

GRUPOS FUNCIONAIS ALIMENTARES DE EPHEMEROPTERA, PLECOPTERA E TRICHOPTERA SOB DIFERENTES USOS DO SOLO EM IGARAPÉS AMAZÔNICOS

Eduarda Silva de Lima^{*1,3}, Edicarla Azevedo Rodrigues Sousa^{2,3}, Matheus Fernandes Freitas^{1,3}, Emilly Vieira Drosdosky^{1,3}, Odileida Daniely dos Santos Silva^{2,3}, Karina Dias-Silva^{1,2,3}

¹*Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil (eduardaforestal@gmail.com);

² Faculdade de Licenciatura em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Altamira, Pará, Brasil;

³ Laboratório de Ecologia de Insetos Aquáticos do Xingu, Universidade Federal do Pará, Altamira, Pará, Brasil.

Resumo: A vegetação ripária sustenta os ecossistemas aquáticos e influencia a estrutura das comunidades. Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT) são bioindicadores de qualidade ambiental e mudanças no uso do solo alteram o habitat e a matéria orgânica. Assim, avaliamos como o uso do solo afeta o grupo funcional alimentar de EPT em igarapés. A composição funcional não diferiu entre ambientes, porém raspadores apresentaram menor abundância em áreas de cacau, expondo alteração e redundância.

Palavras-chave: Bioindicadores; Estrutura Funcional; Mata Ciliar.

INTRODUÇÃO

A vegetação ripária age como zona de transição entre os ambientes terrestres e aquáticos, garantindo proteção, sombreamento, estrutura do solo e uma variedade de habitats para insetos aquáticos (Cunha et al., 2022; Lima et al., 2022). Devido a isso, ordens aquáticas como Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT) costumam ser utilizadas como bioindicadoras da qualidade ambiental, trazendo respostas a partir de sua relação com o ambiente (Allan, 2004; Ghormalizadeh; Heydarzadeh, 2020).

A ordem Ephemeroptera compreende insetos aquáticos sensíveis e abundantes entre estudos em ambientes lóticos (Espinosa et al., 2023). Suas ninfas possuem variados microhabitats e diversidade de hábitos alimentares, desempenhando papel fundamental na ciclagem de nutrientes e no processamento da matéria orgânica (Shimano et al., 2012).

A ordem Plecoptera é composta por insetos aquáticos associados a ambientes bem preservados e oxigenados (Hamada et al., 2014). Suas ninfas bioindicadoras são, em maioria, predadoras habitando rochas e detritos orgânicos finos (Merritt; Cummins; Berg, 2008).

A ordem Trichoptera, por sua vez, é um grupo de insetos aquáticos bioindicadores com uma rica diversidade de espécies e habitats (Hamada et al., 2014). Algumas de suas larvas constroem abrigos com seda e materiais orgânicos encontrados no ambiente

aquático em que se encontram, apresentando, assim, relação direta com as condições físicas de ambientes lóticos (Santos et al., 2024).

Os grupos funcionais são formados pela união de indivíduos que exploram os mesmos recursos (Merritt; Cummins; Berg, 2008). Essa organização permite avaliar não apenas a composição taxonômica, mas também a estrutura funcional das comunidades (Allan, 2004; Ghormalizadeh; Heydarzadeh, 2020). E, assim, sua classificação e relação com o meio interno permite o estudo de processos ecológicos sobre a disponibilidade de recursos (Tomanova et al., 2006).

A teoria da similaridade limitante postula que espécies coexistentes diferem em comportamento para reduzir a competição por recursos (MacArthur; Levins, 1967). Essa compensação inclui a especialização, ampliando os grupos funcionais alimentares (GFA) e, assim, buscando a manutenção não exclusiva de gêneros em uma comunidade aquática (Merritt; Cummins; Berg, 2008). Assim, ao modificar a vegetação ripária e a entrada de matéria orgânica, o uso do solo promove alterações na dinâmica ecológica dos igarapés (Cummins; Merritt; Andrade, 2005; Lima et al., 2022).

Apesar da importância ecológica dos EPT e sua relação com o meio aquático, há pouca informação sobre como as formas de uso do solo se relacionam com seus GFA. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito do uso do solo sobre a estrutura funcional alimentar das comunidades de EPT em igarapés amazônicos. Esperamos que: (i) o uso do solo

altere a composição dos grupos funcionais alimentares das comunidades de EPT, resultando em diferenças entre os igarapés, uma vez que ocupam habitats diferentes; e (ii) o uso do solo influencia a abundância de pelo menos um grupo funcional alimentar.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido entre os anos de 2018 e 2024, em 20 igarapés amazônicos, distribuídos nos municípios de Altamira, Brasil Novo, Medicilândia e Vitória do Xingu, região sudoeste do estado do Pará (Figura 1). O clima da região é classificado como Aw, tropical chuvoso, com temperaturas médias anuais variando entre 22°C e 32°C. O período de chuvas ocorre entre dezembro e maio, e o período de estiagem entre junho e novembro, com poucas variações (Peel et al., 2007; Carvalho et al., 2022).

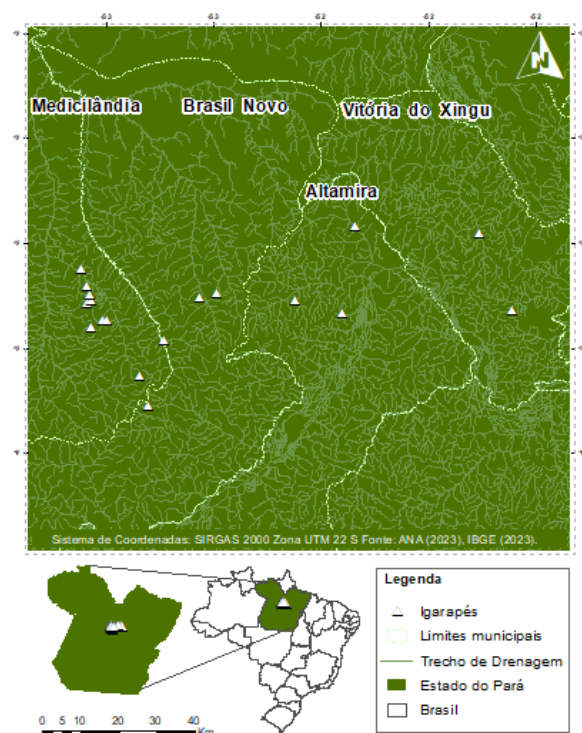


Figura 1. Mapa de localização do estudo.

A vegetação local é tipicamente florestada, do tipo Ombrófila Densa, com poucos remanescentes de floresta primária. A cacaucultura representa uma das principais formas de uso do solo na região, com papel crucial na economia local (Costa et al., 2020). No entanto, esse método convencional de cultivo costuma gerar derrubada de áreas significativas de floresta, contribuindo para a perda de biodiversidade (Izac et al., 2013; Piasentin et al., 2014). Múltiplos usos do solo também integram a região de estudo, incluindo o cultivo de espécies perenes e a bovinocultura (Da Silva; De Assis Oliveira, 2014). Assim, os igarapés selecionados representam diferentes classes de uso do

solo, sendo elas: áreas de floresta, áreas de cacaucultura e áreas com múltiplos usos do solo.

Em cada igarapé foi delimitado um trecho amostral de 100 metros, subdividido em 20 segmentos de 5 metros cada (Dias-Silva et al., 2010). A coleta de EPT foi realizada com o auxílio de uma rede entomológica tipo “rapichê” (malha de 0,35 mm) nas margens de cada segmento. Os organismos capturados foram triados diretamente no campo, ainda vivos, permitindo uma separação preliminar clara. Os exemplares foram acondicionados em tubos Falcon de 15 ml com álcool etílico a 85%. Esse material foi depositado no Laboratório de Ecologia da Universidade Federal do Pará, e identificado até o menor nível taxonômico possível com auxílio de lupa estereoscópica e literatura especializada (Hamada et al., 2014).

Os grupos funcionais alimentares (GFA) dos EPT foram atribuídos a cada gênero com base em consulta à literatura especializada (Zimmerman; Wissing, 1980; Shimano et al., 2012; Brasil et al., 2013; Baptista et al., 2006; Merritt; Cummins; Berg, 2008; Cummins; Merritt; Andrade, 2005). Assim, foram categorizados como raspadores, coletores-filtradores, fragmentadores, predadores ou apanhadores.

A estrutura funcional das comunidades de EPT foi avaliada com base na abundância dos GFA registrados em cada igarapé. Os dados foram transformados pelo método de Hellinger e a dissimilaridade entre as amostras foi calculada pela distância de Bray-Curtis (Legendre; Gallagher, 2001).

Para testar a hipótese (i), de que o uso do solo altera a composição dos GFA, foi realizada uma análise de variância permutacional multivariada (PERMANOVA), com 9.999 permutações. A homogeneidade das dispersões entre os grupos foi avaliada por meio da análise de dispersão multivariada (PERMDISP) (Anderson, 2001).

Para testar a hipótese (ii), de que o uso do solo influencia a abundância de pelo menos um grupo funcional alimentar, foram ajustados modelos lineares generalizados (GLMs) com distribuição binomial negativa, definindo o uso do solo como variável explicativa (O’Hara; Kotze, 2010). Essa abordagem foi adotada devido à sobredispersão dos dados. Todas as análises foram realizadas no ambiente R (versão 4.3.2), utilizando os pacotes *vegan*, *MASS* e *ggplot2*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram identificados um total de 3220 indivíduos dentre os EPT, sendo: 1509 de Ephemeroptera, em 9 famílias e 34 gêneros com 4 GFA; 253 de Plecoptera, em 1 família e 2 gêneros com 1 GFA; e 1458 de Trichoptera, em 7 famílias e 15 gêneros com 4 GFA (Tabela 1). Dentre os GFA, o mais frequente foi coletor-filtrador (27,45%), seguido por raspador (25,49%), apanhador (23,52%) e fragmentador

(15,68%). O menos frequente foi o GFA predador (7,84%), representado por 4 gêneros e 259 indivíduos.

Tabela 1. Grupos funcionais alimentares encontrados entre os gêneros de EPT nos igarapés amazônicos. Onde: A – Apanhador, CF – Coletor-Filtrador, F – Fragmentador, P – Predador, e R – Raspador.

GÊNEROS DE EPT	GFA	ABUND
Ephemeroptera		
<i>Amanahyphes</i> Salles & Molineri, 2006	A	4
<i>Americabaetis</i> Kluge, 1992	A	2
<i>Apobaetis</i> Day, 1955	A	4
<i>Askola</i> Peters, 1969	R	14
<i>Aturbina</i> Lugo-Ortiz & McCafferty, 1996	A	4
<i>Baetodes</i> Needham & Murphy, 1924	R	2
<i>Brasilocaenis</i> Puthz, 1975	R	19
<i>Caenis</i> Stephens, 1835	R	17
<i>Callibaetis</i> Eaton, 1881	CF	21
<i>Callibaetoides</i> Cruz, Salles & Hamada, 2013	CF	21
<i>Camelobaetidius</i> Demoulin, 1966	R	2
<i>Campsurus</i> Eaton, 1868	CF	12
<i>Campylocia</i> Needham & Murphy, 1924	A	10
<i>Cloeodes</i> Traver, 1938	R	15
<i>Cryptonympha</i> Lugo-Ortiz & McCafferty, 1998	A	2
<i>Farrodes</i> Peters, 1971	R	317
<i>Fittkaulus</i> Savage & Peters, 1978	F	6
<i>Hagenulopsis</i> Ulmer, 1920	R	13
<i>Hexagenia</i> Walsh, 1863	CF	1
<i>Hydrosmilodon</i> Flowers & Dominguez, 1992	CF	21
<i>Latineosus</i> Sun & McCafferty, 2008	A	1
<i>Leptohyphes</i> Eaton, 1882	A	38
<i>Macunahyphes</i> Dias, Salles & Molineri, 2005	R	20
<i>Miroculis</i> Edmunds, 1963	R	319
<i>Needhamella</i> Domínguez & Flowers, 1989	CF	29
<i>Paracloeodes</i> Day, 1955	A	9
<i>Paramaka</i> Savage & Domínguez, 1992	CF	3
<i>Simothraulopsis</i> Demoulin, 1966	R	315
<i>Terpides</i> Demoulin, 1966	F	17
<i>Tikuna</i> Savage, Flowers & Porras, 2005	F	15
<i>Tricorythodes</i> Ulmer, 1920	A	33
<i>Ulmeritoides</i> Traver, 1959	F	193
<i>Waltzophius</i> McCafferty & Lugo-Ortiz, 1995	A	2
<i>Zelus</i> Lugo-Ortiz & McCafferty, 1998	A	8
Plecoptera		
<i>Anacroneuria</i> Klapálek, 1909	P	153
<i>Macrogynoplax</i> Enderlein, 1909	P	100
Trichoptera		
<i>Cernotina</i> Ross, 1938	CF	28
<i>Chimarra</i> Stephens, 1829	CF	383
<i>Cynellus</i> Banks, 1913	CF	8
<i>Helicopsyche</i> Siebold, 1856	R	3
<i>Leptonema</i> Guérin-Méneville, 1843	CF	310
<i>Macronema</i> Pictet, 1836	CF	226
<i>Macrostemum</i> Kolenati, 1859	CF	29
<i>Marilia</i> Müller, 1880	F	10
<i>Nectopsyche</i> Müller, 1879	F	125
<i>Neotrichia</i> Morton, 1905	R	1

<i>Oecetis</i> McLachlan, 1877	P	4
<i>Phylloicus</i> Müller, 1880	F	239
<i>Polycentropus</i> Curtis, 1835	P	2
<i>Smicridea</i> McLachlan, 1871	CF	68
<i>Triplectides</i> Kolenati, 1859	F	22

A composição dos GFA não diferiu entre as classes de usos do solo (PERMANOVA, $F = 1,02$; $R^2 = 0,107$; $p = 0,426$), indicando que a estrutura funcional das comunidades de EPT é similar entre os igarapés avaliados. A homogeneidade da dispersão entre os grupos foi confirmada (PERMDISP, $p = 0,243$). E, assim, a hipótese (i) foi rejeitada.

Os GLMs indicaram que, de modo geral, a abundância dos GFA não é influenciada pelo uso do solo, com exceção dos raspadores ($\chi^2 = 14,60$; $p < 0,001$) (Figura 2). A análise indicou redução na abundância de raspadores em áreas de cacau em relação à floresta, confirmando o esperado pela hipótese (ii). Os demais GFA (apanhadores, predadores, coletores-filtradores e fragmentadores) não apresentaram diferenças significativas entre os ambientes.

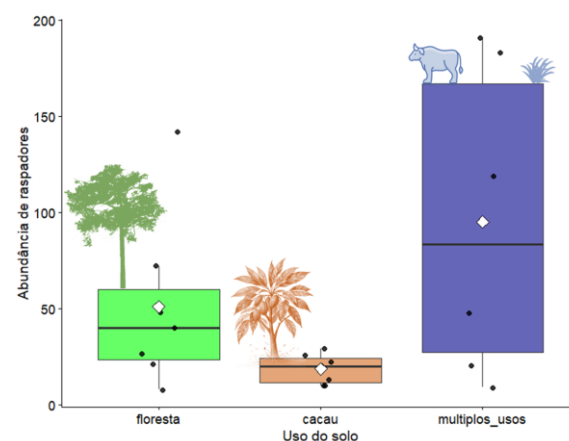


Figura 2. Resultados do modelo linear generalizado para o GFA raspador entre as classes de uso do solo.

A estrutura funcional geral das comunidades de EPT se mostrou relativamente estável entre as diferentes classes de uso do solo, porém expôs que alterações ambientais podem afetar grupos específicos. A resposta dos raspadores sugere maior sensibilidade às mudanças no ambiente, possivelmente relacionada à dependência de recursos associados ao substrato e à integridade do habitat (Barbora et al., 2011).

Mudanças na vegetação ripária podem alterar a colonização de algas, impactando organismos dependentes desse recurso (Felisberto; Rodrigues, 2012). Assim, a redução da abundância de raspadores em áreas de cacau pode refletir alterações na disponibilidade e qualidade do perifíton, recurso diretamente associado a superfícies estáveis e à entrada de luz (Oliveira; Nessimian, 2007; Chagas et al., 2012). Ademais, outros estudos em igarapés amazônicos também encontraram resultados similares



entre GFA e outras classes de uso do solo (Lima et al., 2022; Cruz et al., 2026).

De fato, a faixa de vegetação ao longo das margens dos corpos d'água atua como uma barreira natural que impede a erosão, ajudando a manter a integridade dos cursos d'água e a prevenir o assoreamento dos igarapés (Allan, 2004; Negrão; Cunha, 2019). A baixa representatividade de fragmentadores e coletores-filtradores no estudo expõe que provavelmente há pouca vegetação e entrada de material alóctone nos igarapés estudados, conforme apoiado pela literatura (Barbola et al., 2011). Esses grupos são particularmente sensíveis a alterações no uso do solo (Cummins; Merritt; Andrade, 2005; Lima et al., 2022).

No geral, a modificação desses recursos pode reduzir sua abundância em ambientes alterados, uma vez que a estrutura trófica das comunidades aquáticas tropicais é fortemente determinada pela disponibilidade de recursos e pelas condições ambientais (Tomanova et al., 2006; Lima et al., 2022). Com isso, é possível inferir que a manutenção da estrutura funcional geral, mesmo diante de diferentes usos do solo, sugere que os GFA podem estar ocupando nichos complementares, garantindo a persistência das funções ecológicas no sistema (MacArthur; Levins, 1967).

A constatação de processos ecossistêmicos são indicadores funcionais da integridade de ambientes aquáticos (Gessner; Chauvet, 2002). Outrossim, os resultados encontrados também apontam para a existência de redundância funcional nas comunidades de EPT, associando-se à plasticidade ecológica e refletindo um mecanismo de compensação ecológica e resiliência (Tomanova et al., 2006).

CONCLUSÃO

O uso do solo não alterou a composição dos GFA de EPT, mas influenciou na redução da abundância de raspadores em áreas de cacau, evidenciando que alterações ambientais podem afetar grupos mais sensíveis e especializados. A dinâmica observada expôs que provavelmente há níveis de alteração ambiental nos igarapés da região, mesmo os florestados. Ainda, a manutenção da estrutura funcional sugere que os GFA respondem de forma diferenciada às mudanças ambientais, possivelmente por meio da ocupação de nichos complementares, contribuindo para a persistência das funções ecológicas, apesar da variação das formas de uso do solo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo financiamento de projetos (Processo nº 420827/2018-8; Processo nº 420569/2023-5). Eduarda Silva de Lima agradece à Coordenação de

Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de doutorado (Processo nº 88887.841990/2023-00). Emilly Drosdosky agradece ao CNPQ pela bolsa de mestrado (Processo nº 420569/2023-5). Karina Dias Silva agradece ao CNPQ pela bolsa produtividade (311550/2023-1) e ao Laboratório de Ecologia, Campus de Altamira.

REFERÊNCIAS

- ALLAN, J. D. Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. **Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.**, v. 35, n. 1, p. 257-284, 2004.
- ALMEIDA, O. T.; UHL, C. Developing a quantitative framework for sustainable resource-use planning in the Brazilian Amazon. **World Development**, v. 23, n. 10, p. 1745–1764, 1995.
- ANDERSON, M. J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. **Austral Ecology**, v. 26, n. 1, p. 32–46, 2001.
- BAPTISTA, D. F. et al. Functional feeding groups of Brazilian Ephemeroptera nymphs: ultrastructure of mouthparts. **Annales de Limnologie**, v. 42, n. 2, p. 87–96, 2006.
- BARBOLA, I. F. et al. Avaliação da comunidade de macroinvertebrados aquáticos como ferramenta para o monitoramento de um reservatório na bacia do rio Pitangui, Paraná, Brasil. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 101, p. 15-23, 2011.
- BRASIL, L. S. et al. Effects of environmental factors on community structure of Leptophlebiidae (Insecta, Ephemeroptera) in Cerrado streams, Brazil. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 103, n. 3, p. 260–265, 2013.
- CHAGAS, F. B. et al. Utilização da estrutura de comunidades de macroinvertebrados bentônicos como indicador de qualidade da água em rios no sul do Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 3, p. 416-425, 2017.
- COSTA, L. C. et al. O papel da centralidade de Altamira-PA nas relações de horizontalidades e verticalidades na compra e venda de Cacau (*Theobroma Cacao* L.) na região da transxingu. **Ciência Geográfica**, v. 24, n. 3, p. 1358-1369, 2020.
- CRUZ, G. M. et al. Forest loss influences biomass distribution across trophic groups of Amazonian stream insects. **Freshwater Biology**, v. 71, n. 2, p. e70182, 2026.
- CUMMINS, K. W.; MERRITT, R. W.; ANDRADE, P. C. N. The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in southeast Brazil. **Studies on**



- Neotropical Fauna and Environment**, v. 40, n. 1, p. 71–90, 2005.
- CUNHA, E. J. et al. Urban development and industrialization impacts on semiaquatic bugs diversity: a case study in eastern Amazon streams. **Water Biology and Security**, v. 1, n. 3, p. 100061–100067, 2022.
- DA SILVA, M. M.; DE ASSIS OLIVEIRA, F.. A importância socioambiental das florestas secundárias em Altamira-Pará. **EDUCamazônia**, v. 12, n. 1, p. 195–208, 2014.
- DIAS-SILVA, K. et al. The influence of habitat integrity and physical-chemical water variables on the structure of aquatic and semi-aquatic Heteroptera. **Zoologia (Curitiba)**, v. 27, n. 6, p. 918–930, 2010.
- ESPINOSA, A. C. E. et al. Functional diversity of mayflies (Ephemeroptera, Insecta) in streams in mining areas located in the Eastern Amazon. **Hydrobiologia**, v. 850, p. 929–945, 2023.
- FELISBERTO, S. A.; RODRIGUES, L. Dinâmica sucessional de comunidade de algas perifíticas em um ecossistema lótico subtropical. **Rodriguésia**, v. 63, n. 2, p. 463–473, 2012.
- GESSNER, M. O.; CHAUVET, E. A case for using litter breakdown to assess functional stream integrity. **Ecological applications**, v. 12, n. 2, p. 498–510, 2002.
- GHOLIZADEH, M.; HEYDARZADEH, M. Functional feeding groups of macroinvertebrates and their relationship with environmental parameters: case study in Zarin-Gol River. 2020.
- HAMADA, N. et al. **Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia**. Manaus: Editora do INPA, 2014.
- IZAC, A.-M. N. et al. (ed.). **Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes**. Washington: Island Press, 2013.
- LEGENDRE, P.; GALLAGHER, E. D. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. **Oecologia**, v. 129, n. 2, p. 271–280, 2001.
- LIMA, M. et al. Land use changes disrupt streams and affect the functional feeding groups of aquatic insects in the Amazon. **Journal of Insect Conservation**, v. 26, n. 2, p. 137–148, 2022.
- MACARTHUR, R.; LEVINS, R. The limiting similarity, convergence, and divergence of coexisting species. **The American Naturalist**, v. 101, n. 921, p. 377–385, 1967.
- MERRITT, R. W.; CUMMINS, K. W.; BERG, M. B. **An introduction to the aquatic insects of North America**. Dubuque: Kendall/Hunt Publishing Company, 2008.
- NEGRÃO, G. N.; CUNHA, M. C. Diversidade de macroinvertebrados bentônicos na avaliação do uso do solo e qualidade ambiental da bacia do Guabirola, Guarapuava, PR, Brasil. **Revista Geografar**, v. 14, n. 1, p. 7–26, 2019.
- O'HARA, R. B.; KOTZE, D. J. Do not log-transform count data. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 1, n. 2, p. 118–122, 2010.
- OLIVEIRA, A. L. H.; NESSIMIAN, J. L. Relações tróficas de insetos aquáticos em riachos com diferentes altitudes na Serra da Bocaina. In: Congresso de Ecologia do Brasil, VIII, 2007, Caxambu. **Anais do evento[]**. Minas Gerais: SEB, 2007.
- PEEL, M. C. et al. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, p. 1633–1644, 2007.
- PIASENTIN, F. B. et al. Preferências locais quanto às árvores do sistema cacau-cabruca no sudeste da Bahia. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, p. 55–78, 2014.
- SHIMANO, Y. et al. Distribuição espacial das guildas tróficas e estruturação da comunidade de Ephemeroptera (Insecta) em córregos do Cerrado de Mato Grosso, Brasil. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 102, n. 2, p. 187–196, 2012.
- TOMANOVA, S. et al. Trophic levels and functional feeding groups of macroinvertebrates in neotropical streams. **Hydrobiologia**, v. 556, n. 1, p. 251–264, 2006.
- ZIMMERMAN, M. C.; WISSING, T. E. The nutritional dynamics of the burrowing mayfly, *Hexagenia limbata*. In: **Advances in Ephemeroptera Biology**. Boston: Springer, 1980. p. 231–257.