



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DAS ÁGUAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE**

LUCAS PEREIRA MOURA

**ESPECIFICIDADE DE HABITAT E MORFOLOGIA COMO FILTROS PARA A
DISTRIBUIÇÃO DE ODONATA NO CERRADO MARANHENSE**

**SANTARÉM - PA
2021**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DAS ÁGUAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE**

LUCAS PEREIRA MOURA

**ESPECIFICIDADE DE HABITAT E MORFOLOGIA COMO FILTROS PARA A
DISTRIBUIÇÃO DE ODONATA NO CERRADO MARANHENSE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade da Universidade Federal do Oeste do Pará, como requisito para obtenção de grau de Mestre em Biodiversidade.

Orientadora: Profa. Dr^a. Sheyla Regina Marques Couceiro

Coorientador: Prof. Dr. Leandro Juen

SANTARÉM - PA

2021

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

- M929e Moura, Lucas Pereira
Especificidade de habitat e morfologia como filtros para a distribuição de
odonata no cerrado Maranhense./ Lucas Pereira Moura. – Santarém, 2021.
59 p. : il.
Inclui bibliografias.
- Orientadora: Sheyla Regina Marques
Coorientador: Leandro Juen
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Pró-reitoria
de Pesquisa, Pós Graduação e Inovação Tecnológica, Programa de Pós-Gradua-
ção em Biodiversidade.
1. Bioindicadores . 2. Integridade de habitat. 3. Libélulas. I. Marques, Sheyla
Regina, *orient.* II. Juen, Leandro, *coorient.* III. Título.

CDD: 23 ed. 595.73309812 1

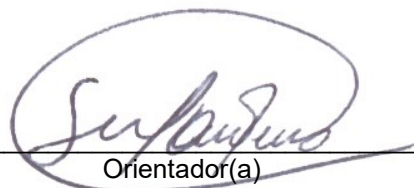


Universidade Federal do Oeste do Pará
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE

ATA Nº 22

Em acordo com o Regimento do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade da Universidade Federal do Oeste do Pará, a dissertação de mestrado é julgada por uma Banca Avaliadora não presencial, constituída por cinco avaliadores, sendo um deles obrigatoriamente externo ao curso, com título de doutor (Artigo 56 do referido regimento). O acadêmico é considerado aprovado quando ao menos três membros avaliadores emitirem pareceres Aprovado. Alternativamente, o discente será dispensado da banca avaliação da dissertação, quando comprovar o aceite ou publicação de pelo menos um artigo resultante da sua dissertação, como primeiro autor, em co-autoria com orientador, ou orientador e coorientador quando o orientador for um docente colaborador, em periódico indexado com percentil mínimo de 75 (setenta e cinco) ou superior referente às métricas mais recentes do maior percentil utilizado pelo Journal Citation Reports (Clarivate) ou pelo Scientific Journal Rankings (Scimago), cabendo ao discente apenas a apresentação pública do trabalho (Artigo 58). O discente que teve sua dissertação aprovada deverá apresentá-la em sessão pública com duração de até 50 (cinquenta) minutos obrigatoriamente até no máximo 15 (quinze) dias após a aprovação, e no prazo máximo de vínculo com o curso, ou seja, 24 (vinte e quatro) meses após o início do primeiro semestre letivo do discente no curso (artigo 64). Assim, aos vinte e um dias do mês de outubro do ano de dois mil e vinte e um, às quatorze horas, de forma remota através da plataforma GoogleMeet, instalou-se a apresentação de seminário público da dissertação de mestrado do aluno LUCAS PEREIRA MOURA. Deu-se início a abertura dos trabalhos, onde a Professora Dra. SHEYLA REGINA MARQUES COUCEIRO, após esclarecer as normativas de tramitação da defesa e seminário público, de imediato solicitou ao candidato que iniciasse a apresentação da dissertação, intitulada "ESPECIFICIDADE DE HABITAT E MORFOLOGIA COMO FILTROS PARA A DISTRIBUIÇÃO DE ODONATA NO CERRADO MARANHENSE".

Concluída a exposição, a professora comunicou o discente que a versão final da dissertação deverá ser entregue ao programa, no prazo de 60 dias; contendo as modificações sugeridas pela banca examinadora e constante nos formulários de avaliação da banca. A banca examinadora foi composta pelos examinadores professores doutores listados abaixo. Os pareceres assinados seguem em sequência.



Orientador(a)



Discente



Universidade Federal do Oeste do Pará
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE

Dr. Thiago Pereira Mendes

Examinador Externo à Instituição

Dr. Fabio de Oliveira Roque

Examinador Externo à Instituição

Dra. Karina Schmidt Furieri

Examinadora Externa à Instituição

Dr. Leandro Schlemmer Brasil

Examinador Externo à Instituição

Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior

Examinador Interno

Dra. Sheyla Regina Marques Couceiro

Presidente

Lucas Pereira Moura

Mestrando

Dedico este trabalho a toda minha família
e à memória de José Salvador dos Reis.

AGRADECIMENTOS

Em primeira instância, agradeço a Deus pelo dom da vida, e oportunidade a cada amanhecer. Tudo isso não seria possível se não fosse por Ele.

Agradeço a minha mãe por todo amor, carinho e cuidados. Por nunca ter deixado faltar disciplina necessária, a senhora é e sempre será o melhor exemplo a seguir, não existem palavras que possam descrever a admiração que tenho. Agradeço também a minha amada esposa Carolina G. Viana por sempre estar ao meu lado e me apoiar, sem você teria sido bem difícil.

Agradeço a minha orientadora Sheyla Regina Marques Couceiro e ao meu coorientador Leandro Juen pelos valerosos ensinamentos e pela paciência que tiveram, não foi fácil, mas graças a dedicação de vocês conseguimos concluir essa etapa, meu muito obrigado.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e a Universidade Federal do Oeste do Pará pela oportunidade de qualificação profissional e realização pessoal. Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento de bolsa de mestrado (Processo: 88887.472757/2019-00). Aos professores que contribuíram durante todo o decorrer do curso, vocês colaboraram significativamente para a minha formação.

Agradeço ao meu amigo Daniel Silas Veras que também contribuiu com este trabalho, em campo e/ou com debates esclarecedores. Agradeço ao Laboratório de Ecologia e Taxonomia de Invertebrados Aquáticos, bem como a todos seus integrantes. Aos meus colegas de curso, por todos os trabalhos e conversas jogadas fora. As amizades que construí em Santarém, e aqueles que vieram antes também. A todos vocês, o meu MUITO OBRIGADO!

RESUMO

Odonata são insetos hemimetábolos, amplamente utilizados em estudos de ecossistemas aquáticos, especialmente aqueles relacionados aos impactos antrópicos decorrentes de mudanças no uso do solo. Para que possamos aprimorar seu uso como organismos bioindicadores precisamos ampliar o conhecimento sobre as respostas das espécies ao gradiente ambiental, principalmente daquelas que são modificadas pela ação antrópica. O estudo busca avaliar a relação entre a especificidade de habitat e a morfologia dos adultos de Odonata, bem como a diferença de tolerância das espécies em diferentes condições ambientais no Cerrado maranhense. As coletas ocorreram em 24 riachos no município de Caxias, Maranhão, no período de maio a novembro de 2016 e março a abril de 2017. Coletamos 824 espécimes, distribuídos em 57 espécies, com 12 classificadas como generalistas e cinco como especialistas de habitat íntegro. Generalistas de habitat tendem a ser maiores que as espécies especialistas em ambientes íntegros, o comprimento e a largura das asas juntamente com o comprimento do tórax foram as características mais importantes para essa diferenciação. A espécie *Erythrodiplax fusca* e *Erythrodiplax basalis* apresentaram os maiores níveis de tolerância e foram classificadas como generalistas, *Telebasis griffinii* e *Epipleoneura williamsoni* apresentaram os menores níveis de tolerância. Entretanto, espécies especialistas de ambientes íntegros nem sempre apresentam menores níveis de tolerância. *Epipleoneura westfalli*, *Epipleoneura williamsoni*, *Telebasis coccínea*, *Hetaerina dutati* e *Argia hasemani* podem ser utilizadas como bioindicadores de ambientes íntegros, associadas com vegetação ripária preservada. Mais da metade das espécies (61%; n = 35) foram consideradas raras, algo comum em uma comunidade bastante diversa. Fato é a fragmentação dos ambientes aquáticos na região, que vem modelando as assembleias de Odonata, abrindo espaço para as espécies generalista e, excluindo espécies que necessitam de condições mais íntegras para sobreviver. Entender esse balanço ou distribuição das espécies é primordial para estabelecer estratégias eficiente na redução dos impactos antrópicos, bem como para buscar estabelecer estratégias de conservação eficientes que possam contemplar as exigências das espécies mais especialistas.

Palavras-Chave: Bioindicadores. Integridade de habitat. Libélulas. Seleção de habitat. Usos do solo.

ABSTRACT

Odonata are hemimetabolic insects, widely used in studies of aquatic ecosystems, especially those related to anthropogenic impacts resulting from changes in land use. In order to improve their use as bioindicator organisms, we need to expand our knowledge about the responses of species to the environmental gradient, especially those that are modified by anthropic action. The study seeks to assess the relationship between habitat specificity and adult morphology of Odonata, as well as the difference in tolerance of species in different environmental conditions in the Cerrado Maranhense. The collections took place in 24 streams in the municipality of Caxias, Maranhão, from May to November 2016 and March to April 2017. We collected 824 specimens, distributed in 57 species, with 12 classified as generalists and five as specialists of intact habitat. Habitat generalists tend to be larger than species that specialize in intact environments, the length and width of the wings together with the length of the chest were the most important characteristics for this differentiation. The species *Erythrodiplax fusca* and *Erythrodiplax basalis* had the highest levels of tolerance and were classified as generalists, *Telebasis griffinii* and *Epipleoneura williamsoni* had the lowest levels of tolerance. However, specialist species from intact environments do not always have lower tolerance levels. *Epipleoneura westfalli*, *Epipleoneura williamsoni*, *Telebasis coccinea*, *Hetaerina dutati* and *Argia hasemani* can be used as bioindicators of intact environments, associated with preserved riparian vegetation. More than half of the species (61%; n = 35) were considered rare, something common in a very diverse community. A fact is the fragmentation of aquatic environments in the region, which has been shaping the Odonata assemblages, making room for generalist species and excluding species that need more intact conditions to survive. Understanding this balance or distribution of species is essential to establish efficient strategies to reduce anthropogenic impacts, as well as to seek to establish efficient conservation strategies that can meet the requirements of the most specialized species.

Keywords: Bioindicators. Habitat integrity. Dragonflies. Habitat selection. Land uses.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pontos de coleta de Odonata adultos no município de Caxias, Maranhão, Brasil.	30
Figura 2 – Imagens dos locais amostrados no município de Caxias, Maranhão. (A) Soledade; (B) Água Sumida; (C) Riachão; (D) Lamego; (E) Buriti Corrente; (F) Batatal.	30
Figura 3 – Curva de acumulação de espécies coletas nos riachos no município de Caxias, MA.	35
Figura 4 – Ordenação (ACP) das variáveis ambientais medidas nos riachos para amostragem de Odonata adultos, em Caxias, MA. Nível 1 = riachos com menor impacto antrópico; Nível 2 = riachos com impacto moderado; Nível 3 = riachos com maior impacto antrópico.	36
Figura 5 - Ordenação (ACP) dos dados morfológicos das espécies generalistas e especialistas. Nível 1 = riachos com menor impacto antrópico; Nível 2 = riachos com impacto moderado; Nível 3 = riachos com maior impacto antrópico. BTL = comprimento total; FWL = comprimento das asas anteriores; FWW = largura das asas anteriores; HWL = comprimento das asas posteriores; HWW = largura das asas posteriores; TL = comprimento do tórax; AL = comprimento do abdômen.	37
Figura 6 - Diferença de tolerância entre os grupos de especificidade de Odonata. Nível 1 = riachos com menor impacto antrópico; Nível 2 = riachos com impacto moderado; Nível 3 = riachos com maior impacto antrópico.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variáveis estruturais dos riachos do município de Caxias, Maranhão, e as correlações com os Eixos 1 e 2 da Análise de Componentes Principais (ACP).....	36
Tabela 2 - Classificação das espécies e valor de tolerância das espécies de Odonata coletadas no município de Caxias, MA. Nível 1 = riachos com menor impacto antrópico; Nível 2 = riachos com impacto moderado; Nível 3 = riachos com maior impacto antrópico. (“*” = exclusiva de nível 1; “**” = exclusiva de nível 2; “***” = exclusiva de nível 3), CLAM = Modelo Multinomial de Categoria de Espécies; OMI = Índice Médio Periférico; Espécies raras não apresentam valor de OMI por terem sido retiradas da análise.	38
Tabela 3 - Medidas morfológicas das espécies e as correlações com os Eixos 1 e 2 da Análise de Componentes Principais (ACP). BTL = comprimento total; FWL = comprimento das asas anteriores; FWW = largura das asas anteriores; HWL = comprimento das asas posteriores; HWW = largura das asas posteriores; TL = comprimento do tórax; AL = comprimento do abdômen.....	40
Tabela S1 - Lista dos riachos amostrados para fauna de Odonata adulto em Caxias, MA. Nível 1 = riachos com menor impacto antrópico; Nível 2 = riachos com impacto moderado; Nível 3 = riachos com maior impacto antrópico. IIH = Índice de Integridade de Habitat.	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP – Análise de Componente Principais

AL – Comprimento do abdômen

ANOVA One Way – Análise de Variância de um fator

APA – Área de Proteção Ambiental

BTL – Comprimento total

FWL – Comprimento das asas anteriores

FWW – largura das asas anteriores

HWL – Comprimento das asas posteriores

HWW – largura das asas posteriores

IIH –Índice de Integridade de Hábitat

OMI – Índice Médio Periférico

TL – Comprimento do tórax

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	14
Qual é o problema da pesquisa?	14
Como a pesquisa foi realizada?	15
Qual a importância da pesquisa?	17
Autores	19
Título original da pesquisa	19
Instituição	19
Financiador	19
Sugestões de leitura	19
OBJETIVOS	20
Geral	20
Específicos	20
REFERÊNCIAS	20
CAPÍTULO ÚNICO	24
INTRODUÇÃO	26
MATERIAIS E MÉTODOS	29
Área de estudo	29
Coleta, triagem e identificação dos Odonata	31
Variáveis estruturais	31
Categorização do Gradiente ambiental	32
Medidas morfológicas	33
Análise de dados	33
RESULTADOS	35
DISCUSSÃO	41
CONCLUSÃO	44
AGRADECIMENTOS	45
REFERÊNCIAS	46

INTRODUÇÃO GERAL

ESPECIFICIDADE DE HABITAT E MORFOLOGIA COMO FILTROS PARA A DISTRIBUIÇÃO DE ODONATA NO CERRADO MARANHENSE

Qual é o problema da pesquisa?

As atividades humanas causam múltiplos efeitos e modificam os ambientes naturais (Fierro *et al.* 2017; Cerqueira *et al.* 2020). O crescente uso do solo ao longo dos corpos hídricos remove a cobertura vegetal (Chaussê *et al.* 2016; Gücker *et al.* 2016) resultando na lixiviação do solo para dentro dos rios, lagos e riachos causando seu assoreamento. As diversas atividades humanas, quase sempre, resultam em despejos de resíduos líquidos ou sólidos nas águas, causando mudanças físicas e químicas desses ecossistemas (Couceiro *et al.* 2021). Como consequência dessa alteração, ocorre uma modificação nos processos de entrada de energia no sistema e uma rápida homogeneização do ambiente, com perda da diversidade beta e de recursos (e.g alimento, habitat) (Meglioli *et al.* 2017; Collier *et al.* 2019).

Em razão do uso do solo, entre os anos de 2000 e 2018, os biomas brasileiros perderam aproximadamente 500 mil km² de cobertura natural. Somente o Cerrado perdeu 152,7 mil km² de sua área (IBGE 2020). Nem mesmo com o avanço tecnológico ou os planos de mitigação dos efeitos antrópicos impediram ou impedem o avanço da devastação (Cerqueira *et al.* 2020). As atividades humanas interferem diretamente na distribuição das assembleias, uma vez que as condições do gradiente funcionam como filtros ecológicos, selecionando espécies que possuem nichos condizentes com a nova realidade local e que consigam chegar, estabelecer e permanecer (McKinney 2008). Para que as espécies ocorrem nos ambientes são necessários condições ambientais específicas que estejam dentro das suas exigências ecofisiológicas, possibilitando, seu crescimento, sobrevivência e reprodução (Hutchison 1957). Em virtude disso, após as alterações ocorre a extinção local de espécies sensíveis (Buczkowski & Richmond 2012), proporcionando nichos vagos para as espécies que suportam as pressões antrópicas por apresentarem menores exigências ecológicas – espécies generalistas (Sganzerla *et al.* 2021).

Alguns estudos ecológicos buscam entender os efeitos dos impactos antrópicos nas assembleias, avaliando aspectos como composição, nicho ecológico e morfologia das espécies (De Marco *et al.* 2015; Pereira *et al.* 2019; Bastos *et al.* 2021). Sob pressão ambiental ao longo do tempo, as espécies podem desenvolver adaptações a

perturbações, sejam elas morfológicas, como por exemplo asas maiores e mais largas; ou ecológicas, como por exemplo maior tolerância ou adaptação a ambientes mais restritos reduzindo a amplitude de seu nicho (Massa *et al.* 2013; Pauls *et al.* 2013; Pereira *et al.* 2019; Bastos *et al.* 2021). As mudanças ambientais podem limitar ou até mesmo restringir a distribuição das espécies. Desta forma, os requisitos de nicho e características comportamentais e morfológicas das espécies são baseadas nas configurações dos filtros ecológicos. Assim, a pesquisa analisa a relação entre a especificidade de habitat, a morfologia de adultos de Odonata (Insecta) e as diferenças de tolerâncias entre as espécies encontradas ao longo de um gradiente de condições ambientais.

Como a pesquisa foi realizada?

Foram coletados adultos de Odonata em 24 riachos que fazem parte da bacia de drenagem dos rios Itapecuru e Parnaíba na cidade de Caxias, MA, no período de maio a novembro de 2016 e março e abril de 2017. Os riachos amostrados estão em áreas íntegras, assim como em áreas sob pressão humana (urbana e agropecuária). Para a coleta de Odonata foi utilizado o método de varredura em áreas fixas, que consiste na busca ativa dos espécimes com uma rede entomológica (puçá) ao longo de um transecto de 100 metros, no sentido longitudinal, em ambas as margens de cada riacho. Cada transecto foi subdividido em 20 segmentos de 5 m, onde os espécimes foram buscados por aproximadamente três minutos, passando ao próximo segmento, totalizando uma hora de coleta (Cezário *et al.* 2020). As coletas ocorreram entre 10:00 e 14:00 horas, horário em que os espécimes estão mais ativos em seu forrageamento e na defesa do território (Juen & De Marco 2011).

Os espécimes coletados foram acondicionados em envelopes de papel-de-seda, identificados com a referência do riacho e do respectivo segmento em que foram capturados. Posteriormente foram levados ao Laboratório de Entomologia Aquática (LEA), na Universidade Estadual do Maranhão, campus Caxias para processo de triagem e de curadoria. Para conservar os espécimes, estes foram imersos em acetona P. A. (Puro Análise) por 24 horas para os espécimes da subordem Zygoptera e 48 horas para os espécimes da subordem Anisoptera. Após o tempo, os espécimes foram retirados e deixados secar por evaporação sobre papel toalha e armazenados em envelopes plásticos sobre papel cartão. Para a identificação das espécies foram utilizadas chaves taxonômicas especializadas (e.g. Garrison *et al.* 2006; Garrison

2009; Garrison *et al.* 2010; Von Ellenrieder 2012; Garrison *et al.* 2015; Lencioni 2006, 2017). Após identificação o material foi depositado na coleção do LEA.

Para representar a variação morfológica das espécies amostradas no estudo foram realizadas a mensuração de sete medidas morfológicas: Comprimento total (BTL), Comprimento do tórax (TL), Comprimento do abdômen (AL), Comprimento das asas anteriores e posteriores (FWL e HWL) e, largura das asas anteriores e posteriores (FWW e HWW). Essas métricas são apontadas como eficientes para representar a variação morfológica das espécies (Pereira *et al.* 2019; Oliveira-Júnior *et al.* 2019; Bastos *et al.* 2021). Todas as medidas foram realizadas sempre do lado direito do espécime para evitar possíveis efeitos da assimetria flutuante (Pereira *et al.* 2019). Todos os espécimes foram fotografados com uma máquina fotográfica Fujifilm S4800 ao lado de uma escala e, as fotografias analisadas no programa ImageJ na versão 1.53 onde foram realizadas todas as medidas.

Para representar a parte estrutural do ambiente foram utilizadas variáveis estruturais importantes para a comunidade de Odonata (porcentagem, largura e o índice de integridade de habitat). A porcentagem de cobertura de dossel, que indica a disponibilidade de áreas sombreadas e ensolaradas, de suma importância na ecologia de Odonata visto a termorregulação corporal. A largura do riacho indica (juntamente com a cobertura de dossel) uma maior entrada de raios solares, bem como uma maior área disponível para a oviposição. O Índice de Integridade de Habitat (Nessimian *et al.* 2008), pontua as características ambientais, como tipo de leito dos riachos, uso da terra no entorno do riacho, porcentagem de vegetação ripária entre outros. Essas métricas foram selecionadas com base na literatura por serem apontadas como importantes para a estruturação das comunidades aquáticas (Brasil *et al.* 2020).

Para avaliar a variação das condições ambientais entre os riachos amostrado, os dados ambientais foram submetidos a uma Análise do Componentes Principais (ACP). Baseado na semelhança das condições ambientais gerados análise, os riachos foram agrupados de acordo com o nível de integridade. Riachos com menor impacto antrópico foram classificados como nível 1, riachos que apresentaram impacto moderado foram classificados como nível 2 e riachos com maior impacto antrópico foram classificados como nível 3. Após essa classificação, avaliamos a associação das espécies de Odonata a classificação dos riachos utilizando uma Análise de Modelo Multinomial de Categoria de Espécies (CLAM). Essa análise avalia a especificidade ambiental a uma determinada categoria ambiental, sendo classificada

como especialistas em ambientes íntegros, especialistas em ambientes alterados, generalistas e espécies muito raras (abundância < 07 indivíduos) para serem classificadas como generalistas ou especialistas (Chazdon *et al.* 2011).

Para verificar a relação entre os dados morfológicos e a especificidade ambiental gerada pelo Modelo Multinomial de Categoria de Espécies, realizamos uma Análise de Componentes Principais (ACP), e posteriormente testamos as relações observadas através de uma Análise Multivariada Permutacional de Variância (PERMANOVA), usando uma matriz euclidiana e 999 permutações.

Para verificar amplitude de nicho espacial das espécies foi realizado uma Análise de Índice Médio Periférico (do inglês *Outlying Mean Index* – OMI) (Dolédec *et al.* 2000). Esse índice dispõe de informações sobre a amplitude de nicho da espécie ao longo do gradiente (tolerância do nicho), em que valores maiores estão ligados a espécies com uma maior amplitude e valores menores a espécies com uma menor amplitude de nicho (Dolédec *et al.* 2000; Hernández-Fariñas *et al.* 2015).

Para verificar as diferenças nos valores de tolerância entre os grupos (generalistas e especialistas), realizamos uma Análise de Variância de um fator (ANOVA – One Way). Os pressupostos de normalidade e homogeneidade foram atendidos (Shapiro-Wilk = 0,410; Bartlett = 0,179).

Qual a importância da pesquisa?

Muitos ecossistemas estão sendo modificados pelas ações humanas (Collier *et al.* 2019; Paiva *et al.* 2021). A renovação das assembleias biológicas nesses ecossistemas depende de uma fonte que consiga fornecer uma grande quantidade de espécimes e, que as espécies sejam ótimas dispersoras (Aires *et al.* 2016). Sob pressão ambiental, algumas espécies aumentam sua tolerância e adaptações a perturbações, inclusive ocorrendo em locais com impactos antrópicos (Pauls *et al.* 2013), enquanto outras se tornam restritas e até mesmo reduzem a amplitude de seu nicho, se tornando especialistas (Massa *et al.* 2013). Com isso, o conceito de espécie especialista e generalista está intimamente ligado ao conceito de nicho ecológico (Devictor *et al.* 2010; Carboni *et al.* 2016).

Um conceito básico de nicho é de um hipervolume N-dimensional formando conjuntos de características que limitariam a coexistência de espécies. Para que uma espécie se estabeleça em um local, as condições do ambiente têm que ser favoráveis ao seu desenvolvimento e reprodução. Assim, as assembleias são determinadas por

condições ambientais e a resposta dos espécimes a essas condições (Hutchinson, 1957). Para medir o grau de especialidade de uma espécie é necessário observar se a ocorrência dos espécimes se dá em locais sob condições restritas ou se ocorrem em condições variadas (desde ambientes mais íntegros até mais alterados).

A classificação das espécies como especialistas ou generalistas nos ajuda a entender o comportamento dessas frente às mudanças naturais e antrópicas (Arribas *et al.* 2019). Com essas informações podemos, por exemplo, criar modelos que melhor descrevam as histórias evolutivas das espécies (Arribas *et al.* 2014) e, prever alterações futuras na composição das assembleias em resposta aos impactos antrópicos ou naturais (Kefford *et al.* 2016).

As mudanças ambientais afetam diretamente as espécies especialistas em ambientes íntegros, provocando a homogeneização das comunidades por substituição dessas por outras que possuam maior amplitude de nicho (Davey *et al.* 2012). Entretanto, estudos mostraram que especialistas também podem ter uma grande amplitude de nicho (Mayor *et al.* 2015; Tolkkinen *et al.* 2015; Mykrä & Heino 2017), indicando que especialistas nem sempre estão sujeitas à extinção e, acabam se beneficiando da degradação (Vázquez & Simberloff, 2002; Clavero & Brotons, 2010; Suhonen *et al.* 2014). Com isso, é importante compreender a influência das ações antrópicas na distribuição de especialistas e generalista e mecanismos que alteram a assembleia (Mykrä & Heino 2017).

Os insetos aquáticos são ótimos modelos para estudos ecológicos com uma grande biodiversidade e uma ampla faixa de dispersão, demonstrando diferentes respostas as mudanças no gradiente (Sueyoshi *et al.* 2017). Os insetos da ordem Odonata compreendem um grupo de organismos popularmente conhecido por serem visualizados facilmente durante o voo ou empoleirados na beira dos corpos d'água (Pinto 2016). Odonata também são ótimos indicadores ecológicos, tanto na fase larval (aquática) quanto na fase adulta (alado), respondendo ao gradiente ambiental com espécies típicas de ambientes naturais como de locais alterados (De Marco *et al.* 2015).

Algumas espécies são mais facilmente encontradas em ambiente abertos, enquanto outras em ambientes sombreados (De Marco *et al.* 2015a). Esse padrão está diretamente ligado a termorregulação e a morfologia dos espécimes, onde espécies generalistas tendem a ser maiores e manter a temperatura corporal através do complexo muscular do voo, enquanto as especialistas de ambientes íntegros

tendem a ser menores e variar a temperatura corporal de acordo com o ar (razão superfície – volume), causando diferenças na capacidade de dispersão e, conseqüentemente diferenciação na composição ao longo do gradiente ambiental (Monteiro-Júnior *et al.* 2013; Juen *et al.* 2014; Carvalho *et al.* 2013; De Marco *et al.* 2015a; Pereira *et al.* 2019; Oliveira-Júnior & Juen 2019). O conjunto de respostas ecológicas, comportamentais e características morfológicas determinam a preferência ambiental por tipos específicos de ambiente (espécie especialista ou generalista) e a quantidade de recursos que cada espécie consegue utilizar (amplitude de nicho) (Devictor *et al.* 2010; Massa *et al.* 2013; Pauls *et al.* 2013; Carboni *et al.* 2016).

Autores

Lucas Pereira Moura

Leandro Juen

Sheyla Regina Marques Couceiro

Título original da pesquisa

Especificidade ambiental e amplitude de nicho da fauna de Odonata (Insecta) no Cerrado Maranhense

Instituição

Universidade Federal do Oeste do Pará - Ufopa

Financiador

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES

Sugestões de leitura

Couceiro SR, Dias-Silva K, & Hamada N. 2021. Influence of climate seasonality on the effectiveness of the use of aquatic macroinvertebrates in urban impact evaluation in central Amazonia. *Limnology*, 1-8.

De Marco P, Batista JD, & Cabette HSR. 2015. Community Assembly of Adult Odonates in Tropical Streams: An Ecophysiological Hypothesis. *PLoS ONE* v.10, n. 4, p. 1-17.

Pereira DFG, de Oliveira Junior JMB, & Juen L. 2019. Environmental changes promote larger species of Odonata (Insecta) in Amazonian streams. *Ecological Indicators*, 98, 179-192.

Rodrigues ME, Moura EB, & Roque FO. 2018. Dragonflies as indicators of the

environmental conditions of veredas in a region of central-western Brazil. *Oecologia Australis*, 23(4).

Veras DS, Lustosa GS, Moura LP, Ferreira MFR, & Juen L. 2020. Differences in land use modify Odonata assemblages in the Cerrado-Caatinga ecotone. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 32.

OBJETIVOS

Geral

Avaliar a relação entre a especificidade de habitat e a morfologia dos adultos de Odonata, bem como a diferença de tolerância das espécies em diferentes condições ambientais no Cerrado maranhense.

Específicos

- Avaliar a relação entre a especificidade de habitat e a morfologia dos adultos de Odonata;
- Avaliar a diferença de tolerância das espécies de Odonata em um gradiente ambiental.

Hipóteses

- (1) As espécies classificadas como generalistas serão maiores morfologicamente que as espécies especialistas em ambientes íntegros, visto que maiores tamanhos corporais estão diretamente ligados a uma maior capacidade de voo e dispersão;
- (2) Os menores valores de tolerância de nicho espacial serão das espécies classificadas como especialistas em ambientes com menor impacto antrópico, por serem vulneráveis às variações no habitat, sendo mais limitadas pelas condições do ambiente.

REFERÊNCIAS

Aires T, Serrão EA, & Engelen AH. 2016. Host and environmental specificity in bacterial communities associated to two highly invasive marine species (genus *Asparagopsis*). *Frontiers in microbiology*, 7, 559.

Arribas P, Andújar C, Abellán P, Velasco J, Millán A, & Ribera I. 2014. Tempo and mode of the multiple origins of salinity tolerance in a water beetle lineage. *Molecular Ecology*, 23(2), 360-373.

Arribas P, Gutiérrez-Cánovas C, Botella-Cruz M, Cañedo-Argüelles M, Antonio Carbonell J, Millán A, & Sánchez-Fernández D. 2019. Insect communities in saline waters consist of realized but not fundamental niche specialists. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 374(1764), 20180008.

- Bastos RC, Brasil LS, Oliveira-Junior JMB, Carvalho FG, Lennox GD, 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, 107257.
- Brasil LS, Luiza-Andrade A, Calvão LB, Dias-Silva K, Faria APJ, Shimano Y, & Juen L. 2020. Aquatic insects and their environmental predictors: a scientometric study focused on environmental monitoring in lotic environmental. *Environmental monitoring and assessment*, 192(3), 1-10.
- Buczkowski G, & Richmond DS. 2012. The effect of urbanization on ant abundance and diversity: a temporal examination of factors affecting biodiversity. *PloS one*, 7(8), e41729.
- Carboni M, Zelený D, & Acosta AT. 2016. Measuring ecological specialization along a natural stress gradient using a set of complementary niche breadth indices. *Journal of Vegetation Science*, 27(5), 892-903.
- Cezário RR, Firme PP, Pestana GC, Vilela DS, Juen L, Cordero-Rivera A, & Guillermo R. 2020. Sampling methods for dragonflies and damselflies. In *Measuring Arthropod Biodiversity* (pp. 223-240). Springer, Cham.
- Chazdon RL, Chao A, Colwell RK, Lin SY, Norden N, Letcher SG, Clark DB, Finegan B, Pablo Arroyo J. 2011. A novel statistical method for classifying habitat generalists and specialists. *Ecology*, 92(6), 1332-1343.
- Clavero M, & Brotons L. 2010. Functional homogenization of bird communities along habitat gradients: accounting for niche multidimensionality. *Global Ecology and Biogeography*, 19(5), 684-696.
- Cerqueira TC, Mendonça RL, Gomes RL, Jesus RM, & Silva DML. 2020. Effects of urbanization on water quality in a watershed in northeastern Brazil. *Environmental monitoring and assessment*, 192(1), 1-17.
- Chaussê TCC, Santos Brandão C, Silva LP, Spanghero PESF, & Silva DML. 2016. Evaluation of nutrients and major ions in streams—implications of different timescale procedures. *Environmental monitoring and assessment*, 188(1), 38.
- Collier CA, Almeida Neto MS, Almeida GMA, Rosa Filho JS, Severi W, & El-Deir ACA. 2019. Effects of anthropic actions and forest areas on a neotropical aquatic ecosystem. *Science of The Total Environment*, 691, 367-377.
- Couceiro SR, Dias-Silva K, & Hamada N. 2021. Influence of climate seasonality on the effectiveness of the use of aquatic macroinvertebrates in urban impact evaluation in central Amazonia. *Limnology*, 1-8.
- Davey CM, Chamberlain DE, Newson SE, Noble DG, & Johnston A. 2012. Rise of the generalists: evidence for climate driven homogenization in avian communities. *Global Ecology and Biogeography*, 21(5), 568-578.
- Devictor V, Clavel J, Julliard R, Lavergne S, Mouillot D, Thuiller W, & Mouquet N. 2010. Defining and measuring ecological specialization. *Journal of Applied Ecology*, 47(1), 15-25.
- De Marco P, & Vianna DM. 2005. Distribuição do esforço de coleta de Odonata no Brasil—subsídios para escolha de áreas prioritárias para levantamentos faunísticos. *Lundiana: International Journal of Biodiversity*, 6, 13-26.

- Dolédéc S, Chessel D, & Gimaret-Carpentier, C. 2000. Niche separation in community analysis: a new method. *Ecology*, 81(10), 2914-2927.
- Fierro P, Bertrán C, Tapia J, Hauenstein E, Peña-Cortés F, Vergara C, & Vargas-Chacoff, L. (2017). Effects of local land-use on riparian vegetation, water quality, and the functional organization of macroinvertebrate assemblages. *Science of the Total Environment*, 609, 724-734.
- Gücker B, Silva RC, Graeber D, Monteiro JA, Brookshire EJ, Chaves RC, & Boëchat IG. 2016. Dissolved nutrient exports from natural and human-impacted Neotropical catchments. *Global Ecology and Biogeography*, 25(4), 378-390.
- Hernández-Fariñas T, Bacher C, Soudant D, Belin C, & Barillé L. 2015. Assessing phytoplankton realized niches using a French national phytoplankton monitoring network. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 159, 15-27.
- Hutchinson GE. 1957. Cold spring harbor symposium on quantitative biology. *Concluding remarks*, 22, 415-427.
- IBGE. 2020. Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística: retrato da cobertura natural dos biomas do país de 2000 a 2018. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/28944-ibge-retrata-cobertura-natural-dos-biomas-do-pais-de-2000-a-2018>>
- Juen L, De Marco 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 and Diversity*, 4(4), 265-274.
- Kefford BJ, Buchwalter D, Cañedo-Argüelles M, Davis J, Duncan RP, Hoffmann A, & Thompson R. 2016. Salinized rivers: degraded systems or new habitats for salt-tolerant faunas? *Biology Letters*, 12(3), 20151072.
- Massa SI, Paulino CM, Serrão EA, Duarte CM, & Arnaud-Haond S. 2013. Entangled effects of allelic and clonal (genotypic) richness in the resistance and resilience of experimental populations of the seagrass *Zostera noltii* to diatom invasion. *BMC ecology*, 13(1), 1-12.
- Mayor SJ, Boutin S, He F, & Cahill JF. 2015. Limited impacts of extensive human land use on dominance, specialization, and biotic homogenization in boreal plant communities. *BMC ecology*, 15(1), 1-11.
- McKinney ML. 2008. Effects of urbanization on species richness: a review of plants and animals. *Urban ecosystems*, 11(2), 161-176.
- Meglioli PA, Aranibar JN, Villagra PE, & Riveros CV. 2017. Spatial patterns of soil resources under different land use in Prosopis woodlands of the Monte desert. *Catena*, 149, 86-97.
- Mykrä H, & Heino J. 2017. Decreased habitat specialization in macroinvertebrate assemblages in anthropogenically disturbed streams. *Ecological Complexity*, 31, 181-188.
- Nessimian JL, Venticinque EM, Zuanon J, De Marco P, Gordo M, Fidelis L, Juen L. 2008. Land use, habitat integrity, and aquatic insect assemblages in Central Amazonian streams. p. 117–131.

- Paiva CKS, Faria APJ, Calvao LB, & Juen L. 2021. The anthropic gradient determines the taxonomic diversity of aquatic insects in Amazonian streams. *Hydrobiologia*, 848(5), 1073-1085.
- Pauls SU, Nowak C, Bálint M, & Pfenningez M. 2013. The impact of global climate change on genetic diversity within populations and species. *Molecular ecology*, 22(4), 925-946.
- Pereira DFG, de Oliveira Junior JMB, & Juen L. 2019. Environmental changes promote larger species of Odonata (Insecta) in Amazonian streams. *Ecological Indicators*, 98, 179-192.
- Pinto AP. 2016. A fauna de libélulas da América do Sul: a última fronteira a ser desvendada. *Sociedade Brasileira de Zoologia*, 117, 7-9.
- Sganzerla C, Dalzochio MS, Prass GDS, & Périco E. 2021. Effects of urbanization on the fauna of Odonata on the coast of southern Brazil. *Biota Neotropica*, 21(1), 1-10.
- Sueyoshi M, Tojo K, Ishiyama N, & Nakamura F. 2017. Response of aquatic insects along gradients of agricultural development and flood magnitude in northern Japanese streams. *Aquatic sciences*, 79(4), 985-994.
- Suhonen J, Korkeamäki ESA, Salmela J, & Kuitunen M. 2014. Risk of local extinction of Odonata freshwater habitat generalists and specialists. *Conservation Biology*, 28(3), 783-789.
- Tolkkinen M, Mykrä H, Annala M, Markkola AM, Vuori KM, & Muotka T. 2015. Multi-stressor impacts on fungal diversity and ecosystem functions in streams: natural vs. anthropogenic stress. *Ecology*, 96(3), 672-683.
- Vázquez DP, & Simberloff D. 2002. Ecological specialization and susceptibility to disturbance: conjectures and refutations. *The American Naturalist*, 159(6), 606-623.

CAPÍTULO ÚNICO

Artigo segue o modelo da *Journal of Insect Conservation*

ESPECIFICIDADE DE HABITAT E MORFOLOGIA COMO FILTROS PARA A DISTRIBUIÇÃO DE ODONATA NO CERRADO MARANHENSE

Lucas Pereira Moura¹

Leandro Juen²

Sheyla Regina Marques Couceiro³

¹ Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade - Universidade Federal do Oeste do Pará. Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas. Laboratório de Ecologia e Taxonomia de Invertebrados Aquáticos. Campus Tapajós, Rua Vera Paz, sn, bloco 11, sala 03, Salé. Santarém – Pará – Brazil. CEP: 68035-110.

² Universidade Federal do Pará. Instituto de Ciências Biológicas. Laboratório de Ecologia e Conservação, Rua Antônio Côrrea, 1, Belém, Pará, Brasil. CEP 66075-750

³ Universidade Federal do Oeste do Pará. Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas. Laboratório de Ecologia e Taxonomia de Invertebrados Aquáticos. Campus Tapajós Rua Vera Paz, sn, bloco 11, sala 03, Salé. Santarém - Pará – Brazil. CEP: 68035-110.

ESPECIFICIDADE DE HABITAT E MORFOLOGIA COMO FILTROS PARA A DISTRIBUIÇÃO DE ODONATA NO CERRADO MARANHENSE

Lucas Pereira Moura¹, Leandro Juen² & Sheyla Regina Marques Couceiro³

¹ Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade - Universidade Federal do Oeste do Pará. Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas. Laboratório de Ecologia e Taxonomia de Invertebrados Aquáticos. Campus Tapajós, Vera Paz, sn, bloco 11, sala 03, Salé. Santarém – Pará – Brasil.

² Universidade Federal do Pará. Instituto de Ciências Biológicas. Laboratório de Ecologia e Conservação, Rua Antônio Côrrea, 1, Belém, Pará, Brasil. CEP 66075-750.

³ Universidade Federal do Oeste do Pará. Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas. Laboratório de Ecologia e Taxonomia de Invertebrados Aquáticos. Campus Tapajós, Vera Paz, sn, bloco 11, sala 03, Salé. Santarém - Pará – Brasil.

RESUMO

Odonata são insetos anfíbios, amplamente utilizados em estudos de ecossistemas aquáticos. Para que possamos aprimorar seu uso como organismos bioindicadores precisamos ampliar o conhecimento de como a distribuição das espécies respondem as mudanças no gradiente ambiental. Nosso estudo avalia a relação entre a especificidade de habitat, a morfologia e as diferenças de amplitude de nicho espacial de Odonata, em riachos com diferentes condições ambientais no Cerrado maranhense. Coletamos em 24 riachos entre maio e novembro de 2016 e março e abril de 2017. Foram coletados 824 espécimes, distribuídos em 57 espécies, destas 12 foram classificadas como generalistas e cinco como especialistas de habitat íntegro. Generalistas de habitat tendem a ser maiores que as espécies especialistas em ambientes íntegros, o comprimento e a largura das asas juntamente com o comprimento do tórax foram as características mais importantes para essa diferenciação, o que seria esperado, uma vez que generalistas migram bastante entre diferentes áreas, necessitando de asas e um complexo muscular (localizado no tórax) maior do que os especialistas de ambientes mais íntegros. Espécies especialistas nem sempre apresentarão menores nichos, podendo até mesmo utilizar outros micro-habitat quando necessário. Mais da metade das espécies (n = 35) foram consideradas raras, algo comum em uma comunidade com uma grande diversidade de espécies. A grande quantidade de riachos degradados indica uma forte pressão nos ambientes aquáticos na região, modelando as assembleias de Odonata, abrindo espaço para as espécies generalista e, excluindo espécies que necessitam de condições mais íntegras.

Palavras-Chave: Bioindicadores. Integridade de habitat. Libélulas. Seleção de habitat. Usos do solo.

INTRODUÇÃO

Atividades humanas como a urbanização, pecuária, agricultura e mineração resultam em mudança no uso do solo e refletem negativamente sobre os ecossistemas (Couceiro *et al.* 2010). Os impactos ambientais tendem a aumentar com a expansão de áreas urbanas, de práticas agrícolas (uso excessivo de pesticidas e nutrientes), da pecuária e da exploração de madeira e de minérios (Couceiro 2009). Essas atividades, em geral, denominadas em conjunto de uso do solo, modificam a fisionomia e a estrutura física dos corpos d'água, especialmente pela remoção da vegetação ao longo dos ecossistemas aquáticos e, pelo assoreamento e eutrofização das águas (Veras *et al.* 2019; Espinosa *et al.* 2020), afetando diretamente a biodiversidade local e regional (Couceiro *et al.* 2007, 2010; Monteiro-Júnior *et al.* 2013, 2014; Martins *et al.* 2017).

A integridade ambiental tem um importante papel na estruturação das assembleias biológicas, proporcionando condições físicas e químicas adequadas a ocorrência das espécies (Couceiro *et al.* 2007; Juen & De Marco 2011; Shimano *et al.* 2013; Brasil *et al.* 2020). A heterogeneidade encontrada em ambientes íntegros, propicia maior riqueza de espécies devido a disponibilidade de múltiplos recursos como abrigo e alimento, aumentando a probabilidade de contemplar as exigências das espécies e, com isso possibilitando maior coexistência (Couceiro *et al.* 2010; Cunico 2010; Seiferling *et al.* 2014; Batista 2017). Por outro lado, a homogeneidade ambiental provocada pelas atividades humanas beneficia espécies oportunistas, capazes de suportar impactos antrópicos (Calvão *et al.* 2018; Schröder *et al.* 2020).

Sob pressão ambiental ao longo do tempo, muitas espécies podem desenvolver adaptações a perturbações, sejam estas adaptações comportamentais, morfológicas ou em sua ecologia, aumentando a amplitude de seu nicho (Massa *et al.* 2013; Pauls *et al.* 2013; Resende *et al.* 2021). Enquanto outras espécies se restringem a determinadas áreas que atendem suas necessidades básicas, mantendo ou reduzindo a amplitude de seu nicho (Massa *et al.* 2013; Pauls *et al.* 2013; Pereira *et al.* 2019; Resende *et al.* 2021). Desta forma, o conceito de espécie especialista e generalista está intimamente ligado ao conceito de nicho ecológico (Devictor *et al.* 2010; Carboni *et al.* 2016), onde o nicho é um hipervolume N-dimensional formando um conjunto de características que limitariam a ocorrência e coexistência das espécies (Hutchinson 1957).

Com base nisso, as espécies podem ser classificadas como especialistas (possuem um nicho restrito) ou generalistas (possuem um nicho mais amplo) dependendo de suas relações com o ambiente e o uso desses recursos (MacArthur & Levins 1964; Levins 1968; Rosenzweig 1981). Para medir o grau de especificidade de uma espécie é observada a ocorrência dos espécimes em locais com condições restritas ou em condições variadas (Pauls *et al.* 2013; Carboni *et al.* 2016). A evolução das espécies especialistas se dá em ambientes homogêneos e de recursos escassos, enquanto o surgimento dos generalistas está diretamente ligado a ambientes que apresentam uma diversidade de recursos (Valadão *et al.* 2019).

As mudanças ambientais como a expansão urbana e agrícola, afetam diretamente as espécies especialistas em ambientes íntegros, excluindo-as do ambiente, uma vez que, promovem a homogeneização, diminuindo as condições ideais para a ocorrência das espécies mais exigentes (Davey *et al.* 2012). Entretanto, alguns estudos demonstraram que especialistas também podem ter uma grande amplitude de nicho (Mayor *et al.* 2015; Tolkkinen *et al.* 2015; Mykrä & Heino 2017), indicando que estas nem sempre estão sujeitas à extinção local (Vázquez & Simberloff 2002; Clavero & Brotons 2010; Suhonen *et al.* 2014).

Em virtude dessa dicotomia, é importante compreender como as espécies respondem as mudanças, tornando as assembleias essencialmente representadas por espécies generalistas ou especialistas (Mykrä & Heino 2017; Arribas *et al.* 2019). Assim, poderemos criar modelos que melhor descrevam a história evolutiva das espécies (Arribas *et al.* 2014), e entender melhor o padrão de distribuição. A classificação das espécies como especialistas ou generalistas pode ajudar no desenvolvimento de teorias ecológicas, auxiliar em projetos de conservação e restauração ambiental por identificar espécies com potencial bioindicador, elencando os atributos necessários a ocorrência das espécies exigentes (Moore 1984; Mayfield *et al.* 2009; Zamora-Marín *et al.* 2016). Bem como, aumentar nosso poder preditivos aos impactos ambientais, possibilitando prever alterações futuras na composição das assembleias em resposta aos impactos antrópicos ou naturais (Kefford *et al.* 2016).

A expansão urbana e agrícola remove a vegetação nativa, aumentam a entrada de sedimentos e homogeneizam o ambiente, alterando a composição físico-química da água e acarretam problemas nos ecossistemas aquáticos, diante destas perturbações organismos sensíveis como os insetos aquáticos podem sofrer mudanças em sua composição (substituição de espécies) (Carvalho *et al.* 2013;

Castro *et al.* 2018; Silva *et al.* 2018). Por responderem rapidamente aos impactos antrópicos, os insetos aquáticos são amplamente utilizados em estudos de monitoramento ambiental (Renner *et al.* 2018; Ilhamdi *et al.* 2020; Mendoza-Penagos *et al.* 2021). Entretanto, a relação de especificidade ambiental e a morfologia das espécies, assim como a amplitude de nicho foi pouco utilizada para avaliar as assembleias e perdas diante os impactos, tendo em vista que tanto a morfologia como o nicho são influenciados pelas condições ambientais (Pereira *et al.* 2019).

Dentre os insetos mais indicados para o biomonitoramento de sistemas aquáticos destaca-se a ordem Odonata (Monteiro Júnior 2012; Carvalho *et al.* 2013; Calvão *et al.* 2018; Rodrigues *et al.* 2018; De Marco *et al.* 2015a; Batista 2017; Mendes *et al.* 2017; Rodrigues *et al.* 2018), que são sensíveis as alterações, refletindo em sua comunidade os impactos ambientais, por exemplo, substituição de espécies, ou redução na riqueza (Juen *et al.* 2014; Renner 2014; Pinto 2016; Miguel *et al.* 2017). Os Odonata são insetos anfíbios (larvas aquáticas e adultos terrestres), o que permite a avaliação tanto das águas nos ecossistemas aquáticos como da vegetação no entorno (Corbert 1999).

Algumas espécies são mais facilmente encontradas em ambiente abertos, enquanto outras em ambientes sombreados (De Marco *et al.* 2015a). Esse padrão está diretamente ligado a termorregulação e a morfologia dos espécimes, onde espécies generalistas tendem a ser maiores e manter a temperatura corporal através do complexo muscular do voo, enquanto as especialistas de ambientes íntegros tendem a ser menores e variar a temperatura corporal de acordo com o ar (razão superfície – volume), causando diferenças na capacidade de dispersão e, conseqüentemente diferenciação na composição ao longo do gradiente ambiental (Monteiro-Júnior *et al.* 2013; Juen *et al.* 2014; Carvalho *et al.* 2013; De Marco *et al.* 2015a; Pereira *et al.* 2019; Oliveira-Júnior & Juen 2019). O conjunto de respostas ecológicas, comportamentais e características morfológicas determinam a preferência ambiental por tipos específicos de ambiente (espécie especialista ou generalista) e a quantidade de recursos que cada espécie consegue utilizar (amplitude de nicho) (Devictor *et al.* 2010; Massa *et al.* 2013; Pauls *et al.* 2013; Carboni *et al.* 2016).

Assim, o presente estudo tem por objetivo analisar a relação entre a especificidade de habitat e a morfologia das espécies, bem como a diferença de tolerância (amplitude de nicho espacial) de adultos de Odonata em riachos no Cerrado Maranhense. Testando as hipóteses de que (1) as espécies classificadas como

generalistas serão maiores morfologicamente que as espécies especialistas em ambientes com menor impacto antrópico, visto que maiores tamanhos corporais estão diretamente ligados a uma maior capacidade de voo e termorregulação; e (2) os menores valores de tolerância de nicho espacial serão das espécies classificadas como especialistas em ambientes com menor impacto antrópico, por serem vulneráveis às variações no habitat, sendo mais limitadas pelas condições do ambiente.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

Realizamos o estudo em 24 riachos, que pertencem as bacias de drenagem dos rios Itapecuru e Parnaíba, no município de Caxias, estado do Maranhão, Brasil (Figura 1; Apêndice A). Para tentar contemplar a biodiversidade existente na área as amostragens foram realizadas em dois períodos, de maio a novembro de 2016 (período de seca) e março a abril de 2017 (período chuvoso) (Veras 2017). Caxias está localizado na parte Leste do estado e possui uma área de 5.191,32 Km². O clima da região é tropical quente e úmido (Aw), com temperaturas que variam de 25 a 28°C, e precipitação anual variando de 1.200 a 1.300 mm (Veras *et al.* 2020).

Os pontos de coletados apresentam características de floresta contínua com poucas quebras na zona ripária, sendo composta principalmente de árvores nativas e áreas de corredeiras, outros pontos apresentam maior grau de uso do solo, como zona ripária chegando no máximo até 30 metros de largura e quebras mais frequentes, com uma mescla de árvores pioneiras e maduras, e ambientes com alto grau de alteração, sem zona ripária, dispositivos de retenção e com vegetação arbustiva espaçada (Figura 2).

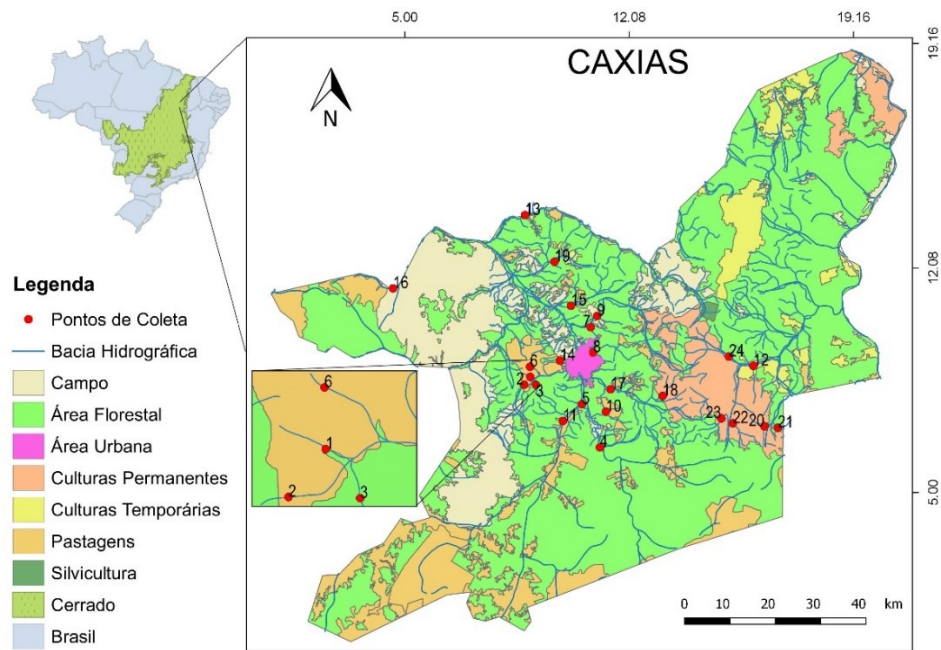


Figura 1 – Pontos de coleta de adultos de Odonata no município de Caxias, Maranhão, Brasil.



Figura 2 – Imagens dos locais amostrados no município de Caxias, Maranhão. (A) Soledade; (B) Água Sumida; (C) Riachão; (D) Lamego; (E) Buriti Corrente; (F) Batatal.

Coleta, triagem e identificação dos Odonata

Para a coleta de Odonata utilizamos o método de varredura em áreas fixas, que consiste na busca ativa de Odonata com uma rede entomológica (puçá) ao longo de um transecto de 100 m no sentido longitudinal de cada riacho. Cada transecto foi dividido em 20 segmentos de 5 m cada, onde os espécimes foram buscados por aproximadamente 3 minutos, passando ao próximo segmento (Cezário *et al.* 2020). As coletas ocorreram entre 10:00 e 14:00 horas (horário em que os espécimes estão mais ativos em seu forrageamento e na defesa do território) (e.g. Juen & De Marco 2011; Batista *et al.* 2021; Pereira-Moura *et al.* 2021).

Após coletados, os espécimes foram acondicionados em envelopes de papel-de-seda, devidamente identificados (riacho/segmento amostrado). Já em laboratório, os espécimes de Zygoptera e Anisoptera foram imersos em acetona P. A. por 24 e 48 h, respectivamente, para conservação das estruturas corporais. Após o tempo estimado, os espécimes foram retirados e deixados para secar por evaporação sobre papel toalha, sendo em seguida armazenados individualmente em envelopes plásticos sobre papel cartão (Lencioni 2006).

Para a identificação das espécies foram utilizadas chaves taxonômicas especializadas (e.g. Garrison *et al.* 2006; Garrison 2009; Garrison *et al.* 2010; Von Ellenrieder 2012; Garrison *et al.* 2015; Lencioni 2006, 2017) e observadas em estériomicroscópio (Zeiss Stemi DV4), estruturas como nervações das asas, apêndices do abdômen, genitais do macho, tórax e estruturas da cabeça. Para confirmação das identificações, os espécimes foram enviados para os especialistas do grupo, Dr. Frederico A. A. Lencioni e Alejandro del Palácio. O material está depositado no Laboratório de Entomologia Aquática, na Universidade Estadual do Maranhão, campus Caxias.

Variáveis estruturais

Para representar a parte estrutural do ambiente, após análise de literatura selecionamos três métricas apontadas como importantes para a comunidade de Odonata (Índice de Integridade de Hábitat, Cobertura de Dossel e Largura do Riacho) (Nessimian *et al.* 2008; De Marco *et al.* 2015a; Oliveira-Junior & Juen 2019). O Índice de Integridade de Habitat (IIH) contém 12 questões optativas para pontuar as características ambientais, contemplando métricas do tipo de leito dos riachos, uso da terra no entorno do riacho e porcentagem de vegetação ripária (Nessimian *et al.* 2008).

Ao final o IIH gera um valor para cada riacho que varia de 0 (riachos degradados) a 1 (riachos íntegros). Em uma revisão recente, foi demonstrado que o índice é uma métrica muito eficiente para avaliar as condições do ambiente e a distribuição da comunidade de Odonata (Brasil *et al.* 2020).

Para medir a cobertura do dossel utilizamos um densiômetro convexo com 24 quadrantes, com leituras nas direções Norte, Sul, Leste e Oeste de cada ponto onde foi medido a cobertura, a um metro do chão da lâmina d'água, nas margens direita, esquerda e centro dos riachos. Desses valores foi obtida uma média das leituras. Posteriormente, as médias das leituras de cada riacho foram transformadas em porcentagem de cobertura de dossel por regra de três simples. A porcentagem de cobertura de dossel nos ambientes aquáticos diminui a temperatura local, criando poleiros ideais para as espécies mais sensíveis a incidência direta dos raios solares (De Marco *et al.* 2015a).

Para mensurar a largura utilizamos uma trena de 50 metros, estendida de uma margem a outra, com medidas no início, meio e no final de cada transecto, calculando-se um média para cada riacho. A largura juntamente com a mata ciliar determina a quantidade de energia solar que entra no ambiente. A incidência solar é importante na ecologia de Odonata (De Marco *et al.* 2015a), assim, a largura do riacho é uma variável adequada para estudos ecológicos. De Marco *et al.* (2015a) encontraram uma relação significativa entre a largura do canal e a morfologia das espécies residentes, indicando que riachos mais largos são frequentados por espécies maiores. Outro ponto importante é que a largura do riacho determina a quantidade de luz polarizada que é refletida, indicando habitat para oviposição (Wildermuth 1998).

Categorização do Gradiente ambiental

Para avaliar a variação das variáveis ambientais estruturais (IIH, cobertura de dossel e largura) buscando verificar a formação de grupos de integridade ambiental (a serem utilizados na classificação das espécies quanto a especificidade ambiental) utilizamos uma Análise de Componentes Principais (ACP). Como as variáveis foram mensuradas em diferentes escalas, foram previamente padronizados. Como critério para seleção do número de eixos usamos o Broken Stick. Baseados nos agrupamentos formados na ordenação da ACP (Figura 4) os riachos foram categorizados em três categorias de integridade: nível 1 = riachos com menor impacto antrópico, nível 2 = riachos com impacto moderado, e nível 3 = riachos com maior

impacto antrópico. Os três grupos foram testados posteriormente por Análise de Permutação Multivariada - PERMANOVA (usando uma matriz de distância euclidiana) e com 999 permutações.

Medidas morfológicas

Para representar a variação morfológica das espécies amostradas no estudo realizamos a mensuração de sete medidas morfológicas: Comprimento total (BTL), Comprimento do tórax (TL), Comprimento do abdômen (AL), Comprimento das asas anteriores e posteriores (FWL e HWL), e largura das asas anteriores e posteriores (FWW e HWW). Essas métricas são apontadas como eficientes para representar a variação morfológica das espécies, bem como estão relacionadas à ecologia, capacidade de voo e termorregulação (De Marco *et al.* 2015a; Pereira *et al.* 2019; Oliveira-Júnior *et al.* 2019). Todas as medidas foram realizadas sempre do lado direito para evitar possíveis efeitos da assimetria flutuante (Pereira *et al.* 2019). Todos os espécimes foram fotografados com uma máquina fotográfica Fujifilm S4800 ao lado de uma escala, e inseridos no programa ImageJ na versão 1.53 onde foram realizadas todas as medidas.

Análise de dados

Em nosso estudo cada riacho foi usado como uma unidade amostral, totalizando, portanto, 24 amostras. Para verificar a eficiência da amostragem construímos uma curva de acumulação de espécies utilizando o estimador não paramétrico de primeira ordem Jackknife. Esse estimador leva em consideração a raridade das espécies que ocorrem em apenas um riacho independente da abundância (Santos 2006; Gontelli & Ellison 2016).

Para classificação de especificidade das espécies utilizamos o Modelo Multinomial de Categoria de Espécies (CLAM) que classifica em: especialistas em ambientes íntegros, especialistas em ambientes alterados, generalistas e espécies muito raras (abundância <07). O modelo consiste em agrupar os dados em conjuntos baseados na abundância relativa estimada de espécies em dois habitats distintos, sendo um modelo estatístico multinomial para cada conjunto de abundância absoluta, permitindo avaliar estatisticamente a especialização de habitat para muitas espécies

e não exclui espécies raras *a priori* (Ver Chazdon *et al.* 2011). As análises foram realizadas aos pares de grupos de espécies, levando em consideração a separação de riachos gerados pela ACP de forma pareada (nível 1 vs nível 2; nível 1 vs nível 3; nível 2 vs nível 3). Na análise usamos um $p = 0,05$ e um limite de especialização da supermaioria $k = 0,667$.

Para verificar a relação entre os dados morfológicos e a especificidade ambiental, realizamos uma Análise de Componentes Principais, e posteriormente testamos as relações observadas através de uma Análise Multivariada Permutacional de Variância (PERMANOVA), usando uma matriz Euclidiana e 999 permutações.

Para verificar a amplitude de ocorrência das espécies ao longo do gradiente realizamos o Índice Médio Periférico (do inglês *Outlying Mean Index* – OMI) (Dolédec *et al.* 2000), as espécies classificadas como raras foram retiradas da análise por apresentarem resultados não confiáveis. O Índice Médio Periférico dispõe de informações sobre a tolerância do nicho, em que valores maiores estão ligados a espécies com uma maior amplitude de nicho espacial e valores menores a espécies com uma menor amplitude de nicho espacial (Dolédec *et al.* 2000; Hernández-Fariñas *et al.* 2015). Para o gradiente ambiental foram utilizadas as variáveis estruturais, mas diferentemente do Modelo Multinomial de Categorias de Espécies, as variáveis não foram categorizadas. O Índice Médio Periférico leva em conta a ocorrência de cada espécie na assembleia, buscando combinações das variáveis estruturais que maximizam a distância das espécies, em outras palavras, a diferença euclidiana ao quadrado das condições de habitat utilizado por uma espécie e as condições médias de habitat do domínio de amostragem (Dolédec *et al.* 2000; Karasiewicz *et al.* 2017). No Índice Médio Periférico, o lugar que cada espécie ocupa no hiperespaço multidimensional está diretamente ligado ao desvio de nicho de uma outra espécie hipotética que está distribuída de maneira uniforme ao longo das condições do ambiente (Dolédec *et al.* 2000).

Para verificar as diferenças nos valores de tolerância de nicho espacial entre os grupos (generalistas e especialistas), realizamos uma Análise de Variância de um fator (ANOVA – One Way). Os pressupostos de normalidade e homogeneidade foram atendidos (Shapiro-Wilk = 0,410; Bartlett = 0,179).

As análises estatísticas foram realizadas nos softwares EstimateS 7 (Gotelli & Colwell, 2001), para o modelo multinomial de categoria de espécies usamos o programa CLAM (Chao & Lin, 2011). Utilizamos também o ambiente estatístico R 3.2.2

com os pacotes *vegan*, *subniche* e *ggplot2* (R Development Core Team, 2015), considerando o intervalo de confiança de 95%.

RESULTADOS

Foram coletados 824 espécimes distribuídos em sete famílias, 24 gêneros e 57 espécies. As espécies *Argia reclusa*, Selys, 1865 (n = 135) e *Acanthagrion gracile*, Rambur, 1842 (n = 105) foram as mais abundantes para a subordem Zygoptera e *Erythrodiplax basalis*, Kirby, 1897 (n = 61) e *Perithemis lais*, Perty, 1834 (n = 50) as mais abundantes para a subordem Anisoptera. A riqueza estimada foi de 67,98 (\pm 3,57) espécies, apresentando uma eficiência de amostragem de 84% (riqueza estimada/riqueza observada) que também foi confirmado ao analisar a curva do coletor, uma vez que houve estabilização da mesma (Figura 3).

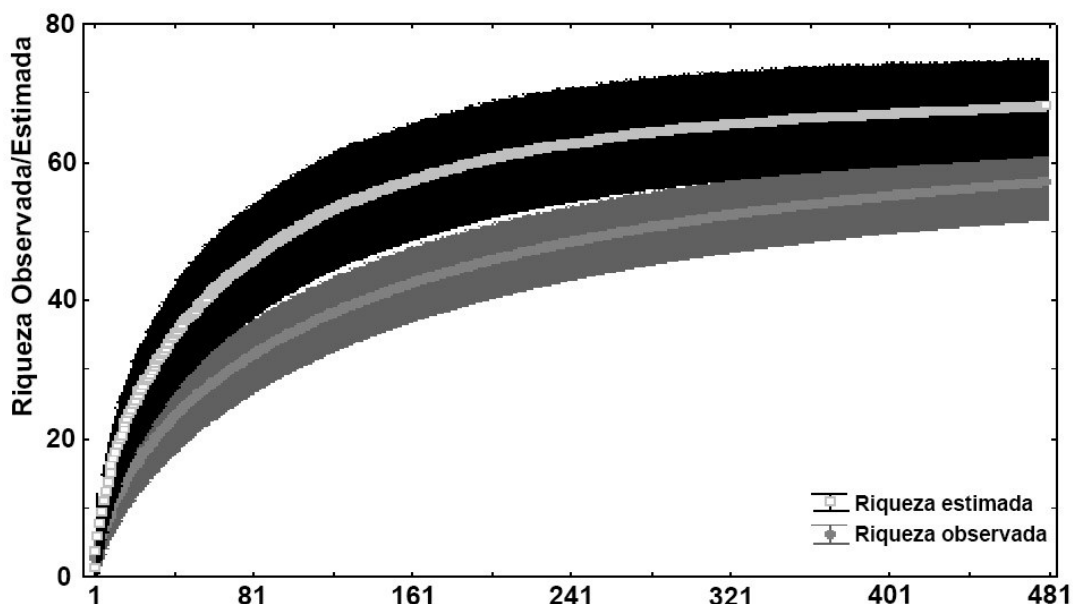


Figura 3 – Curva de acumulação de espécies coletas nos riachos no município de Caxias, MA.

Os riachos amostrados apresentaram diferentes valores de IIH (variando entre 0,23 e 0,91), bem como de cobertura do dossel (variou entre 23,53 e 97,06%) e de largura (variou entre 1 e 4,5 m) (Tabela S1). A ACP em seu primeiro eixo representou 70,95% da variação ambiental (Eixo 2: 19,35% que não foi significativo segundo o critério de Broken Stick), sendo observado uma distribuição dos riachos de acordo com os níveis de integridade ambiental (PERMANOVA: $R^2 = 0,996$; $p = 0,001$). A largura contribuiu positivamente na formação do primeiro eixo, enquanto, que o IIH e cobertura de dossel contribuíram negativamente (Tabela 1). Os riachos com menor impacto antrópico apresentam em média um maior valor de cobertura de dossel e IIH,

enquanto os riachos com impacto moderado apresentam valores médios de IIH e dossel, e os riachos com maior impacto antrópico estão bem associados a valores muito baixos de IIH (Figura 4).

Tabela 1 - Variáveis estruturais dos riachos do município de Caxias, Maranhão, e as correlações com os Eixos 1 e 2 da Análise de Componentes Principais (ACP).

Variáveis estruturais	Loading	
	Eixo 1	Eixo 2
IIH	-0,747	-0,663
Dossel	-0,868	0,292
Largura	0,870	-0,278
Broken-Stick	1,833	0,833
Autovalor	2,128	0,580
%Explicação	70,954	19,358

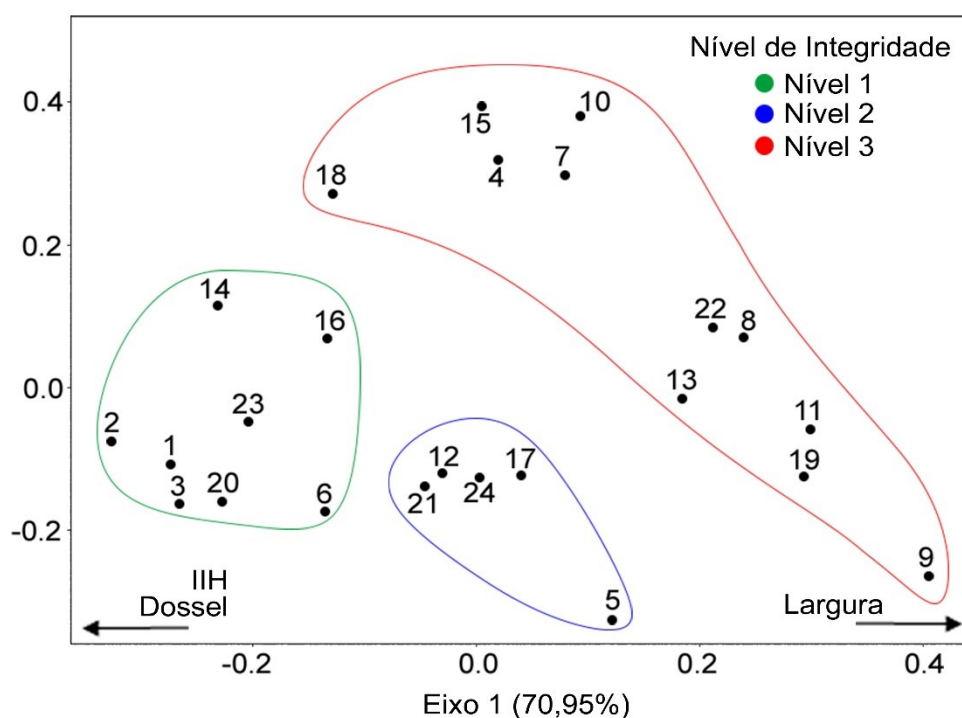


Figura 4 – Ordenação (ACP) das variáveis estruturais medidas nos riachos para amostragem de Odonata adultos, em Caxias, MA. Nível 1 = riachos com menor impacto antrópico; Nível 2 = riachos com impacto moderado; Nível 3 = riachos com maior impacto antrópico.

Nos riachos com menor impacto antrópico observamos uma riqueza de 26 espécies (oito espécies exclusivas desse ambiente), e uma abundância de 207 espécimes. Nos riachos com impacto moderado observamos uma riqueza de 28 espécies (seis exclusivas), e uma abundância de 247 espécimes. Já nos riachos com

maior impacto antrópico, observamos uma riqueza de 38 espécies (18 exclusivas) e, uma abundância de 370 espécimes (Tabela 2).

Das 57 espécies coletadas, o Modelo Multinomial de Categoria de Espécies (CLAM) classificou 12 (21,05%) como generalistas, cinco espécies (8,77%) como especialistas em ambientes com menor impacto antrópico (nível 1), três espécies (5,26%) como especialistas em ambientes com impacto moderado (nível 2) e, duas espécies (3,51%) como especialistas em ambientes com maior impacto antrópico (nível 3). As outras 35 espécies (61,40%) tiveram uma abundância menor que sete espécimes e foram classificadas como raras (Tabela 2).

O primeiro eixo da ACP representou 65,64% da variação dos dados morfológicos (Eixo 2 = 22,33% que não foi significativo segundo o critério de Broken Stick), demonstrando uma diferença entre as espécies generalistas e especialistas em ambientes com menor impacto antrópico (nível 1), onde generalistas de habitat tendem a ser maiores (Figura 5). O comprimento e largura das asas juntamente com o comprimento do tórax foram as características mais importantes para diferença entre os grupos (Tabela 3), até os Zygoptera generalistas tendem a ser maiores que outros Zygoptera especialistas. A PERMANOVA mostrou uma separação significativa entre os grupos generalistas e especialistas em ambientes com menor impacto antrópico (Pseudo F = 0,375; $p < 0,001$). Somente os níveis 1 e 2 não apresentaram separação significativa quando comparados (PERMANOVA Pairwise: $p = 0,493$).

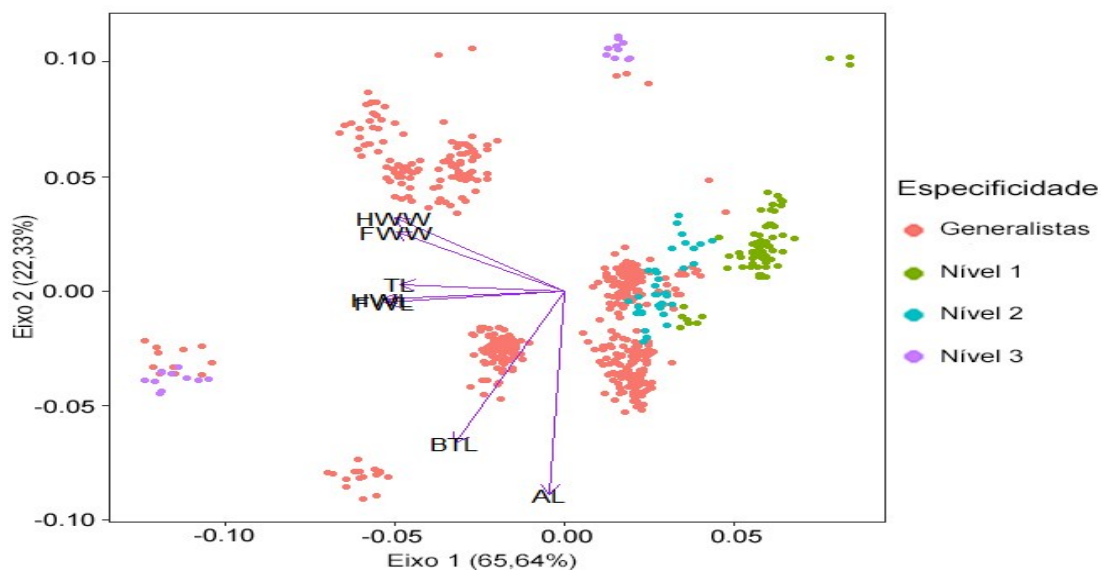


Figura 5 - Ordenação (ACP) dos dados morfológicos das espécies generalistas e especialistas. Nível 1 = riachos com menor impacto antrópico; Nível 2 = riachos com impacto moderado; Nível 3 = riachos com maior impacto antrópico. BTL = comprimento total; FWL = comprimento das asas anteriores; FWW = largura das asas anteriores; HWL = comprimento das asas posteriores; HWW = largura das asas posteriores; TL = comprimento do tórax; AL = comprimento do abdômen.

A tolerância de nicho espacial (OMI) variou na assembleia, as espécies com menores valores de nichos espacial foram *Telebasis griffinii* e *Epipleoneura williamsoni*. As espécies com maiores valores de nichos espacial, ou seja, que ocorrem em condições muito variadas, foram *Erythrodiplax fusca* e *E. basalis*, classificadas como generalistas (Tabela 2). A ANOVA mostrou que o nível de tolerância do nicho espacial das espécies especialistas em riachos com menor impacto antrópico (nível 1) não diferiu dos demais grupos (df = 3; F = 1,308; p = 0,302). A menor variação de nicho espacial foi observada nas espécies especialistas em riachos com maior impacto antrópico (nível 3). Já os generalistas apresentaram maiores abundâncias, onde a maioria apresentou valores elevados de nicho espacial, contudo, alguns também apresentaram valores menores. Os especialistas em nível 1 apresentaram, em sua maioria, baixo valor de nicho espacial, mas, duas apresentaram um maior valor, até mesmo que alguns generalistas (Figura 6).

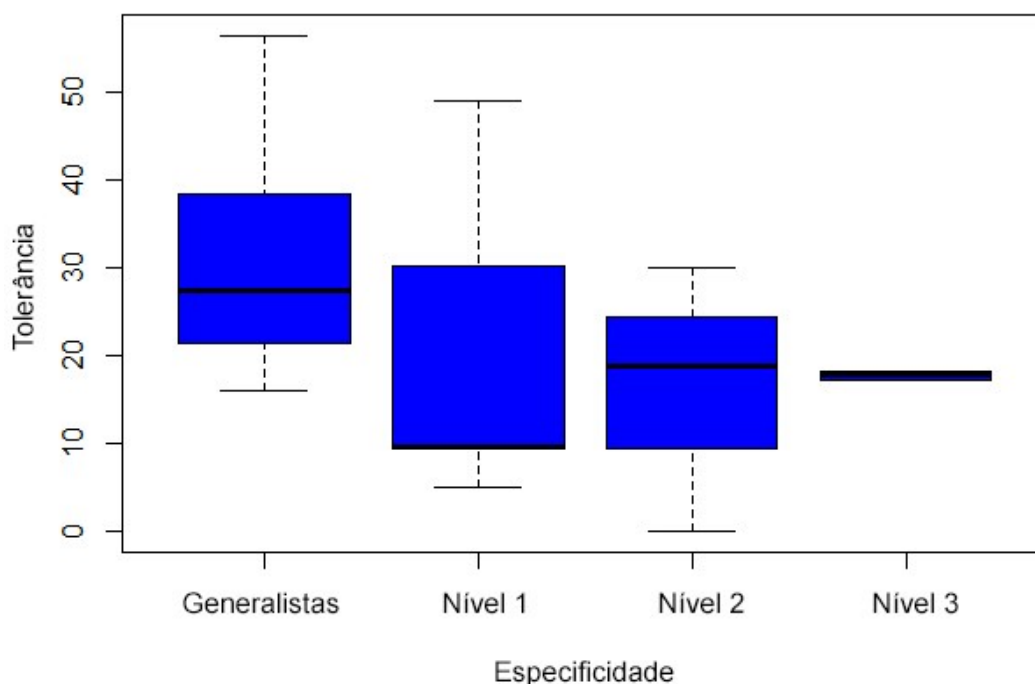


Figura 6 - Diferença de tolerância entre os grupos de especificidade de Odonata. Nível 1 = riachos com menor impacto antrópico; Nível 2 = riachos com impacto moderado; Nível 3 = riachos com maior impacto antrópico.

Tabela 2 - Classificação das espécies e valor de tolerância das espécies de Odonata coletadas no município de Caxias, MA. Nível 1 = riachos com menor impacto antrópico; Nível 2 = riachos com impacto moderado; Nível 3 = riachos com maior impacto antrópico. (***) = exclusiva de nível 1; (****) = exclusiva de nível 2; (*****) = exclusiva de nível 3), CLAM = Modelo Multinomial de Categoria de Espécies; OMI = Índice Médio Periférico; Espécies raras não apresentam valor de OMI por terem sido retiradas da análise.

Espécies	CLAM	OMI	Abundância
<i>Acanthagrion aepiolum</i> Tennessen, 2004	Generalista	23,6	78

<i>Acanthagrion gracile</i> Rambur, 1842	Generalista	30,1	105
<i>Argia hasemani</i> Calvert, 1909	Nível 1	30,2	28
<i>Argia indicatrix</i> Calvert, 1902	Rara	-	3*
<i>Argia lilacina</i> Selys, 1865	Rara	-	5
<i>Argia reclusa</i> Selys, 1865	Generalista	16,7	135
<i>Brachymesia herbida</i> Gundlach, 1889	Rara	-	2***
<i>Dasythemis essequiba</i> Ris, 1919	Rara	-	1*
<i>Diastatops obscura</i> Fabricius, 1775	Generalista	42,6	26
<i>Dythemis sterelis</i> Hagen, 1861	Rara	-	3***
<i>Epipleoneura metallica</i> Rácenis, 1955	Generalista	21,7	56
<i>Epipleoneura venezuelensis</i> Rácenis, 1955	Nível 2	18,8	8
<i>Epipleoneura westfalli</i> Machado, 1986	Nível 1	9,7	28*
<i>Epipleoneura williamsoni</i> Santos, 1957	Nível 1	5,0	7
<i>Erythemis haematogastra</i> Burmeister, 1839	Rara	-	2
<i>Erythemis peruviana</i> Rambur, 1842	Nível 3	18,2	11
<i>Erythemis plebeja</i> Burmeister, 1839	Rara	-	3**
<i>Erythemis vesiculosa</i> Fabricius, 1775	Rara	-	3
<i>Erythrodiplax basalis</i> Kirby, 1897	Generalista	52,7	61
<i>Erythrodiplax castânea</i> Burmeister, 1839	Rara	-	2*
<i>Erythrodiplax fusca</i> Rambur, 1842	Generalista	56,4	27
<i>Erythrodiplax latimaculata</i> Ris, 1911	Rara	-	4***
<i>Erythrodiplax melanica</i> Borrer, 1942	Rara	-	3
<i>Erythrodiplax ochracea</i> Burmeister, 1839	Rara	-	2***
<i>Erythrodiplax umbrata</i> Linnaeus, 1758	Generalista	34,0	11
<i>Hetaerina auripennis</i> Burmeister, 1839	Generalista	16,0	16
<i>Hetaerina dutati</i> Selys, 1853	Nível 1	9,4	7*
<i>Hetaerina rosea</i> Selys, 1853	Rara	-	1**
<i>Hetaerina sanguinea</i> Selys, 1853	Rara	-	6
<i>Ischnura capreolus</i> Hagen, 1861	Rara	-	5***
<i>Lestes forficula</i> Rambur, 1842	Rara	-	1***
<i>Micrathyria ocellata dentiens</i> Calvert, 1909	Rara	-	1
<i>Micrathyria pseudeximia</i> Westfall, 1992	Rara	-	2
<i>Micrathyria romani</i> Sjöstedt, 1918	Rara	-	6
<i>Neoneura confundens</i> Wasscher & Van'T Bosch, 2013	Rara	-	2**
<i>Neoneura sylvatica</i> Hagen, 1886	Nível 2	30,0	19
<i>Nephepeltia flavifrons</i> Karsch, 1889	Rara	-	1***

<i>Nephepeltia phryne</i> Perty, 1834	Rara	-	3***
<i>Nephepeltia</i> sp. Kirby, 1889	Rara	-	5***
<i>Oligoclada abbreviata limnophila</i> Machado & Machado, 1993	Rara	-	4**
<i>Oligoclada xanthopleura</i> Borrer, 1931	Rara	-	1**
<i>Orthemis biolleyi</i> Calvert, 1906	Rara	-	2*
<i>Orthemis cultriformis</i> Calvert, 1899	Rara	-	1*
<i>Orthemis schmidti</i> Buchholz, 1950	Rara	-	3***
<i>Orthemis</i> sp. Hagen, 1861	Rara	-	4***
<i>Orthemis sulphurata</i> Hagen, 1868	Rara	-	1***
<i>Perilestes solutus</i> Williamson & Williamson, 1924	Rara	-	3***
<i>Perithemis lais</i> Perty, 1834	Generalista	30,4	50
<i>Perithemis mooma</i> Kirby, 1889	Nível 3	17,3	10
<i>Remartinia</i> sp. Navás, 1911	Rara	-	1*
<i>Telebasis coccínea</i> Selys, 1876	Nível 1	49,0	9
<i>Telebasis filiola</i> Perty, 1834	Rara	-	1***
<i>Telebasis griffinii</i> Martin, 1896	Nível 2	0,0	9**
<i>Telebasis sanguinalis</i> Calvert, 1909	Rara	-	4***
<i>Tigriagrion aurantinigrum</i> Calvert, 1909	Generalista	24,7	23
<i>Tramea binotata</i> Rambur, 1842	Rara	-	2***
<i>Zenithoptera lanei</i> Santos, 1941	Generalista	21,0	13

Tabela 3 - Medidas morfológicas das espécies e as correlações com os Eixos 1 e 2 da Análise de Componentes Principais (ACP). BTL = comprimento total; FWL = comprimento das asas anteriores; FWW = largura das asas anteriores; HWL = comprimento das asas posteriores; HWW = largura das asas posteriores; TL = comprimento do tórax; AL = comprimento do abdômen.

Medidas Morfológicas	Loading	
	Eixo 1	Eixo 2
BTL	-0,581	-0,701
FWL	-0,957	-0,053
FWW	-0,896	0,271
HWL	-0,969	-0,039
HWW	-0,906	0,335
TL	-0,876	0,029
AL	-0,081	-0,937
Broken-Stick	2,592	1,592
Autovalor	4,594	1,563
%Explicação	65,647	22,333

DISCUSSÃO

As alterações ambientais promovidas pelas diversas atividades humanas influenciam a comunidade em escala local e regional, causando modificações na diversidade, podendo excluir espécies e abrir espaço para outras, bem como influenciar na morfologia, atuando como filtro (Pereira *et al.* 2019). Espécies generalistas tendem a ser maiores morfologicamente que as demais espécies e, habitar riachos mais abertos, que possibilitam maior entrada de luz solar (espécies heliotérmicas) e apresentam menor quantidade de obstáculos para o voo (espécies endotérmicas) (De Marco *et al.* 2015a), corroborando nossa hipótese 1, de que as espécies classificadas como generalistas serão maiores que as espécies especialistas em ambientes com menor impacto antrópico.

O comprimento e a largura das asas são as características estruturais que mais diferem entre generalistas e especialistas em ambientes com menor impacto antrópico, o que seria esperado, uma vez que generalistas são espécies que migram bastante entre os diferentes tipos de ambiente, necessitando de maior capacidade de voo (chamados de voadores) (Pereira *et al.* 2019). Outra característica importante para distinguir grupos foi o tórax, que é onde está localizada a musculatura de voo e, são mais bem desenvolvidos em generalistas para suprir a intensa atividade das asas. Especialistas passam maior parte do tempo em repouso, usando suas asas para voos curtos em busca de presas e defesa de território (Juen *et al.* 2014; De Marco *et al.* 2015a), desta forma, não necessitam de um tórax mais desenvolvido (chamados de pousadores). O comprimento total e do abdômen não foram características muito boas para diferenciar os grupos, pois podemos observar generalistas menores que especialistas em relação a essas duas medidas.

Nossa segunda hipótese, de que os menores valores de tolerância de nicho espacial serão das espécies classificadas como especialistas em ambientes com menor impacto antrópico, não foi corroborada, uma vez que duas espécies classificadas como especialistas deste tipo de ambiente (nível 1), *A. hasemani* e *T. coccinea*, também apresentaram um grande valor de nicho espacial. Assim, por mais que *A. hasemani* e *T. coccinea* estejam associadas a ambientes mais íntegros, conseguem também utilizar outros micro-habitat caso haja necessidade. Esse padrão já foi anteriormente registrado onde especialistas apresentaram uma grande amplitude de nicho (Mayor *et al.* 2015; Tolkkinen *et al.* 2015; Mykrä & Heino 2017).

Por apresentarem uma maior tolerância, essas espécies acabam diminuindo a competição inter e intraespecífica, o que permite a coexistência com outros Odonata, além disto, *A. hasemani* e *T. coccínea* podem até mesmo se beneficiar da degradação ambiental quando comparadas com outras espécies especialistas em ambientes íntegros e serem menos afetadas pela distribuição espacial das condições ambientais (Mykrä & Heino 2017). Tais espécies foram amostradas em riachos que apresentaram um grande valor de cobertura de dossel, assim, esta variável estrutural é provavelmente uma das mais importantes para que esse resultado fosse observado (De Marco *et al.* 2015a).

Nosso estudo apontou diferenças na estrutura ambiental entre os riachos com diferentes usos do solo (Figura 1). Riachos localizados no perímetro urbano da área de estudo, em geral, recebem esgoto, lixo doméstico e apresentam vegetação ripária reduzida, resultando no lixiviamento do solo com consequente assoreamento dos corpos d'água (Veras *et al.* 2020). Com isso, as condições naturais vão sendo modificadas (Couceiro *et al.* 2007, 2010), como é o caso dos riachos Itapecuruzinho, Lamego, e São José, que apresentam um baixo valor de IIH. As modificações dos riachos acabam influenciando direta e indiretamente a assembleia de Odonata e de outros organismos (Couceiro *et al.* 2007; Veras *et al.* 2020), favorecendo espécies tolerantes às variações ambientais e excluindo às que precisam de condições restritas para sua ocorrência (Monteiro-Júnior, 2013; Rodrigues *et al.* 2018).

Diferentemente do esperado, as espécies generalistas tiveram uma abundância maior do que as especialistas em riachos com menor impacto antrópico mesmo nos ambientes "ideais" (Büchi & Vuilleumier 2014; Mykrä & Heino 2017). As espécies generalistas são ótimas dispersoras, assim, os Odonata conseguem chegar facilmente em vários ambientes, e ocupar nichos diferentes das espécies residentes (Sternberg 1994; Juen *et al.* 2014; Pinto 2016; Renner *et al.* 2020). Um bom exemplo disso, são as poças temporárias que são rapidamente colonizadas por Odonata. A grande abundância de generalistas pode ser atribuída a um efeito de massa muito forte (Leibold *et al.* 2004), onde os espécimes migram buscando por recursos ou devido a variáveis como clima, temperatura ou competição (Sternberg 1994).

Das espécies registradas em nosso estudo, 12 foram classificadas como espécies generalistas, que são espécies tipicamente encontradas em locais abertos, como por exemplo, *E. basalis*, *E. fusca* e *E. umbrata* (De Marco & Vital 2008; Carvalho *et al.* 2013; Monteiro-Júnior *et al.* 2014, 2015; Calvão *et al.* 2018; Schröder *et al.*

2020). A maioria dos generalistas são Anisoptera, que suportam melhor as condições extremas do ambiente como alta radiação solar, e muitas espécies evitam ambientes sombreados, em virtude das restrições de termorregulação (De Marco *et al.* 2015a). Porém, existem algumas exceções até mesmo dentro da subordem Zygoptera, existindo espécies generalistas, como é o caso de espécies dos gêneros *Acanthagrion*, *Hetaerina* e *Tigriagrion* (Kompier 2015; Rodrigues *et al.* 2018; Renner *et al.* 2020; Schröder *et al.* 2020), classificadas como generalistas neste estudo. *A. aepiolum*, *A. gracile*, *H. auripennis* e *T. aurantinigrum*, apresentam comportamento ecológico de oviposição em macrófitas (Veras *et al.* 2020). Os ambientes abertos proporcionam a ocorrência de macrófita, contribuindo para o aumento da complexidade e da estrutura aquática para as Odonata (Brito *et al.* 2021), justificando assim a ocorrência dessas espécies em ambientes alterados (De Marco & Vital 2008; Kompier 2015; Calvão *et al.* 2018; Rodrigues *et al.* 2018; Schröder *et al.* 2020; Veras *et al.* 2020).

As cinco espécies classificadas como especialistas em ambientes com menor impacto antrópico (nível 1) pertencem a subordem Zygoptera (*E. westfalli*, *E. williamsoni*, *T. coccinea*, *H. dutati* e *A. hasemani*). Estas espécies são restritas a locais que possuem maior cobertura vegetal e melhores condições de habitat (Corbet & May 2008; Oliveira-Junior *et al.* 2013). Por serem menores e terem corpos mais delgados, essas espécies são mais suscetíveis ao aquecimento, dessecando mais facilmente, o que causaria a morte do espécime (De Marco *et al.* 2015a). Desta forma, a ausência de vegetação ripária em locais alterados é fator limitante para a ocorrência dos Zygoptera (Oertli 2008; Juen & De Marco 2011; Oliveira-Junior *et al.* 2013).

Três espécies classificadas como especialistas em ambientes com impacto moderado (nível 2), *E. venezuelensis*, *N. sylvatica* e *T. griffinii* pertencem a subordem Zygoptera. Na literatura *E. venezuelensis* foi registrada tanto em locais íntegros, sendo até apontada como bioindicadora de boas condições (Rodrigues *et al.* 2016; Gómez-Tolosa *et al.* 2020), como em locais alterados (Batista 2010), corroborando nosso achado. *N. sylvatica* e *T. griffinii* já foram observadas ocorrendo em ambientes com impacto intermediário (Batista 2010; Monteiro-Júnior *et al.* 2014, 2015). A combinação dos resultados (nossos dados com a literatura) traz a questão de que essas espécies possam ser generalistas. Contudo, novos estudos sobre a biologia e ecologia dessas espécies devem elucidar o porquê estes Zygoptera ocorrerem tanto em ambientes íntegros como alterados.

P. mooma e *E. peruviana* foram as únicas espécies especialistas em ambientes com maior impacto antrópico (nível 3), o que era esperado, pois muitas espécies da família Libellulidae são típicas de ambientes impactados, estando bastante associados a ambientes antropizados (Monteiro-Júnior *et al.* 2014, 2015; Schröder *et al.* 2020). Essas espécies possuem maior eficiência na capacidade de termorregulação corporal mesmo com a alta radiação solar presentes nas áreas mais abertas (Rodrigues *et al.* 2018). Essa característica permite que essas espécies consigam migrar e colonizar locais que outras não conseguiriam (De Marco *et al.* 2015a). Por mais que essas duas espécies sejam menores que alguns Zygoptera, como é o caso de espécies do gênero *Hetaerina*, elas possuem asas mais largas, ideais para voos em áreas abertas e um complexo muscular que ajuda no controle da temperatura corporal (De Marco *et al.* 2015a; Pereira *et al.* 2019).

A maioria das espécies foram consideradas raras por ocorrer em baixa abundância, padrão que já era esperado, visto que em uma assembleia muito diversa, a maioria das espécies são raras (Magurran & Henderson 2003; Mouillot *et al.* 2013). Mas esse é também um fato preocupante tendo em vista que a fragmentação dos ambientes aquáticos é um obstáculo na conservação de Odonata e de outras espécies (Diniz-Filho *et al.* 2010; Holffmann *et al.* 2010; Ferreira *et al.* 2014). O intenso processo de urbanização nas grandes cidades e a crescente exploração dos recursos naturais acabam eliminando espécies raras, promovendo a extinção local e alterando a comunidade de insetos aquáticos (Couceiro *et al.* 2007, 2010; Monteiro-Júnior 2013, 2014, 2015; De Marco *et al.* 2015b). Assim, a ocupação ao longo do gradiente com diferentes tipos de uso do solo mostra uma visão dos padrões dos Odonata, onde as espécies especializadas e raras têm sua distribuição limitada, enquanto as generalistas tendem a ter uma maior dispersão (Kneitel 2018).

CONCLUSÃO

Nossos dados mostram que as espécies generalistas tendem ser maiores que espécies especialistas em ambientes íntegros, possuindo asas maiores e mais largas, bem como tórax mais bem desenvolvidos, como requisitos para a ocorrência em variadas condições do gradiente ambiental. Observamos também que algumas espécies especialistas apresentam os maiores valores de nicho espacial. A grande quantidade de riachos classificados como nível 3 de integridade indica que os ambientes aquáticos da região estão sofrendo grandes impactos. As espécies raras e

outras com distribuição limitada e com requisitos de ambientes mais íntegros devem ser o foco de ações mitigatórias e compensatórias, pois elas têm maiores chances de desaparecerem devido as mudanças de clima e impactos antrópicos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade pelo fomento de bolsa de mestrado de Lucas Pereira Moura (Processo: 88887.472757/2019-00). Agradecemos a Daniel Silas Veras pelo auxílio em campo durante as coletas e aos doutores Leandro Brasil e José Max pelas valorosas contribuições na qualificação de mestrado. LJ agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade em pesquisa (processo: 304710/2019-9).

REFERÊNCIAS

- Aires T, Serrão EA, & Engelen AH. 2016. Host and environmental specificity in bacterial communities associated to two highly invasive marine species (genus *Asparagopsis*). *Frontiers in microbiology*, 7, 559.
- Arribas P, Andújar C, Abellán P, Velasco J, Millán A, & Ribera I. 2014. Tempo and mode of the multiple origins of salinity tolerance in a water beetle lineage. *Molecular Ecology*, 23(2), 360-373.
- Arribas P, Gutiérrez-Cánovas C, Botella-Cruz M, Cañedo-Argüelles M, Antonio Carbonell J, Millán A, & Sánchez-Fernández D. 2019. Insect communities in saline waters consist of realized but not fundamental niche specialists. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 374(1764), 20180008.
- Batista GN. 2017. Determinantes da estrutura de comunidades de insetos aquáticos em riachos na Amazônia: o papel do habitat e da escala espacial.
- Batista JD. 2010. Sazonalidade, impacto ambiental e o padrão de diversidade beta de Odonata em riachos tropicais no Brasil Central. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/7837/1/texto%20completo.pdf>
- Batista JD, Ferreira VRS, Cabette HSR, de Castro LA, De Marco P, & Juen L. 2021. Sampling efficiency of a protocol to measure Odonata diversity in tropical streams. *PloS one*, 16(3), e0248216.
- Brasil LS, de Lima EL, Spigoloni ZA, Ribeiro-Brasil DRG, & Juen L. 2020. The habitat integrity index and aquatic insect communities in tropical streams: a meta-analysis. *Ecological Indicators*, 116, 106495.
- Büchi L, & Vuilleumier S. 2014. Coexistence of specialist and generalist species is shaped by dispersal and environmental factors. *The American Naturalist*, 183(5), 612-624.
- Calvão LB, Juen L, de Oliveira Junior JMB, Batista JD, & Júnior PDM. 2018. Land use modifies Odonata diversity in streams of the Brazilian Cerrado. *Journal of Insect Conservation*, 22(5), 675-685.
- Campos FS, Vaz-Silva W. 2010. Temporal and spatial distribution of anuran fauna in different environments in Hidrolândia, Goiás State, Central Brazil. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 5, n. december, p. 179–187.
- Carboni M, Zelený D, & Acosta AT. 2016. Measuring ecological specialization along a natural stress gradient using a set of complementary niche breadth indices. *Journal of Vegetation Science*, 27(5), 892-903.
- Carvalho FG, Pinto NS, Oliveira-Junior JMB, Juen L. 2013. Efeitos da retirada da vegetação marginal sobre a comunidade de Odonata. *Acta Limnologica Brasiliensia* 25(1):10–18.
- Castro DMP, Dolédec S, & Callisto M. 2018. Land cover disturbance homogenizes aquatic insect functional structure in neotropical savanna streams. *Ecological Indicators*, 84, 573-582.
- Cezário RR, Firme PP, Pestana GC, Vilela DS, Juen L, Cordero-Rivera A, & Guillermo R. 2020. Sampling methods for dragonflies and damselflies. In *Measuring Arthropod Biodiversity* (pp. 223-240). Springer, Cham.

- Chao A, Lin SY. 2011. User's Guide for Program CLAM (Classification Method).
- Chazdon RL, Chao A, Colwell RK, Lin SY, Norden N, Letcher SG, Clark DB, Finegan B, Pablo Arroyo J. 2011. A novel statistical method for classifying habitat generalists and specialists. v. 92, n. 6, p. 1332–1343.
- Clavero M, & Brotons L. 2010. Functional homogenization of bird communities along habitat gradients: accounting for niche multidimensionality. *Global Ecology and Biogeography*, 19(5), 684-696.
- Couceiro SRM, Hamada N, Forsberg BR, & Padovesi-Fonseca C. 2010. Effects of anthropogenic silt on aquatic macroinvertebrates and abiotic variables in streams in the Brazilian Amazon. *Journal of Soils and Sediments*, 10(1), 89-103.
- Couceiro SRM, Hamada N, LUZ SLB, Forsberg BR, Pimentel TP. 2007. Deforestation and sewage effects on aquatic macroinvertebrates in urban streams in Manaus, Amazonas, Brazil. *Hydrobiologia*, 575:271-284.
- Couceiro SRM. 2009. Sedimentos antropogênicos em igarapés da base de operações geólogo Pedro Moura, Coari–AM: efeito sobre macroinvertebrados e degradação de folhas. Tese apresentada ao departamento de ecologia do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília, 122p.
- Corbet PS, & May ML. 2008. Fliers and perchers among Odonata: dichotomy or multidimensional continuum? A provisional reappraisal. *International Journal of Odonatology*, v. 11, n. 2, p. 155-171.
- Corbet PS. 1999. Dragonflies: Behavior and Ecology of Odonata. New York: Comstock publishing associates.
- Cunico AM. 2010. Efeitos da urbanização sobre a estrutura das assembleias de peixes em córregos urbanos neotropicais. Tese apresentada ao PPG Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, 78p.
- Davey CM, Chamberlain DE, Newson SE, Noble DG, & Johnston A. 2012. Rise of the generalists: evidence for climate driven homogenization in avian communities. *Global Ecology and Biogeography*, 21(5), 568-578.
- De Marco P, Batista JD, & Cabette HSR. 2015a. Community Assembly of Adult Odonates in Tropical Streams: An Ecophysiological Hypothesis. *PLoS ONE* v.10, n. 4, p. 1-17.
- De Marco P, Nóbrega CC, Souza RA, & Neiss UG. 2015b. Modeling the distribution of a rare Amazonian odonate in relation to future deforestation. *Freshwater science*, 34(4), 1123-1132.
- De Marco P, & Vital MVC. 2008. Ecology of *Tigriagrion aurantinigrum* Calvert in response to variations in environmental conditions (Zygoptera: Coenagrionidae). *Odonatologica*, 37(1), 1-11.
- Devictor V, Clavel J, Julliard R, Lavergne S, Mouillot D, Thuiller W, & Mouquet N. 2010. Defining and measuring ecological specialization. *Journal of Applied Ecology*, 47(1), 15-25.
- Diniz-Filho JAF, De Marco P. & Hawkins BA. 2010. Defying the curse of ignorance: perspectives in insect macroecology and conservation biogeography. *Insect Conservation and Diversity*, 3(3), 172–179.

- Dolédec S, Chessel D, & Gimaret-Carpentier, C. 2000. Niche separation in community analysis: a new method. *Ecology*, 81(10), 2914-2927.
- Espinosa ACE, Shimano Y, Rolim S, Maioli L, Juen L, & Dunck B. 2020. Effects of mining and reduced turnover of Ephemeroptera (Insecta) in streams of the Eastern Brazilian Amazon. *Journal of Insect Conservation*, 24(6), 1061-1072.
- Ferreira J, Aragão LEOC, Barlow J, Barreto E, Berenguer E, Bustamante M, Gardner TA, Lees AC, Lima A, Louzada J, Parry L, Peres CA, Pardini R, Pompeu PS, Tabarelli M, & Zuanon J. 2014. Brazil's environmental leadership at risk: Mining and dams threaten protected areas. *Science*, 346(6210), 706-707.
- Gómez-Tolosa M, Rivera-Velázquez G, Rioja-Paradela TM, Mendoza-Cuenca LF, Tejeda-Cruz C, & López S. 2020. The use of Odonata species for environmental assessment: a meta-analysis for the Neotropical region. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-16.
- Gotelli NJ, & Ellison AM. 2016. *Princípios de estatística em ecologia*. Artmed Editora.
- Gotelli NJ, & Colwell RK. 2001. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, v. 4, p. 379–391.
- Heino J, Mykrä H, Kotanen J, & Muotka T. 2007. Ecological filters and variability in stream macroinvertebrate communities: do taxonomic and functional structure follow the same path?. *Ecography*, 30(2), 217-230.
- Hernández-Fariñas T, Bacher C, Soudant D, Belin C, & Barillé L. 2015. Assessing phytoplankton realized niches using a French national phytoplankton monitoring network. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 159:15-27.
- Hoffmann M, Hilton-Taylor C, Angulo A, Böhm M, Brooks TM, Butchart SH, & Veloso A. 2010. The impact of conservation on the status of the world's vertebrates. *science*, 330(6010), 1503-1509.
- Hutchinson GE. 1957. Cold spring harbor symposium on quantitative biology. *Concluding remarks*, 22, 415-427.
- Ilhamdi ML, Al Idrus AGIL, Santoso D, & Hadiprayitno G. 2020. Community structure and diversity of Odonata in Suranadi Natural Park, West Lombok Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 21(2).
- Juen L, De Marco 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 and Diversity*, v. 4, n. 4, p. no-no.
- Juen L, Oliveira-Junior JMB, Shimano Y, Mendes TP, Cabette HS. 2014. Composição e riqueza de Odonata (Insecta) em riachos com diferentes níveis de conservação em um ecótono Cerrado-Floresta Amazônica. *Acta Amazonica*, v. 44, n. 2, p. 223–233.
- Karasiewicz S, Dolédec S, & Lefebvre S. 2017. Within outlying mean indexes: refining the OMI analysis for the realized niche decomposition. *PeerJ*, 5, e3364.
- Kefford BJ, Buchwalter D, Cañedo-Argüelles M, Davis J, Duncan RP, Hoffmann A, & Thompson R. 2016. Salinized rivers: degraded systems or new habitats for salt-tolerant faunas?. *Biology Letters*, 12(3), 20151072.
- Kneitel JM. 2018. Occupancy and environmental responses of habitat specialists and generalists depend on dispersal traits. *Ecosphere*, 9(3).

- Krynak EM, Lindo Z, Yates AG. 2019. Patterns and drivers of stream benthic macroinvertebrate beta diversity in an agricultural landscape. *Hydrobiologia* 837:61–75.
- Kompier T. 2015. A guide to the Dragonflies and Damselflies of the Serra dos Orgaos, South-eastern Brazil. Northam, UK: Regua Publications.
- Lambret P, Besnard A, & Matushkina N. 2015. Initial preference for plant species and state during oviposition site selection by an odonate. *Entomological Science*, 18(3), 377-382.
- Lencioni FAA. 2017 Damselflies of Brazil: An illustrated identification guide: Southeast Region.
- Levins R. 1968. Evolution in changing environments. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.
- Macarthur R, Levins R. 1964. Competition, habitat selection, and character displacement in a patchy environment. v. 51, p. 1207–1210.
- Magurran AE, & Henderson PA. 2003. Explaining the excess of rare species in natural species abundance distributions. *Nature*, 422(6933), 714-716.
- Massa SI, Paulino CM, Serrão EA, Duarte CM, & Arnaud-Haond S. 2013. Entangled effects of allelic and clonal (genotypic) richness in the resistance and resilience of experimental populations of the seagrass *Zostera noltii* to diatom invasion. *BMC ecology*, 13(1), 1-12.
- Martins RT, De Oliveira VC, Salcedo AKM. 2014. Use of aquatic insects in the assessment of anthropic impacts on aquatic ecosystems. In: Hamada N, Nessimian JL, Querino RB (eds) Aquatic Insects in the Brazilian Amazon: taxonomy, biology and ecology. INPA Publisher, Manaus, p 724
- Martins RT, Couceiro SR, Melo AS, Moreira MP, & Hamada, N. 2017. Effects of urbanization on stream benthic invertebrate communities in Central Amazon. *Ecological indicators*, 73, 480-491.
- Marvier M, Kareiva P, & Neubert MG. 2004. Habitat destruction, fragmentation, and disturbance promote invasion by habitat generalists in a multispecies metapopulation. *Risk Analysis: An International Journal*, 24(4), 869-878.
- May ML. 1976. Thermoregulation and adaptation to temperature in dragonflies (Odonata: Anisoptera). *Ecological Monographs*, 46(1), 1-32.
- Mayfield MM, Boni MF, Ackerly DD. 2009. Traits , Habitats , and Clades : Identifying Traits of Potential Importance to Environmental Filtering. **The American Naturalist**, v. 174, n. 1.
- Mayor SJ, Boutin S, He F, & Cahill JF. 2015. Limited impacts of extensive human land use on dominance, specialization, and biotic homogenization in boreal plant communities. *BMC ecology*, 15(1), 1-11.
- McPeck MA. 1996. Trade-offs, food web structure, and the coexistence of habitat specialists and generalists. *The American Naturalist*, 148, S124-S138.
- Mendes TP, Oliveira-Junior JMB, Cabette HSR, Batista JD, Juen L. 2017. Congruence and the biomonitoring of aquatic ecosystems: are Odonate larvae or adults the most effective for the evaluation of impacts. *Neotropical entomology*, 46(6), 631-641.

- Mendoza-Penagos CC, Calvão LB, & Juen L. 2021. A new biomonitoring method using taxonomic families as substitutes for the suborders of the Odonata (Insecta) in Amazonian streams. *Ecological Indicators*, 124, 107388.
- Miguel TB, Oliveira-Junior JMB, Ligeiro R, & Juen L. 2017. Odonata (Insecta) as a tool for the biomonitoring of environmental quality. *Ecological Indicators*, 81, 555-566.
- Monteiro Júnior CS. 2012. Efeitos da alteração ambiental causada pela urbanização na cidade de Manaus (AM) sobre comunidades de adultos de libélulas (Insecta: Odonata).
- Monteiro-Júnior CS, Couceiro, SRM, Hamada N, & Juen L. 2013. Effect of vegetation removal for road building on richness and composition of Odonata communities in Amazonia, Brazil. *International Journal of Odonatology*, 16(2), 135-144.
- Monteiro-Júnior CS, Juen L, & Hamada N. 2014. Effects of urbanization on stream habitats and associated adult dragonfly and damselfly communities in central Brazilian Amazonia. *Landscape and Urban Planning*, v. 127, n. 1, p. 28–40.
- Monteiro-Júnior CS, 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.
- Moore NW. 1984. Dragonflies as indicators of environmental health. **IUCN Species Survival Commission Newsletter**, v. 1984, p. 7-8.
- Mouillot D, Bellwood DR, Baraloto C, Chave J, Galzin R, Harmelin-Vivien M, & Thuiller W. 2013. Rare species support vulnerable functions in high-diversity ecosystems. *PLoS biology*, 11(5), e1001569.
- Mykrä H, & Heino J. 2017. Decreased habitat specialization in macroinvertebrate assemblages in anthropogenically disturbed streams. *Ecological Complexity*, 31, 181-188.
- Nessimian JL, Venticinque EM, Zuanon J, De Marco P, Gordo M, Fidelis L, Juen L. 2008. Land use, habitat integrity, and aquatic insect assemblages in Central Amazonian streams. p. 117–131.
- Oertli B. 2008. The use of dragonflies in the assessment and monitoring of aquatic habitats. In. *Dragonflies and Damselflies-Model Organisms for Ecological and Evolutionary Research*. p. 79 – 97.
- Oliveira-Júnior JMB, Cabette HSR, Silva-Pinto N, & 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*, v. 6, n. 1, p. 01-08.
- Oliveira-Junior JMB & Juen L. 2019. The Zygoptera/Anisoptera ratio (Insecta: Odonata): a new tool for habitat alterations assessment in Amazonian streams. *Neotropical entomology*, 48(4), 552-560.
- Pauls SU, Nowak C, Bálint M, & Pfenningez M. 2013. The impact of global climate change on genetic diversity within populations and species. *Molecular ecology*, 22(4), 925-946.
- Pereira DFG, de Oliveira Junior JMB, & Juen L. 2019. Environmental changes promote larger species of Odonata (Insecta) in Amazonian streams. *Ecological Indicators*, 98, 179-192.

Pereira-Moura L, de Sena WS, Neiss UG, & Couceiro SRM. 2021. Environmental integrity as a modeler of the composition of the Odonata community. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(4), 1-12.

Pinto AP. 2016. A fauna de libélulas da América do Sul: a última fronteira a ser desvendada. *Bol Inf Soc Bras Zool*, 117, 7-9.

Pinto AP 2021. Odonata in **Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil**. PNUD. Disponível em: <<http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil/171>>. Acesso em: 13 abr. 2021

Remsburg AJ, Olson AC, & Samways MJ. 2008. Shade alone reduces adult dragonfly (Odonata: Libellulidae) abundance. *Journal of insect behavior*, 21(6), 460-468.

Renner S. 2014. Composição de libélulas (odonata) em diferentes ambientes da floresta nacional de são francisco de paula, Rio Grande do Sul, Brasil.

Renner S, Dalzochio MS, Périco E, Sahlén G, & Suhonen J. 2020. Odonate species occupancy frequency distribution and abundance–occupancy relationship patterns in temporal and permanent water bodies in a subtropical area. *Ecology and Evolution*, 10(14), 7525-7536.

Renner S, Périco E, Dalzochio MS, Sahlén G. 2018. Water body type and land cover shape the dragonfly communities (Odonata) in the Pampa biome, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of Insect Conservation*, v. 22, n. 1, p. 113–125.

Resende BO, Ferreira VRS, Brasil LS, Calvão LB, Mendes TP, de Carvalho FG, & Juen L. 2021. Impact of environmental changes on the behavioral diversity of the Odonata (Insecta) in the Amazon. *Scientific Reports*, 11(1), 1-12.

Rodrigues ME, Moura EB, & Roque FO. 2018. Dragonflies as indicators of the environmental conditions of veredas in a region of central-western Brazil. *Oecologia Australis*, 23(4).

Rodrigues ME, de Oliveira Roque F, Quintero JMO, de Castro Pena JC, de Sousa DC, & Junior PDM. 2016. Nonlinear responses in damselfly community along a gradient of habitat loss in a savanna landscape. *Biological Conservation*, 194, 113-120.

Rosenzweig ML. 1981. A Theory of Habitat Selection. *Ecology*, v. 62, n. 2, p. 327–335.

Santos AJ. 2006. Estimativas de riqueza em espécies. In: Cullen L, Rudran R, Valladares-Padua C. Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre. Editora UFPR.

Schröder NM, Rippel CG, Walantus LH, Zapata PD, & Pessacq P. 2020. Odonata assemblages as indicators of stream condition—a test from northern Argentina. *North-Western Journal of Zoology*, 16(2).

Seiferling I, Proulx R, & Wirth C. 2014. Disentangling the environmental-heterogeneity–species-diversity relationship along a gradient of human footprint. *Ecology*, 95(8), 2084-2095.

Shimano Y, Juen L, Salles FF, Nogueira DS, & Cabette HSR. 2013. Environmental and spatial processes determining Ephemeroptera (Insecta) structures in tropical

streams. In *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* (Vol. 49, No. 1, pp. 31-41). EDP Sciences.

Silva DR, Herlihy AT, Hughes RM, Macedo DR, & Callisto M. 2018. Assessing the extent and relative risk of aquatic stressors on stream macroinvertebrate assemblages in the neotropical savanna. *Science of the Total Environment*, 633, 179-188.

Sternberg K. 1994. Niche specialization in dragonflies. *Advances in Odonatology*, 6(1), 177-198.

Suhonen J, Korkeamäki ESA, Salmela J, & Kuitunen M. 2014. Risk of local extinction of Odonata freshwater habitat generalists and specialists. *Conservation Biology*, 28(3), 783-789.

Tolkkinen M, Mykrä H, Annala M, Markkola AM, Vuori KM, & Muotka T. 2015. Multi-stressor impacts on fungal diversity and ecosystem functions in streams: natural vs. anthropogenic stress. *Ecology*, 96(3), 672-683.

Valadão H, Proença CE, Kuhlmann MP, Harris SA, Tidon R. 2019. Fruit-breeding drosophilids (Diptera) in the Neotropics: playing the field and specialising in generalism?. *Ecological Entomology*.

Vázquez DP, & Simberloff D. 2002. Ecological specialization and susceptibility to disturbance: conjectures and refutations. *The American Naturalist*, 159(6), 606-623.

Veras DS, Lustosa GS, Moura LP, Ferreira MFR, & Juen L. 2020. Differences in land use modify Odonata assemblages in the Cerrado-Caatinga ecotone. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 32.

Veras DS, Medeiros-França LC, Azêvedo CASde. 2019. Environmental spatial-temporal heterogeneity of streams in a Cerrado-Caatinga ecotone. v. 2, n. 3, p. 84–88.

Veras DS. 2017. Efeito da perda de integridade de riachos sobre assembleias de odonata (insecta) na zona ecotonal do leste do maranhão. n. August. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em Biodiversidade, Ambiente e Saúde (PPGBAS). Universidade Estadual do Maranhão, Caxias. 70 p.

Zamora-Marín JM, Gutiérrez-Cánovas C, Abellán P, Millán A. 2016. The role of protected areas in representing aquatic biodiversity: a test using α , β and γ diversity of water beetles from the Segura River Basin (SE Spain). *Limnetica*, 35(1), 179-192.

Zia A, Hussain I, Mehmood SA, Ahmad S, Shah M, & Bhatti AR. 2019. Richness and distribution of Odonata in Kurram district, Khyber Pakhtunkhwa. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 32(4), 589.

Wildermuth H. 1998. Dragonflies recognize the water of rendezvous and oviposition sites by horizontally polarized light: a behavioural field test. *Naturwissenschaften*, 85(6), 297-302.

Apêndice A

Tabela S1 - Lista dos riachos amostrados para fauna de Odonata adulto em Caxias, MA. Nível 1 = riachos com menor impacto antrópico; Nível 2 = riachos com impacto moderado; Nível 3 = riachos com maior impacto antrópico. IIH = Índice de Integridade de Habitat.

Riachos	IIH	Largura do Riacho (m)	Cobertura do Dossel (%)	Nível de Integridade	Nº do Riacho	Coordenadas Geográficas	
Inhamum	0,887	1,5	94,12	Nível 1	1	-4,89861	-43,4333
Soledade	0,915	1	94,12	Nível 1	2	-4,89556	-43,4211
Sumidouro	0,915	1,7	94,12	Nível 1	3	-4,89111	-43,4311
Deserto	0,313	2,5	88,24	Nível 3	4	-5,00278	-43,3292
Riachão	0,693	3,8	58,82	Nível 2	5	-4,93556	-43,3572
Areia Branca	0,810	2,3	82,35	Nível 1	6	-4,89861	-43,4233
Lamego	0,303	2,1	64,71	Nível 3	7	-4,81570	-43,3436
São José	0,316	3,5	52,94	Nível 3	8	-4,85500	-43,3397
Ouro	0,425	4,5	23,53	Nível 3	9	-4,64111	-43,4458
Planalçúcar	0,231	2	64,71	Nível 3	10	-4,90667	-43,3625
Batatal	0,344	4,3	52,94	Nível 3	11	-4,96167	-43,3869
Buriti	0,669	3	82,35	Nível 2	12	-4,91583	-43,1169
Limpeza	0,421	3,5	58,82	Nível 3	13	-4,64111	-43,4458
Sanharó	0,684	1,5	100	Nível 1	14	-4,86972	-43,3914
Cocos	0,265	2,5	96,47	Nível 3	15	-4,78222	-43,3742
Buriti Corrente	0,634	2	90	Nível 1	16	-4,75528	-43,6517
Itapecuruzinho	0,586	4	94,12	Nível 2	17	-4,88528	-43,3478
Lava-Pé	0,489	1,5	90	Nível 3	18	-4,91833	-43,2350

Poço Dantas	0,431	3,5	29,41	Nível 3	19	-4,71389	-43,4000
Água Sumida	0,874	2	94,12	Nível 1	20	-4,97000	-43,0728
Caititu	0,714	2,5	70,59	Nível 2	21	-4,97222	-43,0519
Xanadu	0,344	3	47,06	Nível 3	22	-4,95833	-43,1186
Bate-Forquilha	0,770	2	97,06	Nível 1	23	-4,93556	-43,135
Barragem	0,673	2,5	62,35	Nível 2	24	-4,90250	-43,1192

Comentários à coordenação do PPGBEES:

Parabenizo o aluno e seus orientadores pelo trabalho. Considero o aluno aprovado com correções em seu trabalho. A pesquisa possui um bom embasamento teórico e delineamento amostral. Entretanto, peço atenção para a escrita, a padronização dos objetivos e a relação das hipóteses com os resultados obtidos.

Embora o trabalho precise de uma revisão gramatical, o principal é que seja feita uma revisão de algumas análises (PERMANOVA e OMI), pois faltam informações sobre os resultados da análise de OMI e alguns pressupostos que deveriam ser atendidos. A forma como os dados foram classificados está confusa e precisa ser revisada.

Avaliação final do projeto de dissertação de mestrado**I - Aprovada (X)**

Aprovada: indica que o revisor aprova a dissertação sem ou com correções. Na existência de correções, estas devem ser indicadas nos comentários à coordenação e/ou no próprio documento da dissertação.

IV - Reprovada ()

Reprovada: indica que a dissertação não é adequada.

Nome do membro da banca: Thiago Pereira Mendes

Data: 09/10/2021

Assinatura:



Comentários à coordenação do PPGBEES:

O trabalho foi bem elaborado e contempla um tema atual na área de biodiversidade. Certamente a dissertação resultará numa boa publicação. Eu fiz sugestões diretamente no texto.

Parabéns ao candidato e orientadores (a)

Avaliação final do projeto de dissertação de mestrado

I - Aprovada (x)

Aprovada: indica que o revisor aprova a dissertação sem ou com correções. Na existência de correções, estas devem ser indicadas nos comentários à coordenação e/ou no próprio documento da dissertação.

IV - Reprovada ()

Reprovada: indica que a dissertação não é adequada.

Nome do membro da banca: Fabio de Oliveira Roque

Data: 29/set/2021

Assinatura:



Comentários à coordenação do PPGBEES:

A dissertação está bem escrita sendo necessários pequenos ajustes. Como o objetivo da introdução geral é atingir um público geral, sugiro uma revisão da escrita procurando reduzir a utilização de termos técnicos ou a explicação simplificada dos mesmos. Indiquei poucas correções ao longo do texto.

Avaliação final do projeto de dissertação de mestrado**I - Aprovada (X)**


Aprovada: indica que o revisor aprova a dissertação sem ou com correções. Na existência de correções, estas devem ser indicadas nos comentários à coordenação e/ou no próprio documento da dissertação.

IV - Reprovada ()

Reprovada: indica que a dissertação não é adequada.

Nome do membro da banca: Karina Schmidt Furieri

Data: 10/10/2021

Assinatura: 

Comentários à coordenação do PPGBEES:

O trabalho é bom e tem mérito científico. Em pouco tempo estará em nível da revista sugerida e em médio prazo certamente será publicado com pequenos ajustes.

Avaliação final do projeto de dissertação de mestrado

I - Aprovada (X)

Aprovada: indica que o revisor aprova a dissertação sem ou com correções. Na existência de correções, estas devem ser indicadas nos comentários à coordenação e/ou no próprio documento da dissertação.

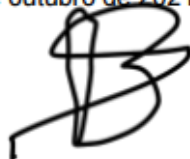
IV - Reprovada ()

Reprovada: indica que a dissertação não é adequada.

Nome do membro da banca: Leandro Schlemmer Brasil

Data: 11 de outubro de 2021

Assinatura:



Comentários à coordenação do PPGBEES:

A dissertação em referência possui 53 páginas e encontra-se organizada em introdução geral e capítulo único (com introdução, material e métodos, resultados, discussão e referências), através do qual o mestrando avalia, com clareza e rigor acadêmico, a relação entre a especificidade de habitat, a morfologia e as diferenças de amplitude de nicho espacial de adultos de Odonata, em riachos com diferentes condições ambientais no Cerrado maranhense, Brasil.

No geral, o esforço despendido na dissertação do mestrando Lucas Moura é de grande relevância para o conhecimento regional sobre a fauna de Odonata, suas relações com as condições ambientes em uma região pouco estudada e, provavelmente, com qualidade suficiente para se configurar como dissertação de potencial para publicação. Em todo o conteúdo a argumentação do mestrando revela experiência na ecologia do grupo estudado. No entanto, com intuito de contribuir um pouco mais com dissertação, eu pontuo de forma global e/ou pontual algumas sugestões aos autores no arquivo anexo, que disponibilizo (ver dissertação).

Em suma, os poucos ajustes que pontuei no arquivo, se seguidos, não são capazes de impedir a finalização positiva dessa etapa, e desta forma, sou de parecer favorável à aprovação da dissertação de mestrado de Lucas Pereira Moura, “Especificidade de habitat e morfologia - principais filtros para a distribuição de Odonata no Cerrado maranhense”.

Avaliação final do projeto de dissertação de mestrado

I - Aprovada (x)

Aprovada: indica que o revisor aprova a dissertação sem ou com correções. Na existência de correções, estas devem ser indicadas nos comentários à coordenação e/ou no próprio documento da dissertação.

IV - Reprovada ()

Reprovada: indica que a dissertação não é adequada.

Nome do membro da banca: José Max Barbosa de Oliveira Junior

Data: 09/10/2021

Assinatura:

Jose Marc B. de O. Junior