



LAÍS LOBATO JACOB

**EFEITO DA EXPLORAÇÃO MADEIREIRA NA ESTRUTURA
ECOMORFOLÓGICA DAS ASSEMBLEIAS DE PEIXES EM RIACHOS DE
TERRA FIRME NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Belém – PA
2018

LAÍS LOBATO JACOB

**EFEITO DA EXPLORAÇÃO MADEIREIRA NA ESTRUTURA
ECOMORFOLÓGICA DAS ASSEMBLEIAS DE PEIXES EM RIACHOS DE
TERRA FIRME NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

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

Área de concentração: Biodiversidade e conservação.

Linha de Pesquisa: Ecologia animal.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Rosa da Silva
Coorientador: Prof. Dr. Bruno da Silveira Prudente

Belém - PA
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)

J15e

Jacob, Laís Lobato

Efeito da exploração madeireira na estrutura ecomorfológica das assembleias de peixes em riachos de terra firme na Amazônia Oriental / Laís Lobato Jacob, Bruno da Silveira Prudente, Rogério Rosa da Silva — 2018 40 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Zoologia (PPGZOO), Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Rogério Rosa da Silva

Coorientação: Prof. Dr. Bruno da Silveira Prudente.

1. Ecomorfologia. 2. Estrutura do Habitat Físico. 3. Ictiofauna. 4. Exploração Madeireira Convencional. 5. Exploração Madeireira de Impacto Reduzido. I. Prudente, Bruno da Silveira. II. Silva, Rogério Rosa da, *orient.* III. Título

CDD 574.522209811

FOLHA DE APROVAÇÃO

LAÍS LOBATO JACOB

EFEITO DA EXPLORAÇÃO MADEIREIRA NA ESTRUTURA ECOMORFOLÓGICA DAS ASSEMBLEIAS DE PEIXES EM RIACHOS DE TERRA FIRME NA AMAZÔNIA ORIENTAL

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

Prof. Dr. ROGÉRIO ROSA DA SILVA
MPEG (Presidente)

Prof. Dr. MARCOS PÉRSIO DANTAS SANTOS
UFPA

Prof.^a Dra. BIANCA DE FREITAS TERRA
UVA

Prof.^a Dra. CARLA FERREIRA REZENDE
UFC

Prof.^a Dra. CECÍLIA GONTIJO LEAL
MPEG

Prof.^a Dra. LILIAN CASATTI
UNESP

Aprovada em: 02 de Abril de 2018.

Local de defesa: a distância.

*Dedico esta dissertação aos meus pais **Elisângela Carvalho Lobato Jacob** e **James Alberto Quinteiros Jacob**, que sempre incentivaram meu crescimento profissional e que foram meus pilares de apoio em mais esta etapa. A minha irmã **Luiza Lobato Jacob** e meu filhotinho **Bubba** pela amizade e companheirismo*

“It would be a dream be way back in the days when
the grass was still green and the pond was still wet
and the clouds were still clean”
(The Lorax - Dr. Seuss)

AGRADECIMENTOS

Aos professores Dr. Luciano Fogaça de Assis Montag (Miúdo) e Dr. Bruno da Silveira Prudente que me acompanham desde a graduação, não somente pela orientação, mas pela amizade, confiança e paciência também em todos esses anos, ao compartilharem de sua experiência e conhecimento em ecologia de ecossistemas aquáticos amazônicos comigo.

Ao meu orientador Dr. Rogério Rosa Da Silva, por me orientar e estar sempre disposto a ajudar e compartilhar seu conhecimento durante esses dois anos, e pela amizade construída nesse período.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de pesquisa durante a realização desta dissertação.

As empresas Cikel Brasil Verde Ltda. e Forest 33 por financiarem e auxiliarem na logística durante as expedições de campo realizadas nas áreas de exploração madeireira de impacto reduzido.

Aos amigos e professores do Laboratório de Ecologia e Conservação (LABECO) e do Museu de Zoologia da Universidade Federal do Pará (UFPA), os quais sempre foram muito parceiros e amigos durante as disciplinas e alguns desde que ingressei no laboratório ainda na graduação.

Ao meu amigo e irmão João Lucas da Silva Gonçalves, pela amizade e companheirismo desde a graduação até o mestrado, contribuindo com conversas não só sobre ecologia, como também lições de vida compartilhadas.

Aos amigos do LABECO Naraiana Benone, Thiago Mendes, Cleonice Lobato, Tiago Octavio Begot, Thiago Barbosa, Tiago Freitas, Ana Luiza-Andrade, Leandro Brasil, Lenize Calvão, Facundo Alvarez, Lorrane Cantanhede e Rafael Rodrigues pelas conversas, ideias e ajudas relacionadas à dissertação.

Aos colegas do Laboratório de Morfologia e Ecologia Funcional de Formigas (AntMor) Emilia Albuquerque, Victória Silva, Kelly Liane Sampaio, Emely Siqueira, Joudellys Andrade, Rony Almeida, Lívia Prado e Ísis Siqueira por me receberem de portas abertas, bem como pelos momentos de descontração e amizade.

Aos colegas do Laboratório de Vertebrados Rosana Paschoalino, Sílvia Pinho, Ana Carolina Ribeiro, Juliana Teixeira, Fernanda Barros e Letícia Braga que ingressaram no mestrado junto comigo e com isso compartilharam muitos momentos tanto nas disciplinas quanto na rotina diária de trabalho.

À toda minha família que sempre me incentivou a me dedicar aos estudos, em especial ao meu pai James, minha mãe Elisângela e minhas irmãs Luiza e Larissa por estarem sempre presentes e contribuírem das mais diversas formas tanto na minha formação profissional quanto pessoal.

Aos meus avós Eliane Carvalho Lobato, José de Ribamar Lobato e minha tia Rosângela Carvalho Lobato não só pelo incentivo profissional, como também pelo amor e carinho que sempre depositaram em mim.

Aos meus amigos Vinicius Feitosa, Lenmarck Andrade, Igor Alencar e Leonardo Reis pela amizade, e por estarem presentes na minha vida.

Aos meus amigos de graduação Hádrio Lamas (em memória), Marina Lins, Allysson Quintino, Evelyn Lebrege, Patrícia Grelo, Raissa Coelho, Pâmela Guimarães, Ana Rosa Assunção e Luciana Pontes pela amizade que se expandiu da graduação para a vida.

Ao Alexandre Gomes pela contribuição e ajuda no entendimento de linguagens de programação e elaboração de scripts usados no trabalho.

Por fim agradeço a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para o desenvolvimento dessa dissertação, mas que por ter sido muita gente, posso ter esquecido acidentalmente de citar diretamente, meu sincero agradecimento.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE TABELAS	9
ÍNDICE DE FIGURAS	11
RESUMO	12
ABSTRACT	13
INTRODUÇÃO	14
MATERIAL E MÉTODOS	16
ÁREA DE ESTUDO	16
CARACTERIZAÇÃO DO HABITAT FÍSICO	18
AMOSTRAGEM DA ICTIOFAUNA	19
BIOMETRIA E OBTENÇÃO DOS CARACTERES ECOMORFOLÓGICOS	20
ANÁLISE DE DADOS	21
Variáveis físicas do habitat.....	21
Ecomorfologia.....	22
RESULTADOS	23
VARIÁVEIS FÍSICAS DO HABITAT.....	23
ESTRUTURA ECOMORFOLÓGICA.....	25
DISCUSSÃO	29
CONCLUSÕES	31
REFERÊNCIAS	32
APÊNDICES.....	35
ANEXOS	40

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Caracteres ecomorfológicos, suas respectivas siglas, medidas morfológicas utilizadas para sua obtenção e sua interpretação ecológica, para as assembleias de peixes da bacia do rio Capim, Pará, Brasil. Descrição detalhada das formas de mensuração de cada medida morfométrica encontra-se descrita nos apêndices 2 e 3.

Tabela 2 - Resultados descritivos da Análise Discriminante Linear Múltipla (MLDA) com as 11 variáveis físicas do habitat de riachos localizados em áreas controle, áreas de exploração madeireira de impacto reduzido e em áreas de exploração madeireira convencional, na bacia do rio Capim, Pará, Brasil. Em negrito as variáveis físicas do habitat selecionadas pelo critério de seleção *forward*. Os valores apresentados entre parênteses na quarta coluna correspondem ao grau de liberdade.

Tabela 3 - Resultados descritivos da Análise Discriminante Linear Múltipla (MLDA) baseada em 11 caracteres ecomorfológicos das assembleias de peixes de riachos localizados em áreas controle, áreas de exploração madeireira de impacto reduzido e em áreas com exploração madeireira convencional, na bacia do rio Capim, Pará, Brasil. Em negrito as variáveis físicas do habitat selecionadas pelo critério de seleção *forward*. Os valores apresentados entre parênteses na quarta coluna correspondem ao grau de liberdade.

Tabela 4 - Interseção das correlações entre as variáveis preditoras e as dimensões da Análise de redundância (RDA) com as 11 variáveis do habitat físico e os 11 caracteres morfológicos, juntamente com a porcentagem de explicação dos eixos e o valor de significância. Variáveis preditoras: razão entre largura e profundidade no trecho (XWD_RAT); profundidade média do talvegue (XDEPTH_T); substrato de banco de folhas (PCT_BF); tamanho médio do substrato (Dgm_X); imersão média do substrato (XEMBED); cobertura média de dossel (XC); cobertura média total (XCMG); solo exposto (XGB); média de abrigo natural (XFC_N); heterogeneidade de fluxo (H_FLOW); e velocidade de correnteza (VEL). Em negrito as maiores correlações entre as variáveis físicas do habitat e os eixos da RDA.

Tabela 5 - Interseção das correlações entre as variáveis preditoras e as dimensões da Análise de redundância (RDA) com as três variáveis do habitat físico e os cinco caracteres morfológicos, juntamente com a porcentagem de explicação dos eixos e o valor de significância. Variáveis preditoras: tamanho médio do substrato (Dgm_X); cobertura média de dossel (XC) e cobertura média total (XCMG).

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo com destaque para os pontos de coleta amostrados. Círculos (●) representam riachos em áreas com exploração madeireira convencional, triângulos (▲), riachos em áreas de exploração madeireira de impacto reduzido e quadrados (□), riachos localizados em áreas controle, pertencentes a bacia do rio Capim, Pará, Brasil.

Figura 2 - Representação esquemática da definição do trecho de riacho a ser amostrado, bem como das subdivisões desse trecho utilizadas para avaliação do habitat físico dos riachos e para amostragem das assembleias de peixes dos riachos pertencentes a bacia do rio Capim, Pará, Brasil.

Figura 3 - Representação gráfica da Análise Discriminante Linear Múltipla (MLDA), baseada em 11 variáveis físicas do habitat mensuradas em riachos localizados em áreas controle (□), de exploração madeireira de impacto reduzido (▲) e de exploração madeireira convencional (●), na bacia do rio Capim, Pará, Brasil. Variáveis preditoras: XC - cobertura média de dossel, Dgm_X - tamanho médio do substrato e XCMG - cobertura média total.

Figura 4 - Representação gráfica da Análise Discriminante Linear Múltipla (MLDA), baseada em 11 caracteres ecomorfológicos das assembleias de peixes em riachos localizados em áreas controle (□), de áreas com exploração madeireira de impacto reduzido (▲) e em áreas de exploração madeireira convencional (●) na bacia do rio Capim, Pará, Brasil. Variáveis preditoras: LRB – largura relativa da boca, CRC – comprimento relativo da cabeça, ICPC – índice de compressão do pedúnculo caudal, RANP – relação do aspecto da nadadeira peitoral e IAV – índice de achatamento ventral.

Figura 5 - Análise de redundância (RDA) geral (a) com 11 caracteres morfológicos e 11 variáveis do habitat físico e específica (b) com três variáveis físicas do habitat e três caracteres morfológicos para as assembleias de peixes em riachos localizados em áreas controle (□), de áreas com exploração madeireira de impacto reduzido (▲) e em áreas de exploração madeireira convencional (●) na bacia do rio Capim, Pará, Brasil. Em vermelho estão os caracteres morfológicos utilizados como variável resposta: relação do aspecto da nadadeira peitoral (RANP); comprimento relativo da cabeça (CRC); largura relativa da boca (LRB); índice de compressão do pedúnculo caudal (ICPC); índice de achatamento ventral (IAV); índice de compressão do corpo (ICC); Altura relativa (AR); área relativa da nadadeira peitoral (ARNP); posição relativa dos olhos (PRO); orientação da boca (OB); e coeficiente de finura (CF). Em preto estão as variáveis físicas do habitat utilizadas como variáveis preditoras: razão entre largura e profundidade no trecho (XWD_RAT); profundidade média do talvegue (XDEPTH_T); substrato de banco de folhas (PCT_BF); tamanho médio do substrato (Dgm_X); imersão média do substrato (XEMBED); cobertura média de dossel (XC); cobertura média total (XCMG); solo exposto (XGB); média de abrigo natural (XFC_N); heterogeneidade de fluxo (H_FLOW); e velocidade de correnteza (VEL).

RESUMO

Alterações ambientais resultantes da exploração madeireira modificam a estrutura física do habitat de riachos indiretamente, e conseqüentemente a estrutura ecomorfológica das assembleias de peixes. O presente estudo objetivou avaliar o efeito das modificações na estrutura física do habitat, resultantes da exploração madeireira convencional (EC) e de impacto reduzido (EIR) na estrutura ecomorfológica das assembleias de peixes de riachos da Amazônia Oriental, verificando (1) quais variáveis da estrutura física do habitat estão associadas aos diferentes métodos de exploração; (2) se há diferença na estrutura ecomorfológica das assembleias de peixes dos diferentes tratamentos, e (3) quais caracteres ecomorfológicos estão associados a variáveis físicas do habitat. Em cada riacho foram mensuradas 14 variáveis físicas do habitat, bem como realizadas coletas de peixes utilizando redes de mão. Os espécimes coletados foram acometidos em Eugenol, fixados em formalina a 10% e depois de 48h transferidos para álcool 70%. Possíveis diferenças na estrutura do habitat e na estrutura ecomorfológica das assembleias de peixes entre os tratamentos, foram avaliadas por uma Análise Discriminante Linear Múltipla (MLDA). As relações entre as variáveis do habitat e os caracteres ecomorfológicos foi avaliada através de Análise de Redundância (RDA). A estrutura do habitat dos riachos diferiu entre todos os tratamentos, sendo que áreas controle apresentaram maior cobertura vegetal e maior tamanho médio de substrato. Quanto à ecomorfologia, também constatamos que houve diferença na estrutura ecomorfológica entre todos os tratamentos. Em ambientes de EC, espécies com maior comprimento relativo da cabeça, com a nadadeira peitoral mais larga e com pedúnculo caudal mais comprimido foram predominantes nesses ambientes; em áreas controle espécies com boca mais larga foram favorecidas; e em áreas de EIR, espécies mais achatadas foram predominantes. A exploração madeireira afeta a estrutura do habitat dos riachos, resultando na perda de cobertura vegetal e no tamanho médio de substrato. Houve redução da cobertura vegetal e de tamanho médio do substrato em áreas de EC e áreas de EIR. Nesse sentido, acredita-se que tanto a EC quanto a EIR tem potencial para alterar a estrutura ecomorfológica, e conseqüentemente os serviços ecossistêmicos prestados pelas assembleias de peixes de riachos da Amazônia. Então, mesmo que a EIR reduza os danos as florestas, não está conseguindo proteger os ecossistemas de riachos, visto que foi constatada alterações nesses ambientes quando comparados com áreas controle. Contudo maiores esforços devem ser empregados para entendermos completamente tal relação e proporções que os danos podem causar ao ecossistema.

Palavras-chave: Ecomorfologia, Estrutura do Habitat Físico, Ictiofauna, Exploração Madeireira Convencional, Exploração Madeireira de Impacto Reduzido.

ABSTRACT

Changes resulting from logging modify the physical structure of stream habitats indirectly, and consequently the ecomorphological structure of fish assemblages. The present study aimed to evaluate the effect of changes in the physical structure of the habitat resulting from conventional logging (CL) and reduced-impact logging (RIL), in the ecomorphological structure of the fish assemblages of streams of the Eastern Amazon, verifying (1) which variables of the physical structure of the habitat are associated to the different methods of exploration; (2) if there is a difference in the ecomorphological structure of the fish assemblages of the different treatments, and (3) which ecomorphological characters are associated with physical variables of the habitat. In each stream 14 physical variables of the habitat were measured, as well as fish samples collected using hand nets. The collected specimens were affected in Eugenol, fixed in 10% formalin and after 48h transferred to 70% alcohol. Possible differences in habitat structure and ecomorphological structure of fish assemblages between treatments were evaluated by Multiple Linear Discriminant Analysis (MLDA). The relationships between the habitat variables and the ecomorphological characters were evaluated through Redundancy Analysis (RDA). The structure of the streams habitat differed among all treatments, with control areas showing higher vegetation cover and higher average substrate size. As for ecomorphology, we also found that there was a difference in ecomorphological structure among all treatments. In EC environments, species with greater relative head length, with the wider pectoral fin and with more compressed caudal peduncle were predominant in these environments; in control areas, species with wider mouth were favored; and in RIL areas, more flattened species were predominant. Logging affects the habitat structure of the streams, resulting in loss of plant cover and average substrate size. There was a reduction of plant cover and average substrate size in areas of EC and RIL areas. In this sense, it is believed that both the EC and the RIL have the potential to alter the ecomorphological structure, and consequently the ecosystem services provided by the assemblages of fish from streams in the Amazon. So even if EIR reduces damage to forests, it is failing to protect the ecosystems of streams, since changes have been observed in these environments when compared to control areas. However greater efforts should be employed to fully understand such a relationship and proportions that the damage can cause to the ecosystem.

Keywords: Ecomorphology, Structure of Physical Habitat, Ichthyofauna, Conventional Logging, Reduced-Impact Logging.

EFEITO DA EXPLORAÇÃO MADEIREIRA NA ESTRUTURA ECOMORFOLÓGICA DAS ASSEMBLEIAS DE PEIXES EM RIACHOS DE TERRA FIRME NA AMAZÔNIA ORIENTAL

LAÍS L. JACOB^{*†}, BRUNO S. PRUDENTE^{†*}, LUCIANO F. A. MONTAG[†] E ROGÉRIO R. SILVA[‡]

Manuscrito a ser submetido para a revista *Hydrobiologia*.

*Programa de Pós-graduação de Zoologia, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Para - Rua Augusto Corrêa, Belém, Para, Brasil

†Laboratório de Ecologia e conservação (LABECO), Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará. Av. Bernardo Saião, s/n, CEP: 68625-150 Guamá, Belém, Pará, Brasil. lais_lobato@hotmail.com.

‡Museu Paraense Emílio Goeldi, Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia, Av. Perimetral, 1901 - Terra Firme, Belém - PA, 66077-830.

•Museu Paraense Emílio Goeldi, Coordenação de Zoologia, Programa de Capacitação Institucional, Av. Perimetral, 1901 - Terra Firme, Belém - PA, 66077-830.

INTRODUÇÃO

A floresta Amazônica tem sido submetida a inúmeras alterações antrópicas, que causam principalmente o desmatamento das florestas e perda de biodiversidade (Castello et al., 2013; Barlow et al., 2016) resultantes da expansão de atividades como a exploração madeireira (Dias et al., 2009). A qual, emprega dois principais métodos de exploração, a exploração madeireira convencional (EC) e a exploração madeireira de impacto reduzido (EIR). A EIR tem como principal característica o planejamentos pré- e pós-exploratórios, reduzindo os danos às florestas remanescentes e buscando uma maior eficiência no processo de regeneração florestal após a exploração (Putz et al., 2008, 2012). Diferentemente, na EC as árvores de alto valor comercial são retiradas sem um planejamento pré-estabelecido, e as mesmas áreas são visitadas em intervalos de tempo cada vez mais curtos para extração das demais espécies de árvores consideradas de menor interesse comercial (Putz et al., 2001; Lentini et al., 2003; Cariello, 2008).

A EC surgiu a partir da década de 50 com a abertura de estradas na Amazônia, facilitando o acesso às áreas florestadas (IFT, 2014) e atualmente ainda é o método mais comum de extração madeireira na Amazônia (Pereira et al., 2010). Já a EIR surgiu a partir da criação do Programa Nacional de Florestas (PNF) com o Decreto nº 3.420, de 20 de abril de 2000, que previu maior incentivo governamental para promover o desenvolvimento sustentável, conciliando o uso com a conservação das florestas brasileiras. O surgimento da EIR também agregou valor ao produto madeireiro ao exigir certificação do Conselho Brasileiro de Manejo Florestal – FSC Brasil (FSC do inglês *Forestry Stewardship Council*[®]), que visa popularizar o manejo florestal responsável, e com isso, evita o desmatamento excessivo e a má gestão dos recursos florestais (FSC, 2012).

De acordo com a Lei de Proteção da Vegetação Nativa, popularmente chamada de Novo Código Florestal Brasileiro (BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012), a EC é permitida, e caracterizada como área de desmate para uso alternativo do solo ou área de supressão da vegetação, já a EIR é considerada como manejo florestal sustentável. Na EC a única diretriz técnica direcionada para conservação dos ecossistemas de riacho é a manutenção da Área de Preservação Permanente (APP), com 30 metros de distância a partir das margens dos riachos de pequeno porte (menos de 10m de largura). A preservação desta floresta ripária (APPs) é prevista principalmente, pela manutenção da qualidade da água (Theurer et al., 1985; Rocha & Costa, 2015) e de microhabitats (Bradley & Arthington, 2003; Casatti, 2010), bem como pela alta interdependência dos ecossistemas aquático e terrestre (Vogel et al., 2009). Entretanto, de acordo com Leal et al. (2016) apenas a manutenção das florestas de APPs não é suficiente para garantir a conservação dos ecossistemas de riacho amazônicos.

De acordo com a Teoria hierárquica (O'Neill et al., 1989; Tonn, 1990), que prediz que alterações na paisagem ao longo das bacias de drenagem afetam de forma indireta o habitat dos riachos. Seguindo esta teoria, alterações como o assoreamento de margens e retirada da vegetação ao longo da microbacia, decorrentes da exploração madeireira, podem resultar em mudanças na morfologia do curso d'água (Angermeier & Karr, 1984; Leitão et al., 2018) diminuição da velocidade de correnteza (Bussing & López, 1977; Zuanon, 1999) ou ainda, na diminuição da profundidade do riacho (Martin-Smith, 1998), que por sua vez reflete na estrutura das comunidades biológicas que habitam esses ambientes, tais como a ictiofauna.

Tais alterações ambientais causadas, por exemplo, pela exploração madeireira, atuam como filtro ambiental, afetando a estrutura das comunidades. Os filtros ambientais restringem a ocorrência de espécies especialistas, através de restrições decorrentes do impacto ambiental com novas condições ambientais, que impossibilitam espécies mais especializadas de utilizarem os recursos naquele ambiente impactado (Tonn et al., 1990; Poff, 1997). Então, uma boa forma de avaliar a utilização desses recursos pelas espécies, é através de estudos ecomorfológicos, que relacionam a morfologia das espécies, com a maneira que elas utilizam os recursos em um determinado ambiente (Casatti & Castro, 2006; Fuentes, 2011), revelando também, como alterações antrópicas podem afetar essas comunidades biológicas (Montaña & Winemiller, 2010).

Trabalhos como o de Dias et al. (2009) e Prudente et al. (2017) que buscaram avaliar o efeito da EIR sobre o ambiente e sobre a ictiofauna na Amazônia, concluíram que a EIR é uma boa forma de minimizar os impactos às comunidades de peixes. No entanto, ainda há uma grande lacuna do conhecimento quanto ao impacto causado pela EC sobre a ictiofauna na Amazônia.

Uma vez que mudanças na vegetação ao longo da microbacia e morfologia do canal são as principais alterações na estrutura do habitat de riacho tropicais resultantes da exploração madeireira

(Bojsen & Barriga, 2002; Prudente et al., 2017) e considerando o fato que os caracteres morfológicos selecionados entre ambientes impactados ou não sejam diferentes, favorecendo algumas espécies e desfavorecendo outras (Cianciaruso et al., 2013), o presente estudo objetivou avaliar o efeito das modificações na estrutura física do habitat, resultantes da exploração madeireira convencional e de impacto reduzido, na estrutura ecomorfológica das assembleias de peixes de riachos da Amazônia Oriental, determinando (1) quais variáveis da estrutura física do habitat são afetadas pelos diferentes métodos de exploração madeireira; (2) se há diferença na estrutura ecomorfológica das assembleias de peixes dos diferentes tratamentos; e (3) quais caracteres ecomorfológicos estão associados às variáveis físicas do habitat. Ao responder tais lacunas do conhecimento, nosso trabalho será capaz de informar medidas de manejo potencial a ser aplicado na Amazônia.

MATERIAL E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

A região estudada situa-se na mesorregião sudeste do Estado do Pará, município de Paragominas, em áreas pertencentes à Empresa CIKEL Brasil Verde Madeiras Ltda. e em propriedades particulares adjacentes à CIKEL. O complexo de fazendas pertencentes à Empresa CIKEL Brasil Verde Madeiras Ltda. possui uma área de aproximadamente 210 mil ha composta por um mosaico de áreas florestadas ainda não exploradas (que serão tratadas no presente estudo como “áreas controle”) e áreas sujeitas a exploração madeireira de impacto reduzido (EIR). As áreas com exploração madeireira convencional (EC) localizam-se fora da empresa CIKEL, em propriedades particulares adjacentes (Figura 1). A distância geográfica das áreas de EC em relação às demais áreas estudadas é resultado da distribuição espacial dos diferentes mecanismos de exploração madeireira da região. Porém, todos os pontos amostrados estão sujeitos às mesmas condições climáticas, apresentam o mesmo tipo de solo e vegetação, bem como pertencem à mesma bacia de drenagem, estando sujeitos ao mesmo *pool* regional de espécies.

Os riachos amostrados pertencem a bacia do rio Capim, composta por inúmeras microbacias, como as dos rios Cauaxi, Candiru-Açu, Potiritá, Água Boa, Camaoi, Timbó-Açu, Matamatá, Piriá e Uraim (Watrín & Rocha, 1992). O clima predominante na região é do tipo tropical equatorial, subtipo “Af” segundo a classificação de Köppen (1948) revalidada por Peel, Finlayson & McMahon (2007) com uma estação seca entre os meses de agosto a novembro e com um período de chuvas intensas entre os meses de novembro e março. A temperatura média anual na região varia de 24°C a 26°C, com umidade relativa do ar média variando entre 80% e 85% (Peel et al., 2007). A precipitação média anual é de 1.773 mm (Watrín & Rocha, 1992). A vegetação na região é composta predominantemente por floresta ombrófila densa de terra firme, e em menores

proporções, por florestas ombrófilas densas aluviais de várzeas localizadas predominantemente as margens do rio Capim (Veloso et al., 1991).

As áreas de exploração madeireira de impacto reduzido (EIR) possuem certificação do FSC Brasil. As áreas controle do presente estudo também estão localizadas em áreas de reserva legal ou em áreas de vegetação nativa ainda não explorada e pertencentes a CIKEL.

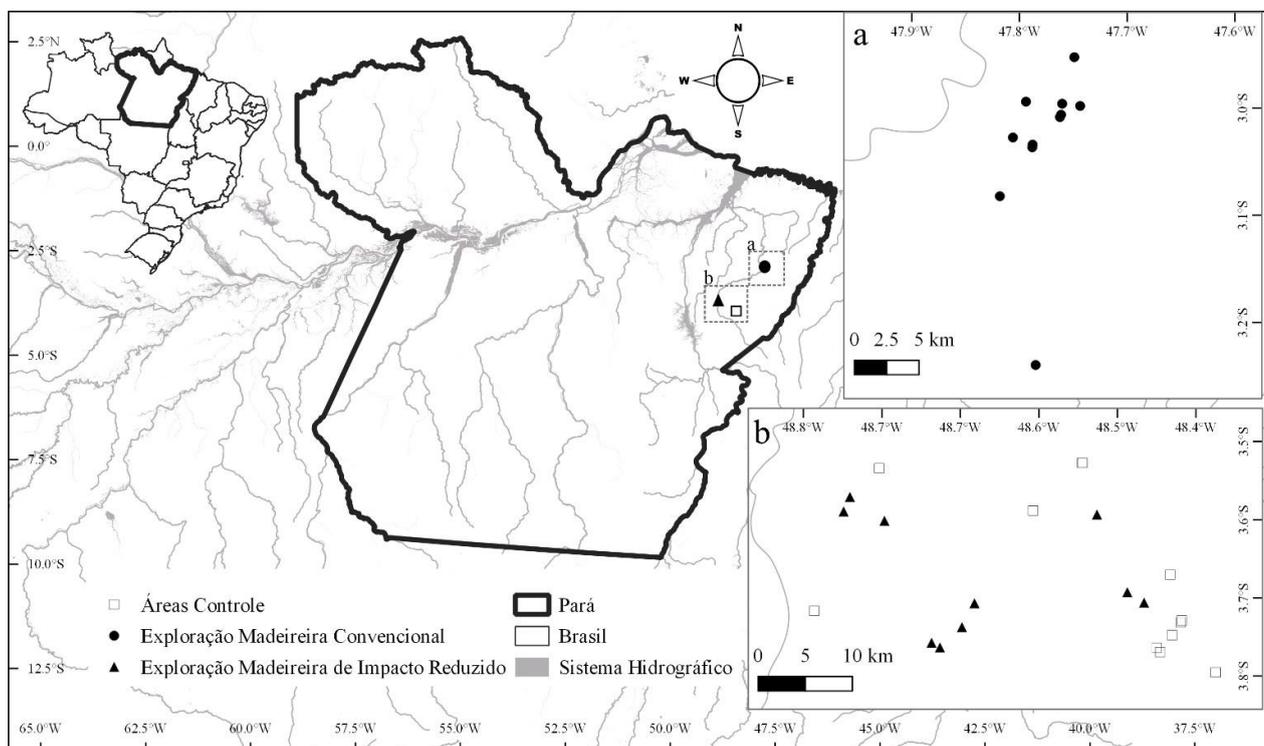


Figura 1 - Localização da área de estudo com destaque para os pontos de coleta amostrados. Círculos (●) representam riachos em áreas com exploração madeireira convencional, triângulos (▲), riachos em áreas de exploração madeireira de impacto reduzido e quadrados (□), riachos localizados em áreas controle, pertencentes a bacia do rio Capim, Pará, Brasil.

DESENHO AMOSTRAL

A coleta do material biológico foi realizada entre os meses de setembro e novembro dos anos de 2012 e 2014, que corresponde ao período de estiagem na região estudada. Selecionamos o período de estiagem para evitar possíveis variações temporais na estrutura das assembleias de peixes, bem como nas condições ambientais. Durante esse período, também é possível obter uma maior eficiência amostral e melhor caracterização da estrutura física do habitat (Jaramillo-Villa & Caramaschi, 2008).

Foram amostrados 34 riachos, sendo 13 localizados em áreas controle, 10 em áreas de exploração madeireira de impacto reduzido e 11 em áreas com exploração madeireira convencional. Em cada riacho um trecho amostral de 150 metros foi estabelecido, subdividido em 11 seções transversais nomeadas de A à K, no sentido jusante montante, resultando em 10 seções

longitudinais de 15 metros cada onde foram avaliadas as características do habitat físico e realizada a coleta dos peixes (Figura 2).

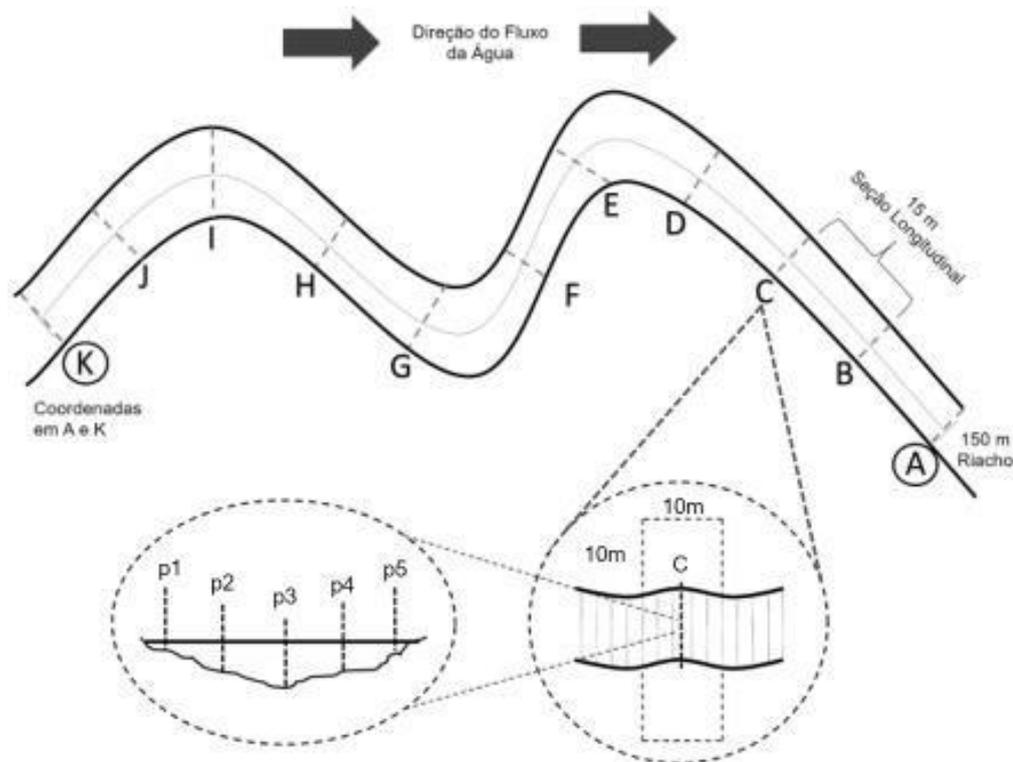


Figura 2 - Representação esquemática da definição do trecho de riacho a ser amostrado, bem como das subdivisões desse trecho utilizadas para avaliação do habitat físico dos riachos e para amostragem das assembleias de peixes dos riachos pertencentes a bacia do rio Capim, Pará, Brasil.

CARACTERIZAÇÃO DO HABITAT FÍSICO

A caracterização do habitat físico dos riachos foi realizada com base em 14 variáveis do habitat que foram mensuradas de acordo com o protocolo de avaliação proposto por Peck *et al.* (2006) e adaptado por Callisto *et al.* (2014) para riachos tropicais. As variáveis ambientais mensuradas foram agrupadas em cinco blocos: morfologia do canal, substrato, cobertura da vegetação ripária, abrigo e tipos de fluxo do canal.

As seguintes variáveis pertencem ao bloco morfologia do canal: (i) profundidade média do talvegue (XDEPTH_T), obtida através da média de 150 medidas em pontos equidistantes ao longo do talvegue do canal; (ii) largura molhada média (XWIDTH), medida de uma margem a outra com canal nas 11 seções transversais e no centro das 10 seções longitudinais; (iii) razão entre largura e profundidade no trecho (XWD_RAT).

A variáveis do bloco de substrato foram (i) tamanho médio do substrato (Dgm_X) estimativa visual do tamanho médio do substrato medido em cada segmento do riacho; (ii) imersão média do substrato (XEMBED), estimativa visual descrevendo a porcentagem do substrato imerso

por sedimento fino em 150 pontos equidistantes ao longo do seção longitudinal e em 5 pontos equidistantes ao longo de cada seção transversal; (iii) substrato formado por banco de folhas (PCT_BF) estimativa visual da porcentagem de substrato de banco de folhas avaliado em um trecho de 5m a jusante e 5 m a montante de cada seção transversal.

Para o bloco de cobertura da vegetação ripária foram mensuradas as seguintes variáveis: (i) cobertura média do dossel (XC), (ii) cobertura média total (XCMG) e, (iii) solo exposto (XGB), estas foram estimativas visuais determinadas a partir de uma área de 5 m a montante, 5 m a jusante e 10 m para dentro da vegetação ripária em cada seção transversal, formando 11 parcelas de 100 metros quadrados em ambos os lados do trecho do riacho. As variáveis (iv) média de dossel no canal (XCENMID) e (v) média de dossel nas margens (XCENBK), foram medidas a partir de um densiômetro esférico, colocado em quatro direções no canal médio e um em cada margem, respectivamente.

O bloco abrigo para peixes foi representado pela variável média de abrigo natural (XFC_N), a qual foi estimada visualmente para uma área que se estendeu 5 metros a montante e 5 metros a jusante em cada uma das 11 seções transversais. Por fim, o bloco tipos de fluxo do canal foi composto pelas variáveis (i) heterogeneidade de fluxo (H_FLOW), classificada com base na ocorrência da sequência de fluxo: rápido, suave e piscina; onde 0 representa fluxos com heterogeneidade mínima, e 1 fluxos representados com máxima heterogeneidade; e (ii) velocidade de correnteza (VEL), a qual foi determinada pelo tempo em que um objeto flutuante moveu-se por uma distância conhecida através de uma área média. A escolha das variáveis baseou-se no trabalho de Prudente et al. (2017), do qual apenas substituímos a variável vazão pela velocidade de correnteza uma vez que esta apresenta maior potencial de resposta (Marchetti & Moyle, 2001) quando se trata de ecomorfologia.

AMOSTRAGEM DA ICTIOFAUNA

A coleta dos peixes foi realizada utilizando duas redes de mão, com 55cm de diâmetro, e malha de 2mm entre nós opostos, com um esforço amostral de três horas. Os exemplares coletados foram submetidos a doses letais de anestésico Eugenol, fixados em formalina a 10% e depois de 48h transferidos para álcool 70%. Em laboratório os espécimes foram identificados à nível de espécie/morfoespécie utilizando literatura especializada (e.g. Géry, 1977; Kulander, 1986; Lopes, Britski & Silimon, 2007) e auxílio de especialistas. O material foi depositado na coleção ictiológica do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), Belém, PA.

BIOMETRIA E OBTENÇÃO DOS CARACTERES ECOMORFOLÓGICOS

Para obtenção dos caracteres ecomorfológicos, usamos os cinco maiores indivíduos de tamanhos similares para cada espécie. Tal critério foi utilizado buscando evitar diferenças na morfologia associadas a ontogenia. No caso de espécies com menos de cinco exemplares, foram medidos espécimes adicionais provenientes da coleção ictiológica do Museu Paraense Emílio Goeldi. Para a seleção dos espécimes na coleção, deu-se preferência a espécimes amostrados na mesma bacia hidrográfica ou em ecossistemas de riachos de bacias hidrográficas adjacentes. Para exemplares identificados apenas ao nível de morfoespécie, foram usados somente os indivíduos disponíveis no presente estudo (Apêndice 1).

Para espécies com dimorfismo sexual (por exemplo, *Crenuchus spilurus* e *Pyrrhulina aff. brevis*), foram medidos somente indivíduos do sexo feminino, pois estes tendem a apresentar menor variação morfológica no período reprodutivo. Em machos há variação de algumas características morfológicas como o aumento da área das nadadeiras que muitas vezes tem apenas função de *display* sexual e não estão necessariamente relacionadas a capacidade natatória.

Para cada espécie/morfoespécie foram mensuradas 14 medidas morfométricas (Apêndices 2 e 3), cuja combinação resultou em 11 caracteres ecomorfológicos com interpretação ecológica descrita na literatura (de Medeiros & da Costa Ramos, 2007) (Tabela 1). Para obtenção de medidas lineares foi utilizado um paquímetro digital com 0,1 mm de precisão; para a obtenção dos valores de área, os indivíduos e estruturas foram contornados em papel milimetrado, posteriormente digitalizados e a área foi mensurada utilizando o software *ImageJ* (versão 1.48) (Rasband, 2012). Para a medida do ângulo da boca em relação ao eixo do corpo, os exemplares foram colocados sobre um papel milimetrado, fotografados utilizando uma câmera digital posicionada a 90° do espécime e os valores foram estimados utilizando o software *ImageJ*.

Tabela 1 - Caracteres ecomorfológicos, suas respectivas siglas, medidas morfológicas utilizadas para sua obtenção e sua interpretação ecológica, para as assembleias de peixes da bacia do rio Capim, Pará, Brasil. Descrição detalhada das formas de mensuração de cada medida morfométrica encontra-se descrita nos apêndices 2 e 3.

Caracteres	Siglas	Cálculo	Interpretação
Índice de compressão do corpo	ICC	AMC/LMC	Valores elevados indicam peixes que habitam ambientes com menor velocidade de correnteza (Watson & Balon, 1984).
Altura relativa do corpo	AR	AMC/CP	Valores baixos indicam peixes que habitam ambientes com maior velocidade de correnteza (Gatz, 1979).
Índice de compressão do pedúnculo caudal	ICPC	AMPC/LMPC	Valores elevados indicam uma natação lenta, com baixa manobrabilidade e baixa capacidade de arrancadas rápidas (Gatz,

Índice de achatamento ventral	IAV	ALMM/AMC	1979). Valores baixos indicam espécies com alto hidro dinamismo, podendo manter-se em sua posição espacial inclusive quando estacionário (Hora, 1930).
Área relativa da nadadeira peitoral	ARNP	ANP/ADC	Valores elevados indicam tanto nadadores lentos, que utilizam suas nadadeiras peitorais para a realização de manobras ou frenagem, como de peixes habitantes de águas correntes que utilizam as nadadeiras para a natação em correnteza, ou ainda aqueles em posição estável no substrato (Watson & Balon, 1984).
Relação do aspecto da nadadeira peitoral	RANP	CMNP/AMNP	Valores elevados indicam nadadeiras compridas e estreitas, presentes em peixes que nadam longas distâncias (Mahon, 1984), ou espécies de peixes com maior atividade natatória (Casatti & Castro, 2006).
Comprimento relativo da cabeça	CRC	CC/CP	Valores elevados indicam uma maior capacidade de captura de alimento de tamanho relativamente grande (Gatz, 1979).
Posição relativa dos olhos	PRO	ALMO/AC	A posição dos olhos está relacionada com a predisposição a habitats verticais (Gatz, 1979); valores reduzidos indicam olhos localizados lateralmente, típico de peixes nectônicos e olhos posicionados dorsalmente indicam peixes bentônicos (Watson & Balon, 1984).
Largura relativa da boca	LRB	LB/CP	Valores elevados podem indicar a capacidade de obter alimentos de tamanho relativamente grande (Gatz, 1979).
Orientação da boca	OB	Ângulo (Θ)	A orientação da boca indica em qual altura da coluna d'água o peixe obtém seu alimento. Os valores em graus foram convertidos em radianos (unidade de ângulo plano) (Hammer, 2002).
Coefficiente de finura	CF	$CP/\sqrt{(AMC*LM)}$ C)	Refere-se a capacidade de natação (Ohlberger et al., 2006). Valores de 2 a 6 indicam arraste reduzido; a relação ótima para a eficiência do nado é de 4,5 (Ohlberger et al., 2006).

ANÁLISE DE DADOS

Variáveis físicas do habitat

Para avaliar quais variáveis foram mais representativas na diferenciação da estrutura física do habitat entre riachos de áreas controle e com os diferentes métodos de exploração madeireira, as

14 variáveis mensuradas passaram por um processo de pré-seleção. Inicialmente, foram desconsideradas aquelas com valor zero em 90% ou mais dos riachos. A seguir, as métricas mantidas foram avaliadas quanto ao coeficiente de variação (CV). Variáveis com $CV < 0,1$ foram excluídas, uma vez que pouco contribuiriam para distinguir a estrutura física do habitat dos tratamentos analisados.

As variáveis restantes foram submetidas a uma correlação de *Spearman* para avaliar a multicolinearidade entre elas. No caso de variáveis com altos valores de correlação ($|r_s| > 0,7$), foram selecionadas variáveis consideradas de maior importância na estruturação das assembleias de peixes de riachos tropicais, de acordo com a literatura (Dias et al., 2009; Leal et al., 2016; Prudente et al., 2017; Leitão et al., 2018).

As variáveis físicas do habitat mantidas para análise foram padronizadas (média = zero, variância = 1) e submetidas a uma Análise Discriminante Linear Múltipla (MLDA) (Albrecht, 1980), objetivando verificar diferenças entre áreas controle e sujeitas aos diferentes métodos de exploração madeireira (convencional e de impacto reduzido). Esta análise também foi realizada para identificar quais variáveis são responsáveis por essa diferenciação (Legendre & Legendre, 1998, 2012).

A MLDA é uma análise que envolve transformação linear, maximizando a variância entre classes e minimizando a variância dentro das classes (Stendahl & Roos, 2008), e por isso é a mais recomendada para situações como a observada no presente estudo, com tratamentos definidos a priori. Para verificar quais variáveis físicas do habitat diferenciam os tratamentos, utilizamos o método *Forward* de seleção de variáveis. O método adiciona sucessivamente variáveis em cada etapa e a variável com o maior valor “*F - to enter*” é escolhida para inclusão no modelo e assim sucessivamente; o método *Forward* encerra a seleção quando nenhuma outra variável tiver um valor “*F - to enter*” maior que 1 (um) (StatSoft, 2013).

Ecomorfologia

Em todas as análises ecomorfológicas, foi utilizado o valor médio de cada variável para cada espécie. Para cada riacho, calculamos a média dos caracteres morfológicos ponderada pela abundância das espécies, conhecida como CWM (do inglês *community weighted mean*) (Lavorel et al., 2008). A CWM foi calculada através da seguinte equação:

$$CWM = \sum_{i=1}^n Sp_i \times caractere_i$$

Onde o Sp_i é a contribuição relativa da espécie i para a assembleia, e $caractere_i$ corresponde ao valor dos caracteres ecomorfológicos da espécie i . Tal métrica é comumente utilizada em estudos

de diversidade funcional (e.g. Lavorel *et al.*, 2008; Laliberte & Legendre, 2010), nesse caso, a matriz CWM foi criada para a obtenção de uma matriz de caracteres ecomorfológicos ponderados pela abundância para cada ponto amostrado.

A matriz com os valores de CWM foi submetida a uma MLDA, para testar se havia diferença entre os grupos ecomorfológicos das comunidades de peixes entre os diferentes tratamentos (convencional, controle e de impacto reduzido), utilizando os mesmos critérios e modelos apresentados anteriormente para as variáveis físicas do habitat.

A associação entre as variáveis físicas do habitat e as características ecomorfológicas das assembleias foi avaliada através de uma Análise de Redundância (RDA - *Redundance Analysis*). A RDA é um método que combina regressão e análise de componentes principais (PCA) para a análise conjunta de variáveis bióticas e abióticas (Legendre & Legendre, 1998; Leps & Smilauer, 2003). Difere da análise de correspondência canônica (CCA) por apresentar uma resposta linear das espécies ao gradiente ambiental. Foram realizadas duas RDAs, uma para verificar a relação de todas as variáveis físicas do habitat sobre a morfologia das espécies dos diferentes tratamentos; e outra considerando apenas as variáveis físicas do habitat e os caracteres morfológicos importantes na diferenciação dos tratamentos apontados pelas MLDA. As análises acima foram realizadas considerando um nível de significância de $p < 0,05$.

As análises MLDA foram realizadas utilizando o software STATISTICA 7.1 e a RDA foi realizada no software R, versão 3.4.0 (R Development Core Team, 2017), usando o pacote Vegan e a função rda.

RESULTADOS

VARIÁVEIS FÍSICAS DO HABITAT

As 14 variáveis do habitat foram avaliadas quanto ao coeficiente de variação sendo as variáveis média de dossel do canal e média de dossel das margens excluídas por apresentarem coeficiente de variação maior que um. As 12 variáveis restantes foram submetidas a uma correlação de *Spearman*, em que as variáveis média de largura molhada e média de profundidade de talvegue foram correlacionadas, e da qual escolhemos a média de profundidade de talvegue para continuar as demais análises.

Com as 11 variáveis do habitat, constatamos que os riachos apresentaram diferenças quanto a estrutura física do habitat (MLDA: Wilks $\lambda = 0,08$; $F_{18,46} = 6,45$; $p < 0,01$). As comparações par a par demonstraram que existe diferença entre áreas de exploração madeireira convencional e áreas controle ($F_{9,23} = 6,81$; $p < 0,01$), entre áreas de exploração madeireira convencional e áreas de exploração madeireira de impacto reduzido ($F_{9,23} = 5,25$; $p < 0,01$) e entre áreas controle e áreas de exploração madeireira de impacto reduzido ($F_{9,23} = 7,48$; $p < 0,01$) (Figura 3).

As variáveis físicas do habitat com maior contribuição na distinção entre os tratamentos, foram a tamanho médio do substrato ($F_{2,36} = 5,96$; $p < 0,01$), cobertura média de dossel ($F_{2,36} = 5,56$; $p = 0,01$) e cobertura média total ($F_{2,36} = 11,65$; $p < 0,01$) (Tabela 2). Uma descrição da variação de cada uma das 14 variáveis físicas do habitat mensuradas no presente estudo pode ser encontrada no material suplementar (Apêndice 4).

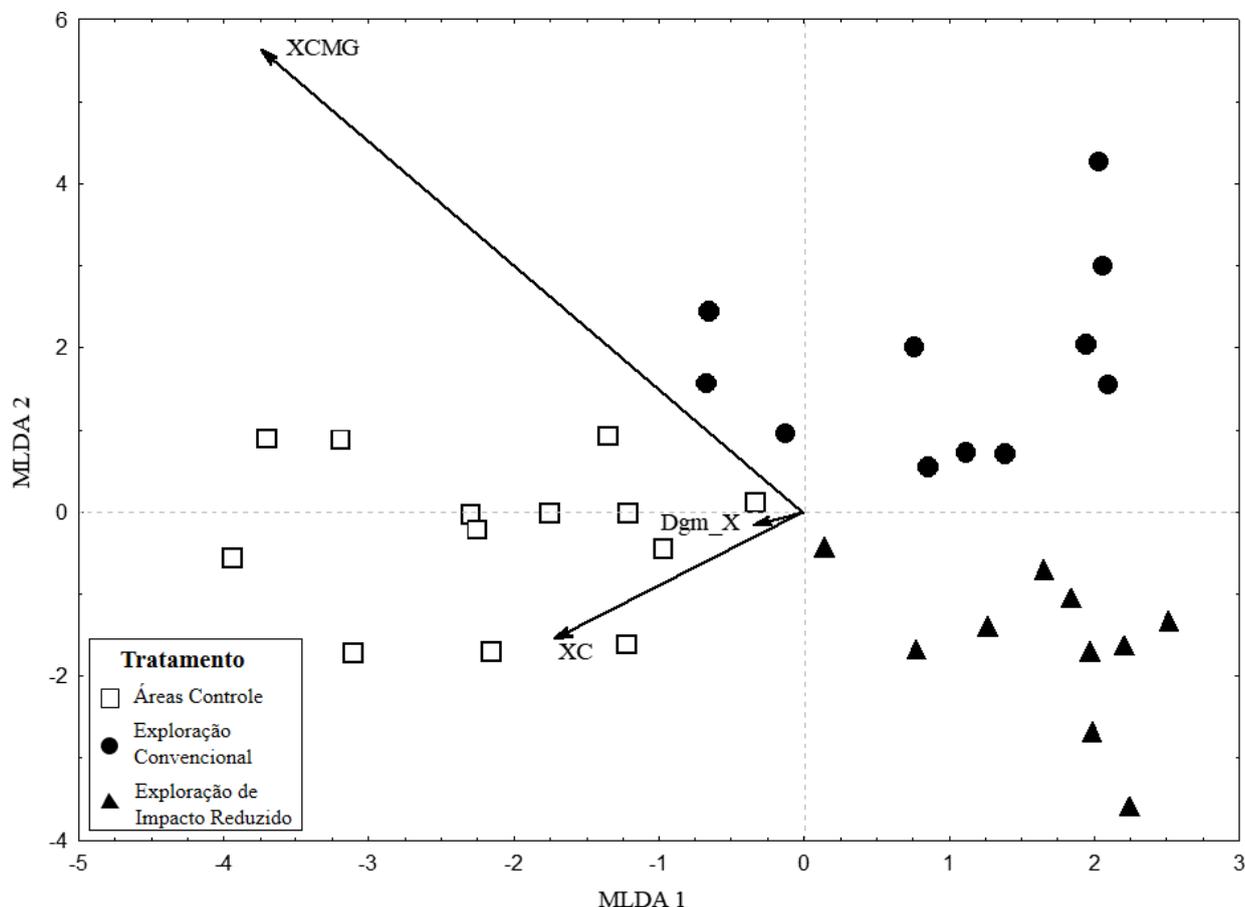


Figura 3 - Representação gráfica da Análise Discriminante Linear Múltipla (MLDA), baseada em 11 variáveis físicas do habitat mensuradas em riachos localizados em áreas controle (□), de exploração madeira de impacto reduzido (▲) e de exploração madeira convencional (●), na bacia do rio Capim, Pará, Brasil. Variáveis preditoras: XC - cobertura média de dossel, Dgm_X - tamanho médio do substrato e XCMG - cobertura média total.

Tabela 2 - Resultados descritivos da Análise Discriminante Linear Múltipla (MLDA) com as 11 variáveis físicas do habitat de riachos localizados em áreas controle, áreas de exploração madeira de impacto reduzido e em áreas de exploração madeira convencional, na bacia do rio Capim, Pará, Brasil. Em negrito as variáveis físicas do habitat selecionadas pelo critério de seleção *forward*. Os valores apresentados entre parênteses na quarta coluna correspondem ao grau de liberdade.

Variáveis físicas do habitat	Siglas	Wilks λ	F-remove (2,36)	p
Razão entre largura e profundidade no trecho	XWD_RAT	0,09	1,26	0,30
Profundidade média do talvegue	XDEPTH_T	0,10	2,12	0,14
Substrato de banco de folhas	PCT_BF	0,08	0,73	0,49
Tamanho médio do substrato	Dgm_X	0,12	5,96	0,01

Imersão média do substrato	XEMBED	0,10	2,28	0,13
Cobertura média de dossel	XC	0,12	5,56	0,01
Cobertura média total	XCMG	0,16	11,66	>0,01
Solo exposto	XGB	0,09	1,24	0,31
Média de abrigo natural	XFC_N	0,08	0,66	0,53
Heterogeneidade de fluxo	H_FLOW	0,09	1,15	0,34
Velocidade de correnteza	VEL	0,10	2,59	0,10

Riachos em áreas controle apresentaram maiores valores médios para a variável tamanho médio do substrato ($745,71 \pm 767,91$), a qual foi 81,78% maior do que em áreas de exploração madeireira convencional e 61,60% maior do que áreas de exploração madeireira de impacto reduzido. A cobertura média de dossel foi de $67,95 \pm 11,88$ em áreas controle, sendo 43,97% maior do que em riachos localizados em áreas de exploração madeireira convencional e 31,78% maior do que em riachos em áreas de exploração madeireira de impacto reduzido. Por fim, a cobertura média total foi de $175,15 \pm 23,15$ em áreas controle, sendo 8,73% maior do que áreas de exploração madeireira convencional e 30,14% maior do que áreas de exploração madeireira de impacto reduzido.

ESTRUTURA ECOMORFOLÓGICA

Dentre as espécies amostradas, *Synbranchus marmoratus* foi retirada das análises ecomorfológicas por apresentar um corpo serpentiforme, desprovido da maioria das estruturas mensuradas neste estudo para a obtenção dos caracteres ecomorfológicos (por ex., nadadeiras). Sendo assim, as análises ecomorfológicas foram realizadas considerando 56 espécies, resultando em 271 indivíduos medidos, uma vez que quatro espécies foram identificadas ao nível de gênero e tinham menos de cinco indivíduos coletados.

As assembleias de peixes em diferentes tratamentos apresentaram diferenças quanto a sua estrutura ecomorfológica (MLDA: Wilks $\lambda = 0,08$; $F_{18,46} = 6,45$; $p < 0,01$). As comparações par a par demonstraram que existe diferença entre áreas de exploração madeireira convencional e áreas controle ($F_{5,27} = 12,66$; $p < 0,01$), exploração madeireira convencional e áreas de exploração madeireira de impacto reduzido ($F_{5,27} = 4,73$; $p < 0,01$) e entre áreas controle e áreas de exploração madeireira de impacto reduzido ($F_{5,27} = 4,14$; $p < 0,01$) (Figura 4).

Os caracteres ecomorfológicos com maior contribuição na discriminação entre os tratamentos, foram: comprimento relativo da cabeça ($F_{2,36} = 5,60$; $p < 0,01$), largura relativa da boca ($F_{2,36} = 9,04$; $p = 0,01$), relação do aspecto da nadadeira peitoral ($F_{2,36} = 7,43$; $p < 0,01$), Índice de compressão do pedúnculo caudal ($F_{2,36} = 9,50$; $p < 0,01$) e Índice de achatamento ventral ($F_{2,36} = 4,46$; $p = 0,02$) (Tabela 3). Uma descrição da variação de cada característica ecomorfológica

ponderada pela abundância das espécies em cada comunidade, pode ser encontrada no material suplementar (Apêndice 5).

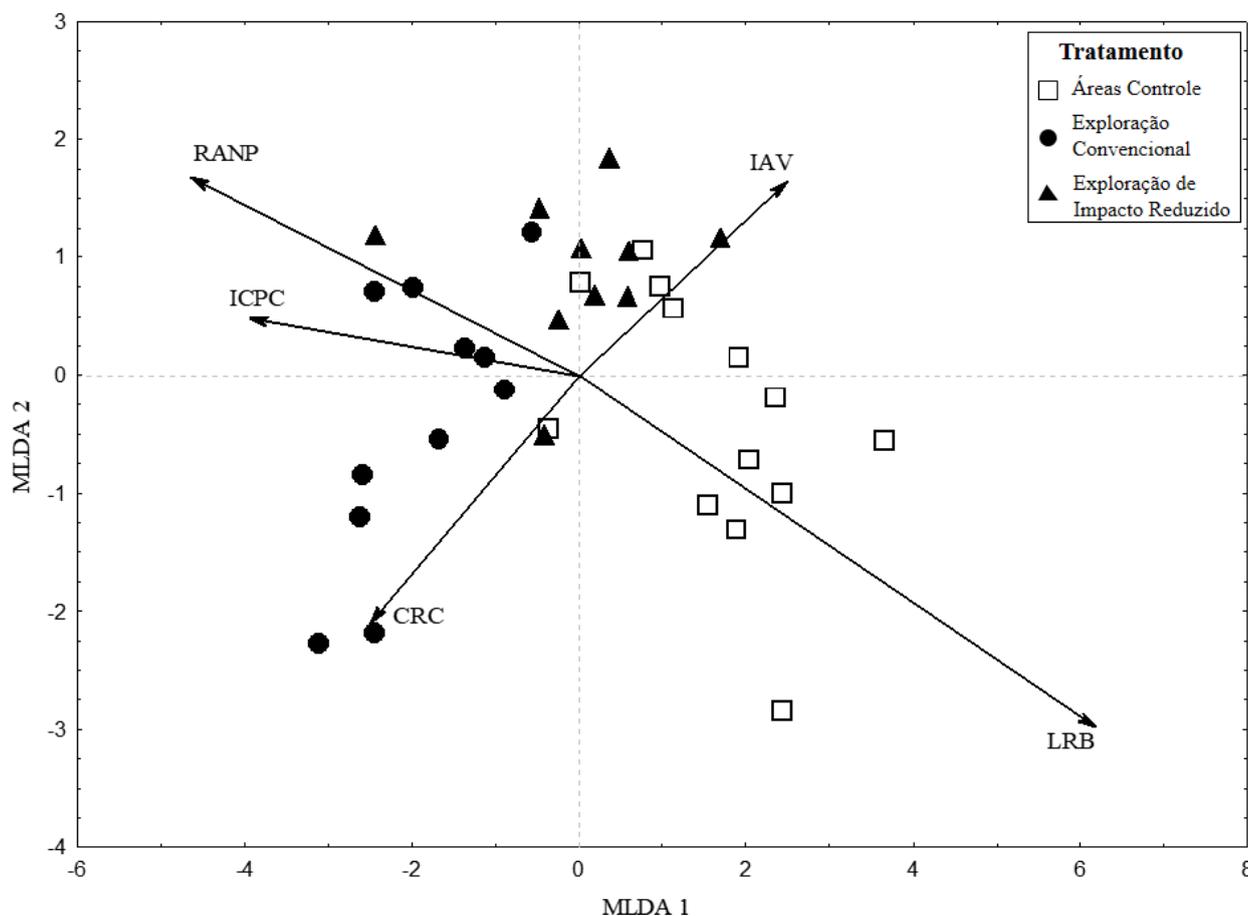


Figura 4 - Representação gráfica da Análise Discriminante Linear Múltipla (MLDA), baseada em 11 caracteres ecomorfológicos das assembleias de peixes em riachos localizados em áreas controle (□), de áreas com exploração madeireira de impacto reduzido (▲) e em áreas de exploração madeireira convencional (●) na bacia do rio Capim, Pará, Brasil. Variáveis preditoras: LRB – largura relativa da boca, CRC – comprimento relativo da cabeça, ICPC – índice de compressão do pedúnculo caudal, RANP – relação do aspecto da nadadeira peitoral e IAV – índice de achatamento ventral.

Tabela 3 - Resultados descritivos da Análise Discriminante Linear Múltipla (MLDA) baseada em 11 caracteres ecomorfológicos das assembleias de peixes de riachos localizados em áreas controle, áreas de exploração madeireira de impacto reduzido e em áreas com exploração madeireira convencional, na bacia do rio Capim, Pará, Brasil. Em negrito as variáveis físicas do habitat selecionadas pelo critério de seleção *forward*. Os valores apresentados entre parênteses na quarta coluna correspondem ao grau de liberdade.

Caracteres ecomorfológicos	Siglas	Wilks λ	F-remove (2,36)	p
Relação do aspecto da nadadeira peitoral	RANP	0,34	7,44	>0,01
Comprimento relativo da cabeça	CRC	0,31	5,60	0,01
Largura relativa da boca	LRB	0,36	9,05	>0,01
Índice de compressão do pedúnculo caudal	ICPC	0,37	9,50	>0,01
Índice de achatamento ventral	IAV	0,29	4,47	0,02
Índice de compressão do corpo	ICC	0,22	0,14	0,87
Altura relativa	AR	0,21	0,54	0,59

Área relativa da nadadeira peitoral	ARNP	0,21	0,27	0,77
Posição relativa dos olhos	PRO	0,21	0,66	0,53
Orientação da boca	OB	0,22	0,07	0,93
Coefficiente de finura	CF	0,21	0,40	0,67

Em riachos em áreas controle foi evidenciado o maior valor médio de largura relativa da boca (-0,12mm), a qual foi em média 0,05 mm maior do que em áreas de exploração madeira de impacto reduzido ($-0,07 \pm 0,13$) e 0,10 mm maior do que em áreas de exploração madeira convencional ($-0,02 \pm 0,13$). Já riachos de áreas com exploração madeira convencional foi evidenciado um valor médio de comprimento relativo da cabeça de 0,05, o qual foi em média 0,17mm maior do que em áreas de exploração madeira de impacto reduzido ($0,05 \pm 0,14$) e 0,17mm maior do que em áreas controle ($0,22 \pm 0,16$). Por fim, em áreas com exploração madeira de impacto reduzido foi evidenciado um valor médio de índice de compressão do corpo de 0,06, o qual foi em média 0,02 mm maior do que em áreas de exploração madeira de impacto reduzido ($0,06 \pm 0,14$) e 0,02mm maior do que em áreas controle ($0,03 \pm 0,16$).

A análise de redundância (RDA), demonstrou relação significativa entre as 11 variáveis físicas do habitat e os 11 caracteres morfológicos medidos no presente estudo ($F_{11,22} = 2,37$; $p < 0,01$). O primeiro e segundo eixo da RDA apresentaram 24,87% e 19,60% de explicação da variação total observada, respectivamente (Figura 5a). O primeiro eixo da RDA demonstrou a relação negativa entre profundidade de talvegue (XDEPTH_T) com índice de compressão do corpo (ICC) principalmente em áreas de exploração madeira de impacto reduzido e convencional. Já áreas controle relacionaram relação positiva principalmente entre a cobertura média de dossel (XC) com índice de achatamento ventral (IAV) e com posição relativa dos olhos (PRO); e heterogeneidade de fluxo (H_FLOW) com área relativa da nadadeira peitoral (ARNP).

O segundo eixo da RDA demonstrou relação positiva principalmente entre substrato de banco de folhas (PCT_BF) com altura relativa (AR) em áreas de exploração madeira convencional; já áreas controle relacionaram imersão média do substrato (XEMBED) com largura relativa da boca (LRB). Negativamente observamos a relação entre média de abrigo natural (XFC_N) com coeficiente de finura (CF) em áreas de exploração madeira de impacto reduzido; e cobertura média de dossel (XC) com índice de achatamento ventral (IAV) e com posição relativa dos olhos (PRO) em áreas de exploração madeira de impacto reduzido e áreas controle (Tabela 4).

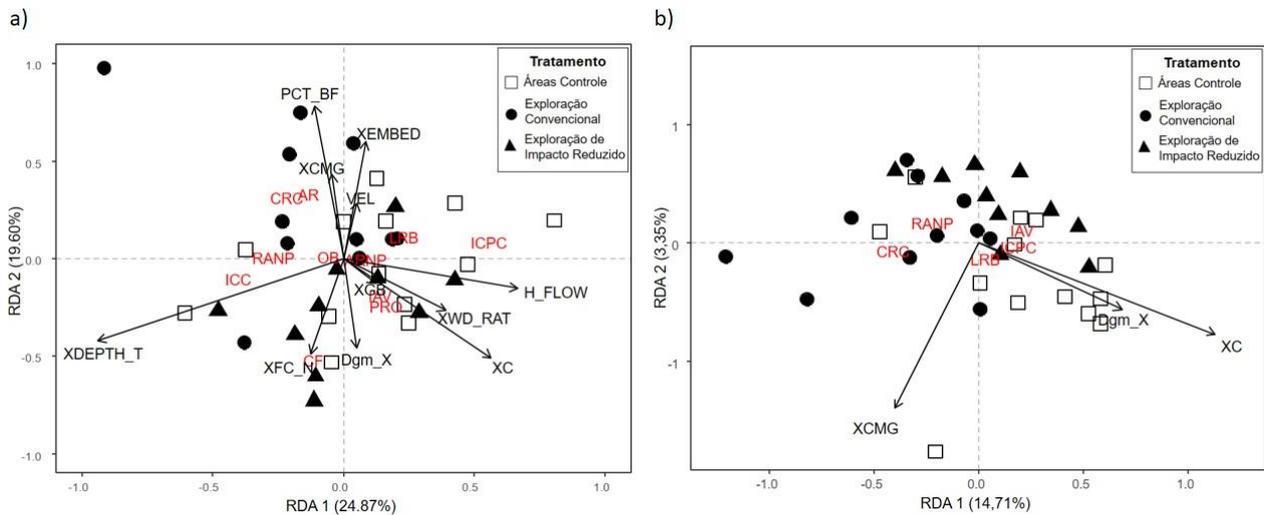


Figura 5 - Análise de redundância (RDA) geral (a) com 11 caracteres morfológicos e 11 variáveis do habitat físico e específica (b) com três variáveis físicas do habitat e três caracteres morfológicos para as assembleias de peixes em riachos localizados em áreas controle (□), de áreas com exploração madeireira de impacto reduzido (▲) e em áreas de exploração madeireira convencional (●) na bacia do rio Capim, Pará, Brasil. Em vermelho estão os caracteres morfológicos utilizados como variável resposta: relação do aspecto da nadadeira peitoral (RANP); comprimento relativo da cabeça (CRC); largura relativa da boca (LRB); índice de compressão do pedúnculo caudal (ICPC); índice de achatamento ventral (IAV); índice de compressão do corpo (ICC); Altura relativa (AR); área relativa da nadadeira peitoral (ARNP); posição relativa dos olhos (PRO); orientação da boca (OB); e coeficiente de finura (CF). Em preto estão as variáveis físicas do habitat utilizadas como variáveis preditoras: razão entre largura e profundidade no trecho (XWD_RAT); profundidade média do talvegue (XDEPTH_T); substrato de banco de folhas (PCT_BF); tamanho médio do substrato (Dgm_X); imersão média do substrato (XEMBED); cobertura média de dossel (XC); cobertura média total (XCMG); solo exposto (XGB); média de abrigo natural (XFC_N); heterogeneidade de fluxo (H_FLOW); e velocidade de correnteza (VEL).

Tabela 4 - Interseção das correlações entre as variáveis preditoras e as dimensões da Análise de redundância (RDA) com as 11 variáveis do habitat físico e os 11 caracteres morfológicos, juntamente com a porcentagem de explicação dos eixos e o valor de significância. Variáveis preditoras: razão entre largura e profundidade no trecho (XWD_RAT); profundidade média do talvegue (XDEPTH_T); substrato de banco de folhas (PCT_BF); tamanho médio do substrato (Dgm_X); imersão média do substrato (XEMBED); cobertura média de dossel (XC); cobertura média total (XCMG); solo exposto (XGB); média de abrigo natural (XFC_N); heterogeneidade de fluxo (H_FLOW); e velocidade de correnteza (VEL). Em negrito as maiores correlações entre as variáveis físicas do habitat e os eixos da RDA.

Variáveis físicas do habitat	RDA1	RDA2
XWD_RAT	0,28	-0,16
XDEPTH_T	-0,67	-0,26
PCT_BF	-0,08	0,48
Dgm_X	0,03	-0,28
XEMBED	0,06	0,37
XC	0,40	-0,31
XCMG	-0,03	0,27
XGB	0,09	-0,08
XFC_N	-0,09	-0,30
H_FLOW	0,47	-0,10
VEL	0,04	0,18
Porcentagem de explicação	24,87	19,60
Porcentagem de explicação acumulada	24,87	44,48

A análise de redundância (RDA), demonstrou relação significativa entre as três variáveis físicas do habitat e os cinco caracteres morfológicos importantes na diferenciação dos tratamentos selecionados pela MLDA ($F_{3,30} = 2,40$; $p = 0,02$). O primeiro e segundo eixo da RDA juntos apresentaram aproximadamente 18% de explicação da variação total observada (Figura 5b). Os dois primeiros eixos da RDA demonstraram a relação entre cobertura média total (XCMG) e comprimento relativo da cabeça (CRC) principalmente em áreas de exploração madeireira convencional. Já áreas controle relacionaram relação principalmente entre a cobertura média de dossel (XC) com índice de compressão do pedúnculo caudal (ICPC); e tamanho médio do substrato (Dgm_X) com largura relativa da boca (LRB) (Tabela 5).

Tabela 6 - Interseção das correlações entre as variáveis preditoras e as dimensões da Análise de redundância (RDA) com as três variáveis do habitat físico e os cinco caracteres morfológicos, juntamente com a porcentagem de explicação dos eixos e o valor de significância. Variáveis preditoras: tamanho médio do substrato (Dgm_X); cobertura média de dossel (XC) e cobertura média total (XCMG).

Variáveis físicas do habitat	RDA1	RDA2
Dgm_X	0,28	-0,19
XC	0,46	-0,26
XCMG	-0,16	-0,46
Porcentagem de explicação	14,71	3,35
Porcentagem de explicação acumulada	14,71	18,06
p	0,022	

DISCUSSÃO

As variações na estrutura do habitat físico dos riachos decorrentes da presença da exploração madeireira, e a relação de algumas dessas características físicas do habitat com alguns caracteres ecomorfológicos, reforça o potencial dessa atividade em causar perdas com relação ao provimento de serviços ecossistêmicos, bem como também na estrutura ecomorfológica das assembleias de peixes.

As principais mudanças encontradas na estrutura física do habitat de riachos esteve relacionada a perda de cobertura vegetal e menor tamanho de substrato em áreas afetadas pela exploração madeireira (EC e EIR). Perdas na cobertura vegetal, resultantes da EIR, já foram registradas em riachos da Amazônia equatoriana por Bojsen & Barriga (2002), resultando também em mudanças na estrutura da biodiversidade aquática. Em áreas de Floresta Atlântica, alterações na estrutura florestal pela EC acontecem devido a infestação de cipós e bambus nas áreas impactadas (Gomes et

al., 2004), gerando uma simplificação destes habitats. Tal resultado foi corroborado no presente estudo, que constatou maior impacto na cobertura vegetal em áreas de EC e EIR.

Apesar da exploração madeireira ser uma atividade permitida pelo Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012), a Lei prevê a proteção da vegetação ripária dos riachos (Áreas de preservação permanente – APP) e a existência de diretrizes técnicas em áreas de EIR (Putz et al., 2008). Contudo, o presente estudo evidenciou modificações na estrutura física dos habitats. Outros estudos em outras regiões tropicais também têm demonstrado que distúrbios antrópicos alteram habitat (Geist & Lambin, 2002; Trilleras et al., 2015). Portanto, embora o Código Florestal Brasileiro normatize a preservação de APP de riachos, nossos resultados demonstram que não é suficiente para preservar a estrutura física desses ambientes.

Nosso estudo demonstra diferenças na estruturação ecomorfológica, separando áreas EC de áreas controle e ainda de áreas de EIR. Níveis baixos de desmatamento na Amazônia ocidental brasileira podem afetar a composição de peixes e grupos funcionais, como resultado da homogeneização do habitat (por ex., substrato arenoso, gramado ao longo das margens do fluxo no lugar de grandes árvores (Brejão et al., 2017). Sendo este, corroborado por nossos resultados.

As principais mudanças na estrutura ecomorfológica das assembleias de peixes em áreas controle foram o favorecimento de espécies com grande largura relativa da boca. Diferentemente, em áreas EC, em que espécies com o caractere comprimento relativo da cabeça, maior relação do aspecto da nadadeira peitoral e maior compressão do pedúnculo caudal foram favorecidas. Por fim, em áreas de EIR, espécies com maior índice de achatamento ventral foram favorecidas.

Valores altos de índice de achatamento ventral podem ser associados com a diminuição da heterogeneidade de micro-habitats e complexidade ambiental em riachos, favorecendo espécies achatadas, como a espécie *Farlowella platorynchus*, que é caracterizada por habitar águas de fluxo lento, onde se camuflam no fundo, além disso, apresentam dieta alimentar detritívora (Covain & Fisch-muller, 2007; García-alzate et al., 2012). Em alguns trabalhos (Casatti & Castro, 2006; Casatti, 2010; Leal et al., 2016) foi documentado que espécies raspadores como a *Farlowella platorynchus* são sensíveis a alterações na estrutura na florestal, especificamente a cobertura de dossel, resultando em uma maior incidência de luz no igarapé, esta incidência de luz possibilita o surgimento de algas, que por sua vez favorece a proliferação de espécies com essa morfologia. No presente estudo esta relação fica ainda mais clara quando observamos que a espécie foi encontrada apenas em áreas de EC e EIR, corroborando a relação de espécies com alto valor para esse caractere morfológico associada a ambientes impactados.

Quanto a relação geral entre a ecomorfologia e as variáveis físicas do habitat, em áreas controle, observamos uma relação entre o achatamento ventral e cobertura média de dossel. Tal resultado só ratificou o favorecimento de espécies pouco achatadas em ambientes com maior

cobertura de dossel, demonstrando maior estruturação e heterogeneidade desses ambientes, os quais favorecem espécies menos achatadas.

A presença de uma assembleia de peixes com predomínio de espécies com maior comprimento relativo da cabeça em áreas de EC indica o favorecimento de espécies que forrageiam presas grandes (Gatz, 1979). Isto pode estar relacionado a maior quantidade de abrigo neste tratamento, aumentando a quantidade de itens de origem autóctone como larvas de insetos e peixes, principais itens consumidos pelas espécies *Aequidens tetramerus*, *Apistogramma agassizii* (Soares, 1979; Silva, 1993).

Áreas controle e de exploração madeireira de impacto reduzido também apresentaram uma relação entre compressão do pedúnculo caudal e média da largura molhada. A compressão do pedúnculo caudal indica redução da capacidade de natação ou habitantes de águas lânticas (Gatz, 1979). Por tanto, locais com maior média de largura molhada indica, o favorecimento de espécies com morfologia adaptada para ambientes com baixa velocidade de correnteza.

Ainda de forma geral, em áreas de EIR, observamos forte relação entre finura do corpo e média de abrigo natural. Tal resultado pode estar relacionado, a maior deposição de material alóctone, considerado como abrigo para peixes em áreas impactadas pela EIR, e com essa deposição de abrigo, favorece espécies finas, com baixa capacidade de natação.

No presente estudo, observamos que em áreas impactadas pela EC e EIR, a variável física do habitat profundidade de talvegue esteve relacionada com a compressão do corpo. Este resultado corrobora a ideia de que ambientes impactados são caracterizados por serem menos profundos, e com isso, favorecem espécies mais finas, que habitam ambientes com baixa velocidade de correnteza.

CONCLUSÕES

A exploração madeireira afeta a estrutura do habitat dos riachos, resultando na perda de cobertura vegetal e no tamanho médio de substrato. Houve redução da cobertura vegetal e de tamanho médio do substrato em áreas de EC e áreas de EIR. Nesse sentido, acredita-se que tanto a EC quanto a EIR tem potencial para alterar a estrutura ecomorfológica, e conseqüentemente os serviços ecossistêmicos prestados pelas assembleias de peixes de riachos da Amazônia. Então, mesmo que a EIR reduza os danos as florestas, não está conseguindo proteger os ecossistemas de riachos, visto que foi constatada alterações nesses ambientes quando comparados com áreas controle. Contudo maiores esforços devem ser empregados para entendermos completamente tal relação e proporções que os danos podem causar ao ecossistema.

REFERÊNCIAS

- Albrecht, G. H., 1980. Multivariate analysis and the study of form, with special reference to canonical variates analysis. *American Zoologist* 20: 679–693, [papers2://publication/uuid/55571291-787B-4809-B016-6FDE92B4DB0B](https://doi.org/10.1093/aes/20.4.679).
- Angermeier, P. L., & J. R. Karr, 1984. Relationships between Woody Debris and Fish Habitat in a Small Warmwater Stream. *Transactions of the American Fisheries Society* 113: 716–726.
- Barlow, J., G. D. Lennox, J. Ferreira, E. Berenguer, A. C. Lees, R. Mac Nally, J. R. Thomson, S. F. D. B. Ferraz, J. Louzada, V. H. F. Oliveira, L. Parry, R. Ribeiro De Castro Solar, I. C. G. Vieira, L. E. O. C. Aragaõ, R. A. Begotti, R. F. Braga, T. M. Cardoso, R. C. D. O. Jr, C. M. Souza, N. G. Moura, S. S. Nunes, J. V. Siqueira, R. Pardini, J. M. Silveira, F. Z. Vaz-De-Mello, R. C. S. Veiga, A. Venturieri, & T. A. Gardner, 2016. Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. *Nature* Nature Publishing Group 535: 144–147, <http://dx.doi.org/10.1038/nature18326>.
- Bojsen, B. H., & R. Barriga, 2002. Effects of deforestation on fish community structure in Ecuadorian Amazon streams. *Freshwater Biology* 47: 2246–2260.
- Bradley, P. J., & A. H. Arthington, 2003. Importance of the riparian zone to the conservation and management of freshwater fish : a review. *Marine And Freshwater Research* 54: 1–16.
- Brejão, G. L., D. J. Hoeinghaus, M. A. Pérez-Mayorga, S. F. B. Ferraz, & L. Casatti, 2017. Threshold responses of Amazonian stream fishes to timing and extent of deforestation. *Conservation Biology* 1–29, <http://doi.wiley.com/10.1111/cobi.13061>.
- Bussing, W. A., & M. I. López, 1977. *Guentherus altivela* Osorio, the first ateleopodid fish reported from the eastern Pacific Ocean. *Revista de Biología Tropical* 25: 179–190.
- Callisto, M., C. B. M. Alves, J. de M. Lopes, & M. A. de Castro, 2014. Condições ecológicas em bacias hidrográficas de empreendimentos hidrelétricos. *BELO HORIZONTE*, 264.
- Cariello, R. V., 2008. Considerações sobre a exploração florestal de impacto reduzido. 34.
- Casatti, L., 2010. Alterações no Código Florestal Brasileiro: impactos potenciais sobre a ictiofauna. *Biota Neotropica* 10: 31–34, http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1676-06032010000400002&lng=pt&tlng=pt.
- Casatti, L., & R. M. C. Castro, 2006. Testing the ecomorphological hypothesis in a headwater riffles fish assemblage of the rio São Francisco, southeastern Brazil. *Neotropical Ichthyology* 4: 203–214.
- Castello, L., D. G. Mcgrath, L. L. Hess, M. T. Coe, P. A. Lefebvre, P. Petry, M. N. Macedo, V. F. Renó, & C. C. Arantes, 2013. The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems. *Conservation Letters* 6: 217–229.
- Cianciaruso, M. V., M. A. Batalha, & O. L. Petchey, 2013. High loss of plant phylogenetic and functional diversity due to simulated extinctions of pollinators and seed dispersers in a tropical savanna. *Natureza a Conservacao* 11: 36–42.
- Covain, R., & S. Fisch-muller, 2007. The genera of the Neotropical armored catfish subfamily Loricariinae (Siluriformes : Loricariidae): a practical key and synopsis. *Zootaxa* 1462: 1–40.
- de Medeiros, P. R., & R. T. da Costa Ramos, 2007. Predicting ecomorphological patterns from morphology of a tropical estuarine fish assemblage. *Biociências* 15: 40–46.
- Dias, M. S., W. E. Magnusson, & J. Zuanon, 2009. Effects of Reduced-Impact Logging on Fish Assemblages in Central Amazonia: Contributed Paper. *Conservation Biology* 24: 278–286.

FSC, C. B. de M. F., 2012. CERTIFICAÇÃO: Construindo a confiança no sistema FSC. , 16, <https://br.fsc.org/pt-br/certificacao>.

Fuentes, C. A. R., 2011. Estrutura ecomorfológica e trófica de peixes de riachos : comparação entre ambientes com diferentes graus de conservação e entre bacias hidrográficas. São José do Rio Preto.

García-alzate, C. A., C. Román-valencia, & A. M. Barrero, 2012. Biología alimentaria y reproductiva de *Farlowella vittata* (Siluriformes: Loricariidae) en la cuenca del río Güejar, Orinoquía, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 60: 1873–1888.

Gatz, A. J. J., 1979. Ecological morphology of freshwater stream fishes. *Tulane Studies in Zoology and Botany* 21: 91–124.

Geist, H. J., & E. F. Lambin, 2002. Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. *BioScience* 52: 143.

Géry, J., 1977. Characoids of the world. T.F.H. Publications, Neptune City.

Gomes, A. P. C., A. L. de Souza, & J. A. A. Meira Neto, 2004. Alteração estrutural de uma área florestal explorada convencionalmente na bacia do Paraíba do Sul, Minas Gerais, nos domínios de Floresta Atlântica. *Revista Árvore* 28: 407–417, http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622004000300012&lng=pt&tlng=pt.

Hammer, O., 2002. Morphometrics – brief notes. Paläontologisches Institut und Museum. Zürich, 50.

Hora, S. L., 1930. Ecology, bionomics and evolution of the torrential fauna, with special reference to the organs of attachment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 218: 171–282.

IFT, 2014. Manejo Florestal e Exploração de Impacto Reduzido em Florestas Naturais de Produção da Amazônia. Ift 31.

Jaramillo-Villa, U., & É. P. Caramaschi, 2008. Índices De Integridade Biótica Usando Peixes De Água Doce: Uso Nas Regiões Tropical E Subtropical. *Oecologia Australis* 12: 442–462.

Köppen, W., 1948. *Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra*. Fondo de Cultura Economica, México, DF, 479.

Kulander, S. o, 1986. Cichlid fishes of the Amazon River drainage of Peru. *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis*. , <http://ebooks.cambridge.org/ref/id/CBO9781107415324A009>.

Laliberte, E., & P. Legendre, 2010. A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. *Ecology* 91: 299–305.

Lavorel, S., K. Grigulis, S. McIntyre, N. S. G. Williams, D. Garden, J. Dorrough, S. Berman, F. Quétier, A. Thébault, & A. Bonis, 2008. Assessing functional diversity in the field - Methodology matters!. *Functional Ecology* 22: 134–147.

Leal, C. G., P. S. Pompeu, T. A. Gardner, R. P. Leitão, R. M. Hughes, P. R. Kaufmann, J. Zuanon, F. R. de Paula, S. F. B. Ferraz, J. R. Thomson, R. Mac Nally, J. Ferreira, & J. Barlow, 2016. Multi-scale assessment of human-induced changes to Amazonian instream habitats. *Landscape Ecology* 31: 1725–1745.

Legendre, P., & L. Legendre, 1998. *Numerical Ecology*. Québec, Canada.

Legendre, P., & L. Legendre, 2012. *Numerical ecology*. Elsevier. Québec, Canada.

Leitão, R. P., J. Zuanon, D. Mouillot, C. G. Leal, R. M. Hughes, P. R. Kaufmann, S. Villéger, P. S.

- Pompeu, D. Kasper, F. R. de Paula, S. F. B. Ferraz, & T. A. Gardner, 2018. Disentangling the pathways of land use impacts on the functional structure of fish assemblages in Amazon streams. *Ecography* 41: 219–232, <http://doi.wiley.com/10.1111/ecog.02845>.
- Lentini, M., A. Verissimo, & L. Sobral, 2003. *Fatos Florestais da Amazônia 2003*. Design .
- Lopes, B. S., H. A. Britski, & K. Z. de S. de Silimon, 2007. *Peixes do Pantanal: manual de identificação*. .
- Mahon, R., 1984. Divergent Structure in Fish Taxocenes of North Temperate Streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 41: 330–350.
- Marchetti, M. P., & M. P. Moyle, 2001. Effects of Flow Regime on Fish Assemblages in a California Stream. *Ecological Applications* 11: 530–539.
- Martin-Smith, K. M., 1998. Effects of disturbance caused by selective timber extraction on fish communities in Sabah, Malaysia. *Environmental Biology of Fishes* 53: 155–167, <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1007496424730>.
- Montaña, C. G., & K. O. Winemiller, 2010. Local-scale habitat influences morphological diversity of species assemblages of cichlid fishes in a tropical floodplain river. *Ecology of Freshwater Fish* 19: 216–227.
- O’Neill, R. V., A. R. Johnson, & A. W. King, 1989. A hierarchical framework for the analysis of scale. *Landscape Ecology* 3: 193–205.
- Ohlberger, J., G. Staaks, & F. Hölker, 2006. Swimming efficiency and the influence of morphology on swimming costs in fishes. *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology* 176: 17–25.
- Peck, D. V., A. T. Herlihy, B. H. Hill, R. M. Hughes, P. R. Kaufmann, D. J. Klemm, J. M. Lazorchak, F. H. McCormick, S. A. Peterson, P. L. Ringold, T. Magee, & M. R. Cappaert, 2006. *Western Pilot Study : Field Operations Manual for Wadeable Streams*. Washington, D.C., 332.
- Peel, M. C., B. L. Finlayson, & T. a. McMahon, 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Meteorologische Zeitschrift* 15: 259–263.
- Pereira, D., D. Santos, M. Vedoveto, J. Guimarães, & A. Verissimo, 2010. *Fatos Florestais da Amazônia*. Imazon .
- Poff, N. L., 1997. Landscape Filters and Species Traits: Towards Mechanistic Understanding and Prediction in Stream Ecology. *Journal of the North American Benthological Society* 16: 391–409, <http://www.journals.uchicago.edu/doi/10.2307/1468026>.
- Prudente, B. S., P. S. Pompeu, L. Juen, & L. F. A. Montag, 2017. Effects of reduced-impact logging on physical habitat and fish assemblages in streams of Eastern Amazonia. *Freshwater Biology* 62: 303–316.
- Putz, F. E., G. M. Blate, K. H. Redford, & R. Fimbel, 2001. Tropical Forest Management and Overview Conservation of Biodiversity :. *Conservation Biology* 15: 7–20, <http://www.jstor.org/stable/2641641>.
- Putz, F. E., P. Sist, T. Fredericksen, & D. Dykstra, 2008. Reduced-impact logging: Challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management* 256: 1427–1433.
- Putz, F. E., P. A. Zuidema, T. Synnott, M. Peña-Claros, M. A. Pinard, D. Sheil, J. K. Vanclay, P. Sist, S. Gourlet-Fleury, B. Griscom, J. Palmer, & R. Zagt, 2012. Sustaining conservation values in selectively logged tropical forests: The attained and the attainable. *Conservation Letters* 5: 296–303.

- Rasband, W. S., 2012. ImageJ: Image processing and analysis in Java. Astrophysics Source Code Library. .
- Rocha, C. H. de B., & H. F. Costa, 2015. Variação temporal de parâmetros limnológicos em manancial de abastecimento em Juiz de Fora , MG. *Revista Bras. de Recursos Hídricos* 20: 543–550.
- Silva, C. P. D., 1993. Alimentação e distribuição espacial de algumas espécies de peixes do igarapé do Candirú, Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica* 23: 271–285.
- Soares, M. G. M., 1979. Aspectos ecológicos (alimentação e reprodução) dos peixes do igarapé do Porto, Aripunã, MT. *Acta Amazonica* 9: 325–352.
- StatSoft, I., 2013. Electronic Statistics Textbook. WEB. , <http://www.statsoft.com/textbook/>.
- Stendahl, M., & A. Roos, 2008. Antecedents and barriers to product innovation - A comparison between innovating and non-innovating strategic business units in the wood industry. *Silva Fennica* 42: 659–681.
- Theurer, F. D., I. Lines, & T. Nelson, 1985. Interaction Between Riparian Vegetation, Water Temperature, and Salmonid Habitat in the Tucannon River. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 21: 53–64.
- Tonn, W. M., 1990. Climate Change and Fish Communities: A Conceptual Framework. *Transactions of the American Fisheries Society* 119: 337–352.
- Tonn, W. M., J. J. Magnuson, M. Rask, & J. Toivonen, 1990. Intercontinental comparison of small-lake fish assemblages: the balance between local and regional processes. *American Naturalist* 136(3): :345-375.
- Trilleras, J. M., V. J. Jaramillo, E. V. Vega, & P. Balvanera, 2015. Effects of livestock management on the supply of ecosystem services in pastures in a tropical dry region of western Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment Elsevier B.V.* 211: 133–144, <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2015.06.011>.
- Veloso, H. P., A. L. R. Rangel Filho, & J. C. A. Lima, 1991. Classificação da Vegetação Brasileira Adaptada a um Sistema Universal. Rio de Janeiro, IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. .
- Vogel, H. F., C. H. Zawadzki, & R. Metri, 2009. Florestas Ripárias: Importância e principais ameaças. *Revista Saúde E Biologia* 4: 24–30.
- Watrin, O. S., & A. M. A. Rocha, 1992. Levantamento da Vegetação Natural e do Uso da Terra no Município de Paragominas (PA) utilizando imagens TM/ Landsat. 42, <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/379420/levantamento-da-vegetacao-natural-e-do-uso-da-terra-no-municipio-de-paragominas-pa-utilizando-imagens-tmlandsat>.
- Watson, D. J., & E. K. Balon, 1984. Ecomorphological analysis of fish taxocenes in rainforest streams of northern Borneo. *Journal of Fish Biology* 25: 371–384.
- Zuanon, J. A. S., 1999. História natural da ictiofauna de corredeiras do rio Xingu, na região de Altamira, Pará. 214.

APÊNDICES

Apêndice 1

Lista das espécies e abundância da ictiofauna amostrada nos 47 riachos localizados em áreas controle, com exploração madeireira de impacto reduzido e convencional da bacia do rio Capim, Pará, Brasil; e número de indivíduos medidos da coleção ictiológica do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) e morfoespécies medidas com menos de cinco indivíduos.

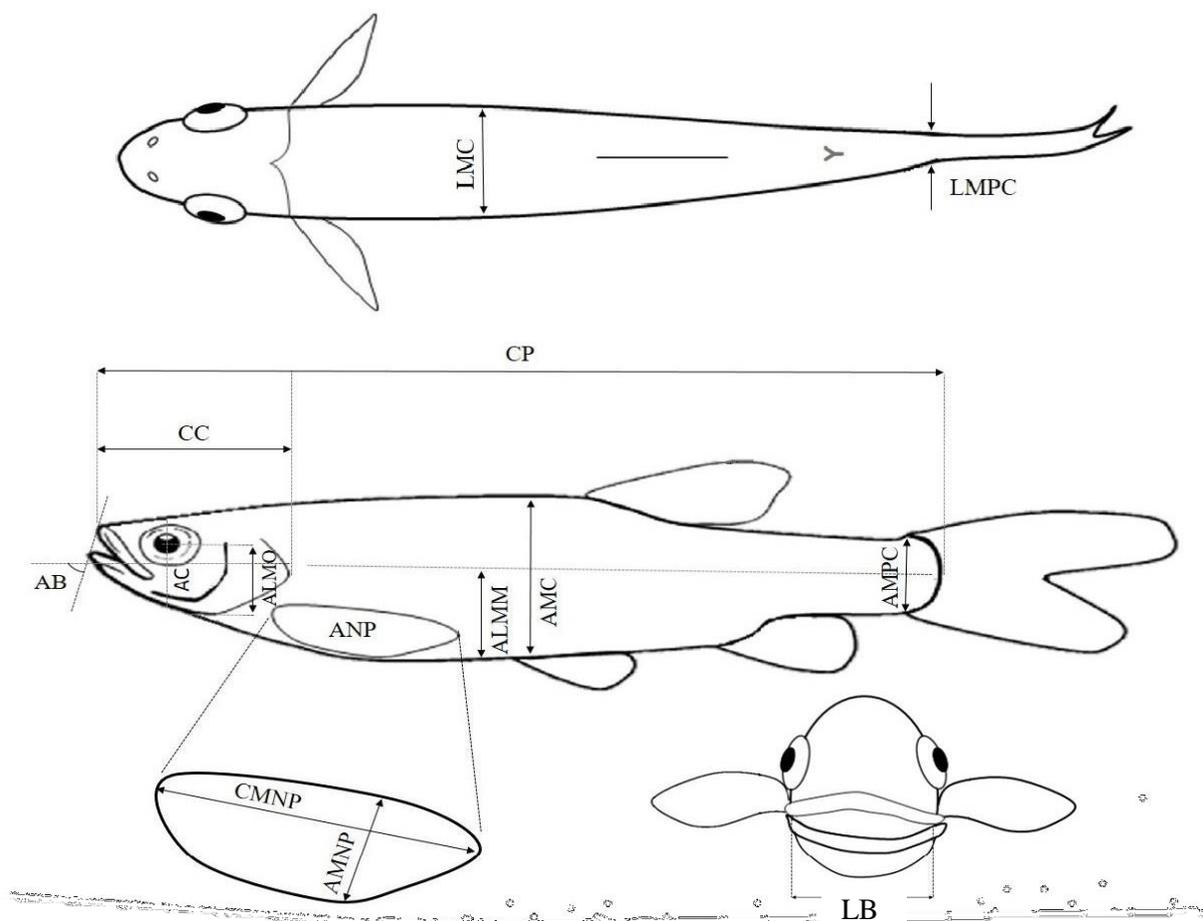
Espécies	Abundância de peixes coletados em áreas controle	Abundância de peixes coletados em áreas de exploração madeireira de impacto reduzido	Abundância de peixes coletados em áreas de exploração madeireira convencional	Número de indivíduos medidos da coleção ictiológica do MPEG
<i>Bario steindachneri</i>	2	1	0	2
<i>Bryconops</i> aff.	0	1	0	4
<i>Caudomaculatus</i>				
<i>Hemigrammus cf. bellottii</i>	16	27	21	0
<i>Hemigrammus ocellifer</i>	9	5	14	0
<i>Hyphessobrycon heterorhabdus</i>	116	202	94	0
<i>Knodus cf. victoriae</i>	1	0	0	4
<i>Moenkhausia cf. comma</i>	1	5	0	0
<i>Moenkhausia oligolepis</i>	2	5	6	0
<i>Characidium etheostoma</i>	11	23	6	0
<i>Crenuchus spilurus</i>	1	8	51	0
<i>Microcharacidium weitzmani</i>	26	70	86	0
<i>Curimatopsis crypticus</i>	0	0	8	0
<i>Erythrinus erythrinus</i>	93	122	64	0
<i>Hoplias malabaricus</i>	6	15	9	0
<i>Hoplerythrinus unitaeniatus</i>	0	0	1	4
<i>Carnegiella strigata</i>	1	0	0	4
<i>Iguanodectes rachovii</i>	56	102	20	0
<i>Copella arnoldi</i>	16	46	85	0
<i>Nannostomus trifasciatus</i>	11	18	11	0
<i>Pyrrhulina aff. brevis</i>	87	143	68	0
<i>Anablepsoides urophthalmus</i>	37	94	55	0
<i>Gymnotus carapo</i>	1	5	4	0
<i>Gymnotus coropinae</i>	52	66	26	0
<i>Gymnotus sp.</i>	26	27	21	0
<i>Brachyhypopomus sp1.</i> ⁵	0	3	0	0
<i>Brachyhypopomus sp.</i>	34	87	45	0
<i>Brachyhypopomus sp2.</i>	1	8	1	0
<i>Hypopygus lepturus</i>	3	7	0	0
<i>Microsternarchus bilineatus</i>	6	12	10	0
<i>Gymnorhamphichthys petiti</i>	41	70	13	0
<i>Eigenmannia sp.</i> ⁵	0	1	2	0
<i>Sternopygus macrurus</i>	1	0	2	2

<i>Aequidens tetramerus</i>	31	46	64	0
<i>Apistogramma agassizii</i>	0	8	43	0
<i>Apistogramma</i> gr. <i>Regani</i>	100	172	35	0
<i>Crenicichla</i> gr. <i>Saxatilis</i>	19	31	11	0
<i>Crenicichla regani</i>	1	0	0	4
<i>Crenicara</i> sp. ⁻⁵	2	0	0	0
<i>Nannacara</i> cf. <i>taenia</i>	5	29	40	0
<i>Tetranematichthys wallacei</i>	1	0	0	4
<i>Callichthys callichthys</i>	2	3	5	0
<i>Megalechis picta</i>	1	0	0	4
<i>Megalechis thoracata</i>	1	1	3	0
<i>Helogenes marmoratus</i>	64	109	39	0
<i>Denticetopsis epa</i>	4	4	0	0
<i>Acanthodoras cataphractus</i>	1	0	0	4
<i>Mastiglanis</i> cf. <i>asopos</i>	0	4	0	1
<i>Pimelodella</i> sp.	3	3	4	0
<i>Rhamdia muelleri</i>	2	8	5	0
<i>Gladioglanis conquistador</i>	0	0	1	4
<i>Farlowella platoryncha</i>	0	5	3	0
<i>Rineloricaria</i> sp. ⁻⁵	0	0	2	0
<i>Batrochoglanis raninus</i>	1	1	0	3
<i>Ituglanis amazonicus</i>	16	31	26	0
<i>Trichomycterus hasemani</i>	10	19	26	0
<i>Paracanthopoma</i> sp.	7	4	2	0
<i>Synbranchus marmoratus</i> Bloch, 1795*	4	19	23	0

*Espécie não utilizada nas análises ecomorfológicas

⁻⁵ Morfoespécies que foram medidos menos de cinco indivíduos

Apêndice 2



Representação esquemática das medidas lineares, áreas e ângulo, mensuradas para o cálculo dos 11 caracteres ecomorfológicos. Comprimento padrão (CP), altura máxima do corpo (AMC), largura máxima do corpo (LMC), altura máxima do pedúnculo caudal (AMPC), largura máxima do pedúnculo caudal (LMPC), comprimento máximo da nadadeira peitoral (CMNP), altura máxima da nadadeira peitoral (AMNP), altura da linha média máxima (ALMM), altura da linha média do olho (ALMO), altura da cabeça (AC), comprimento da cabeça (CC), largura da boca (LB), área da nadadeira peitoral (ANP) e ângulo da boca (AB).

Apêndice 3

Medidas morfológicas e suas definições, utilizadas para mensuração dos 11 caracteres ecomorfológicos da ictiofauna dos riachos controle, com exploração madeireira de impacto reduzido e convencional, seguida de suas respectivas siglas e descrição de como cada uma delas foram obtidas.

Medidas	Siglas	Descrições
Comprimento Padrão	CP	Distância do limite anterior da maxila até o limite posterior do pedúnculo caudal.
Altura Máxima do Corpo	AMC	Distância máxima vertical do dorso ao ventre do indivíduo.
Largura Máxima do Corpo	LMC	Parte de maior largura de lado a lado do corpo.

Altura Máxima do Pedúnculo Caudal	AMPC	Altura máxima do pedúnculo caudal.
Largura Máxima do Pedúnculo Caudal	LMPC	Largura máxima do pedúnculo caudal medida no seu ponto médio.
Comprimento Máximo da Nadadeira Peitoral	CMNP	Distância máxima entre margem anterior da nadadeira peitoral até sua margem posterior.
Altura Máxima da Nadadeira Peitoral	AMNP	Distância máxima entre as margens dorsal e ventral da nadadeira em um eixo perpendicular ao eixo do comprimento da nadadeira completamente aberta.
Altura da Linha Média Máxima	ALMM	Distância média entre as duas extremidades do corpo. Linha média definida como a linha imaginária que vai desde a pupila do olho até a região ventral do corpo.
Altura da Linha Média do Olho	ALMO	Distância vertical desde a região média do olho até a região ventral da cabeça.
Altura da Cabeça	AC	Distância vertical desde o dorso até o ventre na passando pelo meio do olho.
Comprimento da Cabeça	CC	Distância desde a extremidade anterior do maxilar até o final do opérculo.
Largura da Boca	LB	Distância máxima horizontal de lado a lado da boca totalmente aberta.
Área do Corpo	ADC	Área total do corpo, excluindo a cabeça e as nadadeiras.
Área da Nadadeira Peitoral	ANP	Área da nadadeira peitoral totalmente aberta.
Ângulo da Boca	AB	Ângulo formado na direção em que a mandíbula e a maxila se tocam em relação à linha média do olho.

Apêndice 4

Apresentação dos valores brutos de média e desvio padrão das 11 variáveis físicas do habitat, em riachos de áreas controle, áreas de exploração madeireira de impacto reduzido e em áreas de exploração madeireira convencional, na bacia do rio Capim, Pará, Brasil.

Variáveis físicas do habitat	Siglas	Média ± Desvio Padrão		
		Áreas controle	Exploração madeireira de impacto reduzido	Exploração madeireira convencional
Razão entre largura e profundidade no trecho	XWD_RAT	9,80 ± 1,75	11,32 ± 5,38	9,77 ± 2,55
Profundidade média do talvegue	XDEPTH_T	23,84 ± 10,79	25,37 ± 11,36	22,17 ± 5,50
Substrato de banco de folhas	PCT_BF	29,79 ± 11,04	31,23 ± 13,04	49,01 ± 10,45
Tamanho médio do substrato	Dgm_X	745,71 ±	286,34 ± 356,91	135,85 ± 173,53

		767,91		
Imersão média do substrato	XEMBED	58,21 ± 13,98	47,14 ± 21,90	62,68 ± 8,60
Cobertura média de dossel	XC	67,95 ± 11,88	46,35 ± 12,04	38,06 ± 13,67
Cobertura média total	XCMG	175,15 ± 23,15	122,36 ± 22,88	159,85 ± 17,44
Solo exposto	XGB	1,54 ± 2,39	0,20 ± 0,36	0,20 ± 0,32
Média de abrigo natural	XFC_N	95,06 ± 25,10	136,90 ± 31,29	93,42 ± 28,06
Heterogeneidade de fluxo	H_FLOW	0,14 ± 0,07	0,15 ± 0,06	0,07 ± 0,04
Velocidade de correnteza	VEL	0,10 ± 0,06	0,07 ± 0,04	0,06 ± 0,05

Apêndice 5

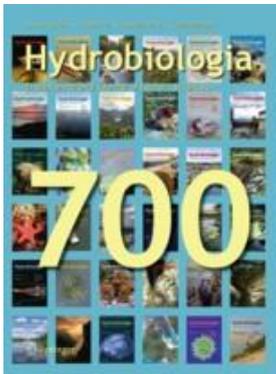
Apresentação dos valores de média e desvio padrão dos 11 caracteres ecomorfológicos ponderados para as comunidades de riachos de áreas controle, áreas de exploração madeireira de impacto reduzido e em áreas de exploração madeireira convencional, na bacia do rio Capim, Pará, Brasil. Em negrito os caracteres ecomorfológicos mais importantes na diferenciação dos tratamentos.

CWM	Siglas	Média ± Desvio Padrão		
		Áreas Controle	Exploração madeireira de impacto reduzido	Exploração madeireira convencional
Índice de compressão do corpo	ICC	0,03 ± 0,17	0,06 ± 0,16	0,05 ± 0,17
Altura relativa	AR	-0,04 ± 0,12	-0,15 ± 0,11	0,04 ± 0,18
Índice de compressão do pedúnculo caudal	ICPC	0,68 ± 0,25	0,60 ± 0,18	0,56 ± 0,19
Índice de achatamento ventral	IAV	0,55 ± 0,19	0,59 ± 0,09	0,46 ± 0,12
Área relativa da nadadeira peitoral	ARNP	-0,06 ± 0,10	-0,10 ± 0,04	-0,11 ± 0,07
Relação do aspecto da nadadeira peitoral	RANP	-0,14 ± 0,11	-0,03 ± 0,10	0,04 ± 0,09
Comprimento relativo da cabeça	CRC	0,05 ± 0,09	-0,02 ± 0,14	0,20 ± 0,17
Posição relativa dos olhos	PRO	-0,19 ± 0,15	-0,13 ± 0,13	-0,23 ± 0,16
Largura relativa da boca	LRB	-0,02 ± 0,13	-0,17 ± 0,07	-0,15 ± 0,07
Orientação da boca	OB	0,37 ± 0,12	0,34 ± 0,21	0,33 ± 0,10
Coeficiente de finura	CF	0,01 ± 0,17	0,14 ± 0,17	-0,11 ± 0,18

ANEXOS

Anexo 1

Normas de formatação da revista a qual pretendemos submeter o artigo da dissertação:



Hydrobiologia

The International Journal of Aquatic Sciences

Editor-in-Chief: Koen Martens

ISSN: 0018-8158 (print version)

ISSN: 1573-5117 (electronic version)

Journal no. 10750

Instructions for Authors

Instructions for Authors

Hydrobiologia

GENERAL

Hydrobiologia publishes original articles in the fields of limnology and marine science that are of interest to a broad and international audience. The scope of Hydrobiologia comprises the biology of rivers, lakes, estuaries and oceans and includes palaeolimnology and –oceanology, taxonomy, parasitology, biogeography, and all aspects of theoretical and applied aquatic ecology, management and conservation, ecotoxicology, and pollution. Purely technological, chemical and physical research, and all biochemical and physiological work that, while using aquatic biota as test-objects, is unrelated to biological problems, fall outside the journal's scope.

THERE IS NO PAGE CHARGE, provided that manuscript length, and number and size of tables and figures are reasonable (see below). Long tables, species lists, and other protocols may be put on any web site and this can be indicated in the manuscript. Purely descriptive work, whether limnological, ecological or taxonomic, can only be considered if it is firmly embedded in a larger biological framework.

LANGUAGE

Manuscripts should conform to standard rules of English grammar and style. Either British or American spelling may be used, but consistently throughout the article. Conciseness in writing is a major asset as competition for space is keen.

EDITORIAL POLICY

Submitted manuscripts will first be checked for language, presentation, and style. Scientists who use English as a foreign language are strongly recommended to have their manuscript read by a native English-speaking colleague. Manuscripts which are substandard in these respects will be returned without review.

Papers which conform to journal scope and style are sent to at least 2 referees, mostly through a member of the editorial board, who will then act as coordination editor. Manuscripts returned to authors with referee reports should be revised and sent back to the editorial as soon as possible. Final decisions on acceptance or rejection are made by the editor-in-chief. Hydrobiologia endeavours to publish any paper within 6 months of acceptance. To achieve this, the number of volumes to be published per annum is readjusted periodically.

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)

CATEGORIES OF CONTRIBUTIONS

There are four categories of contributions to Hydrobiologia:

- [1.] Primary research papers generally comprise up to 25 printed pages (including tables, figures and references) and constitute the bulk of the output of the journal. These papers MUST be organized according to the standard structure of a scientific paper: Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion, Conclusion, Acknowledgements, References, Tables, Figure captions.
- [2.] Review papers, and Taxonomic revisions are long papers; prospective authors should consult with the editor before submitting such a long manuscript, either directly or through a member of the editorial board. Review papers may have quotations (text and illustrations) from previously published work, but authors are responsible for obtaining copyright clearance wherever this applies.
- [3.] Opinion papers reflect authors' points of view on hot topics in aquatic sciences. Such papers can present novel ideas, comments on previously published work or extended book reviews.
- [4.] Special section papers. Occasionally, regular volumes contain a special section devoted to topical collections of papers: for example, Salt Ecosystems Section and Aquatic Restoration Section.

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

Authors should submit their manuscripts online. Electronic submission substantially reduces the editorial processing and reviewing times and shortens overall publication times. 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, telephone and fax numbers of the corresponding author

Abstract

Please provide an abstract of 150 to 200 words. Abstracts longer than 200 words cannot be uploaded. 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.

LaTeX macro package (zip, 182 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 before the reference list. The names of funding organizations should be written in full.

ADDITIONAL REMARK TEXT

Do not include section numbers.

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.

REFERENCES

References in the text will use the name and year system: Adam & Eve (1983) or (Adam & Eve, 1983). For more than two authors, use Adam et al. (1982). References to a particular page, table or figure in any published work is made as follows: Brown (1966: 182) or Brown (1966: 182, fig. 2). Cite only published items; grey literature (abstracts, theses, reports, etc) should be avoided as much as possible. Papers which are unpublished or in press should be cited only if formally accepted for publication.

References will follow the styles as given in the examples below, i.e. journals are NOT abbreviated (as from January 2003), only volume numbers (not issues) are given, only normal fonts are used, no bold or italic.

- Engel, S. & S. A. Nichols, 1994. Aquatic macrophytes growth in a turbid windswept lake. *Journal of Freshwater Ecology* 9: 97–109.
- Horne, D. J., A. Cohen & K. Martens, 2002. Biology, taxonomy and identification techniques. In Holmes, J. A. & A. Chivas (eds), *The Ostracoda: Applications in Quaternary Research*. American Geophysical Union, Washington DC: 6–36.
- Maitland, P. S. & R. Campbell, 1992. *Fresh Water Fishes*. Harper Collins Publishers, London.
- Tatrai, I., E. H. R. R. Lammens, A. W. Breukelaar & J. G. P. Klein Breteler, 1994. The impact of mature cyprinid fish on the composition and biomass of benthic macroinvertebrates. *Archiv für Hydrobiologie* 131: 309–320.

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.

For the best quality final product, it is highly recommended that you submit all of your artwork - photographs, line drawings, etc. - in an electronic format. Your art will then be produced to the highest standards with the greatest accuracy to detail. The published work will directly reflect the quality of the artwork provided.

Electronic Figure Submission

Supply all figures electronically.

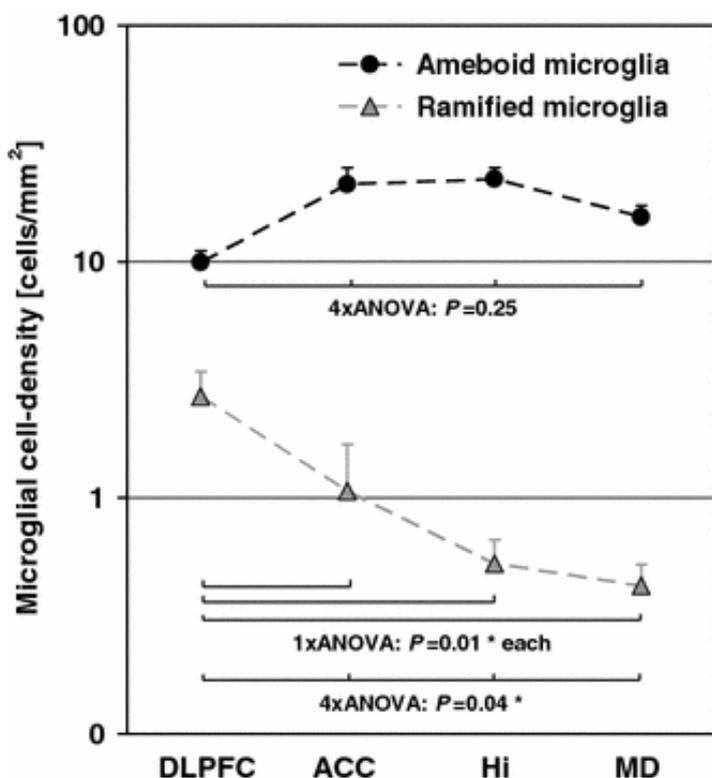
Indicate what graphics program was used to create the artwork.

For vector graphics, the preferred format is EPS; for halftones, please use TIFF format. MS Office 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.

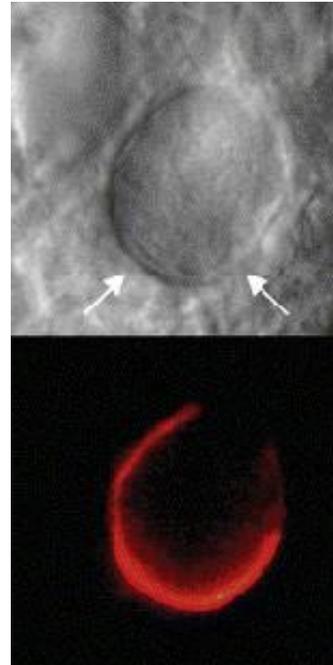
All lines should be at least 0.1 mm (0.3 pt) wide.

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

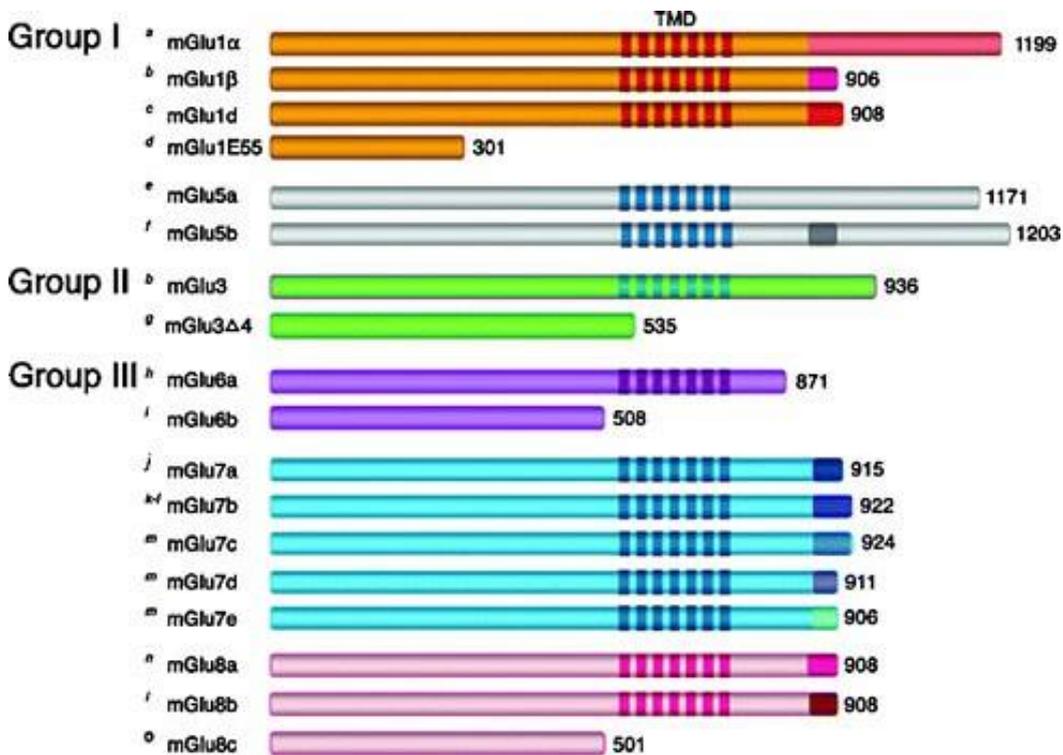
Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.

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

- 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 (color-blind 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.

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

- Always use MPEG-1 (.mpg) format.

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 converted to PDF if no interaction with the data is intended.
- If the readers should be encouraged to make their own calculations, spreadsheets should be submitted as .xls files (MS Excel).

Specialized Formats

- Specialized format such as .pdb (chemical), .vrl (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)

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 and offprints.

Once the Author Query Application has been completed, your article will be processed and you will receive the proofs.

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 now 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.

Springer Open Choice

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.

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.

Offprints

Offprints can be ordered by the corresponding author.

Color illustrations

Publication of color illustrations is free of charge.

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.

DOES SPRINGER PROVIDE ENGLISH LANGUAGE SUPPORT?

Manuscripts that are accepted for publication will be checked by our copyeditors for spelling and formal style. This may not be sufficient if English is not your native language and substantial editing would be required. In that case, you may want to have your manuscript edited by a native speaker prior to submission. A clear and concise language will help editors and reviewers concentrate on the scientific content of your paper and thus smooth the peer review process.

The following editing service provides language editing for scientific articles in all areas Springer publishes in.

Use of an editing service is neither a requirement nor a guarantee of acceptance for publication.

Please contact the editing service directly to make arrangements for editing and payment.

For Authors from China

文章在投稿前进行专业的语言润色将对作者的投稿进程有所帮助。作者可自愿选择使用Springer推荐的编辑服务，使用与否并不作为判断文章是否被录用的依据。提高文章的语言质量将有助于审稿人理解文章的内容，通过对学术内容的判断来决定文章的取舍，而不会因为语言问题导致直接退稿。作者需自行联系Springer推荐的编辑服务公司，协商编辑事宜。

理文编辑

For Authors from Japan

ジャーナルに論文を投稿する前に、ネイティブ・スピーカーによる英文校閲を希望されている方には、Edanz社をご紹介します。サービス内容、料金および申込方法など、日本語による詳しい説明はエダンズグループジャパン株式会社の下記サイトをご覧ください。

エダンズ グループ ジャパン

For Authors from Korea

영어 논문 투고에 앞서 원어민에게 영문 교정을 받고자 하시는 분들께 Edanz 회사를 소개해 드립니다. 서비스 내용, 가격 및

신청 방법 등에 대한 자세한 사항은 저희 Edanz Editing Global 웹사이트를 참조해 주시면 감사하겠습니다.

Edanz Editing Global