80	8,10
PO16P8	0,022	6,87	25,57	5,29	1,93	8,04
PO18P10	0,019	6,98	26,35	4,89	0,20	8,07
PO19P11	0,021	7,94	25,93	4,87	0,70	8,13
PO20P12	0,026	7,14	26,12	5,38	0,83	7,99
PO21P13	0,023	6,93	25,63	4,63	0,70	7,99
PO22F9	0,016	6,87	25,31	4,65	0,66	8,10
PO23F10	0,000	8,16	27,44	5,24	10,66	7,94
PO24P14	0,017	5,57	25,69	4,79	2,40	8,06
PO25P15	0,015	6,77	26,21	5,03	1,53	8,01
PO26P16	0,014	6,34	26,96	4,84	0,86	8,07
PO27P17	0,029	6,38	25,45	4,88	0,96	8,04
PO28P18	0,013	5,89	26,87	5,16	2,53	8,01
PO29P19	0,015	6,00	26,44	4,97	2,00	8,07
PO30P20	0,018	7,23	27,49	4,97	1,33	8,07

Legendas: Classes de enquadramento das águas, de acordo com a resolução CONAMA N° 357/2005. ■ Classe Especial ■ Classe I ■ Classe II ■ Classe III

