

JOSÉ MAX BARBOSA DE OLIVEIRA JUNIOR



**O EFEITO DA ALTERAÇÃO AMBIENTAL SOBRE ASSEMBLEIAS DE
ODONATA NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Juen

Co-orientador: Prof. Dr. Paulo De Marco Júnior

NOVA XAVANTINA
MATO GROSSO – BRASIL
2013

JOSÉ MAX BARBOSA DE OLIVEIRA JUNIOR

**O EFEITO DA ALTERAÇÃO AMBIENTAL SOBRE ASSEMBLEIAS DE
ODONATA NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Juen

Co-orientador: Prof. Dr. Paulo De Marco Júnior

NOVA XAVANTINA
MATO GROSSO – BRASIL
2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

O48e	<p>Oliveira-Junior, José Max Barbosa O efeito da alteração ambiental sobre assembleias de Odonata na Amazônia Oriental / José Max Barbosa de Oliveira Junior. Nova Xavantina: 2013.</p> <p>67 p.: Il.: 30 cm</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Leandro Juen</p> <p>Co-orientador: Prof. Dr. Paulo De Marco Júnior</p> <p>Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Mato Grosso, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Nova Xavantina, 2013.</p> <p>1. Libélulas neotropicais (Odonata). 2. Heterogeneidade ambiental. 3. Impactos ambientais. 4. Vegetação ripária – Qualidade ambiental. I. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 504.064.2</p>
------	--

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Nilva Pereira Silva, CRB: 860, Universidade Federal de Mato Grosso, *Campus* Universitário do Araguaia, Pontal do Araguaia.

O EFEITO DA ALTERAÇÃO AMBIENTAL SOBRE ASSEMBLEIAS DE ODONATA NA AMAZÔNIA ORIENTAL

José Max Barbosa de Oliveira Junior

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da
Universidade do Estado de Mato Grosso como requisito à obtenção do título de mestre em
Ecologia e Conservação

Nova Xavantina, 22 de fevereiro de 2013

APROVADO em 22 de fevereiro de 2013, pela BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Leandro Juen
Instituto de Ciências Biológicas-ICB
Universidade Federal do Pará-UFGPA
(Orientador)



Prof. Dra. Helena Soares Ramos Cabette
Departamento de Ciências Biológicas
Universidade do Estado de Mato Grosso-UNEMAT
(Membro interno)



Prof. Dr. Luciano Fogaca de Assis Montag
Instituto de Ciências Biológicas-ICB
Universidade Federal do Pará-UFGPA
(Membro externo)

Prof. Dra. Cristiane de Paula Ferreira
Instituto de Geociências/Faculdade de Oceanografia
Universidade Federal do Pará-UFGPA
(Suplente)

Prof. Dra. Joana Darc Batista
Departamento de Ciências Biológicas
Universidade do Estado de Mato Grosso-UNEMAT
(Suplente)

Aquela que jamais mediu esforços acreditando sempre em mim. “Minha querida e guerreira Mãe Alice”, a quem sempre serei grato. Na certeza de sua amizade e fraternidade, meu apoio nos momentos fáceis ou difíceis, guia de minhas decisões, sendo ela o mais forte dos pilares da minha vida.

“DEDICO”

Agradecimentos

Neste primeiro instante nada mais posso agradecer a não ser aquele que rege a vida em todas as suas formas “DEUS”.

Agradeço a UNEMAT pelo apoio institucional e acadêmico.

Aos meus pais Alice e José pelo apoio nessa longa jornada, me amparando e guiando em todos os passos percorridos. Em especial minha mãe, por ser exemplo de vida, e companheira mesmo que tenha sido para compartilhar momentos de angustia e dor, “mesmo assim sempre esteve presente”. A você mãe, meus eternos agradecimentos.

Agradeço ao meu orientador, Dr. Leandro Juen, que abdicou de muitas de suas atividades profissionais e parte de seu tempo pessoal à orientar-me. Estava sempre presente e mesmo com seu precioso tempo, ofereceu-me parte dele para orientação, dicas e contribuições, sendo ele a peça chave para a conclusão do presente manuscrito. Dando suporte ao meu pouco conhecimento, e de forma bem direta contribuindo para o meu crescimento profissional. Sempre serei grato.

Ao meu co-orientador Dr. Paulo De Marco Júnior pelo suporte acadêmico e institucional, acolhendo-me em seu laboratório.

A CAPES pela concessão da bolsa.

A todos os meus irmãos biológicos, digo assim “Biológicos”, pois nesta jornada de conhecimento é possível conhecer novos irmãos, que sempre compartilham algo conosco, mesmo que seja uma conversa de descontração. Ao Marcos, Suziane, Silvio e Winder, pois compartilham comigo o mesmo sangue, amizade, carinho e apoio.

Aos Doutores Neusa Hamada, Luciano Montag, Helena Cabette e Joana Darc Batista por suas sugestões em versões anteriores do manuscrito que foram de extrema importância.

A doutoranda Yulie Shimano, que jamais mediu esforços a nos ajudar. Com sua doçura e carisma, e além de tudo paciência, sempre me ouviu nos momentos mais atribulados,

oferecendo o seu melhor para elaboração deste. Aos mestrandos Fernando Carvalho e Erlane Cunha que mesmo com seus inúmeros afazeres sempre estiveram presentes na construção deste manuscrito, dando sugestões e contribuições significativas.

A doutoranda Lenize Calvão que primeiramente agradeço pela amizade sincera e valiosas sugestões para elaboração deste. Sou muito grato por todas as suas contribuições, deste uma simples dica até mesmo uma grande reestruturação. Ao Nelson por ter sido, mas que amigo, um guia, um irmão. Sempre me auxiliou nas atividades de laboratório, dando-me suporte na identificação das Odonatas. Em suma, me ensinando boa parte do pouco que hoje sei.

Ao especialista Frederico Lencioni pela confirmação da identificação dos Zygotera. A doutoranda Vivian Campos por ter gentilmente elaborado o mapa.

Agradecemos também os sindicatos rurais de Santarém, Belterra e Paragominas e todos os produtores rurais das regiões de estudo pelo seu apoio à pesquisa.

Agradecemos as seguintes fontes de financiamento pelo apoio financeiro: Programa Biodiversidade e Uso da Terra na Amazônia (CNPq 574008/2008-0), Embrapa (SEG 02.08.06.005.00), o Governo britânico através de Darwin Initiative (17-023), The Nature Conservancy e Natural Environment Research Council (NE/F01614X/1 e NE/G000816/1, respectivamente).

A todos os colegas de mestrado pelo apoio e companheirismo nessa longa jornada, em especial Sara Miranda, Adriana Mohr, Ana Cristina, Keila Nunes, Lucirene Rodrigues, Leticia Gomes e Simone Matias. Enfim, a todos aqueles que de forma direta ou indireta contribuíram para elaboração desta, e também aqueles que não foram citados, mas mereciam, “Meus Sinceros Agradecimentos”.

Sumário

Dedicatória	v
Agradecimentos.....	vi
Estrutura e formatação da dissertação	x
Resumo geral	xi
Introdução geral	1
Hipóteses testadas.....	3
Referências	5
CAPÍTULO 1: FATORES AMBIENTAIS QUE ESTRUTURAM A COMUNIDADE DE ODONATA (INSECTA) NA AMAZÔNIA ORIENTAL	7
Resumo	9
Introdução.....	10
Material e métodos	14
<i>Área de estudo</i>	14
<i>Coleta de dados</i>	15
<i>Amostragem de Odonata e procedimentos laboratoriais</i>	15
<i>Análise da integridade física dos igarapés</i>	16
<i>Índice de Integridade do Hábitat (IIH)</i>	16
<i>Índice de Integridade Física do Ambiente (IIF).....</i>	16
<i>Variáveis físico-químicas da água</i>	18
<i>Análise dos dados.....</i>	18
Resultados	19
<i>Integridade dos igarapés.....</i>	19
<i>Descrição da comunidade de Odonata</i>	19
<i>Relação entre riqueza de espécies de Odonata e qualidade ambiental dos igarapés.....</i>	19
<i>Fatores estruturadores da assembleia de Odonata</i>	22
Discussão	24
Conclusão	28
Agradecimentos	29
Referências	30
CAPÍTULO 2: LIBÉLULAS NEOTROPICAIS (INSECTA: ODONATA) COMO INDICADORAS DE QUALIDADE AMBIENTAL	36
Resumo	38
Introdução.....	39
Material e métodos	43
<i>Área de estudo</i>	43

<i>Coleta de dados</i>	44
<i>Amostragem biológica</i>	44
<i>Análise da integridade física dos igarapés</i>	45
<i>Análises dos dados</i>	46
Resultados	48
<i>Descrição da comunidade de Odonata</i>	48
<i>Curvas de acumulação e riqueza das espécies de Odonata</i>	48
<i>Características ambientais dos igarapés e suas relações com a riqueza estimada de espécies de Odonata</i>	50
<i>Espécies de Odonata indicadoras de qualidade ambiental</i>	52
Discussão	54
Conclusão	58
Agradecimentos	59
Referências	60
Conclusão geral	66
Apêndice	67
Apêndice I- Normas da revista “ <i>International Journal of Odonatology</i> ” utilizadas para formatação dos capítulos.....	67

Estrutura e formatação da dissertação

A dissertação intitulada **O efeito da alteração ambiental sobre assembleias de Odonata na Amazônia Oriental** está dividida em dois capítulos que estão no formato de artigos, cujos objetivos centrais e formatação seguem abaixo:

1º artigo- No primeiro artigo intitulado **Fatores ambientais que estruturam a comunidade de Odonata (Insecta) na Amazônia Oriental**, avaliamos os efeitos da integridade dos habitats físicos e variáveis físico-químicas de ambientes aquáticos da Amazônia Oriental sobre a riqueza de espécies de Odonata (Insecta). **2º artigo-** No segundo artigo intitulado **Libélulas neotropicais (Insecta: Odonata) como indicadoras de qualidade ambiental** procuramos identificar a existência de espécies de Odonata (Insecta) com especificidade/fidelidade a determinado nível de conservação, determinando suas potencialidades como bioindicadoras de qualidade ambiental em igarapés da Amazônia oriental.

A sequência dos conteúdos, bem como as normas de formatação dos dois artigos estão de acordo com as regras da revista “*International Journal of Odonatology*”, a qual os manuscritos serão submetidos.

Resumo geral

Neste estudo demonstramos quais são os fatores ambientais estruturadores da comunidade de Odonata, destacando espécies que podem ser utilizadas como indicadores ambientais, visto que na região Amazônica se mostram altamente associadas ao grau de integridade dos igarapés. O trabalho está dividido em dois capítulos: O primeiro elenca os principais fatores estruturadores da comunidade de Odonata e o segundo trata da relação de espécies de Odonata ao grau de integridade de ecossistemas aquáticos, avaliando se esses insetos podem ser utilizados como indicadores ambientais. Realizamos o estudo no município de Paragominas, PA, Brasil, onde foram amostrados 50 igarapés. Coletamos 1.769 espécimes, distribuídos em 11 famílias, 41 gêneros e 97 espécies. Demonstramos, no primeiro capítulo, que a riqueza de *Zygoptera* decresce e a de *Anisoptera* aumenta com a diminuição da integridade ambiental, sendo que o principal fator estruturador da comunidade de Odonata são as alterações na estrutura da vegetação ripária. No segundo capítulo indicamos algumas espécies de *Anisoptera* como indicadoras de ambientes degradados, enquanto que espécies de *Zygoptera* tendem a ser indicadoras de ambientes preservados. Sendo assim, uma predição do que acontece no ambiente com a modificação de fatores ambientais, nos reforça a premissa de que a identificação da associação de Odonata com os diferentes habitats é uma ferramenta essencial para caracterizar a resposta desses organismos frente às modificações no ambiente. Desta forma, propomos também que Odonata é um grupo eficiente para avaliação da qualidade ambiental, pois além de ser rápido e demandar pouco recurso financeiro para coleta e identificação, nos permite, ainda, fazer predições distintas para cada subordem devido às diferenças ecofisiológicas do grupo.

Palavras-Chave: Libélulas (Odonata), heterogeneidade ambiental, impactos ambientais, vegetação ripária.

Introdução geral

Processos físicos são fundamentais na estruturação dos ecossistemas aquáticos, pois produzem a variabilidade de habitats que está relacionada diretamente com a diversidade de espécies de organismos aquáticos (Barbour et al., 1999). No entanto, essa heterogeneidade estrutural natural tem sido perdida em decorrência de alterações nas bacias de drenagem que levam a perda de características naturais. O resultado final desse processo de conversão de áreas naturais para atividades humanas é a perda da maior fração da diversidade biológica original (Shepp & Cummins, 1997).

Dentre os inúmeros grupos de organismos aquáticos, as libélulas (Odonata) apresentam distribuição, riqueza e composição altamente associadas às modificações ambientais (Juen et al., 2007; Silva et al., 2010). Por habitar dois distintos ambientes durante o seu desenvolvimento: fase imatura aquática e a adulta terrestre/aérea (Corbet, 1999), esses organismos podem ser indicadores de modificações que ocorrem tanto no meio aquático quanto no terrestre (Reis et al., 2011; Pinto et al., 2012).

Aliado a essas características, o reflexo imediato de alterações ambientais em um habitat é a principal razão pela qual cada vez mais os Odonata têm sido utilizados como bioindicadores do estado ecológico e integridade de ecossistemas aquáticos (Foote & Rice Hornung, 2005; Roquette & Thompson, 2005). Seja pela variação na abundância (Williams et al., 2004), riqueza (McCauley, 2007), composição (Clausnitzer, 2003) ou até mesmo variações morfológicas (Pinto et al., 2012), tornando assim essa ordem de insetos uma forte ferramenta para estudos sobre priorização de conservação (Nóbrega & De Marco, 2011; Juen & De Marco, 2012).

Diante dos problemas criados pela conversão de áreas naturais em pastagens e monoculturas, o uso de bioindicadores se torna fundamental para avaliar a qualidade dos

ambientes e assim compreender os padrões de diversidade das espécies e quais fatores são os mais importantes para entender suas estruturas e avaliar como a diversidade do grupo é mantida, o que pode levar os ecólogos e conservacionistas a terem um melhor entendimento dos processos físicos que regulam a distribuição espacial e temporal dessa biodiversidade nos ecossistemas, ajudando desta forma a definir estratégias adequadas para o planejamento e conservação da sua diversidade biológica (Veech et al., 2002; Balvanera et al., 2002).

Hipóteses testadas

- **Artigo 1** - A hipótese a ser testada é que as alterações ambientais e mudanças nas características físicas da vegetação causariam uma diminuição na complexidade ambiental dos igarapés e em consequência disso, a riqueza de espécies de Zygoptera diminuiria devido ao seu alto grau de exigência e maior especificidade de habitat, consequência de suas restrições de termorregulação. Por outro lado, a riqueza de espécies de Anisoptera aumentaria em virtude da maior entrada de luz e calor nestes ambientes, basicamente devido suas necessidades e restrições de termorregulação (May, 1991), capacidade de dispersão e baixa exigência ambiental (McCauley, 2007).

Ainda baseados nos processo de termorregulação de ambos os grupos, esperamos que a vegetação ripária (mais do que outros fatores tais como: estrutura do canal, impactos humanos e variáveis físico-químicas da água) seja o principal fator a afetar a distribuição, riqueza e/ou composição de espécies de Odonata (Samways & Steytler, 1996; Juen & De Marco, 2012). A remoção da vegetação ripária pode maximizar a incidência da luz solar e reduzir a disponibilidade de recursos para muitas espécies, o que levaria a um processo de homogeneização de espécies de Odonata, por substituição de espécies especialistas por espécies mais generalistas (Remsburg e Turner, 2009).

- **Artigo 2** - A hipótese a ser testada é que igarapés alterados e degradados (ambientes com maior entrada de luz e calor) irão abrigar composição de espécies indicadoras diferente dos preservados. É esperado que as espécies de Anisoptera (indivíduos de maior tamanho corporal) devido suas necessidades e restrições de termorregulação (May, 1991), capacidade de dispersão e baixa exigência ambiental (McCauley, 2007), sejam menos especialistas, e por isso, muitas espécies devem ser potenciais indicadores de ambientes degradados e/ou alterados, e que apresentam menor quantidade de vegetação nativa.

Por outro lado, espécies de Zygoptera (indivíduos menores) geralmente possuem alto grau de especificidade por ambientes onde os recursos necessários estariam disponíveis. Espécies desta subordem seriam mais especialistas, o que MacArthur & Levins (1964) consideram como sendo espécies “grão grosseiro” (espécies especialistas de hábitat). Desta forma, espécies dessa subordem apresentariam menor riqueza em locais alterados e degradados (Corbet, 1999), apresentando um maior número de espécies indicadoras de ambientes preservados (ambientes com menor entrada de luz e calor).

Referências

- Balvanera, P., Lott, E., Segura, G., Siebe, C. & Islas, A. (2002). Patterns of diversity in a Mexican tropical dry forest. *Journal of Vegetation Science*, 13, 145-158.
- Barbour, M.T., Gerritsen, J., Snyder, B.D. & Stribling, J.B. (1999). Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fishes. Second Edition, EPA. Washington, 290p.
- Clausnitzer, V. (2003). Dragonfly communities in coastal habitats of Kenya: indication of biotope quality and the need of conservation measures. *Biodiversity and Conservation*, 12, 333-356.
- Corbet, P.S. (1999). *Dragonflies: behavior and ecology of Odonata*. Comstock Publ. Assoc., Ithaca, NY, 829p.
- Foot, A.L. & Rice Hornung, C.L. (2005). Odonates as biological indicators of grazing effects on Canadian prairie wetlands. *Ecological Entomology*, 30, 273-283.
- Juen, L., Cabette, H.S.R. & De Marco, P.Jr. (2007). Odonate assemblage structure in relation to basin and aquatic habitat structure in Pantanal wetlands. *Hydrobiologia*, 579, 125-134.
- Juen, L. & De Marco, P.Jr. (2012). Dragonfly endemism in the Brazilian Amazon: competing hypotheses for biogeographical patterns. *Biodiversity and Conservation*, 21(13), 3507-3521.
- May, M.L. (1991). Thermal adaptations of dragonflies, revisited. *Advances in Odonatology*, 5, 71-88.
- MacArthur, R. & Levins, R. (1964). Competition, habitat selection and character displacement in a patchy environment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 51, 1207-1210.
- McCauley, S.J. (2007). The role of local and regional processes in structuring larval dragonfly distributions across habitat gradients. *Oikos*, 116, 121-133.
- Nóbrega, C.C. & De Marco, P.Jr. (2011). Unprotecting the rare species: a niche-based gap analysis for odonates in a core Cerrado area. *Diversity and Distributions*, 17, 491-505.
- Pinto, N.S., Juen, L., Cabette, H.S.R. & De Marco, P.Jr. (2012). Fluctuating asymmetry and wing size of *Argia tinctipennis* Selys (Zygoptera: Coenagrionidae) in relation to Riparian Forest preservation status. *Neotropical Entomology*, 41, 1-9.
- Reis, E.F., Pinto, N.S., Carvalho, F.G. & Juen, L. (2011). Efeito da integridade ambiental sobre a assimetria flutuante em *Erythrodiplax basalis* (Libellulidae: Odonata) (Kirby). *EntomoBrasilis*, 4, 103-107.

Remsburg, A.J. & Turner, M.G. (2009). Aquatic and terrestrial drivers of dragonfly (Odonata) assemblages within and among north-temperate lakes. *Journal of the North American Benthological Society*, 28 (1), 44-56.

Roquette, J.R. & Thompson, D.J. (2005). Habitat associations of the endangered Damselfly, *Coenagrion mercuriale*, in a water meadow ditch system in southern England. *Biological Conservation*, 123, 225-235.

Samways, M.J. & Steytler, N.S. 1996. Dragonfly (Odonata) distribution patterns in urban and forest landscapes, and recommendations for riparian management. *Biological Conservation*, 78, 279-288.

Shepp, D.L. & Cummins, J.D. (1997). Restoration in a urban watershed: Anacostia River of Maryland and the district of Columbia. In: Willians, J.E, Wood, C.A. & Dombeck, M.P., editors. Watershed restoration: principles and practices. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.

Silva, D.P., de Marco, P.Jr. & Resende, D.C. (2010). Adult odonate abundance and community assemblage measures as indicators of stream ecological integrity: A case study. *Ecological Indicators*, 10, 744-752.

Veech, J.A., Summerville, K.S., Crist, T.O. & Gering, J.C. (2002). The additive partitioning of species diversity: recent revival of an old idea. *Oikos*, 99, 3-9.

Williams, P., Whitfield, M., Biggs, J., Bray, S., Fox, G., Nicolet, P. & Sear, D. (2004). Comparative biodiversity of rivers, streams, ditches and ponds in an agricultural landscape in Southern England. *Biological Conservation*, 115 (2), 329-341.

Artigo 1

**FATORES AMBIENTAIS QUE ESTRUTURAM A COMUNIDADE DE ODONATA
(INSECTA) NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Formatado de acordo com as normas da revista *International Journal of Odonatology*
(Apêndice I)

Fatores ambientais que estruturam a comunidade de Odonata (Insecta) na Amazônia Oriental

José Max Barbosa de Oliveira Junior^a*, Paulo De Marco Júnior^b, Toby Alan Gardner^c, Bob Hughes^d, & Leandro Juen^{a,e}

^a Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade do Estado de Mato Grosso, Br 158, Km 148, CEP:78690-000, Nova Xavantina-MT, Brasil. e-mail: josemaxoliveira@gmail.com

^b Laboratório de Ecologia Teórica e Síntese, Departamento de Ecologia, Universidade Federal de Goiás, CEP: 74.001-970, Goiânia, Goiás, Brasil. e-mail: pdemarco@icb.ufg.br; pdemarco@pq.cnpq.br

^c Department of Zoology, University of Cambridge, Downing Street, CB2 3EJ, UK. Lancaster Environment Centre, Lancaster University, LA1 4YQ, United Kingdom. e-mail: tobyagardner@gmail.com

^d Amnis Opes Institute and Department of Fisheries & Wildlife, Oregon State University, 200 SW 35th St., Corvallis, OR 97333, USA

^e Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Correia, Nº 1, Bairro Guamá, CEP: 66075-110, Belém, Pará, Brasil. Laboratório de Ecologia de Comunidades. e-mail: leandrojuen@ufpa.br

*Autor para correspondência

Resumo

Neste estudo demonstramos quais fatores ambientais estruturam a comunidade de Odonata. Para isso amostramos 50 igarapés no município de Paragominas, PA, Brasil. Coletamos 1.769 espécimes, distribuídos em 11 famílias, 41 gêneros e 97 espécies. A subordem Zygoptera contribuiu com 961 e Anisoptera com 808 indivíduos. Com o aumento da integridade ambiental ocorre aumento na riqueza de espécies de Zygoptera e decréscimo na riqueza de espécies de Anisoptera. Dos fatores ambientais analisados (vegetação ripária, impactos humano, estrutura do canal e variáveis físico-químicas da água) foi a abertura de dossel a que apresentou maior influencia, tanto sobre Zygoptera como para Anisoptera. Com o aumento da cobertura de dossel no canal ocorre um aumento na riqueza de espécies de Zygoptera, e um decréscimo na riqueza de espécies de Anisoptera. A estrutura do canal dos igarapés e as variáveis físico-químicas da água são fatores que afetam apenas a riqueza de espécies de Zygoptera, sendo que com o aumento dos ângulos das margens, no número de madeiras e na condutividade elétrica promovem aumento, a elevação da temperatura da água promove decréscimo na riqueza de espécies. A perda da integridade e estrutura da vegetação ripária mostraram ser os principais fatores estruturadores da comunidade de Odonata. Destacamos, assim, que manter a vegetação ripária intacta ou recuperá-la após um determinado impacto são os primeiros passos fundamentais para a conservação ou reestabelecimento da estrutura da comunidade aquática de Odonata.

Palavras-Chave: Atividades antrópicas; Complexidade ambiental; Libélulas; Riqueza de espécies.

Introdução

Entender como as espécies estão distribuídas tem sido um dos objetivos principais em ecologia, possibilitando avaliar quais fatores ambientais ou variáveis físicas que podem ser determinantes para essa estruturação, permitindo fazer predições para as comunidades (Cortezzi et al., 2009). Nos sistemas aquáticos, fatores que agem em diferentes escalas espaciais e temporais tais como a complexidade do hábitat (Weigel et al., 2003), variáveis físico-químicas da água (Anjos & Takeda, 2005) e/ou fatores fortemente ligados à atividades antropogênicas (Ometo et al., 2000) são considerados como os mais importantes para a estruturação das comunidades. Tais fatores tornam os sistemas aquáticos mais heterogêneos, assim, é de esperar que os habitats tenham uma maior diversidade de espécies, por fornecerem maior quantidade de microhabitats, o que possibilitaria maior compartilhamento de nichos (Bazzaz, 1975).

É importante observar que um dos grandes responsáveis pela variação da heterogeneidade de ambientes aquáticos é a vegetação ripária (Tews et al., 2004). Mudanças na distribuição ou na densidade da vegetação podem acarretar no arraste de grandes quantidades de sedimentos (proveniente de áreas adjacentes aos corpos d'água), bem como, afetar diretamente a quantidade de luz que passa pelo dossel (Pringle et al., 2003). Esses aspectos influenciam diretamente a proporção de grupos alimentares funcionais dos invertebrados, devido ao aumento da entrada de sedimentos e nutrientes nestes ambientes (Samways & Steytler, 1996; Cummins et al., 2005).

As variações na velocidade da correnteza, profundidade e vazão também afetam a composição e a distribuição espacial da fauna de muitos grupos aquáticos (Horwitz, 1977; Kikuchi & Uieda, 1998), pois influenciam na distribuição do alimento, remoção de nutrientes, disponibilidade e heterogeneidade de microhabitats (Allan, 1995). Por outro lado, as variáveis físicas e/ou físico-químicas da água (Jacob et al., 1984; Courtney & Clements, 1998), tais

como, o pH, condutividade e oxigênio podem ter grande influência na estrutura biótica e na organização dentro dos sistemas aquáticos (Kikuchi & Uieda, 1998; Mugodo et al., 2006), pois muitas espécies são estenotópicas a essas variáveis podendo afetar o desenvolvimento das larvas, comprometendo seu sucesso como adulto e/ou aumentando a probabilidade de extinção local, sejam estes adultos aquáticos, semi-aquáticos ou terrestres.

Adicionalmente as modificações ambientais de origem antropogênicas podem modificar todas as outras variáveis acima citadas, alterando a riqueza e a composição faunística dos organismos aquáticos (Juen et al., 2007; Oertli, 2008; Silva et al., 2010), visto que essas modificações levam a uma diminuição na integridade dos ambientes, devido a alteração da dinâmica natural das comunidades biológicas resultando na perda de habitats (Goulart & Callisto, 2003).

Sendo a “saúde” dos corpos d’água estreitamente relacionada às atividades antropogênicas realizadas em seu entorno, um passo fundamental para executar medidas eficientes de conservação desses sistemas só serão corretamente identificadas a partir da compreensão de como grupos aquáticos reagem à alteração de sua integridade ambiental, permitindo identificar quais variáveis físicas e biológicas estão afetando esses organismos (Tate & Heiny, 1995).

Dentre os inúmeros grupos aquáticos os Odonata são especialmente adequados para a detecção de perturbações, pois apresentam distribuição, riqueza e composição altamente associadas às variações nas condições que compõe um habitat físico (Williams et al., 2004; Pinto et al., 2012), terem longo ciclo de vida (Rodríguez-Capítulo, 1992), ampla distribuição nos sistemas aquáticos (Corbet, 1983) e apresentarem fase imatura aquática e adulta terrestre/aérea (Oertli, 2008). O fato de habitar dois ambientes distintos durante o seu desenvolvimento desperta grande interesse na relação dos efeitos da integridade ambiental sobre a distribuição das espécies desse grupo, uma vez que elas podem ser indicadoras de

modificações que ocorrem tanto no meio aquático quanto terrestre (Briers & Biggs, 2003; Pinto et al., 2012). Essas características tornam essa ordem de insetos um elemento importante para conservação, pois nos fornece um entendimento da relação entre variáveis físicas, biológicas e comunidades biológicas (Juen & De Marco, 2012).

As exigências ecofisiológicas, como comportamento de vôo e capacidade de termorregulação de indivíduos da ordem Odonata (Corbet, 1999) podem ser afetadas por vários fatores como a interceptação de luz por árvores (Thery, 2001). Indivíduos menores (Zygoptera) realizam termorregulação por convecção (May, 1991), desta maneira, sofrem restrições de ocupação em áreas abertas (ou áreas com grande incidência de luz solar), já os indivíduos da subordem Anisoptera são maiores e termorregulam principalmente através da irradiação solar (May, 1991; Corbet, 1999) necessitando dessa irradiação para iniciarem suas atividades.

Em função dessas exigências ecofisiológicas, diversos estudos têm investigado como a diversidade destes insetos é afetada, seja por alterações na cobertura vegetal (Samways & Steytler, 1996), estado de conservação dos rios (Stewart & Samways, 1998), variáveis físicas e/ou físico-químicas (Jacob et al., 1984) e outros fatores fortemente ligados a influência antropogênica (Juen et al., 2007; Oertli, 2008; Silva et al., 2010).

Inúmeros são os estudos que buscam descrever ou tentar explicar a grande diversidade tropical de Odonata (e.g. Foote & Hornung, 2005; Silva et al., 2010; Dalzochio et al., 2011; Juen & De Marco, 2011) . No entanto, a maioria englobando apenas um ou dois fatores isolados, sendo poucos os que agregam todos estes processos. Desta forma, é fundamental avaliar o efeito combinado dos diferentes fatores ambientais, analisando a contribuição de cada um sobre os padrões de estruturação das comunidades. Uma vez que eles podem atuar em sinergia maximizando ou até mesmo neutralizando as modificações provocadas pelo homem.

Neste contexto nosso objetivo foi avaliar o efeito da alteração da integridade ambiental e dos fatores físicos e físicos - químicos da água sobre a estruturação da assembleia de Odonata adultos na Amazônica Oriental. A hipótese a ser testada é que as alterações ambientais e mudanças nas características físicas da vegetação causariam diminuição na complexidade ambiental dos igarapés e em consequência disso, a riqueza de espécies de Zygoptera diminuiria devido ao seu alto grau de exigência por ambientes onde os recursos estariam disponíveis e, alta especificidade dada suas restrições de termorregulação. Por outro lado, a riqueza de espécies de Anisoptera aumentaria em virtude da maior entrada de luz e calor nestes ambientes, basicamente devido suas necessidades e restrições de termorregulação (May, 1991), capacidade de dispersão e baixa exigência ambiental (McCauley, 2007).

Ainda baseados nos processo de termorregulação de ambos os grupos, esperamos que a vegetação ripária (mais do que outros fatores tais como: estrutura do canal, impactos humanos e variáveis físico-químicas da água) seja um dos principais fatores que afetam a distribuição, riqueza e/ou composição de espécies de Odonata (Samways & Steytler, 1996). Por interceptar e absorver a radiação solar, a vegetação ripária contribui para a estabilidade térmica dos pequenos cursos d'água, sua remoção pode maximizar a incidência da luz solar e reduzir a disponibilidade de recursos para muitas espécies, o que levaria a um processo de substituição de espécies de Odonata, onde espécies especialistas seriam substituídas por espécies mais generalistas (Steinblums et al., 1984).

Material e Métodos

Área de estudo

Realizamos o estudo em 50 igarapés (150 m de cada igarapé) no município de Paragominas, localizado no nordeste do estado do Pará, Brasil, entre as coordenadas 2° 25' e 4° 09'S e 46° 25' e 48° 54'W (Figura 1). O clima predominante na região é do tipo Aw segundo a classificação de Köppen, caracterizado como tropical chuvoso com estação seca curta bem definida e com chuvas inferiores a 60 mm, temperatura média anual de 27,2 °C, umidade relativa do ar de 81% e precipitação pluviométrica média de 2.000mm/ano. O período de menor disponibilidade hídrica ocorre de junho a dezembro (Diniz, 1986).

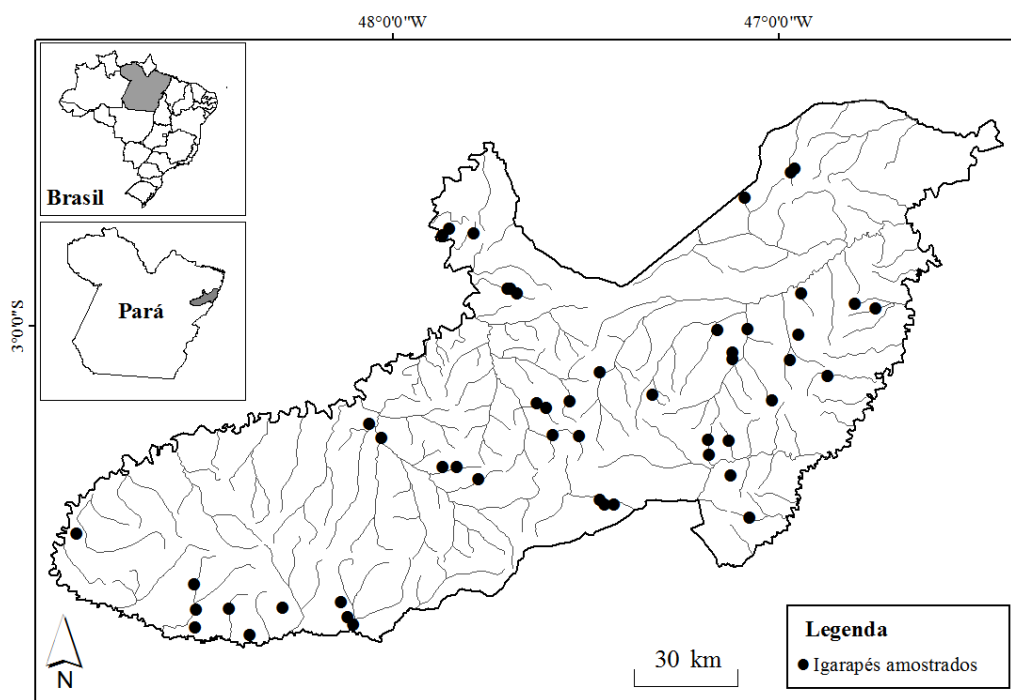


Figura 1. Rede de drenagem e distribuição dos 50 igarapés (trechos de 150 m) amostrados na Amazônia Oriental, Paragominas, PA, Brasil, 2011.

A vegetação da área estudada é classificada de acordo com Veloso et al. (1991) nos seguintes ambientes fitoecológicos: Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta Mista de Cipó e Palmeira; e Floresta Ombrófila Densa Aluvial. A região mais desflorestada localiza-se na porção nordeste do município, em uma região de extração de madeira no final

dos anos 1990, seguida pela criação de gado e plantações de grãos, sendo estas as atividades antropogênicas predominantes hoje (Pezzuti & Silva, 2009). A maior área de floresta primária no município, que apresenta características físicas, químicas e biológicas naturais quase que inalteradas pertence à uma empresa madeireira com certificação florestal, localizada na região sudeste do município (Sabogal et al., 2009).

Coleta de dados

Amostragem de Odonata e procedimentos laboratoriais

Amostramos os 50 igarapés no período de estiagem entre os meses de junho e agosto do ano de 2011. Utilizamos a metodologia de varredura em áreas fixas, na qual demarcamos 100 m (trechos) em cada igarapé, subdividindo-os em 20 segmentos de cinco metros (pseudorélicas). Indivíduos adultos foram coletados com rede entomológica possibilitando a confirmação da identificação visual realizada em campo. Permanecemos em cada ponto, em média, uma hora (De Marco, 1998). Essa metodologia já tem sido usada com sucesso em outros estudos (Juen & De Marco, 2011; Pinto et al., 2011; Reis et al., 2011; Pinto et al., 2012), mostrando ser eficiente em métodos rápidos de amostragem.

Mensuramos a temperatura e umidade do ar em local sombreado. Realizamos as coletas impreterivelmente entre as 10 e 14 h, quando os raios solares alcançavam o igarapé, essas condições mínimas são necessárias para garantir que todos os grupos de Odonata (conformadores, heliotérmicos e endotérmicos) estivessem ativos no momento da coleta (De Marco & Resende, 2002). Para o acondicionamento dos espécimes seguimos o protocolo descrito em Lencioni (2006), que foram então identificados utilizando chaves de Borror (1945), Belle (1988; 1996), Garrison (1990), Carvalho & Calil (2000), Costa et al. (2002), Lencioni (2005; 2006), Garrison et al. (2006; 2010), comparando-os com material testemunho da coleção e, quando necessário, enviamos exemplares para os especialistas Frederico Lencioni (Zygoptera) e Ângelo Pinto (Anisoptera). Depositamos os exemplares como

material testemunho na Coleção do Museu de Zoologia da Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil.

Análise do hábitat físico dos igarapés

Índice de Integridade do Hábitat (IIH)

O primeiro procedimento que usamos para avaliar a integridade dos pontos consiste no protocolo descrito no Índice de Integridade do Hábitat (IIH) de Nessimian et al. (2008): esse é constituído por 12 itens que descrevem as condições ambientais avaliando características como: o padrão de uso da terra adjacente à vegetação ribeirinha; largura da mata ciliar e seu estado de preservação; estado da mata ciliar dentro de uma faixa de 10m; descrição da condição do canal quanto ao tipo de sedimento e presença de dispositivos de retenção; estrutura e desgaste dos barrancos marginais do rio; caracterização do leito do rio quanto ao substrato, vegetação aquática, detritos e disposição das áreas de corredeiras, poções e meandros. Cada item é composto de quatro a seis alternativas. Essas alternativas estão ordenadas de forma a representar sistemas cada vez mais íntegros, onde os valores obtidos variam em uma escala de 0-1, ou seja, quanto mais próximo de um mais íntegro é considerado o ponto.

Índice de Integridade Física do Ambiente (IIF)

O segundo procedimento usado para avaliar a complexidade dos igarapés consiste no protocolo descrito no Índice de Integridade Física do Ambiente (IIF) de Peck et al. (2006), das várias características mensuradas nesse protocolo usamos as métricas de vegetação ripária, impacto humano e estrutura do canal. Para a vegetação ripária a caracterização qualitativa da zona ripária é feita a partir da visualização de uma área de 10m² em cada margem no entorno do transecto. A zona ripária é classificada de 0 a 4. Sendo atribuído o valor “0” (zero) quando não houver vegetação, “1” (< 10%) quando forem presentes, mas esparsas, “2” (10-40%) em uma quantidade moderada, “3” (40-75%) grande quantidade e “4”

(> 75%) em uma quantidade muito grande. Os extratos da vegetação avaliados dentro da zona ripária são: dossel (> 5m de altura) dividido em árvores grandes (> 0,30m DAP) e árvores pequenas (< 0,30m DAP); sub-bosque (0,5 a 5m de altura) dividido em arbustos lenhosos, mudas, ervas sem tronco lenhoso e gramíneas; e vegetação rasteira (< 0,5 m de altura) divididos em arbustos lenhosos e mudas, ervas sem tronco lenhoso e gramíneas e solo sem cobertura vegetal e/ou serapilheira. Medidas da cobertura do dossel no canal são obtidas com uso de um densiômetro (%) realizadas seis vezes em cada transecto: centro direita, centro esquerda, centro montante, centro jusante, e próximo às margens direita e esquerda.

Para o impacto humano os diferentes tipos de perturbações foram avaliados qualitativamente em ambas as margens na mesma área onde se deu a avaliação da zona ripária. As categorias de influência humana muro/dique/canalização/gabião/barramento; construções; estrada calçada ou cascalhada; rodovias/ ferrovia; canos (captação/descarga); entulho/lixo; parque/gramado; plantação de grãos; pastagem/campo de feno; silvicultura/desmatamento e mineração são classificados como: “0” quando ausente; “P” quando presentes a mais de 10 metros do curso d’água, “C” quando presente a menos de 10 metros e “B” quando presente nas margens.

Quanto a estrutura do canal, as métricas mensuradas foram as medidas referentes à largura molhada (também obtidas no quinto transecto), largura das barras do canal (se houver), largura do leito sazonal, altura do leito sazonal e altura da incisão. O mesmo ocorrendo quando foi notada a presença de margem escavada em alguma das margens. O ângulo de ambas as margens foi mensurado com o uso do clinômetro. A vazão é calculada a partir do método do “objeto flutuante”. A profundidade do canal (em cada um tomada em cinco pontos e, a imersão do substrato em sedimento fino (menor que 2 mm) também foram avaliadas.

Variáveis físico-químicas da água

Em cada igarapé, com uso de um sonda multiparametros Horiba®, modelo U-51 mensuramos quatro descritores físico-químicos da água: condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), pH, oxigênio dissolvido (mg/L) e temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$).

Análise dos dados

Para avaliar a resposta da riqueza de espécies de Odonata aos diferentes valores obtidos com os IIF (graus de distúrbios na vegetação ripária, impacto humano, estrutura do canal, variáveis físico-químicas da água) e do IIH (valor final do índice avaliado) foram realizadas regressões múltiplas). Para evitar problemas de multicolinearidade, uma matriz de correlação de Pearson entre todas as variáveis foi realizada, e, assim, quando a correlação observada entre duas variáveis foi igual ou superior a 0,7 apenas uma dessas foi usada nas análises. Todas as análises foram realizadas pelas rotinas do programa R (R Development Core Team, 2011).

Desta forma as variáveis utilizadas para cada categoria foram: com IIF (Peck et al., 2006) (i) a média de dossel do canal, dossel árvores grandes, ervas rasteira, solo exposto e média cobertura total para vegetação ripária, (ii) proximidade com construção, rodovia, lixo, cultura, silvicultura e proximidade de impacto total para impacto humano, (iii) largura molhada, altura leito sazonal, ângulo das margens, macrófitas, número de madeira no (tamanho 1 e 4), vegetação pendurada, imersão canal, declividade trecho, sinuosidade trecho, profundidade seção e vazão para estrutura do canal; com IIH (Nessimian et al., 2008) (iv) valor final do índice e (v) pH, oxigênio dissolvido, temperatura da água e condutividade elétrica para variáveis físico-química da água.

Resultados

Integridade dos igarapés

Neste estudo o IIIH variou de 0,28 a 0,96. A maioria dos igarapés com valores baixos de IIIH ($< 0,50$) estão em áreas de extração de madeira, criação de gado e/ou plantações de grãos, levando os mesmos à uma perda acentuada da mata ripária e conseqüentemente serem classificados neste estudo como ambientes com alto grau de perturbação. Já os igarapés com valores intermediários (0,50 à 0,75) também apresentam em seu canal ou entorno algum tipo de modificação imposta pelo homem, porém ainda apresenta algumas características físicas (tais como estrutura da vegetação ripária) naturais em alguns trechos. Os igarapés com maiores valores de IIIH ($> 0,75$) apresentaram características físicas e biológicas naturais ainda quase inalteradas e presença de matas ripárias com poucos indícios de atividades antrópicas no entorno.

Descrição da comunidade de Odonata

Foram coletados 1.769 espécimes de Odonata, distribuídos em 11 famílias, 41 gêneros e 97 espécies. Zygoptera contribuiu com 961 indivíduos, contemplando oito famílias (Calopterygidae, Coenagrionidae, Dicterididae, Megapodagrionidae, Perilestidae, Polythoridae, Protoneuridae e Pseudostigmatidae), 19 gêneros e 56 espécies. Anisoptera contribuiu com 808 indivíduos, distribuído em três famílias (Aeshnidae, Gomphidae e Libellulidae), 22 gêneros e 41 espécies.

Relação entre riqueza de espécies de Odonata e qualidade ambiental dos igarapés

A perda de integridade de habitats, mensurada com o IIIH, (índice de Integridade do Habitat) afeta tanto a riqueza de espécies de Anisoptera ($r^2 = 0,411$; $p < 0,001$, Figura 2A) quanto a de Zygoptera ($r^2 = 0,310$; $p < 0,001$, Figura 2B). A perda da integridade ambiental gera um aumento na riqueza de espécies de Anisoptera e um decréscimo na riqueza de espécies de Zygoptera.

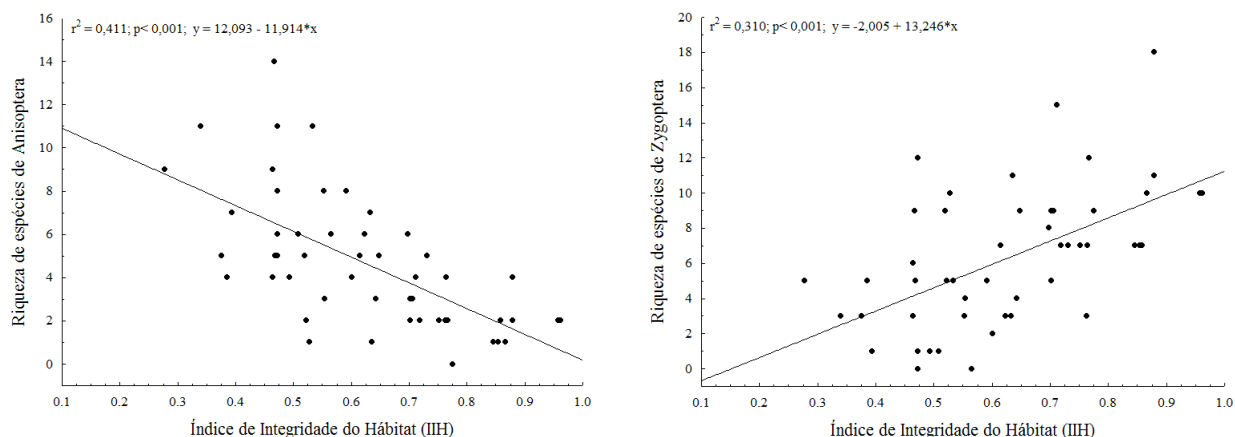


Figura 2. Relação entre riqueza de espécies de Odonata; A) Anisoptera; B) Zygoptera com Índice de Integridade do Hábitat (IIIH) dos igarapés no município de Paragominas, PA, Brasil.

Considerando a riqueza estimada de espécies na ordem Odonata não encontramos relações significativas com a vegetação ripária ($r^2 = 0,040$, $p = 0,871$), porém a hipótese que a interação das variáveis de vegetação ripária afeta a riqueza de espécies de libélulas foi corroborada quando se considerou a riqueza nas subordens (Anisoptera $r^2 = 0,390$, $p < 0,001$; Zygoptera $r^2 = 0,300$, $p = 0,006$).

A perda da média de dossel no canal gera um aumento na riqueza de espécies de Anisoptera (inclinação da reta = $-0,567$, $p < 0,001$), e um decréscimo na riqueza de espécies de Zygoptera (inclinação da reta = $0,405$, $p = 0,006$) (Tabela 1).

Tabela 1. Resultados da Análise de Regressão Múltipla para riqueza de espécies de Anisoptera e Zygoptera em relação às variáveis de vegetação ripária dos igarapés amostrados na Amazônia Oriental, Paragominas, PA, Brasil (EP= erro padrão). Valores em negrito representam as relações significativas ao nível de $p < 0,05$.

Variáveis de vegetação ripária	Anisoptera				Zygoptera			
	β	EP	t(44)	P	B	EP	t(44)	P
Dossel canal	-0,567	0,132	-4,302	<0,001	0,405	0,141	2,867	0,006
Dossel árvores grandes	-0,078	0,207	0,377	0,708	0,126	0,221	0,570	0,572
Ervas rasteiras	0,078	0,160	0,487	0,628	-0,098	0,172	-0,573	0,570
Solo exposto	0,125	0,141	0,887	0,380	-0,274	0,151	-1,819	0,076
Cobertura total	-0,016	0,194	-0,081	0,936	0,037	0,207	0,178	0,859

As variáveis de impacto humano não afetam a riqueza de espécies de Odonata ($r^2 = 0,128$, $p = 0,408$). Analisando separadamente por subordem o mesmo foi observado para ambas (Anisoptera $r^2 = 0,178$, $p = 0,184$; Zygoptera $r^2 = 0,138$, $p = 0,352$), mostrando que tais

variáveis não são suficientes para explicar a diferença na riqueza de espécies dos grupos (Tabela 2).

Tabela 2. Resultados da Análise de Regressão Múltipla para riqueza de espécies de Anisoptera e Zygoptera em relação às variáveis de impacto humano nos igarapés amostrados na Amazônia Oriental, Paragominas, PA, Brasil (EP= erro padrão).

Variáveis de impacto humano	Anisoptera				Zygoptera			
	β	EP	t(44)	P	B	EP	t(44)	P
Proximidade com construção	-0,060	0,177	-0,342	0,734	-0,101	0,181	-0,561	0,578
Proximidade com rodovia	-0,035	0,141	-0,249	0,805	-0,127	0,145	-0,881	0,383
Proximidade com lixo	0,376	0,163	2,309	0,026	-0,067	0,167	-0,405	0,688
Proximidade com cultura	-0,257	0,161	-1,597	0,118	-0,153	0,165	-0,932	0,356
Proximidade com silvicultura	-0,101	0,140	-0,720	0,476	0,072	0,144	0,499	0,620
Proximidade de impacto total	0,222	0,183	1,214	0,231	-0,146	0,188	-0,780	0,439

As variáveis de estrutura do canal não afetam a riqueza de espécies de Odonata ($r^2=0,326$, $p=0,312$). Avaliando separadamente por subordem o mesmo foi observado para Anisoptera ($r^2=0,402$, $p=0,105$), mostrando que tais variáveis não são suficientes para explicar a diferença na riqueza de espécies destes grupos. Essas variáveis afetam apenas a riqueza de espécies de Zygoptera ($r^2=0,440$, $p=0,053$), com o aumento na média dos ângulos das margens e número de madeiras (classe de tamanho quatro) dos igarapés há um aumento na riqueza de espécies de Zygoptera (inclinação da reta = 0,353, $p=0,048$; inclinação da reta = 0,325, $p=0,026$ respectivamente) (Tabela 3).

Tabela 3. Resultados da Análise de Regressão Múltipla para riqueza de espécies de Anisoptera e Zygoptera em relação às variáveis de estrutura do canal dos igarapés amostrados na Amazônia Oriental, Paragominas, PA, Brasil (EP= erro padrão). Valores em negrito representam as relações significativas ao nível de $p<0,05$.

Variáveis de estrutura do canal	Anisoptera				Zygoptera			
	β	EP	t(44)	P	B	EP	t(44)	P
Largura molhada	0,311	0,194	1,603	0,118	-0,057	0,188	-0,302	0,764
Altura leito sazonal	-0,180	0,147	-1,227	0,228	-0,141	0,142	-0,991	0,328
Ângulo das margens	-0,573	0,178	-3,218	0,003	0,353	0,172	2,047	0,048
Macrófitas	-0,003	0,164	-0,017	0,987	-0,123	0,158	-0,777	0,442
Número madeira leito / 100m - Classe de tamanho 1	-0,135	0,194	-0,693	0,493	-0,202	0,188	-1,075	0,290
Número madeira leito / 100m - Classe de tamanho 4	-0,036	0,144	-0,253	0,802	0,325	0,140	2,326	0,026
Abrigo (vegetação pendurada)	-0,012	0,169	-0,071	0,944	-0,176	0,164	-1,074	0,290
Imersão canal	-0,096	0,141	-0,685	0,498	-0,036	0,136	-0,261	0,795
Declividade trecho	-0,004	0,190	-0,023	0,982	-0,155	0,184	-0,842	0,405

Sinuosidade trecho	0,098	0,159	0,621	0,539	-0,050	0,153	-0,324	0,748
Profundidade seção	0,121	0,169	0,712	0,481	-0,045	0,164	-0,277	0,784
Vazão	-0,042	0,193	-0,218	0,829	-0,028	0,187	-0,148	0,883

As variáveis físico-químicas da água não afetam a riqueza de espécies de Odonata ($r^2= 0,143$, $p= 0,131$). O mesmo foi observado para Anisoptera ($r^2= 0,120$, $p= 0,208$), mostrando que tais variáveis não são suficientes para explicar a diferença na riqueza de espécies destes grupos. Tais variáveis afetam apenas a riqueza de espécies de Zygoptera ($r^2= 0,263$, $p= 0,007$). O aumento da condutividade gera um aumento na riqueza de espécies (inclinação da reta = 0,279, $p= 0,039$) e o aumento na temperatura da água um decréscimo na riqueza de espécies (inclinação da reta = -0,457, $p< 0,001$) (Tabela 4).

Tabela 4. Resultados da Análise de Regressão Múltipla para riqueza de espécies de Anisoptera e Zygoptera em relação às variáveis físico-químicas da água dos igarapés amostrados na Amazônia Oriental, Paragominas, PA, Brasil (EP= erro padrão). Valores em negrito representam as relações significativas ao nível de $p<0,05$.

Variáveis físico-químicas da água	Anisoptera				Zygoptera			
	B	EP	t(44)	P	B	EP	t(44)	P
Temperatura da água	0,280	0,143	1,962	0,056	-0,457	0,131	-3,495	<0,001
OD	-0,234	0,146	-1,608	0,115	-0,047	0,133	-0,354	0,725
pH	-0,129	0,147	-0,880	0,383	0,200	0,134	1,487	0,144
Condutividade elétrica	-0,025	0,143	-0,173	0,864	0,279	0,131	2,131	0,039

Fatores estruturadores da assembleia de Odonata

De um modo geral, demonstramos que a vegetação ripária é o fator que mais afeta as riquezas de espécies de Anisoptera e de Zygoptera em riachos tropicais, embora outros fatores como estrutura do canal e físico-químicos da água também tenham afetado a assembleia de Zygoptera. A partir disso, elaboramos um modelo conceitual que resume e demonstra os principais fatores que podem influenciar as comunidades de Odonata em habitats aquáticos (Figura 3).

Tal modelo nos mostra que o aumento na abertura de dossel, do ângulo das margens, do número de madeiras no leito e condutividade elétrica e a diminuição na temperatura da água geram um aumento na riqueza de espécies Zygoptera. Por outro lado a vegetação ripária

foi o único fator estruturador de Anisoptera, uma maior abertura de dossel no canal propiciou um aumento na riqueza de espécies desse grupo (Figura 3).

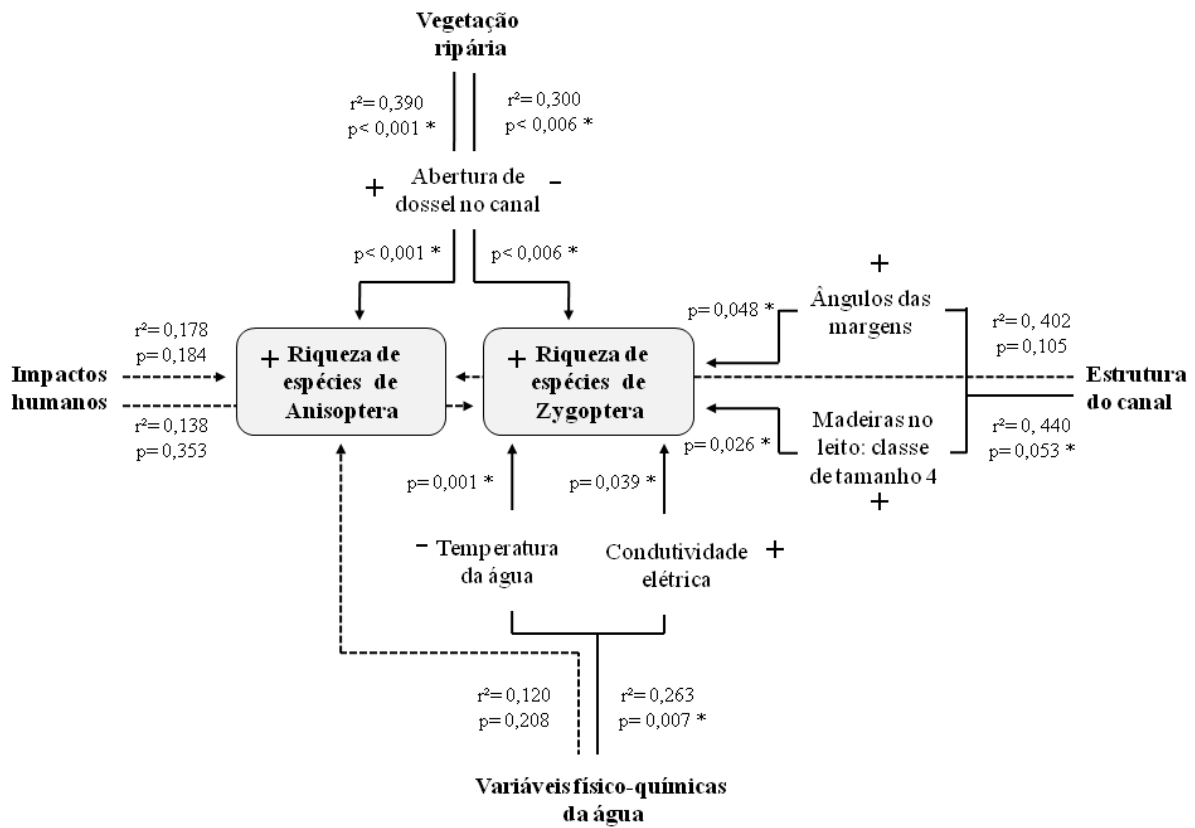


Figura 3. Modelo conceitual representando o efeito de variáveis ambientais sobre a riqueza de espécies de Anisoptera e Zygoptera. Linhas contínuas e valores de "p" com asterisco (*) representam relações significativas; linhas tracejadas representam relações não significativas; sinais positivos expressam aumento, enquanto sinais negativos representam decréscimo.

Discussão

A integridade mostrou ser um elemento importante na estruturação das duas subordens, mas com resultados opostos. Espécies do grupo Zygoptera se mostraram sensíveis às alterações da integridade física desses riachos, enquanto espécies de Anisoptera foram favorecidas, aumentando sua riqueza, sendo que a manutenção da vegetação ripária o fator altamente relacionado à integridade destes ambientes, e apresenta forte efeito na assembleia de Odonata. A retirada da vegetação ripária teve efeito negativo sobre a riqueza de espécies de Zygoptera. Muitas espécies dessa subordem são altamente dependentes de áreas cobertas por vegetação densa. E por serem pequenas e com corpo delgado, é possível que em virtude da sua alta razão superfície volume sejam mais sujeitas ao superaquecimento e à dessecação, se tornando mais sensíveis às variações ambientais por restrições ecofisiológicas (Corbet, 1999; Corbet & May, 2008), ficando restritas a ambientes mais sombreados com grande presença de vegetação ripária, conseqüentemente mais preservados (Juen & De Marco, 2011).

Anisoptera, por serem heliotérmicas e pousadoras são, de maneira geral, altamente dependentes da radiação solar (Remsburg et al., 2008), tendo necessidade de se aquecerem para iniciarem suas atividades (Corbet & May, 2008; Resende, 2010), evitando assim as áreas sombreadas (Samways et al., 2005; Ward & Mill, 2005; Remsburg et al., 2008).

Visto que o sentido dominante das libélulas é a visão o que lhes permite localizar e medir a qualidade dos habitats aquáticos ao longo de distâncias relativamente grandes (Horváth et al., 1998). Não podemos descartar a hipótese de que a remoção da vegetação ripária pode estar facilitando muitas espécies à localizarem habitats adequados e colonizarem novas áreas abertas. Assim como demonstrado por Silva et al. (2010) é esperado uma maior ocorrência de espécies generalistas de ambientes lânticos como muitos Anisoptera, uma vez que, estas necessitam tais ambientes, e de áreas abertas, para um efetivo sucesso em sua colonização (Solimini et al., 1997). Adicionalmente essas espécies são beneficiadas pela

alteração das áreas naturais em função de suas exigências ecofisiológicas expressadas pelas habilidades de termorregulação, pois tendem a apresentar mecanismos homeostáticos mais eficientes e maior mobilidade, tolerando condições ambientais mais diversificadas (Tschardt et al., 2002).

Nos sistemas aquáticos a riqueza de espécie aumenta em ambientes mais heterogêneos e mais estáveis (representada aqui pela vegetação ripária), comportando espécies com diferentes exigências ecofisiológicas (Williams et al., 2004). Assim a heterogeneidade ambiental se mostra como um fator importante na estruturação de comunidades aquáticas. Estudando adultos de Odonata, Suh & Samways (2005) ressaltam a importância de fornecer ampla variedade de biótopos e condições de microhabitat para o aumento de riqueza de espécies e ou para conservação de espécies raras, isso nos remete a importância de que a heterogeneidade natural dos corpos d'água deve ser direcionada para manter a diversidade presente no sistema.

Nossos resultados corroboram com os de Silva et al. (2010), sugerindo assim que, a integridade, representada principalmente pela vegetação ripária são fatores muito mais importantes para estruturação da assembleia de Odonata do que outros parâmetros, como as variáveis físico-químicas da água. Observações semelhantes foram realizadas por Foote & Hornung (2005) no qual os mesmos não encontraram relações das variáveis físico-químicas da água como sendo preditor da diversidade de libélulas, mas demonstraram que a estrutura da vegetação ripária poderia ser um importante preditor. Embora muitos outros trabalhos (e.g. Takamura et al., 1991; Hardersen, 2000; Woodcock & Hury, 2007) também enfatizarem que as libélulas muitas vezes não são capazes de refletir a mudanças físico-químicas da água, as mesmas se mostram excelentes indicadoras respondendo à alterações antrópicas e a modificação da estrutura física do curso d'água (Gorham & Vodopich, 1992; Samways & Steytler, 1996). Apesar da importância dessas variáveis físico-químicas da água na

determinação dos padrões de distribuição de muitos insetos aquáticos (Zamora-Munõz et al., 1993), elas influenciaram apenas espécies de Zygoptera.

Dentre as variáveis físico-químicas mensuradas, nossos resultados mostram que apenas condutividade e temperatura da água influenciaram a riqueza de espécies de Zygoptera, onde com aumento da condutividade e diminuição da temperatura ocorreu um aumento na riqueza de espécies de Zygoptera. Segundo Ribeiro et al. (1998), a condutividade elétrica proporciona um aumento na concentração de seston, que é acompanhado por aumento da produção do fitoplâncton e de macroinvertebrados, o que favorece o surgimento de muitos predadores (devido a maior disponibilidade de alimento), como por exemplo, larvas de Zygopteras. Já a temperatura da água pode ser considerada apenas um *surrogate* para ausência da vegetação ripária, uma vez que a presença desta confere a superfície da água sombreamento contribuindo assim para a estabilidade térmica dos sistemas hídricos (Fritzsos et al., 2005). Desta forma, o decréscimo na riqueza de espécies de Zygoptera em águas com temperaturas mais elevadas está associado à remoção da vegetação marginal desses corpos d'água, do que estritamente com a temperatura da água.

A baixa capacidade de dispersão das espécies de menor tamanho corporal como encontrado em muitas espécies de Zygoptera deve torná-las mais dependentes das condições locais, como as variáveis físico-químicas da água, e conseqüentemente a uma maior especialização de hábitat (Tschardt et al., 2002). Por outro lado espécies de tamanho corporal maior e com elevada capacidade de termorregulação (endotérmicas) como muitas espécies de Anisoptera apresentam em geral, maior capacidade de dispersão (Corbet, 1999), assim essas espécies tenderiam constatemente a colonizar locais com características distintas, o que as levaria a desenvolver uma maior tolerância à condições locais, como os físico-químicos mensurados nesse trabalho.

O número de madeiras no leito também foi um fator que influenciou a riqueza apenas de espécies de Zygoptera, tal relação se justifica pelo fato destas apresentarem oviposição epifítica ou endofítica (Fulan & Henry, 2007). Os galhos/madeiras que tendem a ocupar o leito de igarapés no interior da vegetação ripária tornam-se locais propícios para colonização de espécies dessa subordem onde depositam seus ovos fertilizados entre ou sob estes materiais (Foote & Hornung, 2005).

As variáveis de impacto humano não foram suficientes para explicar a riqueza de espécies de Odonata. Possivelmente por serem a maioria das métricas mensuradas pelo índice de Peck et al. (2006), pouco relacionadas e de baixa importância para as comunidades aquáticas na região estudada, visto que muitas destas como por exemplo lixo, construções, muro e canalização são fatores que não estavam presentes na área de estudo. Ometo et al. (2000) não encontraram relação entre o uso do solo (áreas urbanizadas, pastagens e cana-de-açúcar) e a riqueza de macroinvertebrados, sugerindo que somente mudanças bruscas no uso do solo como pecuária e agricultura podem alterar a estrutura do canal afetando a qualidade d'água em termos físicos e químicos, influenciando a comunidade aquática (Johnson et al., 1997). Contudo vale ressaltar que atividade antrópica também é um fator importante na estruturação de Odonata (Buss et al., 2002; Suh & Samways, 2005), como comprovado ao relacionarmos a riqueza das duas subordens com Índice de Integridade do Hábitat (IIH) de Nessimian et al. (2008).

Sendo assim, isso nos permite uma predição do que acontece no ambiente com a modificação dessas variáveis, reforçando a premissa de que a identificação da associação de Odonata com os diferentes habitats é uma ferramenta essencial para caracterizar a resposta desses organismos frente a essas modificações no ambiente (Balzan, 2012).

Conclusão

A integridade ambiental e estrutura da vegetação ripária foram os fatores que afetaram significativamente a comunidade de Odonata. A diminuição na integridade levou à um decréscimo na riqueza de espécies de Zygoptera e um aumento na riqueza de Anisoptera. A presença ou ausência da vegetação ripária pode ter influenciado diretamente outros fatores, sendo então considerado o principal fator estruturante das comunidades de adultos desta ordem, mais do que outros fatores ambientais mensurados.

A heterogeneidade ambiental parece geralmente ser um atributo essencial da qualidade do hábitat, conseqüentemente favorecendo um maior espectro de espécies de Odonata, mostrando assim que instabilidade ou uma possível homogeneização das condições ambientais podem ser considerados como fatores de grande importância de limitação da distribuição desses organismos.

Baseados nestes resultados, destacamos assim que manter a vegetação ripária intacta ou recuperar a mesma após determinado impacto são os primeiros passos fundamentais para a conservação ou reestabelecimento da fauna, principalmente de Zygoptera em ambientes aquáticos. A perda de espécies desse táxon deve alterar a relação de predador x presa, especialmente entre os organismos menores, o que poderia estar levando a um desequilíbrio em grupos importantes de presas (e.g. Diptera, Ephemeroptera e Trichoptera).

Agradecimentos

Agradecemos a Helena Cabette e Joana Darc Batista (UNEMAT) pelo apoio institucional e acadêmico, Leandro Brasil (UNEMAT) pelo auxílio nas coletas do material biológico, Nelson Pinto (UFG) pelo auxílio na identificação dos Anisoptera, A Frederico Lencioni pela confirmação da identificação dos Zygoptera, MSc Vivian Campos por ter gentilmente elaborado o mapa. Agradecemos as seguintes fontes de financiamento pelo apoio financeiro: A CAPES pela concessão da bolsa, Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia-Biodiversidade e Uso da Terra na Amazônia (CNPq 574008/2008-0), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Embrapa (SEG 02.08.06.005.00), Governo britânico: Darwin Initiative (17-023), TNC-The Nature Conservancy, e Natural Environment Research Council (NERC) (NE/F01614X/1 and NE/G000816/1). Agradecemos, também, aos sindicatos rurais (SR e STTRs) de Santarém, Belterra e Paragominas e aos produtores rurais da região de estudo pelo seu apoio à pesquisa.

Referências

- Allan, J.D. (1995). Stream ecology: structure and function of running waters. Kluwer Academic Publishers, Boston, Massachusetts.
- Anjos, A.F. & Takeda, A.M. (2005). Colonização de Chironomidae (Díptera: Insecta) em diferentes tipos de substratos artificiais. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 222, 147-151.
- Balzan, M.V. (2012). Associations of dragonflies (Odonata) to habitat variables within the Maltese Islands: A spatio-temporal approach. *Journal of Insect Science*, 12, 1-18.
- Bazzaz, F.A. (1975). Plant species diversity in old-field successional ecosystems in southern Illinois. *Ecology*, 56, 485-488.
- Belle, J. (1988). A synopsis of the species of *Phyllocycla* Calvert with description of four new taxa and a key to the genera of the neotropical Gomphidae (Odonata, Gomphidae). *Tijdschrift voor Entomologie*, 131, 73-102.
- Belle, J. (1996). Higher classification of the South-American Gomphidae (Odonata). *Zoologische Mededelingen*, 70, 298-324.
- Borror, D.J. (1945). A key to the New World genera of Libellulidae (Odonata). *Annals of Entomological Society of America*, 38, 168-194.
- Briers, R.A. & Biggs, J. (2003). Indicator taxa for the conservation of pond invertebrate diversity. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 13, 323-330.
- Buss, D.F., Baptista, D.F., Silveira, M.P., Nessimian, J.L. & Dorvillé, L.F.M. (2002). Influence of water chemistry and environmental degradation on macroinvertebrate assemblages in a river basin in south-east Brazil. *Hydrobiologia*, 481, 125-136.
- Carvalho, A.L. & Calil, E.R. (2000). Chaves de identificação para as famílias de Odonata (Insecta) ocorrentes no Brasil - adultos e larvas. *Papéis Avulsos de Zoologia do Museu de Zoologia da USP*, 41, 423-441.
- Corbet, P.S. (1983). A biology of Dragonflies. Clasesy, London, 47p.
- Corbet, P.S. (1999). Dragonflies: Behavior and ecology of Odonata. Comstock Publ. Assoc., Ithaca, NY, 829p.
- Corbet, P.S. & May, M.L. (2008). Fliers and perchers among Odonata: dichotomy or multidimensional continuum? A provisional reappraisal. *International Journal of Odonatology*, 11, 155-171.
- Cortezzi, S.S., Bispo, P.C., Paciencia, G.P. & Leite, R.C. (2009). Influência da ação antrópica sobre a fauna de macroinvertebrados aquáticos em riachos de uma região de cerrado do sudoeste do estado de São Paulo. *Iheringia*, 99(1), 36-43.

- Costa, J.M., Lourenço, A.N. & Vieira, L.P. (2002). Chave de identificação para imagos dos gêneros de Libellulidae citados para o Brasil-Comentários sobre os gêneros (Odonata: Anisoptera). *Entomología y Vectores*, 9, 477-504.
- Courtney, L.A. & Clements, W.H. (1998). Effects of acidic pH on benthic macroinvertebrate communities in stream microcosms. *Hydrobiologia*, 379, 135-145.
- Cummins, K.W., Merritt, R.W. & Andrade, P.C.N. (2005). The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in southeast Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 40(1), 71-90.
- Dalzochio, M.S., Costa, J.M. & Uchôa, M.A. (2011). Diversity of Odonata (Insecta) in lotic systems from Serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul state, Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia*, 55(1), 88-94.
- De Marco, P.Jr. & Latini, A.O. (1998). Estrutura de Guildas e riqueza de espécies em uma comunidade de larvas de Anisoptera (Odonata). *Ecologia De Insetos Aquáticos* (ed. by J.L. Nessimian & A.L. Carvalho). *Oecologia Brasiliensis*, Rio de Janeiro, pp. 101-112.
- De Marco, P.Jr. & Resende, D.C. (2002). Activity patterns and thermoregulation in a tropical dragonfly assemblage. *Odonatologica*, 31, 129-138.
- Diniz, T.D.A. (1986). Caracterização climática da Amazônia Oriental. In: Pesquisa sobre utilização e conservação de solo na Amazônia Oriental. Belém: Embrapa Cpatu, 291p.
- Foote, A.L & Hornung, C.L.R. (2005). Odonates as biological indicators of grazing effects on Canadian prairie wetlands. *Ecological Entomology*, 30, 273-283.
- Fritzsons, E., Mantovani, L.E., Chaves Neto, A. & Rizzi, N.E. (2005). A influência da Floresta Ciliar sobre a temperatura das águas do rio Capivari, região cárstica Curitibiana. *Revista Floresta*, 35(3), 395-407.
- Fulan, J.A. & Henry, R. (2007). Temporal distribution of immature Odonata (Insecta) on *Eichhornia azurea* (Kunth) stands in the Camargo Lake, Paranapanema River, São Paulo. *Revista Brasileira de Entomologia*, 51, 224-227.
- Garrison, R.W. (1990). A synopsis of the genus *Hetaerina* with descriptions of four new species (Odonata: Calopterigidae). *Transactions of American Entomological Society*, 116, 175-259.
- Garrison, R.W., Von Ellenrieder, N. & Louton, J.A. (2006). Dragonfly genera of the New World: an illustrated and annotated key to the Anisoptera. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 368p.
- Garrison, R.W., Von Ellenrieder, N. & Louton, J.A. (2010). Damselfly genera of the New World. Baltimore, an illustrated and annotated key to the Zygoptera. The Johns Hopkins University Press, 490p.
- Gorham, C. & Vodopich, D. 1992. Effects of acidic pH on predation rates and survivorship of damselfly nymphs. *Hydrobiologia*, 242, 51-62.

- Goulart, M. & Callisto, M. (2003). Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. *Revista da FAPAM*, 2, 153-164.
- Hardersen, (2000). The role of behavioural ecology of damselflies in the use of fluctuating asymmetry as a bioindicator of water pollution. *Ecological Entomology*, 25, 45-53.
- Horváth, G., Bernáth, B. & Molnár, G. (1998). Dragonflies find crude oil visually more attractive than water: multiple-choice experiments on dragonfly polarotaxis. *Naturwissenschaften*, 85, 292-297.
- Horwitz, R.J. (1977). Temporal variability patterns and the distributional patterns of stream fishes. *Ecological Monographs*. 48, 307-321.
- Jacob, U., Walter, H. & Klenke, R. (1984). Aquatic insects larvae as indicators of limiting minimal content of dissolved oxygen. *Aquatic Insects*, 6, 185-190.
- Johnson, L.B., Richards C., Host, G. & Arthur, J.W. (1997). Landscape influences on water chemistry in Midwest stream ecosystems. *Freshwater Biology*, 37, 193-208.
- Juen, L., Cabette, H.S.R. & De Marco, P.Jr. (2007). Odonate assemblage structure in relation to basin and aquatic habitat structure in Pantanal wetlands. *Hydrobiologia*, 579, 125-134.
- Juen, L. & De Marco, P.Jr. (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, 265-274.
- Juen, L. & De Marco, P.Jr. (2012). Dragonfly endemism in the Brazilian Amazon: competing hypotheses for biogeographical patterns. *Biodiversity and Conservation*, 21(13), 3507-3521.
- Kikuchi, R.M., Uieda, V.S. (1998). Composição da comunidade de invertebrados de um ambiente lótico tropical e sua variação espacial e temporal. In: Nessimian, J.L. & Carvalho A.L.E. (Ed.). *Ecologia de insetos aquáticos*. Rio de Janeiro: UFRJ-PPGE, p. 157-173. (Séries Oecologia Brasiliensis, 5).
- Lencioni, F.A.A. (2005). *The Damselflies of Brazil: An Illustrated Guide – The Non Coenagrionidae Families*. All Print Editora, São Paulo, 332p.
- Lencioni, F.A.A. (2006). *The Damselflies of Brazil: An Illustrated Guide - Coenagrionidae*. All Print Editora, São Paulo, 419p.
- May, M.L. (1991). Thermal adaptations of dragonflies, revisited. *Advances in Odonatology*, 5, 71-88.
- McCauley, S.J. (2007). The role of local and regional processes in structuring larval dragonfly distributions across habitat gradients. *Oikos*, 116, 121-133.
- Mugodo, J., Kennard, M.J., Liston, P., Nichols, S., Linke, S., Norris, R.H. & Lintermans, M. (2006). Local stream habitat variables predicted from catchment scale characteristics are useful for predicting fish distribution. *Hydrobiologia*, 572 (1), 59-70.

Nessimian, J.L., Venticinque, E., Zuanon, J., De Marco, P.Jr., Gordo, M., Fidelis, L., Batista, J.D. & Juen, L. (2008). Land use, habitat integrity, and aquatic insect assemblages in Central Amazonian streams. *Hydrobiologia*, 614, 117-131.

Oertli, B. (2008). The use of dragonflies in the assessment and monitoring of aquatic habitats. *Model Organisms for Ecological and Evolutionary Research* (ed. by A. Cordoba-Aguilar), Oxford University Press, Oxford, pp. 79-95.

Ometo, J.P.H.B., Martinelli, L.A., Ballester, M.V., Gessner, A.F., Krusche, A.V., Victoria, R.L. & Williams, M. (2000). Effects of land use on water chemistry and macroinvertebrates in two streams of the Piracicaba river basin, south-east Brazil. *Freshwater Biology*, 44, 327-337.

Peck, D.V., Herlihy, A.T., Hill, B.H., Hughes, R.M., Kaufmann, P.R., Klemm, D., Lazorchak, J.M., McCormick, F.H., Peterson, S.A., Ringold, P.L., Magee, T. & Cappaert, M. (2006). Environmental Monitoring and Assessment Program-Surface Waters Western Pilot Study: Field Operations Manual for Wadeable Streams. EPA/620/R-06/003. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

Pezzuti, J.C.B. & Silva, D.F. (2009). Síntese analítica do mapeamento das condições ambientais da macrorregião de Paragominas. *Paper do NAEA*, 236, 1-20.

Pinto, N.S., Juen, L., Cabette, H.S.R. & De Marco, P.Jr. (2012). Fluctuating Asymmetry and Wing Size of *Argia tinctipennis* Selys (Zygoptera: Coenagrionidae) in relation to Riparian Forest preservation status. *Neotropical Entomology*, 41, 1-9.

Pinto, N.S., Oliveira-Junior, J.M.B., Juen, L. & Calvão, L.B. (2011). Ocorrência simpátrica de duas formas de *Erythrodiplax fusca* (Rambur, 1842) (Odonata:Libellulidae) no estado de Goiás-Brasil. *Enciclopédia Biosfera*, 7, 1-6.

Pringle, R.M., Webb, J.K. & Shine, R. (2003). Canopy structure, microclimate, and hábitat selection by a nocturnal snake, *Hoplocephalus bungaroides*. *Ecological Society of America*, 84, 2668-2679.

R Development Core Team. (2011). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>. Acesso em: 20 de março de 2012.

Reis, E.F., Pinto, N.S., Carvalho, F.G. & Juen, L. (2011). Efeito da integridade ambiental sobre a Assimetria Flutuante em *Erythrodiplax basalis* (Libellulidae:Odonata) (Kirby). *EntomoBrasilis*, 4, 103-107.

Remsburg, A.J., Olson, A.C. & Samways, M.J. (2008). Shade alone reduces adult dragonfly (Odonata: Libellulidae) abundance. *Journal Insect Behaviour*, 21, 460-468.

Resende, D.C. (2010). Residence advantage in heterospecific territorial disputes of *Erythrodiplax* Brauer species (Odonata, Libellulidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 54, 110-114.

- Ribeiro, J.R., Nessimian, J.L., Mendonça, E.C. (1998). Aspectos da distribuição dos Nepomorpha (Hemiptera: Heteroptera) em corpos d'água na restinga de Maricá, estado do Rio de Janeiro. *Oecologia Brasiliensis*, 5, 113-128.
- Rodriguez-Capitulo, A. (1992). Los Odonata de la Republica Argentina (Insecta) (Volume 34, fasciculo 1) p. 1-91. In: Z.A. Castellanos (ed.). Fauna de agua dulce de la Republica Argentina. La Plata, PROFADU (CONICET), 91p.
- Sabogal, C., Pokorny, B., Silva, J.N.M., Carvalho, J.O.P., Zweede, J., Puerta, R. (2009). Diretrizes técnicas de manejo para produção madeireira mecanizada em florestas de terra firme na Amazônia brasileira. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental. 217p.
- Samways, M.J. & Steytler, N.S. (1996). Dragonfly (Odonata) distribution patterns in urban and forest landscapes, and recommendations for riparian management. *Biological Conservation*, 78, 279-288.
- Samways, M.J., Taylor, S. & Tarboton, W. (2005). Extinction reprieve following alien removal. *Conservation Biology*, 19, 1329-1330.
- Silva, D.P., De Marco, P.Jr. & Resende, D.C. (2010). Adult odonate abundance and community assemblage measures as indicators of stream ecological integrity: A case study. *Ecological Indicators*, 10, 744-752.
- Solimini, A.G., Tarallo, G.A. & Carchini, G. (1997). Life history and species composition of the damselfly assemblage along the urban tract of a river in central Italy. *Hydrobiologia*, 356, 21-32.
- Stewart, D.A.B. & Samways, M.J. (1998). Conserving dragonfly (Odonata) assemblages relative to river dynamics in an African savanna Game Reserve. *Conservation Biology*, 12, 683-692.
- Steinblums, I.J., Froelich, H.A. & Lyons, J.K. (1984). Designing stable buffer strips for stream protection. *Journal of Forestry*, 82, 49-52.
- Suh, A.N. & Samways M. J. (2005). Significance of temporal changes when designing a reservoir for conservation of dragonfly diversity. *Biodiversity and Conservation*, 14, 165-178.
- Takamura, K., Hatakeyama, S. & Shiraishi, H. (1991). Odonata larvae as an indicator of pesticide contamination. *Applied Entomology and Zoology*, 26, 321-326.
- Tate, C.M. & Heiny, J S. (1995). The ordination of benthic invertebrate communities in the South Platte River Basin in relation to environmental factors. *Freshwater Biology*, 33, 439-454.
- Tews, J., Brose, U. & Jeltsch, F. (2004). Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: The importance of keystone structures. *Journal of Biogeography*, 31, 79-92.
- They, M. (2001). Forest light and its influence on habitat selection. *Plant Ecology*, 153(1-2), 251-261.

Tscharntke, T., Steffan-Dewenter, I., Kruess, A. & Thies, C. (2002). Contribution of small habitat fragments to conservation of insect communities of grassland-cropland landscapes. *Ecological Applications*, 12, 354–363.

Veloso, H.P., Rangel Filho, A.L.R. & Lima, J.C.A. (1991). Classificação Da Vegetação Brasileira Adaptada a Um Sistema Universal. Rio de Janeiro, 123p.

Zamora-Muñoz, C., Sanchez-Ortega, A. & Alba-Tercedor J. (1993). Physico-chemical factors that determine the distribution of mayflies and stoneflies in a high-mountain stream in southern Europe (Sierra Nevada, Southern Spain). *Aquatic Insects*, 15, 11-20.

Ward, L. & Mill, P.J. (2005). Habitat factors influencing the presence of adult *Calopteryx splendens* (Odonata : Zygoptera). *European Journal of Entomology*, 102, 47-51.

Weigel, B.M., Wang, L., Rasmussen, P.W., Butcher, J.T., Stewart, P.M. & Wiley, M.J. (2003). Relative influence of variables at multiple spatial scales on stream macroinvertebrate in the Northern Lakes and Forest ecoregion, U.S.A. *Freshwater Biology*, 48, 1440-1461.

Williams, P., Whitfield, M., Biggs, J., Bray, S., Fox, G., Nicolet, P. & Sear, D. (2004). Comparative biodiversity of rivers, streams, ditches and ponds in an agricultural landscape in Southern England. *Biological Conservation*, 115 (2), 329-341.

Woodcock, T.S. & Huryn, A.D. (2007). The response of macroinvertebrate production to a pollution gradient in a headwater stream. *Freshwater Biology*, 52, 177-196.

Artigo 2

**LIBÉLULAS NEOTROPICAIS (INSECTA: ODONATA) COMO INDICADORAS DE
QUALIDADE AMBIENTAL**

Formatado de acordo com as normas da revista *International Journal of Odonatology*
(Apêndice I)

Libélulas neotropicais (Insecta: Odonata) como indicadoras de qualidade ambiental

José Max Barbosa de Oliveira Junior¹*, Yulie Shimano², Toby Alan Gardner³ & Leandro Juen^{1,4}

¹ Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade do Estado de Mato Grosso, Br 158, Km 655, CEP: 78690-000, Nova Xavantina, Mato Grosso, Brasil. e-mail: josemaxoliveira@gmail.com

² Programa de Pós-Graduação em Zoologia, Universidade Federal do Pará/Museu Paraense Emílio Goeldi, Rua Augusto Correia, Nº 1, Bairro Guamá, CEP: 66075-110, Belém, Pará, Brasil. Laboratório de Ecologia de Comunidades. e-mail: yulie.bio@gmail.com

³ Department of Zoology, University of Cambridge, Downing Street, CB2 3EJ, UK. Lancaster Environment Centre, Lancaster University, LA1 4YQ, United Kingdom. e-mail: tobyagardner@gmail.com

⁴ Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Correia, Nº 1, Bairro Guamá, CEP: 66075-110, Belém, Pará, Brasil. Laboratório de Ecologia de Comunidades. e-mail: leandrojuen@ufpa.br

*Autor para correspondência

Resumo

Neste estudo demonstramos que várias espécies de Odonata são altamente associadas ao grau de integridade de ecossistemas aquáticos. Alterações na estrutura da vegetação ripária foram os principais fatores estruturadores desta comunidade, corroborando nossa hipótese de que esses insetos podem ser utilizados como indicadores ambientais. Realizamos o estudo na região de Paragominas, PA, Brasil onde foram amostrados 50 igarapés. Coletamos 1.769 espécimes, distribuídos em 11 famílias, 41 gêneros e 97 espécies. A subordem Zygoptera contribuiu com 961 indivíduos e Anisoptera com 808. Das 97 espécies registradas, 18 foram classificadas como espécies indicadoras de qualidade ambiental, seis delas para igarapés degradados (cinco Anisoptera e um Zygoptera) e 12 para igarapés preservados (11 Zygoptera e um Anisoptera). Nossos resultados indicam que espécies de Anisoptera tendem a ser indicadoras de ambientes degradados, por apresentarem mecanismos homeostáticos mais eficientes e maior mobilidade, tolerando assim condições ambientais mais diversificadas. Enquanto que espécies de Zygoptera tendem a ser indicadoras de ambientes preservados uma vez que, devido ao seu menor tamanho corporal, são mais sensíveis às variações ambientais por restrições ecofisiológicas. Baseados nestas observações, propomos que Odonata é um grupo eficiente para avaliação da qualidade ambiental, além de ser rápido e demandando pouco recurso financeiro para coleta e identificação.

Palavras-chave: Alteração ambiental; Amazônia; Anisoptera; Bioindicação; Zygoptera

Introdução

As paisagens naturais de toda superfície terrestre vem sendo modificadas de forma intensa para diferentes usos econômicos, resultando em áreas com distintos graus de distúrbios (Silva et al., 2010). Estes mosaicos de paisagens vão desde regiões com características naturais quase que inalteradas ou sem evidências de modificações humanas, até paisagens com intenso grau de distúrbio devido principalmente aos grandes centros de extração de madeira, criação de gado e plantações de grãos levando à uma perda acentuada da mata ripária (conceitos de níveis de perturbação ver: Stoddard et al., 2006).

Para os sistemas aquáticos esses distúrbios intensos podem acarretar no arraste de grandes quantidades de sedimento proveniente de áreas adjacentes para os corpos d'água (Nakamura & Yamada, 2005). Como consequência dessas atividades ocorre uma desestruturação dos ambientes, alteração da dinâmica natural das comunidades biológicas resultando na perda de habitats (Goulart & Callisto, 2003), redução da qualidade da água e perda de sua biodiversidade devido à homogeneização do sistema (Couceiro et al., 2012).

Este cenário de distúrbios ambientais afeta a biodiversidade e cria uma demanda por estudos voltados para avaliação da qualidade ambiental porém, quando existentes, muitos contemplam, principalmente, os fatores químicos e físico-químicos da água (Silva et al., 2010), representando desta forma apenas uma condição momentânea da real situação existente, havendo a necessidade da inserção de atributos de indicadores biológicos. Esses indicadores integram os efeitos dos diferentes agentes estressores durante o tempo de sua existência, provendo uma quantificação ecológica das condições ambientais flutuantes (Smith et al., 2007).

Neste contexto de relação entre alterações ambientais e indicadores biológicos, a variação dos atributos das assembleias aquáticas constituem importantes ferramentas de avaliação quantitativa de comunidades de organismos (Karr & Dionne, 1991), essas métricas

(e.g. riqueza de espécies, composição trófica, abundância) quantificam biologicamente e podem ser correlacionadas com diferentes aspectos da ocupação humana na paisagem (Herbst & Silldorff, 2006; Astin, 2007).

Os insetos aquáticos vêm sendo, com frequência, usados como indicadores de alterações ambientais (Blocksom & Johnson, 2009; Leunda et al., 2009; Souza et al., 2011). Porém, na maioria dos estudos, apenas os insetos restritos aos ambientes aquáticos são considerados, principalmente os estágios larvais (Silva et al., 2010).

Dentre os inúmeros grupos de insetos aquáticos utilizados, as libélulas neotropicais (Odonata) apresentam distribuição, riqueza e ou composição altamente associadas às modificações de variáveis ambientais ou estruturais. Exemplos dessas variáveis são: vegetação ripária (Samways & Steytler, 1996), variáveis físicas e/ou físico-químicas, tais como, oxigênio dissolvido (Jacob et al., 1984), pH (Courtney & Clements, 1998), condutividade elétrica (Cannings & Cannings, 1987), temperatura (Ward & Stanford, 1982), concentração de poluentes (Couceiro et al., 2007), hidroperíodo (Wellborn et al., 1996), correnteza e vazão (Corbet, 1999) e outros fatores fortemente ligados a influência antropogênica (Juen et al., 2007; Oertli, 2008; Silva et al., 2010).

As espécies de libélulas neotropicais podem ser divididas em dois grupos com exigências ecofisiológicas distintas: os pousadores e os voadores (Corbet, 1999). Os pousadores que são em geral ectotérmicos, usam a luz solar ou a temperatura ambiente como fonte principal de calor. Eles podem ser conformadores termais ou heliotérmicos. Os conformadores, Zygoptera de menor tamanho corporal mostram elevada condutância e a temperatura do corpo varia com a do ambiente, principalmente, pela troca de calor por convecção (Corbet, 1999). Os heliotérmicos têm o corpo maior e (algumas espécies de Zygoptera e maior parte dos Anisoptera), conseqüentemente, condutância mais baixa, sendo suas atividades determinadas principalmente pela irradiação solar (May, 1976). Os

endotérmicos, muitas vezes classificados como voadores (as maiores espécies de Anisoptera), escapam da previsão deste cenário por produzirem calor através do controle da circulação da hemolinfa (May, 1976; Corbet, 1999).

Libélulas neotropicais são adequadas para a detecção de perturbações ou alterações nos ecossistemas aquáticos (Oertli, 2008), pelo fato de ter um longo ciclo de vida (podendo chegar a um ano nos trópicos), ter ampla distribuição nos sistemas aquáticos (Corbet, 1999) e por apresentar uma duplicidade em seu ciclo de vida, onde a fase imatura é aquática e a adulta é terrestre/aérea (Oertli, 2008). A característica de habitar dois ambientes distintos durante o seu desenvolvimento desperta grande interesse na relação dos efeitos da integridade ambiental sobre a distribuição das espécies desse grupo, uma vez que elas podem ser indicadoras de modificações que ocorrem tanto no meio aquático quanto no terrestre (Reis et al., 2011; Pinto et al., 2012). Essas características tornam essa ordem de insetos uma forte ferramenta para estudos sobre priorização de conservação (Juen & De Marco, 2012).

Sendo esses padrões ecofisiológicos resultantes principalmente da relação entre capacidade de termorregulação com o tamanho corporal (Corbet, 1999) e considerando que Odonata ainda é pouco utilizada para expressar os efeitos de impactos ambientais com base nestes padrões, o objetivo desse estudo foi determinar quais são as possíveis espécies dessa ordem indicadoras da qualidade ambiental em igarapés da Amazônia Oriental. A hipótese a ser testada é que igarapés alterados e degradados (ambientes com maior entrada de luz e calor) irão abrigar composição de espécies indicadoras diferente dos preservados. É esperado que as espécies de Anisoptera (indivíduos maiores) devido suas necessidades e restrições de termorregulação (May, 1991), capacidade de dispersão e baixa exigência ambiental (McCauley, 2007), sejam menos especialistas, e por isso, muitas espécies devem ser potenciais indicadores de igarapés degradados e/ou alterados, e que apresentam menor quantidade de vegetação nativa.

Por outro lado, espécies de Zygoptera (indivíduos menores) geralmente possuem alto grau de especificidade por ambientes onde os recursos necessários estariam disponíveis. Espécies desta subordem seriam mais especialistas, o que MacArthur & Levins (1964) consideram como sendo espécies “grão grosseiro” (espécies especialistas de hábitat). Desta forma, espécies dessa subordem apresentariam menor riqueza em locais alterados e degradados (Corbet, 1999), apresentando um maior número de espécies indicadoras de ambientes preservados (ambientes com menor entrada de luz e calor).

Material e métodos

Área de estudo

O estudo foi realizado em 50 igarapés (trecho de 150 m em cada igarapé) no município de Paragominas, localizado no nordeste do estado do Pará, Brasil, entre as coordenadas 2° 25' e 4° 09'S e 46° 25' e 48° 54'W (Figura 1). Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante na região é do tipo Aw, caracterizado como tropical chuvoso com estação seca curta bem definida e com chuvas inferiores a 60 mm, temperatura média anual de 27,2 °C, umidade relativa do ar de 81% e precipitação pluviométrica média de 2.000 mm/ano. O período de menor disponibilidade hídrica ocorre de junho a dezembro (Diniz, 1986).

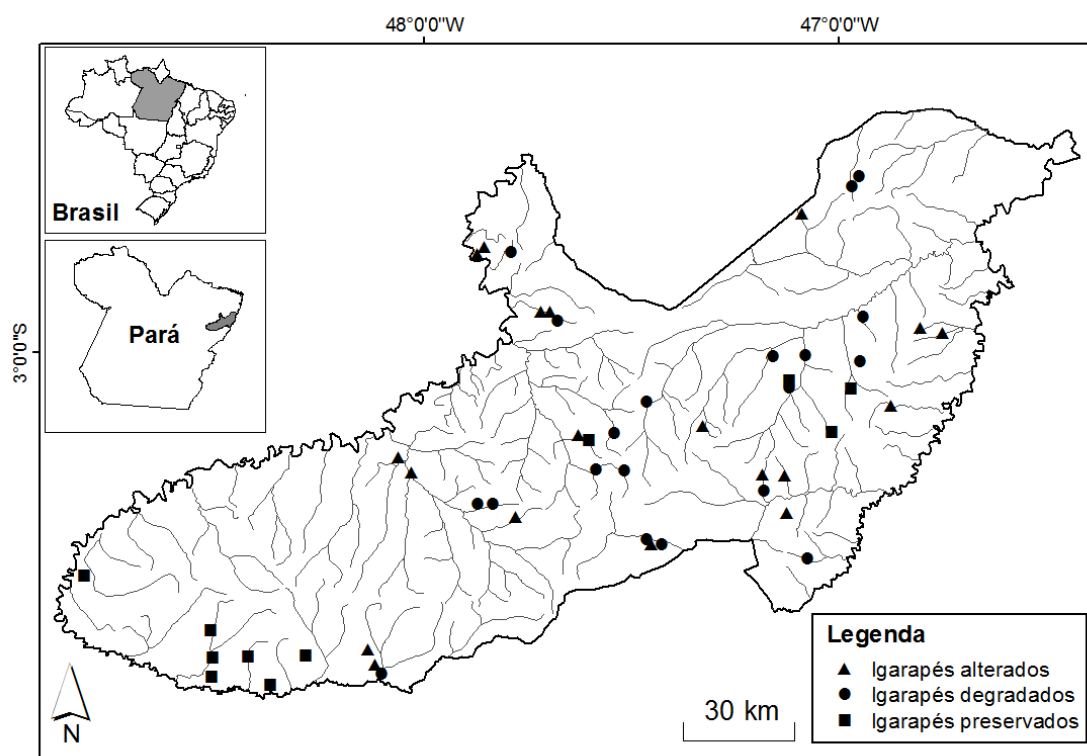


Figura 1. Rede de drenagem e distribuição dos 50 igarapés (trechos de 150 m) de acordo com o nível de conservação (preservado, alterado ou degradado) amostrados na Amazônia Oriental, Paragominas, PA, Brasil, 2011.

A vegetação da área estudada é classificada de acordo com Veloso et al. (1991), nos seguintes ambientes fitoecológicos: floresta ombrófila densa,; floresta ombrófila aberta mista de cipó e palmeira; e floresta ombrófila densa aluvial. A região mais desflorestada localiza-se na porção nordeste do município, em uma região de extração de madeira, chegando a abrigar centenas de serralherias até o final dos anos 1990. Após esse auge, a extração de madeira foi seguida então da criação de gado e plantações de grãos, sendo estas as atividades antropogênicas predominantes nos dias de hoje (Pezzuti & Silva, 2009). Embora alguns grandes remanescentes fossem encontrados ao longo da região, a maior área de floresta primária no município de Paragominas, que apresenta características físicas, químicas e biológicas naturais ainda quase que inalteradas, pertence à uma empresa madeireira com certificado florestal, localizada na região sudeste do município (Sabogal et al., 2009).

Coleta de dados

Amostragem biológica

Os 50 igarapés foram amostrados no período de estiagem entre os meses de junho e agosto do ano de 2011. Foi utilizada a metodologia de varredura em áreas fixas, na qual foram demarcados 100 m (trechos) em cada igarapé, subdivididos em 20 segmentos de cinco metros de comprimento. Para coleta dos indivíduos adultos foi utilizada uma rede entomológica (40 cm de diâmetro, 65 cm de profundidade e cabo de alumínio com 90 cm de comprimento), para confirmação da identificação realizada em campo. O tempo de permanência em cada ponto foi em média de uma hora (De Marco, 1998). Essa metodologia já tem sido usada com sucesso em outros estudos (Juen & De Marco, 2011; Pinto et al., 2011; Reis et al., 2011; Pinto et al., 2012), mostrando ser eficiente em métodos rápidos de amostragem.

Foram mensuradas a temperatura (° C) e umidade do ar (%) em local sombreado próximo de cada igarapé. As coletas foram realizadas impreterivelmente entre as 10 e 14h e quando os raios solares alcançavam o igarapé, essas condições mínimas são necessárias para

garantir que todos os grupos de Odonata (conformadores, heliotérmicos e endotérmicos) estivessem ativos no momento da coleta (May, 1976; 1991). Para o acondicionamento dos espécimes seguiu-se o protocolo descrito em Lencioni (2006).

Para identificação dos espécimes coletados foram utilizadas chaves taxonômicas especializadas (Borror, 1945; Belle, 1988; 1996; Garrison, 1990; Carvalho & Calil, 2000; Costa et al., 2002; Lencioni, 2005; 2006; Garrison et al., 2006; Garrison et al., 2010), comparando-os com material testemunho da coleção e quando necessário foram enviados alguns exemplares para os especialistas Frederico Lencioni (Zygoptera) e Ângelo Pinto (Anisoptera). Após a identificação, os insetos foram depositados como material testemunho na Coleção do Museu de Zoologia da Universidade Federal do Pará, Belém, PA-Brasil.

Análise da integridade física dos igarapés

Os aspectos físicos da qualidade ambiental de cada igarapé foram avaliados usando o procedimento descrito no Índice de Integridade de Hábitat (IIH), de Nessimian et al. (2008). Este protocolo é constituído por 12 itens que descrevem as condições ambientais avaliando características como: padrão de uso da terra adjacente à vegetação ribeirinha; largura da mata ciliar e seu estado de preservação; estado da mata ciliar dentro de uma faixa de 10 m; descrição da condição do canal quanto ao tipo de sedimento e presença de dispositivos de retenção; estrutura e desgaste dos barrancos marginais do rio; caracterização do leito do rio quanto ao substrato, vegetação aquática, detritos e disposição das áreas de corredeiras, poções e meandros.

Cada item deste protocolo é composto de quatro a seis alternativas ordenadas de forma a representar sistemas cada vez mais íntegros. Os valores obtidos variam em uma escala de 0-1, ou seja, quanto mais próximo de um mais íntegro é considerado o igarapé.

Para classificar estes igarapés em diferentes níveis de conservação os valores de IIH foram categorizados a partir do critério de Scott (1979), e tendo variado entre 0,28 e 0,96, os

50 igarapés foram classificados em três níveis de conservação: degradados, alterados e preservados. Os igarapés classificados como degradados apresentaram IIIH variando de 0,28 a 0,49 (20 igarapés), os alterados entre 0,50 à 0,75 (19 igarapés) e os preservados de 0,76 a 0,96 (11 igarapés).

Análise dos dados

Neste estudo foram consideradas 50 unidades amostrais (50 trechos de igarapés). Dentre as 50 foram estabelecidas amostras degradadas, alteradas e preservadas. Destas, 20 foram as réplicas para as unidades amostrais de tratamento (igarapés degradados), 19 foram as réplicas para as unidades amostrais intermediárias (igarapés alterados) e 11 foram as réplicas para as unidades controle (igarapés preservados).

Com intuito de verificar a riqueza de espécies por níveis de conservação, foi estimada a riqueza de espécies com base no estimador não paramétrico *jackknife* de primeira ordem (Colwell & Coddington, 1994), controlando o esforço de amostragem. A eficiência de amostragem de espécies de Odonata foi verificada por meio de curvas de acumulação de espécies, utilizando o mesmo estimador com 1.000 aleatorizações baseado no número de segmentos (Colwell et al., 2004).

Para testar se existe diferença na riqueza de espécies com base na classificação do grau de integridade dos pontos (preservado, alterado e degradado) foi utilizada a metodologia de inferência por intervalo de confiança, também usando a riqueza estimada pelo *jackknife* de primeira ordem (Colwell et al., 2004), onde os grupos foram considerados realmente diferentes quando os intervalos de confiança de um grupo não se sobrepôs às médias do outro.

Os valores dos 12 itens do IIIH que descrevem as condições ambientais foram sumarizados pela Análise de Componentes Principais (PCA) para visualizar a distinção entre os níveis de conservação. Para determinar quais componentes principais seriam retidos para análise foi utilizada a aleatoriedade obtida pelo modelo de broken-stick (Jackson, 1993). Para

testar se os níveis de conservação eram diferentes foi realizada uma ANOVA One Way ($\alpha = 0,05$) com os escores gerados pela PCA.

A análise de espécies indicadoras (*Indicator Value Method* - IndVal) foi utilizada para detectar se haveria espécies de Odonata indicadoras de qualidade ambiental (Dufrêne & Legendre, 1997). Esta análise é realizada separadamente para cada uma das espécies amostradas e mede a fidelidade (frequência relativa) e especificidade (abundância relativa) de cada espécie a um dado filtro ambiental (Dufrêne & Legendre, 1997). A significância da análise se deu com o Teste de Monte Carlo, com 10.000 randomizações aceitando como significativo $p < 0,05$.

As estimativas de riqueza de espécies foram calculadas no programa EstimateS (*Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples*) versão 7.5.0 (Colwell, 2005) e as demais análises foram realizadas pelas rotinas do programa R (R Development Core Team, 2011), usando o pacote *Indicspecies* para o IndVal (De Cáceres & Legendre, 2009).

Resultados

Descrição da comunidade de Odonata

Foram coletados 1.769 espécimes de Odonata, distribuídos em 11 famílias, 41 gêneros e 97 espécies. Zygoptera contribuiu com 961 indivíduos, distribuídos em oito famílias (Calopterygidae, Coenagrionidae, Dicterididae, Megapodagrionidae, Perilestidae, Polythoridae, Protoneuridae e Pseudostigmatidae), 19 gêneros e 56 espécies. Anisoptera contribuiu com 808 indivíduos, distribuído em três famílias (Aeshnidae, Gomphidae e Libellulidae), 22 gêneros e 41 espécies.

De Zygoptera, Coenagrionidae foi a família mais abundante com 343 espécimes; dos membros desta família, as espécies do gênero *Argia* Rambur foram as mais abundantes (n=230), seguido de *Acanthagrion* Selys (n=72) e *Tigriagrion* Calvert (n=26). Enquanto que de Anisoptera, Libellulidae foi a família com maior abundância, apresentando 796 espécimes, sendo que as espécies do gênero *Erythrodiplax* Brauer (n= 375), *Oligoclada* Karsch (n= 136) e *Diastatops* Rambur (n=105) foram respectivamente as mais representativas dessa família.

Curvas de acumulação e riqueza das espécies de Odonata

Ao analisar a curva de acumulação de espécies nos igarapés coletados, considerando todos os níveis de conservação, notou-se que a mesma encontra-se em ascendência (Figura 2A), o mesmo padrão foi observado quando analisou-se separadamente cada nível de conservação (Figuras 2B, C e D). Porém a eficiência de amostragem foi de 79% (riqueza observada/pela riqueza estimada) para Odonata, 77% para Anisoptera e 80% para Zygoptera, mostrando que o esforço despendido no estudo foi eficiente para mensurar a diversidade da região.

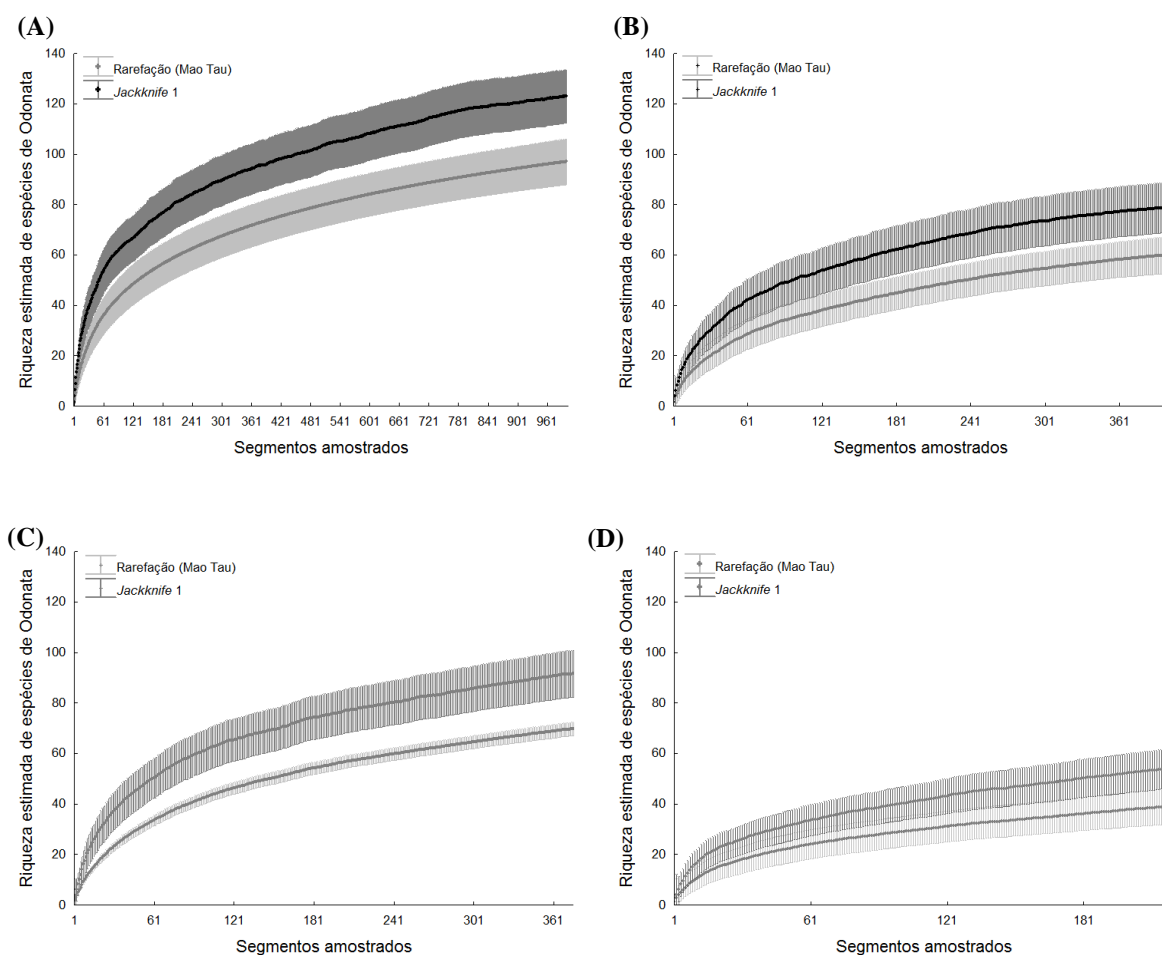


Figura 2. Curvas de acumulação de espécies de Odonata por níveis de conservação dos igarapés (segmentos como pseudorréplicas) amostrados na Amazônia Oriental, Paragominas, PA, Brasil, para (A) todos os níveis de conservação (B) apenas degradados (C) apenas alterados e (D) apenas preservados.

As maiores riquezas estimadas de Odonata por níveis de conservação, ocorre em igarapés classificados como alterados ($78,23 \pm 4,45$), estes ambientes apresentam em média 12 espécies a mais do que os ambientes degradados e 24 espécies a mais do que os preservados (Figura 3A).

Analisando por subordem, Anisoptera teve a maior riqueza em igarapés classificados como degradados ($38,31 \pm 3,51$), estes ambientes apresentam em média sete espécies a mais do que ambientes alterados e 25 espécies a mais do que preservados, (Figura 3B); para Zygoptera, este índice foi maior em igarapés classificados como alterados ($48,06 \pm 3,13$),

estes ambientes apresentam em média 19 espécies a mais do que ambientes degradados e sete espécies a mais do que preservados (Figura 3C).

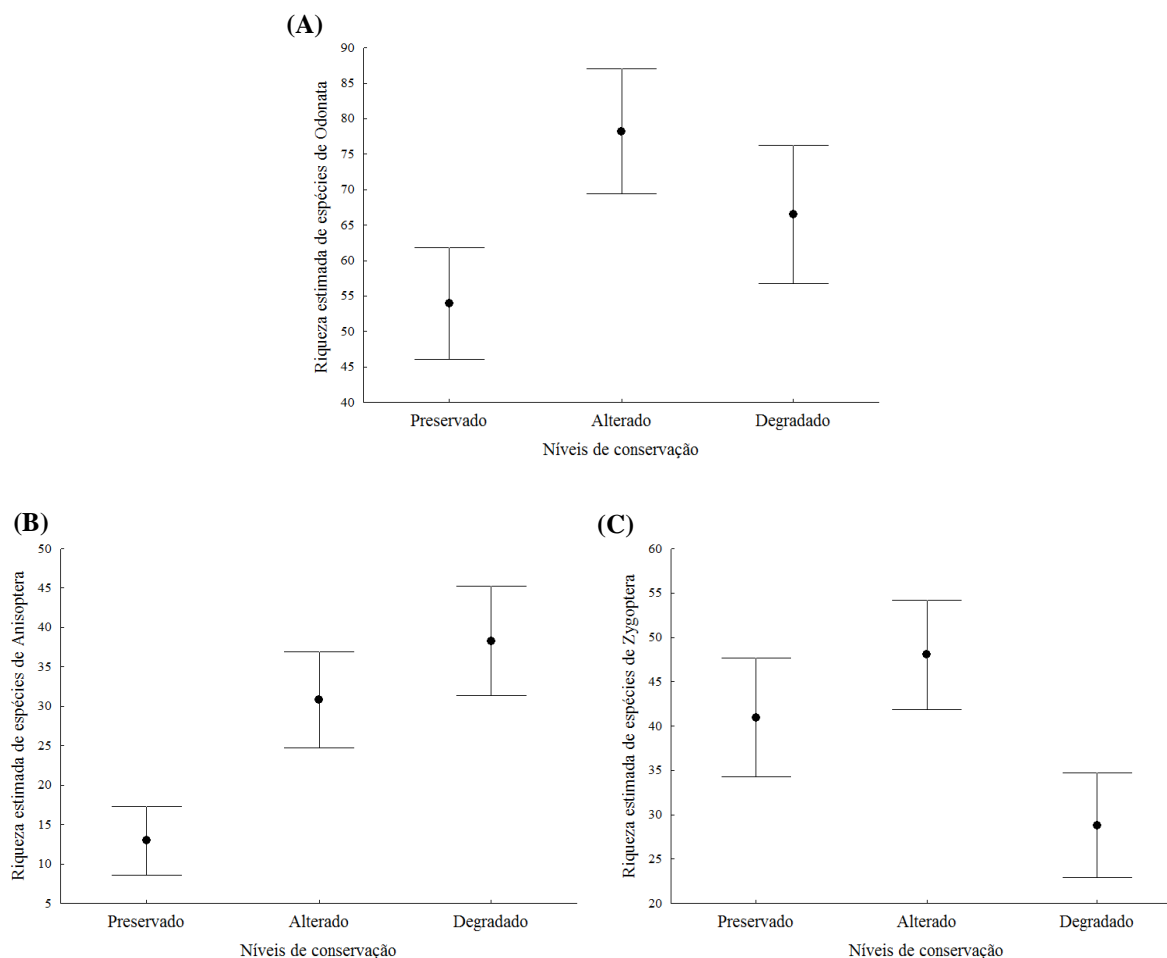


Figura 3. Riqueza estimada de espécies (*jackknife* de primeira ordem) (média \pm intervalo de confiança) por níveis de conservação dos igarapés amostrados na Amazônia Oriental, Paragominas, PA, Brasil, apenas para (A) ordem Odonata (B) subordem Anisoptera e (C) subordem Zygoptera.

Características ambientais dos igarapés e suas relações com a riqueza estimada de espécies de Odonata

Existe uma separação dos igarapés por níveis de conservação. Os igarapés preservados apresentaram relação positiva com a integridade ambiental, agrupando-se em direção aos maiores valores para largura e estados de preservação da mata ciliar. Os igarapés degradados apresentaram perda significativa e mudanças no estado de preservação da vegetação ripária, desta forma, pode-se observar um agrupamento associado aos menores valores de integridade desta vegetação. Nota-se que igarapés alterados se ordenaram na porção intermediária do

gráfico, ficando no meio das outras duas categorias de conservação (Tabela 1, Figura 4). A associação dos dois eixos da PCA representou 59,36% da variação ambiental. No entanto, foi analisado apenas o primeiro eixo, uma vez que o segundo eixo (12,72%; autovalor = 5,22) não apresentou valor observado maior que o valor estimado pelo broken-stick. O primeiro eixo explicou sozinho 46,64% dos nossos resultados (autovalor = 19,13).

Como subsidio para tal explicação dos agrupamentos, pode-se observar que as variáveis que mais contribuíram para a formação do primeiro eixo estão estritamente relacionadas a estrutura da mata ciliar. Tais variáveis relacionam-se com o nível de conservação destes ambientes, sendo elas: largura da mata ciliar (LCM), estado de preservação da mata ciliar (EPMC) e estado da mata ciliar dentro de uma faixa de 10 m (EMC10) (Tabela 1, Figura 4). Essa separação dos igarapés em diferentes níveis de conservação é corroborada pelos resultados da análise de variância (ANOVA= $F_{(2,47)}=84,040$, $p<0,001$), mostrando que tal disparidade não pode ser explicada pela acaso e sim por fatores ambientais.

Tabela 1. Os 12 itens do Índice de Integridade de Hábitat (IIH) que descrevem as condições ambientais dos igarapés amostrados na Amazônia Oriental, Paragominas, PA, Brasil e suas correlações com os Eixos 1 e 2 da Análise de Componentes Principais (PCA).

Variáveis ambientais	Loadings	
	Eixo 1	Eixo 2
Padrão de uso da terra além da zona de vegetação ribeirinha (PUTZVR)	-0,604	-0,439
Largura da mata ciliar (LMC)	-0,908*	-0,186
Estado de preservação da Mata Ciliar (EPMC)	-0,884*	-0,151
Estado da mata ciliar dentro de uma faixa de 10 m (EMC10)	-0,885*	-0,058
Dispositivos de retenção (DR)	-0,455	0,695
Sedimentos no canal (SC)	-0,671	0,389
Estrutura do barranco do rio (EBR)	-0,479	-0,364
Escavação sob o barranco (ESB)	-0,724	-0,140
Leito do rio (LR)	-0,032	-0,256
Áreas de corredeiras e poções ou meandros (ACPM)	-0,359	0,505
Vegetação aquática (VA)	-0,716	-0,017
Detritos (D)	-0,643	0,313
Autovalores	19,13	5,22
broken-stick	10,61	7,19

*Considerando ponto de corte segundo Peres-Neto et al. (2003).

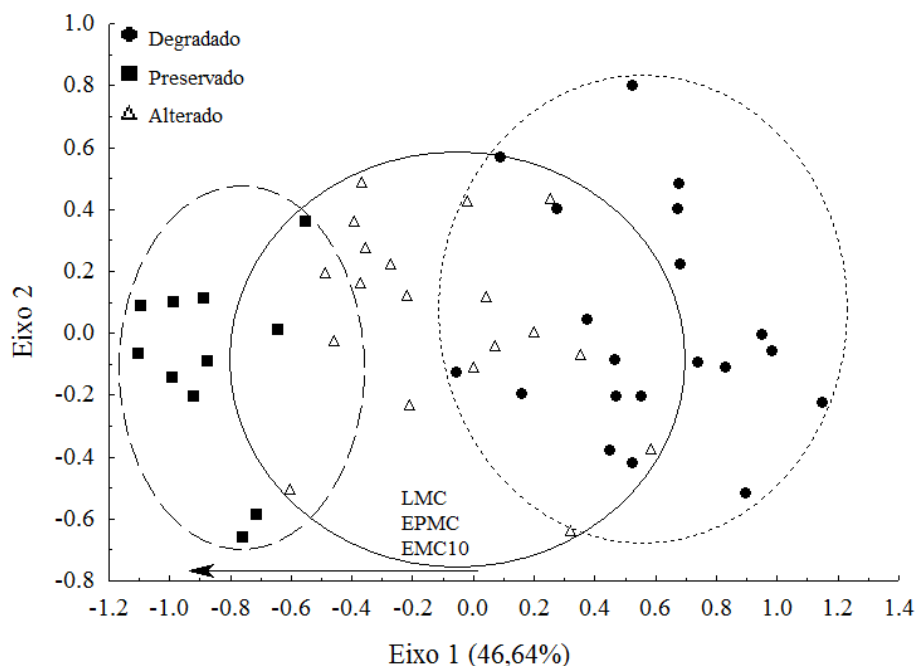


Figura 4. Ordenação das variáveis ambientais (valores dos 12 itens do Índice de Integridade Hábitat (IIH)) por igarapés sob diferentes condições ambientais amostrados na Amazônia Oriental, Paragominas, PA, Brasil realizada através de Análise de Componentes Principais-PCA (LMC=largura da mata ciliar; EPMC=estado de preservação da mata ciliar; EMC10=estado de preservação da mata ciliar dentro de uma faixa de 10 m).

Espécies de Odonata indicadoras de qualidade ambiental

Das 97 espécies de Odonata registradas neste estudo, 18 foram classificadas como espécies indicadoras de qualidade ambiental (IndVal, considerando valores acima de 40%). Seis delas para igarapés degradados, das quais cinco pertencem a Anisoptera e apenas uma a Zygoptera e 12 para igarapés preservados, 11 são representantes de Zygoptera e apenas uma à subordem Anisoptera. Não houve indicação de espécies para igarapés classificados como alterados. No *ranking* de indicação, *Erythrodiplax basalis* (Kirby, 1897) (Anisoptera) indicando igarapé degradado (89,2%), *Heteragrion aurantiacum* Selys, 1862 (Zygoptera) igarapé preservado (88,9%) e *Protoneura tenuis* Selys, 1860 (Zygoptera) igarapé preservado (87,2%) foram as espécies que apresentaram os maiores valores de indicação (Tabela 2).

Tabela 2. Espécies de Odonata apontadas pela análise de IndVal (apenas IV>40%) como sendo bioindicadoras de qualidade ambiental (preservado, alterado ou degradado) de igarapés na Amazônia Oriental, Paragominas, PA, Brasil. A aleatorização é indicada pelos valores da média e desvio padrão (DP).

Subordens/Espécies indicadoras	Indicação	Média	DP	IndVal	p
Anisoptera					
<i>Erythrodiplax basalis</i> (Kirby, 1897)	Degradado	10,550	8,715	89,2	0,001
<i>Erythrodiplax fusca</i> (Rambur, 1842)	Degradado	4,350	4,095	82,2	0,001
<i>Diastatops obscura</i> (Fabricius, 1775)	Degradado	4,650	5,878	81,3	0,001
<i>Orthemis discolor</i> (Burmeister, 1839)	Degradado	1,150	1,565	67,7	0,002
<i>Oligoclada abbreviata</i> (Rambur, 1842)	Degradado	0,950	1,669	59,4	0,014
<i>Gynacantha membranalis</i> Karsch, 1891	Preservado	0,545	1,214	52,2	0,008
Zygoptera					
<i>Heteragrion aurantiacum</i> Selys, 1862	Preservado	4,455	4,321	88,9	0,001
<i>Protoneura tenuis</i> Selys, 1860	Preservado	4,909	4,636	87,2	0,001
<i>Mnesarete aenea</i> (Selys, 1853)	Preservado	4,636	4,905	86,2	0,001
<i>Argia infumata</i> Selys, 1865	Preservado	4,091	4,134	75,5	0,001
<i>Chalcopteryx rutilans</i> (Rambur, 1842)	Preservado	2,182	2,857	74,6	0,001
<i>Acanthagrion adustum</i> Williamson, 1916	Degradado	1,250	1,713	72,6	0,001
<i>Psaironeura tenuissima</i> (Selys, 1886)	Preservado	0,909	1,758	67,4	0,001
<i>Perilestes kahli</i> Williamson & Williamson, 1924	Preservado	0,727	1,272	53,1	0,020
<i>Epipleoneura capilliformis</i> (Selys, 1886)	Preservado	0,364	0,674	52,2	0,012
<i>Acanthagrion rubrifrons</i> Leonard, 1977	Preservado	0,273	0,647	42,6	0,041
<i>Dictyerias atosanguinea</i> Selys, 1853	Preservado	0,182	0,405	42,6	0,036
<i>Perilestes solutus</i> Williamson & Williamson, 1924	Preservado	0,182	0,405	42,6	0,041

Discussão

Foi observado que espécies de Odonata estão altamente associadas ao grau de integridade dos ecossistemas aquáticos, corroborando a hipótese de que estas podem ser utilizadas como indicadoras de qualidade ambiental desses ecossistemas (Oertli, 2008). Espécies de maior tamanho corporal (Anisoptera) apresentaram maior fidelidade por igarapés degradados enquanto que espécies de menor tamanho corporal (Zygoptera), por igarapés preservados, sendo essas diferenças relacionadas principalmente com a termorregulação (Corbet, 1999; Corbet & May, 2008).

A perda da cobertura vegetal é um dos principais fatores que altera a integridade biológica dos cursos da água (Roy et al., 2003) afetando a estrutura da comunidade de Odonata (Dijkstra & Lempert, 2003), desta forma, se torna uma ameaça para as espécies adaptadas a determinadas condições ambientais (Ferreira-Peruquetti & De Marco, 2002). Este fato se torna importante principalmente quando estamos tratando de dois grupos com diferenças evidentes de exigências eco-fisiológicas (Corbet, 1999).

No geral, Anisoptera apresentou riquezas estimadas mais altas e espécies que se destacaram como bioindicadoras de igarapés degradados. Estas são heliotérmicas e pousadoras, desta forma, a abundância das mesmas é altamente dependente da radiação solar (Remsburg et al., 2008), necessária para se aquecerem e iniciarem suas atividades (May, 1976; Corbet & May, 2008). Essa grande representatividade de espécies de maior tamanho corporal (Anisoptera) para igarapés degradados se dá, ainda por serem beneficiadas pela alteração das áreas naturais em função de suas habilidades de termorregulação, e tenderem a apresentar mecanismos homeostáticos mais eficientes, e maior mobilidade, e com isto (heliotermia + homeostase) tendem a tolerar condições ambientais mais diversificadas, em consequência disso, possuem maiores distribuições nestes ambientes (Tschardt et al., 2002).

Alguns estudos ressaltam a importância da sombra e do sol na seleção de hábitat por Odonata em riachos tropicais, sugerindo que adultos de muitas espécies de Anisoptera evitam as áreas sombreadas e que a abundância média diminui quando a intensidade de sombreamento aumenta (Samways et al., 2005; Ward & Mill, 2005; Remsburg et al., 2008).

A única espécie de Zygoptera associada a ambientes degradados foi *Acanthagrion adustum* Williamson que é comumente relacionada a ambientes lênticos como brejos e poças, sendo suas larvas associadas a macrófitas e detritos (Carvalho & Nessimian, 1998; De Marco & Latini, 1998). Como sua oviposição é endofítica (ovos ficam protegidos nos tecidos vegetais) (Fulan & Henry, 2007) sua relação com igarapés degradados pode ser devido ao aumento na quantidade de macrófitas (Von Sperling, 2005), ocorrida em virtude do represamento existente na maioria desses igarapés (formando trechos com características de ambientes lênticos), em consequência da construção de estradas o que leva a ausência de cobertura vegetal (Ribera & Vogler, 2000). Outra possibilidade seria em virtude das macrófitas aumentar a complexidade dos sistemas e fornecer habitats específicos pra espécies escaladoras como é o caso das espécies do gênero *Acanthagrion* que necessitam desse tipo de microhábitat para se desenvolverem (Nessimian et al., 2008).

Como indicadoras de igarapés preservados destacaram-se espécies de Zygoptera. As espécies dessa subordem vivem em geral em regiões tropicais, em igarapés pequenos, cobertos por vegetação densa. Sendo tão pequenas, e com corpo delgado, é possível que em virtude da sua alta razão superfície volume sejam mais sujeitas ao superaquecimento e à dessecação, ficando restritas a ambientes mais sombreados, consequentemente mais preservados (Juen & De Marco, 2011).

As espécies de menor tamanho corporal devem ser mais sensíveis às variações ambientais por restrições ecofisiológicas (Corbet, 1999; Corbet & May, 2008) ou por uma maior especialização de hábitat. Em caso de distúrbio ambiental, essas espécies com

preferência por hábitat de florestas, podem desaparecer (Clausnitzer, 2003) e a riqueza de táxons será reduzida a grupos generalistas e tolerantes, com baixo valor para conservação (Covich et al., 1999).

Muitas espécies de Zygoptera ocorrem essencialmente em igarapés com a presença de mata ripária (Hartung, 2002; Loiola & De Marco, 2011). Um exemplo de especialização de hábitat pode ser observado em alguns gêneros de Zygoptera, fêmeas de espécies do gênero *Chalcopteryx* necessitam de hábitat específico para ovipor e por isso, só são encontradas em igarapés preservados. Muitas espécies de Zygoptera apresentam grande distribuição e abundância local, desta forma, as espécies desta subordem se tornam propriedades importantes de bioindicação de qualidade de ambientes aquáticos (Oertli, 2008), estudos prévios tem corroborado esta assertiva, demonstrando assim que características de muitos indivíduos podem se tornar ferramentas preditivas para avaliação de qualidade ambiental (Pinto et al., 2012).

Gynacantha membranalis Karsch foi a única espécie de Anisoptera indicadora de igarapé preservado. Indivíduos dessa espécie geralmente habitam poças marginais dos igarapés e de fitotelmata dentro das florestas tropicais com grande quantidade de mata nas quais permanecem pousadas (Fincke et al., 1997), ambientes estes típicos de florestas úmidas bem conservadas (Bede et al., 2000).

A riqueza de espécie de Odonata em igarapés degradados foi alta principalmente pela incidência de Anisoptera e, esse fato está relacionado com a retirada da vegetação e posterior eliminação ou substituição das espécies mais exigentes pelas mais generalistas. Em um primeiro momento, alterações intermediárias e de curta duração podem até maximizar a riqueza de espécies de um determinado local (Connell, 1978). Entretanto, caso tais alterações sejam contínuas, espécies mais exigentes e com distribuições mais restritas são extintas, uma vez que muitos microhábitats específicos são perdidos (Clausnitzer, 2003). Como

consequência, há uma diminuição na abundância de indivíduos, na riqueza e na diversidade de espécies deste local.

Tais observações são pontos importantes para discussões acerca de prioridades para conservação biológica, pois nossos resultados corroboram a premissa de que, embora haja substituição de espécies com maiores requerimentos ambientais (espécies especialistas) por espécies generalistas em igarapés degradados, tais áreas apresentam alta riqueza de espécies em etapas iniciais de degradação, mas resulta em perda significativa de toda uma gama de insetos da subordem Zygoptera, tais como as observadas neste estudo, o que sugere a necessidade de estudos adicionais e determinação de planos de manejo e recuperação destas áreas. Reforçamos aqui, a necessidade de maior rigor na fiscalização por parte dos órgãos competentes para o cumprimento da legislação ambiental, assegurando que ao menos a vegetação ripária seja preservada, garantindo a saúde e integridade dos corpos d'água e a conservação da estrutura da comunidade e da biodiversidade aquática (Noss, 1999).

Conclusão

Em igarapés preservados os Zygoptera apresentaram maior riqueza de espécies e nos igarapés degradados foi maior nos Anisoptera. Apontamos 18 espécies com especificidade/fidelidade a determinado nível de conservação. A estrutura da vegetação ripária afetou significativamente a comunidade de Odonata, com a presença ou ausência desta influenciou diretamente a temperatura do ambiente, e sendo considerado o principal fator estruturante das comunidades de adultos desta ordem, mais do que outros fatores ambientais mensurados.

Como esperado a resposta da comunidade de Odonata foi diferente quanto a integridade dos ambientes, assim, algumas espécies de Anisoptera podem ser utilizadas em futuros estudos de monitoramento e avaliação como bioindicadores ambientais para igarapés degradados. Por outro lado, algumas espécies do grupo Zygoptera podem ser utilizadas como indicadoras ambientais de igarapés preservados.

Baseado nos resultados encontrados é proposto que para atender a demanda por estudos sobre a avaliação da qualidade ambiental a comunidade de Odonata pode ser utilizada como bioindicadora, evitando a perda de espécies e incrementando a recuperação de áreas alteradas. No entanto, para o efetivo uso dessa comunidade de insetos nesses processos de avaliação é crucial o conhecimento da relação e da preferência por ambientes das espécies de Odonata nos diversos ecossistemas brasileiros.

Agradecimentos

Somos gratos ao laboratório de Entomologia da Universidade do Estado de Mato Grosso, juntamente as doutoras Helena Cabette e Joana Darc (UNEMAT) pelo apoio institucional e acadêmico na identificação de todo o material biológico e pelas sugestões no manuscrito. A CAPES pela concessão da bolsa. Aos mestrandos Leandro Brasil pelo auxílio nas coletas do material biológico e Nelson Pinto pelo auxílio na identificação dos Anisoptera. Ao especialista Frederico Lencioni pela confirmação da identificação dos Zygoptera. Aos doutores Luciano Montag e Neusa Hamada pelas valiosas sugestões em versões anteriores deste manuscrito. A doutoranda Vivian Campos por ter gentilmente elaborado o mapa. Agradecemos as seguintes fontes de financiamento pelo apoio financeiro: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia-Biodiversidade e Uso da Terra na Amazônia (CNPq 574008/2008-0), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Embrapa (SEG 02.08.06.005.00), Governo britânico: Darwin Initiative (17-023), TNC-The Nature Conservancy, e Natural Environment Research Council (NERC) (NE/F01614X/1 and NE/G000816/1). Agradecemos também os sindicatos rurais (SR e STTRs) de Santarém, Belterra e Paragominas e todos os produtores rurais das regiões de estudo pelo seu apoio à pesquisa.

Referências

- Astin, L.E. (2007). Developing biological indicators from diverse data: The Potomac Basin-Wide Index of Benthic Integrity (B-IBI). *Ecological Indicators*, 7, 895-908.
- Bede, L.C., Piper, W., Peters, G. & Machado, A.B.M. (2000). Phenology and oviposition behaviour of *Gynacantha bifida* Rambur in Brazil (Anisoptera: Aeshnidae). *Odonatologica*, 29, 317-324.
- Belle, J. (1988). A synopsis of the species of *Phyllocycla* Calvert with description of four new taxa and a key to the genera of the neotropical Gomphidae (Odonata, Gomphidae). *Tijdschrift voor Entomologie*, 131, 73-102.
- Belle, J. (1996). Higher classification of the South-American Gomphidae (Odonata). *Zoologische Mededelingen*, 70, 298-324.
- Blocksom, K.A. & Johnson, B.R. (2009). Development of a regional macroinvertebrate index for large river bioassessment. *Ecological Indicators*, 9, 313-328.
- Borror, D.J. (1945). A key to the New World genera of Libellulidae (Odonata). *Annals of Entomological Society of America*, 38, 168-194.
- Cannings, R.A. & Cannings, S.G. (1987). The Odonata of some saline lakes in British Columbia, Canadá: ecological distribution and zoogeography. *Advances in Odonatology*, 3, 7-21.
- Carvalho, A.L. & Calil, E.R. (2000). Chaves de identificação para as famílias de Odonata (Insecta) ocorrentes no Brasil - adultos e larvas. *Papéis Avulsos de Zoologia do Museu de Zoologia da USP*, 41, 423-441.
- Carvalho, A.L. & Nessimian, J.L. (1998). Odonata do Estado do Rio de Janeiro, Brasil: Hábitats e hábitos das larvas. *Ecologia De Insetos Aquáticos* (ed. by J.L. Nessimian & A.L. Carvalho), pp. 3-28. Rio de Janeiro, PPGE-UFRJ.
- Clausnitzer, V. (2003). Dragonfly communities in coastal habitats of Kenya: indication of biotope quality and the need of conservation measures. *Biodiversity and Conservation*, 12, 333-356.
- Colwell, R.K. (2005). EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 7.5. Disponível em: <http://purl.oclc.org/estimates>. Acesso em: 17 de março de 2012.
- Colwell, R.K. & Coddington, J.A. (1994). Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions Royal Society London*, 345, 101-118.
- Colwell, R.K., Mao, C.X. & Chang, J. (2004). Interpolatin, extrapolatin, and comparing incidence-based species accumulation curves. *Ecology*, 85, 17-27.
- Connell, J.H. (1978). Diversity in tropical rain forest and coral reefs. *Science*, 199, 1302-1310.

- Corbet, P.S. (1999). *Dragonflies: Behavior and Ecology of Odonata*. Comstock Publ. Assoc., Ithaca, NY, 829p.
- Corbet, P.S. & May, M.L. (2008). Fliers and perchers among Odonata: dichotomy or multidimensional continuum? A provisional reappraisal. *International Journal of Odonatology*, 11, 155-171.
- Costa, J.M., Lourenço, A.N. & Vieira, L.P. (2002). Chave de identificação para imagos dos gêneros de Libellulidae citados para o Brasil-Comentários sobre os gêneros (Odonata: Anisoptera). *Entomología y Vectores*, 9, 477-504.
- Couceiro, S.R.M., Hamada, N., Luz, S.L.B., Forsberg, B.R. & Pimentel, T.P. (2007). Deforestation and sewage effects on aquatic macroinvertebrates in urban streams in Manaus, Amazonas, Brazil. *Hydrobiologia*, 575, 271-284.
- Couceiro, S.R.M., Hamada, N., Forsberg, B.R., Pimentel, T.P. & Luz, S.L.B. (2012). A macroinvertebrate multimetric index to evaluate the biological condition of streams in the Central Amazon region of Brazil. *Ecological Indicators*, 18, 118-125.
- Courtney, L.A. & Clements, W.H. (1998). Effects of acidic pH on benthic macroinvertebrate communities in stream microcosms. *Hydrobiologia*, 379, 135-145.
- Covich, A.P., Palmer, M.A. & Cowl, T.A. (1999). The role of benthic invertebrate species in freshwater ecosystems. *BioScience*, 49, 119-127.
- De Cáceres, M. & Legendre, P. (2009). Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference. *Ecology*, 90, 3566-3574.
- De Marco, P.Jr. (1998). The Amazonian Campina dragonfly assemblage: patterns in microhabitat use and behaviour in a foraging habitat (Anisoptera). *Odonatologica*, 27, 239-248.
- De Marco, P.Jr. & Latini, A.O. (1998). Estrutura de Guildas e riqueza de espécies em uma comunidade de larvas de Anisoptera (Odonata). *Ecologia De Insetos Aquáticos* (ed. by J.L. Nessimian & A.L. Carvalho). *Oecologia Brasiliensis*, Rio de Janeiro, pp. 101-112.
- Dijkstra, K.D.B. & Lempert, J. (2003). Odonate assemblages of running waters in the Upper Guinean forest. *Archiv fur Hydrobiologie*, 157, 397-412.
- Diniz, T.D.A. (1986). Caracterização climática da Amazônia Oriental. In: Pesquisa sobre utilização e conservação de solo na Amazônia Oriental. Belém: Embrapa Cpatu, 291p.
- Dufrêne, M. & Legendre, P. (1997). Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 67, 345-366.
- Ferreira-Peruquetti, P. & De Marco, P.Jr. (2002). Efeito da alteração ambiental sobre comunidades de Odonata em riachos de Mata Atlântica de Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 19, 317-327.
- Fincke, O.M., Yanoviak, S.P. & Hanschu, R.D. (1997). Predação por odonates deprime abundância mosquito em buracos cheios de água árvore no Panamá. *Oecologia* 112, 244-253.

- Fulan, J.A. & Henry, R. (2007). Temporal distribution of immature Odonata (Insecta) on *Eichhornia azurea* (Kunth) stands in the Camargo Lake, Paranapanema River, São Paulo. *Revista Brasileira de Entomologia*, 51, 224-227.
- Garrison, R.W. (1990). A synopsis of the genus *Hetaerina* with descriptions of four new species (Odonata: Calopterigidae). *Transactions of American Entomological Society*, 116, 175-259.
- Garrison, R.W., Von Ellenrieder, N. & Louton, J.A. (2006). *Dragonfly Genera of the New World: an Illustrated and Annotated Key to the Anisoptera*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 368p.
- Garrison, R.W., Von Ellenrieder, N. & Louton, J.A. (2010). *Damselfly Genera of the New World. Baltimore, an Illustrated and Annotated Key to the Zygoptera*. The Johns Hopkins University Press, 490p.
- Goulart, M. & Callisto, M. (2003). Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. *Revista da FAPAM*, 2, 153-164.
- Hartung, M. (2002). *Heteragrion palmichale* spec. nov., a new damselfly from the Cordillera de la Costa, Venezuela (Zygoptera: Megapodagrionidae). *Odonatologica*, 31, 187-191.
- Herbst, D.B. & Silldorff, E.L. (2006). Comparison of the performance of different bioassessment methods: similar evaluations of biotic integrity from separate programs and procedures. *Journal of the North American Benthological Society*, 25, 513-530.
- Jackson, D.A. (1993). Stopping rules in principal components analyses: a comparison of heuristical and statistical approaches. *Ecology*, 74, 2204-2214.
- Jacob, U., Walter, H. & Klenke, R. (1984). Aquatic insects larvae as indicators of limiting minimal content of dissolved oxygen. *Aquatic Insects*, 6, 185-190.
- Juen, L., Cabette, H.S.R. & De Marco, P.Jr. (2007). Odonate assemblage structure in relation to basin and aquatic habitat structure in Pantanal wetlands. *Hydrobiologia*, 579, 125-134.
- Juen, L. & De Marco, P.Jr. (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, 265-274.
- Juen, L. & De Marco, P.Jr. (2012). Dragonfly endemism in the Brazilian Amazon: competing hypotheses for biogeographical patterns. *Biodiversity and Conservation*, 21(13), 3507-3521.
- Karr, J.R. & Dionne, M. (1991). Designing surveys to assess biological integrity in lakes and Reservoirs. *Biological Criteria: Research and Regulation* (ed. by Environmental Protection Agency), Washington, pp. 62-72.
- Lencioni, F.A.A. (2005). *The Damselflies of Brazil: An Illustrated Guide – The Non Coenagrionidae Families*. All Print Editora, São Paulo, 332p.
- Lencioni, F.A.A. (2006). *The Damselflies of Brazil: An Illustrated Guide - Coenagrionidae*. All Print Editora, São Paulo, 419p.

- Leunda, P.M., Oscoz, J., Miranda, R. & Arino, A.H. (2009). Longitudinal and seasonal variation of the benthic macroinvertebrate community and biotic indices in an undisturbed Pyrenean river. *Ecological Indicators*, 9, 52-63.
- Loiola, G.R. & De Marco, P.Jr. (2011). Behavioral ecology of *Heteragrion consors* Hagen (Odonata, Megapodagrionidae): a shade-seek Atlantic forest damselfly. *Revista Brasileira de Entomologia*, 55, 373-380.
- MacArthur, R. & Levins, R. (1964). Competition, habitat selection and character displacement in a patchy environment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 51, 1207-1210.
- May, M.L. (1976). Thermoregulation and adaptation to temperatures in dragonflies (Odonata: Anisoptera). *Ecological Monographs*, 46, 1-32.
- May, M.L. (1991). Thermal adaptations of dragonflies, revisited. *Advances in Odonatology*, 5, 71-88.
- McCauley, S.J. (2007). The role of local and regional processes in structuring larval dragonfly distributions across habitat gradients. *Oikos*, 116, 121-133.
- Nakamura, F. & Yamada, H. (2005). Effects of pasture development on the ecological functions of riparian forests in Hokkaido in northern Japan. *Ecological Engineering*, 24, 539-550.
- Nessimian, J.L., Venticinque, E., Zuanon, J., De Marco, P.Jr., Gordo, M., Fidelis, L., Batista, J.D. & Juen, L. (2008). Land use, habitat integrity, and aquatic insect assemblages in Central Amazonian streams. *Hydrobiologia*, 614, 117-131.
- Noss, R.F., (1999). Assessing and monitoring forest biodiversity: a suggested framework and indicators. *Forest Ecology of Management*, 115, 135-146.
- Oertli, B. (2008). The use of dragonflies in the assessment and monitoring of aquatic habitats. *Model Organisms for Ecological and Evolutionary Research* (ed. by A. Cordoba-Aguilar), Oxford University Press, Oxford, pp. 79-95.
- Peres-Neto, P.R., Jackson, D.A. & Somers, K.M. (2003). Giving meaningful interpretation to ordination axes: assessing loading significance in principal component analysis. *Ecology*, 84, 2347-2363.
- Pezzuti, J.C.B. & Silva, D.F. (2009). Síntese analítica do mapeamento das condições ambientais da macrorregião de Paragominas. *Paper do NAEA*, 236, 1-20.
- Pinto, N.S., Juen, L., Cabette, H.S.R. & De Marco, P.Jr. (2012). Fluctuating Asymmetry and Wing Size of *Argia tinctipennis* Selys (Zygoptera: Coenagrionidae) in Relation to Riparian Forest Preservation Status. *Neotropical Entomology*, 41, 1-9.
- Pinto, N.S., Oliveira-Junior, J.M.B., Juen, L. & Calvão, L.B. (2011). Ocorrência simpátrica de duas formas de *Erythrodiplax fusca* (Rambur, 1842) (Odonata: Libellulidae) no estado de Goiás-Brasil. *Enciclopédia Biosfera*, 7, 1-6.

- R Development Core Team. (2011). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>. Acesso em: 20 de março de 2012.
- Reis, E.F., Pinto, N.S., Carvalho, F.G. & Juen, L. (2011). Efeito da integridade ambiental sobre a Assimetria Flutuante em *Erythrodiplax basalis* (Libellulidae: Odonata) (Kirby). *EntomoBrasilis*, 4, 103-107.
- Remsburg, A.J., Olson, A.C. & Samways, M.J. (2008). Shade alone reduces adult dragonfly (Odonata: Libellulidae) abundance. *Journal Insect Behaviour*, 21, 460-468.
- Ribera, I. & Vogler, A.P. (2000). Habitat type as a determinant of species range sizes: the example of lotic-lentic differences in aquatic Coleoptera. *Biological Journal of the Linnean Society*, 71, 33-52.
- Roy, A.H., Rosemond, A.D., Paul, M.J., Leigh, D.S. & Wallace, J.B. (2003). Stream macroinvertebrate response to catchment urbanisation (Georgia, USA). *Freshwater Biology*, 48, 329-346.
- Sabogal, C., Pokorny, B., Silva, J.N.M., Carvalho, J.O.P., Zweede, J., Puerta, R. (2009). Diretrizes técnicas de manejo para produção madeireira mecanizada em florestas de terra firme na Amazônia brasileira. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental. 217p.
- Samways, M.J. & Steytler, N.S. (1996). Dragonfly (Odonata) distribution patterns in urban and forest landscapes, and recommendations for riparian management. *Biological Conservation*, 78, 279-288.
- Samways, M.J., Taylor, S. & Tarboton, W. (2005). Extinction reprieve following alien removal. *Conservation Biology*, 19, 1329-1330.
- Silva, D.P., De Marco, P.Jr. & Resende, D.C. (2010). Adult odonate abundance and community assemblage measures as indicators of stream ecological integrity: A case study. *Ecological Indicators*, 10, 744-752.
- Smith, J., Samways, M.J. & Taylor, S. (2007). Assessing riparian quality using two complementary sets of bioindicators. *Biodiversity and Conservation*, 16, 2695-2713.
- Souza, H.M.L., Cabette, H.S.R. & Juen, L. (2011). Baetidae (Insecta, Ephemeroptera) em córregos do cerrado matogrossense sob diferentes níveis de preservação ambiental. *Iheringia, Série Zoologia*, 101(3), 181-190.
- Stoddard, J., Larsen, D.P., Hawkins, C.P., Johnson, R.K., Norris, R.H. (2006). Setting expectations for the ecological condition of streams: the concept of reference condition. *Ecological Applications*, 16, 1267-1276.
- Tscharntke, T., Steffan-Dewenter, I., Kruess, A. & Thies, C. (2002). Contribution of small habitat fragments to conservation of insect communities of grassland-cropland landscapes. *Ecological Applications*, 12, 354-363.
- Veloso, H.P., Rangel Filho, A.L.R. & Lima, J.C.A. (1991). *Classificação Da Vegetação Brasileira Adaptada a Um Sistema Universal*. Rio de Janeiro, 123p.

Von Sperling, M. (2005). Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG. 3ª edição, volume 1. Belo Horizonte-MG, 243p.

Ward, J.V. & Stanford, J.A. (1982). Thermal responses in the evolutionary ecology of aquatic insects. *Annual Review of Entomology*, 27, 97-117.

Ward, L. & Mill, P.J. (2005). Habitat factors influencing the presence of adult *Calopteryx splendens* (Odonata : Zygoptera). *European Journal of Entomology*, 102, 47-51.

Wellborn, G.A., Skelly, D.K. & Werner, E.E. (1996). Mechanisms creating community structure across a freshwater habitat gradient. *Annual Review Ecology and Systematics*, 27, 337-363.

Conclusão geral

Demonstramos que a integridade ambiental e a estrutura da vegetação ripária são os fatores que afetam significativamente a comunidade de Odonata, a diminuição na integridade leva à um decréscimo na riqueza de espécies de Zygoptera e um aumento na riqueza de Anisoptera, indicando a forte relação do grupo com o meio físico.

Como esperado a resposta da comunidade de Odonata foi diferente quanto a integridade dos ambientes, assim demonstramos que existe uma associação preditiva entre a maior proporção de Anisoptera em ambientes com perda da vegetação ciliar (consequentemente ambientes alterados) podendo então espécies dessa subordem ser utilizadas em futuros estudos de monitoramento e avaliação como bioindicadores ambientais para igarapés degradados.

Por outro lado, uma menor proporção de espécies do grupo Zygoptera foi encontrada nestes igarapés degradados, o que sugere que esses indivíduos podem ser mais vulneráveis as alterações do hábitat em função das suas restrições ecofisiológicas e dependência do hábitat físico para termorregular, desta forma, podendo ser utilizados como indicadores ambientais de igarapés preservados.

Apêndice

Apêndice I - Normas da revista “*International Journal of Odonatology*” seguidas para formatação dos capítulos.

International Journal of Odonatology



Worldwide Dragonfly Association

<http://www.tandfonline.com/action/authorSubmission?journalCode=tijo20&page=instructions>
