



TIAGO OCTAVIO BEGOT RUFFEIL

Avaliação dos efeitos da monocultura de palma de dendê na estrutura do habitat e na diversidade de peixes de riachos amazônicos

Belém, 2018

TIAGO OCTAVIO BEGOT RUFFEIL

Avaliação dos efeitos da monocultura de palma de dendê na estrutura do habitat e na diversidade de peixes de riachos amazônicos

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zoologia, do convênio da Universidade Federal do Pará e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Zoologia.

Área de concentração: Biodiversidade e conservação
Linha de Pesquisa: Ecologia animal

Orientador: Prof. Dr. Luciano Fogaça de Assis Montag

Belém, 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- B416a Begot Ruffeil, Tiago Octavio
Avaliação dos efeitos da monocultura de palma de dendê na estrutura do habitat e na diversidade de peixes de riachos amazônicos / Tiago Octavio Begot Ruffeil. — 2018
145 f. : il. color
- Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Zoologia (PPGZOO), Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Luciano Fogaça de Assis Montag
1. Impacto Humano. 2. Ictiofauna Neotropical. 3. *Elaeis guineensis*. 4. Estrutura Funcional. I. Fogaça de Assis Montag, Luciano, *orient.* II. Título
-

CDD 577.609811

FOLHA DE APROVAÇÃO

TIAGO OCTAVIO BEGOT RUFFEIL

Avaliação dos efeitos da monocultura de palma de dendê na estrutura do habitat e na diversidade de peixes de riachos amazônicos

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zoologia, do convênio da Universidade Federal do Pará e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Zoologia, sendo a COMISSÃO JULGADORA composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Luciano Fogaça de Assis Montag
Universidade Federal do Pará (Presidente)

Prof. Dr^a. Cecilia Gontijo Leal
Museu Paraense Emílio Goeldi

Prof. Dr. David Hoeinghaus
University of North Texas

Profa. Dr^a. Erica Maria Pellegrini Caramaschi
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Marcos Pérsio Dantas Santos
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Paulo dos Santos Pompeu
Universidade Federal de Lavras

Prof. Dr. Raphael Ligeiro Barroso Santos
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Rogério Rosa Silva
Museu Paraense Emílio Goeldi

Aprovada em: 30 de março de 2018.
Local de defesa: Belém, Pará.

*“Science is not only a disciple of reason but,
also, one of romance and passion”*

Stephen Hawking

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Dr. Luciano Montag (Miúdo), pela orientação e amizade ao longo desses dez anos de constante aprendizado, inspiração e parceria;

Aos pesquisadores e pesquisadoras pelas discussões, contribuições e conselhos: Dr. Leandro Juen, Dr^a. Cristiane Ferreira, Dr^a. Karina Dias, Dr. Joshuah Perkin, Dr^a. Caroline Arantes e Dr. Kirk Winemiller;

Aos meus amigos e amigas do Laboratório de Ecologia e Conservação por todo o apoio no campo e no laboratório, e pelas relevantes discussões: Ana Luiza Andrade, Ana Paula Farias, Bruno Prudente, Calebe Maia, Cleo Lobato, Dani Hashiguti, Facundo Alvarez, Fernando Carvalho, Gilberto Salvador, Hagi carvalho, Híngara Leão, Lais Lobato, Leandro Brasil, Lisveth Mendoza, Lucas Colares, Lucas Gonçalves, Luciana Santos, Márcio Ferreira, Naiara Torres, Naraiana Benone, Sara Almeida, Thiago Barbosa, Thiago Mendes, Thiely Garcia e Tiago Freitas;

Aos amigos do *Winemiller Aquatic Ecology Lab* pela receptividade, contribuições e apoio no desenvolvimento desta tese: David Saenz, Friedrich Keppeler, Luke Bower e Yasmin Quintana;

Aos pesquisadores Dr. André Ferreira e Dr. Guilherme Dutra, e a pesquisadora Dr^a. Marina Mendonça, pelo auxílio nas identificações das espécies de peixes;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado e pela oportunidade de realizar doutorado sanduíche na *Texas A&M University*, Texas, Estados Unidos, sob orientação do Prof. Dr. Kirk Winemiller.

Às instituições Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Conservação Internacional do Brasil (CI-Brasil), Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA), *United States Agency for International Development* (USAID), Fundação de Amparo e Desenvolvimento da Pesquisa (FADESP), Grupo Agropalma e Biopalma/VALE pelo financiamento e apoio logístico;

À minha família pelo total apoio e dedicação na minha formação pessoal e profissional.

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	10
INTRODUÇÃO GERAL.....	11
MATERIAL E MÉTODOS.....	14
CAPÍTULO 1.....	27
Abstract	28
Introduction	29
Material and Methods.....	30
Results	34
Discussion.....	41
References	46
Supplementary material.....	55
CAPÍTULO 2.....	56
Resumo	57
Introdução.....	58
Material e Métodos.....	59
Resultados.....	63
Discussão.....	67
Referências	70
Material Suplementar – Capítulo 2.....	76
CAPÍTULO 3.....	82
Resumo	83
Introdução.....	84
Material e Métodos.....	85
Resultados.....	91
Discussão.....	94
Referências	98
Material suplementar – Capítulo 3	107
CONCLUSÕES GERAIS.....	115
ANEXO 1	117
ANEXO 2	123
ANEXO 3	133
LISTA DE ARTIGOS PUBLICADOS DURANTE A PÓS-GRADUAÇÃO	145

Avaliação dos efeitos da monocultura de palma de dendê na estrutura do habitat e na diversidade de peixes de riachos amazônicos

RESUMO

O cultivo de palma de dendê na Amazônia vem crescendo exponencialmente nos últimos anos, alterando as características naturais da paisagem e constituindo uma possível ameaça à biodiversidade. As alterações provocadas se estendem aos ecossistemas aquáticos, que por serem altamente relacionados com a vegetação adjacente, também sofrem os impactos decorrentes dessa prática agrícola, como alterações na estrutura do habitat físico, afetando a distribuição das espécies e os processos ecossistêmicos. Com isso, estudos que avaliam o impacto dessa monocultura na Amazônia são fundamentais para subsidiar estratégias mais eficientes para a redução dos impactos e a manutenção da biodiversidade. Sendo assim, esta tese busca responder as seguintes perguntas: 1) Quais as diferenças entre riachos que drenam plantações de palma de dendê e fragmentos florestais quanto às estruturas do hábitat e das assembleias de peixes? 2) Quais os efeitos da substituição da floresta na paisagem por palma de dendê na estrutura física do habitat, bem como na diversidade taxonômica de peixes de riachos neotropicais? 3) Como os padrões de diversidade, taxonômica e funcional, das assembleias de peixes de riachos amazônicos respondem às alterações ambientais, do habitat físico e da paisagem, provocadas pela monocultura de palma de dendê? Para responder a essas questões foram amostrados e analisados 39 riachos na Amazônia Oriental. Para a caracterização do habitat físico de riachos foi aplicado um extenso protocolo da avaliação, gerando 238 variáveis ambientais do habitat, além da utilização de características da paisagem baseadas na porcentagem de usos de solo adjacente aos riachos. Para a coleta dos peixes utilizou-se rede de mão pelo período de seis horas em cada riacho. Foram tomadas medidas morfológicas e informações ecológicas das espécies coletadas para posterior cálculo dos atributos funcionais referentes ao terceiro capítulo. Com os resultados obtidos, verificou-se que as monoculturas de palma de dendê afetam a estrutura do habitat físico de riachos, modificando principalmente a morfologia do canal, a estrutura do substrato e a oferta de micro-habitat, como presença de madeiras e raízes. Consequentemente, a distribuição das espécies de peixes foi afetada, resultando em mudanças na estrutura das assembleias de peixes. Por outro lado, não foram registradas alterações na estrutura funcional dessas assembleias. Em resumo, estes resultados auxiliam a identificar alguns problemas ocasionados pela expansão da palma de dendê na Amazônia, gerando conhecimento necessário para uma produção mais sustentável, minimizando os impactos ambientais e, consequentemente, protegendo a biodiversidade.

Palavras-chave: Impacto humano, ictiofauna neotropical, *Elaeis guineensis*, estrutura funcional.

Evaluation the effects of oil palm plantation on the habitat structure and fish diversity in amazonian streams

ABSTRACT

In the Amazon, oil palm plantation has been growing exponentially in recent years, altering the landscape natural characteristics and being a possible threat to biodiversity. This environmental impact extends to aquatic ecosystems, which because they are highly related to the adjacent vegetation, also suffer the impacts resulting from this agricultural action, such as habitat structure alterations, affecting the species distribution and ecosystem processes. Thus, studies to test the impact of this monoculture in the Amazon are important to support more efficient strategies for reducing impacts and maintaining biodiversity. Therefore, this thesis aims to answer the following questions: I) How the presence of oil palm cultivation around the streams affect their habitat structure and fish assemblage structure in relation to streams that drain through forested areas present along of this anthropogenic landscape? II) What are the effects of the substitution on landscape of primary forest on the oil palm in the habitat physical structure and on the taxonomic diversity of neotropical stream fish? III) How do the patterns of taxonomic and functional diversity of Amazon stream fish assemblages responds to the habitat and landscape changes caused by oil palm plantation? To answer these questions, we sampled and analyzed 39 streams in the Eastern Amazon. For the habitat characterization, an extensive protocol of the evaluation was applied, resulting in 238 habitat variables, besides that, was used landscape characteristics based on the percentage of land uses adjacent to the streams. For fish collection was used hand net for six hours in each stream. Morphological measures and ecological information of fish species were taken for later calculation of the functional attributes related to the third chapter. The results showed that oil palm plantation affect the stream habitat structure, modifying mainly the channel morphology, the substrate structure and shelter availability, such as woods and roots, for fish assemblage. Consequently, the fish species distribution was affected, resulting in changes in the assemblage structure. On the other hand, no changes were registered in the functional structure of these assemblies. Finally, we showed that the oil palm plantation modifies the stream habitat natural characteristics, as well as the distribution of the species, however the functional structure of the fish assemblages is maintained.

Key-words: Human impact, neotropical ichthyofauna, *Elaeis guineensis*, functional structure.

INTRODUÇÃO GERAL

A Amazônia é a maior floresta tropical do mundo, abrangendo mais de 5 milhões de km² (Sioli 1984), constituindo um complexo mosaico de habitat que abriga uma das maiores biodiversidades de que se tem conhecimento (Junk et al. 2007; Hoorn and Wesselingh 2010). Entre esses diferentes habitat, os ambientes aquáticos destacam-se por apresentarem grande importância ecológica para o ecossistema, além da alta diversidade biológica associada (Junk 1993; Naiman and Décamps 1997).

Os ambientes hídricos ocupam aproximadamente 800.000 km², cerca de 15% do território amazônico (Melack and Hess 2010), concentrando mais de 20% da água doce do planeta (ANA 2015). Esta extensa rede hídrica apresenta diferentes características, que permitem classificar os ambientes aquáticos quanto à geomorfologia, características físico-químicas, tipo de água, pulso de inundação, entre outros (Castello et al. 2013).

Entre os diferentes tipos de ambientes aquáticos (*e.g.* rios, lagos, igapós, dentre outros), os pequenos riachos (conhecidos na Amazônia como igarapés) apresentam características peculiares, como grande diversidade biológica (Harding et al. 1998; Meyer et al. 2007) e grande interação com o ecossistema terrestre (Hynes 1975; Pusey and Arthington 2003). Esta relação com a vegetação ripária é determinante na manutenção das características naturais dos riachos, pois a mata ciliar promove o sombreamento dos corpos d'água e estruturação das margens, além do aporte de matéria orgânica, formando micro-habitat para muitos organismos e constituindo-se como a principal fonte energética da cadeia trófica (Naiman et al. 2005; Teels et al. 2006). Sendo assim, os impactos sofridos pelos ambientes terrestres normalmente se estendem aos corpos d'água, afetando a estrutura do habitat físico, bem como as características físico-químicas da água (Fausch et al. 2010; Souza et al. 2013).

Mesmo com toda a extensão geográfica das redes de drenagem e importância ecológica, os pequenos riachos são constantemente ameaçados por ações antrópicas (Palmer and Richardson 2009), o que reforça a importância de estudos que forneçam informações sobre suas características naturais e como respondem aos impactos antropogênicos (Allan 2004). Boa parte da floresta amazônica vem sofrendo com impactos humanos desordenados, decorrentes de diferentes práticas de uso do solo, como extração madeireira, atividades agropecuárias e urbanização (Fearnside 2005), que juntos, são responsáveis por um aumento de mais de 50% no desmatamento da Amazônia nos últimos 20 anos (Almeida and Vieira 2013). Essas alterações causam a supressão da vegetação nativa, compactação do solo, assoreamento de rios, alterações na qualidade das águas e, conseqüentemente, perda da diversidade biológica (Allan et al. 2012; Mantyka-Pringle et al. 2014).

Dentre as atividades antrópicas que ocorrem na Amazônia, a monocultura de palma de dendê (*Elaeis guineensis* Jacq.) é a atividade que mais cresce na região, registrando um aumento de mais

120.000 hectares destinados à produção deste vegetal nos últimos 30 anos (FAO 2015). Esse aumento na produção coloca o Brasil em décimo lugar entre os maiores produtores de dendê no mundo, em uma lista liderada por Malásia, Tailândia e Indonésia (Brown et al. 2005; FAO 2015). O crescimento da produção de palma de dendê na Amazônia é decorrente de diversos fatores, como as favoráveis condições ambientais e climáticas da região, além de políticas públicas de incentivo à produção (Furlan-Júnior 2006; Müller et al. 2006).

Originária do continente africano, a palma de dendê (*Elaeis guineensis* Jacq.) se expandiu pelos trópicos ao longo dos anos, abrangendo principalmente o sudeste Asiático e a América Latina (Furlan-Júnior 2006). No sudeste asiático, mais especificamente na Malásia, os primeiros registros de plantações de dendê datam de 1848, e a partir de então, a expansão desta monocultura gerou controvérsias, principalmente no que se refere ao desenvolvimento econômico do país e à conservação dos ecossistemas naturais (Sheil et al. 2009).

Estudos revelam que o crescimento desordenado das plantações de dendê no sudeste asiático trouxe danos irreversíveis ao ecossistema local (Sheil et al. 2009), uma vez que vastas áreas de florestas nativas foram suprimidas, dando lugar a esta monocultura (Brook et al. 2003). Essas alterações afetaram diretamente a biodiversidade (Turner and Foster 2009; Azhar et al. 2014; Giam et al. 2015), ocasionando a redução na riqueza e abundância de muitas espécies, gerando inclusive extinção local. De acordo com Sodhi et al. (2004), no sudeste asiático, as maiores taxas de extinção foram registradas para os peixes, mamíferos e borboletas.

Esses resultados evidenciam que a monocultura de palma de dendê afeta a heterogeneidade ambiental, reduzindo a disponibilidade de micro-habitat e recursos, afetando diretamente a ocorrência e distribuição das espécies (Poff 1997; Luskin and Potts 2011). Dessa forma, um ambiente homogeneizado, contém menor variabilidade ambiental para suportar espécies com exigências de condições específicas (Poff and Ward 1990). Isso ocorre porque grande parte das espécies exige ambientes complexos e íntegros para sua existência, devido a suas especificidades ecológicas, morfológicas, funcionais e fisiológicas (Southwood 1977; Poff and Ward 1990). Por outro lado, as alterações ambientais, em diferentes escalas espaciais, não se restringem aos ambientes terrestres, ou seja, as modificações decorrentes da monocultura de palma de dendê certamente se estendem aos pequenos riachos, afetando as características físicas, químicas e biológicas desses sistemas (O'Neill et al. 1989).

Na Amazônia, a introdução da palma de dendê ocorreu em 1942, por meio de sementes provenientes da Bahia que foram introduzidas no Brasil através dos escravos vindos da África (Müller et al. 2006). Mas foi em 1968 que se iniciou a escala produtiva, quando no município de Santa Bárbara, no Estado do Pará, foram plantadas as primeiras quadras de palma de dendê (Müller et al. 2006). A partir de então, com incentivos de políticas públicas, esta prática agrícola se expandiu,

e em 1975 já eram registradas mais 50 mil árvores de dendê na região. Em 1980 foi construída a primeira indústria para produção de óleo de dendê, o que desencadeou um aumento significativo na produção. No ano de 1984 as lavouras de dendê já ocupavam os municípios de Acará e Moju, no Estado do Pará, e em 1985 novas indústrias entraram em pleno funcionamento, aumentando a demanda de novas áreas para plantio do dendê. No ano de 1997 novas áreas foram plantadas no município de Moju e uma indústria de processamento foi instalada na capital do Estado, em Belém. E assim se deu o crescimento da monocultura na Amazônia, sempre apoiado por incentivos públicos e pela demanda comercial dos produtos derivados do dendê (Müller et al. 2006).

Acompanhando o crescimento da produção agrícola, as pesquisas voltadas para melhorar a qualidade do produto e reduzir o tempo de produção foram fundamentais para estabelecer a Amazônia como um grande polo de produção de palma de dendê (Conduru 1957; Müller and Alves 1997; Botelho et al. 1998). Por outro lado, pesquisadores voltaram suas atenções para os impactos ambientais que a monocultura de dendê poderia causar na Amazônia (Furlan-Júnior and Müller 2004; Becker 2010; Buttler 2011; Juen et al. 2016).

Desde então pesquisas dessa natureza passaram a ganhar espaço e relevância, principalmente as que investigam impactos à biodiversidade (Cunha et al. 2015; Correa et al. 2015; Lees et al. 2015; Shimano and Juen 2016; Ferreira et al. 2018). Esses estudos são fundamentais, pois, conhecer as alterações ambientais decorrentes desta prática é uma ferramenta indispensável na elaboração de estratégias mais eficientes que podem auxiliar na mitigação dos impactos, bem como no estabelecimento de áreas prioritárias, tanto para conservação quanto para a expansão do plantio (Ramalho-Filho et al. 2010).

Sendo assim, a presente tese tem como objetivo responder as seguintes perguntas: I) Quais as diferenças entre riachos que drenam plantações de palma de dendê e fragmentos florestais quanto às estruturas do habitat físico e das assembleias de peixes? II) Quais os efeitos da substituição da floresta, na paisagem, por palma de dendê na estrutura física do habitat, bem como na diversidade taxonômica de peixes de riachos neotropicais? III) Como os padrões de diversidade, taxonômica e funcional, das assembleias de peixes de riachos amazônicos respondem às alterações ambientais, do habitat e da paisagem, provocadas pela monocultura de palma de dendê?

Para melhor estruturação das respostas a estas perguntas, esta tese está estruturada em três capítulos apresentados em formatos de artigos científicos. O primeiro capítulo intitulado “*Effects of oil palm plantations on habitat structure and fish assemblages in Amazon streams*”, tem como objetivo avaliar como a presença da monocultura de palma de dendê próximo aos riachos afeta a estrutura do habitat e a estrutura das assembleias de peixes, quando comparados com riachos que drenam áreas florestadas. Assumiu-se a hipótese que riachos que drenam áreas de plantação de dendê possuem menor heterogeneidade ambiental, ocasionando alterações na composição das assembleias

de peixes, diminuição na riqueza e aumento na abundância de espécies generalistas, quando comparado com riachos que drenam áreas florestadas. Este capítulo/artigo foi publicado na revista científica *Environmental Biology of Fishes* em 06/02/2018 (doi 10.1007/s10641-018-0716-4). Neste capítulo, foram utilizados apenas 17 riachos, onde os mesmos foram categorizados em riachos de palma de dendê ou de floresta, não sendo utilizados riachos circundados por áreas de pasto e solo exposto. Esta classificação foi feita com base na porcentagem de uso de solo predominante no entorno dos riachos amostrados, onde foi considerado predominante aquelas feições da paisagem que apresentaram mais de 80% do total observado.

O segundo capítulo é intitulado “Efeitos da palma de dendê na estrutura do habitat e diversidade taxonômica de peixes de riachos da Amazônia Oriental” e tem como objetivo avaliar como a substituição da floresta por palma de dendê, na paisagem, afeta a estrutura do habitat e a diversidade taxonômica de peixes de riachos tropicais. Neste capítulo assumimos como hipótese que a substituição da floresta altera as características naturais dos riachos e conseqüentemente a distribuição das espécies de peixes; este capítulo será submetido para a revista científica *Aquatic Sciences*. Neste capítulo foram utilizados 39 riachos não categorizados, onde foram considerados as características da paisagem descritas posteriormente na seção Material e métodos (Características da paisagem) do referido capítulo.

Por fim, o terceiro capítulo é intitulado “A influência da monocultura de palma de dendê na estrutura funcional das assembleias de peixes de riachos” e tem como objetivo avaliar como as alterações no habitat e na paisagem, provocadas pela palma de dendê, afetam os padrões de diversidade taxonômica e funcional das assembleias de peixes de riachos. Assumindo a hipótese que a substituição de floresta por palma de dendê resulta em uma alteração ambiental nos riachos e favorece um espectro menor de grupos funcionais, ou seja, alguns agrupamentos funcionais serão afetados e até mesmo perdidos. Este artigo será submetido para a revista científica *Ecological Indicators*. Neste capítulo foram utilizados os mesmos 39 riachos não categorizados do capítulo anterior, considerando as características da paisagem descritas posteriormente na seção Material e métodos (Características da paisagem) do referido capítulo.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi conduzido na Amazônia Oriental, mais especificamente no Centro de Endemismo Belém (CEB), localizado na mesorregião do Nordeste do estado do Pará ($2^{\circ}13'00''S$ / $2^{\circ}43'00''S$ e $48^{\circ}54'00''W$ / $48^{\circ}28'00''W$), onde está concentrada a maior parte da produção de palma dendê na Amazônia (Reis-Neto 2010) (Figura 1).

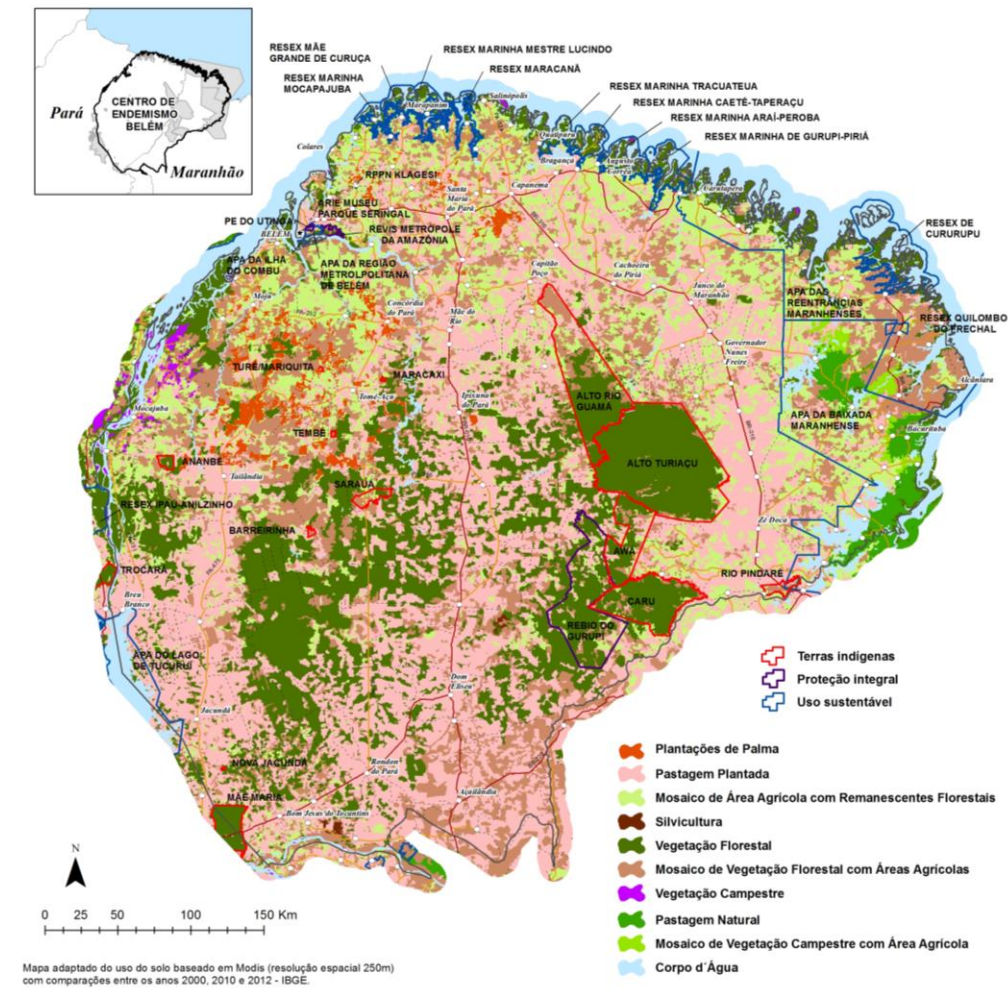


Figura 1. Mapa do Centro de Endemismo Belém (CEB), evidenciando o extenso mosaico de áreas preservadas e alteradas presente na região. (Fonte: Barbosa, LC. Conservação Internacional do Brasil – CI)

O CEB, com aproximadamente 243.000 km², contempla 27 Unidades de Conservação e 14 áreas de Terras Indígenas (Almeida and Vieira 2013), formando assim um extenso mosaico de áreas preservadas e alteradas, uma vez que 28% do território do CEB é constituído de floresta ombrófila e 72% desse território foi convertido em diversos usos de solo, entre eles a agropecuária com mais de 79.000 km² (32,4%) é a mais representativa, enquanto que a palma de dendê apresenta aproximadamente 3.200 km² (1,3%) de área plantada (Almeida and Vieira 2013). Embora a área ocupada pelo plantio de dendê seja pequena, se comparada à agropecuária, esta cultura é a que mais cresce na Amazônia, sendo registrado um aumento de mais de 100% nas áreas plantadas desde 2012 (FAO 2015).

O clima no CEB é tropical úmido, do subtipo 'Af', segundo a classificação de Köppen (Peel et al. 2007). O período chuvoso se estende de dezembro a maio e o período de estiagem de junho a novembro, com pluviosidade anual média de 2.344 mm³, atingindo máximas 427 mm³ mensais em

março, e mínimas de 54 mm³ em setembro (Albuquerque et al. 2012). A temperatura média na região é de 26°C, com uma umidade relativa do ar atingindo 85% (Oliveira et al. 2002).

A rede hidrográfica do CEB é composta por importantes rios da região, como o Tocantins, Guamá, Acará, Moju e Capim (Almeida and Vieira 2013). Além dos grandes rios, vários outros corpos d'água menores constituem a complexa rede hidrográfica da região, como riachos de primeira, segunda e terceira ordem, todos caracterizados como rios de água clara devido à baixa quantidade de sedimento transportado e pelo substrato predominantemente arenoso (Junk 1993).

Em relação ao relevo, o CEB é composto por regiões de planalto, depressões e planícies e tabuleiros litorâneos, de acordo com o mapeamento de Ross (1990). O solo da área é predominantemente de latossolos amarelos alumínicos (EMBRAPA 2009).

Desenho amostral

No total, foram amostrados 39 riachos no CEB, especificamente na bacia do rio Acará (Figura 2). As expedições de campo ocorreram nos anos de 2012, 2013, 2015 e 2016, e foram padronizadas quanto ao período hidrológico, ocorrendo sempre no período de seca, que no CEB corresponde aos meses de junho a novembro (Albuquerque et al. 2012). A escolha do período foi necessária para evitar possíveis alterações, resultante de variações sazonais, tanto em aspectos estruturais e funcionais da ictiofauna, como para permitir a padronização do método de coleta e caracterização ambiental dos riachos (Jaramillo-Villa and Caramaschi 2008).

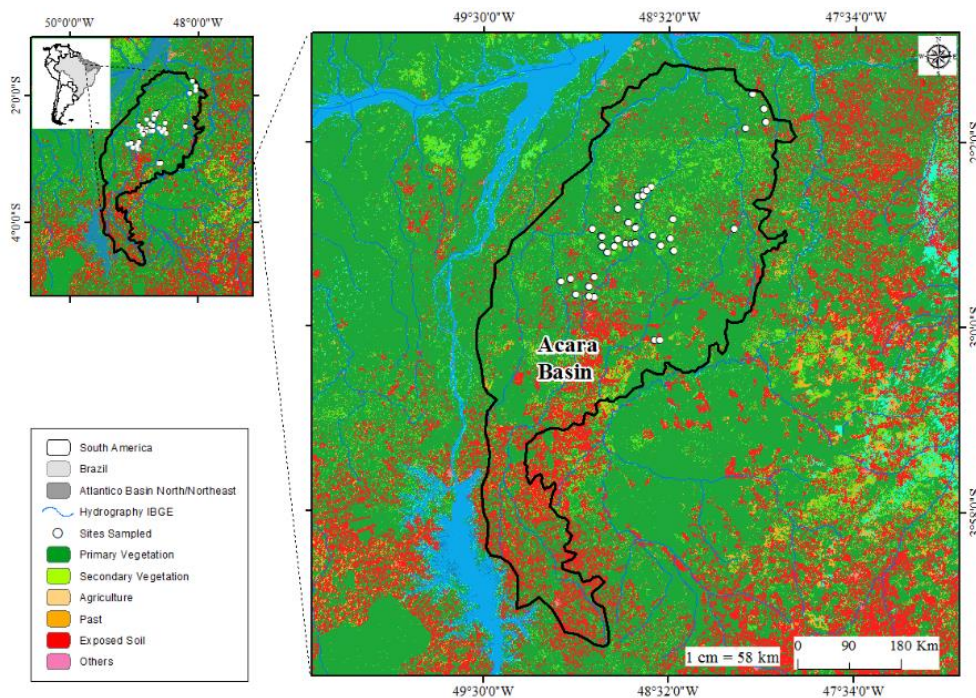


Figura 2. Localização geográfica dos riachos amostrados nos anos de 2012, 2013, 2015 e 2016 na Bacia do rio Acará, Amazônia Oriental, Pará, Brasil.

Foram amostrados trechos de riachos de primeira e segunda ordem, segundo a classificação de Strahler (1957) (Figura 2), onde se considera riacho de primeira ordem os chamados riachos de cabeceira ou nascente, ao passo que os de segunda ordem se originam da junção de dois riachos de primeira ordem. Essa padronização quanto ao tamanho dos riachos é necessária, pois diversos fatores ambientais podem influenciar na estrutura da comunidade em diferentes escalas espaciais (Vannote et al. 1980; Tejerina-Garro et al. 2005).



Figura 2. Exemplos de riachos amostrados no Centro de Endemismo Belém (CEB) nos anos de 2012, 2013, 2015 e 2016. (Fonte: Acervo LABECO/UFPA)

Esses trechos de riachos amostrados mediram 150 metros percorridos, ou seja, considerando as sinuosidades dos corpos d'água, subdivididos em 10 segmentos de 15 m cada, totalizando 11 seções transversais e 10 seções longitudinais (segmentos). As seções transversais foram nomeadas de A a K, enquanto que as seções longitudinais foram nomeadas a partir da combinação das seções transversais limitantes (A-B, B-C, C-D, ... J-K).

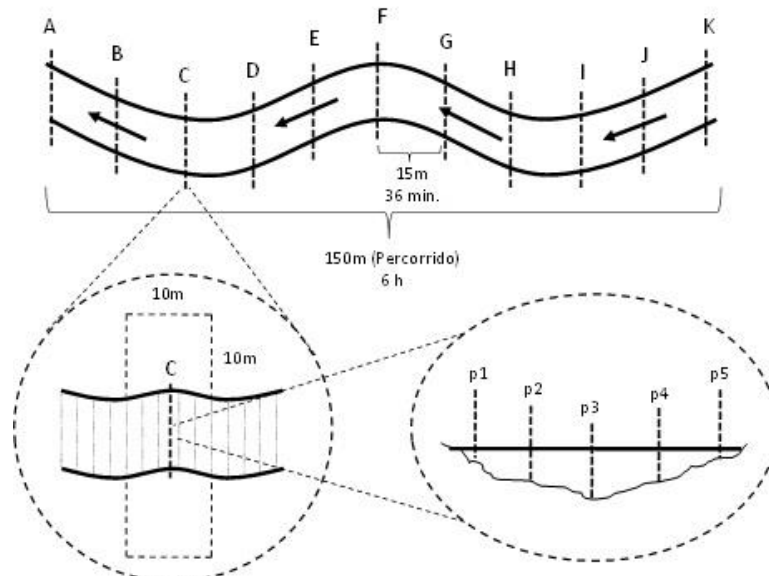


Figura 3. Ilustração esquemática do desenho amostral aplicado em riachos da Amazônia Oriental. As letras de A a K indicam as seções transversais, marcadas a cada 15m, e o espaço entre elas corresponde às seções longitudinais. Os códigos p1 a p5 indicam as repetições das medidas na seção transversal. (Fonte: Prudente, BS. LABECO/UFPA)

Características do habitat

A caracterização do habitat foi realizada com base no Protocolo de Avaliação e Monitoramento Ambiental (US-EPA) proposto por Peck et al. (2006) e adaptado para regiões tropicais por Callisto et al. (2014) (Figura 3). Esse protocolo avalia diversos componentes da estrutura do habitat, subdivididos em grupos de métricas, sendo estes: morfologia do canal, substrato, unidade de canal (fluxo de água), estrutura da vegetação ripária, presença de madeiras fora e dentro do leito, disponibilidade de abrigo e impacto humano.

Sendo que nas seções transversais foram tomadas as seguintes variáveis:

- **Largura molhada (m):** largura do canal, medida com o uso de fita métrica;
- **Profundidade do canal (cm):** medida graduado em cinco pontos equidistantes com o uso de um cano graduado;
- **Tipo de substrato e porcentagem de imersão:** tomado nos mesmos cinco pontos da profundidade do canal. A classificação foi feita em categorias (ex: areia, silte, banco de folhas, cascalho grosso) determinadas a partir do tamanho dos grãos de sedimento. A porcentagem de imersão do substrato por sedimento fino foi estimada visualmente;
- **Cobertura de dossel:** mensurada em seis pontos (direita, centro direita, centro montante, centro jusante, centro esquerda e esquerda) com o uso de densiômetro;
- **Abrigo para peixes:** estimada visualmente de alguns componentes estruturais do riacho, como banco de folhas, algas filamentosas e matacões. Para essa estimativa foi considerado os 5 m anteriores e posteriores à transecção, cobrindo uma extensão de 10 m;
- **Zona ripária:** estimada visualmente da cobertura proporcionada pela zona ripária em ambas as margens. Inclui desde árvores de grande porte até plantas rasteiras e solo nu. Essa estimativa é feita considerando os 5 m anteriores e posteriores à transecção, e uma extensão de 10 m a partir de cada margem, formando plots de 100 m²;
- **Impacto humano:** estimado visualmente do grau de impacto derivado de atividades humanas, considerando uma área de 100m² em torno da seção transversal em ambas as margens do canal. Esta influência é estimada de forma qualitativa (presença ou ausência) através da distância de determinada influência em relação ao canal (na margem, <10 m da margem ou >10 m da margem). As categorias avaliadas foram: canalização/ barramento,

construções, estradas, rodovias/ ferrovias, canos (captação/ descarga), entulho/ lixo, parque/ gramado e desmatamento.

Enquanto que nas seções longitudinais foram tomadas as seguintes variáveis:

- **Profundidade do talvegue (cm):** medido com o uso de um cano graduado;
- **Tipo de unidade do habitat do canal:** determinada a partir do tipo principal de classe de habitat do canal em uma linha transversal. A unidade do canal varia de fluxo suave até cascata e queda d'água, podendo haver formação de vários tipos de piscinas ou remansos;
- **Largura molhada:** medidas no 1º e 8º pontos da seção longitudinal;
- **Tipo de substrato:** classificado em cinco pontos transversais equidistantes no 8º ponto da seção longitudinal;
- **Presença de pedaços grandes de madeira:** contados tanto os que estão imersos na água quanto os que estão suspensos sobre o canal. Os pedaços de madeira foram registrados a partir de categorias de tamanho que incluem o volume ocupado pela madeira;
- **Declividade do canal:** determinada com o uso de uma mangueira e duas réguas;
- **Vazão da água:** mensurada através do método do objeto flutuante, ou seja, é calculado quanto tempo esse objeto percorre uma distância de três metros.

Essas variáveis foram combinadas para formar novas variáveis seguindo o descrito por Kaufmann et al. (1999), totalizando 238 métricas do habitat.

Além dessas métricas do habitat, foram mensuradas ainda as propriedades físico-químicas da água, em três pontos equidistantes do trecho amostrado no riacho (seções transversais A, F e K), para posterior cálculo da média. As variáveis físico-químicas amostradas foram: temperatura (°C), pH, condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$), turbidez (NTU) e oxigênio dissolvido (mg/L^{-1}).

Em cada capítulo desta tese foi detalhado quais variáveis ambientais (habitat e físico-químicas) foram utilizadas, bem como os métodos de seleção das mesmas.

Características da paisagem

Para cada riacho amostrado, a cobertura vegetal e os usos de solo adjacentes a esses corpos d'água foram quantificados através da delimitação de áreas de influência (*buffers*).

Primeiramente, foi delimitada a área da Amazônia Oriental e a rede de drenagem dos igarapés amostrados, com base nas coordenadas geográficas obtidas em campo, utilizando o software *ArcGIS* 10.1 (ESRI 2011). A rede de drenagem foi revisada por imagens dos satélites *RapidEye* (RapidEye 2015) e *Indian Remote Sensing* (IRS, INPE 2016) e por imagens do software *Google Earth* de 2016.

Os anos das imagens obtidas foram os mesmos das amostragens dos igarapés, ou seja, 2012, 2013, 2015 e 2016.

As áreas de influência (*buffers*) foram então delimitadas no entorno dos pontos amostrados (igarapés) em um formato circular. Foram elaborados *buffers* de 300 metros, onde, posteriormente as feições dos usos de solo foram classificadas, para subsequente identificação dentro dos *buffers* gerados. A determinação desta área de 300 metros se deu de forma a abranger as características da paisagem que vão além da vegetação ripária, compreendo uma área que possa afetar diretamente as condições naturais dos riachos (Frimpong et al., 2005).

A identificação das feições de uso de solo se deu em porcentagens, sempre proporcional ao tamanho do *buffer*, permitindo assim identificar a ocupação de cada feição de uso de solo presente em cada área de influência. As classes identificadas foram adaptadas do proposto por Molina et al. (2017), a saber: Floresta: áreas ocupadas por florestas nativas; Monocultura de palma de dendê: áreas ocupadas por palmeiras de dendê, em diferentes anos de plantio; Pastagem: áreas cobertas por gramíneas e/ou ocupadas por pecuária intensiva e extensiva; e Solo exposto: áreas com solo desprotegido, sem vegetação ou outro uso.

Coleta de material biológico

Os peixes foram capturados por busca ativa utilizando redes de mão com 60cm de diâmetro e malha de 3 mm entre nós opostos (Figura 4).



Figura 4. Coleta de peixes, utilizando redes de mão, em igarapés da Amazônia Oriental, Brasil (Foto: Acervo LABECO/UFPA).

A rede de mão é um método de coleta ativa comumente utilizada na amostragem de peixes de pequenos riachos tropicais, pois permite ao coletor alcançar diversos micro-habitat, como raízes

submersas, margens escavadas, barrancos, bancos de folha, entre outros (Hayes 1983; Uieda and Castro 1999).

A utilização de um único método de amostragem é justificada pelas características naturais dos riachos amazônicos, que apresentam muitos fragmentos de madeira e matéria orgânica, além de baixa condutividade, o que inviabiliza a utilização de outros métodos, como a rede de arrasto e a pesca elétrica (Hayes 1983). Sendo assim, a rede de mão pode ser considerada um método eficaz na amostragem de peixes, possibilitando a amostragem de indivíduos de diferentes tamanhos e hábitos de vida (Ribeiro and Zuanon 2006).

O esforço amostral foi padronizado em dois coletores, permanecendo 18 minutos em cada seção longitudinal, totalizando uma amostragem de seis horas por trecho de igarapé (150 metros). Os espécimes coletados foram submetidos a doses letais do anestésico Eugenol (*American Veterinary Medical Association*, 2001) e posteriormente fixados em formalina 10% por aproximadamente 48 horas e em seguida conservados em etanol 70° GL.

Em laboratório, os peixes foram triados e identificados com literatura especializada (*e.g.* Géry 1977; Kullander 1986) e com o auxílio de especialistas dos diferentes grupos taxonômicos. Posteriormente, o material biológico será tombado na Coleção Ictiológica do Museu Paraense Emílio Goeldi (MCT/MPEG), Belém, Brasil.

Os métodos e análises específicos de cada capítulo da tese estão descritos posteriormente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Nacional de Águas – ANA (2015) ‘Sistema de Informações Hidrológicas: Amazônia’. Disponível em: www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/informacoeshidrologicas/redehidro.aspx.
- Albuquerque MF, Souza EB, Oliveira MCF, Souza-Júnior JA (2012) Precipitação nas mesorregiões do Estado do Pará: climatologia, variabilidade e tendências nas últimas décadas (1978-2008). *Rev Bras Clim* 6(6):151-168.
- Allan JD (2004) Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. *Annu Rev Ecol Syst* 257-284. doi:10.1146/annurev.ecolsys.35.120202.110122
- Allan JD, Yuan LL, Black P, Stockton T, Davies PE, Magierowski RH, Read SM (2012) Investigating the relationships between environmental stressors and stream condition using Bayesian belief networks. *Freshwater Biol* 57(1):58-73. doi:10.1111/j.1365-2427.2011.02683.x
- Almeida AS, Vieira ICG (2013) ‘Sumário Executivo: Cenários para a Amazônia – Área de Endemismo Belém’. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém.
- Azhar B, Lindenmayer DB, Wood J, Fischer J, Zakaria M (2014) Ecological impacts of oil palm agriculture on forest mammals in plantation estates and smallholdings. *Biodivers Conserv* 23:1175-1191.

- Becker B (2010) Recuperação de áreas desflorestadas da Amazônia: será pertinente o cultivo da palma de óleo (Dendê)? *Revista Franco-Brasileira de Geografia* 10.
- Botelho SM, Viégas IJM, Chu EY (1998) ‘Doses de N, P e K na nutrição e no crescimento de mudas de dendzeiro’. EMBRAPA Amazônia Oriental (Boletim de pesquisa 193), Belém.
- Brook BW, Sodhi NS, Ng PKL (2003) Catastrophic extinctions follow deforestation in Singapore. *Nature* 424:420-423.
- Brown E, Jacobson MF (2005) ‘Cruel Oil: How palm oil harms health, rainforest and wildlife’. Center for Science in the Public Interest (CSPI), Washington.
- Buttler R (2011) ‘In Brazil, Palm Oil plantations could help preserve Amazon’ *Yale Environment* 360, New Haven.
- Callisto M, Alves CBM, Lopes JM, Castro MA (2014) Condições ecológicas em bacias hidrográficas de empreendimentos hidroelétricos. Cemig, Belo Horizonte, Brazil.
- Castello L, McGrath DG, Hess LL, Coe MT, Lefebvre PA, Petry P, Macedo MN, Renó VF, Arantes CC (2013) The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems. *Conserv Lett* 6(4):217-229.
- Correa FS, Juen L, Rodrigues LC, Silva-Filho HF, Santos-Costa MC (2015) Effects of oil palm plantations on anuran diversity in the eastern Amazon. *Anim Biol* 65(3-4):321-335. doi:10.1163/15707563-00002481
- Cunha EJ, Montag LFA, Juen L (2015) Oil palm crops effects on environmental integrity of Amazonian streams and Heteropteran (Hemiptera) species diversity. *Ecol Indic* 52:422-429. doi:10.1016/j.ecolind.2014.12.024
- Conduru JM (1957) ‘Notas sumárias sobre a cultura do dendê na Amazônia’. Instituto Agrônômico do Norte, Belém.
- EMBRAPA: Área Nacional de Pesquisa de Solos (2009) ‘Sistema Brasileiro de Classificação de Solos’. EMBRAPA-SPI, Rio de Janeiro.
- ESRI (2011) ‘ArcGIS Desktop: Release 10’. Environmental Systems Research Institute, Redlands.
- Fausch KD, Baxter CV, Murakami M (2010) Multiple stressors in north temperate streams: lessons from linked forest–stream ecosystems in northern Japan. *Freshwater Biol* 55:120–134.
- Fearnside PM (2005) Deforestation in Brazilian Amazonia: History, Rates, and Consequences. *Conserv Biol* 19(3):680-688. doi:10.1111/j.1523-1739.2005.00697.x
- Ferreira MC, Begot TO, Prudente BS, Juen L, Montag LFA (2018) Effects of oil palm plantations on habitat structure and fish assemblages in Amazon streams. *Environ Biol Fish* 101(4):547-562.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO (2015) Statistic Division. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/home/E>.

- Furlan-Júnior J, Müller AA (2004) 'A agricultura familiar e a dendeicultura na Amazônia'. EMBRAPA Amazônia Oriental, Belém.
- Furlan-Júnior J (2006) 'Biodiesel: Porque tem que ser dendê'. 1ª Ed. EMBRAPA, Belém.
- Frimpong EA, Sutton TM, Lim KJ, Hrodey PJ, Engel BA, Simon TP, Lee JG, Le Master DC (2005) A Determination of optimal riparian forest buffer dimensions for stream biota-landscape association. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 62, 1–6. doi: 10.1139/f05-020
- Géry J (1977) 'Characoids of the world'. T.F.H. Publications, Neptune City.
- Giam X, Hadiaty RK, Tan HH, Parenti LR, Wowor D, Sauri S et al (2015) Mitigating the impact of oil-palm monoculture on freshwater fishes in Southeast Asia. *Conserv Biol* 29(5):1357-1367. doi: 10.1111/cobi.12483
- Harding JS, Benfield EF, Bolstad PV, Helfman GS, Jones EBD (1998) Stream biodiversity: The ghost of land use past. *Ecology* 95:14843-14847.
- Hayes ML (1983) 'Active fish capture methods'. In: Nielsen LA, Johnson DL (Eds.) 'Fisheries Techniques'. American Fisheries Society, Maryland.
- Hoorn C, Wesselingh F (2010) 'Amazonia, Landscape and Species evolution: A look into the past'. Wiley-Blackwell, Chichester.
- Hynes HBN (1975) The stream and its valley. *Verh Int Verein Limnol* 19:1-15.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2016) 'Indian Remote Sensing'. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/siteDgi/Satelites/irsp6.php>.
- Jaramillo-Villa U, Caramaschi EP (2008) Índice de integridade biótica usando peixes de água doce: uso nas regiões tropicais e subtropicais. *Oecologia Bras* 12(3):442-462.
- Juen L, Cunha EJ, Carvalho FG, Ferreira MC, Begot TO, Andrade AL, Shimano Y, Leão H, Pompeu PS, Montag LF (2016) Effects of Oil Palm plantations on the habitat structure and biota of streams in Eastern Amazon. *River Res Applic* 32(10):2081-2094.
- Junk WJ (1993) 'Wetlands of tropical South America'. In: Whigham D, Dykyjova H (Ed) 'Wetlands of the world: inventory, ecology, and management'. Kluwer Academic Publishers, London. pp 679-739.
- Junk WJ, Soares MGM, Bayley PB (2007) Freshwater fishes of the Amazon River basin: their biodiversity, fisheries, and habitats. *Aquatic Ecosyst Health Manage* 10(2):153-173.
- Kaufmann PR, Levine P, Robison EG, Seeliger C, Peck DV (1999) Quantifying physical habitat in wadeable streams. Environmental Monitoring and Assessment Program, National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency
- Kullander SO (1986) 'Cichlid Fishes of the Amazon River drainage of Peru'. Swedish Museum of Natural History, Stockholm.

- Lees AC, Moura NG, Almeida AS, Vieira ICG (2015) Poor Prospects for Avian Biodiversity in Amazonian Oil Palm. *PLoS One* 10(5):1-17. doi:10.1371/journal.pone.0122432
- Luskin MS, Potts MD (2011) Microclimate and habitat heterogeneity through the oil palm lifecycle. *Basic Appl Ecol* 12:540–551.
- Mantyka-Pringle CS, Martin TG, Moffatt DB, Linke S, Rhodes JR (2014) Understanding and predicting the combined effects of climate change and land use change on freshwater macroinvertebrates and fish. *J Appl Ecol* 51: 572–581.
- Melack JM, Hess LL (2010) ‘Remote sensing of the distribution and extent of wetlands in the Amazon basin’. In: Junk WJ, Piedade MTF, Wittmann F, Schöngart J, Parolin P (Eds) ‘Amazonian floodplain forests: ecophysiology, biodiversity and sustainable management’. Springer-Verlag, Berlin. pp 43-60.
- Meyer JL, Strayer DL, Wallace JB, Eggert SL, Helfman GS, Leonard NE (2007) The contribution of headwater streams to biodiversity in river networks. *J Am Water Resour As* 43(1):86-103.
- Molina MC, Roa-Fuentes CA, Zeni JO, Casatti L (2017) The effects of land use at different spatial scales on instream features in agricultural streams. *Limnologica* 65: 14–21. doi: 10.1016/j.limno.2017.06.001
- Müller AA, Alves RM (1997) ‘A dendeicultura na Amazônia brasileira’. EMBRAPA Amazônia Oriental, Belém.
- Müller AA, Furlan-Junior J, Celestino-Filho P (2006) ‘EMBRAPA Amazônia Oriental e o agronegócio do dendê no Pará’. EMBRAPA Amazônia Oriental, Belém.
- Naiman RJ, Décamps H, McClain ME (2005) ‘Riparia: ecology, conservation, and management of streamside communities’. Elsevier Academic Press, Burlington.
- Oliveira LL, Fontinhas RL, Lima AMM, Lima RJS (2002) Mapas dos parâmetros climatológicos do Estado do Pará: umidade, temperatura e insolação, médias anuais. *Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia*. Sociedade Brasileira de Meteorologia, Fortaleza. Disponível em: <http://www.cbmet.com/cbm-files/22-762cad766c70d3a4452c4afd29decb7b.doc>.
- O’Neill R, Johnson A, King A (1989) A hierarchical framework for the analysis of scale. *Landscape Ecol* 3:193–205.
- Palmer MA, Richardson DC (2009) ‘Provisioning Services: A Focus on Fresh Water’. In: Levin SA, Carpenter SR, Godfray HCJ, Kinzig AP, Loreau M, Losos JB, Walker B, Wilcove DS (Eds). ‘The Princeton Guide to Ecology’. Princeton University, Princeton. pp 625-634.
- Peck DV, Herlihy AT, Hill BH, Hughes RM, Kaufmann PR, Klemm DJ, Lazorchak JM, McCormick FH, Peterson SA, Ringold PL, Magee T, Cappaert M (2006) ‘Environmental monitoring and assessment program-surface water western pilot study: Field operations manual for wadeable streams’. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington.

- Peel MC, Finlayson BL, McMahon TA (2007) Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol Earth Syst Sci* 11(5):1633-1644. doi: 10.5194/hess-11-1633-2007
- Poff NL (1997) Landscape filters and species traits: towards mechanistic understanding and prediction in stream ecology. *J N Am Benthol Soc* 16:391-409.
- Poff NL, Ward JV (1990) Physical habitat template of lotic systems: recovery in the context of historical pattern of spatiotemporal heterogeneity. *Environ Manage* 14(5):629-645. doi: 10.1007/BF02394714
- Pusey BJ, Arthington AH (2003) Importance of the riparian zone to the conservation and management of freshwater fish: a review. *Mar Freshwater Res* 54:1-16.
- Ramalho-Filho A, Motta PEF, Freitas PL, Teixeira WG (2010) 'Zoneamento agroecológico, produção e manejo para a cultura da palma de óleo na Amazônia'. EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro.
- RapidEye (2015) 'Satellite imagery product specifications'. Disponível em: <http://geocatalogo.ibama.gov.br/>.
- Reis-Neto S (2010) 'Acompanhamento da Safra Brasileira: Palma Safra 2010. Segundo Levantamento'. CONAB, Brasília.
- Ribeiro OM, Zuanon J (2006) Comparação da eficiência de dois métodos de coleta de peixes em igarapés de terra firme da Amazônia Central. *Acta Amazon* 36(3):389-394.
- Ross JLS (1990) 'Geomorfologia: Ambiente e Planejamento'. Contexto, São Paulo.
- Sheil D, Casson A, Meijaard E, van Noordwijk M, Gaskell J, Sunderland-Groves J, Wertz K, Kanninen M (2009) 'The impacts and opportunities of oil palm in Southeast Asia: What do we know and what do we need to know?'. Occasional Paper 51. Center for International Forestry Research (CIFOR), Bogor.
- Shimano Y, Juen L (2016) How oil palm cultivation is affecting mayfly assemblages in Amazon streams. *Int J Limn* 52:35-45. doi:10.1051/limn/2016004
- Sodhi NS, Koh LP, Brook BW, Ng PKL (2004) Southeast Asian biodiversity: an impending disaster. *Trends Ecol Evol* 19(12): 654-660.
- Souza ALT, Fonseca DG, Libório RA, Tanaka MO (2013) Influence of riparian vegetation and forest structure on the water quality of rural low-order streams in SE Brazil. *Forest Ecol Manag* 298:12-18.
- Southwood TRE (1977) Habitat, the templet for ecological strategies? *J Anim Ecol* 46:337-365.
- Strahler AN (1957) Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Trans Am Geophys Union* 38(6):913-920. doi: 10.1029/TR038i006p00913
- Teels BM, Rewa AA, Myers J (2006) Aquatic condition response to riparian buffer establishment. *Wildlife Soc B* 34:927-935.

- Tejerina-Garro FL, Maldonado M, Ibañez C, Pont D, Roset N, Oberdorff T (2005) Effects of natural and anthropogenic environmental changes on riverine fish assemblages: a framework for ecological assessment of rivers. *Braz Arch Biol Techn* 48:91-108.
- Turner EC, Foster WA (2009) The impact of forest conversion to oil palm on arthropod abundance and biomass in Sabah, Malaysia. *J Trop Ecol* 25(1):23-30. doi: 10.1017/S0266467408005658
- Uieda VS, Castro RMC (1999) Coleta e fixação de peixes de riacho. *Oecol Bras* 4:1-22.
- Vannote RL, Minshall GW, Cummins KW, Sedell JR, Cushing CE (1980) River continuum concept. *Can J Fish Aquat Sci* 37:130–137.

CAPÍTULO 1

Effects of oil palm plantations on habitat structure and fish assemblages in Amazon streams

O capítulo I desta tese foi elaborado, formatado e publicado conforme as normas da publicação científica *Environmental Biology of Fishes*, as quais se encontram em anexo (Anexo 1)

Effects of oil palm plantations on habitat structure and fish assemblages in Amazon streams

Márcio Cunha Ferreira^{1,3}, Tiago Octavio Begot^{2,3,4}, Bruno da Silveira Prudente^{3,5}, Leandro Juen³,
Luciano Fogaça de Assis Montag³

¹ Colegiado de Engenharia de Pesca, Universidade do Estado do Amapá, Macapá, Amapá, Brazil.

² Corresponding Author: tbegot@gmail.com (TOB)

³ Laboratório de Ecologia e Conservação, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brazil.

⁴ Programa de Pós-Graduação em Zoologia, Universidade Federal do Pará/ Museu Paraense Emilio Goeldi, Belém, Pará, Brazil.

⁵ Programa de Capacitação Institucional, Coordenação de Zoologia, Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, Pará, Brazil.

Abstract

The aim of this research is to assess the effects of oil palm plantations on stream habitat and their fish assemblage diversity. We hypothesize that streams which drain through oil palm plantations tend to be less heterogeneous, limiting the occurrence of many species, than streams that drain through forest fragments, which support higher fish diversity. A total of 17 streams were sampled; eight in forest fragments and nine in oil palm plantations. Environmental and biological variables were sampled along 150 meters stretch in each stream. Of the 242 environmental variables measured, ten were considered important to assess the condition of structural habitat, and out of these variables, four were considered relevant in the distinction between streams in oil palm plantations and forest fragments. A total of 7,245 fishes were collected, belonging to 63 species. Unlike our original hypothesis, the species richness did not differ between forest fragment and oil palm plantations streams, showing that it is not a good divert measure in streams disturbance assessment. However, fish assemblages differed in species composition, and 56 species were recorded in oil palm plantation streams, while 44 species were recorded in forest fragments streams. Some species were identified as indicators of either altered (*Aequidens tetramerus* and *Apistogramma agassizii*) or undisturbed areas (*Helogenes marmoratus*). Overall, oil palm plantations were proven to change stream habitat structure and fish species distribution, corroborating other studies that have evidenced changes in patterns of biological community structure due to impacts by different land uses.

Keywords: Habitat condition; Land use; Agriculture; *Elaeis guineensis*; Neotropical ichthyofauna.

Acknowledgements

The authors are grateful to financial support of Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES) and National Counsel of Technological and Scientific Development (CNPq); and logistic support for field research of the Conservation International (CI-Brazil) and Agropalma Group.

Introduction

With a cultivated area of approximately 16.3 million hectares of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq) in the world, this monoculture is one of the most rapidly growing agricultural land uses in the tropical region (FAO 2013). The increasing demand for oil palm for production of foodstuff derivatives, cosmetics, and biofuels is one of the main reasons for its expansion (Da Silva 2013). Currently, South East Asia concentrates 60% of oil palm plantations worldwide; however, the high cost of creating new plantation areas and the new restrictions adopted by environmental politics have made it difficult to expand this activity in the region (Kongsager and Reenberg 2012). Therefore, the Brazilian Amazon has been considered an area with high potential for oil palm expansion (Persson and Azar 2010), with 140,000 hectares of already cultivated land, and another 190,000 with soil conditions and ideal climate. Thus, approximately 330,000 hectares in the Brazilian Amazon are expected to be used for oil palm plantation by 2020 (Ramalho-Filho et al. 2010).

Higher carbon stock rate and economic profitability compared to other cash crop activities are amongst the main arguments in favor of oil palm expansion in the Amazon (Müller et al. 2006). On the other hand, characteristics such as lower structural complexity, smaller canopy cover than in forested areas, climatic instability, use of fertilizers and pesticides, the need for total replacement of plantations, which takes from 25 to 30 years, and the impact of these changes in biodiversity (Fitzherbert et al. 2008; Savilaakso et al. 2014; Luke et al. 2017) indicate that oil palm plantation could be a new environmental threat to the Amazon (Butler and Laurance 2009). However, there are still few studies on the effects of this activity on the Amazon biodiversity (Lees et al. 2015; Correa et al. 2015, Almeida et al. 2016), and knowledge is even more limited regarding aquatic ecosystems (Cunha et al. 2015; Shimano and Juen 2016).

Habitat homogenization deriving from the deployment of monoculture and from native vegetation suppression has been considered an important threat to stream ecological integrity (Allan 2004). Changes in land use throughout catchment result in the loss of structure complexity, which affects stream habitat structure (Poff and Ward 1990, Clapcott et al. 2012), both directly and indirectly, due to margin erosion, silting, or to changes in the type of energy source in the system (from allochthonous to autochthonous) (Karr 1981; Dayang-Norwana et al. 2011; Senior et al. 2013). Therefore, understanding the mechanisms of habitat simplification and indicating which variables

generate this condition is an effective way to measure environmental impacts. This approach can effectively measure changes in channel morphology, hydrodynamics, shelter availability for living organisms, adjacent vegetation density, substrate composition, among others, thus yielding a complex and comprehensive analysis of waterbody features (Barbour et al. 1999; Kaufmann et al. 1999).

Changes in stream habitat structure may also result in environmental conditions changes, which are considered important selective forces of the adaptive features of species in a given environment ('Habitat Templet Theory' Southwood 1977, 1988). In a reduced time scale, such changes might work as a possible environmental filters that affect species distribution, particularly in habitat specialist species, resulting in changes in biological community structure (Scarsbrooks and Townsend 1993). Among aquatic organisms, fishes have proven to be important indicators of stream ecological integrity (Mendonça et al. 2005); they comprise individuals of different trophic levels, occupy different micro-habitats, are resistant to different levels of anthropic changes, and have relatively well known both life history and taxonomy compared to other aquatic organisms (Fausch et al. 1990; Harris 1995; Scott, and Hall-Jr 1997).

In the Amazon River Basin, small first- and second-order streams according to Strahler's scale (Strahler 1957) may account for greater than 80% of total channel length in meso-scale, and the rapid expansion of cash crop in this area is one of the main threats to these systems (McClain and Elsenbeer 2001). Despite of this close relationship between the streams ecological integrity and the landscape use along the catchments, features such as the high dimension, structural complexity, and high biological diversity of the Amazon Basin have hindered the understanding on how these anthropogenic changes affect stream biodiversity. Consequently, these features also hinder the development of management, monitoring and conservation strategy of these system.

Therefore, our study aimed to assess how the presence of oil palm cultivation around the streams affect their habitat structure and fish assemblage structure in relation to streams that drain through forested areas present along of this anthropogenic landscape. We hypothesize that streams draining oil palm plantations have lower habitat heterogeneity leading to a fish assemblage composition destabilization with lower richness and increase of more generalist species abundance when compared to streams draining forest fragments.

Material and Methods

Study Area

We sampled wadable streams in the Acará and Mojú Rivers basin, located in Northeastern mesoregion of Pará state ($2^{\circ}13'00''S$ / $2^{\circ}43'00''S$ and $48^{\circ}54'00''W$ / $48^{\circ}28'00''W$), in a geographic unit denominated Belém Endemism Area (AEB) (Figure 1). This unit was proposed

based in their biodiversity endemism and geographic peculiarities, and has being suggested as a basic unit for development of conservation strategy for Amazon (Almeida and Vieira 2013). The AEB has approximately 243,000 km², contemplating 27 protected areas, 14 indigenous land areas (Almeida and Vieira 2013) and concentrates the majority of oil palm production in the Amazon (Müller et al. 2006), thus comprising an extensive mosaic of both preserved and altered lands.

The vegetation in the study area is comprised by 28% of ombrophilous forest and 72% converted into several land uses, among which one the most significant is oil palm plantation (Almeida and Vieira 2013). The climate in the region is tropical humid, subtype “Af”, according to Köppen's classification adapted by Peel et al. (2007), with a rainy season from December to May and a dry season from June to November. Mean annual rainfall in the region is 2,344 mm³, reaching a monthly maximum of 427 mm³ in March, and a minimum of 54 mm³ in September (Albuquerque et al. 2012). Mean temperature in the region is 26°C and mean air humidity reaches up to 85% (Oliveira et al. 2002).

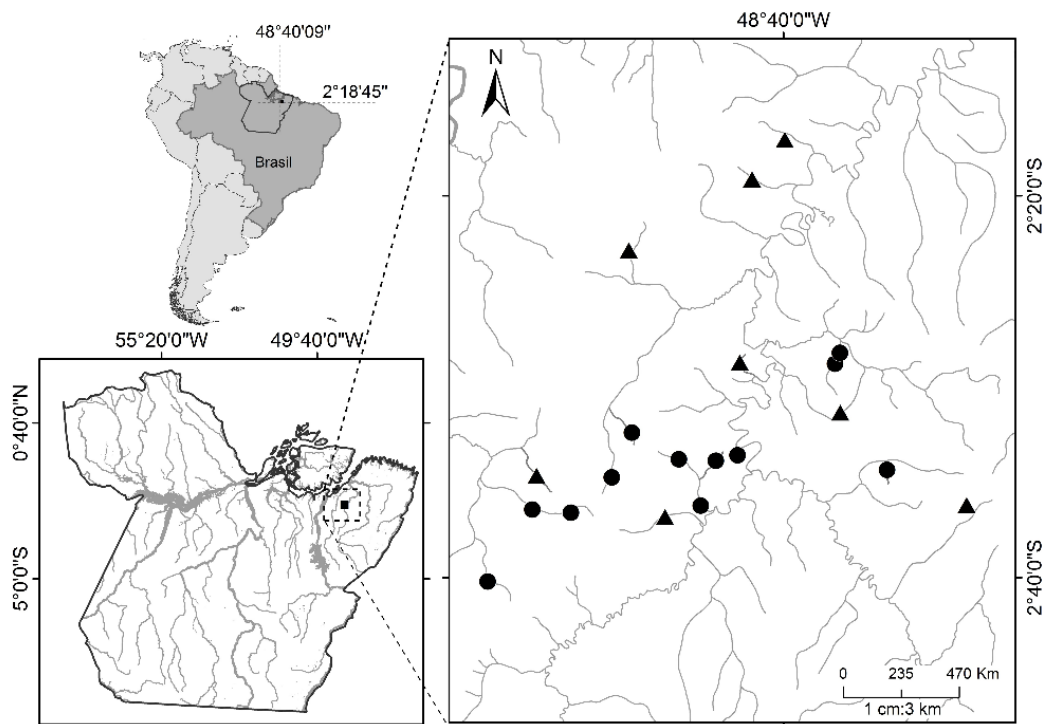


Fig. 1 Spatial distribution of the sampled streams in northeastern Pará state, Brazil. Triangles represent streams sampled in forested areas and circles represent streams sampled in oil palm plantations.

Data sampling

We sampled 17 streams, eight of them within preserved forested area and nine in oil palm plantations areas. Streams were selected according to the following criteria: a) river source inside the treatment (oil palm or forest); b) areas used for planting at similar times, and; c) absence of other

impacts, such as urbanization and short-cycle monocultures, not deriving from the activities within the scope of this paper.

In each stream, we selected a 150 m stretch that was subdivided in ten 15 m long transects. In each transect, we performed the characterization of the habitat and sampled fish specimens. All streams were sampled during the dry season to minimize seasonal effects on habitat structure and on fish assemblages. Habitat structure was assessed using the Field Operations Manual for Wadeable Streams proposed by Peck et al. (2006) and adapted by Callisto et al. (2014), with data reduction and metric calculation following Kaufmann et al. (1999). This methodology result in a set of variables, which includes information on the channel morphology, substrate, hydraulic features, flow currents types, channel declivity and sinuosity, canopy cover, riparian vegetation structure, availability of refuges for fish and presence of human impact. Water physical-chemical characteristics, such as pH, conductivity ($\mu\text{S cm}^{-1}$), turbidity (NTU), temperature ($^{\circ}\text{C}$), and dissolved oxygen (mg L^{-1}), were measured at three equidistant points in the sampling stretch using a Horiba U50 multiparameter. Detailed description about how environmental variables were measured can be found in Juen et al. (2016). This field operation has been widely used in international (Kaufmann and Hughes 2006; Bryce et al. 2010) and national studies (Macedo et al. 2014a; Cunha et al. 2015; Prudente et al. 2016) involving stream ecosystems.

Fish assemblages were sampled using two hand nets with 55cm diameter (3mm mesh) during three hours (18 min in each long transect). This method is considered as an efficient technique for estimating fish assemblage structure in low order streams (Uieda and Castro 1999) and has been frequently used to assess the fish assemblage in small amazon streams (Prudente et al. 2016). Fishes were tagged separately by transect, preserved in 10% formalin for approximately 48h, transferred to 70% ethanol, and deposited in the ichthyological collection of Museu Paraense Emilio Goeldi (MPEG) in Belém, Pará (Brazil).

Data analyses

Each stream was considered an independent sample, totaling 17 samples in the analyses. The environmental variables measured were submitted to a pre-selection process, and all variables with zero value in more than 80% of the samples and with coefficients of variation lower than 10% were initially excluded. Selected variables were assessed regarding their capacity to discriminate forested areas from oil palm plantations by analyzing the overlap between interquartile ranges in the box-and-whisker plots (Barbour et al. 1996). Variables with no overlap between quartiles or small overlaps between quartiles and no overlaps between medians were considered sensitive. Variable sensitivity was confirmed through a Student t-test for independent samples with a 5% significance level. Lastly, a Spearman correlation test was used to evaluate the redundancy between selected

environmental variables. In the case of redundant metrics ($r^2 > 0.75$, $p < 0.05$), those pointed out in literature as important in structuring stream fish assemblages were maintained (Fernandes et al. 2012; Macedo et al. 2014b; Giam et al. 2015; Prudente et al. 2016).

Environmental variables selected were standardized and submitted a principal component analysis (PCA) based on a Euclidean distance matrix (Legendre and Legendre 1998) to check which variables contributed the most to distinguish the stream habitat between forest fragments and oil palm plantation streams. PCA axes were selected through the broken-stick criterion where a given axis may be retained when their observed eigenvalues exceed the expected eigenvalues generated by the broken-stick (Jackson 1993). Variables with loading values higher than 0.60 were maintained for PCA axes interpretation.

Since the fish abundance in oil palm plantation streams was higher than in forested streams, the species richness for each sample was assessed using an individual-based rarefaction method considering the smaller abundance value recorded ($n = 230$) (Gotelli and Colwell 2001). The richness value was tested between the treatments using a Student t-test for independent samples with a 5% significance level. The hypothesis that fish assemblage composition is different between forest fragments streams and oil palm plantation streams was assessed using the non-metric multidimensional scaling method (NMDS), based on a distance matrix calculated from the Bray-Curtis similarity index. Potential differences in this composition were tested using abundance log values, which were submitted to a permutation multivariate analysis (PERMANOVA - Permutation Multivariate Analyses of Variance). The PERMANOVA probability value was obtained through a Monte Carlo randomization method, based on 9,999 randomizations (Anderson 2005; Anderson et al. 2008).

We used a Threshold Indicator Taxa Analysis (TITAN) to detect change points in the fish assemblages in response to an environmental gradient (Baker and King 2010, 2013). In this study, the PCA axes selected by the broken-stick method represented the environmental gradient. This analysis identifies individual taxon contribution and optimal values of predictor variable based on binary partition of samples by indicator value scores (IndVal, Dufrêne and Legendre 1997), which integrate occurrence frequency and relative abundance of each taxon. Just as in classification and regression trees, this analysis use a deviance reduction measure to partition sample units at a given predictor variable value (De'ath and Fabricius 2000).

The TITAN analysis considered purity and reliability properties measured in the calculation of indication value (IndVal, Dufrêne and Legendre 1997), together with Change Point Analysis - nCPA (King and Richardson 2003). Results were verified with 500 bootstraps yielding confidence intervals and change points at which the assemblage responded negatively [$\text{sum}(z^-)$] and positively [$\text{sum}(z^+)$] to predictor variable (Baker and King 2010). Following the recommendations of Baker

and King (2010), we excluded taxa that occurred at less than three sites and with fewer than five individuals (36 retained species). Abundances maintained were logarithmically transformed ($\log(x + 1)$) to reduce the influence of highly variable taxa on indicator score calculations in each data set, which was particularly important for taxa with low occurrence frequencies. Species shall be significantly associated to a higher or lower habitat condition if $\text{IndVal} < 0.05$, $\text{purity} > 0.95$, and $\text{reliability} > 0.95$ (Baker and King 2010; Cardoso et al. 2013). The TITAN interpretation was carried out based in environmental variables selected for each PCA axis interpretation, based in their loadings values.

All analyses were performed with the R software (R Development Core Team 2015) using the packages FactoMineR (Lê et al. 2008), TITAN2 (Baker and King 2010) and vegan (Oksanen et al. 2016).

Results

Sampled streams had a mean width of 3.42 m, Standard Deviation ± 1.10 (with an average of $3.39 \text{ m} \pm 1.08$ in plantation areas, and $3.45 \text{ m} \pm 1.20$ in forested areas), and a mean depth of $0.34 \text{ m} \pm 0.14$ ($0.38 \text{ m} \pm 0.14$ in plantation areas and $0.30 \text{ m} \pm 0.14$ in forested areas). The water in these streams was predominantly acidic with an average pH of 4.8 ± 0.24 (4.9 ± 0.15 in plantation areas and 4.7 ± 0.25 in forested areas), with mean dissolved oxygen of $6.96 \text{ mg/l} \pm 1.40$ (6.71 ± 0.83 in plantation areas and 7.23 ± 1.88 in forested areas), and mean temperature of $25.8 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0.88$ ($26.2^\circ\text{C} \pm 0.67$ in plantation areas and $25.4 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0.96$ in forested areas).

Of the 242 variables measured using the habitat assessment protocol, 44 were removed from the analysis because they had zero values in more than 80% of the samples, and 21 were removed because they had a coefficient of variation lower than 10%. The visual assessment of interquartile overlap, followed by confirmation through a Student t-test, resulted in the exclusion of 127 variables. Finally, the correlation analysis indicated only ten variables for evaluating environmental conditions of structural habitat (Table 1, Additional figure is given in online resource 1). The environmental variables selected were: thalweg mean depth; % fine substrate (silt/clay/mud; size $< 0.6 \text{ mm}$ of diameter); riparian canopy cover by thin trees estimation ($> 5 \text{ m}$ high and $< 0.3 \text{ m}$ of diameter); large woody debris in active channel (pieces/reach $> 0.3 \text{ m}$ of diameter); large woody debris above active channel (pieces/reach $> 0.3 \text{ m}$ of diameter); large woody debris volume in and above active channel ($\text{m}^3/\text{reach} > 0.8 \text{ m}$ of diameter); fish cover by overhanging vegetation; fish cover by undercut banks; proportion of riparian non-agricultural human disturbance; Oxidation Reduction Potential of water (Additional figure is given in online resource 1).

The principal component analysis showed that the variables selected had a significant contribution to the distinction of stream habitat between forested and oil palm plantations areas.

Only the first principal component was selected for the interpretation of results, explaining 37.04 % of the variation in the habitat structure of streams. Plantation areas were characterized by a high proportion of non-agricultural human impact (HNOAG) and higher percentage of fine substrate (PCT_FN), while forested areas had a higher large woody debris volume in and above active channel (LWDVC), as well as high values of water oxidation and reduction (ORP) (Table 1, Figure 2).

Table 1 Environmental variables selected for stream habitat characterization in oil palm plantations and forested fragments in Eastern Amazon, northeastern Pará State, Brazil, and their respective scores resulting from Principal Components (PCA). Marked in bold indicate the principal components selected.

Environmental Variables	PCA I	PCA II
Thalweg mean depth (XDEPTH)	-0.593	-0.163
Substrate % fine (silt/ clay/ mud; < 0.6 mm) (PCT_FN)	-0.682	-0.023
Riparian canopy (> 5 m high) cover (XCS)	-0.364	0.496
Large Woody Debris in active channel (pieces/reach) (LWDINC)	0.581	0.587
Large Woody Debris above active channel (pieces/reach) (LWDAC)	0.476	-0.144
Large Woody Debris volume in and above active channel (m³/reach) (LWDVC)	0.646	0.517
Fish cover by overhanging vegetation (OVNHRG)	-0.457	-0.313
Fish cover by undercut banks (UNDCUT)	0.474	-0.693
Proportion of riparian human non-agricultural disturbance (HNOAG)	-0.934	-0.001
Oxidation Reduction Potential of water (ORP)	0.727	-0.487
Explanation %	37.656	17.203
Eigenvalue	3.766	1.720
Broken-Stick	2.929	1.929

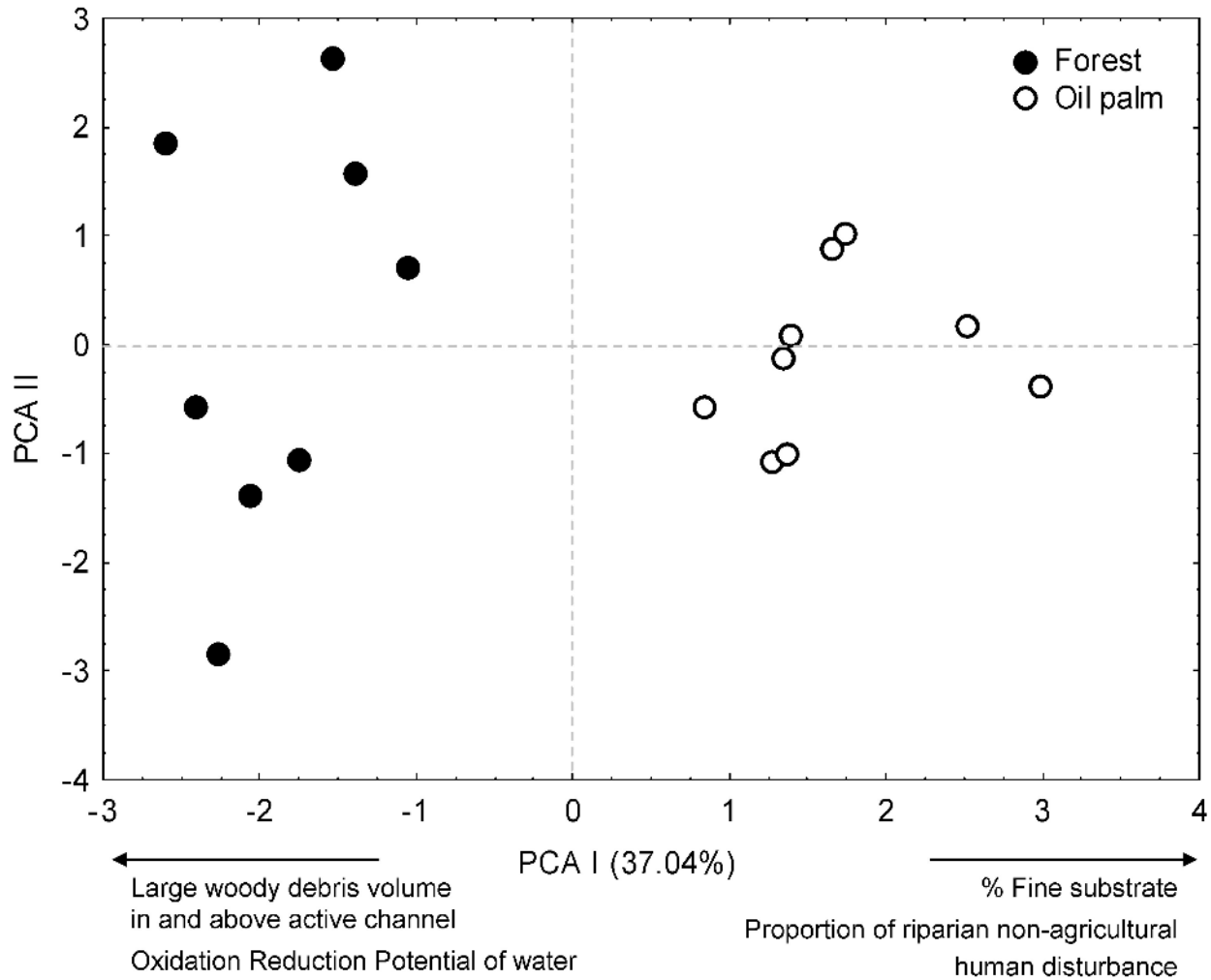


Fig. 2 Ordinations resulting from the principal components analysis (PCA) representing the habitat variables (vectors) measured in stream reaches (symbols) sampled located in oil palm plantations and forested areas in northeastern Pará state, Brazil. Open circle (○) represents streams in oil palm plantation area and closed circles (●) represent streams in forested area.

A total of 7,245 fish specimens were sampled; 4,333 (56 species) in oil palm plantation streams and 2,912 (42 species) in forest fragments streams (Table 2). However, the richness based on individual-based rarefaction method did not differ between these treatments ($t = 2.62$, $df = 1$, $p > 0.05$). The total richness was 63 species, allocated in six orders and 24 families. A higher abundance was observed in the order Characiformes (21 species; 60.10% of the specimens sampled), followed by Siluriformes (18; 16.08%) and Perciformes (7; 14.45%). The most abundant species were *Microcharacidium weitzmani* (37.2%), *Apistogramma gr. regani* (9.41%), *Trichomycterus hasemani* (8.30%), and *Hyphessobrycon heterorhabdus* (8.26%) (Table 2). The ordination yielded by NMDS evidenced a distinction between species composition of oil palm plantations and forest fragments, and it was corroborated by the PERMANOVA result ($p_{pseudo}F = 2.82$; $p < 0.01$) (Figure

3). Of the total species captured, 21 occurred only in oil palm plantation streams, with highlight to the exclusiveness of families Poeciliidae (N = 4, occurring in a single sample), Polycentridae (N = 1, one sample), Auchenipteridae (N = 2, two samples), and Doradidae (N=49, three samples). In forested areas, four exclusive species were observed, *Megalechis thoracata*, *Batrochoglanis raninus*, *Ammocriptocharax elegans*, and *Denticetopsis epa*, with emphasis on the exclusiveness of families Callichthyidae and Pseudopimelodidae (Table 2).

Table 2 Taxonomic composition and abundance of fish assemblages in streams located in oil palm plantations and in forest fragments in the Eastern Amazon, northeastern Pará State, Brazil.

Taxa/Authority	Oil Palm	Forest	Total
Characiformes			
Characidae			
<i>Bryconops cf. caudomaculatus</i> (Günther 1864)	1	-	1
<i>Gnathocharax steindachneri</i> Fowler 1913	4	-	4
<i>Hemigrammus bellottii</i> (Steindachner 1882)	72	25	97
<i>Hemigrammus ocellifer</i> (Steindachner 1882)	26	7	33
<i>Hyphessobrycon heterorhabdus</i> (Ulrey 1894)	182	554	736
<i>Hyphessobrycon bentosi</i> Durbin 1908	14	-	14
<i>Moenkhausia collettii</i> (Steindachner 1882)	4	-	4
<i>Moenkhausia comma</i> Eigenmann 1908	10	-	10
Crenuchidae			
<i>Ammocriptocharax elegans</i> Weitzman and Kanazawa 1976	-	3	3
<i>Crenuchus spilurus</i> Günther 1863	4	6	10
<i>Melanocharacidium cf. dispilomma</i> Buckup 1993	1	1	2
<i>Microcharacidium weitzmani</i> Buckup 1993	2833	736	3569
Erythrinidae			
<i>Erythrinus erythrinus</i> (Bloch and Schneider 1801)	4	11	15
<i>Hoplias malabaricus</i> (Bloch 1794)	4	4	8
Gasteropelecidae			
<i>Carnegiella strigata</i> (Günther 1864)	66	3	69
Iguanodectidae			
<i>Iguanodectes rachovii</i> Regan 1912	110	78	188
Lebiasinidae			
<i>Copella arnoldi</i> (Regan 1912)	205	295	500
<i>Nannostomus eques</i> Steindachner 1876	2	-	2
<i>Nannostomus nitidus</i> Weitzman 1978	3	-	3
<i>Nannostomus trifasciatus</i> Steindachner 1876	38	19	57
<i>Pyrrhulina gr. Brevis</i>	11	34	45
Cyprinodontiformes			
Poeciliidae			
<i>Fluviphylax cf. palikur</i> Costa and Le Bail 1999	4	-	4
Rivulidae			
<i>Anablepsoides cf. urophthalmus</i> (Günther 1866)	59	76	135
<i>Laimosemion cf. strigatus</i> (Regan 1912)	70	57	127

Gymnotiformes**Gymnotidae**

<i>Gymnotus</i> gr. <i>carapo</i> Linnaeus 1758	1	3	4
<i>Gymnotus</i> gr. <i>coropinae</i> Hoedeman 1962	21	11	32

Hypopomidae

<i>Brachyhypopomus</i> aff. <i>bullocki</i> Sullivan and Hopkins 2009	17	14	31
<i>Brachyhypopomus</i> <i>beebei</i> (Schultz 1944)	12	86	98
<i>Brachyhypopomus</i> <i>brevirostris</i> (Steindachner 1868)	37	9	46
<i>Hypopygus</i> <i>lepturus</i> Hoedeman 1962	32	22	54
<i>Microsternarchus</i> aff. <i>bilineatus</i> Fernández-Yépez 1968	21	-	21
<i>Steatogenys</i> <i>elegans</i> (Steindachner 1880)	7	4	11

Rhamphichthyidae

<i>Gymnorhamphichthys</i> <i>petiti</i> Géry and Vu 1964	156	48	204
--	-----	----	-----

Sternopygidae

<i>Eigenmannia</i> aff. <i>trilineata</i> López and Castello 1966	7	-	7
<i>Sternopygus</i> <i>macrurus</i> (Bloch and Schneider 1801)	1	1	2

Perciformes**Cichlidae**

<i>Aequidens</i> <i>tetramerus</i> (Heckel 1840)	44	2	46
<i>Apistogramma</i> <i>agassizii</i> (Steindachner 1875)	118	14	132
<i>Apistogramma</i> gr. <i>regani</i> Kullander 1980	579	341	920
<i>Crenicara</i> cf. <i>punctulatum</i> (Günther 1863)	2	-	2
<i>Crenicichla</i> gr. <i>saxatilis</i> (Linnaeus 1758)	3	1	4
<i>Geophagus</i> sp.	2	-	2
<i>Hypselecara</i> cf. <i>temporalis</i> (Günther 1862)	2	-	2
<i>Nannacara</i> cf. <i>taenia</i> Regan 1912	64	33	97

Polycentridae

<i>Monocirrhus</i> <i>polyacanthus</i> Heckel 1840	1	-	1
--	---	---	---

Siluriformes**Aspredinidae**

<i>Bunocephalus</i> <i>coracoideus</i> (Cope 1874)	30	4	34
--	----	---	----

Auchenipteridae

<i>Tetranemataichthys</i> <i>barthemi</i> Peixoto and Wosiacki 2010	2	-	2
---	---	---	---

Callichthyidae

<i>Megalechis</i> <i>thoracata</i> (Valenciennes 1840)	-	4	4
--	---	---	---

Cetopsidae

<i>Denticetopsis</i> <i>epa</i> Vari, Ferraris and de Pinna 2005	-	4	4
<i>Helogenes</i> <i>marmoratus</i> Günther 1863	81	121	202

Doradidae

<i>Physopyxis</i> <i>ananas</i> Sousa and Rapp Py-Daniel 2005	49	-	49
---	----	---	----

Heptapteridae

<i>Gladioglanis</i> <i>conquistador</i> Lundberg, Bornbusch and Mago-Leccia 1991	73	85	158
<i>Mastiglanis</i> <i>asopos</i> Bockmann 1994	9	-	9
<i>Phreatobius</i> <i>cisternarum</i> Goeldi 1905	1	-	1
<i>Rhamdia</i> <i>quellen</i> (Quoy and Gaimard 1824)	8	1	9

Loricariidae

<i>Ancistrus</i> sp.	1	-	1
<i>Farlowella</i> <i>amazona</i> (Günther 1864)	15	4	19

<i>Otocinclus mura</i> Schaefer 1997	18	-	18
<i>Rineloricaria hasemani</i> Isbrücker and Nijssen 1979	3	-	3
Pseudopimelodidae			
<i>Batrochoglanis raninus</i> (Eigenmann 1912)	-	1	1
Trichomycteridae			
<i>Ituglanis amazonicus</i> (Steindachner 1882)	49	20	69
<i>Paracanthopoma parva</i> Giltay 1935	53	8	61
<i>Trichomycterus hasemani</i> (Eigenmann 1914)	740	160	900
Synbranchiformes			
Synbranchidae			
<i>Synbranchus marmoratus</i> Bloch 1795	12	2	14
Total	5998	2912	8910

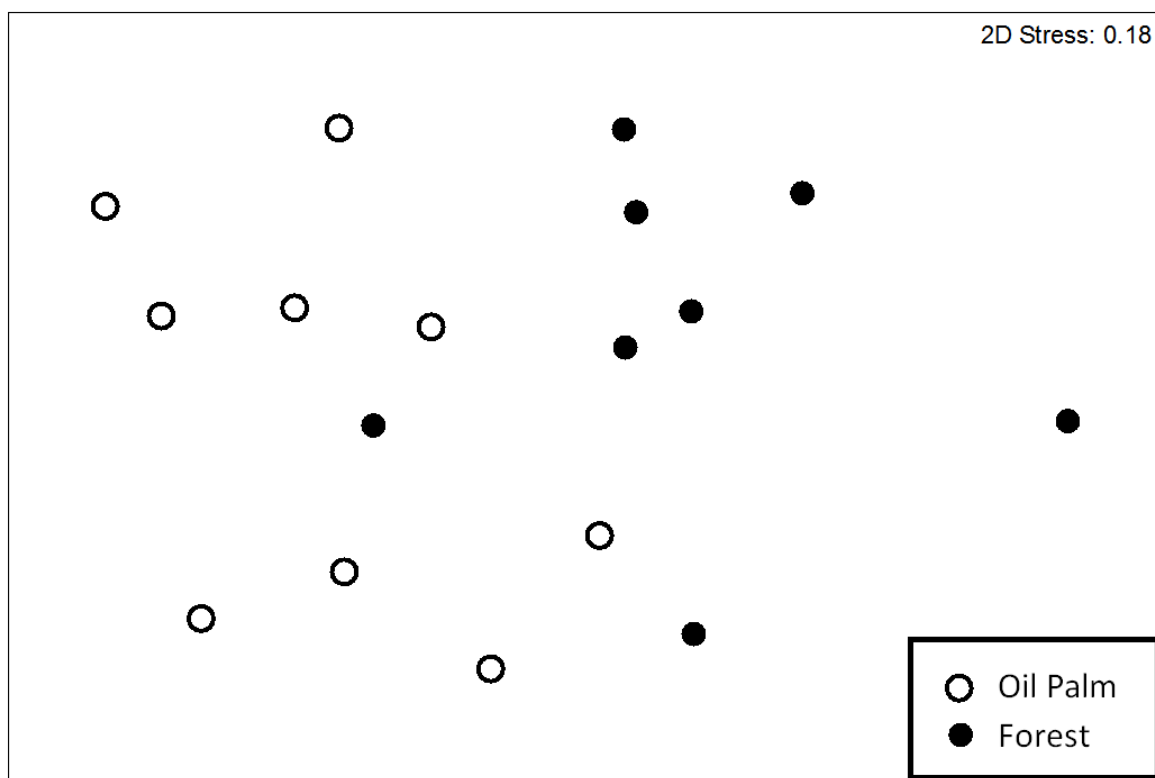


Fig. 3 Ordination resulting from the non-metric multi-dimensional scaling analysis (NMDS) based on species composition of fishes collected in oil palm plantation and forest fragments streams in northeastern Pará state, Brazil. Open circle (○) represents streams in oil palm plantation area and closed circles (●) represent streams in forested area.

TITAN (*Threshold Indicator Taxa Analysis*) indicated a small difference in species ecological limits associated to variation in habitat condition ($z^- = 1.52$ and $\text{sum } z^+ = -1.22$). In addition, of the 36 analyzed species, *Aequidens tetramerus*, *Apistogramma agassizii* and *Microcharacidium weitzmani* were positively associated to first PCA axis, that based on axis interpretation, means an occurrence increase of these species followed by increase in percentage of

fine substrate and proportion of non-agricultural human impact (Figure 4). On the other hand, only *Helogenes marmoratus* was negatively associated to first PCA axis, that mean an occurrence increase followed by increase in large woody debris volume in and above active channel and Oxireduction Potential of water (Table 3, Figure 4).

Table 3 Results of the TITAN Analysis for fish species collected in Eastern Amazon streams. Where bold species were considered indicative of forest or oil palm environments.

Species	Environmental change point	Frequency		IndVal	P (IndVal)	z	z (5%)	z (95%)	Purity	Reliability	Indication
		Forest	Oil Palm								
<i>Aequidens tetramerus</i>	-1.22	1	7	86.82	0.030	3.07	-1.29	1.70	1.00	0.98	z+
<i>Anablepsoides cf. urophthalmus</i>	1.35	7	6	84.65	0.022	2.4	-2.27	1.70	0.98	0.81	z-
<i>Apistogramma agassizii</i>	-1.46	2	8	90.91	0.002	4.38	-1.72	1.74	1.00	1.00	z+
<i>Apistogramma gr. regani</i>	-1.91	7	9	81.00	0.006	3.24	-2.16	1.51	0.92	0.83	z+
<i>Brachyhypopomus aff. bullocki</i>	-2.16	3	4	50.00	0.140	0.77	-2.24	1.70	0.73	0.33	z+
<i>Brachyhypopomus beebei</i>	-1.91	6	5	95.99	0.014	3.13	-2.16	2.13	0.89	0.75	z-
<i>Brachyhypopomus brevirostris</i>	-1.22	2	7	76.24	0.006	3.15	-1.41	1.70	1.00	0.90	z+
<i>Bunocephalus coracoideus</i>	-1.91	3	6	69.23	0.070	2.01	-2.01	1.50	0.97	0.79	z+
<i>Carnegiella strigata</i>	1.05	2	6	71.47	0.008	3.13	-1.91	2.09	0.99	0.86	z+
<i>Copella arnoldi</i>	1.30	8	9	69.64	0.086	1.53	-2.16	1.32	0.81	0.44	z-
<i>Crenuchus spilurus</i>	1.52	4	3	53.85	0.180	1.46	-2.34	1.56	0.87	0.39	z-
<i>Erythrinus erythrinus</i>	-1.46	5	3	72.54	0.002	3.53	-2.16	1.11	0.96	0.84	z-
<i>Farlowella amazona</i>	1.70	2	5	89.53	0.012	3.51	-1.57	2.09	1.00	0.88	z+
<i>Gladioglanis conquistador</i>	1.35	7	7	63.07	0.210	0.96	-2.34	1.52	0.62	0.52	z+
<i>Gymnorhamphichthys petiti</i>	-2.16	7	9	86.41	0.010	2.33	-2.24	2.52	0.94	0.79	z+
<i>Gymnotus gr. coropinae</i>	1.05	7	6	51.07	0.386	-0.09	-2.34	2.13	0.53	0.38	z-
<i>Helogenes marmoratus</i>	1.52	8	8	86.73	0.004	4.15	-1.22	1.70	1.00	0.99	z-
<i>Hemigrammus bellottii</i>	1.05	2	6	56.32	0.080	1.61	-2.34	1.74	0.81	0.61	z+
<i>Hemigrammus ocellifer</i>	-1.22	2	6	63.30	0.024	2.41	-1.56	1.52	0.96	0.76	z+
<i>Hoplias malabaricus</i>	1.52	3	2	35.45	0.464	0.53	-2.34	2.52	0.48	0.40	z+
<i>Hyphessobrycon heterorhabdus</i>	1.30	7	7	73.19	0.088	1.52	-2.34	1.74	0.83	0.51	z-
<i>Hypopygus lepturus</i>	-1.22	5	4	47.56	0.424	0.21	-2.42	2.52	0.58	0.41	z-
<i>Iguanodectes rachovii</i>	-1.91	7	8	56.16	0.546	-0.3	-2.16	1.70	0.55	0.27	z-
<i>Ituglanis amazonicus</i>	1.37	5	6	65.93	0.170	1.17	-2.41	1.51	0.47	0.52	z+
<i>Laimosemion cf. strigatus</i>	-0.11	6	5	51.03	0.310	0.29	-2.34	2.32	0.52	0.33	z-
<i>Microcharacidium weitzmani</i>	1.05	8	9	73.17	0.004	3.15	-1.41	1.70	1.00	0.98	z+
<i>Microsternarchus aff. bilineatus</i>	1.70	0	5	94.92	0.012	4.64	0.11	2.09	1.00	0.88	z+

<i>Moenkhausia comma</i>	1.05	0	3	38.02	0.018	1.71	-0.13	2.52	0.95	0.45	z+
<i>Nannacara cf. taenia</i>	-1.91	6	5	64.92	0.178	1.11	-2.16	2.52	0.68	0.40	z-
<i>Nannostomus trifasciatus</i>	-2.16	5	8	78.40	0.014	2.31	-2.24	2.13	0.94	0.67	z+
<i>Paracanthopoma parva</i>	1.37	2	6	62.80	0.050	2.17	-2.41	2.09	0.90	0.70	z+
<i>Pyrrhulina</i> sp.	1.30	5	5	60.26	0.104	1.3	-2.43	1.53	0.80	0.45	z-
<i>Rhamdia quellen</i>	-1.46	1	3	36.36	0.218	1.44	-1.72	1.52	0.73	0.22	z+
<i>Steatogenys elegans</i>	1.70	1	5	75.68	0.036	2.74	-1.80	2.09	0.99	0.76	z+
<i>Synbranchus marmoratus</i>	1.05	2	4	39.87	0.174	1.02	-2.34	2.52	0.52	0.47	z+
<i>Trichomycterus hasemani</i>	1.05	8	9	74.87	0.054	1.91	-2.34	1.52	0.80	0.55	z+

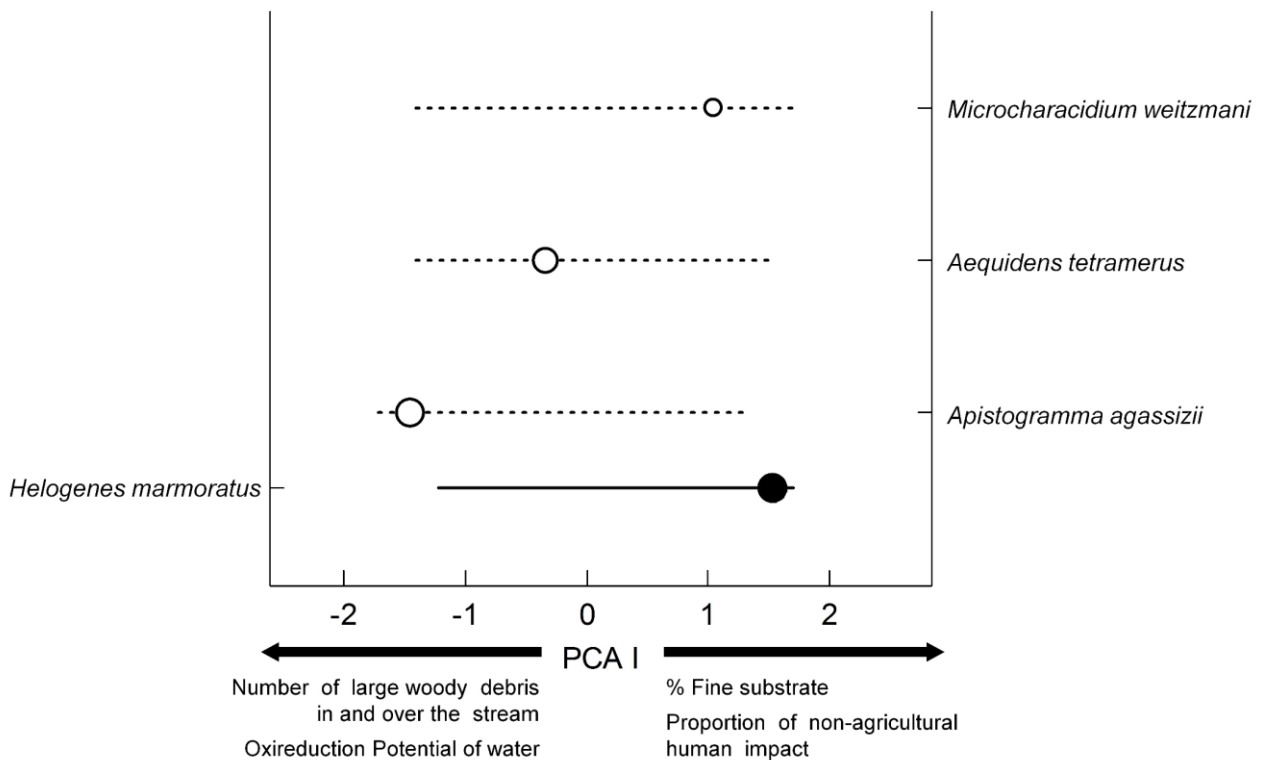


Fig. 4 Change points and 90% confidence limits of significant indicator taxa along the first PCA axis (Threshold Indicator Taxa Analysis, $p < 0.05$, purity > 0.95 , reliability > 0.95 for $p < 0.05$, 500 bootstrap and 1000 permutation replicates). Change points are sized in proportion to the magnitude of the response (z scores).

Discussion

In the present study, oil palm plantations have proven to be an important modifying agent of stream ecosystem structures, since the presence of this activity resulted in changes both in habitat structure, and in water physical-chemical characteristics, which reflected in stream fish assemblages. In the Eastern Amazon, streams draining oil palm plantations showed an increase in percentage of fine substrate and in the proportion of non-agricultural human impact, along with a decrease in large

woody debris volume in and above active channel (LWDVC) and in water oxidation and reduction. We also recorded changes in the fish assemblage composition, where generalist species were predominant and general richness and abundance of species were higher when compared with streams of forested areas.

The relationship between stream habitat structure and cash crops has been widely described in literature (Moerke and Lamberti 2006; Hrodey et al. 2009; Santos et al. 2015; Luke et al. 2017). Changes in land use along the catchment, such as agriculture, affect negatively the structure of remaining riparian vegetation (Heartsill-Scalley and Aide 2003). Consequently, these changes affect the stream habitat due to a higher incidence of light, reduction of allochthonous organic matter input (Fernandes et al. 2012), changes in chemical elements of water (De Souza et al. 2013) and reducing the offer of shelter for organisms (Crook and Robertson 1999; Wright and Flecker 2004). The network of dirt roads used for cash crops has also been considered an important modifying agent of stream habitat, mainly contributing with the siltation of this system, which affects the water physical-chemical feature and biodiversity (McClain and Elsenbeer 2001; Wantzen and Mol 2013). In the present study, we believe that both changes in riparian vegetation structure and the presence of dirt roads, contributed to stream habitat changes in oil palm plantation areas. Besides, the Brazilian environmental laws (Law nº 12.651, May 25, 2012), consider dirt roads and bridges as a low impact disturbance and their construction is permitted in permanent preservation areas (*APP – Área de Preservação Permanente* in Portuguese), which includes a 30-meter strip of riparian vegetation area in both side of streams less than ten meters wide. This situation tends to contribute even more to the input of sediments and organic matter in the streams, as well as with changes in the physical and chemical characteristics of water.

The changes observed in the habitat corroborate the results presented by Dosskey et al. (2010), who considers the riparian vegetation as responsible for maintaining the physical-chemical properties of streams draining. Changes in stream habitat was also observed by Cunha et al. (2015) in a study conducted in Amazonia, who found that the highest proportion of non-agricultural human impact was caused by changes in habitat integrity of streams due to land use for oil palm plantation. With lower amount of woody debris, and substrates with smaller diameter in oil palm plantation streams, which are thus characterized as sites with lower heterogeneity and lower offer of habitats. These metrics were sensitive to compare and distinguish forest fragments from oil palm plantations and are directly related to the preservation state and configuration of riparian vegetation, which are key factors to the good functioning of the natural conditions of aquatic ecosystems (Pusey and Arthington 2003). On the other hand, a higher canopy cover was observed in the oil palm plantation, however, this riparian vegetation is composed by thin trees (<30 cm), suggesting a regenerating or recent vegetation. In addition, the significant number of thin trees is driven by the absence of larger

trees, which are considered to be strong contenders for resources since they present a greater demand (Coomes and Allen 2007).

Following the same reasoning, the increase in sedimentation found in oil palm plantation streams might be associated to changes in riparian vegetation, which works as a filter for water volume and for the amount of transported sediment coming from the adjacent forest fragments and into the streams (Pusey and Arthington 2003; De Souza et al. 2013). In streams surrounded by less dense vegetation resulting from oil palm plantations, the volume of water input in the streams is higher, as is sediment load, corroborating Restrepo et al. (2015), who found changes in the sedimentation process of water bodies in Rio Magdalena basin, Colombia, resulting from the suppression of primary vegetation over the years. In addition, according to Bonachea et al. (2010), in a process similar to the sedimentation of water bodies, habitat loss deriving from homogenization caused by changes in the native vegetation is also another relevant consequence of disorganized human activities as it decreases the offer of shelter, foraging sites, and reproductive sites in several aquatic organisms (Casatti et al. 2012).

On the other hand, biodiversity also suffers the impacts of palm monoculture. However, most studies address terrestrial organisms, e.g., the study by Lees et al. (2015) in the Eastern Amazon, who observed differences in avifauna richness between oil palm plantation, primary forest, secondary forest, and pasture. Oil palm plantation samples had the lowest richness in the study. In another study carried out in the same area, Correa et al. (2015) recorded higher anuran richness in forest fragments than in oil palm plantations; however, they found no difference in the abundance of these animals. Also, regarding terrestrial fauna, in a study conducted in Malaysia, Turner and Foster (2009) evidenced that terrestrial invertebrate abundance and biomass decrease in oil palm plantations compared to primary forest fragments and logged forest fragments. Regarding aquatic organisms, some studies have indicated relationships similar to those observed for terrestrial organisms. Rawi et al. (2013) observed a lower diversity of aquatic insects in streams next to oil palm plantations compared to primary forest fragments streams and streams near highways. In another study carried out in the Amazon, Cunha et al. (2015) observed a lower richness of Heteroptera in oil palm plantation streams compared to primary forest fragments streams. However, there were no differences in the abundance of these insects.

Although the state of knowledge regarding changes caused by oil palm plantations in the natural community structure is significant, studies about the effects on ichthyofauna are still scarce. In a pioneer study, conducted in Indonesia, Giam et al. (2015) observed differences in fish assemblage structure; higher species richness was found in streams that drain through continuous forests and riparian vegetation fragments, compared to oil palm plantation streams, where a loss of approximately 42% in fish richness is estimated.

Unlike the hypothesized in the present study, the fish assemblage's richness did not differ between forest fragments and oil palm plantations streams. Similar pattern has also been observed and discussed in tropical streams submitted to a different type of environmental disturbances (Teresa and Casatti 2012), which was mainly attributed to a higher evenness in the distribution of species within these streams and the fact that disturbed areas provide conditions that favor the frequency increase of species that previously inhabited these areas. In some cases, the species richness in streams may also increase after disturbances (McCabe and Gotelli 2000). According to Huston's dynamic-equilibrium model, considered a good predictor model to streams communities, the species richness peak can be obtained in different disturbance intensity according to the rates of competitive exclusion and population (Huston 1979). In this sense, it is important to reinforce that species richness must be carefully evaluated and never used as the only measure of diversity streams disturbances assessment.

Regarding fish species composition, the results obtained indicate differences between streams in forest fragments and oil palm plantations. This composition difference may be related to environmental changes, since environmental features are determining factors for the occurrence of species in a given area (Jackson et al. 2001; Terra et al. 2015). Despite that, the fish species composition of one sampled stream in forest fragments was similar to streams in oil palm plantations in the NMDS ordination, this pattern may be leading because this site is surrounded by oil palm plantations, both downstream and upstream, but the stream source is located in forest fragments. However, this influence (distance of plantations) was not measured in our study and we suggest for a future landscape ecology studies to assess this relation and elucidate this question.

Therefore, fish species might be used as indicators of preserved or degraded areas (Ferreira and Casatti 2006). In the present study, the increase in abundance of *Aequidens tetramerus* and *Apistogramma agassizii* in oil palm plantations streams may be attributed to high tolerance and generality of many species of this family (Cichlidae) to lower environmental conditions (Burress 2015). In addition, the wide distribution of these two species in the Amazon basin (Kullander 2003) make them possible environmental indicators of areas disturbed by oil palm plantation. On the other hand, *Helogenes marmoratus* is associated to higher environmental conditions of structural heterogeneity (forest fragment streams), since their perpetuation depends on more specific environments, e.g., foliage bed and woody debris, deriving from riparian forests, which are deposited in the stream substrate, serving as shelter for these species (Sazima et al. 2006).

Overall, changes in the patterns of biological community structure are common in face of the impacts caused by different land uses (Iwata et al. 2003; Deegan et al. 2011). In addition, the maintenance of riparian vegetation is essential to mitigate these impacts, since small streams depend on the structure of this marginal vegetation to maintain their natural features (Pusey and Arthington

2003; Casatti et al. 2012; De Souza et al. 2013). Therefore, monitoring studies on structural analyses (e.g.: amount of woody debris) of aquatic ecosystems have been carried out in the United States, Europe and Asia with the purpose of understanding their functioning and of creating conservation measures (Metzger and Casatti 2006; Li et al. 2010). In Brazil, however, these methodologies are still scarce.

Studies that add ecosystem structural information to biological information comprise an effective biodiversity monitoring tool used in temperate regions (Jaramillo-Villa and Caramaschi 2008); all the same, they can be widely adapted and practiced in tropical and subtropical regions such as the Brazilian Amazon. Hence, the results shown here indicate that the use of data on fish assemblage composition combined with structural habitat condition approach is effective in the assessment of streams and might subsidize strategies for the preservation and conservation of these ecosystems, as land use for oil palm plantations has been impacting the Amazon biodiversity. The conservation and monitoring of riparian vegetation corridors along all catchments in the studied area are of utmost importance. In addition, with a decrease in habitat quality, changes in species composition might occur, leading to the loss of more sensitive and forest-specialist species.

Funding

Ferreira MC has received Granting Scholarship by Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES). LJ and LFAM has received Research Grants by Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES) / *Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação* (PROPESP/UFPA) and Productivity Grants by National Counsel of Technological and Scientific Development (CNPq).

Compliance with ethical standard

All applicable international, national, and/or institutional guidelines for the care and use of animals were followed.

Conflict of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

References

- Albuquerque MF, Souza EB, Oliveira MCF, Souza-Júnior JA (2012) Precipitação nas mesorregiões do Estado do Pará: climatologia, variabilidade e tendências nas últimas décadas (1978-2008). *Rev Bras Clim* 6(6):151-168.
- Allan JD (2004) Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. *Annu Rev Ecol Syst* 257-284. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.35.120202.110122
- Almeida AS, Vieira ICG (2013) ‘Sumário Executivo: Cenários para a Amazônia – Área de Endemismo Belém’. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém.
- Almeida SM, Silva LC, Cardoso MR, Cerqueira PV, Juen L, Santos MP (2016). The effects of oil palm plantations on the functional diversity of Amazonian birds. *J. Trop. Ecol.* 5:1-16.
- Anderson MJ (2005) ‘PERMANOVA: a FORTRAN computer program for permutational multivariate analysis of variance’. Department of Statistics, University of Auckland, New Zealand.
- Anderson MJ, Gorley RN, Clarke KR (2008) ‘PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods’. PRIMER-E: Plymouth, UK.
- Baker ME, King RS (2010) A new method for detecting and interpreting biodiversity and ecological community thresholds. *Methods Ecol Evol* 1(1):25–37. doi: 10.1111/j.2041-210X.2009.00007.x
- Baker ME, King RS (2013) Of TITAN and straw men: an appeal for greater understanding of community data. *Freshw Sci*, 32(2):489–506. doi: 10.1899/12-142.1
- Barbour MT, Gerritsen J, Griffith GE, Frydenborg R, McCarron E, White JS, Bastian ML (1996) A framework for biological criteria for Florida streams using benthic macroinvertebrates. *J N Am Benthol Soc* 15(2):185-211. doi: 10.2307/1467948
- Barbour MT, Gerritsen J, Snyder BD, Striblings JB (1999) *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic macroinvertebrates and Fish*, 2nd edn. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C.
- Bonachea J, Viola M, Bruschi MA, Hurtado L, Forte LM, da Silva M et al. (2010) Natural and human forcing in recent geomorphic change; case studies in the Rio de la Plata basin. *Sci Total Environ* 408(13):2674–2695. doi: 10.1016/j.scitotenv.2010.03.004

- Bryce SA, Lomnický GA, Kaufmann PR (2010) Protecting sediment-sensitive aquatic species in mountain streams through the application of biologically based streambed sediment criteria. *J N Am Benthol Soc* 29(2):657–672. doi: 10.1899/09-061.1
- Burress ED (2015) Cichlid fishes as models of ecological diversification: patterns, mechanisms, and consequences. *Hydrobiologia* 748(1):7-27.
- Butler RA, Laurence WF (2009) Is the oil palm the next threat to the Amazon? *Trop Conserv Sci* 2(1):1-10.
- Callisto M., Alves CBM, Lopes JM, Castro MA (2014) ‘Condições ecológicas em bacias hidrográficas de empreendimentos hidrelétricos’. CEMIG, Belo Horizonte.
- Cardoso P, Rigal F, Fattorini S, Terzopoulou S, Borges PA (2013) Integrating landscape disturbance and indicator species in conservation studies. *PloS One* 8(5):1-10. doi: 10.1371/journal.pone.0063294
- Casatti L, Teresa FB, Gonçalves-Souza T, Bessa E, Manzotti AR, Gonçalves CDS, Zeni JDO (2012) From forests to cattail: how does the riparian zone influence stream fish? *Neotrop Ichthyol* 10(1):205-214. doi: 10.1590/S1679-62252012000100020
- Clapcott JE, Collier KJ, Death RG, Goodwin EO, Harding JS, Kelly D, Leathwick JR, Yong RG (2012) Quantifying relationships between land-use gradients and structural and functional indicators of stream ecological integrity. *Freshwater Biol.*, 57: 74–90. doi:10.1111/j.1365-2427.2011.02696.x74.
- Coomes DA, Allen RB (2007) Effects of size, competition and altitude on tree growth. *J Ecol* 95:1084-1097.
- Correa FS, Juen L, Rodrigues LC, Silva-Filho HF, Santos-Costa MC (2015) Effects of oil palm plantations on anuran diversity in the eastern Amazon. *Anim Biol* 65(3-4):321-335. doi: 10.1163/15707563-00002481
- Crook DA, Robertson AI (1999) Relationship between riverine fish and woody debris: implications for lowland rivers. *Mar Freshwater Res* 50(8):941-953. doi: 10.1071/MF99072
- Cunha EJ, Montag LFA, Juen L (2015) Oil palm crops effects on environmental integrity of Amazonian streams and Heteropteran (Hemiptera) species diversity. *Ecol Indic* 52:422-429. doi: 10.1016/j.ecolind.2014.12.024

- Da Silva JA (2013) Avaliação do programa nacional de produção e uso do biodiesel no Brasil – PNPB. *Rev Pol Agric* 22(3):18-31.
- Dayang-Norwana AAB, Kunjappan R, Chin M, Schoneveld G, Potter L, Andriani R (2011) The local impacts of oil palm expansion in Malaysia: An assessment based on a case study in Sabah State. Working Paper 78. CIFOR, Bogor, Indonesia.
- De Souza ALT, Fonseca DG, Libório RA, Tanaka MO (2013) Influence of riparian vegetation and forest structure on the water quality of rural low-order streams in SE Brazil. *Forest Ecol Manag* 298:12-18. doi: 10.1016/j.foreco.2013.02.022
- Deegan LA, Neill C, Hauptert CL, Ballester MVR, Krusche AV, Victoria RL, Thomas SM, de Moor E (2011) Amazon deforestation alters small stream structure, nitrogen biogeochemistry and connectivity to larger rivers. *Biogeochemistry* 105(1):53-74. doi: 10.1007/s10533-010-9540-4
- De'Ath G, Fabricius KE (2000) Classification and regression trees: A powerful yet simple technique for ecological data analysis. *Ecology* 81(11):3178–3192. doi: 10.1890/0012-9658(2000)081[3178:CARTAP]2.0.CO;2
- Dosskey MG, Vidon P, Gurwick NP, Allan CJ, Duval TP, Lowrance R (2010) The role of riparian vegetation in protecting and improving chemical water quality in streams. *J Am Water Resour As* 46(2):261-277. doi: 10.1111/j.1752-1688.2010.00419.x
- Dufrêne M, Legendre P (1997) Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecol Monogr* 67(3):345-366. doi: 10.1890/0012-9615(1997)067[0345:SAAIST]2.0.CO;2
- FAO (2013) FAOSTAT Database Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. <http://www.faostat.fao.org>. Accessed 16 Jan 2016.
- Fausch KD, Lyons J, Karr JR, Angermeier PL (1990) Fish communities as indicators of environmental degradation. *Am Fish Soc Symp* 8:123-144.
- Fernandes IM, Lourenço LS, Ota RP, Moreira MMM, Zawadzki CH (2012) Effects of local and regional factors on the fish assemblage structure in Meridional Amazonian streams. *Environ Biol Fish* 96(7):837-848. doi: 10.1007/s10641-012-0079-1
- Ferreira CP, Cassati L (2006) Stream biotic integrity assessed by fish assemblages in the Upper Rio Paraná basin. *Biota Neotrop* 6(3):0-0. doi: 10.1590/S1676-06032006000300002

- Fitzherbert EB, Struebig MJ, Morel A, Danielsen F, Brühl CA, Donald PF, Phalan B (2008) How will oil palm expansion affect biodiversity. *Trends Ecol Evol* 23(10):538-545. doi: 10.1016/j.tree.2008.06.012
- Giam X, Hadiaty RK, Tan HH, Parenti LR, Wowor D, Sauri S et al. (2015) Mitigating the impact of oil-palm monoculture on freshwater fishes in Southeast Asia. *Conserv Biol* 29(5):1357-1367. doi: 10.1111/cobi.12483
- Gotelli NJ, Colwell RK (2001). Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology letters*, 4(4), 379-391.
- Harris JH (1995) The use of fish in ecological assessments. *Australian Journal of Ecology* 20(1):65-80. doi: 10.1111/j.1442-9993.1995.tb00523.x
- Heartsill-Scalley T, Aide TM (2003) Riparian vegetation and stream condition in a tropical agriculture-secondary forest mosaic. *Ecol Appl* 13(1):225-234. doi: 10.1890/1051-0761(2003)013[0225:RVASCI]2.0.CO;2
- Hrodey PJ, Sutton TM, Frimpong EA, Simon TP (2009) Land-use impacts on watershed health and integrity in Indiana warmwater streams. *Ame Midl Nat* 161(1):76-95. doi: 10.1674/0003-0031-161.1.76
- Huston, M. (1979). A general hypothesis of species diversity. *Am. Nat.* 113(1):81-101.
- Iwata T, Nakano S, Inoue M (2003) Impacts of past riparian deforestation on stream communities in a tropical rain forest in Borneo. *Ecol Appl* 13(2):461-473. doi: 10.1890/1051-0761(2003)013[0461:IOPRDO]2.0.CO;2
- Jackson,DA (1993). Stopping rules in principal components analysis: a comparison of heuristical and statistical approaches. *Ecology*, 74(8), 2204-2214.
- Jackson DA, Peres-Neto PR, Olden JD (2001) What controls who is where in freshwater fish communities - the roles of biotic, abiotic, and spatial factors. *Can J Fish Aquat Sci* 58(1):157-170. doi: 10.1139/f00-239
- Jaramillo-Villa U, Caramaschi EP (2008) Índices de integridade biótica usando peixes de água doce: Uso nas regiões tropical e subtropical. *Oecol Bras*, 12(3):442-462.

- Juen L, Cunha EJ, Carvalho FG, Ferreira MC, Begot TO, Andrade AL, Shimano Y, Leão H, Pompeu OS, Montag LFA (2016) Effects of oil palm plantations on the habitat structure and biota of streams in Eastern Amazon. *River Res Appl*, 32:2081-2094. doi: 10.1002/rra.3050
- Karr JR (1981) Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* 6(6):21-27. doi: 10.1577/1548-8446(1981)006<0021:AObiuf>2.0.CO;2
- Kaufmann PR, Levine P, Robison GE, Seeliger C, Peck DV (1999) Quantifying physical habitat in wadeable streams. U. S. Environmental Protection Agency, EPA/620/R-99/003, Washington, D.C.
- Kaufmann PR, Hughes RM (2006) Geomorphic and anthropogenic influences on fish and amphibians in Pacific Northwest coastal streams. In: Hughes RM, Wang L, Seelback PW (ed) *Landscape influence on stream habitat and biological assemblages*. American Fisheries Society Symposium 48, pp 429-455.
- King RS, Richardson CJ (2003) Integrating bioassessment and ecological risk assessment: an approach to developing numerical water-quality criteria. *Environ Manage* 31(6):795-809. doi: 10.1007/s00267-002-0036-4
- Kongsager R, Reenberg A (2012) Contemporary land-use transitions: The global oil palm expansion. GLP Report No. 4. GLP-IPO, Copenhagen.
- Kullander SO (2003) Check list of the freshwater fishes of South and Central America. EDIPUCRS. Porto Alegre.
- Lê S, Josse J, Husson F (2008) FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software* 25(1):1-18. doi: 10.18637/jss.v025.i01
- Legendre P, Legendre L (1998) *Numerical Ecology*, 2nd edn. Elsevier, Amsterdam.
- Lees AC, Moura NG, Almeida AS, Vieira ICG (2015) Poor Prospects for Avian Biodiversity in Amazonian Oil Palm. *PLoS One* 10(5):1-17. doi: 10.1371/journal.pone.0122432
- Li T, Li W, Qian Z (2010) Variations on ecosystem services value in response to land use changes in Shenzhen. *Ecol Econ* 69(7):1427-1435. doi: 10.1016/j.ecolecon.2008.05.018
- Luke, SH, Barclay H, Bidin K, Vun Khen, C, Ewers RM, Foster WA, Nainar A, Pfeifer M, Reynolds G, Turner EC, Walsh RPD, Aldridge DC (2017). The effects of catchment and riparian forest quality on stream environmental conditions across a tropical rainforest and oil palm landscape in Malaysian Borneo. *Ecohydrology* 10(4):e1827. doi: 10.1002/eco.1827.

- Macedo DR, Hughes RM, Ligeiro R, Ferreira WR, Castro MA, Junqueira NT et al. (2014a). The relative influence of catchment and site variables on fish and macroinvertebrate richness in cerrado biome streams. *Landscape Ecol* 29(6):1001-1016. doi: 10.1007/s10980-014-0036-9
- Macedo DR, Pompeu PS, Morais L, Castro MA, Alves CBM, França JS et al. (2014b) Sampling site selection, land use and cover, field reconnaissance, and sampling. In: Callisto M, Hughes RM, Lopes JM, Castro MA (ed) *Ecological conditions in hydropower basins*. Companhia Energética de Minas Gerais, Belo Horizonte, pp 61-83.
- McClain ME, Elsenbeer H (2001) Terrestrial inputs to Amazon streams and internal biogeochemical processing. In: McClain ME, Victoria RL, Richey JE (ed) *The Biogeochemistry of the Amazon Basin*. Oxford University Press, Oxford, pp 185-208.
- McCabe DJ, Gotelli NJ (2000). Effects of disturbance frequency, intensity, and area on assemblages of stream macroinvertebrates. *Oecol* 124(2):270-279. doi: 10.1007/s004420000.
- Mendonça FP, Magnusson WE, Zuanon J (2005) Relationships between habitat characteristics and fish assemblages in small streams of Central Amazonia. *Copeia* 2005(4):751-764. doi: 10.1643/0045-8511(2005)005[0751:RBHCAF]2.0.CO;2
- Metzger JP, Casatti L (2006) From diagnosis to conservation: the state of the art of biodiversity conservation in the BIOTA/FAPESP Program. *Biota Neotrop* 6(2):0-0. doi: 10.1590/S1676-06032006000200002
- Moerke AH, Lamberti GA (2006) Relationships between land use and stream ecosystems: a multi stream assessment in southwestern Michigan. In: Hughes RM, Wang L, Seelbach PW (ed) *Landscape influences on stream habitats and biological assemblages*. American Fisheries Society Symposium 48, Maryland, pp 323-338.
- Müller AA, Furlan-Junior J, Celestino-Filho P (2006) *Embrapa Amazônia Oriental e o agronegócio do dendê no Pará*. Embrapa Amazônia Oriental, Belém.
- Oliveira LL, Fontinhas RL, Lima AMM, Lima RJS (2002) Mapas dos parâmetros climatológicos do Estado do Pará: umidade, temperatura e insolação, médias anuais. *Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia*. Sociedade Brasileira de Meteorologia, Fortaleza. <http://www.cbmet.com/cbm-files/22-762cad766c70d3a4452c4afd29dec7b.doc>. Accessed 14 December 2015.

- Oksanen J, Blanchet FG, Kindt R, Legendre P, Minchin PR, O'Hara RB et al. (2016) *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.3-3. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>. Accessed 10 January 2016.
- Peck DV, Herlihy AT, Hill BH, Hughes RM, Kaufmann PR, Klemm DJ et al. (2006) *Environmental monitoring and assessment program-surface water western pilot study: field operations manual for wadeable streams*, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington, D.C.
- Peel MC, Finlayson BL, McMahon TA (2007) Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydro Earth Syst Sci* 11(5):1633-1644. doi: 10.5194/hess-11-1633-2007
- Persson UM, Azar C (2010) Preserving the world's tropical forests - A price on carbon may not do. *Environ Sci Technol* 44(1):210-215. doi: 10.1021/es902629x
- Poff NL, Ward JV (1990) Physical habitat template of lotic systems: recovery in the context of historical pattern of spatiotemporal heterogeneity. *Environ Manage* 14(5):629-645. doi: 10.1007/BF02394714
- Prudente BS, Pompeu PS, Juen, L, Montag LF (2016). Effects of reduced-impact logging on physical habitat and fish assemblages in streams of Eastern Amazonia. *Freshwater Biol*, 62(2): 303-316.
- Pusey BJ, Arthington AH (2003) Importance of the riparian zone to the conservation and management of freshwater fish: a review. *Mar Freshwater Res* 54:1-16. doi: 10.1071/MF02041
- Ramalho-Filho A, Motta PEF, Freitas PL, Teixeira WG (2010) *Zoneamento agroecológico, produção e manejo para a cultura da palma de óleo na Amazônia*. Embrapa Solos, Rio de Janeiro.
- R Development Core Team (2003) *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna.
- Rawi CSM, Al-Shami SA, Madrus MR, Ahmad AH (2013) Local effects of forest fragmentation on diversity of aquatic insects in tropical forest streams: implications for biological conservation. *Aquat Ecol* 47(1):75-85. doi: 10.1007/s10452-012-9426-8
- Restrepo JD, Kettner AJ, Syvitski JPM (2015) Recent deforestation causes rapid increase in river sediment load in the Colombian Andes. *Anthropocene* 10:13-28. doi: 10.1016/j.ancene.2015.09.001

- Santos FB, Ferreira FC, Esteves KE. 2015. Assessing the importance of the riparian zone for stream fish communities in a sugarcane dominated landscape (Piracicaba River Basin, southeast Brazil). *Environ Biol Fishes*. 98:1895–1912.
- Savilaakso S, Garcia C, Garcia-Ulloa J, Ghazoul J, Groom M, Guariguata MR et al. (2014) Systematic review of effects on biodiversity from oil palm production. *Eviron Evid* 3:4. doi: 10.1186/2047-2382-3-4
- Sazima I, Carvalho LN, Mendonça FP, Zuanon J (2006) Fallen leaves on the water-bed: diurnal camouflage of three night active fish species in an Amazonian streamlet. *Neotrop Ichthyol* 4(1):119-122. doi: 10.1590/S1679-62252006000100013
- Scarsbrook MR, Townsend CR (1993) Stream community structure in relation to spatial and temporal variation: a habitat templet study of two contrasting New Zealand streams. *Freshwater Biol* 29(3):395-410. doi: 10.1111/j.1365-2427.1993.tb00774.x
- Scott MC, Hall Jr LW (1997) Fish assemblages as indicators of environmental degradation in Maryland Coastal Plain Streams. *T Am Fish Soc* 126(3):349-360. doi: 10.1577/1548-8659(1997)126<0349:FAAIOE>2.3.CO;2
- Senior MJ, Hamer KC, Bottrell S, Edwards DP, Fayle TM, Lucey JM et al. (2013) Trait-dependent declines of species following conversion of rain forest to oil palm plantations. *Biodivers Conserv* 22(1): 253-268. doi: 10.1007/s10531-012-0419-7
- Shimano Y, Juen L (2016) How oil palm cultivation is affecting mayfly assemblages in Amazon streams. *Int J Limn* 52:35-45. doi: 10.1051/limn/2016004
- Southwood TRE (1977) Habitat, the templet for ecological strategies? *J Anim Ecol* 46:337-365.
- Southwood TRE (1988) Tactics, strategies and templets. *Oikos* 52:3-18.
- Strahler AN (1957) Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Trans Am Geophys Union* 38(6):913-920. doi: 10.1029/TR038i006p00913
- Teresa, FB., Casatti, L (2012). Influence of forest cover and mesohabitat types on functional and taxonomic diversity of fish communities in Neotropical lowland streams. *Ecol Freshw Fish*, 21(3): 433-442. doi: 10.1111/j.1600-0633.2012.00562.x

Terra BF, Hughes RM, Araújo FG (2015) Fish assemblages in Atlantic Forest streams: the relative influence of local and catchment environments on taxonomic and functional species. *Ecol Freshw Fish*. Early view. doi: 10.1111/eff.12231

Turner EC, Foster WA (2009) The impact of forest conversion to oil palm on arthropod abundance and biomass in Sabah, Malaysia. *J Trop Ecol* 25(1):23-30. doi: 10.1017/S0266467408005658

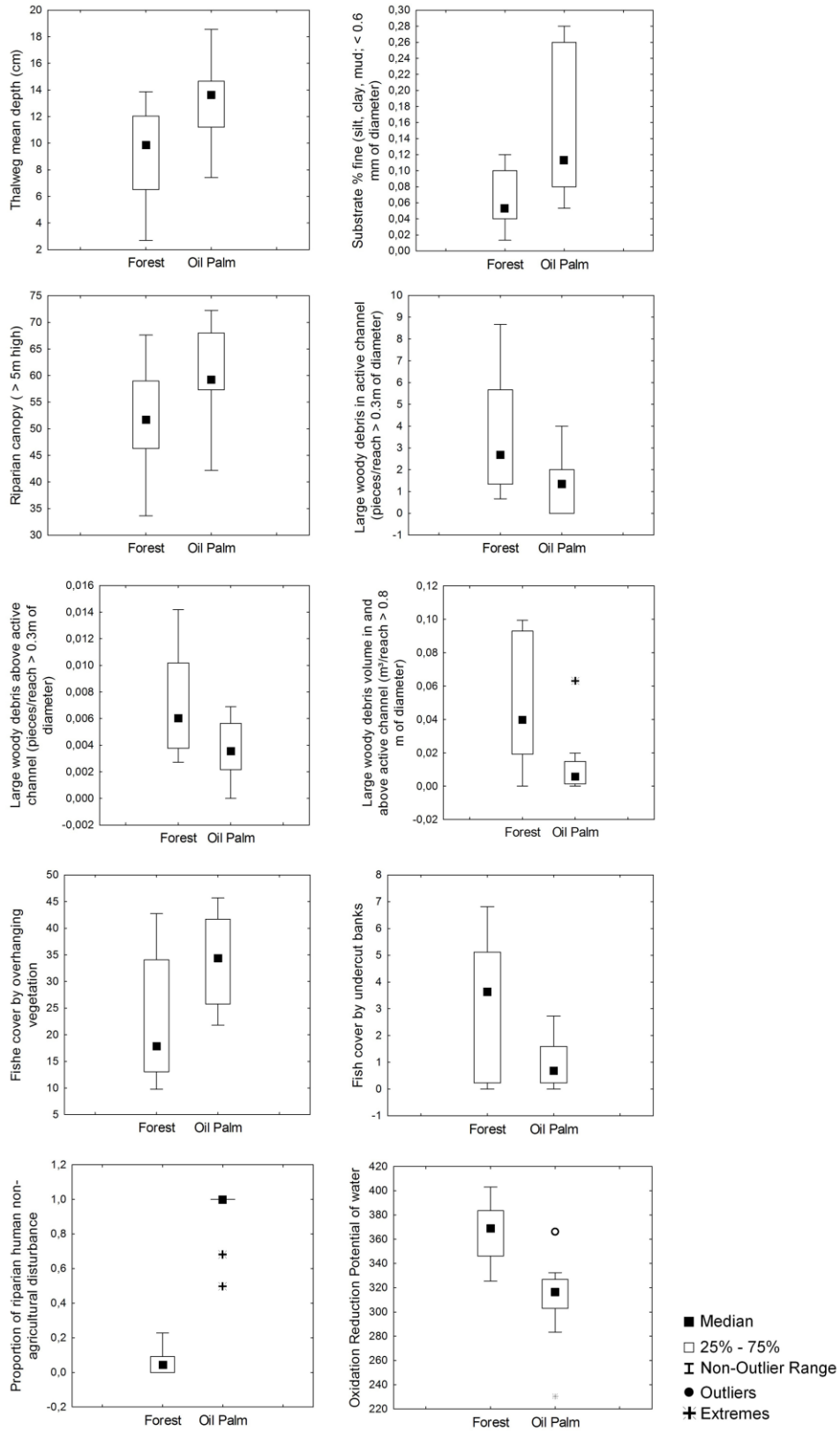
Uieda VS, Castro RMC (1999) Coleta e fixação de peixes de riachos. In: *Ecologia de Peixes de Riachos* (Eds. Caramaschi EP, Mazzoni R, Peres-Neto PR), pp. 1– 22. Série Oecologia Brasiliensis, Vol. VI. PPGE-UFRJ, Rio de Janeiro.

Wantzen KM, Mol JH (2013) Soil erosion from agriculture and mining: A threat to tropical stream ecosystems. *Agriculture* 3(4):660-683. doi: 10.3390/agriculture3040660

Wright JP, Flecker AS (2004) Deforesting the riverscape: the effects of wood on fish diversity in a Venezuelan piedmont stream. *Biol Conserv* 120: 443-451. doi: 10.1016/j.biocon.2004.02.022

Supplementary material

SM1 Variation of variables selected to evaluating environmental conditions of structural habitat of Amazonian streams.



CAPÍTULO 2

Efeitos da palma de dendê na estrutura do habitat e diversidade taxonômica de peixes de riachos da Amazônia Oriental

O capítulo II desta tese foi elaborado e formatado conforme as normas da publicação científica *Aquatic Sciences*, as quais se encontram em anexo (Anexo 2)

Efeitos da palma de dendê na estrutura do habitat e diversidade taxonômica de peixes de riachos da Amazônia Oriental

Begot, TO^{1,2,3}; Winemiller, KO⁴; Barbosa LF⁵.; Montag, LFA¹

¹ Laboratório de Ecologia e Conservação, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará – UFPA, Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá, CEP 66075-110, Belém, PA, Brasil.

² Programa de Pós-graduação em Zoologia, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará/ Museu Paraense Emílio Goeldi – UFPA/MPEG, Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá, CEP 66075-110, Belém, PA, Brasil.

³ Autor correspondente. E-mail: tbegot@gmail.com. Telefone: +55(91)999990007

⁴ Department of Wildlife and Fisheries Science, Interdisciplinary Program in Ecology and Evolutionary Biology, and Applied Biodiversity Science Program, Texas A&M University, College Station, TX 77843, USA.

⁵ Conservação Internacional do Brasil, Rua Antônio Barreto, 130, Sala 406, Umarizal, CEP 66055-050, Belém, PA, Brasil.

Resumo

Com a expansão da monocultura de palma de dendê na Amazônia, a necessidade de estudos avaliando como esta atividade afeta o meio ambiente e a biodiversidade é fundamental. Nesse sentido, esta pesquisa tem como objetivo avaliar como a substituição da floresta por palma de dendê na paisagem afeta a estrutura do habitat e a diversidade taxonômica de peixes de riachos tropicais. Assumiu-se a hipótese de que a substituição da floresta altera as características naturais dos riachos e consequentemente a distribuição das espécies de peixes. Foram amostrados 39 riachos na Amazônia Oriental, que foram caracterizados quanto a estrutura do habitat e da paisagem adjacente (buffer de 300 m). Foram registradas alterações nas características naturais dos riachos, associados à perda de cobertura florestal e presença de palma de dendê e pastagem, onde maiores valores de altura da incisão dos riachos foram registrados em áreas com maior porcentagem de floresta, enquanto que a maior porcentagem de imersão do substrato foi registrada em áreas menos florestadas, com predominância de plantação de palma de dendê e pastagem. Corroborando assim com a hipótese inicial de que a substituição da floresta por áreas de plantação de dendê afeta negativamente a estrutura do habitat dos riachos. Em relação as assembleias de peixes, foi coletado um total de 13.942 indivíduos, pertencentes a 74 espécies. As modificações nas características do habitat de riachos afetam a ocorrência e abundância das espécies, sendo possível determinar espécies indicadoras de ambientes preservados e alterados. Por fim, é importante considerar essas alterações e utilizar estudos desta natureza na elaboração de políticas públicas eficientes na conservação dos remanescentes florestais, incluindo os riachos e toda biodiversidade associada.

Palavras-chave: Impacto humano, *Elaeis guineensis*, ictiofauna neotropical, paisagem.

Introdução

O cultivo de palma de dendê (*Elaeis guineensis* Jacq.) na Amazônia vem crescendo exponencialmente nos últimos anos, constituindo uma possível ameaça à biodiversidade (Correa et al. 2015; Almeida et al. 2016; Juen et al. 2016). Em países onde a palma de dendê é cultivada intensamente, como Malásia e Indonésia, as alterações ambientais já são evidenciadas pela redução da cobertura vegetal, transformação dos habitat e, conseqüentemente, perda de biodiversidade (Fitzherbert et al. 2008; Turner et al. 2011).

No entanto essas alterações ambientais não se restringem aos ambientes terrestres, uma vez que os ecossistemas aquáticos podem ter uma expressiva perda de sua integridade em decorrência das alterações nos ambientes terrestres (Roth et al. 1996; Allan 2004; Hrodey et al. 2009), como a degradação de habitat físico e a diminuição da complexidade estrutural do ambiente, limitando a coexistência de espécies (Karr 1981; Baptista et al. 2007). Um dos ambientes aquáticos que mais sofrem os impactos associados práticas agrícolas é o de pequenos riachos, devido à sua forte associação com a vegetação ripária (Pusey and Arthington 2003), que fornece alimentos, abrigo e auxilia na manutenção das características físico-químicas dos riachos (Casatti et al. 2012).

Entender como estes pequenos corpos d'água respondem às alterações ambientais provocadas pela expansão do dendê na Amazônia, identificando quais características do habitat físico são mais afetadas, constituem uma importante ferramenta para subsidiar estratégias efetivas na mitigação do impacto e preservação deste ecossistema e, conseqüentemente, da biodiversidade aquática (Karr 1981; Baptista et al. 2007). Com isso, uma abordagem que identifique mudanças em diferentes aspectos dos riachos, como na morfologia do canal, disponibilidade de abrigo, estrutura da vegetação ripária, composição do substrato, entre outros, é fundamental para um melhor entendimento do impacto causado por atividades humanas (Karr 1981; Kaufmann et al. 1999).

Além disso, essas mudanças nas características naturais dos riachos afetam a biodiversidade aquática (Juen et al. 2016). Uma forma robusta de entender como os organismos respondem aos impactos é a utilização das assembleias de peixes, que são considerados um grupo altamente diverso, ou seja, apresenta morfologias bem distintas e desempenha diferentes funções no ecossistema (Winemiller 1991; Ferreira and Casatti 2006). Além disso, os peixes estão presentes em diferentes níveis tróficos, como por exemplo, raspadores, decompositores e carnívoros (Zuluaga-Gómez et al. 2016), e ainda ocupam uma variedade de micro-habitat, como fendas em rochas e madeiras, substrato, raízes nas margens, entre outros. Com toda essa diversidade, os peixes são considerados bons indicadores de alterações ambientais, pois podem responder de maneira diferente aos impactos, aumentando ou diminuindo sua abundância, ou até mesmo deixando de ocorrer em determinado ambiente (Harris 1995; Mendonça et al. 2005).

Sendo assim, este estudo tem como objetivo avaliar como a substituição da floresta por palma de dendê, na paisagem, afeta a estrutura do habitat físico e a diversidade taxonômica de peixes de riachos tropicais. Assumiu-se como hipótese que a substituição da floresta altera as características naturais dos riachos, como morfologia do canal e disponibilidade de abrigo, e, conseqüentemente, a distribuição das espécies de peixes.

Material e Métodos

Área de estudo e desenho amostral

O estudo foi conduzido na Amazônia Oriental, mais especificamente no Centro de Endemismo Belém (CEB), localizado na mesorregião do Nordeste do estado do Pará, onde está concentrada a maior parte da produção de palma dendê na Amazônia (Reis-Neto 2010).

O CEB, com aproximadamente 243.000 km², constitui um extenso mosaico de áreas preservadas e alteradas, uma vez que 28% do território do CEB é constituído de floresta ombrófila e 72% desse território foi convertido em diversos usos de solo, entre eles a agropecuária com mais de 79.000 km² (32,4%) é a mais representativa, enquanto que a palma de dendê apresenta aproximadamente 3.200 km² (1,3%) de área plantada (Almeida and Vieira 2013). O clima na região é tropical úmido, do subtipo 'Af', segundo a classificação de Köppen (Peel et al. 2007). A temperatura média na região é de 26°C, com uma umidade relativa do ar atingindo 85% (Oliveira et al. 2002).

No total foram amostrados 39 riachos de primeira a terceira ordem, de acordo com a classificação de Strahler (1957), na bacia do Rio Acará (Figura 1). As amostras ocorreram sempre no período de seca na região (entre os meses de junho e novembro), nos anos de 2012, 2013, 2015 e 2016. A padronização do período hidrológico é necessária para evitar possíveis alterações, resultantes de variações sazonais, tanto em aspectos estruturais e funcionais da ictiofauna, como na padronização do método de coleta e caracterização ambiental dos riachos (Jaramillo-Villa and Caramaschi 2008).

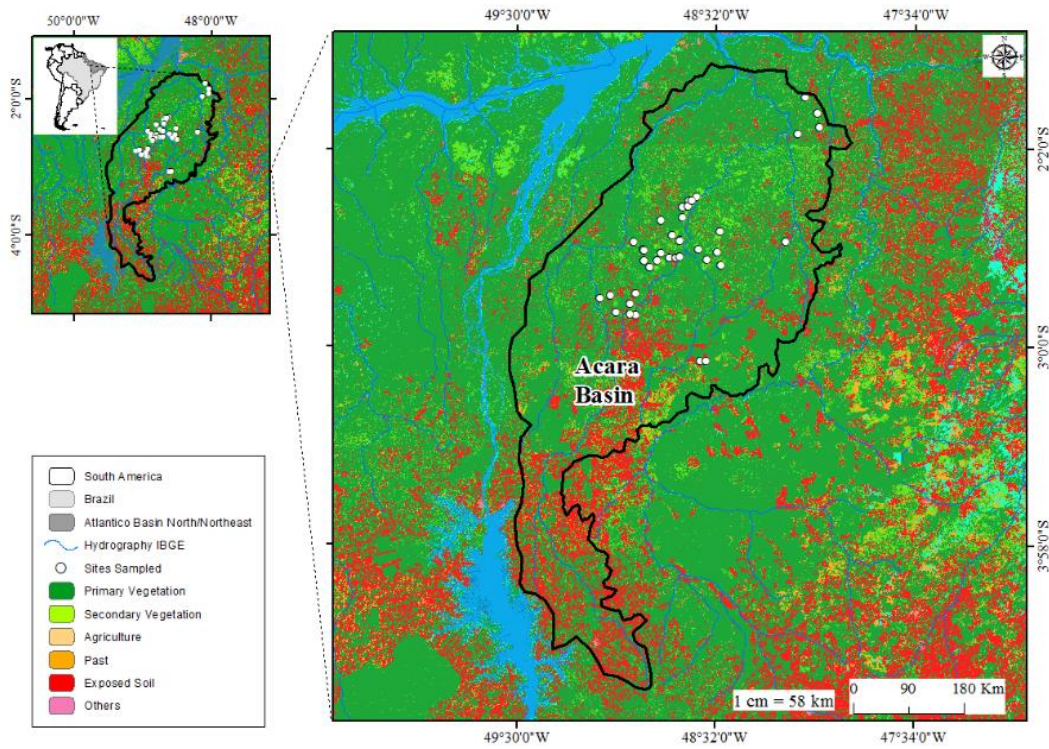


Fig. 1 Localização geográfica dos riachos amostrados nos anos de 2012, 2013, 2015 e 2016 na bacia do Rio Acará, na Amazônia Oriental, Pará, Brasil.

Coleta de dados

As variáveis ambientais locais foram amostradas em cada riacho de acordo com o protocolo de avaliação de riachos proposto por Peck et al. (2006). Este protocolo avalia diversos componentes da estrutura física do habitat dos riachos, como morfologia do canal, unidade de canal (fluxo de água), tipo de substrato, quantidade de madeira no riacho, estrutura da vegetação ripária, disponibilidade de abrigo e impacto humano. Ao todo foram amostradas 27 variáveis ambientais locais, distribuídas em sete agrupamentos de métricas (Peck et al. 2006) (Tabela 1). Os métodos de amostragem de cada variável estão descritos no Material suplementar S1 – Capítulo 2.

Tabela 1 Variáveis ambientais do habitat físico mensuradas para avaliar a estrutura dos riachos amostrados na Amazônia Oriental.

Grupos	Métrica	Código
Morfologia do canal	Profundidade média do talvegue (cm)	XDEPTH_T
	Desvio padrão da profundidade do talvegue (cm)	SDDEPTH_T
	Média da largura do leito sazonal (m)	XBKF_W
	Média Altura Incisão (m)	XINC_H
	Razão Largura / Profundidade no Trecho	XWD_RAT
Substrato	Média de imersão (Canal + Margens) (%)	XEMBED
	Porcentagem de substrato fino (%)	PCT_ST
	Matéria orgânica total (%)	PCT_ORG

	Madeira (%)	PCT_MD
	Raízes finas (%)	PCT_RZ
	Banco de folhas (%)	PCT_BF
	Média do tamanho do substrato	DGM_X
	Desvio padrão do tamanho do substrato	DGM_V
Unidade de canal (Fluxo de água)	Fluxo rápido (%)	PCT_RA
	Sequência de fluxos rápidos, suaves e piscinas	SEQ_FLO_1
Estrutura da vegetação ripária	Média de cobertura ripária total	XCMG
	Desvio padrão de cobertura ripária total	SDCMG
	Desvio padrão de cobertura lenhosa	SDCMGW
Madeira	Volume Madeira grande no Leito	V4W_150
	Número Madeira pequena no leito	C1W_MSQ
	Volume Madeira grande dentro e acima do leito	V4T_MSQ
Abrigo para organismos aquáticos	Média Abrigo - Madeira Grande	XFC_PMG
	Média Abrigo - Árvores Vivas	XFC_AV
	Média Abrigo - Margem Escavada	XFC_ME
	Proporção Abrigo - Árvores Vivas	PFC_AV
	Proporção Abrigo - Margem Escavada	PFC_ME
Influência humana	Proporção de impacto humano	X_HNOAG

Para cada riacho amostrado, além das variáveis do habitat físico, características da paisagem também foram obtidas, através da quantificação da cobertura vegetal e dos usos de solo adjacentes a esses corpos d'água. Esta quantificação se deu em porcentagens, por meio da elaboração de áreas de influências (*buffers*). Primeiramente, foi delimitada a área da Amazônia Oriental e a rede de drenagem dos igarapés amostrados, com base nas coordenadas geográficas obtidas em campo, utilizando o software *ArcGIS* 10.1 (ESRI 2011). A rede de drenagem foi revisada por imagens dos satélites *RapidEye* (RapidEye 2015) e *Indian Remote Sensing* (IRS, INPE 2016) e por imagens do software *Google Earth* de 2016. Em seguida, as áreas de influência foram então delimitadas no entorno dos pontos amostrados, em um formato circular, com diâmetro medindo 300 metros. Posteriormente as feições dos usos de solo foram classificadas, com base em uma adaptação do proposto por Molina et al. (2017), em: I) Floresta: áreas ocupadas por florestas nativas em diferentes estágios de regeneração; II) Monocultura de palma de dendê: áreas ocupadas por palmeiras de dendê, em diferentes anos de plantio; III) Pastagem: áreas cobertas por gramíneas e/ou ocupadas por pecuária intensiva e extensiva; IV) Solo exposto: áreas com solo desprotegido, sem vegetação ou outro uso (Material suplementar S2 – Capítulo 2).

Em relação à ictiofauna, os indivíduos foram capturados por busca ativa utilizando redes de mão com 60 cm de diâmetro e malha de 3 mm entre nós opostos. A rede de mão é um método de coleta ativa comumente utilizado na amostragem de peixes de pequenos riachos tropicais, pois permite ao coletor alcançar diversos micro-habitat, como raízes submersas, margens escavadas, barrancos, bancos de folha, entre outros (Hayes 1983; Uieda and Castro 1999). O esforço amostral

foi padronizado em dois coletores, permanecendo 18 minutos em cada seção longitudinal, totalizando uma amostragem de seis horas por trecho de igarapé (150 metros). Os espécimes coletados foram submetidos a doses letais do anestésico Eugenol (*American Veterinary Medical Association*, 2001) e posteriormente fixados em formalina 10% por aproximadamente 48 horas e em seguida conservados em etanol 70° GL. Em laboratório, os peixes foram triados e identificados com literatura especializada (*e.g.* Géry 1977; Kullander 1986) e com o auxílio de especialistas dos diferentes grupos taxonômicos. Posteriormente, o material biológico será tombado na Coleção Ictiológica do Museu Paraense Emílio Goeldi (MCT/MPEG), Belém, Brasil.

Análise de dados

As variáveis ambientais relacionadas à estrutura do habitat físico de riachos foram, primeiramente, normalizadas para reduzir o efeito de medidas em unidades diferentes. Em seguida, foi realizada uma análise de correlação de *Spearman*, a fim de identificar multicolinearidade dos dados, eliminando aquelas variáveis correlacionadas ($> 0,6$). Quando duas ou mais variáveis mostraram correlação, apenas uma foi selecionada com base na sua importância na caracterização de riachos.

Em seguida, apenas com as variáveis do habitat físico selecionadas após a correlação, foi realizada uma Análise Canônica de Coordenadas Principais (CAP, Anderson and Willis 2003) baseada na distância Euclidiana, a fim de identificar as variáveis que mais contribuíram na diferenciação entre os riachos amostrados, associando essas variáveis do habitat físico com as características da paisagem adjacente. Os eixos canônicos foram selecionados de acordo com o método proposto por Ratkowsky (2016), onde são retidos apenas aqueles que apresentam associações mais fortes com o conjunto de dados multivariados analisados ($\delta \geq 0,6$). Em relação às variáveis do habitat físico, foram selecionadas apenas aquelas que apresentam *loadings* maiores que 0,6 nos eixos selecionados anteriormente. Por fim, foi realizado um teste de permutação (9.999 repetições) para testar a hipótese de que as mudanças provocadas pela substituição da cobertura vegetal primária por áreas de monocultura de dendê, afetam as características do habitat físico dos riachos na Amazônia Oriental.

Para avaliar como as assembleias de peixes respondem às características físicas do habitat físico, bem como às características da paisagem adjacente aos riachos, foi utilizada a Análise de Correspondência Canônica (CCA, Legendre and Legendre, 1998), testada através de uma Análise de Variância (ANOVA, Legendre and Legendre, 1998). Os eixos da CCA foram selecionados através de outra ANOVA, enquanto que as variáveis do habitat físico, bem como as características da paisagem, foram selecionadas apenas aquelas que apresentaram *loadings* $\geq 0,6$ ($p \geq 0,05$). Para

essa análise os dados biológicos foram submetidos à uma transformação logarítmica, enquanto que os dados ambientais foram normalizados.

Todas as análises foram realizadas no programa R (R Development Core Team 2015) utilizando os pacotes “*vegan*” (Oksanen et al. 2016) e “*stats*” (R Development Core Team 2015).

Resultados

As variáveis do habitat físico mensuradas apresentaram variação entre os riachos amostrados, mostrando-se eficientes na caracterização e diferenciação da estrutura física do habitat. Por outro lado, algumas variáveis mostraram alta correlação entre si, o que ocasionou na retirada de 19 variáveis, sendo mantidas, nas demais análises, as oito variáveis restantes (Tabela 2).

Tabela 2 Valores médios e desvio padrão (DP) das variáveis ambientais amostradas em Igarapés na Amazônia Oriental. As variáveis destacadas em negrito foram mantidas para as análises subsequentes.

Código	Métrica	Média ± DP
XDEPTH_T	Profundidade média do talvegue (cm)	33,47 ± 9,6
SDDEPTH_T	Desvio padrão da profundidade do talvegue (cm)	11,82 ± 3,8
XBKF_W	Média da largura do leito sazonal (m)	16,38 ± 15,9
XINC_H	Média Altura Incisão (m)	2,8 ± 2,2
XWD_RAT	Razão Largura / Profundidade no Trecho	9,78 ± 4,0
XEMBED	Média de imersão (Canal + Margens) (%)	60,95 ± 20,7
PCT_ST	Porcentagem de substrato fino (%)	10,43 ± 17,1
PCT_ORG	Matéria orgânica total (%)	60,12 ± 19,8
PCT_MD	Madeira (%)	10,18 ± 8,9
PCT_RZ	Raízes finas (%)	9,39 ± 8,6
PCT_BF	Banco de folhas (%)	17,55 ± 12,1
DGM_X	Média do tamanho do substrato	113,37 ± 360,2
DGM_V	Desvio padrão do tamanho do substrato	271,71 ± 704,5
PCT_RA	Fluxo rápido (%)	1,21 ± 2,7
SEQ_FLO_1	Sequência de fluxos rápidos, suaves e piscinas	0,12 ± 0,1
XCMG	Média de cobertura ripária total	142,21 ± 71,9
SDCMG	Desvio padrão de cobertura ripária total	27,9 ± 6,2
SDCMGW	Desvio padrão de cobertura lenhosa	24,35 ± 8,6
V4W_150	Volume Madeira grande no Leito	4,94 ± 7,3
C1W_MSQ	Número Madeira pequena no leito	0,16 ± 0,1
V4T_MSQ	Volume Madeira grande dentro e acima do leito	0,1 ± 0,1
XFC_PMG	Média Abrigo - Madeira Grande	13,08 ± 14,4
XFC_AV	Média Abrigo - Árvores Vivas	19,08 ± 13,3
XFC_ME	Média Abrigo - Margem Escavada	1,55 ± 2,5
PFC_AV	Proporção Abrigo - Árvores Vivas	0,92 ± 0,1
PFC_ME	Proporção Abrigo - Margem Escavada	0,18 ± 0,2
X_HNOAG	Proporção de impacto humano	0,55 ± 0,3

A análise CAP, utilizando as variáveis do habitat físico dos riachos, relacionadas com as características da paisagem ($\delta = 0,515$; $p = 0,019$), selecionou os dois primeiros eixos canônicos (Figura 2). O primeiro eixo mostrou uma correlação positiva com a porcentagem de palma de dendê e proporção de impacto humano. O segundo eixo canônico mostrou correlação positiva com a média da altura da incisão e correlação negativa com porcentagem média de imersão do substrato (Tabela 3).

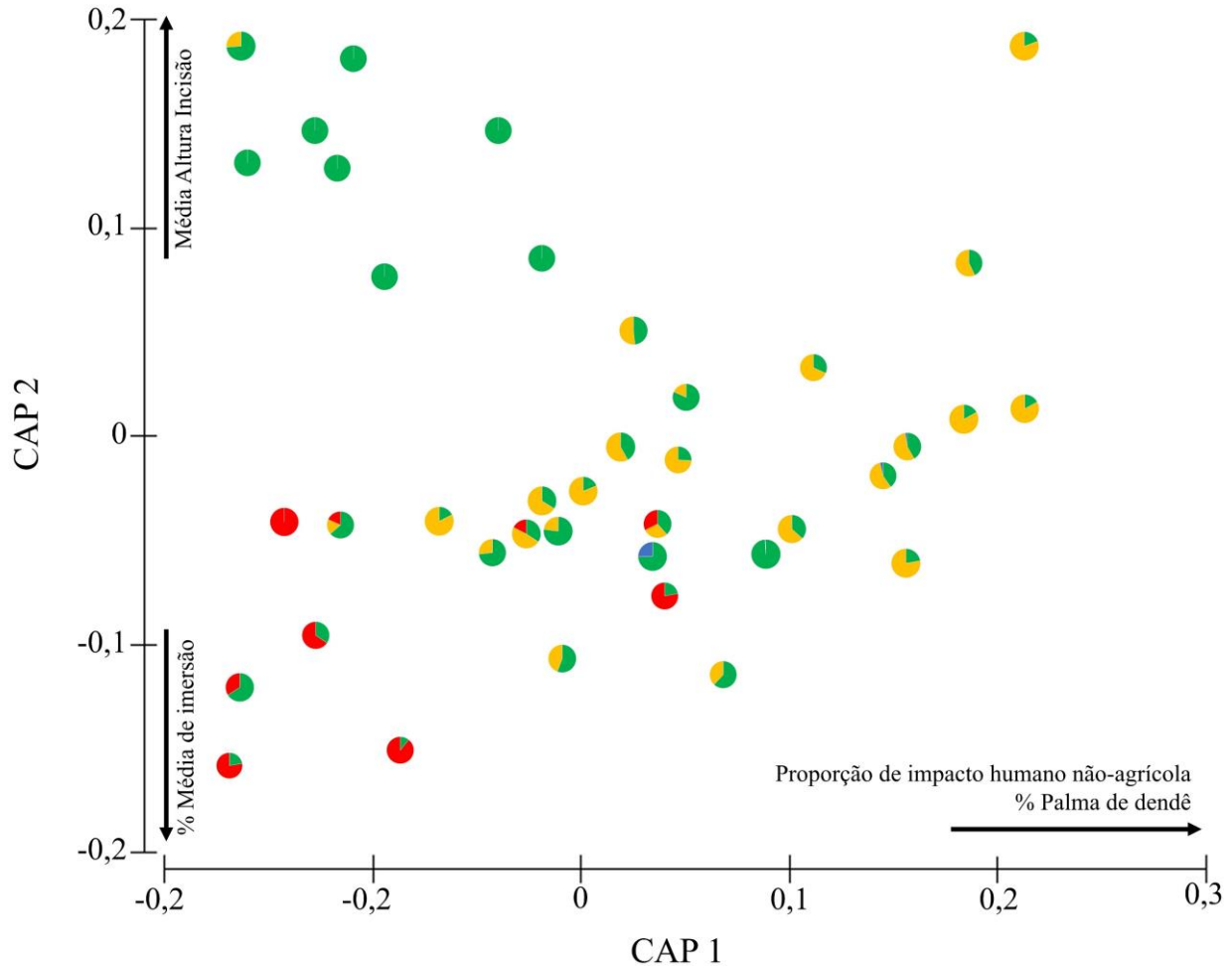


Figura 2 Ordenação resultante da Análise Canônica de Coordenadas Principais (CAP) com as variáveis do habitat físico relacionadas com as características da paisagem adjacente aos riachos amostrados na Amazônia Oriental. Onde as cores representam: (●) floresta; (●) monocultura de palma de dendê; (●) pastagem; (●) solo exposto.

Tabela 3 Valores dos *loadings* dos dois eixos da Análise Canônica de Coordenadas Principais CAP com as variáveis físicas do habitat, bem como as características da paisagem, de riachos amostrados na Amazônia Oriental. Os valores marcados em negrito correspondem as variáveis selecionadas para as análises posteriores.

Variável ambiental	CAP 1 $\delta = 0.71$	CAP 2 $\delta = 0.61$
Média da largura do leito sazonal	0.504	0.304
Média altura incisão	0.203	0.611
Média de imersão (Canal + Margens) (%)	-0.209	-0.608
Raízes finas (%)	-0.141	-0.269
Média de cobertura ripária total	-0.051	0.390
Número madeira pequena no leito	0.037	0.107
Média abrigo - madeira grande	-0.427	0.214
Proporção de impacto humano	0.674	-0.421
% Floresta	-0,339	0,358
% Palma de dendê	0,653	0,094
% Pastagem	-0,419	-0,531
% Solo exposto	-0,118	-0,310

Em relação às características da paisagem, foram registrados maiores valores de média da altura da incisão em riachos circundados por áreas de floresta, ao passo que os menores valores desta variável estão associados a riachos próximos a áreas de pastagem. Por outro lado, a porcentagem de imersão do substrato foi maior em riachos circundados por áreas de pastagem e áreas de monocultura de dendê, enquanto que as menores porcentagens de imersão foram encontradas em riachos associados à floresta. Além disso, a proporção de impacto humano foi maior em riachos circundados por áreas de plantação de dendê e menores em riachos próximos a florestas primárias e áreas de pastagem.

Em relação à ictiofauna, foram amostrados ao todo 13.942 indivíduos, distribuídos em oito ordens, 25 famílias e 74 espécies. A ordem mais representativa foi Characiformes (27 espécies, 36% do total), seguida por Siluriformes (18 espécies, 24%), Gymnotiformes (14 espécies, 18,6%) e Cichliformes (11 espécies, 16%). As demais ordens amostradas representam 5,4% das espécies amostradas. Por outro lado, a família mais representativa foi Cichlidae (11 espécies, 14,6% do total), seguido por Characidae (10 espécies, 13,3% do total) e Hypopomidae (8 espécies, 10,6% do total). A espécie *Microcharacidium weitzmani* foi a espécie mais abundante, com 3.658 indivíduos (26,2%), seguido por *Hyphessobrycon heterorhabdus* (1.870 indivíduos, 13,4%), *Apistogramma gr. regani* (1.326, 9,5%) e *Copella arnoldi* (1.325, 9,5%) (ver Material suplementar S3 – Capítulo 2). As espécies que apresentaram abundância total inferior ou igual a dois indivíduos foram retiradas das análises, por serem consideradas ocasionais e pouco representativas.

Através da Análise de Correspondência Canônica (CCA) verificou-se que as variáveis do habitat físico de riachos afetam a composição ($F= 1,359$; $p = 0,001$) e a abundância das espécies ($F= 1,452$; $p = 0,001$). Foram selecionados apenas os dois primeiros eixos da CCA (CCA 1: $F = 3,471$; $p = 0,001$; CCA 2: $F = 2,835$; $p = 0,017$). Das variáveis do habitat analisadas, apenas quatro foram consideradas relevantes para a ictiofauna, sendo que a média da largura do leito sazonal (XBKF_W; $F=1,537$; $p=0,024$) e a porcentagem de raízes finas (PCT_RZ; $F=1,918$; $p=0,005$) estão positivamente relacionadas com o primeiro eixo da CCA. Ao passo que a média da porcentagem de imersão do substrato (XEMBED; $F=2,463$; $p=0,001$) está negativamente relacionada com este mesmo eixo. Por outro lado, apenas a média da altura da incisão (XINCH_H; $F=1,766$; $p=0,013$) está relacionada negativamente com o segundo eixo da CCA (Figura 3A).

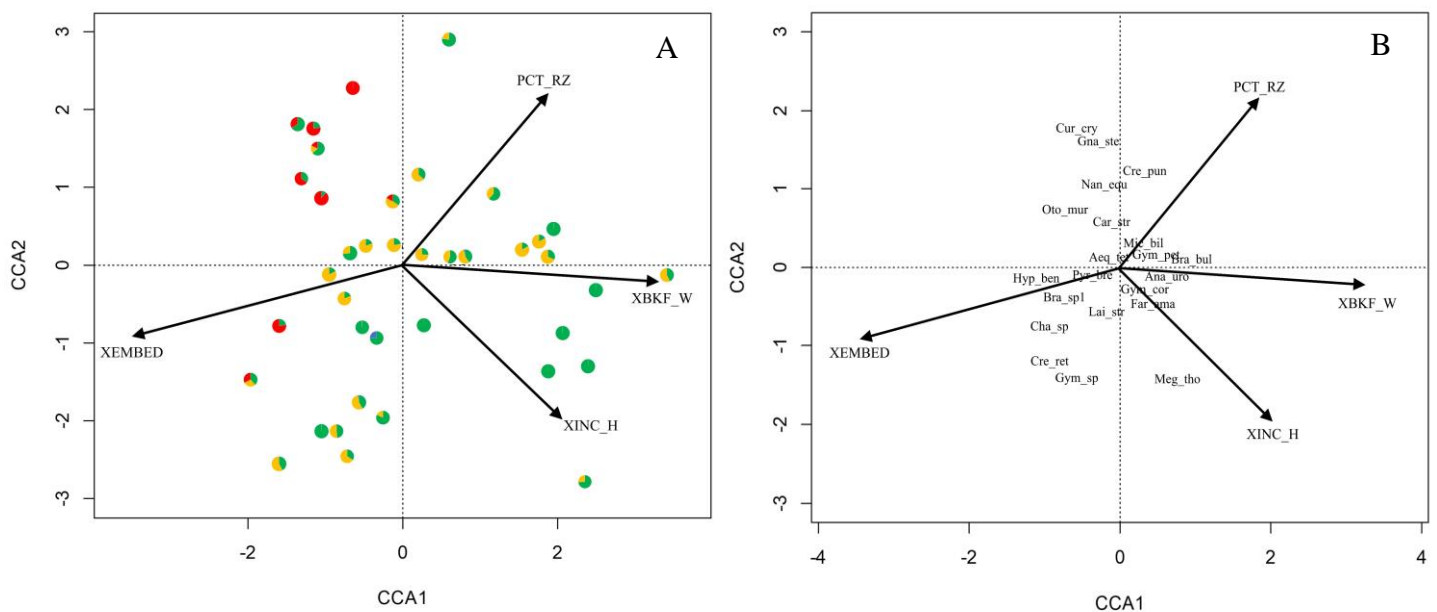


Figura 3 Ordenações da Análise de Correspondência Canônica (CCA), mostrando a relação entre as variáveis do habitat físico (setas) com as características da paisagem (A) e as espécies de peixes (B). Onde as cores representam: (●) floresta; (●) monocultura de palma de dendê; (●) pastagem; (●) solo exposto. As espécies que apresentaram *loadings* menores que 0,6 foram omitidas da ordenação para facilitar a interpretação. Os nomes das variáveis do habitat físico e das espécies de peixes estão expostos na Tabela 1 e Material suplementar S3, respectivamente.

Em relação as assembleias de peixes, espécies como *Megalechis thoracata* e *Farlowella amazona* estão mais associadas a riachos com maiores médias de altura da incisão circundados por floresta, enquanto espécies como *Hyphessobrycon bentosi*, *Pyrrhulina aff. brevis* e *Aequidens tetramerus* estão mais associadas a riachos com maior porcentagem de substrato finos, próximos de áreas de monocultura de palma de dendê. Por outro lado, espécies como *Curimatopsis crypticus* e

Gnathocharax steindachneri estão mais associados a riachos com maior porcentagem de raízes finas no substrato, próximo de áreas de pastagem (Figura 3B).

Discussão

No presente estudo, verificamos que a plantação de palma de dendê afeta as características do habitat físico e, conseqüentemente, a distribuição das espécies de peixes de riachos na Amazônia Oriental. Os resultados obtidos confirmam a hipótese inicial de que a substituição da floresta pela monocultura de palma de dendê altera a estrutura do habitat físico de riachos. Observamos ainda que as principais características afetadas estão relacionadas com a presença de impacto humano (proporção de impacto humano), a morfologia do canal (média da altura da incisão) e a estrutura do substrato (porcentagem de imersão) desses riachos. E com isso, a distribuição e abundância das espécies de peixes também são afetadas, principalmente pela alteração no habitat físico dos riachos decorrente dessa atividade agrícola, como a média da altura da incisão, porcentagem de imersão do substrato, média da largura do leito sazonal e porcentagem de raízes finas.

Esses resultados corroboram os de outros estudos que já mostraram que atividades agrícolas afetam negativamente as características naturais dentro das bacias de drenagem (Heartsill-Scalley and Aide 2003; Santos et al. 2015; Luke et al. 2017). Com o crescimento da monocultura de palma de dendê ao redor do mundo, diversos trabalhos evidenciaram que esta prática altera o meio ambiente (Obidzinski et al. 2012; Juen et al. 2016) e conseqüentemente a biodiversidade (Fitzherbert et al. 2008; Faruk et al. 2013; Azhar et al. 2014). As principais alterações ambientais associadas à monocultura do dendê estão relacionadas com a supressão da vegetação nativa, que reduz a diversidade vegetal, afetando diversos grupos taxonômicos (Fitzherbert et al. 2008).

Neste estudo, verificamos que a mudança na paisagem, onde áreas antes florestadas deram lugar a diversos usos de solo, em especial à palma de dendê e à áreas de pastagem, diminui a altura da incisão nos riachos, além de aumentar o aporte de sedimentos finos oriundos do ambiente terrestre. Esse resultado corrobora o de Reusser et al. (2015), que constataram que a taxas de erosão e sedimentação de bacias de drenagem são altamente influenciadas pelas atividades humanas. Uma vez que os impactos nas características naturais da paisagem modificam a estrutura do solo e aumentam a ocorrência de processos erosivos, resultando na sedimentação desses corpos d'água (Simon and Rinaldi 2006; Restrepo et al. 2015).

Outra importante modificação causada por atividades agrícolas é a construção e ampliação da rede rodoviária para facilitar o acesso e escoar a produção, o que aumenta a probabilidade de erosão e sedimentação dos riachos próximos (Gucinski et al. 2001; Wantzen and Mol 2013). Neste estudo constatamos que atividades associadas a prática agrícola também constituem uma ameaça a manutenção das características naturais dos riachos. Esta ameaça ocorre devido à proximidade entre

os riachos e as rodovias, que na maioria das vezes não são pavimentadas, acumulando sedimentos finos que podem ser carreados para os corpos d'água, resultando assim em uma modificação da estrutura e composição do substrato dos riachos (Forman and Alexander 1998; Croke and Mockler 2001).

Em relação à biodiversidade aquática, verificamos que as mudanças nas características morfológicas dos riachos, oriundas da modificação na paisagem adjacente, afetam a distribuição das espécies, uma vez alterações na largura sazonal, bem como na altura da incisão se revelaram importantes na estruturação das assembleias de peixes. Os principais fatores que impulsionam essas alterações são o nivelamento e compactação do solo para o plantio (Brye et al. 2005), bem como o aumento da entrada de sedimento fino nos riachos (Wantzen and Mol 2013). Quando associadas, essas duas alterações diminuem a largura máxima que o riacho pode alcançar no período de cheia, o que resulta em uma redução no aporte de matéria orgânica alóctone, bem como a oferta de micro-habitat para as assembleias de peixes (Allan et al. 1997).

Além das características morfológicas dos riachos, a composição do substrato também é fundamental na estruturação das assembleias de peixes (Kaufmann and Hughes 2006). Nesse sentido, verificamos que a proporção de substrato fino foi maior em riachos circundados por áreas de monocultura de palma de dendê. Isso se deve a processos já explicados anteriormente, como a compactação do solo e a construção de estradas próximas aos riachos. Com isso, a heterogeneidade do substrato é alterada, uma vez que uma camada de sedimento fino é depositada no fundo desses corpos d'água, diminuindo a oferta de habitat e nutrientes associados aos diversos componentes do substrato, como folhas, raízes, galhos e pedras (Allan, 2004). Como consequência, a ictiofauna associada à esta diversidade de componentes associados ao fundo dos riachos tende a ser impactada, uma vez que a redução nesses recursos interfere no equilíbrio da comunidade como um todo (Wood and Armitage, 1997; Sutherland et al. 2002).

Outros estudos evidenciaram resultados semelhantes ao encontrados neste trabalho, por exemplo, Rawi et al. (2013) em estudo conduzido na Malásia, constataram que a diversidade de insetos aquáticos é menor em riachos próximos à palma de dendê quando comparados com riachos em áreas florestadas e riachos próximos a estradas. Os autores identificaram ainda que os impactos na estrutura da vegetação ripária aumentam a quantidade de sedimento nos riachos, diminuindo a quantidade de oxigênio dissolvido na água, afetando a distribuição dos insetos aquáticos. Em outro estudo, desenvolvido na Indonésia, Giam et al. (2015) registraram perda de espécies e redução da biomassa em riachos impactados pelo plantio de dendê, além da perda de grupos funcionais associados às características do substrato, que de acordo com os autores, é um dos principais impactos sofridos pelos riachos quando a vegetação ripária é modificada.

Na Amazônia, em estudos avaliando as assembleias de macroinvertebrados aquáticos, Cunha et al. (2015) e Paiva et al. (2017) registraram que as modificações no habitat físico acarretam diferenças na composição, riqueza e abundância de insetos em riachos que drenam plantações de dendê, quando comparados com riachos que drenam fragmentos florestais. Corroboraram assim, os resultados encontrados neste estudo, onde as mudanças na estrutura das comunidades estão associadas às mudanças na característica do habitat físico. Em outro estudo realizado na região Amazônica, Ferreira et al. (2018) constataram que a monocultura de palma de dendê afeta o habitat físico de riachos, as características físico-químicas da água, bem como a estrutura das assembleias de peixes. Por outro lado, a quantidade de sedimento fino aumentou em áreas de plantações de dendê, corroborando com o resultado obtido nesta pesquisa. Por outro lado, os autores identificaram ainda que a oferta de madeira nos riachos é afetada negativamente pela plantação de dendê, o que não foi encontrado no presente estudo. Esse fato pode ser explicado pela presença de vegetação ripária que, mesmo em áreas que sofrem impacto da monocultura, ainda fornecem fragmentos de madeira para os riachos.

Diante do exposto, evidenciamos que os impactos ambientais derivados da expansão do dendê na região amazônica não são restritos apenas ao ambiente terrestre, se estendendo aos ecossistemas aquáticos. As principais alterações associadas a esta prática agrícola na região, se refletem na estrutura do habitat físico dos riachos, modificando a oferta de micro-habitat, além de mudanças morfológicas no leito desses riachos. Como consequência, a exemplo da fauna terrestre, a biodiversidade aquática também sofre impactos na estrutura de suas comunidades, registrando alterações na composição e abundância desses organismos.

Com o estabelecimento da monocultura de palma de dendê na Amazônia, e seu constante processo de expansão, a necessidade de estudos avaliando os impactos ambientais provocados por esta atividade são cada vez mais importantes, subsidiando a elaboração de políticas públicas de mitigação de impactos, bem como de preservação do patrimônio natural da região. Nesse contexto, a estrutura dos riachos e sua biodiversidade devem ser priorizados, pois são responsáveis por diversos processos ecossistêmicos, como controle de temperatura e umidade, ciclagem de nutrientes e equilíbrio da cadeia alimentar, além de responderem de forma sensível e efetiva na avaliação de impactos ambientais provocados por atividades humanas.

Agradecimentos

Os autores agradecem pelo apoio financeiro das instituições Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA). E pelo apoio na logística das expedições campo à Conservação Internacional do Brasil (CI-Brazil), Grupo Agropalma e Biopalma/VALE.

Financiamento

Esta pesquisa contou com recursos provenientes dos projetos “Influência dos diferentes tipos de uso do solo sobre a biodiversidade na Amazônia Oriental” (CNPq 449314/2014-2), “Zoneamento bioenergético do plantio de palma e os impactos a biodiversidade no Estado do Pará” (FAPESPA/ICAAF 128/2014), e “*Biodiversity and socio-economic Impacts of oil palm bioenergy development in the Brazilian Amazon*” (USAID/PEER). O autor TOB recebeu bolsa de doutorado e doutorado sanduíche (PDSE 88881.134860/2016-1, Texas A&M University) pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). O autor LFAM recebeu bolsa de pós-doutorado (processo 88881.119097/2016-1, Texas A&M University) pela CAPES, e bolsa de produtividade pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Process 301343/2012-8).

Conformidade com o padrão ético

Foram respeitadas todas as diretrizes internacionais, nacionais e/ou institucionais aplicáveis para o cuidado e uso de animais.

Conflito de interesses

Os autores declaram não ter conflito de interesses.

Referências

- Allan JD, Erickson DL, Fay J (1997) The influence of catchment land use on stream integrity across multiple spatial scales. *Freshw Biol* 37:149-161.
- Allan JD (2004) Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. *Annu Rev Ecol Syst* 257-284. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.35.120202.110122
- Almeida AS, Vieira ICG (2013) Sumário Executivo: Cenários para a Amazônia – Área de Endemismo Belém. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém.

- Almeida SM, Silva LC, Cardoso MR, Cerqueira PV, Juen L, Santos MPD (2016) The effects of oil palm plantations on the functional diversity of Amazonian birds. *J Trop Ecol* 32:510-525. doi: 10.1017/S0266467416000377
- Anderson MJ, Willis TJ. 2003. Canonical analysis of principal coordinates: a useful method of constrained ordination for ecology. *Ecology* 84:511-525. doi: 10.1890/0012-9658.
- Azhar B, Lindenmayer DB, Wood J, Fischer J, Zakaria M (2014) Ecological impacts of oil palm agriculture on forest mammals in plantation estates and smallholdings. *Biodivers Conserv* 23:1175-1191.
- Baptista DF, Buss D, Egler M, Giovanelli A, Silveira MP, Nessimian JL (2007) A multimetric index based on benthic macroinvertebrates for evaluation of Atlantic forest streams at Rio de Janeiro State, Brazil. *Hydrobiologia* 575:83-94.
- Brye KR, Slaton NA, Norman RJ (2005) Penetration resistance as affected by shallow-cut land leveling and cropping. *Soil Till Res* 81:1-13.
- Casatti L, Teresa FB, Gonçalves-Souza T, Bessa E, Manzotti AR, Gonçalves CDS, Zeni JDO (2012) From forests to cattail: how does the riparian zone influence stream fish? *Neotrop Ichthyol* 10(1):205-214. doi: 10.1590/S1679-62252012000100020
- Correa FS, Juen L, Rodrigues LC, Silva-Filho HF, Santos-Costa MC (2015) Effects of oil palm plantations on anuran diversity in the eastern Amazon. *Anim Biol* 65(3-4):321-335. doi: 10.1163/15707563-00002481
- Cunha EJ, Montag LFA, Juen L (2015) Oil palm crops effects on environmental integrity of Amazonian streams and Heteropteran (Hemiptera) species diversity. *Ecol Indic* 52:422-429. doi: 10.1016/j.ecolind.2014.12.024
- ESRI (2011) ArcGIS Desktop: Release 10. Environmental Systems Research Institute, Redlands.
- Faruk A, Belabut D, Ahmad N, Knell RJ, Garner TWJ (2013) Effects of Oil-Palm Plantations on Diversity of Tropical Anurans. *Conserv Biol* 27(3):615-624.
- Ferreira CP, Cassati L (2006) Stream biotic integrity assessed by fish assemblages in the Upper Rio Paraná basin. *Biota Neotrop* 6(3):0-0. doi: 10.1590/S1676-06032006000300002

- Ferreira MC, Begot TO, Prudente BS, Juen L, Montag LFA (2018) Effects of oil palm plantations on habitat structure and fish assemblages in Amazon streams. *Environ Biol Fish* 101(4):547-562. doi 10.1007/s10641-018-0716-4
- Fitzherbert EB, Struebig MJ, Morel A, Danielsen F, Brühl CA, Donald PF, Phalan B (2008) How will oil palm expansion affect biodiversity. *Trends Ecol Evol* 23(10):538-545. doi: 10.1016/j.tree.2008.06.012
- Forman RTT, Alexander LE (1998) Roads and their major ecological effects. *Annu Rev Ecol Syst* 29:207-231.
- Géry J (1977) Characoids of the world. T.F.H. Publications, Neptune City.
- Giam X, Hadiaty RK, Tan HH, Parenti LR, Wowor D, Sauri S, Chong KY, Yeo DCJ, Wilcove DS (2015) Mitigating the impact of oil-palm monoculture on freshwater fishes in Southeast Asia. *Conserv Biol* 29(5):1357–1367. doi: 10.1111/cobi.12483
- Gucinski H, Furniss M, Ziemer R, Brookes M (2001) Forest roads: A synthesis of scientific information. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, Oreg. General Technical Report PNW-GTR-509.
- Harris JH (1995) The use of fish in ecological assessments. *Aust J Ecol* 20(1):65-80. doi: 10.1111/j.1442-9993.1995.tb00523.x
- Heartsill-Scalley T, Aide TM (2003) Riparian vegetation and stream condition in a tropical agriculture-secondary forest mosaic. *Ecol Appl* 13(1):225-234. doi: 10.1890/1051-0761(2003)013[0225:RVASCI]2.0.CO;2
- Hrodey PJ, Sutton TM, Frimpong EA, Simon TP (2009) Land-use impacts on watershed health and integrity in Indiana warmwater streams. *Ame Midl Nat* 161(1):76-95. doi: 10.1674/0003-0031-161.1.76
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2016) Indian Remote Sensing. <http://www.dgi.inpe.br/siteDgi/Satelites/irsp6.php>. Accessed 16 September 2017.
- Jaramillo-Villa U, Caramaschi EP (2008) Índice de integridade biótica usando peixes de água doce: uso nas regiões tropicais e subtropicais. *Oecol Bras* 12(3):442-462.

- Juen L, Cunha EJ, Carvalho FG, Ferreira MC, Begot TO, Andrade AL, Shimano Y, Leão H, Pompeu PS, Montag LF (2016) Effects of Oil Palm plantations on the habitat structure and biota of streams in Eastern Amazon. *River Res Applic* 32(10):2081-2094.
- Karr JR (1981) Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries* 6(6):21-27. doi: 10.1577/1548-8446(1981)006<0021:AObIUF>2.0.CO;2
- Kaufmann RP, Levine P, George Robison E, Seeliger C, Peck DV (1999) Quantifying physical habitat in wadeable streams. U.S. Environmental Protection Agency, Washington.
- Kaufmann PR, Hughes RM (2006) Geomorphic and anthropogenic influences on fish and amphibians in Pacific Northwest coastal streams. *Am Fish Soc Symp* 48:429-455.
- Kullander SO (1986) Cichlid Fishes of the Amazon River drainage of Peru. Swedish Museum of Natural History, Stockholm.
- Legendre P, Legendre L (1998) Numerical Ecology. 2nd ed. Elsevier, Amsterdam.
- Luke, SH, Barclay H, Bidin K, Vun Khen, C, Ewers RM, Foster WA, Nainar A, Pfeifer M, Reynolds G, Turner EC, Walsh RPD, Aldridge DC (2017). The effects of catchment and riparian forest quality on stream environmental conditions across a tropical rainforest and oil palm landscape in Malaysian Borneo. *Ecohydrology* 10(4):e1827. doi: 10.1002/eco.1827.
- Mendonça FP, Magnusson WE, Zuanon J (2005) Relationships between habitat characteristics and fish assemblages in small streams of Central Amazonia. *Copeia* 2005(4):751-764. doi: 10.1643/0045-8511(2005)005[0751:RBHCAF]2.0.CO;2
- Molina MC, Roa-Fuentes CA, Zeni JO, Casatti L (2017) The effects of land use at different spatial scales on instream features in agricultural streams. *Limnologica* 65: 14–21. doi: 10.1016/j.limno.2017.06.001
- Obidzinski K, Andriani R, Komarudin H, Andrianto A (2012) Environmental and Social Impacts of Oil Palm Plantations and their Implications for Biofuel Production in Indonesia. *Ecol Soc* 17(1):25. doi: 10.5751/ES-04775-170125
- Oksanen J, Blanchet FG, Kindt R, Legendre P, Minchin PR, O'Hara RB et al (2016) *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.3-3. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>. Accessed 10 January 2016.

Oliveira LL, Fontinhas RL, Lima AMM, Lima RJS (2002) Mapas dos parâmetros climatológicos do Estado do Pará: umidade, temperatura e insolação, médias anuais. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Sociedade Brasileira de Meteorologia, Fortaleza. Disponível em: <http://www.cbmet.com/cbm-files/22-762cad766c70d3a4452c4afd29decb7b.doc>. Accessed 06 February 2017.

Paiva CKS, Faria APJ, Calvão LB, Juen J (2017) Effect of oil palm on the Plecoptera and Trichoptera (Insecta) assemblages in streams of eastern Amazon. *Environ Monit Assess* 189(8):393. doi: 10.1007/s10661-017-6116-y

Peck DV, Herlihy AT, Hill BH, Hughes RM, Kaufmann PR, Klemm DJ, Lazorchak JM, McCormick FH, Peterson SA, Ringold PL, Magee T, Cappaert M (2006) Environmental monitoring and assessment program-surface water western pilot study: Field operations manual for wadeable streams. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington.

Peel MC, Finlayson BL, McMahon TA (2007) Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol Earth Syst Sci* 11(5):1633-1644. doi: 10.5194/hess-11-1633-2007

Pusey BJ, Arthington AH (2003) Importance of the riparian zone to the conservation and management of freshwater fish: a review. *Mar Freshw Res* 54:1-16. doi: 10.1071/MF02041

R Development Core Team (2015) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.

RapidEye (2015) Satellite imagery product specifications. <http://geocatalogo.ibama.gov.br/>. Accessed 16 September 2017.

Ratkowsky DA (2016) Choosing the number of principal coordinates when using CAP, the canonical analysis of principal coordinates. *Aust Ecol* 41(7):842-851. doi: 10.1111/aec.12378

Rawi CSM, Al-Shami SA, Madrus MR, Ahmad AH (2013) Local effects of forest fragmentation on diversity of aquatic insects in tropical forest streams: implications for biological conservation. *Aquat Ecol* 47(1):75-85. doi: 10.1007/s10452-012-9426-8

Reis-Neto S (2010) Acompanhamento da Safra Brasileira: Palma Safra 2010. Segundo Levantamento. CONAB, Brasília.

Restrepo JD, Kettner AJ, Syvitski JPM (2015) Recent deforestation causes rapid increase in river sediment load in the Colombian Andes. *Anthropocene* 10:13-28. doi: 10.1016/j.ancene.2015.09.001

- Reusser L, Bierman P, Rood D (2015) Quantifying human impacts on rates of erosion and sediment transport at a landscape scale. *Geology* 43(2):171-174. doi:10.1130/G36272.1
- Roth NE, Allan JD, Erickson DL (1996) Landscape influences on stream biotic integrity assessed at multiple spatial scales. *Landscape Ecol* 11(3):141-156.
- Santos FB, Ferreira FC, Esteves KE. 2015. Assessing the importance of the riparian zone for stream fish communities in a sugarcane dominated landscape (Piracicaba River Basin, southeast Brazil). *Environ Biol Fishes*. 98:1895–1912.
- Simon A, Rinaldi M (2006) Disturbance, stream incision, and channel evolution: the roles of excess transport capacity and boundary materials in controlling channel response. *Geomorphology* 79(3-4):361-383.
- Strahler AN (1957) Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Trans Am Geophys Union* 38(6):913-920. doi: 10.1029/TR038i006p00913
- Sutherland AB, Meyer JL, Gardiner EP (2002) Effects of land cover on sediment regime and fish assemblage structure in four southern Appalachian streams. *Freshw Biol* 47:1791-1805.
- Turner EC, Snaddon JL, Ewers RM, Fayle TM, Foster WA (2011) The impact of oil palm expansion on environmental change: putting conservation research in context. *Environmental Impact of Biofuels* (Ed. Bernardes MA). InTech, Rijeka.
- Uieda VS, Castro RMC (1999) Coleta e fixação de peixes de riacho. *Oecol Bras* 4:1-22.
- Wantzen KM, Mol JH (2013) Soil erosion from agriculture and mining: a threat to tropical stream ecosystems. *Agriculture* 3:660-683. doi: 10.3390/agriculture3040660
- Winemiller KO (1991) Ecomorphological diversification in lowland freshwater fish assemblages from five biotic regions. *Ecol Monogr* 61:343-365.
- Wood PJ, Armitage PD (1997) Biological effects of fine sediment in the lotic environment. *Environ Manage* 21:203-217.
- Zuluaga-Gómez MA, Fitzgerald DB, Giarizzo T, Winemiller KO (2016) Morphologic and trophic diversity of fish assemblages in rapids of the Xingu River, a major Amazon tributary and region of endemism. *Environ Biol Fish* 99(8-9):647-658. doi: 10.1007/s10641-016-0506-9

Material Suplementar – Capítulo 2

Material suplementar S1 Descrição dos métodos de amostragem de cada variável do habitat físico de riachos da Amazônia Oriental.

Grupos	Variável do habitat físico	Método de amostragem
Morfologia do canal	Profundidade média do talvegue (cm)	Medida na parte mais profunda (talvegue) do riacho, tomada entre distâncias de um metro, totalizando 150 medidas ao longo do trecho amostrado;
	Desvio padrão da profundidade do talvegue (cm)	Calculado a partir da dispersão das medidas em relação à profundidade média do talvegue;
	Média da largura do leito sazonal (m)	Calculada utilizando a largura máxima que o riacho pode atingir no período de cheia. É medida em cada seção transversal, totalizando 11 medidas no trecho amostrado;
	Média Altura Incisão (m)	Medida estimada da profundidade do vale em que o riacho se encontra;
	Razão Largura / Profundidade no Trecho	Calculada utilizando as medidas de largura e profundidade, mensuradas a cada metro ao longo do trecho amostrado, totalizando 150 medidas de cada uma;
Substrato	Média de imersão (Canal + Margens) (%)	Estimativa visual da quantidade de sedimentos finos (< 2mm) depositado no fundo dos riachos;
	Substrato fino (%)	Mensuradas em cinco pontos equidistantes (margem direita, centro-direita, centro, centro-esquerda e margem esquerda);
	Matéria orgânica total (%)	O mesmo do anterior;
	Madeira (%)	O mesmo do anterior;
	Raízes finas (%)	O mesmo do anterior;
	Banco de folhas (%)	O mesmo do anterior;
	Média do tamanho do substrato	Medido nas seções transversais, organizados em sete categorias: >4000mm; >250 a 4000; >64 a 250; >16 a 64; >2 a 16; >0,06 a 2; <0,06;
Desvio padrão do tamanho do substrato	Calculado a partir da dispersão das medidas em relação a média do tamanho do substrato;	
Unidade de canal (Fluxo de água)	Fluxo rápido (%)	Calculado a partir das porcentagens de trechos com fluxo rápido em relação aos 150 metros amostrados;
	Sequência de fluxos rápidos, suaves e piscinas	Velocidade e volume de água ao longo do riacho, medido de forma categórica a cada metro ao longo dos 150 metros amostrados;
Estrutura da vegetação ripária	Média de cobertura ripária total	Mensuradas através de estimativas visuais, considerando uma área de 10m ² em cada seção transversal, em ambas as margens do canal;
	Desvio padrão de cobertura ripária total	Calculado a partir da dispersão das estimativas em relação à média da cobertura ripária total;

	Desvio padrão de cobertura lenhosa	Calculado a partir da dispersão das estimativas em relação à média da cobertura ripária por vegetais lenhosos;
Madeira	Volume Madeira grande no Leito	Volume de madeira, medindo mais de 50cm de diâmetro e acima de 1m de comprimento, dentro do leito do riacho;
	Número Madeira pequena no leito	Quantidade de madeira, medindo entre 10cm e 50cm de diâmetro na maior largura e até 100cm de comprimento, dentro do leito do riacho;
	Volume Madeira grande dentro e acima do leito	Volume de madeira, medindo mais de 50cm de diâmetro e acima de 1m de comprimento, dentro e acima do leito do riacho;
Abrigo para organismos aquáticos	Média Abrigo - Madeira Grande	Estimativa visual da quantidade de madeira grande (> 30cm de diâmetro) em um trecho de cinco metros a montante e a jusante da seção transversal;
	Média Abrigo - Árvores Vivas	Estimativa visual da quantidade de árvores vivas em um trecho de cinco metros a montante e a jusante da seção transversal;
	Média Abrigo - Margem Escavada	Estimativa visual da quantidade de margem escavada em um trecho de cinco metros a montante e a jusante da seção transversal;
	Proporção Abrigo - Árvores Vivas	Estimativa visual da quantidade de árvores vivas em relação ao percentual total deste trecho;
	Proporção Abrigo - Margem Escavada	Estimativa visual da quantidade de margem escavada em relação ao percentual total deste trecho;
Influência humana	Proporção de impacto humano	Estimada de forma qualitativa (presença ou ausência) em uma área de 100m ² em torno da seção transversal em ambas as margens do canal. As categorias avaliadas foram: canalização/ barramento, construções, estradas, rodovias/ ferrovias, canos (captação/ descarga), entulho/ lixo, parque/ gramado e desmatamento.

Material suplementar S2 Feições do uso de solo identificados e quantificados em buffers de 300 m ao redor dos riachos amostrados na Amazônia Oriental, Pará, Brasil. Os valores exibidos estão em porcentagem.

Unidade amostral	Floresta	Palma de dendê	Área de Pastagem	Solo exposto
P10P2	31,6	68,4	0	0
P16P8	22,3	77,7	0	0
P20P12	40,4	56	0	3,6
P21P13	42,9	57,1	0	0
P22F9	100	0	0	0
P23F10	100	0	0	0
P24P14	36,8	63,2	0	0
P25P15	77,1	22,9	0	0
P27P17	16,9	83,1	0	0
P2F2	100	0	0	0
P30P20	25,8	74,2	0	0
P31P21	55,7	44,3	0	0
P32P22	41,8	55,7	0	2,5
P34F12	74,8	0	0	25,2
P35F13	100	0	0	0
P36F11	99	0	0	1
P37P24	41,9	58,1	0	0
P3F3	100	0	0	0
P5F5	100	0	0	0
P6F6	100	0	0	0
P7F7	73,9	26,1	0	0
P9P1	17,0	83	0	0
PALM03	48,4	51,6	0	0
PALM12	33,9	66,1	0	0
PALM16	31,2	23,7	26,3	0
PALM18	81,9	18,1	0	0
PALM19	73,4	26,6	0	0
PALM20	17,4	82,6	0	0
PALM2016-1	19,3	80,7	0	0
PALM2016-2	34,2	48,4	17,4	0
PALM2016-3	61,9	38,1	0	0
PALM22	18,8	81,2	0	0
PST_TA_01	22,1	0	77,9	0
PST_TA_02	63,7	18,1	18,3	0
PST_TA_03	0	0	100	0
PST_TA_04	10,8	0	89,2	0
PST_TA_05	34,5	0	65,5	0
PST_TA_06	22,4	0	77,6	0
PST_TA_08	66,1	0	33,9	0

Material suplementar S3 Lista de espécies de peixes coletadas nos anos de 2012, 2013, 2015 e 2016 em igarapés da Amazônia Oriental. As espécies destacadas (*) foram retiradas das análises.

Táxon	Abundância	Código
Beloniformes		
Belonidae		
<i>Potamorhaphis</i> sp.*	1	Pot_sp
Characiformes		
Acestrorhynchidae		
<i>Gnathocharax steindachneri</i> Fowler, 1913	9	Gna_ste
Characidae		
<i>Hemigrammus bellottii</i> (Steindachner, 1882)	450	Hem_bel
<i>Hemigrammus geisleri</i> Zarske and Géry, 2007	11	Hem_gei
<i>Hemigrammus ocellifer</i> (Steindachner, 1882)	214	Hem_oce
<i>Hyphessobrycon bentosi</i> Durbin, 1908	6	Hyp_ben
<i>Hyphessobrycon heterorhabdus</i> (Ulrey, 1894)	1870	Hyp_het
<i>Moenkhausia collettii</i> (Steindachner, 1882)	8	Moe_col
<i>Moenkhausia comma</i> Eigenmann, 1908	14	Moe_com
<i>Moenkhausia</i> sp.*	1	Moe_sp
Crenuchidae		
<i>Ammocryptocharax elegans</i> Weitzman and Kanazawa, 1976	6	Amm_ele
<i>Characidium</i> sp.	4	Cha_sp
<i>Crenuchus spilurus</i> Günther, 1863	154	Cre_spi
<i>Melanocharacidium dispilomma</i> Buckup, 1993	5	Mel_dis
<i>Microcharacidium weitzmani</i> Buckup, 1993	3658	Mic_wei
Curimatidae		
<i>Curimatopsis crypticus</i> Vari, 1982	3	Cur_cry
Erythrinidae		
<i>Erythrinus erythrinus</i> (Bloch and Schneider, 1801)	51	Ery_ery
<i>Hoplias curupira</i> * Oyakawa and Mattox, 2009	2	Hop_cur
<i>Hoplias malabaricus</i> (Bloch, 1794)	23	Hop_mal
Gasteropelecidae		
<i>Carnegiella strigata</i> (Günther, 1864)	123	Car_str
Iguanodectidae		
<i>Bryconops caudomaculatus</i> * (Günther, 1864)	1	Bry_cau
<i>Iguanodectes rachovii</i> Regan, 1912	372	Igu_rac
Lebiasinidae		
<i>Copella arnoldi</i> (Regan, 1912)	1325	Cop_arn
<i>Nannostomus eques</i> Steindachner, 1876	11	Nan_equ
<i>Nannostomus nitidu</i> * Weitzman, 1978	2	Nan_nit
<i>Nannostomus trifasciatus</i> Steindachner, 1876	141	Nan_tri
<i>Pyrhulina</i> aff. <i>brevis</i> Steindachner, 1876	191	Pyr_bre
Cyprinodontiformes		
Rivulidae		
<i>Anablepsoides urophthalmus</i> (Günther, 1866)	270	Ana_uro
<i>Laimosemion strigatus</i> (Regan, 1912)	416	Lai_str
Gymnotiformes		
Gymnotidae		

<i>Gymnotus carapo</i> Linnaeus, 1758	7	Gym_car
<i>Gymnotus coropinae</i> Hoedeman, 1962	41	Gym_cor
<i>Gymnotus</i> sp.	3	Gym_sp
Hypopomidae		
<i>Brachyhypopomus beebei</i> (Schultz, 1944)	133	Bra_bee
<i>Brachyhypopomus brevirostris</i> (Steindachner, 1868)	16	Bra_bre
<i>Brachyhypopomus bullocki</i> Sullivan and Hopkins, 2009	29	Bra_bul
<i>Brachyhypopomus</i> sp.1	59	Bra_sp1
<i>Brachyhypopomus</i> sp.2	30	Bra_sp2
<i>Hypopygus lepturus</i> Hoedeman, 1962	108	Hyp_lep
<i>Microsternarchus bilineatus</i> Fernández-Yépez, 1968	54	Mic_bil
<i>Steatogenys elegans</i> (Steindachner, 1880)	18	Ste_ele
Rhamphichthyidae		
<i>Gymnorhamphichthys petiti</i> Géry and Vu, 1964	365	Gym_pet
Sternopygidae		
<i>Eigenmannia trilineata</i> López and castello, 1966	5	Eig_tri
<i>Sternopygus macrurus</i> (Bloch and Schneider, 1801)	3	Ste_mac
Cichliformes		
Cichlidae		
<i>Acaronia nassa</i> (Heckel, 1840)	9	Aca_nas
<i>Aequidens tetramerus</i> (Heckel, 1840)	69	Aeq_tet
<i>Apistogramma agassizii</i> (Steindachner, 1875)	249	Api_aga
<i>Apistogramma</i> gr. <i>regani</i> Kullander, 1980	1326	Api_reg
<i>Crenicara punctulatum</i> (Günther, 1863)	3	Cre_pun
<i>Crenicichla</i> gr. <i>saxatilis</i> (Linnaeus, 1758)	5	Cre_sax
<i>Crenicichla reticulata</i> (Heckel, 1840)	5	Cre_ret
<i>Crenicichla</i> sp.*	1	Cre_sp
<i>Geophagus</i> sp.*	2	Geo_sp
<i>Hypselecara temporalis</i> * (Günther, 1862)	2	Hyp_tem
<i>Nannacara taenia</i> Regan, 1912	223	Nan_tae
Perciformes		
Polycentridae		
<i>Monocirrhus polyacanthus</i> * Heckel, 1840	2	Mon_pol
Siluriformes		
Aspredinidae		
<i>Bunocephalus coracoideus</i> (Cope, 1874)	34	Bun_cor
Auchenipteridae		
<i>Tetranematichthys barthemi</i> * Peixoto and Wosiacki, 2010	2	Tet_bar
Callichthyidae		
<i>Callichthys callichthys</i> * (Linnaeus, 1758)	1	Cal_cal
<i>Megalechis thoracata</i> (Valenciennes, 1840)	4	Meg_tho
Cetopsidae		
<i>Denticetopsis epa</i> * Vari, Ferraris and de Pinna, 2005	2	Den_epa
<i>Helogenes marmoratus</i> Günther, 1863	397	Hel_mar
Heptapteridae		
<i>Gladioglanis conquistador</i> Lundberg, Bornbusch and Mago-Leccia, 1991	273	Gla_con
<i>Mastiglanis asopos</i> Bockmann, 1994	41	Mas_aso

<i>Phreatobius cisternarum</i> * Goeldi, 1905	2	Phr_cis
<i>Rhamdia quelen</i> (Quoy and Gaimard, 1824)	14	Rha_que
Loricariidae		
<i>Ancistrus</i> sp.*	1	Anc_sp
<i>Farlowella amazona</i> (Günther, 1864)	27	Far_ama
<i>Otocinclus mura</i> Schaefer, 1997	44	Oto_mur
<i>Rineloricaria hasemani</i> Isbrücker and Nijssen, 1979	12	Rin_has
Pseudopimelodidae		
<i>Batrochoglanis raninus</i> * (Valenciennes, 1840)	2	Bat_ran
Trichomycteridae		
<i>Ituglanis amazonicus</i> (Steindachner, 1882)	106	Itu_ama
<i>Paracanthopoma parva</i> Giltay, 1935	61	Par_par
<i>Potamoglanis hasemani</i> (Eigenmann, 1914)	780	Pot_has
Synbranchiformes		
Synbranchidae		
<i>Synbranchus marmoratus</i> Bloch, 1795	30	Syn_mar

* *Espécies excluídas das análises*

CAPÍTULO 3

A influência da monocultura de palma de dendê na estrutura funcional das assembleias de peixes de riachos Amazônicos

O capítulo III desta tese foi elaborado e formatado conforme as normas da publicação científica *Ecological Indicators*, as quais se encontram em anexo (Anexo 3)

A influência da monocultura de palma de dendê na estrutura funcional das assembleias de peixes de riachos

Tiago Octavio Begot^{1,2,3}; Naraiana Loureiro Benone¹; Luis Barbosa⁴; Luciano Fogaça Montag¹

¹ Laboratório de Ecologia e Conservação, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará – UFPA, Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá, CEP 66075-110, Belém, PA, Brasil.

² Programa de Pós-graduação em Zoologia, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará/ Museu Paraense Emílio Goeldi – UFPA/MPEG, Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá, CEP 66075-110, Belém, PA, Brasil.

³ Autor correspondente. E-mail: tbegot@gmail.com (TOB)

⁴ Conservação Internacional do Brasil, Rua Antônio Barreto, 130, Sala 406, Umarizal, CEP 66055-050, Belém, PA, Brasil.

Resumo

Na Amazônia, a constante expansão da monocultura de dendê constitui uma possível ameaça aos ecossistemas aquáticos, não somente no nível abiótico e na estrutura das comunidades, mas também nas funções desenvolvidas pelos organismos que habitam esses ambientes. Sendo assim, este estudo tem como objetivo analisar como a monocultura de palma de dendê afeta a diversidade e estrutura funcional das assembleias de peixes, avaliando as relações entre as características do habitat físico e da paisagem com os atributos funcionais dos peixes de riacho. A hipótese testada é que a substituição da floresta pela palma de dendê irá atuar como um filtro ambiental, selecionando e possibilitando a permanência de um espectro menor de grupos funcionais, modificando a estrutura funcional das comunidades e resultando em uma perda de diversidade funcional. Para alcançar este objetivo foram amostrados 39 riachos na Amazônia Oriental, que foram caracterizados quanto a estrutura do habitat físico e da paisagem adjacente. A amostragem das assembleias de peixes se deu através de rede de mão, e para cada espécie foram determinados os atributos funcionais baseados em medidas morfológicas (quantitativos) e características ecológicas (qualitativos). Com esses atributos foram calculados o índice de diversidade funcional (FD), bem como a riqueza funcional (FRic), regularidade funcional (FEve) e divergência funcional (FDiv), que posteriormente foram relacionados com as características da paisagem adjacente aos riachos. Ao todo foram amostrados 13.942 indivíduos de peixes, pertencentes a 74 espécies. Não foi registrada qualquer relação entre as medidas de diversidade funcional e a quantidade de palma de dendê no entorno dos riachos, refutando a hipótese inicial. Por outro lado, tanto as características do habitat físico, quando as da paisagem, afetaram a composição taxonômica das assembleias de peixes. A estrutura funcional das assembleias de peixes se manteve mesmo quando espécies foram substituídas. Esse padrão é justificado pela alta diversidade (taxonômica e funcional) de peixes na Amazônia, onde existe uma grande quantidade de espécies diferentes desenvolvendo funções semelhantes no ecossistema.

Palavras-chave: Impacto humano, filtro ambiental, ictiofauna neotropical, paisagem, Amazônia.

1. Introdução

Os impactos ambientais ocasionados por atividades humanas constituem uma das principais ameaças a biodiversidade, se não a maior (Bojsen and Barriga, 2002; Laurance et al., 2014). Em vários países estes impactos atingiram uma escala total de destruição dos habitat naturais e perda de biodiversidade e, em alguns casos, extinções locais e/ou regionais de espécies (Sodhi et al., 2004; Wilcove and Koh, 2010; Su et al., 2015).

Na Amazônia, diversas atividades humanas vêm sendo desenvolvidas ao longo dos anos e são consideradas uma ameaça real a maior biodiversidade registrada no planeta (Vieira et al., 2009; Almeida et al., 2016; Arantes et al., 2017). Com isso, a necessidade de entender como o ecossistema responde aos impactos, é uma ferramenta indispensável na elaboração de estratégias mais eficientes na mitigação dos impactos ambientais e, conseqüentemente, na manutenção das características naturais do ambiente (Vitule et al., 2017). Dentre as principais atividades antrópicas desenvolvidas na Amazônia, o cultivo de palma de dendê é o que mais cresce nos últimos anos (FAO, 2015; Farumo and Aide, 2017), com isso, a busca pelo entendimento de como essa expansão afeta a biodiversidade se tornou uma prioridade na região (Lees et al., 2015; Juen et al., 2016).

Diante deste cenário, analisar a estrutura da comunidade baseado em padrões de distribuição, riqueza e abundância ainda são ferramentas válidas para avaliar como os impactos ambientais afetam a biodiversidade (Harris et al., 1995). Porém, outras abordagens vêm ganhando espaço nos últimos anos, principalmente no que diz respeito a diversidade funcional, ou seja, as funções ecológicas desenvolvidas pelos organismos em seus habitat naturais (Villéger, 2008; Prescott et al., 2016; Leitão et al., 2017). Esta abordagem consiste em uma estratégia sensível para detectar respostas das assembleias biológicas às mudanças ambientais, sejam elas naturais ou impulsionadas por atividades antrópicas (Violle et al., 2007; Silva and Brandão, 2014).

De acordo com Tilman (2001), diversidade funcional pode ser definida como o valor e a variação das espécies, e de suas características, que influenciam o funcionamento das comunidades naturais. Medir a diversidade funcional significa medir a diversidade de atributos funcionais, que são componentes dos fenótipos dos organismos e que influenciam os processos da comunidade, independentemente da filogenia dos organismos (Petchey and Gaston, 2006). Nesse sentido, a estrutura funcional pode ajudar a esclarecer os processos que determinam o funcionamento das comunidades, pois é um conceito que liga organismos e comunidades por meio de mecanismos, como complementaridade no uso de recursos disponíveis (Petchey and Gaston, 2006). O uso da diversidade funcional em trabalhos ecológicos possibilita, ainda, prever quais processos ecossistêmicos são mais suscetíveis aos impactos ambientais e como isso afeta a biodiversidade (Pavoine et al., 2009; Prescott et al., 2016).

Sendo assim, as medidas de diversidade funcional evidenciam o quanto as espécies são semelhantes ou distintas, funcionalmente, indicando como as comunidades são estruturadas de acordo com o banco regional de espécies (Petchey et al., 2007). Esta estruturação é comumente derivada do mecanismo denominado filtros ambientais, onde as espécies coexistentes tendem a ser mais similares do que se esperaria pelo acaso, pois as condições ambientais atuam como um filtro, ou seja, selecionam e possibilitam a persistência de um espectro relativamente pequeno dos atributos funcionais das espécies (Keddy, 1992; Mouchet et al., 2010). Esse mecanismo de estruturação das comunidades é apoiado pela teoria do nicho, onde a composição específica é influenciada pelas características ecológicas das espécies (Hutchinson, 1975). Sendo assim, valores de diversidade funcional diferentes do esperado ao acaso apoiariam a teoria do nicho, pois padrões não randômicos da diversidade de atributos funcionais indicariam a importância de processos ligados ao nicho das espécies (Filtros Ambientais) para a composição das comunidades (Petchey et al., 2007).

Diante do exposto, este estudo tem como objetivo analisar o efeito da monocultura de palma de dendê sobre a diversidade e estrutura funcional das assembleias de peixes, avaliando as relações entre as características do habitat físico e da paisagem com os atributos funcionais dos peixes de riachos na Amazônia Oriental. A hipótese testada é de que a substituição da floresta pela palma de dendê irá atuar como um filtro ambiental, selecionando e possibilitando a permanência de um espectro menor de grupos funcionais, modificando a estrutura funcional das comunidades e resultando em uma perda de diversidade funcional.

2. Material e Métodos

2.1. Área de estudo e desenho amostral

O estudo foi conduzido na Amazônia Oriental, mais especificamente no Centro de Endemismo Belém (CEB), localizado na mesorregião do Nordeste do estado do Pará, onde está concentrada a maior parte da produção de palma dendê na Amazônia (Reis-Neto, 2010).

O CEB, com aproximadamente 243.000 km², constitui um extenso mosaico de áreas preservadas e alteradas, uma vez que 28% do território do CEB é constituído de floresta ombrófila e 72% desse território foi convertido em diversos usos de terra, entre eles a agropecuária com mais de 79.000 km² (32,4%) é a mais representativa, enquanto que a palma de dendê apresenta aproximadamente 3.200 km² (1,3%) de área plantada (Almeida and Vieira, 2013). O clima na região é tropical úmido, do subtipo 'Af', segundo a classificação de Köppen (Peel et al., 2007). A temperatura média na região é de 26°C, com uma umidade relativa do ar atingindo 85% (Oliveira et al., 2002).

No total foram amostrados 39 riachos, de primeira a terceira ordem, de acordo com a classificação de Strahler (1957), na bacia do Rio Acará (Figura 1). As amostras ocorreram sempre

no período de seca na região (entre os meses de junho e novembro), nos anos de 2012, 2013, 2015 e 2016. A padronização do período hidrológico é necessária para evitar possíveis alterações, resultante de variações sazonais, tanto em aspectos estruturais e funcionais da ictiofauna, como na padronização do método de coleta e caracterização ambiental dos riachos (Jaramillo-Villa and Caramaschi, 2008).

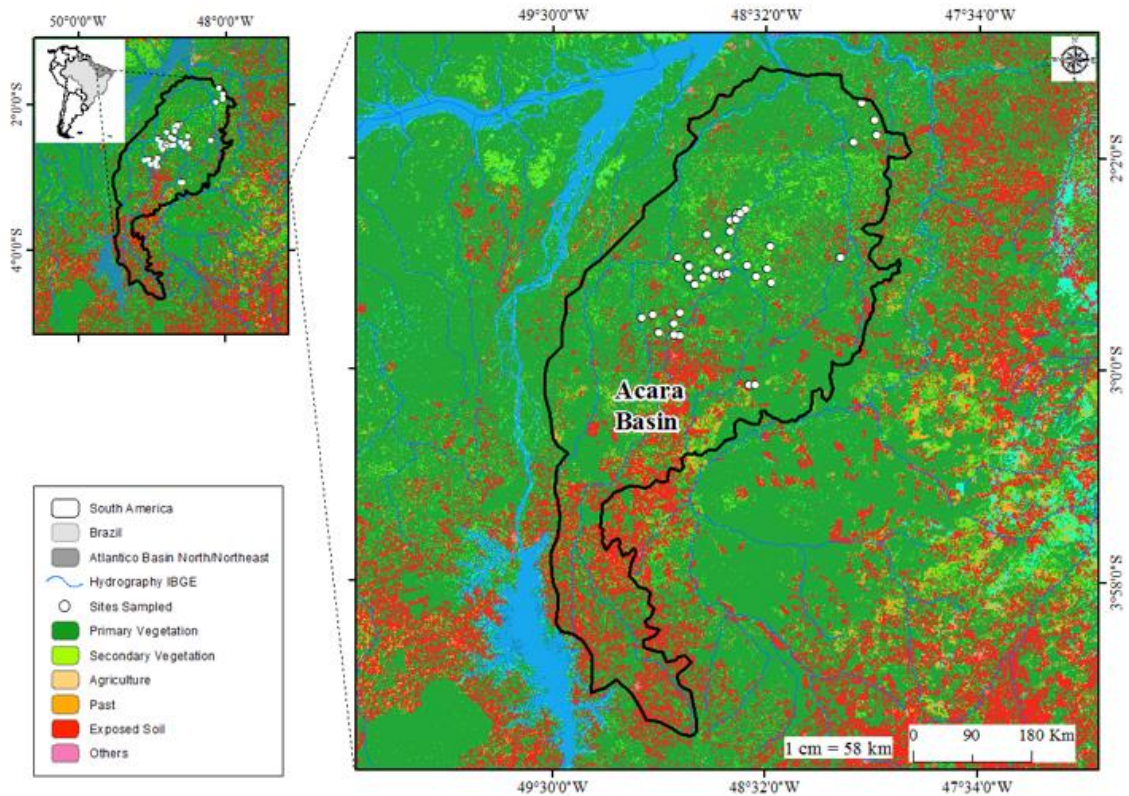


Fig. 1. Localização geográfica dos riachos amostrados nos anos de 2012, 2013, 2015 e 2016 na bacia do Rio Acará, na Amazônia Oriental, Pará, Brasil.

2.2. Coleta de dados

As variáveis do habitat físico foram amostradas de acordo com um extenso protocolo de avaliação de riachos proposto por Peck et al. (2006). Ao todo foram mensuradas oito variáveis do habitat físico, sendo estas: média da largura do leito sazonal (XBKF_W), média altura incisão (XINC_H), média de imersão do substrato (XEMBED), porcentagem de raízes finas (PCT_RZ), média da cobertura ripária total (XCMG), número de madeira pequena no leito (C1W_MSQ), média de abrigo por madeira grande (XFC_PMG) e proporção de impacto humano (X_HNOAG). Os métodos de amostragem, bem como os valores médios e desvio padrão, de cada variável do habitat físico estão descritos na Tabela S1, Material suplementar – Capítulo 3.

Para cada riacho amostrado, além das variáveis do habitat físico, as características da paisagem também foram mensuradas, com base na quantificação da cobertura vegetal e dos usos de solo adjacentes a esses corpos d'água. Esta quantificação é feita em porcentagens, por meio da

elaboração de áreas de influências (*buffers*). Onde, primeiramente, foi delimitada a área da Amazônia Oriental e a rede de drenagem dos igarapés amostrados, com base nas coordenadas geográficas obtidas em campo, utilizando o software *ArcGIS* 10.1 (ESRI, 2011). Em seguida, a rede de drenagem foi revisada por imagens dos satélites *RapidEye* (RapidEye, 2015), *Indian Remote Sensing* (IRS, INPE, 2016) e por imagens do software *Google Earth* de 2016. As áreas de influência foram então delimitadas no entorno dos pontos amostrados, em um formato circular, com diâmetro medindo 300 metros. Posteriormente as feições dos usos de solo foram classificadas, com base em uma adaptação do proposto por Molina et al. (2017), em: I) Floresta: áreas ocupadas por florestas nativas em diferentes estágios; II) Monocultura de palma de dendê: áreas ocupadas por palmeiras de dendê, em diferentes anos de plantio; III) Pastagem: áreas cobertas por gramíneas e/ou ocupadas por pecuária intensiva e extensiva; IV) Solo exposto: áreas com solo desprotegido, sem vegetação ou outro uso (Tabela S2, Material suplementar – Capítulo 3).

Em relação à ictiofauna, os indivíduos foram capturados por busca ativa utilizando redes de mão com 60 cm de diâmetro e malha de 3mm entre nós opostos. A rede de mão é um método de coleta ativa comumente utilizada na amostragem de peixes de pequenos riachos tropicais (Hayes, 1983; Uieda and Castro, 1999). O esforço amostral foi padronizado em dois coletores, totalizando seis horas de amostragem por trecho de igarapé (150 m). Os espécimes coletados foram submetidos a doses letais do anestésico Eugenol (*American Veterinary Medical Association*, 2001) e posteriormente fixados em formalina 10% por aproximadamente 48 horas e em seguida conservados em solução de álcool 70%. Em laboratório, os peixes foram triados e identificados com literatura especializada (Géry, 1977; Kullander, 1986) e com o auxílio de especialistas dos diferentes grupos taxonômicos. Posteriormente, o material biológico será tombado na Coleção Ictiológica do Museu Paraense Emílio Goeldi (MCT/MPEG), Belém, Brasil.

2.3. Atributos funcionais

Os atributos funcionais foram obtidos através de dados qualitativos, considerando características ecológicas e da história de vida dos peixes, bem como dados quantitativos, levando em consideração as características morfológicas dos peixes (Gatz, 1979; Watson & Balon, 1984; Pouilly et al., 2003; Ohlberger et al., 2006). Estas abordagens são bastante utilizadas e respondem bem às modificações na comunidade resultantes de alterações ambientais (Winemiller, 1991; Wainwright et al., 2002).

As características qualitativas foram obtidas com base na literatura (Wainwright et al., 2002; Frimpong and Angermeier, 2009; Brejão et al., 2013; Winemiller et al., 2015), levando em consideração guilda trófica, uso de habitat, capacidade natatória e habitat de forrageio (Tabela 1).

Tabela 1 Atributos funcionais qualitativos (características ecológicas) e quantitativos (ecomorfologia) das espécies de peixes coletadas na Amazônia Oriental. A descrição de cada atributo está na Tabela S3, Material suplementar – Capítulo 3.

Tipos	Categoria	Atributo funcional	Código	
Qualitativos	Guilda trófica	Onívoro	ONI	
		Invertívoro auto- e alóctone	INV	
		Invertívoro autóctone	IAU	
		Invertívoro alóctone	IAL	
		Carnívoro	CAR	
		Hematófago	HEM	
		Perifitívoro	PER	
	Uso de habitat	Bentônico	BEN	
		Nectônico	NEC	
		Nectobentônico	NBT	
		Superfície	SUP	
		Associado a estruturas	AET	
	Capacidade natatória	Sedentário	SED	
		Intermediário	INT	
		Ativo	ATI	
	Habitat de forrageio	Coluna d'água	CDA	
		Substrato	SUB	
	Quantitativos	Posição na coluna d'água	Índice de compressão do corpo	ICC
			Altura relativa	AR
			Índice de aplanamento ventral	IAV
Posição relativa dos olhos			PRO	
Capacidade de locomoção		Comprimento relativo do pedúnculo caudal	CRPC	
		Índice de compressão do pedúnculo caudal	ICPC	
		Área relativa da nadadeira peitoral	ARNP	
		Aspecto proporcional da nadadeira peitoral	RANP	
Forrageio		Coefficiente de finura	CF	
		Comprimento relativo da cabeça	CRC	
	Largura relativa da boca	LRB		
	Orientação da boca	OB		

Em relação às características quantitativas, para cada espécie de peixe, foram selecionados cinco indivíduos adultos, com tamanhos similares. No entanto, para aquelas espécies que são encontradas apenas em estágios intermediários do ciclo de vida, foram analisados os indivíduos com tamanho similar que, neste caso, ainda não atingiram a fase adulta. Para as espécies que apresentam dimorfismo sexual, foram selecionadas apenas as fêmeas para as análises, uma vez que os machos apresentam maiores variações na sua morfologia durante os períodos reprodutivos, como o desenvolvimento acentuado das nadadeiras (Winemiller, 1987; Pezzanite and Moller, 1998; Py-Daniel and Fernandes, 2005).

As medidas morfológicas foram realizadas de forma padronizada, sempre do lado esquerdo do indivíduo, com o uso de um paquímetro digital de 150 mm com precisão de 0,1 mm. As áreas

das nadadeiras foram obtidas através do desenho do contorno das mesmas sobre papel milimetrado, que posteriormente serão digitalizados e analisados no software *Image J* (Autodesk, 2004).

Para cada indivíduo foram tomadas 25 medidas morfológicas (Winemiller, 1991; Soares et al., 2013), sendo estas: comprimento padrão (CP), altura máxima do corpo (AMC), altura da linha média do corpo (AM), largura máxima do corpo (LMC), comprimento do pedúnculo caudal (CPC), altura do pedúnculo caudal (APC), largura do pedúnculo caudal (LPC), largura da cabeça (LC), altura da cabeça (AC), comprimento da cabeça (CC), comprimento do focinho com a boca aberta (CFBA), comprimento do focinho com a boca fechada (CFBF), altura do olho (AO), altura da boca (AB), largura da boca (LB), altura da nadadeira dorsal (ALND), altura da nadadeira caudal (ANC), comprimento da nadadeira anal (CNA), comprimento da nadadeira peitoral (CNP), comprimento da nadadeira pélvica (CNPV), altura da nadadeira pélvica (ANPV), área da nadadeira caudal (ANC^2), área da nadadeira anal (ANA^2), área da nadadeira peitoral (ANP^2) e área da nadadeira pélvica ($ANPV^2$) (Figura S1, Material suplementar – Capítulo 3).

A partir dessas medidas, foram calculados 12 atributos funcionais (Tabela 1). Esses atributos permitem a visualização da função das espécies no ambiente e refletem suas adaptações morfológicas (Breda et al., 2005). Os atributos quantitativos foram divididos em três categorias: posição, locomoção e forrageio (Tabela 1).

A interpretação ecológica desses atributos funcionais é bem descrita na literatura e reflete como os peixes ocupam e se comportam nesses ambientes (Gatz, 1979; Winemiller, 1991). Em relação às características associadas à posição, o Índice de compressão do corpo mostra que valores elevados podem indicar peixes comprimidos que preferem habitats com menor velocidade de água (Watson and Balon, 1984); em relação à altura relativa, valores menores indicam peixes habitando águas rápidas (Gatz, 1979); para o índice de aplanamento ventral, altos valores indicam espécies associadas a ambientes próximos ao substrato (Watson and Balon, 1984); para a posição relativa dos olhos, altos valores indicam olhos dorsais, encontrados normalmente em peixes bentônicos (Pouilly et al., 2003).

Em relação às características associadas à locomoção, o comprimento relativo do pedúnculo caudal evidencia que altos valores estão associados a maior capacidade natatória ou de propulsão a curtas distâncias (Winemiller, 1991); enquanto que para o índice de compressão do pedúnculo caudal, valores elevados indicam peixes com pedúnculos comprimidos, típico de peixes com nado pouco ativo (Gatz, 1979); para a área relativa da nadadeira peitoral, altos valores são relacionados à lenta natação ou a peixes de águas turbulentas (Watson and Balon, 1984); o aspecto proporcional da nadadeira peitoral mostra que altos valores são relacionados a espécies migratórias ou de natação contínua (Wainwright et al., 2002); por fim, o coeficiente de finura estima que valores de 2 a 6 indicam arraste reduzido; a relação ótima para o nado eficiente é 4,5 (Ohlberger et al., 2006).

Para os atributos funcionais associados à locomoção, o comprimento relativo da cabeça trata que altos valores indicam peixes que utilizam presas grandes (Pouilly et al., 2003); para a largura relativa da boca, altos valores indicam peixes que se alimentam de presas largas (Winemiller, 1991) e; para a orientação da boca, altos valores são associados a peixes que se alimentam próximo a superfície (Gatz, 1979).

2.4. *Análise de dados*

Para o cálculo da diversidade funcional, os atributos funcionais quantitativos foram padronizados por apresentarem unidades de medidas distintas. Em seguida a diversidade funcional foi calculada para cada riacho amostrado utilizando quatro medidas, sendo estas, o índice de diversidade funcional (FD), que representa comprimento total dos ramos de um dendrograma funcional da comunidade, representando a complementariedade funcional entre as espécies (Petchey and Gaston, 2002); a riqueza funcional (FRic), a qual representa a quantidade de funções desenvolvidas pela comunidade, ou seja, o número de espaços funcionais ocupados (Manson et al., 2005); a regularidade funcional (FEve), que representa a uniformidade de distribuição de abundâncias em um espaço funcional (Manson et al., 2005) e; por último, a divergência funcional (FDiv) que representa a distribuição da abundância das espécies ao longo do eixo de variação de um atributo funcional (Manson et al., 2005), ou seja, a FDiv será baixa quando as espécies mais abundantes forem funcionalmente semelhantes. Esta fragmentação da diversidade funcional tem sido utilizada para uma avaliação mais detalhada dos mecanismos de ligação entre a diversidade e o funcionamento do ecossistema. Componentes como volume do espaço funcional, abundância específica dentro desse espaço e a regularidade funcional nos permite inferir sobre as diferentes forças que podem atuar na estruturação da biodiversidade, tais como pressões por filtros ambientais (Cornwell et al., 2006).

Os valores das quatro medidas de diversidade funcional (FD, FRic, FEve, FDiv) foram avaliadas separadamente quanto as premissas de normalidade e homocedasticidade. Posteriormente, para testar a hipótese de que a palma de dendê afeta a diversidade funcional, foram realizadas regressões simples utilizando os componentes da diversidade funcional e as porcentagens de palma no entorno dos riachos. Além disso, para avaliar o efeito conjunto da paisagem adjacente aos riachos, foi realizada uma Análise de Componentes Principais (PCA) com os valores de cada feição da paisagem, onde os eixos foram selecionados de acordo com o método de parada *Broken-stick*, e em seguida, relacionado com as métricas da diversidade funcional.

Para testar a hipótese de que as características ambientais (variáveis do habitat físico e da paisagem) afetam a estrutura funcional das comunidades foi realizada uma Análise RLQ (Dolédec et al., 1996). Esta análise consiste em uma técnica multivariada de ordenação simultânea de três

matrizes de dados, onde uma matriz corresponde aos descritores ambientais do habitat físico e da paisagem (R); uma matriz de abundância específica (L) e outra matriz de atributos funcionais (Q). As matrizes R e Q são correlacionados com base na matriz L, ou seja, a análise RLQ associa as variáveis ambientais com os atributos funcionais, considerando a abundância das espécies de peixes. Para esta análise, a matriz ambiental foi padronizada e ordenada através de uma Análise de Componente Principal (PCA). A matriz de abundância de espécies foi transformada em $\text{Log}_{(x+1)}$ e ordenada através de uma Análise de Correspondência (CA). Por fim, a matriz funcional, já com os valores residuais, foi submetida a uma outra Análise de Componente Principal (PCA). A relação entre as matrizes ambientais (habitat físico e paisagem) e funcional foi testada através de um teste de *Monte Carlo* com 9.999 aleatorizações.

Todas as análises foram realizadas através dos pacotes ‘*FactomineR*’ (Lê et al., 2008) e ‘*ade4*’ (Dray and Dufour, 2007) do programa R, versão 3.2.0 (R Development Core Team, 2015).

3. Resultados

Foram amostrados 13.942 indivíduos de peixes, distribuídos em oito ordens, 25 famílias e 74 espécies. Onde a ordem mais representativa foi Characiformes (27 espécies, 36% do total), seguidos por Siluriformes (18 espécies, 24%), Gymnotiformes (14 espécies, 18,6%) e Cichliformes (11 espécies, 16%). As demais ordens amostradas representam 5,4% das espécies amostradas. Por outro lado, a família mais representativa foi Cichlidae (11 espécies, 14,6% do total), seguida por Characidae (10 espécies, 13,3% do total) e Hypopomidae (8 espécies, 10,6% do total). A espécie *Microcharacidium weitzmani* foi a espécie mais abundante, com 3.658 indivíduos (26,2%), seguida por *Hyphessobrycon heterorhabdus* (1.870 indivíduos, 13,4%), *Apistogramma* gr. *regani* (1.326, 9,5%) e *Copella arnoldi* (1.325, 9,5%) (Tabela S4, Material suplementar – Capítulo 3). As espécies que apresentaram abundância total inferior ou igual a dois indivíduos foram retiradas das análises (15 espécies), por serem consideradas ocasionais e pouco representativas.

Ao avaliar como a plantação de palma de dendê afeta os padrões de diversidade funcional das assembleias de peixes, não foi possível identificar qualquer efeito (FD: $r^2 = 0,017$, $p = 0,427$; FRic: $r^2 = 0,067$, $p = 0,110$; FEve: $r^2 = 0,015$, $p = 0,451$; FDiv: $r^2 = 0,014$, $p = 0,460$). O mesmo foi observado utilizando todas as variáveis da paisagem (não apenas a porcentagem de palma de dendê), através da Análise de Componentes Principais, onde o primeiro eixo explicou 57% da variação dos dados. As regressões realizadas com os *scores* das amostras neste eixo não mostraram relação significativa com as medidas de diversidade funcional (FD: $r^2 = 0,043$, $p = 0,203$; FRic: $r^2 = 0,046$, $p = 0,188$; FEve: $r^2 = 0,000$, $p = 0,975$; FDiv: $r^2 = 0,055$, $p = 0,149$) (Figura 2).

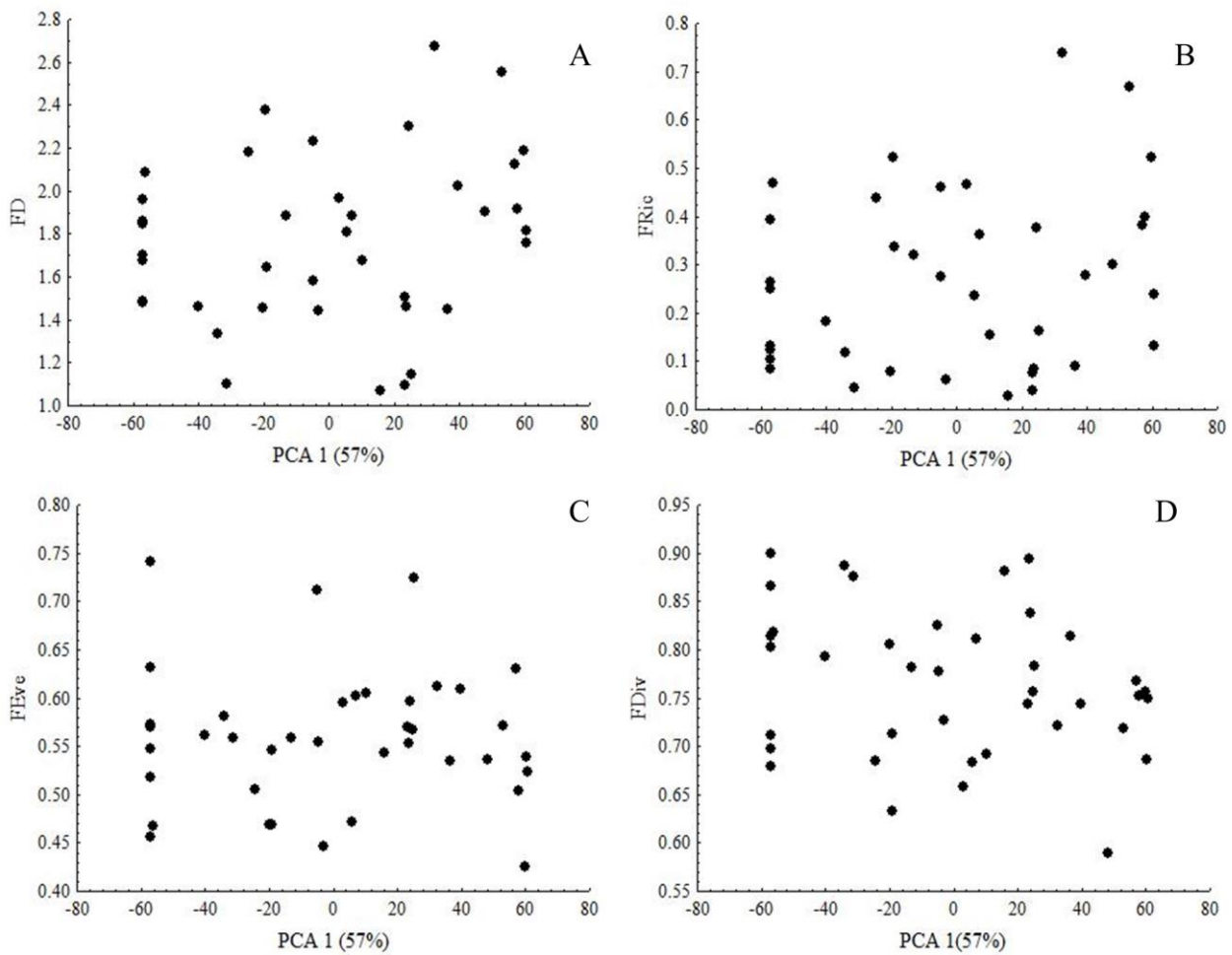


Fig. 2. Regressão simples utilizando as medidas de diversidade funcional e o primeiro eixo da PCA realizada com as características da paisagem adjacente aos riachos amostrados na Amazônia Oriental. Onde (A) corresponde ao índice de diversidade funcional, (B) riqueza funcional, (C) regularidade funcional e (D) divergência funcional.

Ao avaliar a relação entre os descritores ambientais do habitat físico com os atributos funcionais das assembleias de peixes, evidenciou-se que o habitat físico influencia a composição taxonômica das espécies de peixes (RLQ *model 2*, $p = 0,011$) (Figura 3), no entanto as características do habitat físico não têm qualquer relação com a composição funcional das assembleias de peixes (RLQ *model 4*, $p = 0,281$). Em relação à composição taxonômica, espécies como *Rineloricaria hasemani* e *Farlowella amazona* estão fortemente relacionadas com a média da imersão do substrato (XEMBED), ao passo que espécies como *Gladioglanis conquistador* e *Gymnotus coropinae* mostraram alta associação com a média da altura da incisão dos riachos (XINC_H) e a oferta de abrigos por madeira grande (XFC_PMG) (Figura 3). Outras espécies, como *Bunocephalus coracoideus* e *Rhamdia quelen*, mostraram forte relação com as médias da cobertura total da vegetação ripária (XCMG) e da largura sazonal (XBKF_W). Outras associações entre a composição taxonômica dos peixes e as características do habitat físico estão presentes na Figura 3.

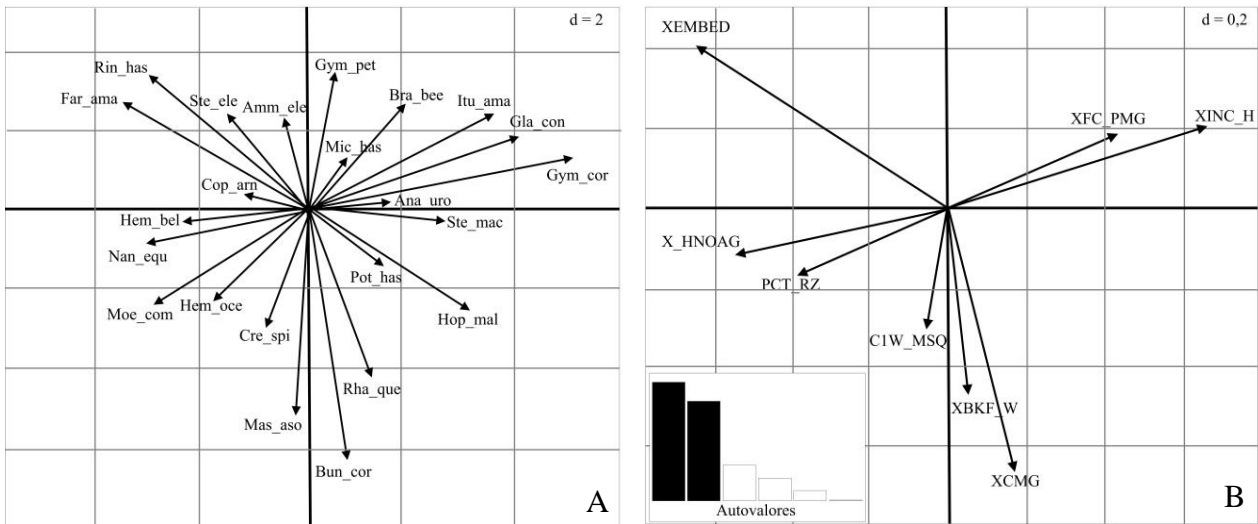


Fig. 3. Análise RLQ evidenciando a distribuição das espécies de peixes (A) e as características do habitat físico de riachos (B) da Amazônia Oriental. Onde os códigos das espécies estão na Tabela S3 (Material Suplementar – Capítulo 3) e os códigos das variáveis do habitat físico estão na Tabela S1 (Material Suplementar – Capítulo 3). As espécies que apresentaram *loadings* menores que 0,7 foram omitidas do gráfico para facilitar a interpretação.

O mesmo foi observado ao avaliar a relação das características da paisagem com os atributos funcionais, onde evidenciou-se que apenas a composição taxonômica (RLQ *model 2*, $p = 0,030$) sofre influência das características da paisagem, enquanto que a composição funcional (RLQ *model 2*, $p = 0,071$) não sofre qualquer influência. É possível observar ainda que as espécies *Rineloricaria hasemani* e *Farlowella amazona* estão mais associadas com ambientes degradados por atividades de pastagem. Enquanto que as espécies *Bunocephalus coracoideus*, *Mastiglanis asopos* e *Rhamdia quelen*, mostraram forte associação com riachos influenciados pela palma de dendê, ao passo que as espécies *Gladioglanis conquistador*, *Ituglanis amazonicus* e *Gymnotus coropinae* mostraram maior associação com os riachos circundados por florestas primárias (Figura 4A e 4C).

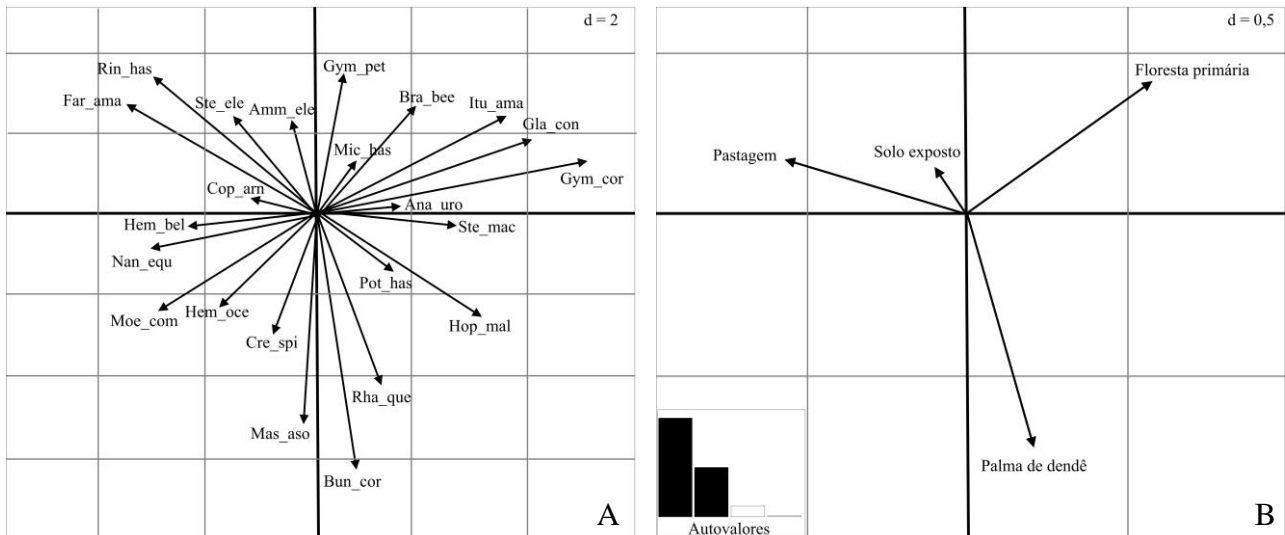


Fig. 4. Análise RLQ evidenciando a distribuição das espécies de peixes (A) e as características da paisagem adjacente aos riachos (B) da Amazônia Oriental. Onde os códigos das espécies estão na Tabela S3 (Material Suplementar – Capítulo 3). Para facilitar a interpretação dos gráficos, foram omitidas as espécies que apresentaram *loadings* menores que 0,7.

4. Discussão

De acordo com os resultados obtidos, a monocultura de palma de dendê afeta a estrutura do habitat físico, bem como a distribuição das espécies, alterando a composição taxonômica das assembleias de peixes de riachos amazônicos. Porém, a diversidade e estrutura funcional das assembleias de peixes são mantidas mesmo em áreas que apresentam altas porcentagens de plantação de palma de dendê. Sendo assim, refutamos a hipótese inicial, pois, embora a palma de dendê afete a distribuição das espécies, esta monocultura não atua como um filtro ambiental na funcionalidade do ecossistema aquático, uma vez que não foram registradas alterações funcionais para as espécies nos riachos amostrados.

Alterações na estrutura do habitat físico, bem como na biodiversidade, decorrentes de práticas agrícolas já são conhecidas (Fitzherbert et al., 2008). E por se tratar de uma atividade comum em diversos países (Turner et al., 2011; Farumo and Aide, 2017), vários estudos ao redor do mundo identificaram impactos da monocultura de palma de dendê na biodiversidade, abrangendo os mais diversos grupos biológicos, desde bactérias do solo (Lee-Cruz et al., 2013), artrópodes (Turner and Foster, 2009), invertebrados aquáticos (Rawi et al., 2013, Luiza-Andrade et al., 2017), peixes (Giam et al., 2015; Ferreira et al., 2018), anfíbios (Faruk et al., 2013; Correia et al., 2015), aves (Aratrakorn et al., 2006; Almeida et al., 2016) e mamíferos (Freudmann et al., 2015; Yue et al., 2015; Mendes-Oliveira et al., 2017).

No entanto, em relação a Amazônia, a maioria dos estudos voltados para avaliação do impacto da expansão do plantio de dendê ainda são recentes (Correa et al., 2015; Almeida et al., 2016; Juen

et al., 2016; Ferreira et al., 2018), reforçando a necessidade e importância de estudos que avaliem as consequências da expansão do dendê na Amazônia. Além do mais, a necessidade de estudos ecológicos na Amazônia é ainda maior quando comparados com o que ocorreu no sudeste asiático durante o processo de expansão do plantio de dendê naquela região, onde foram registradas drásticas modificações na paisagem e conseqüentemente na distribuição das espécies, resultando na extinção de diversos grupos biológicos, como aves e mamíferos (Sodhi et al., 2004; Sheil et al., 2009).

Dentre as diversas modificações provocadas pela expansão da monocultura de dendê, alterações no padrão de distribuição das espécies e nas funções ecossistêmicas são considerados os principais impactos na biodiversidade (Gilroy et al., 2015; Dislich et al., 2017), pois podem resultar em um desequilíbrio da estrutura das comunidades e até mesmo em processos de extinções locais e/ou regionais (Azhar et al., 2014; Lees et al., 2015). No entanto, nesta pesquisa, encontramos resultados contrastantes, onde foi observado mudanças na composição taxonômicas das espécies de peixes, registrado também por Ferreira et al. 2018 e no Capítulo 2 desta tese, mas não foram registradas alterações na diversidade funcional. Isso pode ser explicado pelo fato de que mesmo com a substituição de espécies, a composição funcional das assembleias de peixes foi mantida, ou seja, algumas espécies deram lugar à outras que desempenham funções semelhantes no ecossistema.

Esses resultados corroboram parcialmente com o publicado por Luiza-Andrade et al. (2017), que avaliaram o efeito da monocultura de dendê na diversidade funcional de insetos aquáticos em riachos amazônicos. Os autores identificaram impactos no habitat físico dos riachos, bem como na diversidade taxonômica desses insetos, corroborando com os resultados encontrados neste estudo. Por outro lado, registraram ainda uma perda de riqueza funcional nos riachos que drenam plantações de dendê quando comparados com riachos de fragmentos florestais, não corroborando com os resultados encontrados nesta pesquisa, uma vez que a riqueza funcional não foi afetada pela substituição da matriz florestal pela monocultura de dendê.

Em outro estudo realizado na Amazônia, Ferreira et al. (2018) registraram que a monocultura de dendê modifica a estrutura do habitat de riachos, bem como a composição taxonômica das assembleias de peixes, corroborando com os resultados encontrados nesta pesquisa. Por outro lado, os autores não registraram diferenças em relação à riqueza de espécies ao comparar riachos que drenam áreas de plantio de dendê com áreas de fragmentos florestais. Com isso, os autores concluíram que o impacto do plantio do dendê desencadeia uma substituição de espécies, mas sem alterar o número de espécies encontradas nos riachos. Esses resultados auxiliam no entendimento da manutenção da estrutura funcional das assembleias de peixes frente às alterações na composição específica, encontrada no presente estudo. Uma vez que na região neotropical se concentra a maior diversidade, tanto taxonômica quanto funcional, de peixes do planeta (Toussant et al., 2016). Sendo assim, essa alta diversidade faz com que mesmo que espécies sejam substituídas por outras, ou até

mesmo perdidas ao longo de um gradiente de impacto ambiental, a quantidade de espécies capazes de desenvolver funções ecossistêmicas semelhantes, é suficientemente necessária para que a diversidade funcional seja mantida.

Por outro lado, alterações na estrutura funcional das comunidades decorrentes de impactos ambientais já foram registradas anteriormente (Hooper et al., 2005; Díaz et al., 2006). No entanto, estudos revelam ainda que as respostas das comunidades submetidas a impactos ambientais podem variar, principalmente em relação às funções desenvolvidas nos ecossistemas (Flynn et al., 2009; Murray et al., 2017). Outros autores defendem ainda, que mesmo em ambientes impactados, a diversidade funcional não será necessariamente menor, mas sim diferente daquela observada em ambientes preservados (Riemann et al., 2016). Estes resultados não corroboram os resultados encontrados nesta pesquisa, onde a diversidade funcional não foi influenciada pelas características do habitat físico e da paisagem adjacente aos riachos.

No entanto, foi possível identificar grupos funcionais mais associados a determinadas características do habitat físico e da paisagem. Como no caso dos Loricariidae (Siluriformes), *Rineloricaria hasemani* e *Farlowella amazona*, que mostraram forte associação com porcentagem de imersão do substrato. Estas espécies apresentam baixa capacidade natatória e passam boa parte da vida associadas a estruturas, como troncos e rochas (Brejão et al., 2013). Com isso, ambientes com altas taxas de imersão do substrato favorecem o comportamento críptico desses peixes, que se confundem com o substrato dos riachos, auxiliando na aquisição de alimentos e fuga de predadores (Buck and Sazima, 1995). Por outro lado, os riachos que apresentaram vegetação ripária bem estruturada e maior largura sazonal, favoreceram espécies bentônicas, como *Bunocephalus coracoideus*, *Mastiglanis asopos* e *Rhamdia quelen*. Isso pode ser explicado pelo aumento na oferta de micro-habitat para estas espécies oriundos da vegetação ripária (Schneider and Winemiller, 2008; Casotti et al., 2015) e do aumento na largura do riacho no período de cheia, onde o nível da água avança em direção a vegetação ripária, aumentando a heterogeneidade ambiental (Allan and Castillo, 2007; Espírito-Santo et al., 2009).

Em relação às características da paisagem, não foram observadas alterações funcionais nas assembleias de peixes, uma vez que tanto em riachos que apresentaram maior porcentagem de floresta adjacente, como aqueles circundados por plantações de palma de dendê ou área de pastagem, os grupos funcionais foram mantidos, com predominância de Siluriformes e Gymnotiformes bentônicos, com baixa capacidade natatória, como *Mastiglanis asopos*, *Rhamdia quelen*, *Gymnotus coropinae*, *Ituglanis amazonicus*, *Brachyhyopomus beebei* e *Gladioglanis conquistador*. Esse grupo taxonômico apresenta grande diversidade e uma ampla área de distribuição na Amazônia (Reis et al. 2003), podendo ocupar diferentes habitat, em diferentes estados de conservação (Prudente et al., 2016). Outro importante fator a ser considerado é a manutenção da vegetação

ripária, mesmo em áreas que apresentam predominância de monocultura de dendê ou pastagem. Esta faixa de vegetação nativa, quando preservada, é fundamental na manutenção das características naturais dos riachos (Pusey and Arthington, 2003), mantendo as características abióticas naturais dos riachos e auxiliando na conservação da biodiversidade (Casatti et al., 2012), o que contribui na manutenção dos grupos funcionais, mesmo quando a composição taxonômica é alterada.

Diante das discussões sobre como as alterações ambientais provocadas por atividades humanas afetam a diversidade funcional, estudos desta natureza são cada vez mais necessários para que medidas conservacionistas mais eficientes sejam tomadas, principalmente na região neotropical (Vitule et al., 2016). Ainda mais considerando que a monocultura de dendê na Amazônia continuará expandindo, e que embora esta atividade traga desenvolvimento econômico e social para a população e os impactos ambientais sejam evidentes, muitos destes impactos podem ser controlados e até mesmo evitados. De forma a garantir um desenvolvimento sustentável na região, aliando o aumento na produção com a manutenção biodiversidade. Uma alternativa viável para que isso ocorra é determinar áreas prioritárias para preservação, bem como para a expansão desta monocultura. Ou seja, com base em estudos científicos é possível inferir quais os benefícios da manutenção de áreas florestadas próximas à plantações de dendê (Koh et al., 2009; Abram et al., 2014; Edwards et al., 2014), bem como a utilização do plantio do dendê na restauração de ambientes já degradados, como os campos de pastagens e áreas de solo exposto (Foster et al., 2011; Luskin and Potts, 2011).

Por fim, este trabalho esclarece que embora a monocultura de palma dendê altere a composição taxonômica das assembleias de peixes de riachos amazônicos, a diversidade funcional das assembleias é mantida. Isso pode ser reflexo do modelo de plantação adotado na Amazônia, onde a presença de fragmentos florestais próximo a matrizes de plantação de dendê, constitui um mosaico capaz de manter algumas características naturais das comunidades, como a estrutura funcional. Com isso, desenvolver mais pesquisas com abordagem funcional na região neotropical, em especial na Amazônia, permitirá elucidar as lacunas de conhecimento que permeiam esta ampla diversidade da região.

Agradecimentos

Os autores agradecem pelo apoio financeiro das instituições Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA). E pelo apoio na logística das expedições campo à Conservação Internacional do Brasil (CI-Brazil), Grupo Agropalma e Biopalma/VALE.

Financiamento

Esta pesquisa contou com recursos provenientes dos projetos “Influência dos diferentes tipos de uso do solo sobre a biodiversidade na Amazônia Oriental” (CNPq 449314/2014-2), “Zoneamento bioenergético do plantio de palma e os impactos a biodiversidade no Estado do Pará” (FAPESPA/ICAAF 128/2014), e “*Biodiversity and socio-economic Impacts of oil palm bioenergy development in the Brazilian Amazon*” (USAID/PEER). O autor TOB recebeu bolsa de doutorado e doutorado sanduíche (PDSE 88881.134860/2016-1, Texas A&M University) pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). O autor LFAM recebeu bolsa de pós-doutorado (processo 88881.119097/2016-1, Texas A&M University) pela CAPES, e bolsa de produtividade pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Process 301343/2012-8).

Conformidade com o padrão ético

Foram respeitadas todas as diretrizes internacionais, nacionais e/ou institucionais aplicáveis para o cuidado e uso de animais.

Conflito de interesses

Os autores declaram não ter conflito de interesses.

Referências

- Abram, N. K., Xofis, P., Tzanopoulos, J., MacMillan, D. C., Ancrenaz, M., Chung, R., Peter, L., Ong, R., Lackman, I., Goossens, B., Ambu, L., Knight, A. T., 2014. Synergies for Improving Oil Palm Production and Forest Conservation in Floodplain Landscapes. *PLoS One* 9(6), e95388. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095388>
- Allan, J.D., Castillo, M.M., 2007. *Stream ecology: structure and function of running waters*. – Springer Science & Business Media.
- Almeida, A. S., Vieira, I. C. G., 2013. *Sumário Executivo: Cenários para a Amazônia – Área de Endemismo Belém*. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém.
- Almeida S. M., Silva L. C., Cardoso M. R., Cerqueira P. V., Juen L., Santos M. P., 2016. The effects of oil palm plantations on the functional diversity of Amazonian birds. *J. Trop. Ecol.* 5:1-16. <https://doi.org/10.1017/S0266467416000377>
- Arantes, C. C., Winemiller, K. O., Petrere, M., Castello, L., Hess, L. L., Freitas, C. E. C., 2018. Relationships between forest cover and fish diversity in the Amazon River floodplain. *J. Appl. Ecol.* 55(1), 386–395. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12967>

- Aratrakorn, S., Thunhikorn, S., Donald, P. F., 2006. Changes in bird communities following conversion of lowland forest to oil palm and rubber plantations in southern Thailand. *Bird Conserv. Int.* 16(1), 71-82. <http://doi.org/10.1017/S0959270906000062>
- Autodesk, 2004. AutoCAD: Graphic computation. Autodesk Inc, San Rafael.
- Azhar, B., Lindenmayer, D. B., Wood, J., Fischer, J., Zakaria, M., 2014. Ecological impacts of oil palm agriculture on forest mammals in plantation estates and smallholdings. *Biodivers. Conserv.* 23:1175-1191. <https://doi.org/10.1007/s10531-014-0656-z>
- Bojsen, B.H., Barriga, R., 2002. Effect of deforestation on fish community structure in Ecuadorian Amazon streams. *Freshw. Biol.* 47(11), 2246-2260. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2002.00956.x>
- Breda, L., De Oliveira, E. F., Goulart, E., 2005. Ecomorfologia de locomoção de peixes com enfoque para espécies neotropicais. *Acta Sci. (Biol. Sci.)* 27(4), 371-381.
- Brejão, G. L., Gerhard, P., Zuanon, J., 2013. Functional trophic composition of the ichthyofauna of forest streams in eastern Brazilian Amazon. *Neotrop. Ichthyol.* 11(2), 361-373. <http://dx.doi.org/10.1590/S1679-62252013005000006>.
- Buck, S., Sazima, I., 1995. An assemblage of mailed catfishes (Loricariidae) in southeastern Brazil: distribution, activity, and feeding. *Ichthyol. Explor. Freshw.* 6, 325-332.
- Casatti, L., Teresa, F. B., Gonçalves-Souza, T., Bessa, E., Manzotti, A. R., Gonçalves, C. D. S., Zeni, J. D. O., 2012 From forests to cattail: how does the riparian zone influence stream fish? *Neotrop. Ichthyol.* 10(1), 205-214. <http://doi.org/10.1590/S1679-62252012000100020>
- Casotti, G. C., Kiffe-Jr, W. P., Costa, L. C., Rangel, J. V., Casagrande, L. C., Moretti, M. S, 2015. Assessing the importance of riparian zones conservation for leaf decomposition in streams. *Braz. J. Nature Conserv.*, 13(2015), 178–182. <http://doi.org/10.1016/j.ncon.2015.11.011>
- Cornwell, W. K., Schwilk, D. W., Ackerly, D. D., 2006. A trait-based test for habitat filtering: convex hull volume. *Ecology* 87, 1465–1471. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2006\)87\[1465:ATTFHF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2006)87[1465:ATTFHF]2.0.CO;2)
- Correa, F. S., Juen, L., Rodrigues, L. C., Silva-Filho, H. F., Santos-Costa, M. C., 2015. Effects of oil palm plantations on anuran diversity in the eastern Amazon. *Anim. Biol.* 65(3-4), 321-335. <http://doi.org/10.1163/15707563-00002481>
- Díaz, S., Fargione, J., Chapin III, F. S., Tilman, D., 2006. Biodiversity loss threatens human well-being. *PLoS Biol* 4(8), e277. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0040277>
- Dislich, C., Keyel, A. C., Salecker, J., Kisel, Y., Meyer, K. M., Auliya, M., Barnes, A. D., Corre, M. D., Darras, K., Faust, H., Hess, B., Klasen, S., Knohl, A., Kreft, H., Meijide, A., Nurdiansyah, F., Otten, F., Pe'er, G., Steinebach, S., Tarigan, S., Tölle, M. H., Tschardtke, T., Wiegand, K., 2017. A review of the ecosystem functions in oil palm plantations, using forests as a reference system. *Biol. Rev.* 92, 1539-1569. <https://doi.org/10.1111/brv.12295>

- Dolédec, S., Chessel, D., terBraak, C. J. F., Champely, S., 1996. Matching species traits to environmental variables: A new three-table ordination method. *Environ. Ecol. Stat.* 3, 143-166. <https://doi.org/10.1007/BF02427859>
- Dray, S., Dufour, A. B., 2007. The ade4 package: Implementing the duality diagram for ecologists. *J. Stat. Soft.* 22(4), 1-20.
- Edwards, F. A., Edwards, D. P., Sloan, S., Hamer, K. C., 2014. Sustainable management in crop monocultures: the impact of retaining forest on oil palm yield. *PLoS One* 9(3), e91695. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0091695>
- Espírito-Santo, H. M. V., Magnusson, W. E., Zuanon, J., Mendonça, F. P., Landeiro, V. L., 2009. Seasonal variation in the composition of fish assemblages in small Amazonian forest streams: evidence for predictable changes. *Freshw. Biol.* 54, 536–548. <http://doi.org/10.1111/J.1365-2427.2008.02129.X>
- ESRI, 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Environmental Systems Research Institute, Redlands.
- Faruk, A., Belabut, D., Ahmad, N., Knell, R. J., Garner, T. W. J., 2013. Effects of Oil-Palm Plantations on Diversity of Tropical Anurans. *Conserv. Biol.* 27(3), 615-624.
- Farumo, P. R., Aide, T. M., 2017. Characterizing commercial oil palm expansion in Latin America: land use change and trade. *Environ. Res. Lett.* 12(2), 041001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa5892>
- Ferreira, M. C., Begot, T. O., Prudente, B. S., Juen, L., Montag, L. F. A., 2018. Effects of oil palm plantations on habitat structure and fish assemblages in Amazon streams. *Environ. Biol. Fish* 101(4),547-562. <http://doi.org/10.1007/s10641-018-0716-4>
- Fitzherbert, E. B., Struebig, M. J., Morel, A., Danielsen, F., Brühl, C. A., Donald, P. F., Phalan, B., 2008. How will oil palm expansion affect biodiversity. *Trends Ecol. Evol.* 23(10),538-545. <http://doi.org/10.1016/j.tree.2008.06.012>
- Flynn, D. F., Gogol-Prokurat, M., Nogeire, T., Molinari, N., Richers, B. T., Lin, B. B., Simpson, N., Mayfield, M. M., DeClerck, F., 2009. Loss of functional diversity under land use intensification across multiple taxa. *Ecol. Lett.* 12, 22-33. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01255.x>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO (2015) Statistic Division. <http://faostat3.fao.org/home/E>. (accessed 12 December 2017)
- Foster W. A., Snaddon J. L., Turner E. C., Fayle T. M., Cockerill T. D., Ellwood M. D., Broad, G. R., Chung, A. Y., Eggleton, P., Khen, C. V., Yusah, K. M., 2011. Establishing the evidence base for maintaining biodiversity and ecosystem function in the oil palm landscapes of South East Asia. *Philos. Trans. R. Soc. Biol. Sci.* 366, 3277–3291. <http://doi.org/10.1098/rstb.2011.0041>
- Freudman, A., Mollik, P., Tschapka, M., Schulze, C. H., 2015. Impacts of oil palm agriculture on phyllostomid bat assemblages. *Biodivers. Conserv.* 24, 3583-3599. <http://doi.org/10.1007/s10531-015-1021-6>

- Frimpong, E. A., Angermeier, P. L., 2009. Fish traits: a database of ecological and life-history traits of freshwater fishes of the United States. *Fisheries* 34, 487–495. <https://doi.org/10.1577/1548-8446-34.10.487>
- Gatz, A. J., 1979. Ecological morphology of freshwater stream fishes. *Tulane Stud. Zool. Bot.* 21, 91-124.
- Géry, J., 1977. *Characoids of the world*. T.F.H. Publications, Neptune City.
- Giam, X., Hadiaty, R. K., Tan, H. H., Parenti, L. R., Wowor, D., Sauri, S., Chong, K. Y., Yeo, D. C. J., Wilcove, D. S., 2015. Mitigating the impact of oil-palm monoculture on freshwater fishes in Southeast Asia. *Conserv. Biol.* 29(5), 1357–1367. <http://doi.org/10.1111/cobi.12483>
- Gilroy, J. J., Prescott, G. W., Cardenas, J. S., Castañeda, P. G., Sánchez, A., Rojas-Murcia, L. E., Medina Uribe, C. A., Hugaasen, T., Edwards, D. P., 2015. Minimizing the biodiversity impact of Neotropical oil palm development. *Glob. Change Biol.* 21, 1531-1540. <https://doi.org/10.1111/gcb.12696>
- Harris, J. H., 1995. The use of fish in ecological assessments. *Aust. J. Ecol.* 20, 65-80. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1995.tb00523.x>
- Hayes, M. L., 1983. Active fish capture methods. In: Nielsen, L. A., Johnson, D. L. (Eds.) *Fisheries Techniques*. American Fisheries Society, Maryland.
- Hooper, D. U., Chapin, F. S., Ewel, J. J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J. H., Lodge, D. M., Loreau, M., Naeem, S., Schmid, B., Setälä, H., Symstad, A. J., Vandermeer, J., Wardle, D. A., 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecol. Monograph*. 75: 3-35. <https://doi.org/10.1890/04-0922>
- Hutchinson, G. E., 1975. *Population studies: Animal ecology and demography*. Concluding Remarks. *Cold Spring Harb. Sym.* 22, 415-427.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2016. *Indian Remote Sensing*. <http://www.dgi.inpe.br/siteDgi/Satelites/irsp6.php>. (accessed 23 September 2017)
- Jaramillo-Villa, U., Caramaschi, E. P., 2008. Índice de integridade biótica usando peixes de água doce: uso nas regiões tropicais e subtropicais. *Oecologia Bras.* 12(3), 442-462. <http://doi.org/10.4257/oeco.2008.1203.06>
- Juen, L., Cunha, E. J., Carvalho, F. G., Ferreira, M. C., Begot, T. O., Andrade, A. L., Shimano, Y., Leão, H., Pompeu, P. S., Montag, L. F., 2016. Effects of Oil Palm plantations on the habitat structure and biota of streams in Eastern Amazon. *River Res. Applic.* 32(10):2081-2094. <https://doi.org/10.1002/rra.3050>
- Keddy, P. A., 1992. Assembly and response rules: two goals for predictive community ecology. *J. Veg. Sci.* 3, 157-164. <https://doi.org/10.2307/3235676>
- Koh, L. P., Levang, P., Ghazoul, J., 2009. Designer landscapes for sustainable biofuels. *Trends Ecol. Evol.* 24(8), 431-438. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.03.012>

- Koh, L. P., Wilcove, D. S., 2010. Is oil palm agriculture really destroying tropical biodiversity? *Cons. Lett.* 1(2), 60-64. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2008.00011.x>
- Kullander, S. O., 1986. *Cichlid Fishes of the Amazon River drainage of Peru*. Swedish Museum of Natural History, Stockholm.
- Laurance, W. F., Sayer, J., Cassman, K. G., 2014. Agricultural expansion and its impacts on tropical nature. *Trends Ecol. Evol.* 29(2), 107-116. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.12.001>
- Lê, S., Josse, J., Husson, F., 2008. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *J. Stat. Soft.* 25(1), 1-18.
- Lee-Cruz, L., Edwards, D. P., Tripathi, B. M., Adams, J. M., 2013. Impact of Logging and Forest Conversion to Oil Palm Plantations on Soil Bacterial Communities in Borneo. *Appl. Environ. Microb.* 79(23), 7290-7297. <http://doi.org/10.1128/AEM.02541-13>
- Lees, A. C., Moura, N. G., Almeida, A. S., Vieira, I. C. G., 2015. Poor prospects for avian biodiversity in Amazonian oil palm. *PLoS One* 10(5), 1-17. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0122432>
- Leitão, R. P., Zuanon, J., Mouillot, D., Leal, C. G., Hughes, R. M., Kaufmann, P. R., Villéger, S., Pompeu, P. S., Kasper, D., de Paula, F. R., Ferraz, S. F., Gardner, T. A., 2018. Disentangling the pathways of land use impacts on the functional structure of fish assemblages in Amazon streams. *Ecography* 41, 219-232. <https://doi.org/10.1111/ecog.02845>
- Luiza-Andrade, A., Brasil, L. S., Benone, N. L., Shimano, Y., Farias, A. P. J., Montag, L. F., Dolédec, S., Juen, L., 2017. Influence of oil palm monoculture on the taxonomic and functional composition of aquatic insect communities in eastern Brazilian Amazonia. *Ecol. Indic.* 82, 478-483. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.006>
- Luskin M. S., Potts M. D., 2011. Microclimate and habitat heterogeneity through the oil palm lifecycle. *Basic Appl. Ecol.* 12, 540-551. <http://doi.org/10.1016/j.baae.2011.06.004>
- Mason, N. W. H., Mouillot, D., Lee, W. G., Wilson, J. B., 2005. Functional richness, functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity. *Oikos* 111, 112-118. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2005.13886.x>
- Mendes-Oliveira, A. C., Peres, C., Maués, P. C. R. A., Oliveira, G. L., Mineiro, I. G. B., Maria, S. L. S., Lima, R. C. S., 2017. Oil palm monoculture induces drastic erosion of an Amazonian forest mammal fauna. *Plos One* 12(11), e0187650. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0187650>
- Molina, M. C., Roa-Fuentes, C. A., Zeni, J. O., Casatti, L., 2017 The effects of land use at different spatial scales on instream features in agricultural streams. *Limnologia* 65, 14-21. <http://doi.org/10.1016/j.limno.2017.06.001>
- Mouchet, M. A., Villéger, S., Mason, N. W. H., Mouillot, D., 2010. Functional diversity measures: an overview of their redundancy and their ability to discriminate community assembly rules. *Funct. Ecol.* 24,867-876. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2010.01695.x>

Murray, B. D., Holland, J. D., Summerville, K. S., Dunning, J. B., Saunders, M. R., Jenkins, M. A., 2017. Functional diversity response to hardwood forest management varies across taxa and spatial scales. *Ecol. Appl.* 27, 1064-1081. <https://doi.org/10.1002/eap.1532>

Ohlberger, J., Staaks, G., Hölker, F., 2006. Swimming efficiency and the influence of morphology on swimming costs in fishes. *J. Comp. Physiol. B.* 176, 17-25. <https://doi.org/10.1007/s00360-005-0024-0>

Oliveira, L. L., Fontinhas, R. L., Lima, A. M. M., Lima, R. J. S., 2002. Mapas dos parâmetros climatológicos do Estado do Pará: umidade, temperatura e insolação, médias anuais. *Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia*. Sociedade Brasileira de Meteorologia, Fortaleza.

Pavoine, S., Vallet, J., Dufort, A., Gachet, S., Daniel, H., 2009. On the challenge of treating various types of variables: application for improving the measurement of functional diversity. *Oikos* 118,391–402. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2008.16668.x>

Peel, M. C., Finlayson, B. L., McMahon, T. A., 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11(5), 1633-1644. <http://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>

Peck, D. V., Herlihy, A. T., Hill, B. H., Hughes, R. M., Kaufmann, P. R., Klemm, D. J., Lazorchak, J. M., McCormick, F. H., Peterson, S. A., Ringold, P. L., Magee, T., Cappaert, M., 2006. Environmental monitoring and assessment program-surface water western pilot study: Field operations manual for wadeable streams. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington.

Petchey, O. L., Gaston, K. J., 2002. Functional diversity (FD), species richness and community composition. *Ecol. Lett.* 5, 402–411. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2002.00339.x>

Petchey, O. L., Gaston, K. J., 2006. Functional diversity: back to basics and looking forward. *Ecol. Lett.* 9(6), 741-758. <http://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00924.x>

Petchey, O. L., Evans, K. L., Fishburn, I. S., Gaston, K. J., 2007. Low functional diversity and no redundancy in British avian assemblages. *J. Anim. Ecol.* 76, 977-985. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2007.01271.x>

Pezzanite, B., Moller, P., 1998 A sexually dimorphic basal anal-fin ray expansion in the weakly discharging electric fish *Gnathonemus petersii*. *J. Fish Biol.* 53(3), 638-644.

Pouilly, M. Lino, F., Bretenoux, J. G., Rosales, C., 2003. Dietary-morphological relationships in a fish assemblage of the Bolivian Amazonian floodplain. *J. Fish Biol.* 62, 1137-1158. <https://doi.org/10.1046/j.1095-8649.2003.00108.x>

Prescott, G. W., Gilroy, J. J., Haugaasen, T., Medina Uribe, C. A., Foster, W. A., Edwards, D. P., 2016. Reducing the impacts of Neotropical oil palm development on functional diversity. *Biol. Conserv.* 197, 139-145. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.02.013>

Prudente, B. S., Pompeu, P. S., Juen, L., Montag, L. F. A., 2017. Effects of reduced-impact logging on physical habitat and fish assemblages in streams of Eastern Amazonia. *Freshw. Biol.*, 62, 303–316. <http://doi.org/10.1111/fwb.12868>.

- Pusey, B. J., Arthington, A. H., 2003. Importance of the riparian zone to the conservation and management of freshwater fish: a review. *Mar. Freshw. Res.* 54, 1-16. <http://doi.org/10.1071/MF02041>
- Py-Daniel, L. H. R., Fernandes, C. C., 2005. Dimorfismo sexual em Siluriformes e Gymnotiformes (Ostariophysi) da Amazônia. *Acta Amazon.* 35(1), 97-110.
- R Development Core Team, 2015. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- RapidEye, 2015. Satellite imagery product specifications. <http://geocatalogo.ibama.gov.br/> (accessed 23 September 2017).
- Rawi, C. S. M., Al-Shami, S. A., Madrus, M. R., Ahmad, A. H., 2013. Local effects of forest fragmentation on diversity of aquatic insects in tropical forest streams: implications for biological conservation. *Aquat. Ecol.* 47(1),75-85. <http://doi.org/10.1007/s10452-012-9426-8>
- Reis, R. E., Kullander, S. O., Ferraris, C. J., 2003. Check List of the Freshwater Fishes of South and Central America (1st ed.). Porto Alegre, Brazil.
- Reis-Neto, S., 2010. Acompanhamento da Safra Brasileira: Palma Safra 2010. Segundo Levantamento. CONAB, Brasília.
- Riemann, J. C., Ndriantsoa, S. H., Rödel, M., Glos, J., 2017. Functional diversity in a fragmented landscape - Habitat alterations affect functional trait composition of frog assemblages in Madagascar. *Global Ecol. Conserv.* 10, 173-183. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2017.03.005>
- Schneider, K.N., Winemiller, K.O., 2008. Structural complexity of woody debris patches influences fish and macroinvertebrate species richness in a temperate floodplain-river system. *Hydrobiologia* 610, 235-244. <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9438-5>
- Sheil, D., Casson, A., Meijaard, E., van Noordwijk, M., Gaskell, J., Sunderland-Groves, J., Wertz, K., Kanninen, M., 2009 The impacts and opportunities of oil palm in Southeast Asia: What do we know and what do we need to know?. Occasional Paper 51. Center for International Forestry Research (CIFOR), Bogor.
- Soares, B. E., Ruffeil, T. O. B., Montag, L. F. A., 2013. Ecomorphological patterns of the fishes inhabiting the tide pools of the Amazon Coastal Zone, Brazil. *Neotrop. Ichthyol.* 11(4), 845-858. <http://dx.doi.org/10.1590/S1679-62252013000400013>
- Sodhi, N.S., Koh, L.P., Brook, B.W., Ng, P.K., 2004. Southeast Asian biodiversity: an impending disaster. *Trends Ecol. Evol.* 19(12), 654-660. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2004.09.006>
- Silva, R. R., Brandão, C. R. F., 2014. Ecosystem-wide morphological structure of leaf-litter ant communities along a tropical latitudinal gradient. *PLoS One* 9(3), e93049. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093049>
- Strahler, A. N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Trans. Am. Geophys. Union* 38(6), 913-920. <http://doi.org/10.1029/TR038i006p00913>

- Su, G., Xu, J., Akasaka, M., Molinos, J. G., Matsuzaki, S. S., 2015. Human impacts on functional and taxonomic homogenization of plateau fish assemblages in Yunnan, China. *Global Ecol. Conserv.* 4, 470-478. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gecco.2015.09.002>
- Tilman, D., 2001. Functional diversity. In: Levin, S. A. (Eds.), *Encyclopedia of Biodiversity*. Academic Press, San Diego.
- Toussaint, A., Charpin, N., Brosse, S., Villéger, S., 2016. Global functional diversity of freshwater fish is concentrated in the Neotropics while functional vulnerability is widespread. *Sci. Rep.* 6, 22125. <http://doi.org/10.1038/srep22125>
- Turner, E. C., Foster, W. A., 2009. The impact of forest conversion to oil palm on arthropod abundance and biomass in Sabah, Malaysia. *J. Trop. Ecol.* 25(1),23-30. <http://doi.org/10.1017/S0266467408005658>
- Turner, E. C., Snaddon, J. L., Ewers, R. M., Fayle, T. M., Foster, W. A., 2011. The impact of oil palm expansion on environmental change: putting conservation research in context. *Environmental Impact of Biofuels*. InTech, Rijeka.
- Uieda, V. S., Castro, R. M. C., 1999). Coleta e fixação de peixes de riachos. In: Caramaschi, E. P., Mazzoni R., Peres-Neto, P. R. (eds). *Ecologia de Peixes de Riachos, Rio de Janeiro, Brazil*.
- Vieira, I. C. G., Toledo, P. M., Silva, J. M. C., Higuchi, H. I., 2008. Deforestation and threats to the biodiversity of Amazonia. *Braz. J. Biol.* 68(4), 949-956. <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842008000500004>.
- Villéger, S., Mason, N. W. H., Mouillot, D., 2008. New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. *Ecology* 89, 2290-2301. <https://doi.org/10.1890/07-1206.1>
- Violle, C., Reich, P. B., Pacala, S. W., Enquist, B. J., Kattge, J., 2014. The emergence and promise of functional biogeography. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 111(38), 13690-13696. <https://doi.org/10.1073/pnas.1415442111>
- Vitule, J. R. S., Agostinho, A. A., Azevedo-Santos, V. M., Daga, V. S., Darwall, W. R. T., Fitzgerald, D. B., Frehse, F. A., Hoeninghaus, D. J., Lima-Junior, D. P., Magalhães, L. B., Orsi, M. L., Padial, A. A., Pelicice, F. M., Petreire, M., Pompeu, P. S., Winemiller, K. O., 2017. We need better understanding about functional diversity and vulnerability of tropical freshwater fishes. *Biodivers. Conserv.* 26, 757–762. <https://doi.org/10.1007/s10531-016-1258-8>
- Wainwright, P. C., Bellwood, D. R., Westneat, M. W., 2002. Ecomorphology of locomotion in labrid fishes. *Environ. Biol. Fishes* 65,47–62. <https://doi.org/10.1023/A:1019671131001>
- Watson, D. J., Balon, E. K., 1984. Ecomorphological analysis of taxocenes in rainforest streams of northern Borneo. *J. Fish. Biol.* 25, 371-384. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1984.tb04885.x>
- Winemiller, K. O., 1987. Feeding and reproductive biology of the currito, *Hoplosternum littorale*, in the Venezuelan llanos with comments on the possible function of the enlarged male pectoral spines. *Environ. Biol. Fish* 20(3), 219-227.

- Winemiller, K. O., 1991. Ecomorphological diversification in lowland freshwater fish assemblages from five biotic regions. *Ecol. Monogr.* 61, 343-365. <https://doi.org/10.2307/2937046>
- Winemiller, K. O., Fitzgerald, D. B., Bower, L. M., Pianka, E. R., 2015. Functional traits, convergent evolution, and periodic tables of niches. *Ecol. Lett.* 18, 737-751. <http://doi.org/10.1111/ele.12462>
- Yue, S., Brodie, J. F., Zipkin, E. F., Bernard, H., 2015. Oil palm plantations fail to support mammal diversity. *Ecol. Appl.* 25(8), 2285-2292. <https://doi.org/10.1890/14-1928.1>

Material suplementar – Capítulo 3

Tabela S1 Descrição dos métodos de amostragem de cada variável do habitat físico de riachos amostrado na Amazônia Oriental.

Variável do habitat físico	Código	Média ± DP	Método de amostragem
Média da largura do leito sazonal (m)	XBKF_W	16,38 ± 15,9	Calculada utilizando a largura máxima que o riacho pode atingir no período de cheia. É medida em cada seção transversal, totalizando 11 medidas no trecho amostrado
Média Altura Incisão (m)	XINC_H	2,8 ± 2,2	Medida estimada da profundidade do vale em que o riacho se encontra
Média de imersão (Canal + Margens) (%)	XEMBED	60,95 ± 20,7	Estimativa visual da quantidade de sedimentos finos (< 2mm) depositado no fundo dos riachos
Raízes finas (%)	PCT_RZ	9,39 ± 8,6	Mensuradas em cinco pontos equidistantes (margem direita, centro-direita, centro, centro-esquerda e margem esquerda)
Média de cobertura ripária total	XCMG	142,21 ± 71,9	Mensuradas através de estimativas visuais, considerando uma área de 10m ² em cada seção transversal, em ambas as margens do canal
Número Madeira pequena no leito	C1W_MSQ	0,16 ± 0,1	Quantidade de madeira, medindo entre 10cm e 50cm de diâmetro na maior largura e até 100cm de comprimento, dentro do leito do riacho
Média Abrigo - Madeira Grande	XFC_PMG	13,08 ± 14,4	Estimativa visual da quantidade de madeira grande (> 30cm de diâmetro) em um trecho de cinco metros a montante e a jusante da seção transversal
Proporção de impacto humano	X_HNOAG	0,55 ± 0,3	Estimada de forma qualitativa (presença ou ausência) em uma área de 100m ² em torno da seção transversal em ambas as margens do canal. As categorias avaliadas foram: canalização/ barramento, construções, estradas, rodovias/ ferrovias, canos (captação/ descarga), entulho/ lixo, parque/ gramado e desmatamento.

Tabela S2 Feições do uso de solo identificados e quantificados em buffers de 300 metros ao redor dos riachos amostrados na Amazônia Oriental, Pará, Brasil. Os valores exibidos estão em porcentagem.

Unidade amostral	Floresta	Palma de dendê	Área de Pastagem	Solo exposto
P10P2	31,6	68,4	0	0
P16P8	22,3	77,7	0	0
P20P12	40,4	56	0	3,6
P21P13	42,9	57,1	0	0
P22F9	100	0	0	0
P23F10	100	0	0	0
P24P14	36,8	63,2	0	0
P25P15	77,1	22,9	0	0
P27P17	16,9	83,1	0	0
P2F2	100	0	0	0
P30P20	25,8	74,2	0	0
P31P21	55,7	44,3	0	0
P32P22	41,8	55,7	0	2,5
P34F12	74,8	0	0	25,2
P35F13	100	0	0	0
P36F11	99	0	0	1
P37P24	41,9	58,1	0	0
P3F3	100	0	0	0
P5F5	100	0	0	0
P6F6	100	0	0	0
P7F7	73,9	26,1	0	0
P9P1	17,0	83	0	0
PALM03	48,4	51,6	0	0
PALM12	33,9	66,1	0	0
PALM16	31,2	23,7	26,3	0
PALM18	81,9	18,1	0	0
PALM19	73,4	26,6	0	0
PALM20	17,4	82,6	0	0
PALM2016-1	19,3	80,7	0	0
PALM2016-2	34,2	48,4	17,4	0
PALM2016-3	61,9	38,1	0	0
PALM22	18,8	81,2	0	0
PST_TA_01	22,1	0	77,9	0
PST_TA_02	63,7	18,1	18,3	0
PST_TA_03	0	0	100	0
PST_TA_04	10,8	0	89,2	0
PST_TA_05	34,5	0	65,5	0
PST_TA_06	22,4	0	77,6	0
PST_TA_08	66,1	0	33,9	0

Tabela S3 Descrição dos atributos funcionais ecológicos amostrados para peixes de riachos da Amazônia Oriental. A definição dos atributos, bem como as categorias foram adaptados do proposto por Brejão et al. (2013) e Winemiller et al. (2015).

	Classificação	Descrição
Guilddatrófica	Onívoro	Se alimentam de vegetais, detritos e invertebrados
	Invertívoro	Se alimentam de insetos terrestres e aquáticos
	Invertívoro autóctone	Se alimentam preferencialmente de uma variedade de insetos terrestres (p.e. formigas e aranhas)
	Invertívoro alóctone	Se alimentam preferencialmente de uma variedade de insetos aquáticos (p.e. larvas de macroinvertebrados)
	Carnívoro	Se alimentam de outros animais (p.e. peixes e anfíbios)
	Perifítívoro	Se alimentam de partículas finas de matéria orgânica e algas
Habitat	Bentônico	Ocupam a porção mais profunda do riacho, próximo ao substrato
	Nectônimo	Ocupam a coluna d'água
	Nectobentônico	Ocupam tanto a coluna d'água quanto a porção mais profunda dos riachos
	Superfície Associado a estruturas	Ocupam a porção mais superior do riacho, próximo a lâmina d'água Ocupam áreas com maior heterogeneidade de habitat (p.e. galhos e rochas)
Capacidade natatória	Sedentário	Pouco se locomovem, ficando a maior parte do tempo no mesmo micro-habitat
	Intermediário	Se locomovem, frequentando alguns poucos micro-habitat
	Ativo	Se locomovem com alta frequência, visitando diversos micro-habitat
Habitat de forrageio	Coluna d'água	Buscam alimentos na coluna d'água e na superfície
	Substrato	Buscam alimentos na porção mais profunda do riacho, associado ao substrato

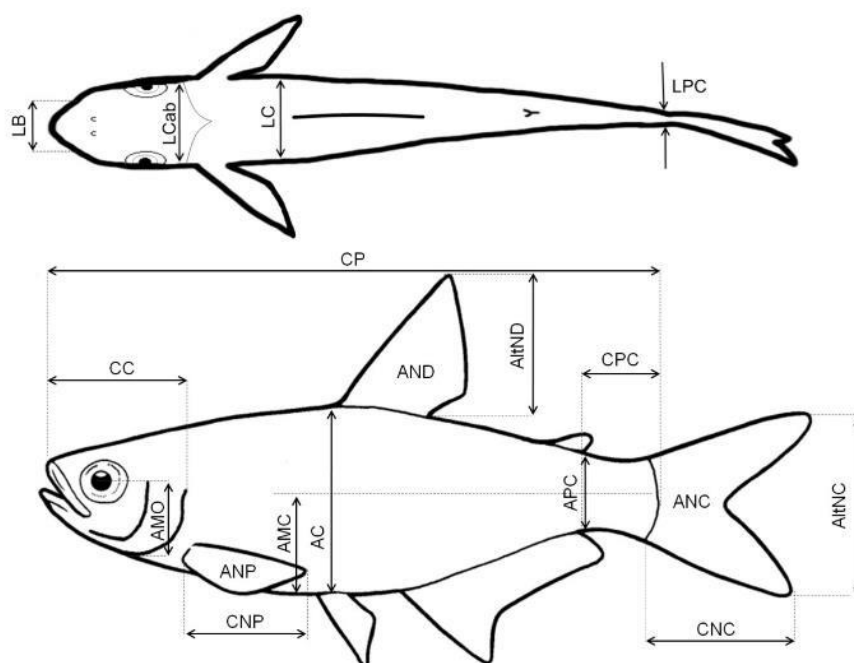


Figura S1 Ilustração das medidas morfológicas utilizadas no cálculo da diversidade funcional (Fonte: Prudente, BS. LABECO/UFGA).

Tabela S4 Lista de espécies de peixes coletadas nos anos de 2012, 2013, 2015 e 2016 em Igarapés da Amazônia Oriental. As espécies destacadas (*) foram retiradas das análises.

Táxon	Abundância	Código
Beloniformes		
Belonidae		
<i>Potamorhaphis</i> sp.*	1	Pot_sp
Characiformes		
Acestrorhynchidae		
<i>Gnathocharax steindachneri</i> Fowler, 1913	9	Gna_ste
Characidae		
<i>Hemigrammus bellottii</i> (Steindachner, 1882)	450	Hem_bel
<i>Hemigrammus geisleri</i> Zarske & Géry, 2007	11	Hem_gei
<i>Hemigrammus ocellifer</i> (Steindachner, 1882)	214	Hem_oce
<i>Hyphessobrycon bentosi</i> Durbin, 1908	6	Hyp_ben
<i>Hyphessobrycon heterorhabdus</i> (Ulrey, 1894)	1870	Hyp_het
<i>Moenkhausia collettii</i> (Steindachner, 1882)	8	Moe_col
<i>Moenkhausia comma</i> Eigenmann, 1908	14	Moe_com
<i>Moenkhausia</i> sp.*	1	Moe_sp
Crenuchidae		
<i>Ammocryptocharax elegans</i> Weitzman & Kanazawa, 1976	6	Amm_ele
<i>Characidium</i> sp.	4	Cha_sp
<i>Crenuchus spilurus</i> Günther, 1863	154	Cre_spi
<i>Melanocharacidium dispilomma</i> Buckup, 1993	5	Mel_dis
<i>Microcharacidium weitzmani</i> Buckup, 1993	3658	Mic_wei
Curimatidae		
<i>Curimatopsis crypticus</i> Vari, 1982	3	Cur_cry
Erythrinidae		
<i>Erythrinus erythrinus</i> (Bloch & Schneider, 1801)	51	Ery_ery
<i>Hoplias curupira</i> * Oyakawa & Mattox, 2009	2	Hop_cur
<i>Hoplias malabaricus</i> (Bloch, 1794)	23	Hop_mal
Gasteropelecidae		
<i>Carnegiella strigata</i> (Günther, 1864)	123	Car_str
Iguanodectidae		
<i>Bryconops caudomaculatus</i> * (Günther, 1864)	1	Bry_cau
<i>Iguanodectes rachovii</i> Regan, 1912	372	Igu_rac
Lebiasinidae		
<i>Copella arnoldi</i> (Regan, 1912)	1325	Cop_arn
<i>Nannostomus eques</i> Steindachner, 1876	11	Nan_equ
<i>Nannostomus nitidu</i> * Weitzman, 1978	2	Nan_nit
<i>Nannostomus trifasciatus</i> Steindachner, 1876	141	Nan_tri
<i>Pyrhulina</i> aff. <i>brevis</i> Steindachner, 1876	191	Pyr_bre
Cyprinodontiformes		
Rivulidae		
<i>Anablepsoides urophthalmus</i> (Günther, 1866)	270	Ana_uro
<i>Laimosemion strigatus</i> (Regan, 1912)	416	Lai_str
Gymnotiformes		
Gymnotidae		

<i>Gymnotus carapo</i> Linnaeus, 1758	7	Gym_car
<i>Gymnotus coropinae</i> Hoedeman, 1962	41	Gym_cor
<i>Gymnotus</i> sp.	3	Gym_sp
Hypopomidae		
<i>Brachyhypopomus beebei</i> (Schultz, 1944)	133	Bra_bee
<i>Brachyhypopomus brevirostris</i> (Steindachner, 1868)	16	Bra_bre
<i>Brachyhypopomus bullocki</i> Sullivan & Hopkins, 2009	29	Bra_bul
<i>Brachyhypopomus</i> sp.1	59	Bra_sp1
<i>Brachyhypopomus</i> sp.2	30	Bra_sp2
<i>Hypopygus lepturus</i> Hoedeman, 1962	108	Hyp_lep
<i>Microsternarchus bilineatus</i> Fernández-Yépez, 1968	54	Mic_bil
<i>Steatogenys elegans</i> (Steindachner, 1880)	18	Ste_ele
Rhamphichthyidae		
<i>Gymnorhamphichthys petiti</i> Géry & Vu, 1964	365	Gym_pet
Sternopygidae		
<i>Eigenmannia trilineata</i> López & castello, 1966	5	Eig_tri
<i>Sternopygus macrurus</i> (Bloch & Schneider, 1801)	3	Ste_mac
Perciformes		
Cichlidae		
<i>Acaronia nassa</i> (Heckel, 1840)	9	Aca_nas
<i>Aequidens tetramerus</i> (Heckel, 1840)	69	Aeq_tet
<i>Apistogramma agassizii</i> (Steindachner, 1875)	249	Api_aga
<i>Apistogramma</i> gr. <i>regani</i> Kullander, 1980	1326	Api_reg
<i>Crenicara punctulatum</i> (Günther, 1863)	3	Cre_pun
<i>Crenicichla</i> gr. <i>saxatilis</i> (Linnaeus, 1758)	5	Cre_sax
<i>Crenicichla reticulata</i> (Heckel, 1840)	5	Cre_ret
<i>Crenicichla</i> sp.*	1	Cre_sp
<i>Geophagus</i> sp.*	2	Geo_sp
<i>Hypselecara temporalis</i> * (Günther, 1862)	2	Hyp_tem
<i>Nannacara taenia</i> Regan, 1912	223	Nan_tae
Polycentridae		
<i>Monocirrhus polyacanthus</i> * Heckel, 1840	2	Mon_pol
Siluriformes		
Aspredinidae		
<i>Bunocephalus coracoideus</i> (Cope, 1874)	34	Bun_cor
Auchenipteridae		
<i>Tetranematichthys barthemi</i> * Peixoto & Wosiacki, 2010	2	Tet_bar
Callichthyidae		
<i>Callichthys callichthys</i> * (Linnaeus, 1758)	1	Cal_cal
<i>Megalechis thoracata</i> (Valenciennes, 1840)	4	Meg_tho
Cetopsidae		
<i>Denticetopsis epa</i> * Vari, Ferraris & de Pinna, 2005	2	Den_epa
<i>Helogenes marmoratus</i> Günther, 1863	397	Hel_mar
Heptapteridae		
<i>Gladioglanis conquistador</i> Lundberg, Bornbusch & Mago-Leccia, 1991	273	`
<i>Mastiglanis asopos</i> Bockmann, 1994	41	Mas_aso
<i>Phreatobius cisternarum</i> * Goeldi, 1905	2	Phr_cis
<i>Rhamdia quelen</i> (Quoy & Gaimard, 1824)	14	Rha_que

Loricariidae		
<i>Ancistrus</i> sp.*	1	Anc_sp
<i>Farlowella amazona</i> (Günther, 1864)	27	Far_ama
<i>Otocinclus mura</i> Schaefer, 1997	44	Oto_mur
<i>Rineloricaria hasemani</i> Isbrücker & Nijssen, 1979	12	Rin_has
Pseudopimelodidae		
<i>Batrochoglanis raninus</i> * (Valenciennes, 1840)	2	Bat_ran
Trichomycteridae		
<i>Ituglanis amazonicus</i> (Steindachner, 1882)	106	Itu_ama
<i>Paracanthopoma parva</i> Giltay, 1935	61	Par_par
<i>Potamoglanis hasemani</i> (Eigenmann, 1914)	780	Pot_has
Synbranchiformes		
Synbranchidae		
<i>Synbranchus marmoratus</i> Bloch, 1795	30	Syn_mar

* *Espécies excluídas das análises*

Tabela S5 Atributos funcionais qualitativos para cada espécie de peixes amostrados em riachos da Amazônia Oriental. Os códigos referentes aos atributos funcionais estão expostos na Tabela 1.

Espécie	Código	Guilddatrófica	Habitat	Capacidade natatória	Habitat de forrageio
<i>Aequidens tetramerus</i>	Aeq_tet	ONI	NBT	INT	CDA
<i>Ammocryptocharax elegans</i>	Amm_ele	IAU	AET	SED	CDA
<i>Anablepsoides urophthalmus</i>	Ana_uro	IAL	SUP	SED	CDA
<i>Apistogramma agassizii</i>	Api_aga	IAU	NBT	INT	CDA
<i>Apistogramma gr. regani</i>	Api_reg	INV	NBT	ATI	CDA
<i>Brachyhypopomus beebei</i>	Bra_bee	IAU	NBT	SED	CDA
<i>Brachyhypopomus brevirostris</i>	Bra_bre	IAU	NBT	SED	CDA
<i>Brachyhypopomus bullocki</i>	Bra_bul	IAU	NBT	SED	CDA
<i>Brachyhypopomus</i> sp1	Bra_sp1	IAU	NBT	SED	CDA
<i>Brachyhypopomus</i> sp2	Bra_sp2	IAU	NBT	SED	CDA
<i>Bunocephalus coracoideus</i>	Bun_cor	INV	BEN	SED	SUB
<i>Carnegiella strigata</i>	Car_str	IAL	SUP	INT	CDA
<i>Characidium</i> sp	Cha_sp	IAU	NBT	SED	CDA
<i>Copella arnoldi</i>	Cop_arn	IAL	SUP	SED	CDA
<i>Crenicara punctulatum</i>	Cre_pun	IAU	NBT	INT	CDA
<i>Crenicichla cf. reticulata</i>	Cre_ret	CAR	NBT	SED	CDA
<i>Crenicichla gr. saxatilis</i>	Cre_sax	CAR	NBT	SED	CDA
<i>Crenuchus spilurus</i>	Cre_spi	ONI	NBT	INT	CDA
<i>Curimatopsis crypticus</i>	Cur_cry	ONI	BEN	ATI	CDA
<i>Eigenmannia aff. trilineata</i>	Eig_tri	IAU	NBT	SED	CDA
<i>Erythrinus erythrinus</i>	Ery_ery	CAR	NBT	INT	CDA
<i>Farlowella amazona</i>	Far_ama	PER	AET	SED	SUB
<i>Gladioglanis conquistador</i>	Gla_con	IAU	BEN	SED	CDA
<i>Gnathocharax steindachneri</i>	Gna_ste	INV	SUP	INT	CDA
<i>Gymnorhamphichthys petiti</i>	Gym_pet	IAU	BEN	SED	CDA
<i>Gymnotus gr. carapo</i>	Gym_car	INV	NBT	SED	CDA
<i>Gymnotus gr. coropinae</i>	Gym_cor	CAR	NBT	SED	CDA
<i>Gymnotus</i> sp	Gym_sp	INV	NBT	SED	CDA
<i>Helogenes marmoratus</i>	Hel_mar	IAL	AET	SED	CDA
<i>Hemigrammus bellottii</i>	Hem_bel	IAL	NEC	SED	CDA
<i>Hemigrammus ocellifer</i>	Hem_oce	IAL	NEC	ATI	CDA
<i>Hoplias malabaricus</i>	Hop_mal	CAR	NBT	INT	CDA
<i>Hyphessobrycon bentosi</i>	Hyp_ben	INV	NEC	INT	CDA
<i>Hyphessobrycon heterorhabdus</i>	Hyp_het	INV	NEC	INT	CDA
<i>Hypopygus lepturus</i>	Hyp_lep	IAU	BEN	SED	CDA
<i>Iguanodectes rachovii</i>	Igu_rac	ONI	NEC	SED	CDA
<i>Ituglanis amazonicus</i>	Itu_ama	IAU	BEN	SED	CDA
<i>Laimosemion cf. strigatus</i>	Lai_str	INV	SUP	INT	CDA
<i>Mastiglanis asopos</i>	Mas_aso	INV	BEN	SED	CDA
<i>Megalechis thoracata</i>	Meg_tho	ONI	BEN	INT	CDA

<i>Melanocharacidium dispilomma</i>	Mel_dis	IAU	NBT	INT	CDA
<i>Microcharacidium weitzmani</i>	Mic_wei	IAU	NBT	SED	CDA
<i>Microsternarchus aff. bilineatus</i>	Mic_bil	IAU	BEN	SED	CDA
<i>Moenkhausia collettii</i>	Moe_col	ONI	NEC	INT	CDA
<i>Moenkhausia comma</i>	Moe_com	ONI	NEC	ATI	CDA
<i>Nannacara taenia</i>	Nan_tae	IAU	NBT	SED	CDA
<i>Nannostomus eques</i>	Nan_equ	IAL	SUP	SED	CDA
<i>Nannostomus trifasciatus</i>	Nan_tri	IAL	SUP	SED	CDA
<i>Otocinclus mura</i>	Oto_mur	PER	AET	INT	SUB
<i>Paracanthopoma parva</i>	Par_par	PAR	BEN	SED	CDA
<i>Pyrrhulina aff. brevis</i>	Pyr_bre	IAL	SUP	INT	CDA
<i>Rhamdia quelen</i>	Rha_que	CAR	BEN	INT	CDA
<i>Rineloricaria hasemani</i>	Rin_has	PER	AET	SED	SUB
<i>Steatogenys elegans</i>	Ste_ele	IAU	AET	SED	CDA
<i>Sternopygus macrurus</i>	Ste_mac	CAR	NBT	SED	CDA
<i>Potamoglanis hasemani</i>	Pot_has	IAU	BEN	SED	CDA

CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados obtidos nesta tese evidenciam que a monocultura de palma de dendê modifica a estrutura natural do habitat físico de riacho, afetando a distribuição das espécies de peixes, embora os padrões de diversidade funcional sejam mantidos. No primeiro capítulo, onde os riachos foram categorizados de acordo com o uso de solo predominante na área de drenagem (fragmento florestal ou palma de dendê), as principais modificações na estrutura do habitat físico foram relacionadas ao tipo de substrato, volume de madeira dentro e acima do riacho, impacto humano e oxirredução da água. O que resultou em mudanças na composição específica das assembleias de peixes, onde espécies generalistas foram mais frequentes em riachos que drenam as plantações de dendê. No segundo capítulo, avaliando as características da paisagem na estrutura do habitat físico, evidenciou-se que a retirada da floresta, dando lugar às plantações de dendê, diminuiu a altura da incisão dos riachos, aumentando o carreamento de sedimentos finos para dentro dos corpos d'água, resultando em alterações na diversidade taxonômica das assembleias de peixes. Enquanto que no terceiro capítulo, observou-se que a quantidade de palma de dendê na paisagem próxima aos riachos altera a composição taxonômica, a exemplo do que foi observado no primeiro capítulo, no entanto, a estrutura funcional das comunidades são mantidas, ou seja, não foram registradas alterações nos padrões de diversidade funcional.

Estes resultados comprovam que a substituição de floresta pela monocultura de palma de dendê resulta em alterações nas características naturais dos riachos, principalmente em relação a morfologia do canal, composição do substrato e oferta de abrigo para organismos aquáticos. Essas alterações afetam a estrutura das assembleias de peixes, principalmente em relação à composição e abundância. Por outro lado, mesmo com a substituição, e em alguns casos a perda de espécies, a diversidade funcional das assembleias de peixes foi mantida.

A expansão do dendê na Amazônia é recente, assim como os estudos ecológicos avaliando como o ambiente e a biodiversidade respondem aos possíveis impactos decorrentes desta expansão. Com isso, a continuidade desses estudos é fundamental na avaliação do impacto derivado desta atividade agrícola que seguirá ocupando cada vez mais espaço na paisagem amazônica. Somente com uma produção de conhecimentos em larga escala, os rumos da expansão da palma de dendê na Amazônia poderão ser diferentes do processo ocorrido no sudeste asiático, onde os impactos foram irreversíveis ao ecossistema como um todo, incluindo a biodiversidade, onde espécies foram extintas em escalas locais e regionais.

A alternativa mais viável para a expansão sustentável do dendê é a utilização de áreas já degradadas, seguindo o proposto pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) através do Zoneamento agroecológico do dendenzeiro para áreas desmatadas na Amazônia Legal. Nesse sentido, as plantações de dendê expandem em direção a ambientes já degradados, que em sua

maioria são ocupados pela pecuária, constituindo um cenário de baixa diversidade biológica. Por outro lado, os fragmentos florestais da região serão mantidos, incluindo a vegetação ripária, o que favorece a manutenção das características naturais da paisagem, incluindo os riachos. Mais além, é preciso ainda priorizar os pequenos riachos nas ações de conservação e mitigação de impactos, pois são ambientes fundamentais na manutenção da biodiversidade amazônica e se encontram constantemente ameaçados por atividades antrópicas.

Se respeitado, este zoneamento consistirá em um mecanismo de orientação à implementação da cadeia produtiva do dendê na Amazônia, constituindo bases sólidas de conhecimento técnico-científico, buscando a sustentabilidade dos pontos de vista econômico, social e ambiental.

ANEXO 1

Normas da revista *Environmental Biology of Fishes*, na qual foi publicado o capítulo I desta Tese.

Journal Title

Environmental Biology of Fishes

Impact factor

1.255

Print ISSN

0378-1909

Online ISSN

1573-5133

Publisher

Springer Netherlands

Manuscript Submission

Submission of a manuscript implies: that the work described has not been published before; that it is not under consideration for publication anywhere else; that its publication has been approved by all co-authors, if any, as well as by the responsible authorities – tacitly or explicitly – at the institute where the work has been carried out. The publisher will not be held legally responsible should there be any claims for compensation.

Permissions

Authors wishing to include figures, tables, or text passages that have already been published elsewhere are required to obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format and to include evidence that such permission has been granted when submitting their papers. Any material received without such evidence will be assumed to originate from the authors.

Online Submission

Please follow the hyperlink “Submit online” on the right and upload all of your manuscript files following the instructions given on the screen.

Authorship credit should be based on:

- 1) Substantial contributions to conception and design, acquisition of data, or analysis and interpretation of data;
- 2) Drafting the article or revising it critically for important intellectual content;
- 3) Final approval of the version to be submitted for publication.

All of these conditions should be met by all authors.

Acquisition of funding, collection of data, or general supervision of the research group alone does not constitute authorship.

All contributors who do not meet the criteria for authorship should be listed in an acknowledgments section.

All authors must agree on the sequence of authors listed before submitting the article.

All authors must agree to designate one author as the corresponding author for the submission. It is the responsibility of the corresponding author to dialogue with the co-authors during the peer-reviewing and proofing stages and to also act on their behalf.

If the article is accepted for publication, after acceptance, no changes in authorship, the order of authors, or designation of the corresponding author will be permitted.

Environmental Biology of Fishes welcomes a variety of article types.

Original Papers are original manuscripts that contain new findings in research consistent with the Journal’s aims and scope.

This would include, but is not limited to, new research findings in the fields of ecology, life history, epigenetics, behavior, physiology, morphology and evolution of marine and freshwater fishes. Original Papers can include the presentation of new hypotheses and experiments, concepts or theories, development of innovative experimental or numerical methods, or novel applications of existing methods and models, as well as research exploring the relationship between fishes and their external and internal environments.

The journal will not consider submissions of limited international interest or lacking a substantial impact. In addition, papers that merely comprise data collections based on the use of routine analytical methods are not acceptable. Repetition of already published knowledge, simply applied to the local level, will not be considered, nor will papers that do not highlight and explain clearly the new science versus the current knowledge.

Review Papers do not contain new information, but rather summarize emerging trends or recent developments.

In this section, contributions will be published that might not contain original new data but summarize existing information and synthesize recent findings. These manuscripts contain critical, state-of-the-art reviews with the

objectives of critically evaluating existing knowledge and providing background information for future significant research.

Authors who wish to review a particular topic should consult the Editor-in-Chief prior to submission of the manuscript (ebfi@oregonstate.edu). It should be noted that Review Papers will undergo a similar peer review procedure as Original Papers.

Brief Communications contain research that does not meet all the criteria for Original Papers.

Brief Communications are restricted to reports of unusual urgency, timeliness, and significance. A brief statement explaining how the manuscript meets the criteria of urgency and significance should be included in the author's remarks at submission.

Editorials are used as a forum for the Editor-in-Chief to convey general information to the journal's readership.

Authors may also be invited to submit Editorials by the Editor-in-Chief, and peer-review of such articles will be at the discretion of the Editor-in-Chief.

Book Reviews are welcome but are generally solicited by the Editorial Office.

Book Reviews should be discussed with the Editorial Office prior to submission (ebfi@oregonstate.edu).

Special Issues

We will consider the publication of a limited number of Special Issues. A Special Issue is devoted to a single, well-defined topic. The title of the topic, as well as the guest editors' names, will appear with the Special Issue.

A proposal for a special issue should be sent to the Editorial Office (ebfi@oregonstate.edu), and must include the following:

- Guest editors' names and affiliations
- Tentative title
- Outline summarizing the objectives of the special issue
- Tentative time schedule
- List of tentative contributions

A special issue proposal must be approved by both the Editor-in-Chief and the Publisher. If approved, an agreement will be drawn up between the guest editors and the Publisher, outlining the procedure and deliverables.

All papers must undergo the normal peer-review process, which includes the possibility of rejection. This process will be handled by the guest editors within the online reviewing system. The Managing Editor will provide proper training to the guest editors as requested.

Title Page

The title page should include:

The name(s) of the author(s)

A concise and informative title

The affiliation(s) and address(es) of the author(s)

The e-mail address, and telephone number(s) of the corresponding author

If available, the 16-digit ORCID of the author(s)

Abstract

Please provide an abstract of 150 to 250 words. The abstract should not contain any undefined abbreviations or unspecified references.

Keywords

Please provide 4 to 6 keywords which can be used for indexing purposes.

Text Formatting

Manuscripts should be submitted in Word.

Use a normal, plain font (e.g., 10-point Times Roman) for text.

Use italics for emphasis.

Use the automatic page numbering function to number the pages.

Do not use field functions.

Use tab stops or other commands for indents, not the space bar.

Use the table function, not spreadsheets, to make tables.

Use the equation editor or MathType for equations.

Save your file in docx format (Word 2007 or higher) or doc format (older Word versions).

Manuscripts with mathematical content can also be submitted in LaTeX.

LaTeX macro package (zip, 181 kB)

Headings

Please use no more than three levels of displayed headings.

Abbreviations

Abbreviations should be defined at first mention and used consistently thereafter.

Footnotes

Footnotes can be used to give additional information, which may include the citation of a reference included in the reference list. They should not consist solely of a reference citation, and they should never include the bibliographic details of a reference. They should also not contain any figures or tables.

Footnotes to the text are numbered consecutively; those to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data). Footnotes to the title or the authors of the article are not given reference symbols.

Always use footnotes instead of endnotes.

Acknowledgments

Acknowledgments of people, grants, funds, etc. should be placed in a separate section on the title page. The names of funding organizations should be written in full.

Scientific style

Authors are urged to comply with the rules of biological nomenclature, as expressed in the International Code of Zoological Nomenclature, the International Code of Botanical Nomenclature, and the International Code of Nomenclature of Bacteria. When a species name is used for the first time in an article, it should be stated in full, and the name of its describer should also be given. Descriptions of new taxa should comprise official repository of types (holotype and paratypes); author's collections as repositories of types are unacceptable.

Genus and species names should be in italics.

Authors are encouraged to place all species distribution records in a publicly accessible database such as the National Global Biodiversity Information Facility (GBIF) nodes (www.gbif.org) or data centers endorsed by GBIF, including BioFresh (www.freshwaterbiodiversity.eu)

Citation

Cite references in the text by name and year in parentheses. Some examples:

Negotiation research spans many disciplines (Thompson 1990).

This result was later contradicted by Becker and Seligman (1996).

This effect has been widely studied (Abbott 1991; Barakat et al. 1995a, b; Kelso and Smith 1998; Medvec et al. 1999, 2000).

Reference list

The list of references should only include works that are cited in the text and that have been published or accepted for publication. Personal communications and unpublished works should only be mentioned in the text. Do not use footnotes or endnotes as a substitute for a reference list.

Reference list entries should be alphabetized by the last names of the first author of each work. Order multi-author publications of the same first author alphabetically with respect to second, third, etc. author. Publications of exactly the same author(s) must be ordered chronologically.

Journal article

Gamelin FX, Baquet G, Berthoin S, Thevenet D, Nourry C, Nottin S, Bosquet L (2009) Effect of high intensity intermittent training on heart rate variability in prepubescent children. *Eur J Appl Physiol* 105:731-738. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0955-8>

Ideally, the names of all authors should be provided, but the usage of "et al" in long author lists will also be accepted:

Smith J, Jones M Jr, Houghton L et al (1999) Future of health insurance. *N Engl J Med* 341:325-329

Article by DOI

Slifka MK, Whitton JL (2000) Clinical implications of dysregulated cytokine production. *J Mol Med*. <https://doi.org/10.1007/s001090000086>

Book

South J, Blass B (2001) *The future of modern genomics*. Blackwell, London

Book chapter

Brown B, Aaron M (2001) The politics of nature. In: Smith J (ed) *The rise of modern genomics*, 3rd edn. Wiley, New York, pp 230-257

Online document

Cartwright J (2007) Big stars have weather too. IOP Publishing PhysicsWeb. <http://physicsweb.org/articles/news/11/6/16/1>. Accessed 26 June 2007

Dissertation

Trent JW (1975) Experimental acute renal failure. Dissertation, University of California

Always use the standard abbreviation of a journal's name according to the ISSN List of Title Word Abbreviations, see ISSN LTWA

If you are unsure, please use the full journal title.

For authors using EndNote, Springer provides an output style that supports the formatting of in-text citations and reference list.

EndNote style (zip, 2 kB)

Tables

All tables are to be numbered using Arabic numerals.

Tables should always be cited in text in consecutive numerical order.

For each table, please supply a table caption (title) explaining the components of the table.

Identify any previously published material by giving the original source in the form of a reference at the end of the table caption.

Footnotes to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data) and included beneath the table body.

Electronic Figure Submission

Supply all figures electronically.

Indicate what graphics program was used to create the artwork.

For vector graphics, the preferred format is EPS; for halftones, please use TIFF format. MSOffice files are also acceptable.

Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.

Name your figure files with "Fig" and the figure number, e.g., Fig1.eps.

Line Art

Definition: Black and white graphic with no shading.

Do not use faint lines and/or lettering and check that all lines and lettering within the figures are legible at final size.

All lines should be at least 0.1 mm (0.3 pt) wide.

Scanned line drawings and line drawings in bitmap format should have a minimum resolution of 1200 dpi.

Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.

Halftone Art

Definition: Photographs, drawings, or paintings with fine shading, etc.

If any magnification is used in the photographs, indicate this by using scale bars within the figures themselves.

Halftones should have a minimum resolution of 300 dpi.

Combination Art

Definition: a combination of halftone and line art, e.g., halftones containing line drawing, extensive lettering, color diagrams, etc.

Combination artwork should have a minimum resolution of 600 dpi.

Color Art

Color art is free of charge for online publication.

If black and white will be shown in the print version, make sure that the main information will still be visible. Many colors are not distinguishable from one another when converted to black and white. A simple way to check this is to make a xerographic copy to see if the necessary distinctions between the different colors are still apparent.

If the figures will be printed in black and white, do not refer to color in the captions.

Color illustrations should be submitted as RGB (8 bits per channel).

Figure Lettering

To add lettering, it is best to use Helvetica or Arial (sans serif fonts).

Keep lettering consistently sized throughout your final-sized artwork, usually about 2–3 mm (8–12 pt).

Variance of type size within an illustration should be minimal, e.g., do not use 8-pt type on an axis and 20-pt type for the axis label.

Avoid effects such as shading, outline letters, etc.

Do not include titles or captions within your illustrations.

Figure Numbering

All figures are to be numbered using Arabic numerals.

Figures should always be cited in text in consecutive numerical order.

Figure parts should be denoted by lowercase letters (a, b, c, etc.).

If an appendix appears in your article and it contains one or more figures, continue the consecutive numbering of the main text. Do not number the appendix figures,

"A1, A2, A3, etc." Figures in online appendices (Electronic Supplementary Material) should, however, be numbered separately.

Figure Captions

Each figure should have a concise caption describing accurately what the figure depicts. Include the captions in the text file of the manuscript, not in the figure file.

Figure captions begin with the term Fig. in bold type, followed by the figure number, also in bold type.

No punctuation is to be included after the number, nor is any punctuation to be placed at the end of the caption.

Identify all elements found in the figure in the figure caption; and use boxes, circles, etc., as coordinate points in graphs.

Identify previously published material by giving the original source in the form of a reference citation at the end of the figure caption.

Figure Placement and Size

Figures should be submitted separately from the text, if possible.

When preparing your figures, size figures to fit in the column width.

For most journals the figures should be 39 mm, 84 mm, 129 mm, or 174 mm wide and not higher than 234 mm.

For books and book-sized journals, the figures should be 80 mm or 122 mm wide and not higher than 198 mm.

Permissions

If you include figures that have already been published elsewhere, you must obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format. Please be aware that some publishers do not grant electronic rights for free and that Springer will not be able to refund any costs that may have occurred to receive these permissions. In such cases, material from other sources should be used.

Accessibility

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your figures, please make sure that

All figures have descriptive captions (blind users could then use a text-to-speech software or a text-to-Braille hardware)

Patterns are used instead of or in addition to colors for conveying information (colorblind users would then be able to distinguish the visual elements)

Any figure lettering has a contrast ratio of at least 4.5:1

Electronic supplementary material

Springer accepts electronic multimedia files (animations, movies, audio, etc.) and other supplementary files to be published online along with an article or a book chapter. This feature can add dimension to the author's article, as certain information cannot be printed or is more convenient in electronic form.

Before submitting research datasets as electronic supplementary material, authors should read the journal's Research data policy. We encourage research data to be archived in data repositories wherever possible.

Submission

Supply all supplementary material in standard file formats.

Please include in each file the following information: article title, journal name, author names; affiliation and e-mail address of the corresponding author.

To accommodate user downloads, please keep in mind that larger-sized files may require very long download times and that some users may experience other problems during downloading.

Audio, Video, and Animations

Aspect ratio: 16:9 or 4:3

Maximum file size: 25 GB

Minimum video duration: 1 sec

Supported file formats: avi, wmv, mp4, mov, m2p, mp2, mpg, mpeg, flv, mxf, mts, m4v, 3gp

Text and Presentations

Submit your material in PDF format; .doc or .ppt files are not suitable for long-term viability.

A collection of figures may also be combined in a PDF file.

Spreadsheets

Spreadsheets should be submitted as .csv or .xlsx files (MS Excel).

Specialized Formats

Specialized format such as .pdb (chemical), .wrl (VRML), .nb (Mathematica notebook), and .tex can also be supplied.

Collecting Multiple Files

It is possible to collect multiple files in a .zip or .gz file.

Numbering

If supplying any supplementary material, the text must make specific mention of the material as a citation, similar to that of figures and tables.

Refer to the supplementary files as “Online Resource”, e.g., "... as shown in the animation (Online Resource 3)", "... additional data are given in Online Resource 4”.

Name the files consecutively, e.g. “ESM_3.mpg”, “ESM_4.pdf”.

Captions

For each supplementary material, please supply a concise caption describing the content of the file.

Processing of supplementary files

Electronic supplementary material will be published as received from the author without any conversion, editing, or reformatting.

Accessibility

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your supplementary files, please make sure that

The manuscript contains a descriptive caption for each supplementary material

Video files do not contain anything that flashes more than three times per second (so that users prone to seizures caused by such effects are not put at risk)

ANEXO 2

Normas da revista *Aquatic Sciences*, para a qual será submetido o capítulo II desta Tese.

Journal Title

Aquatic Sciences

Impact factor

2.821

Print ISSN

1015-1621

Online ISSN

1420-9055

Publisher

Springer

TYPES OF PAPERS

Research Articles

These are contributed articles that should describe, interpret and discuss results of original research, ranging from mechanistic studies on a molecular basis to studies on an ecosystem scale. In the chapter “Discussion”, the significance of the study to the field of aquatic sciences should be stressed. Aquatic Sciences welcomes manuscripts integrating field studies, laboratory work and mathematical modelling. Papers presenting new ideas and hypotheses, based on observations and first results, are included in Aquatic Sciences as well. These “hypothesis papers” also should describe the type of experiments needed to verify proposed hypotheses.

Research articles should not be longer than 8 printed pages. This accounts for approx. 870 words (or 4700 characters, plain text without spaces) per printed page. Figures and tables have to be counted in addition. General structure: We suggest that these manuscripts include an “Abstract”, an “Introduction”, a “Materials and Methods” section, a “Results” section and “Discussion”. The “Discussion” section should include the special mention of the significance of the work to the field of aquatic sciences. The “Results” and “Discussion” sections may be combined as “Results and Discussion”. Each section may contain subsections. Deviation from this general style is permitted if it improves the clarity of presentation

Overview and Review Articles

These are invited articles that should focus on cutting-edge research questions. Review articles should provide a synthesis of the state-of-the-art in a particular field incorporating cross-boundary research, whereas overview articles should discuss studies performed among several research groups and institutions or give an overview of one’s own interdisciplinary research. Overview and review articles may be longer than 14 printed pages and do not to follow the general style of research articles (see below, “Format of Manuscripts”). In addition to comprehensive overviews and reviews, Aquatic Sciences also publishes short critical reviews. These articles should articulate future directions in fields transcending traditional disciplines and approaches. General structure: Overview or Review Articles should be divided into sections and, if necessary, subsections, similarly to book chapters, however, without numbering the sections and subsections. An abstract is optional

Water Policy Articles

These are invited articles that should present research at the interface of natural sciences, social sciences, and public policy. They should describe developments and suggest trends in the sustainable management of local and global water systems, and provide relevant information to policy makers and governments. Water policy articles may be longer than 14 printed pages and do not need to follow the general style of research articles General structure. Water Policy Articles: These articles should be organized in a different way than research articles. They are divided into sections and, if necessary, subsections, similarly to book chapters, however, without numbering the sections and subsections. An abstract is optional

Special Feature

Articles in this section are commissioned by the Editors/Editorial Board Members of Aquatic Sciences. Special Feature articles need not cover fully original work by the authors, but instead can review or synthesize a body of work. Special feature article are expected to stimulate research and application on a specific, or emerging scientific topic.

DATABASES FOR SPECIES DISTRIBUTIONS

Authors are encouraged to place all species distribution records in a publicly accessible database such as the national Global Biodiversity Information Facility (GBIF) nodes or data centres endorsed by GBIF, including BioFresh

EDITORIAL PROCEDURE

Peer Review

All contributed and invited manuscripts are reviewed by respected scientists who assess the quality, significance and originality of the work, as well as the clarity of its presentation. The review process is rapid and rigorous. Our goal is to limit the time from submission to publication on the World Wide Web to six months. To ensure that Aquatic Sciences presents a broad coverage of the many fields within its scope, manuscripts are initially evaluated by the Editor-in-Chief to determine their suitability for publication in Aquatic Sciences. When uploading the manuscript in Editorial Manager authors are requested to provide names and contact information (including address, phone and fax number as well as e-mail address) of two experts in the field as possible reviewers of their paper. Referees' comments will remain anonymous unless referees explicitly request to be named. Authors will be notified of manuscript receipt and acceptance or rejection.

MANUSCRIPT SUBMISSION

Manuscript Submission

Submission of a manuscript implies: that the work described has not been published before; that it is not under consideration for publication anywhere else; that its publication has been approved by all co-authors, if any, as well as by the responsible authorities – tacitly or explicitly – at the institute where the work has been carried out. The publisher will not be held legally responsible should there be any claims for compensation.

Permissions

Authors wishing to include figures, tables, or text passages that have already been published elsewhere are required to obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format and to include evidence that such permission has been granted when submitting their papers. Any material received without such evidence will be assumed to originate from the authors.

Online Submission

Please follow the hyperlink "Submit online" on the right and upload all of your manuscript files following the instructions given on the screen.

TITLE PAGE

Title Page

The title page should include:

The name(s) of the author(s)

A concise and informative title

The affiliation(s) and address(es) of the author(s)

The e-mail address, and telephone number(s) of the corresponding author

If available, the 16-digit ORCID of the author(s)

Abstract

LaTeX macro package (zip, 181 kB)

Please provide an abstract of 150 to 250 words. The abstract should not contain any undefined abbreviations or unspecified references.

Keywords

Please provide 4 to 6 keywords which can be used for indexing purposes.

TEXT

Text Formatting

Manuscripts should be submitted in Word.

Use a normal, plain font (e.g., 10-point Times Roman) for text.

Use italics for emphasis.

Use the automatic page numbering function to number the pages.

Do not use field functions.

Use tab stops or other commands for indents, not the space bar.

Use the table function, not spreadsheets, to make tables.

Use the equation editor or MathType for equations.

Save your file in docx format (Word 2007 or higher) or doc format (older Word versions).

Manuscripts with mathematical content can also be submitted in LaTeX. Headings Please use no more than three levels of displayed headings.

Abbreviations

Abbreviations should be defined at first mention and used consistently thereafter.

Footnotes

Footnotes can be used to give additional information, which may include the citation of a reference included in the reference list. They should not consist solely of a reference citation, and they should never include the bibliographic details of a reference. They should also not contain any figures or tables.

Footnotes to the text are numbered consecutively; those to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data). Footnotes to the title or the authors of the article are not given reference symbols.

Always use footnotes instead of endnotes.

Acknowledgments

Acknowledgments of people, grants, funds, etc. should be placed in a separate section on the title page. The names of funding organizations should be written in full.

REFERENCES

Citation

Cite references in the text by name and year in parentheses. Some examples:

Negotiation research spans many disciplines (Thompson 1990).

This result was later contradicted by Becker and Seligman (1996).

This effect has been widely studied (Abbott 1991; Barakat et al. 1995a, b; Kelso and Smith 1998; Medvec et al. 1999, 2000).

EndNote style (zip, 2 kB)

Reference list

The list of references should only include works that are cited in the text and that have been published or accepted for publication. Personal communications and unpublished works should only be mentioned in the text. Do not use footnotes or endnotes as a substitute for a reference list.

Reference list entries should be alphabetized by the last names of the first author of each work. Order multi-author publications of the same first author alphabetically with respect to second, third, etc. author. Publications of exactly the same author(s) must be ordered chronologically.

Journal article

Gamelin FX, Baquet G, Berthoin S, Thevenet D, Nourry C, Nottin S, Bosquet L (2009) Effect of high intensity intermittent training on heart rate variability in prepubescent children. *Eur J Appl Physiol* 105:731-738. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0955-8>

Ideally, the names of all authors should be provided, but the usage of “et al” in long author lists will also be accepted:

Smith J, Jones M Jr, Houghton L et al (1999) Future of health insurance. *N Engl J Med* 341:325–329

Article by DOI

Slifka MK, Whitton JL (2000) Clinical implications of dysregulated cytokine production. *J Mol Med*. <https://doi.org/10.1007/s001090000086>

Book

South J, Blass B (2001) *The future of modern genomics*. Blackwell, London

Book chapter

Brown B, Aaron M (2001) The politics of nature. In: Smith J (ed) *The rise of modern genomics*, 3rd edn. Wiley, New York, pp 230-257

Online document

Cartwright J (2007) Big stars have weather too. IOP Publishing Physics Web. <http://physicsweb.org/articles/news/11/6/16/1>. Accessed 26 June 2007

Dissertation

Trent JW (1975) *Experimental acute renal failure*. Dissertation, University of California

Always use the standard abbreviation of a journal’s name according to the ISSN List of Title Word Abbreviations, see ISSN LTWA

If you are unsure, please use the full journal title.

For authors using EndNote, Springer provides an output style that supports the formatting of intext citations and reference list.

TABLES

All tables are to be numbered using Arabic numerals.

Tables should always be cited in text in consecutive numerical order.

For each table, please supply a table caption (title) explaining the components of the table.

Identify any previously published material by giving the original source in the form of a reference at the end of the table caption.

Footnotes to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data) and included beneath the table body.

ARTWORK AND ILLUSTRATIONS GUIDELINES

Electronic Figure Submission

Supply all figures electronically.

Indicate what graphics program was used to create the artwork.

For vector graphics, the preferred format is EPS; for halftones, please use TIFF format. MSOffice files are also acceptable.

Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.

Name your figure files with "Fig" and the figure number, e.g., Fig1.eps.

Line Art

Definition: Black and white graphic with no shading.

Do not use faint lines and/or lettering and check that all lines and lettering within the figures are legible at final size.

All lines should be at least 0.1 mm (0.3 pt) wide.

Scanned line drawings and line drawings in bitmap format should have a minimum resolution of 1200 dpi.

Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.

Halftone Art

Definition: Photographs, drawings, or paintings with fine shading, etc.

If any magnification is used in the photographs, indicate this by using scale bars within the figures themselves.

Halftones should have a minimum resolution of 300 dpi.

Combination Art

Definition: a combination of halftone and line art, e.g., halftones containing line drawing, extensive lettering, color diagrams, etc.

Combination artwork should have a minimum resolution of 600 dpi.

Color Art

Color art is free of charge for online publication.

If black and white will be shown in the print version, make sure that the main information will still be visible. Many colors are not distinguishable from one another when converted to black and white. A simple way to check this is to make a xerographic copy to see if the necessary distinctions between the different colors are still apparent.

If the figures will be printed in black and white, do not refer to color in the captions.

Color illustrations should be submitted as RGB (8 bits per channel).

Figure Lettering

To add lettering, it is best to use Helvetica or Arial (sans serif fonts).

Keep lettering consistently sized throughout your final-sized artwork, usually about 2–3 mm (8–12 pt).

Variance of type size within an illustration should be minimal, e.g., do not use 8-pt type on an axis and 20 pt type for the axis label.

Avoid effects such as shading, outline letters, etc.

Do not include titles or captions within your illustrations.

Figure Numbering

All figures are to be numbered using Arabic numerals.

Figures should always be cited in text in consecutive numerical order.

Figure parts should be denoted by lowercase letters (a, b, c, etc.).

If an appendix appears in your article and it contains one or more figures, continue the consecutive numbering of the main text. Do not number the appendix figures,

"A1, A2, A3, etc." Figures in online appendices (Electronic Supplementary Material) should, however, be numbered separately.

Figure Captions

Each figure should have a concise caption describing accurately what the figure depicts. Include the captions in the text file of the manuscript, not in the figure file.

Figure captions begin with the term Fig. in bold type, followed by the figure number, also in bold type.

No punctuation is to be included after the number, nor is any punctuation to be placed at the end of the caption.

Identify all elements found in the figure in the figure caption; and use boxes, circles, etc., as coordinate points in graphs.

Identify previously published material by giving the original source in the form of a reference citation at the end of the figure caption.

Figure Placement and Size

Figures should be submitted separately from the text, if possible.

When preparing your figures, size figures to fit in the column width.

For most journals the figures should be 39 mm, 84 mm, 129 mm, or 174 mm wide and not higher than 234 mm.

For books and book-sized journals, the figures should be 80 mm or 122 mm wide and not higher than 198 mm.

Permissions

If you include figures that have already been published elsewhere, you must obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format. Please be aware that some publishers do not grant electronic rights for free and that Springer will not be able to refund any costs that may have occurred to receive these permissions. In such cases, material from other sources should be used.

Accessibility

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your figures, please make sure that

All figures have descriptive captions (blind users could then use a text-to-speech software or a text-to-Braille hardware)

Patterns are used instead of or in addition to colors for conveying information (colorblind users would then be able to distinguish the visual elements)

Any figure lettering has a contrast ratio of at least 4.5:1

ELECTRONIC SUPPLEMENTARY MATERIAL

Springer accepts electronic multimedia files (animations, movies, audio, etc.) and other supplementary files to be published online along with an article or a book chapter. This feature can add dimension to the author's article, as certain information cannot be printed or is more convenient in electronic form.

Before submitting research datasets as electronic supplementary material, authors should read the journal's Research data policy. We encourage research data to be archived in data repositories wherever possible.

Submission

Supply all supplementary material in standard file formats.

Please include in each file the following information: article title, journal name, author names; affiliation and e-mail address of the corresponding author.

To accommodate user downloads, please keep in mind that larger-sized files may require very long download times and that some users may experience other problems during downloading.

Audio, Video, and Animations

Aspect ratio: 16:9 or 4:3

Maximum file size: 25 GB

Minimum video duration: 1 sec

Supported file formats: avi, wmv, mp4, mov, m2p, mp2, mpg, mpeg, flv, mxf, mts, m4v, 3gp

Text and Presentations

Submit your material in PDF format; .doc or .ppt files are not suitable for long-term viability.

A collection of figures may also be combined in a PDF file.

Spreadsheets

Spreadsheets should be submitted as .csv or .xlsx files (MS Excel).

Specialized Formats

Specialized format such as .pdb (chemical), .wrl (VRML), .nb (Mathematica notebook), and .tex can also be supplied.

Collecting Multiple Files

It is possible to collect multiple files in a .zip or .gz file.

Numbering

If supplying any supplementary material, the text must make specific mention of the material as a citation, similar to that of figures and tables.

Refer to the supplementary files as "Online Resource", e.g., "... as shown in the animation (Online Resource 3)", "... additional data are given in Online Resource 4".

Name the files consecutively, e.g. "ESM_3.mpg", "ESM_4.pdf".

Captions

For each supplementary material, please supply a concise caption describing the content of the file.

Processing of supplementary files

Electronic supplementary material will be published as received from the author without any conversion, editing, or reformatting.

Accessibility

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your supplementary files, please make sure that

The manuscript contains a descriptive caption for each supplementary material

Video files do not contain anything that flashes more than three times per second (so that users prone to seizures caused by such effects are not put at risk)

ENGLISH LANGUAGE EDITING

For editors and reviewers to accurately assess the work presented in your manuscript you need to ensure the English language is of sufficient quality to be understood. If you need help with writing in English you should consider:

Asking a colleague who is a native English speaker to review your manuscript for clarity.

Visiting the English language tutorial which covers the common mistakes when writing in English.

Using a professional language editing service where editors will improve the English to ensure that your meaning is clear and identify problems that require your review.

Two such services are provided by our affiliates Nature Research Editing Service and American Journal Experts. Springer authors are entitled to a 10% discount on their first submission to either of these services, simply follow the links below.

English language tutorial

Nature Research Editing Service American Journal Experts

Please note that the use of a language editing service is not a requirement for publication in this journal and does not imply or guarantee that the article will be selected for peer review or accepted.

If your manuscript is accepted it will be checked by our copyeditors for spelling and formal style before publication.

ETHICAL RESPONSIBILITIES OF AUTHORS

This journal is committed to upholding the integrity of the scientific record. As a member of the Committee on Publication Ethics (COPE) the journal will follow the COPE guidelines on how to deal with potential acts of misconduct. Authors should refrain from misrepresenting research results which could damage the trust in the journal, the professionalism of scientific authorship, and ultimately the entire scientific endeavour. Maintaining integrity of the research and its presentation can be achieved by following the rules of good scientific practice, which include:

The manuscript has not been submitted to more than one journal for simultaneous consideration.

The manuscript has not been published previously (partly or in full), unless the new work concerns an expansion of previous work (please provide transparency on the re-use of material to avoid the hint of text-recycling (“self-plagiarism”)).

A single study is not split up into several parts to increase the quantity of submissions and submitted to various journals or to one journal over time (e.g. “salami-publishing”).

No data have been fabricated or manipulated (including images) to support your conclusions

No data, text, or theories by others are presented as if they were the author’s own (“plagiarism”). Proper acknowledgements to other works must be given (this includes material that is closely copied (near verbatim), summarized and/or paraphrased), quotation marks are used for verbatim copying of material, and permissions are secured for material that is copyrighted.

Important note: the journal may use software to screen for plagiarism.

Consent to submit has been received explicitly from all co-authors, as well as from the responsible authorities - tacitly or explicitly - at the institute/organization where the work has been carried out, before the work is submitted.

Authors whose names appear on the submission have contributed sufficiently to the scientific work and therefore share collective responsibility and accountability for the results.

Authors are strongly advised to ensure the correct author group, corresponding author, and order of authors at submission. Changes of authorship or in the order of authors are not accepted after acceptance of a manuscript.

Adding and/or deleting authors and/or changing the order of authors at revision stage may be justifiably warranted. A letter must accompany the revised manuscript to explain the reason for the change(s) and the contribution role(s) of the added and/or deleted author(s). Further documentation may be required to support your request.

Requests for addition or removal of authors as a result of authorship disputes after acceptance are honored after formal notification by the institute or independent body and/or when there is agreement between all authors.

Upon request authors should be prepared to send relevant documentation or data in order to verify the validity of the results. This could be in the form of raw data, samples, records, etc. Sensitive information in the form of confidential proprietary data is excluded.

If there is a suspicion of misconduct, the journal will carry out an investigation following the COPE guidelines. If, after investigation, the allegation seems to raise valid concerns, the accused author will be contacted and given an opportunity to address the issue. If misconduct has been established beyond reasonable doubt, this may result in the Editor-in-Chief’s

implementation of the following measures, including, but not limited to: If the article is still under consideration, it may be rejected and returned to the author.

If the article has already been published online, depending on the nature and severity of the infraction, either an erratum will be placed with the article or in severe cases complete retraction of the article will occur. The reason must be given in the published erratum or retraction note. Please note that retraction means that the paper is maintained on the platform, watermarked "retracted" and explanation for the retraction is provided in a note linked to the watermarked article.

The author's institution may be informed.

COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

To ensure objectivity and transparency in research and to ensure that accepted principles of ethical and professional conduct have been followed, authors should include information regarding sources of funding, potential conflicts of interest (financial or non-financial), informed consent if the research involved human participants, and a statement on welfare of animals if the research involved animals.

Authors should include the following statements (if applicable) in a separate section entitled

"Compliance with Ethical Standards" when submitting a paper:

Disclosure of potential conflicts of interest

Research involving Human Participants and/or Animals

Informed consent

Please note that standards could vary slightly per journal dependent on their peer review policies (i.e. single or double blind peer review) as well as per journal subject discipline. Before submitting your article check the instructions following this section carefully.

The corresponding author should be prepared to collect documentation of compliance with ethical standards and send if requested during peer review or after publication.

The Editors reserve the right to reject manuscripts that do not comply with the above-mentioned guidelines. The author will be held responsible for false statements or failure to fulfill the abovementioned guidelines.

DISCLOSURE OF POTENTIAL CONFLICTS OF INTEREST

Authors must disclose all relationships or interests that could have direct or potential influence or impart bias on the work. Although an author may not feel there is any conflict, disclosure of relationships and interests provides a more complete and transparent process, leading to an accurate and objective assessment of the work. Awareness of a real or perceived conflicts of interest is a perspective to which the readers are entitled. This is not meant to imply that a financial relationship with an organization that sponsored the research or compensation received for consultancy work is inappropriate. Examples of potential conflicts of interests that are directly or indirectly related to the research may include but are not limited to the following:

Research grants from funding agencies (please give the research funder and the grant number)

Honoraria for speaking at symposia

Financial support for attending symposia

Financial support for educational programs

Employment or consultation

Support from a project sponsor

Position on advisory board or board of directors or other type of management relationships

Multiple affiliations

Financial relationships, for example equity ownership or investment interest

Intellectual property rights (e.g. patents, copyrights and royalties from such rights)

Holdings of spouse and/or children that may have financial interest in the work

In addition, interests that go beyond financial interests and compensation (non-financial interests) that may be important to readers should be disclosed. These may include but are not limited to personal relationships or competing interests directly or indirectly tied to this research, or professional interests or personal beliefs that may influence your research.

The corresponding author collects the conflict of interest disclosure forms from all authors. In author collaborations where formal agreements for representation allow it, it is sufficient for the corresponding author to sign the disclosure form on behalf of all authors. Examples of forms can be found here:

The corresponding author will include a summary statement in the text of the manuscript in a separate section before the reference list, that reflects what is recorded in the potential conflict of interest disclosure form(s).

See below examples of disclosures:

Funding: This study was funded by X (grant number X).

Conflict of Interest: Author A has received research grants from Company A. Author B has received a speaker honorarium from Company X and owns stock in Company Y. Author C is a member of committee Z.

If no conflict exists, the authors should state:

Conflict of Interest: The authors declare that they have no conflict of interest.

RESEARCH INVOLVING HUMAN PARTICIPANTS AND/OR ANIMALS

1) Statement of human rights

When reporting studies that involve human participants, authors should include a statement that the studies have been approved by the appropriate institutional and/or national research ethics committee and have been performed in accordance with the ethical standards as laid down in the 1964 Declaration of Helsinki and its later amendments or comparable ethical standards. If doubt exists whether the research was conducted in accordance with the 1964 Helsinki Declaration or comparable standards, the authors must explain the reasons for their approach, and demonstrate that the independent ethics committee or institutional review board explicitly approved the doubtful aspects of the study.

The following statements should be included in the text before the References section: Ethical approval: “All procedures performed in studies involving human participants were in accordance with the ethical standards of the institutional and/or national research committee and with the 1964 Helsinki declaration and its later amendments or comparable ethical standards.”

For retrospective studies, please add the following sentence:

“For this type of study formal consent is not required.”

2) Statement on the welfare of animals

The welfare of animals used for research must be respected. When reporting experiments on animals, authors should indicate whether the international, national, and/or institutional guidelines for the care and use of animals have been followed, and that the studies have been approved by a research ethics committee at the institution or practice at which the studies were conducted (where such a committee exists).

For studies with animals, the following statement should be included in the text before the

References section:

Ethical approval: “All applicable international, national, and/or institutional guidelines for the care and use of animals were followed.”

If applicable (where such a committee exists): “All procedures performed in studies involving animals were in accordance with the ethical standards of the institution or practice at which the studies were conducted.”

If articles do not contain studies with human participants or animals by any of the authors, please select one of the following statements:

“This article does not contain any studies with human participants performed by any of the authors.”

“This article does not contain any studies with animals performed by any of the authors.”

“This article does not contain any studies with human participants or animals performed by any of the authors.”

INFORMED CONSENT

All individuals have individual rights that are not to be infringed. Individual participants in studies have, for example, the right to decide what happens to the (identifiable) personal data gathered, to what they have said during a study or an interview, as well as to any photograph that was taken. Hence it is important that all participants gave their informed consent in writing prior to inclusion in the study. Identifying details (names, dates of birth, identity numbers and other information) of the participants that were studied should not be published in written descriptions, photographs, and genetic profiles unless the information is essential for scientific purposes and the participant (or parent or guardian if the participant is incapable) gave written informed consent for publication. Complete anonymity is difficult to achieve in some cases, and informed consent should be obtained if there is any doubt. For example, masking the eye region in photographs of participants is inadequate protection of anonymity. If identifying characteristics are altered to protect anonymity, such as in genetic profiles, authors should provide assurance that alterations do not distort scientific meaning. The following statement should be included:

Informed consent: “Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.”

If identifying information about participants is available in the article, the following statement should be included:

“Additional informed consent was obtained from all individual participants for whom identifying information is included in this article.”

RESEARCH DATA POLICY

A submission to the journal implies that materials described in the manuscript, including all relevant raw data, will be freely available to any researcher wishing to use them for noncommercial purposes, without breaching participant confidentiality.

The journal strongly encourages that all datasets on which the conclusions of the paper rely should be available to readers. We encourage authors to ensure that their datasets are either deposited in publicly available repositories (where available and appropriate) or presented in the main manuscript or additional supporting files whenever possible. Please see Springer Nature’s information on recommended repositories.

List of Repositories

Research Data Policy

General repositories - for all types of research data - such as figshare and Dryad may be used where appropriate.

Datasets that are assigned digital object identifiers (DOIs) by a data repository may be cited in the reference list. Data citations should include the minimum information recommended by

DataCite: authors, title, publisher (repository name), identifier.

DataCite

Where a widely established research community expectation for data archiving in public repositories exists, submission to a community-endorsed, public repository is mandatory.

Persistent identifiers (such as DOIs and accession numbers) for relevant datasets must be provided in the paper.

For more information:

Research Data Policy Frequently Asked Questions

Data availability

The journal encourages authors to provide a statement of Data availability in their article. Data availability statements should include information on where data supporting the results reported in the article can be found, including, where applicable, hyperlinks to publicly archived datasets analysed or generated during the study. Data availability statements can also indicate whether data are available on request from the authors and where no data are available, if appropriate. Data Availability statements can take one of the following forms (or a combination of more than one if required for multiple datasets):

1. The datasets generated during and/or analysed during the current study are available in the [NAME] repository, [PERSISTENT WEB LINK TO DATASETS]
2. The datasets generated during and/or analysed during the current study are not publicly available due [REASON WHY DATA ARE NOT PUBLIC] but are available from the corresponding author on reasonable request.
3. The datasets generated during and/or analysed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.
4. Data sharing not applicable to this article as no datasets were generated or analysed during the current study
5. All data generated or analysed during this study are included in this published article [and its supplementary information files].

More examples of template data availability statements, which include examples of openly available and restricted access datasets, are available:

Data availability statements

Springer Nature provides a research data policy support service for authors and editors, which can be contacted at researchdata@springernature.com.

This service provides advice on research data policy compliance and on finding research data repositories. It is independent of journal, book and conference proceedings editorial offices and does not advise on specific manuscripts. Helpdesk

AFTER ACCEPTANCE

Upon acceptance of your article you will receive a link to the special Author Query Application at Springer's web page where you can sign the Copyright Transfer Statement online and indicate whether you wish to order OpenChoice, offprints, or printing of figures in color. Once the Author Query Application has been completed, your article will be processed and you will receive the proofs.

Copyright transfer

Authors will be asked to transfer copyright of the article to the Publisher (or grant the Publisher exclusive publication and dissemination rights). This will ensure the widest possible protection and dissemination of information under copyright laws.

Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

Offprints

Offprints can be ordered by the corresponding author.

Color illustrations

Online publication of color illustrations is free of charge. For color in the print version, authors will be expected to make a contribution towards the extra costs.

Proof reading

The purpose of the proof is to check for typesetting or conversion errors and the completeness and accuracy of the text, tables and figures. Substantial changes in content, e.g., new results, corrected values, title and authorship, are not allowed without the approval of the Editor.

After online publication, further changes can only be made in the form of an Erratum, which will be hyperlinked to the article.

Online First

The article will be published online after receipt of the corrected proofs. This is the official first publication citable with the DOI. After release of the printed version, the paper can also be cited by issue and page numbers.

OPEN CHOICE

In addition to the normal publication process (whereby an article is submitted to the journal and access to that article is granted to customers who have purchased a subscription), Springer provides an alternative publishing option: Springer Open Choice. A Springer Open Choice article receives all the benefits of a regular subscription-based article, but in addition is made available publicly through Springer's online platform SpringerLink.

Open Choice

Copyright and license term – CC BY

Open Choice articles do not require transfer of copyright as the copyright remains with the author. In opting for open access, the author(s) agree to publish the article under the Creative Commons Attribution License.

Find more about the license agreement

ANEXO 3

Normas da revista *Ecological Indicators*, para a qual será submetido o capítulo III desta Tese.

Journal Title

Ecological Indicators

Impact factor

3.898

Online ISSN

1470-160X

Publisher

Elsevier

GUIDE FOR AUTHORS

We now differentiate between the requirements for new and revised submissions. You may choose to submit your manuscript as a single Word or PDF file to be used in the refereeing process. Only when your paper is at the revision stage, will you be requested to put your paper in to a 'correct format' for acceptance and provide the items required for the publication of your article.

INTRODUCTION

DESCRIPTION

The ultimate aim of *Ecological Indicators* is to integrate the monitoring and assessment of ecological and environmental indicators with management practices. The journal provides a forum for the discussion of the applied scientific development and review of traditional indicator applications as well as for theoretical, modelling and quantitative approaches such as index development. Research into the following areas will be published:

- All aspects of ecological and environmental indicators and indices.
 - New indicators, and new approaches and methods for indicator development, testing, and use. Development and modelling of indices, e.g. application of indicator suites across multiple scales and resources.
 - Analysis and research of resource, system and scale specific indicators.
 - Methods for integration of social and other valuation metrics for the production of scientifically rigorous and politically-relevant assessments using indicator-based monitoring and assessment programs.
 - Approaches on how research indicators can be transformed into direct application for management purposes.
 - Broader assessment objectives and methods, e.g. biodiversity, biological integrity, and sustainability, through the use of indicators.
 - Resource-specific indicators such as landscape, agroecosystems, forest ecosystems, aquatic ecosystems, wetlands, etc.
- The journal seeks innovative papers which provide new developmental and methodological steps for environmental indication. Submissions of results from simple monitoring programs or single case studies, resulting in descriptive approaches without any exploration from the theory of indication, from the methodology of indication, or from the management points of view are not considered suitable for publication in *Ecological Indicators*.

Benefits to authors

We also provide many author benefits, such as free PDFs, a liberal copyright policy, special discounts on Elsevier publications and much more. Please click [here](#) for more information on our author services.

AUDIENCE

The target readership is scientists, policy-makers, and resource managers investigating or applying ecological and environmental indicators, from the molecular to the ecosystem and landscape level, to the long-term goal of assessing the condition and trends within the environment towards ecological sustainability.

INTRODUCTION

The journal is concerned with the development and application of ecological indicators, from the molecular to the ecosystem and landscape level, in the scope of environmental quality assessment and management towards sustainability.

Human activities and well-being depend on our capability to develop proper tools to evaluate and help acting upon ecosystems ecological conditions and long term trends. Ecological and environmental indicators and indices play an essential role with regard to this endeavour and must have biological, methodological, and social relevance: they are expected to extract information from raw data in a very condensed form that is of significance to scientists, decision makers, resource managers, and general public.

From a management point of view, a good ecological indicator should be a) simple to apply and easily understood by laymen, b) relevant in the context, c) scientifically justifiable, d) quantitative, e) acceptable in terms of costs, f) covering all relevant and actual problems, and g) sensitive to possible changes. On the other hand, from a more scientific perspective, it should have h) handling easiness, i) sensibility to small variations of environmental stress and/or ecological conditions, j) independence of reference states, k) applicability in extensive geographical areas and in the greatest possible number of communities or ecological environments, and l) possible and reliable quantification.

Ecological Indicators can be applied to a wide range of topics going from basic ecology to human ecology and socio-ecological systems, and the journal welcomes research articles, review articles, short notes and studies, viewpoint articles, letters to the Editor, and book reviews. The journal also publishes Special Themes Issues.

Types of papers

The official language of the journal is English.

The following types of contributions will be accepted:

Original research papers

Review articles

Short notes and studies

Viewpoint articles

Letters to the Editor

Book Reviews

Original research papers are expected to report results of original research, and materials should not have been previously published elsewhere, except in a preliminary form.

Review articles are expected to cover subjects falling within the scope of the journal which are of active current interest. They may be submitted or invited. Review articles are usually up to 12,000 words and must include a Methods section explaining how the literature for review was selected.

Short notes consist of a concise but complete description of a limited or preliminary investigation, which may eventually be included in a later paper. A short note should nevertheless be as completely documented, both by reference to the literature and description of the experimental procedures employed, as a regular paper. Authors submitting papers focused on the application of existing indicators or indicator systems, on demonstrations, or tests or minor methodological improvements on the basis of regional investigations, as well as condensed articles on new topics concerning ecological indication, are also invited to submit their articles in the form of a short note.

Viewpoint articles provide a forum for authors to present a novel, distinctive or even personal viewpoint on any topic falling within the journal's scope. The article should be well arched in evidence and adequately supported by citations, but may focus on a stimulating and assumed provoking line of arguments representing a significant advance in thinking about indicators problems and solutions.

Letters to the Editor offer a forum for comments or critiques regarding material published in the journal. The decision to publish submitted letters rests purely with the Editor-in-Chief. It is the hope that the publication of such letters will permit an exchange of views beneficial to the journal and its readers.

Book reviews will be solicited by the Editor-in-Chief and will fall upon a range of relevant books no more than 2 years old. Unsolicited reviews will not usually be accepted, but suggestions for appropriate books for review may be sent to the Editor-in-Chief.

Special Issues

Special Issues concentrate on a special topic and should consist of a minimum (usually 10) number of manuscripts, an introduction by the guest editors, where the contents and context of the papers is summarized, and - if possible - some concluding remarks. Those interested in serving as guest editors of a special issue should be in touch with the Editor-in-Chief or the publisher to discuss the objectives and scope of the proposed topic. If more information is requested, guest editors will be asked to include an overview of the contributing authors, planned manuscripts and short summaries of their contents.

Size of papers Regular papers

Generally, manuscripts should be about 7,000 words, the maximum length being 10,000 words.

Short Notes

Short notes should not occupy more than 6 printed pages (about 12 manuscript pages, including figures, tables and references).

This will shorten the reviewing process and will ensure quicker publication times

Submission checklist

You can use this list to carry out a final check of your submission before you send it to the journal for review. Please check the relevant section in this Guide for Authors for more details.

Ensure that the following items are present:

One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address
- Full postal address

All necessary files have been uploaded:

Manuscript:

- Include keywords

- All figures (include relevant captions)
 - All tables (including titles, description, footnotes)
 - Ensure all figure and table citations in the text match the files provided
 - Indicate clearly if color should be used for any figures in print
- Graphical Abstracts / Highlights files (where applicable)
Supplemental files (where applicable)

Further considerations

- Manuscript has been 'spell checked' and 'grammar checked'
- All references mentioned in the Reference List are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Internet)
- A competing interests statement is provided, even if the authors have no competing interests to declare
- Journal policies detailed in this guide have been reviewed
- Referee suggestions and contact details provided, based on journal requirements

For further information, visit our Support Center.

BEFORE YOU BEGIN

Ethics in publishing

Please see our information pages on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication.

Declaration of interest

All authors must disclose any financial and personal relationships with other people or organizations that could inappropriately influence (bias) their work. Examples of potential conflicts of interest include employment, consultancies, stock ownership, honoraria, paid expert testimony, patent applications/ registrations, and grants or other funding. Authors must disclose any interests in two places: 1. A summary declaration of interest statement in the title page file (if double-blind) or the manuscript file (if single-blind). If there are no interests to declare then please state this: 'Declarations of interest: none'. This summary statement will be ultimately published if the article is accepted. 2. Detailed disclosures as part of a separate Declaration of Interest form, which forms part of the journal's official records. It is important for potential interests to be declared in both places and that the information matches.

Submission declaration and verification

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract, a published lecture or academic thesis, see 'Multiple, redundant or concurrent publication' for more information), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright holder. To verify originality, your article may be checked by the originality detection service Crossref

Similarity Check.

Use correct, continuous line numbering throughout the document.

Preprints

Please note that preprints can be shared anywhere at any time, in line with Elsevier's sharing policy.

Sharing your preprints e.g. on a preprint server will not count as prior publication (see 'Multiple, redundant or concurrent publication' for more information).

Changes to authorship

Authors are expected to consider carefully the list and order of authors before submitting their manuscript and provide the definitive list of authors at the time of the original submission. Any addition, deletion or rearrangement of author names in the authorship list should be made only before the manuscript has been accepted and only if approved by the journal Editor. To request such a change, the Editor must receive the following from the corresponding author: (a) the reason

for the change in author list and (b) written confirmation (e-mail, letter) from all authors that they agree with the addition, removal or rearrangement. In the case of addition or removal of authors, this includes confirmation from the author being added or removed.

Only in exceptional circumstances will the Editor consider the addition, deletion or rearrangement of authors after the manuscript has been accepted. While the Editor considers the request, publication of the manuscript will be suspended. If the manuscript has already been published in an online issue, any requests approved by the Editor will result in a corrigendum.

Article transfer service

This journal is part of our Article Transfer Service. This means that if the Editor feels your article is more suitable in one of our other participating journals, then you may be asked to consider transferring the article to one of those. If you agree, your article will be transferred automatically on your behalf with no need to reformat. Please note that your article will be reviewed again by the new journal.

Copyright

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (see more information on this). An e-mail will be sent to the corresponding author confirming receipt of the manuscript together with a 'Journal Publishing Agreement' form or a link to the online version of this agreement.

Subscribers may reproduce tables of contents or prepare lists of articles including abstracts for internal circulation within their institutions. Permission of the Publisher is required for resale or distribution outside the institution and for all other derivative works, including compilations and translations. If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has preprinted forms for use by authors in these cases.

Author rights

As an author you (or your employer or institution) have certain rights to reuse your work. More information.

Elsevier supports responsible sharing

Find out how you can share your research published in Elsevier journals.

Role of the funding source

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. If the funding source(s) had no such involvement then this should be stated.

Funding body agreements and policies

Elsevier has established a number of agreements with funding bodies which allow authors to comply with their funder's open access policies. Some funding bodies will reimburse the author for the Open Access Publication Fee. Details of existing agreements are available online.

Open access

This journal offers authors a choice in publishing their research:

Subscription

- Articles are made available to subscribers as well as developing countries and patient groups through our universal access programs.
- No open access publication fee payable by authors.

Open access

- Articles are freely available to both subscribers and the wider public with permitted reuse.
- An open access publication fee is payable by authors or on their behalf, e.g. by their research funder or institution.

Regardless of how you choose to publish your article, the journal will apply the same peer review criteria and acceptance standards.

For open access articles, permitted third party (re)use is defined by the following Creative Commons user licenses:

Creative Commons Attribution (CC BY)

Lets others distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), include in a collective work (such as an anthology), text or data mine the article, even for commercial purposes, as long as they credit the author(s), do not represent the author as endorsing their adaptation of the article, and do not modify the article in such a way as to damage the author's honor or reputation. Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs (CC BY-NC-ND) For non-commercial purposes, lets others distribute and copy the article, and to include in a collective work (such as an anthology), as long as they credit the author(s) and provided they do not alter or modify the article.

The open access publication fee for this journal is USD 3400, excluding taxes. Learn more about Elsevier's pricing policy: <https://www.elsevier.com/openaccesspricing>.

Green open access

Authors can share their research in a variety of different ways and Elsevier has a number of green open access options available. We recommend authors see our green open access page for further information. Authors can also self-archive their manuscripts immediately and enable public access from their institution's repository after an embargo period. This is the version that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested

during submission, peer review and in editor-author communications. Embargo period: For subscription articles, an appropriate amount of time is needed for journals to deliver value to subscribing customers before an article becomes freely available to the public. This is the embargo period and it begins from the date the article is formally published online in its final and fully citable form. Find out more. This journal has an embargo period of 24 months.

Elsevier Researcher Academy

Researcher Academy is a free e-learning platform designed to support early and mid-career researchers throughout their research journey. The "Learn" environment at Researcher Academy offers several interactive modules, webinars, downloadable guides and resources to guide you through the process of writing for research and going through peer review. Feel free to use these free resources to improve your submission and navigate the publication process with ease.

Language (usage and editing services)

Please write your text in good English (American or British usage is accepted, but not a mixture of these). Authors who feel their English language manuscript may require editing to eliminate possible grammatical or spelling errors and to conform to correct scientific English may wish to use the English Language Editing service available from Elsevier's WebShop.

Submission

Our online submission system guides you stepwise through the process of entering your article details and uploading your files. The system converts your article files to a single PDF file used in the peer-review process. Editable files (e.g., Word, LaTeX) are required to typeset your article for final publication. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, is sent by e-mail.

Referees

All authors must suggest 3 potential reviewers per submission, together with their full addresses and email details. Potential reviewers should not include anyone with whom the authors have collaborated closely.

Submission Guide and Checklist for Authors

SUMMARY GUIDE AND CHECKLIST FOR AUTHORS

This page is a summary of essential information which is hoped to be useful as guidance to the authors during the final checking of an article prior to sending it to the journal's Editor for review. Please consult the complete Instructions to Authors for details on any item. First of all, submitting an article to *Ecological Indicators* implies that it is an original submission which has not been published previously or has not been submitted to any other journal. All authors must suggest 3 potential reviewers on submission and not forget to include their full addresses and email details. The suggested reviewers should not include anyone with whom the authors have collaborated closely.

Before submitting a manuscript to *Ecological Indicators*, please read the Editorial Policy carefully, which can be found at "Aims and Scope" in the journal website. Be sure that the answer to the following questions concerning the content of the manuscript is Yes: Does the paper focus on the proposal, development, application or evaluation of ecological indicators, considered from the molecular up to the ecosystem and landscape level? Are the results based on ecological/environmental data and observations? Are results explored and discussed from the theory of indication, from the methodology of indication, or from the environmental management points of view, being therefore more than just a descriptive presentation of results from monitoring programs or single case studies? Does the paper emphasize the scientific progress of results in regard to our established knowledge on ecological indicators and in comparison with previously published results? Are all relevant references included?

When submitting the manuscript, please ensure that the following items are not forgotten: Research highlights are identified briefly described; One author has been designated as the corresponding author with the following contact details: E-mail address Full postal address All necessary files have been uploaded, and contain: Keywords All figure captions All tables (including title, description footnotes) Manuscript has been 'spell-checked' and 'grammar-checked' All references mentioned in the Reference list are cited in the text, and vice versa Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Internet) Printed version of figures (if applicable) in colour or black-and-white, indicating clearly whether or not colour or black-and-white in print is required.

For any further information please visit our Support Center.

PREPARATION

NEW SUBMISSIONS

Submission to this journal proceeds totally online and you will be guided stepwise through the creation and uploading of your files. The system automatically converts your files to a single PDF file, which is used in the peer-review process. As part of the Your Paper Your Way service, you may choose to submit your manuscript as a single file to be used in the refereeing process. This can be a PDF file or a Word document, in any format or layout that can be used by referees to evaluate your manuscript. It should contain high enough quality figures for refereeing. If you prefer to do so, you may still provide all or some of the source files at the initial submission. Please note that individual figure files larger than 10 MB must be uploaded separately.

References

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct.

Formatting requirements

There are no strict formatting requirements but all manuscripts must contain the essential elements needed to convey your manuscript, for example Abstract, Keywords, Introduction, Materials and Methods, Results, Conclusions, Artwork and Tables with Captions.

If your article includes any Videos and/or other Supplementary material, this should be included in your initial submission for peer review purposes. Divide the article into clearly defined sections. Figures and tables embedded in text. Please ensure the figures and the tables included in the single file are placed next to the relevant text in the manuscript, rather than at the bottom or the top of the file. The corresponding caption should be placed directly below the figure or table.

Peer review

This journal operates a single blind review process. All contributions will be initially assessed by the editor for suitability for the journal. Papers deemed suitable are then typically sent to a minimum of two independent expert reviewers to assess the scientific quality of the paper. The Editor is responsible for the final decision regarding acceptance or rejection of articles. The Editor's decision is final. More information on types of peer review.

REVISED SUBMISSIONS

Language

Authors whose native language is not English are advised to seek the help of an English-speaking colleague, if possible, before submitting their manuscripts.

Use of word processing software

Please use correct, continuous line numbering and page numbering throughout the document. It is important that the file be saved in the native format of the word processor used. The text should be in single-column format. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. In particular, do not use the word processor's options to justify text or to hyphenate words. However, do use bold face, italics, subscripts, superscripts etc. When preparing tables, if you are using a table grid, use only one grid for each individual table and not a grid for each row. If no grid is used, use tabs, not spaces, to align columns.

The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the Guide to Publishing with Elsevier: <http://www.elsevier.com/guidepublication>). Note that source files of figures, tables and text graphics will be required whether or not you embed your figures in the text. See also the section on Electronic artwork. To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor. Regardless of the file format of the original submission, at revision you must provide us with an editable file of the entire article. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the Guide to Publishing with Elsevier). See also the section on Electronic artwork.

To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.

Article structure

Subdivision - numbered sections

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

Introduction

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

Material and methods

Provide sufficient details to allow the work to be reproduced by an independent researcher. Methods that are already published should be summarized, and indicated by a reference. If quoting directly from a previously published method, use quotation marks and also cite the source. Any modifications to existing methods should also be described.

Theory/calculation

A Theory section should extend, not repeat, the background to the article already dealt with in the Introduction and lay the foundation for further work. In contrast, a Calculation section represents a practical development from a theoretical basis.

Results

Results should be clear and concise.

Discussion

This should explore the significance of the results of the work, not repeat them. A combined Results and Discussion section is often appropriate. Avoid extensive citations and discussion of published literature.

Conclusions

The main conclusions of the study may be presented in a short Conclusions section, which may stand alone or form a subsection of a Discussion or Results and Discussion section.

Appendices

If there is more than one appendix, they should be identified as A, B, etc. Formulae and equations in appendices should be given separate numbering: Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc.; in a subsequent appendix, Eq. (B.1) and so on. Similarly for tables and figures: Table A.1; Fig. A.1, etc.

- Title. Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.
- Author names and affiliations. Please clearly indicate the given name(s) and family name(s) of each author and check that all names are accurately spelled. You can add your name between parentheses in your own script behind the English transliteration. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.
- Corresponding author. Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. This responsibility includes answering any future queries about Methodology and Materials. Ensure that the e-mail address is given and that contact details are kept up to date by the corresponding author.
- Present/permanent address. If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

Abstract

A concise and factual abstract is required. The abstract should be not longer than 400 words. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

Graphical abstract

Although a graphical abstract is optional, its use is encouraged as it draws more attention to the online article. The graphical abstract should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership. Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Image size: Please provide an image with a minimum of 531 × 1328 pixels (h × w) or proportionally more. The image should be readable at a size of 5 × 13 cm using a regular screen resolution of 96 dpi. Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. You can view Example Graphical Abstracts on our information site. Authors can make use of Elsevier's Illustration Services to ensure the best presentation of their images and in accordance with all technical requirements.

Highlights

Highlights are mandatory for this journal. They consist of a short collection of bullet points that convey the core findings of the article and should be submitted in a separate editable file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point). You can view example Highlights on our information site.

Keywords

Immediately after the abstract, provide a maximum of 6 keywords, using American spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, 'and', 'of'). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

Abbreviations

Define abbreviations that are not standard in this field in a footnote to be placed on the first page of the article. Such abbreviations that are unavoidable in the abstract must be defined at their first mention there, as well as in the footnote. Ensure consistency of abbreviations throughout the article.

Acknowledgements

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

Formatting of funding sources

List funding sources in this standard way to facilitate compliance to funder's requirements: Funding: This work was supported by the National Institutes of Health [grant numbers xxxx, yyyy]; the Bill & Melinda Gates Foundation, Seattle, WA [grant number zzzz]; and the United States Institutes of Peace [grant number aaaa]. It is not necessary to include detailed descriptions on the program or type of grants and awards. When funding is from a block grant or other resources available to a university, college, or other research institution, submit the name of the institute or organization that provided the funding. If no funding has been provided for the research, please include the following sentence: This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Nomenclature

Authors and editors are, by general agreement, obliged to accept the rules governing biological nomenclature as laid down in the International Code of Botanical Nomenclature, the International Code of Nomenclature of Bacteria, and the International Code of Zoological Nomenclature. All biotica (crops, plants, insects, birds, mammals, etc.) should be identified by their scientific names when the English term is first used, with the exception of common domestic animals. All biocides and other organic compounds must be identified by their Geneva names when first used in the text. Follow internationally accepted rules and conventions: use the international system of units (SI). If other quantities are mentioned, give their equivalent in SI. You are urged to consult IUPAC: Nomenclature of Organic Chemistry: <http://www.iupac.org/> for further information.

Math formulae

Please submit math equations as editable text and not as images. Present simple formulae in line with normal text where possible and use the solidus (/) instead of a horizontal line for small fractional terms, e.g., X/Y. In principle, variables are to be presented in italics. Powers of e are often more conveniently denoted by exp. Number consecutively any equations that have to be displayed separately from the text (if referred to explicitly in the text).

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article. Many word processors build footnotes into the text, and this feature may be used. Should this not be the case, indicate the position of footnotes in the text and present the footnotes themselves separately at the end of the article.

Artwork**Electronic artwork****General points**

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Preferred fonts: Arial (or Helvetica), Times New Roman (or Times), Symbol, Courier.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Indicate per figure if it is a single, 1.5 or 2-column fitting image.
- For Word submissions only, you may still provide figures and their captions, and tables within a single file at the revision stage.
- Please note that individual figure files larger than 10 MB must be provided in separate source files.

A detailed guide on electronic artwork is available.

You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.

Formats

Regardless of the application used, when your electronic artwork is finalized, please 'save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS (or PDF): Vector drawings. Embed the font or save the text as 'graphics'.

TIFF (or JPG): Color or grayscale photographs (halftones): always use a minimum of 300 dpi.

TIFF (or JPG): Bitmapped line drawings: use a minimum of 1000 dpi.

TIFF (or JPG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale): a minimum of 500 dpi is required.

Please do not:

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); the resolution is too low.
- Supply files that are too low in resolution.
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF (or JPEG), EPS (or PDF), or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color online (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article. Please indicate your preference for color: in print or online only. Further information on the preparation of electronic artwork.

Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. A caption should comprise a brief title (not on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

Tables

Please submit tables as editable text and not as images. Tables can be placed either next to the relevant text in the article, or on separate page(s) at the end. Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text and place any table notes below the table body. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in them do not duplicate results described elsewhere in the article. Please avoid using vertical rules and shading in table cells.

References

Citation in text

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either 'Unpublished results' or 'Personal communication'. Citation of a reference as 'in press' implies that the item has been accepted for publication.

Reference links

Increased discoverability of research and high quality peer review are ensured by online links to the sources cited. In order to allow us to create links to abstracting and indexing services, such as Scopus, CrossRef and PubMed, please ensure that data provided in the references are correct. Please note that incorrect surnames, journal/book titles, publication year and pagination may prevent link creation. When copying references, please be careful as they may already contain errors. Use of the DOI is encouraged.

A DOI can be used to cite and link to electronic articles where an article is in-press and full citation details are not yet known, but the article is available online. A DOI is guaranteed never to change, so you can use it as a permanent link to any electronic article. An example of a citation using DOI for an article not yet in an issue is: VanDecar J.C., Russo R.M., James D.E., Ambeh W.B., Franke M. (2003). Aseismic continuation of the Lesser Antilles slab beneath northeastern Venezuela. *Journal of Geophysical Research*, <https://doi.org/10.1029/2001JB000884>. Please note the format of such citations should be in the same style as all other references in the paper.

Web references

As a minimum, the full URL should be given and the date when the reference was last accessed. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

Data references

This journal encourages you to cite underlying or relevant datasets in your manuscript by citing them in your text and including a data reference in your Reference List. Data references should include the following elements: author name(s), dataset title, data repository, version (where available), year, and global persistent identifier. Add [dataset] immediately before the reference so we can properly identify it as a data reference. The [dataset] identifier will not appear in your published article.

References in a special issue

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

Reference management software

Most Elsevier journals have their reference template available in many of the most popular reference management software products. These include all products that support Citation Style Language styles, such as Mendeley and Zotero, as well as EndNote. Using the word processor plug-ins from these products, authors only need to select the appropriate journal template when preparing their article, after which citations and bibliographies will be automatically formatted in the journal's style. If no template is yet available for this journal, please follow the format of the sample references and citations as shown in this Guide. Users of Mendeley Desktop can easily install the reference style for this journal by clicking the following

link: <http://open.mendeley.com/use-citation-style/ecological-indicators>

When preparing your manuscript, you will then be able to select this style using the Mendeley plugins for Microsoft Word or LibreOffice.

Reference formatting

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct. If you do wish to format the references yourself they should be arranged according to the following examples:

Reference style

Text: All citations in the text should refer to:

1. Single author: the author's name (without initials, unless there is ambiguity) and the year of publication;
2. Two authors: both authors' names and the year of publication;
3. Three or more authors: first author's name followed by 'et al.' and the year of publication. Citations may be made directly (or parenthetically). Groups of references should be listed first alphabetically, then chronologically. Examples: 'as demonstrated (Allan, 2000a, 2000b, 1999; Allan and Jones, 1999). Kramer et al. (2010) have recently shown'

List: References should be arranged first alphabetically and then further sorted chronologically if necessary. More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by the letters 'a', 'b', 'c', etc., placed after the year of publication. Examples:

Reference to a journal publication:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2010. The art of writing a scientific article. *J. Sci. Commun.* 163, 51–59.

Reference to a book:

Strunk Jr., W., White, E.B., 2000. *The Elements of Style*, fourth ed. Longman, New York.

Reference to a chapter in an edited book:

Mettam, G.R., Adams, L.B., 2009. How to prepare an electronic version of your article, in: Jones, B.S., Smith, R.Z. (Eds.), *Introduction to the Electronic Age*. E-Publishing Inc., New York, pp. 281–304.

Reference to a website:

Cancer Research UK, 1975. Cancer statistics reports for the UK. <http://www.cancerresearchuk.org/aboutcancer/statistics/cancerstatsreport/> (accessed 13 March 2003).

Reference to a dataset:

[dataset] Oguro, M., Imahiro, S., Saito, S., Nakashizuka, T., 2015. Mortality data for Japanese oak wilt disease and surrounding forest compositions. Mendeley Data, v1. <https://doi.org/10.17632/xwj98nb39r.1>.

Journal abbreviations source

Journal names should be abbreviated according to the List of Title Word Abbreviations.

Video

Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with their article are strongly encouraged to include links to these within the body of the article. This can be done in the same way as a figure or table by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly relate to the video file's content. In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the file in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 150 MB per file, 1 GB in total. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect. Please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For more detailed instructions please visit our video instruction pages. Note: since video and animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.

AudioSlides

The journal encourages authors to create an AudioSlides presentation with their published article. AudioSlides are brief, webinar-style presentations that are shown next to the online article on ScienceDirect. This gives authors the opportunity to summarize their research in their own words and to help readers understand what the paper is about. More information and examples are available. Authors of this journal will automatically receive an invitation e-mail to create an AudioSlides presentation after acceptance of their paper.

Supplementary material

Supplementary material such as applications, images and sound clips, can be published with your article to enhance it. Submitted supplementary items are published exactly as they are received (Excel or PowerPoint files will appear as such online). Please submit your material together with the article and supply a concise, descriptive caption for each supplementary file. If you wish to make changes to supplementary material during any stage of the process, please make sure to provide an updated file. Do not annotate any corrections on a previous version. Please switch off the 'Track Changes' option in Microsoft Office files as these will appear in the published version.

Research data

This journal encourages and enables you to share data that supports your research publication where appropriate, and enables you to interlink the data with your published articles. Research data refers to the results of observations or experimentation that validate research findings. To facilitate reproducibility and data reuse, this journal also encourages you to share your software, code, models, algorithms, protocols, methods and other useful materials related to the project. Below are a number of ways in which you can associate data with your article or make a statement about the availability of your data when submitting your manuscript. If you are sharing data in one of these ways, you are encouraged to cite the data in your manuscript and reference list. Please refer to the "References" section for more information about data citation. For more information on depositing, sharing and using research data and other relevant research materials, visit the research data page.

Data linking

If you have made your research data available in a data repository, you can link your article directly to the dataset. Elsevier collaborates with a number of repositories to link articles on ScienceDirect with relevant repositories, giving readers access to underlying data that gives them a better understanding of the research described. There are different ways to link your datasets to your article. When available, you can directly link your dataset to your article by providing the relevant information in the submission system. For more information, visit the database linking page. For supported data repositories a repository banner will automatically appear next to your published article on ScienceDirect.

In addition, you can link to relevant data or entities through identifiers within the text of your manuscript, using the following format: Database: xxxx (e.g., TAIR: AT1G01020; CCDC: 734053; PDB: 1XFN).

Mendeley Data

This journal supports Mendeley Data, enabling you to deposit any research data (including raw and processed data, video, code, software, algorithms, protocols, and methods) associated with your manuscript in a free-to-use, open access repository. Before submitting your article, you can deposit the relevant datasets to Mendeley Data. Please include the DOI of the deposited dataset(s) in your main manuscript file. The datasets will be listed and directly accessible to readers next to your published article online. For more information, visit the Mendeley Data for journals page.

Data in Brief

You have the option of converting any or all parts of your supplementary or additional raw data into one or multiple data articles, a new kind of article that houses and describes your data. Data articles ensure that your data is actively

reviewed, curated, formatted, indexed, given a DOI and publicly available to all upon publication. You are encouraged to submit your article for Data in Brief as an additional item directly alongside the revised version of your manuscript. If your research article is accepted, your data article will automatically be transferred over to Data in Brief where it will be editorially reviewed and published in the open access data journal, Data in Brief. Please note an open access fee of 500 USD is payable for publication in Data in Brief. Full details can be found on the Data in Brief website. Please use this template to write your Data in Brief.

MethodsX

You have the option of converting relevant protocols and methods into one or multiple MethodsX articles, a new kind of article that describes the details of customized research methods. Many researchers spend a significant amount of time on developing methods to fit their specific needs or setting, but often without getting credit for this part of their work. MethodsX, an open access journal, now publishes this information in order to make it searchable, peer reviewed, citable and reproducible. Authors are encouraged to submit their MethodsX article as an additional item directly alongside the revised version of their manuscript. If your research article is accepted, your methods article will automatically be transferred over to MethodsX where it will be editorially reviewed. Please note an open access fee is payable for publication in MethodsX. Full details can be found on the MethodsX website. Please use this template to prepare your MethodsX article.

Data statement

To foster transparency, we encourage you to state the availability of your data in your submission. This may be a requirement of your funding body or institution. If your data is unavailable to access or unsuitable to post, you will have the opportunity to indicate why during the submission process, for example by stating that the research data is confidential. The statement will appear with your published article on ScienceDirect. For more information, visit the Data Statement page.

AFTER ACCEPTANCE

Online proof correction

Corresponding authors will receive an e-mail with a link to our online proofing system, allowing annotation and correction of proofs online. The environment is similar to MS Word: in addition to editing text, you can also comment on figures/tables and answer questions from the Copy Editor. Web-based proofing provides a faster and less error-prone process by allowing you to directly type your corrections, eliminating the potential introduction of errors. If preferred, you can still choose to annotate and upload your edits on the PDF version. All instructions for proofing will be given in the e-mail we send to authors, including alternative methods to the online version and PDF.

We will do everything possible to get your article published quickly and accurately. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, tables and figures. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this stage with permission from the Editor. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication. Please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is solely your responsibility.

Offprints

The corresponding author will, at no cost, receive a customized Share Link providing 50 days free access to the final published version of the article on ScienceDirect. The Share Link can be used for sharing the article via any communication channel, including email and social media. For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the article is accepted for publication. Both corresponding and co-authors may order offprints at any time via Elsevier's Webshop. Corresponding authors who have published their article open access do not receive a Share Link as their final published version of the article is available open access on ScienceDirect and can be shared through the article DOI link.

AUTHOR INQUIRIES

Visit the Elsevier Support Center to find the answers you need. Here you will find everything from Frequently Asked Questions to ways to get in touch. You can also check the status of your submitted article or find out when your accepted article will be published.

LISTA DE ARTIGOS PUBLICADOS DURANTE A PÓS-GRADUAÇÃO

Barbosa TAP, Benone NL, **Begot TOR**, Golçalves A, Sousa L, Giarizzo T, Juen L, Montag LFA (2015) Effect of waterfalls and the flood pulse on the structure of fish assemblages of the middle Xingu River in the eastern Amazon basin. *Brazilian Journal of Biology* 75(3):78-94. doi 10.1590/1519-6984.00214BM

Juen L, Cunha EJ, Carvalho FG, Ferreira MC, **Begot TO**, Andrade AL, Shimano Y, Leão H, Pompeu OS, Montag LFA (2016) Effects of oil palm plantations on the habitat structure and biota of streams in Eastern Amazon. *River Research and Applications* 32:2081-2094. doi: 10.1002/rra.3050

Lobato CMC, Soares BE, **Begot TOR**, Montag LFA (2016) Tidal pools as habitat for juveniles of the goliath grouper *Epinephelus itajara* (Lichtenstein 1822) in the Amazonian coastal zone, Brazil. *Brazilian Journal of Nature Conservation* 14(1):20-23. doi 10.1016/j.ncon.2015.12.001

Begot TO, Soares BE, Juen L, Montag LFA (2017) Rockpool ichthyofauna of Amazon coastal zone: spatial and environmental effects on species distribution. *Marine and Freshwater Research* 68:1137-1143. doi 10.1071/MF16275

Hashiguti DTF, **Begot TO**, Prudente BS, Freitas TMS, Montag LFA (2017) Length–weight relationships of six fish species from Tapajós River, Eastern Amazon, Brazil. *Journal of Applied Ichthyology* 33(6):1244-1246. doi 10.1111/jai.13453

Lobato CMC, Soares BE, Santos ACC, **Begot TO**, Montag LFA (2017) Length-weight and length-length relationships of three tidepool fish species in the Amazon Coastal Zone of Brazil. *Journal of Applied Ichthyology* (online version). doi 10.1111/jai.13585

Ferreira MC, **Begot TO**, Prudente BS, Juen L, Montag LFA (2018) Effects of oil palm plantations on habitat structure and fish assemblages in Amazon streams. *Environmental Biology of Fishes* 101(4):547-562. doi 10.1007/s10641-018-0716-4