



Serviço Público Federal
Universidade Federal do Pará
Campus Universitário de Altamira
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO

PPGBC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO

ANTÔNIO WESLEY BARROS CAÇADOR

DROSOPHILIDAE (DIPTERA) E EUGLOSSINI
(HYMENOPTERA, APIDAE) COMO FERRAMENTAS DE
MONITORAMENTO AMBIENTAL

Orientador: Dr. Ítalo Martins da Costa Mourthé

Co-orientador: Prof. Dr. Hermes Fonseca de Medeiros

ALTAMIRA – PA
JULHO - 2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ALTAMIRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E
CONSERVAÇÃO

ANTÔNIO WESLEY BARROS CAÇADOR

DROSOPHILIDAE (DIPTERA) E EUGLOSSINI
(HYMENOPTERA, APIDAE) COMO FERRAMENTAS DE
MONITORAMENTO AMBIENTAL

Orientador: Dr. Ítalo Martins da Costa Mourthé

Co-orientador: Prof. Dr. Hermes Fonseca de Medeiros

Projeto de pesquisa apresentado ao Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Conservação da Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Altamira, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre.

ALTAMIRA - PA
JULHO – 2018

Dedico este trabalho aos meus familiares, em especial à minha mãe, Maria Barros Caçador (dona Iara), que apesar de viver em meio a uma vida de delírios esquizofrênicos é minha fonte de inspiração.

A maior parte de nossas vidas é uma série de imagens. Elas passam pela gente como cidades numa estrada, mas algumas vezes um momento se congela, e algo acontece. E nós sabemos que esses instantes são mais do que uma imagem. Sabemos que esse momento, e todas as partes dele irão viver para sempre.

One Tree hill

Agradecimentos

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação, por implantarem o curso em Altamira e possibilitarem meu aperfeiçoamento;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida;

Aos membros da banca examinadora desta dissertação, por aceitarem o convite e contribuir para a melhoria deste trabalho;

À Norte Energia, empresa que concedeu os dados para utilizarmos nas análises deste trabalho;

Ao meu orientador, Dr. Ítalo Martins da Costa Mourthé, pela oportunidade de aprendizado, orientações sempre claras, apoio, paciência, amizade e incentivo;

Ao meu co-orientador e amigo Dr. Hermes Fonseca de Medeiros, que me acompanha desde a graduação, sempre com paciência, bom humor e muita vontade de ajudar, aprendi muito com senhor, obrigado pelas excelentes orientações, e pelos dias de descontração;

À Léia Medeiros, pela paciência que teve com o professor Hermes e comigo durante os dias de intenso trabalho na produção da dissertação em sua casa, pelos almoços, lanches e jantares;

À Nilma Caxiado, minha esposa, por ter tido toda paciência durante esses dois anos, pelo apoio, ajuda e carinho;

Aos amigos do laboratório de ecologia que sempre estiveram disponíveis para ajudar, em especial, Marcia, Leydiani, e Dilaylson;

Ao Igor Martins, pela ajuda com as Euglossini e pelas conversas descontraídas;

Ao meu irmão, Islan Deyvid Barros Caçador e sua esposa e minha amiga Silnara Carmo Bento, por toda a ajuda que vcs sempre proporcionam;

À minha mãe, Maria Barros Caçador, pela humildade, carinho e cuidado que serviram de combustível para chegar até aqui;

Ao meu pai, sem ele não teria condições de ter chegado até aqui;

À minha irmã Sheila Cristina Barros Caçador, pelo incentivo;

Ao meu irmão Carlos Douglas Barros Caçador (Bolota) e sua esposa Geysa Goes;

Aos meus amigos de infância do grupo “Brothers das antigas” pelos churrascos que fizeram-me relaxar e repor as forças para continuar a caminhada;

Á todos que direta ou indiretamente contribuíram para produção desse trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL.....	1
INTRODUÇÃO GERAL.....	2
OBJETIVOS GERAIS.....	4
Referências.....	5
CAPÍTULO 1. RESPOSTAS DE DOIS GRUPOS DE INSETOS ALADOS (DROSOPHILIDAE (DIPTERA) E EUGLOSSINI (HYMENOPTERA, APIDAE) A ANTROPIZAÇÃO EM UMA PISAGEM AMAZÔNICA.....	7
Resumo.....	8
Introdução.....	9
Material e Métodos	12
<i>Área de estudo.....</i>	<i>12</i>
<i>Desenho amostral.....</i>	<i>13</i>
<i>Coletas.....</i>	<i>14</i>
<i>Identificação e preparação das amostras.....</i>	<i>15</i>
<i>Análise de dados.....</i>	<i>16</i>
Resultados	18
Discussão.....	22
Agradecimentos.....	25
Referências	25
CAPÍTULO 2. DROSOPHILIDADE (DIPTERA) E EUGLOSSINI (APIDAE, HYMENOPTERA) COMO FERRAMENTAS DE MONITORAMENTO AMBIENTAL.....	31
RESUMO.....	32
Introdução.....	33
Material e métodos.....	36
Análise de dados.....	39
Resultados.....	43

Discussão	54
Agradecimentos	58
Referências	58
Conclusão geral	64

RESUMO GERAL

As florestas tropicais estão desaparecendo rapidamente, e com ela grande parte da biodiversidade deste ecossistema. A remoção da cobertura florestal deve-se às atividades humanas, incluindo agricultura, extração madeireira, expansão urbana, mineração, construção de rodovias e usinas hidroelétricas. A remoção parcial, total ou fragmentação florestal contribui para a diminuição da biodiversidade através da reestruturação das comunidades (e.g. extinção, substituição de espécies nativas por exóticas) a um novo equilíbrio biológico. Entretanto, ainda sabemos pouco sobre a relação entre a diversidade, composição e estruturação das comunidades e suas relações com o desmatamento e degradação dos habitats. Vários organismos têm sido considerados como indicadores biológicos de integridade ambiental. Estes bioindicadores respondem às alterações através de variações na abundância, riqueza, diversidade, composição, fisiologia ou morfologia e essas variações podem ser usadas para caracterizar, monitorar e/ou avaliar a integridade do ambiente. Avaliamos a relação entre a abundância de dois grupos de insetos alados, Drosophilidae e Euglossini, com variáveis relacionadas à perturbação ambiental em fragmentos de floresta ombrófila aberta a fim de investigar o papel deles como bioindicadores da integridade ambiental de remanescentes florestais. *Drosophila malerkotliana*, *Scaptodrosophila latifascaeiformis*, *Zaprionus indianus* e uma forma não identificada de *Rhinoleucophenga* associaram-se às variáveis indicadoras de menor cobertura florestal, enquanto *D. willistoni*, *D. paulistorum*, *D. prosaltans*, *D. equinoxialis* e *D. subsaltans* associaram-se às variáveis relacionadas à maior cobertura florestal. Entre as Euglossini, as espécies de *Euglossa* (incluindo o subgênero *glossura*) e *Exaerete* associaram-se às variáveis indicadoras de floresta preservada, enquanto as espécies do gênero *Eulaema* associaram-se às variáveis indicadoras de áreas degradadas. Essas associações podem indicar que mudanças no nível de degradação ambiental poderiam causar mudanças significativas na composição das comunidades destes grupos neste tipo florestal. Ainda, algumas espécies e/ou agrupamentos de espécies podem ser usadas como indicadores robustos da integridade ambiental em paisagens fragmentadas de floresta ombrófila aberta amazônica. O agrupamento de espécies exóticas (excluindo *D. malerkotliana*) e as espécies *S. latifascaeiformis* e *Z. indianus* (Drosophilidae), assim como o gênero *Eulaema*, a espécie *Eul. nigrita* e o agrupamento formado por *Eul. nigrita* + *Eul. Cingulata* (Euglossini) podem ser utilizados como indicadores de áreas degradadas. Entre os indicadores de áreas preservadas, destacam-se *D. Sturtevantii* (Drosophilidae) e as espécies do subgênero *Glossura* (gênero *Euglossa*), *Eug. imperialis* e *Eul. Intersecta* (Euglossini).

Palavras-chave: Antropização, conservação, bioindicadores, validação.

INTRODUÇÃO GERAL

O bioma amazônico está entre os ambientes com a maior biodiversidade do planeta (MARCON et al., 2012). Essa grande diversidade vem sendo frequentemente explicada em parte pela grande heterogeneidade ambiental da floresta (e.g. espécies de plantas, relevo, clima, produtividade), que permite um maior número de nichos e habitats diferentes disponíveis para serem ocupados. Apesar da grande riqueza de espécies existente nesse bioma, em alguns casos essa diversidade ainda é pouco conhecida. O modo de expansão humana associado à imensa exploração dos recursos naturais tem levado à destruição dos habitats e fragmentação florestal, gerando enormes prejuízos à diversidade de espécies (FAHRIG, 2003, BAILLIE et al., 2004, RIBEIRO et al., 2009, MARTINS, 2011). A destruição e fragmentação dos habitats florestais representam algumas das maiores ameaças à biodiversidade. Essas transformações, além de diminuir a biodiversidade podem extinguir espécies ainda não conhecidas pela ciência.

Em virtude da crescente preocupação em relação à preservação de florestas, monitoramento dos impactos de grandes empreendimentos, identificação de áreas prioritárias para conservação e intervenção com finalidade de conservação, surgiu a necessidade de estudos que forneçam informações sobre a integridade ambiental de remanescentes florestais. Para isso é possível utilizar-se de grupos de organismos como ferramentas de detecção do nível de qualidade de fragmentos florestais, os chamados bioindicadores ambientais – espécies, grupos ou qualquer categoria de taxa, que sua abundância, presença, ausência ou diversidade sejam indicadores da integridade ambiental (McGEOCH, 1998; MOFFATT e MCLACHLAM, 2004; MENDOZA e PRABHU, 2004, WINK, 2005; TOMA, 2014; SCORIZA, 2016; ZAINA, 2016).

Diversos grupos estão sendo utilizados para entender as consequências da antropização e na caracterização da qualidade de tais ambientes, entre estes, os invertebrados são frequentemente sugeridos, principalmente devido à facilidade de coleta, alta abundância, ciclo de vida e reprodutivo curto, alta sensibilidade e respostas rápidas às modificações no ambiente (WINK et al., 2005; ZANIA, 2016). Vários grupos de invertebrados têm sido utilizados como indicadores, mas os insetos merecem destaque por representarem o grupo mais diverso e participarem de questões-chave no ambiente (e.g. decomposição da matéria orgânica, polinização de plantas, produção de mel e seda, fonte de alimentação de outros taxa). São usados como indicadores ambientais, principalmente, borboletas (ANDRADE e TEIXEIRA, 2017), formigas (DA VEIGA et al. 2016), aranhas (Jorge 2015), besouros (COMAR et al. 2016; NISHIWAKI et al. 2017) e moscas (ORLANDIN et al. 2015; GOMES 2017).

Neste trabalho, investigamos as respostas de dois grupos de invertebrados terrestres, Drosophilidae (Diptera) e Euglossini (Hymenoptera, Apidae), em relação às variáveis características de ambientes antropizados e preservados a fim de testar quais espécies podem ser utilizadas como bioindicadores de qualidade ambiental de fragmentos florestais na Amazônia oriental. Estes dois grupos já foram sugeridos diversas vezes como bioindicadores ambientais (MARTINS, 1989; MATA 2007, 2008; GOTTSCHALK, *et al.*, 2007; ROHDE *et al.*, 2010), mas são escassos os trabalhos que validaram estes status com análises e amostragens robustas e confiáveis.

OBJETIVOS GERAIS

- Avaliar padrões de associações da diversidade de espécies de Drosophilidae e Euglossini à perturbação em fragmentos florestais na região da volta grande do Xingu, Pará;

- Investigar o papel de espécies de Drosophilidae (Diptera) e Euglossini (Hymenoptera, Apidae) como bioindicadores ambientais.

Referências

- Andrade, D.A.D., Teixeira, I.R.D.V. (2017). Diversity of Lepidoptera in a forest fragment in Muzambinho, Minas Gerais. *Ciência Florestal*, 27(4), 1229-1241
- Baillie, J.E., Bennun, L.A., Brooks, T.M., Butchart, S.H.M., Chanson, J.S., Cokeliss Z., Hilton, T.C., Hoffman, M., Mace, G., Mainka, S.A., Pollock, C.M., Rodrigues, A.S.L., Stattersfield, A.J., Stuart, S.N. (2004). UICN Red List of Threatened Species – a global species assessment. The IUCN species survival commission, cambridge, UK
- Comar, K.C., dos Santos Vicente, T., Coppo, T.L., Lopes, J., Zequi, J.A.C. (2016). Abundância e Diversidade de Staphylinidae (Coleoptera) em Fragmento e Reflorestamento no Norte do Paraná. *EntomoBrasilis*, 9(2), 114-119.
- Da Veiga, J.B., Dos Santos, R.C., Lopes, M.P.M., Da Silva, R.R., da Silva, A.C.S., de Oliveira, A.S. (2016). Avaliação rápida da riqueza de formigas (Hymenoptera, Formicidae) em fragmentos de floresta ombrófila na região de Alta Floresta, MT. *Revista de Ciências Agroambientais*, 13(2).
- Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 34:487–515
- Gomes, D.F. (2017). Drosofilídeos (Insecta, Diptera) como indicadores de qualidade ambiental em um remanescente de Mata Atlântica em Santa Catarina.
- Martins, T.K. (2011). Determinantes ecológicos do risco de extinção: Abundância local, amplitude de nicho, capacidade de dispersão e a resposta das espécies de pequenos mamíferos à fragmentação florestal no Planalto Atlântico Paulista. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo. 69 p.
- Mata, R.A., Mcgeoch, M., Tidon, R. (2008). Drosophilid assemblages as a bioindicator system of human disturbance in the Brazilian Savanna. *Biodiversity and conservation*, 17(12), 2899.
- Mata, R.A.D. (2007). Diversidade das assembléias de Drosofilídeos (insecta, diptera) do Cerrado., Cap 2. Tese de doutorado, Brasília 2007.

- Marcon, J.L., Menin M., Araújo M. G. P., Hrbek T. (2012) Biodiversidade Amazônica: caracterização, ecologia e conservação. Edua, Manaus, 2012, p.372
- McGeoch, M.A., (1998). The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. *Biological reviews*, 73(2), 181-201.
- Moffatt, S.F., Mclachlam, S.M. (2004). Understorey indicators of disturbance for riparian forests along an urban-rural gradient in Monitoba. *Ecological Indicators*, v.4, n.1, p.1-16.
- Mendoza, G.A., Prabhu, R. (2004). Fuzzy methods for assesing criteria and indicators of sustainable forest management. *Ecological Indicators*, v.3, n.4, p.227-236, 2004.
- Nishiwaki, A.A.M., Pinheiro, S.M.G., de Omena Gusmão, L., da Silva, E.C., Santos, A. F.D.M.S., El-Deir., S.G. (2017). Scarabaeidae family (Coleoptera) as potential environmental quality bioindicator| Família Scarabaeidae (Coleoptera) como bioindicador de potencial de qualidade ambiental. *Revista Geama*, 3(2), 68-77.
- Orlandin, E., dos Santos, E.B., Piovesan, M., Favretto, M.A., Schneeberger, A.H., de Oliveira Souza, V., Wagner, G. (2015). Atividade Crepuscular De Culicídeos (Diptera: Culicidae) Em Área De Floresta Atlântica Da Região Oeste De Santa Catarina, Sul Do Brasil. Seminário de Iniciação Científica, Seminário Integrado de Ensino, Pesquisa, Extensão e Mostra Universitária.
- Ribeiro, M.C., Metzger J.P., Martensen, A.C., Ponzoni F.J., Hirota, M.M. (2009). The Brazilian Atlantic forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological conservation*, 142(6), 1141-1153
- Scoriza, R.N., Correia, M.E. (2016). Fauna do Solo como Indicadora em Fragmentos Florestais na Encosta de Morrotes. *Floresta e Ambiente*, v. 23, n. 4, p. 598-601, 2016.
- Wink, C., Guedes, J.V.C., Fagundes, C.K., Rovedder, A.P. (2005) Insetos edáficos como indicadores da qualidade ambiental Soilborne insects as indicators of environmental quality. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 4, n. 1, p. 60-71, 2005.
- Zaina, P. (2016). Diversidade de scarabaeidae (coleoptera) necrófaga e copronecrófaga como bioindicadores de impactos ambientais de áreas de cerrado e pantanal com diferentes graus de conservação nos estados de mato grosso do sul e mato grosso. Tese de mestrado, Campo Grande – MS.

CAPITULO 1

**RESPOSTAS DE DROSOPHILIDAE (DIPTERA) E EUGLOSSINI
(HYMENOPTERA APIDAE) À ANTROPIZAÇÃO, EM UMA PAISAGEM
AMAZÔNICA**

**Respostas de Drosophilidae, (Diptera) e Euglossini,
(Hymenoptera, Apidae) à antropização, em uma paisagem
amazônica¹**

A W B CAÇADOR^{1,2}, H F de MEDEIROS^{1,3}, I MOURTHE^{1,2}

¹ Laboratório de Ecologia, Faculdade de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará,
Altamira, Brazil

² Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação, UFPA, Altamira, Brazil

³ Correspondência: hermesfm@gmail.com

¹ “Artigo editado conforme as instruções para autores da revista Neotropical Entomology, acessado no seguinte link <https://www.springer.com/life+sciences/entomology/journal/13744>.”

Resumo

A ocupação humana e a intensa exploração dos recursos naturais têm destruído e fragmentado as florestas tropicais de forma acelerada. Entretanto, poucos estudos demonstraram as respostas de vários grupos à degradação ambiental, particularmente entre os invertebrados terrestres. Tal conhecimento é necessário para a compreensão da história natural e para tomada de decisão em relação à conservação das espécies. Para exploração dos padrões, assim como para a obtenção de variáveis que resumissem a principal fonte de variação dos dois táxons, foram realizadas análises de redundância (RDA) e análises de componentes principais (PCA), com cada um deles, separadamente. Para estas análises os resultados das análises de RDA permitem observar que as abundâncias de algumas espécies de Drosophilidae e Euglossini estão correlacionadas com variáveis descritoras da cobertura florestal e degradação do hábitat. *Drosophila malerkotliana*, *Scaptodrosophila latifasceaeformis*, *Zaprionus indianus* e espécies não identificadas de *Rhinoleucophenga* associaram-se à menor cobertura florestal, enquanto *D. willistoni*, *D. paulistorum*, *D. prosaltans*, *D. equinoxialis* e *D. subsaltans* associaram-se à maior cobertura florestal. Entre as Euglossini, as espécies de *Euglossa*, *Exaerete* e do subgênero *glossura* associaram-se às variáveis indicadoras de floresta preservada, enquanto as espécies do gênero *Eulaema*, principalmente *Eul. nigrita* e *Eul. cingulata*, associaram-se às variáveis indicadoras de áreas degradadas. Para avaliar a significância destes padrões, assim como as contribuições individuais de diferentes variáveis descritoras da cobertura vegetal, foram testadas as associações destas variáveis com o primeiro eixo de análises de componentes principais (PCA) com os dados dos dois táxons separadamente. Os resultados confirmam as sugestões prévias de que Drosophilidae e Euglossini poderiam ser usadas como bioindicadores. No entanto, ainda é necessário avaliar essas associações a fim de validar o status desses grupos como bioindicadores ambientais robustos.

Palavras-chave: Conservação, degradação, associação, bioindicadores.

Introdução

A floresta Amazônica está entre os ecossistemas mais ricos em espécies do mundo (Marcon *et al.* 2012) e ocupa cerca de 50% do território brasileiro (MMA, 2014). A forma de ocupação e a intensa exploração dos recursos naturais têm levado à fragmentação florestal em nível acelerado (Wade *et al.* 2003, Coe *et al.* 2009, Ribeiro *et al.* 2009). A fragmentação florestal resulta na reestruturação das comunidades (e.g.

extinção, substituição de espécies nativas por exóticas) levando a novos estados de equilíbrio biológico, com menor biodiversidade (Fahrig 2003, Martins 2011). Para as espécies restritas a florestas, a perda de diversidade se deve a processos analisados pela “biogeografia de ilhas” (Macarthur & Wilson 1967), respondendo a características de cada fragmento (como tamanho e a forma), assim como da matriz que os separa. Por outro lado, nas bordas dos fragmentos florestais, assim como na matriz que substitui as florestas, para espécies específicas desses nichos, ocorrem surgimento e ampliação dos habitats disponíveis. Estes processos resultam na diminuição da diversidade local, assim como na homogeneização biótica (Kuhn & Klotz 2005, Mckinney 2006, Laurance & Vasconcelos 2009).

Para o avanço na compreensão dos complexos processos associados à fragmentação da Amazônia, é necessário que sejam estudados padrões em diferentes grupos de organismos, assim como abrangendo toda a ampla área geográfica ocupada por este ecossistema (Higuchi & Higuchi 2004). Esta tarefa é limitada pelos custos envolvidos na obtenção de dados suficientemente abrangentes temporalmente e espacialmente, com métodos comparáveis, assim como pela falta de conhecimento taxonômico, principalmente sobre grupos de invertebrados megadiversos (Gerlach, Samways & Pryke, 2013).

Neste trabalho, são analisados os efeitos da antropização sobre dois grupos de insetos terrestres megadiversos, excepcionalmente bem resolvidos taxonomicamente, as moscas da família Drosophilidae (Diptera) e as abelhas da tribo Euglossini (Apidae, Hymenoptera). São utilizados dados obtidos com métodos padronizados, com ampla amostragem espacial e temporal, em uma paisagem Amazônica antropizada, desde a volta grande da Bacia Hidrográfica do Rio Xingu até cerca de 50 km a sudoeste do município de Altamira (PA – Brasil).

A família Drosophilidae é composta por mais de 4.200 espécies, distribuídas em todas as regiões do planeta, exceto nos círculos polares (Markow & O'grady 2006, Bächli 2015). São encontradas desde espécies restritas a florestas tropicais àquelas espécies adaptadas aos desertos e regiões temperadas; desde espécies endêmicas ou especializadas no uso de apenas um substrato a espécies cosmopolitas e generalistas (Parson & Stanley 1981, Powel 1997). No Brasil, são registradas 305 espécies de 16 gêneros de Drosophilidae (Tidon *et al.* 2015). Apenas no estado do Pará, na Amazônia oriental, foram registradas 122 espécies, pertencentes a 11 gêneros (Santa-Brígida *et al.* 2017). No entanto, alguns estados da região amazônica são pouco estudados, estando com menos de 12 espécies registradas (Gottschalk *et al.* 2008), demonstrando o conhecimento em relação à distribuição deste grupo na Amazônia ainda é incipiente.

A sensibilidade dos Drophilidae a pequenas variações ambientais é favorável ao estudo dos efeitos de mudanças no ambiente sobre as comunidades biológicas (Parson 1991, Powel 1997, Ferreira & Tidon 2005, Mata *et al.* 2008). Os drosofilídeos são sensíveis às variações abióticas no seu habitat e sua distribuição é fortemente estruturada pelo (micro) clima. Medeiros (2006) demonstrou que as comunidades de drosofilídeos são estruturadas em resposta ao gradiente de umidade, sendo que as espécies hidrofílicas são mais sensíveis à desidratação, sendo restritas às florestas. Outro gradiente estudado em vários continentes é a variação vertical dentro da floresta (Shorrocks 1975, Toda 1992, Tidon-Sklorz & Sene 1992, Tanabe 2002, Van klinken & Walter 2001, Maia 2011). Maia (2011) encontrou maior abundância de espécies exóticas no dossel, um ambiente mais seco e quente, sugerindo este padrão como indicativo de que a distribuição de microclimas teria papel importante na determinação da estruturação vertical da comunidade. Apesar dos drosofilídeos serem extremamente estudados como organismos modelo na pesquisa biológica (Powell

1997), ainda existem muitas lacunas a serem respondidas associadas à sua ecologia e distribuição, principalmente, na Amazônia.

As abelhas da tribo Euglossini compreendem cerca de 208 espécies, distribuídas em cinco gêneros com ocorrência exclusiva na região Neotropical, desde o México até a Argentina, com maior diversidade em florestas quentes e úmidas (Moure 1967, Dressler 1982, Michener 2000, Rebêlo 2001, Nemésio & Silveira 2007). Elas são polinizadoras de várias espécies de plantas, em especial as Orchidaceae (Ramirez *et al.* 2002, Bembe 2004, Eltz & Lunau 2005). As Euglossini são importantes polinizadores, visitando flores em busca de alimento, assim como essências aromáticas (Dressler 1982, Ramirez *et al.* 2002, Eltz & Lunau 2005, Oliveira-Junior *et al.* 2015). Dentre as espécies vegetais predominantemente, ou exclusivamente, polinizadas por estas abelhas há desde espécies arbóreas, incluindo a economicamente importante castanha-do-Pará (*Bertholletia excelsa*), além de centenas de espécies de orquídeas (Ramirez *et al.* 2002, Singer & Sazima 2004). Euglossini é frequentemente sugerida como ferramenta para indicação do nível de degradação florestal, havendo estudos que registram associações com variáveis ambientais indicadoras de antropização (Rebêlo & Cabral 1997, Peruquetti *et al.* 1999, Tonhasca *et al.* 2002, Aguiar & Gaglianone 2008, Vittal *et al.* 2016), suas respostas aos diferentes tamanhos de fragmentos florestais (Ramalho *et al.* 2009), efeito do fogo (Silva *et al.* 2013) e urbanização (Grandolfo *et al.* 2013).

O objetivo deste trabalho foi investigar os padrões de associações das comunidades de Drosophilidae e Euglossini aos diferentes níveis de antropização em fragmentos florestais na região da volta grande do rio Xingu, estado do Pará.

Material e Métodos

Área de estudo

Foram utilizados dados do Projeto de Levantamento e Monitoramento de Invertebrados Terrestres (PLMIT), o qual faz parte do Plano de Controle de Impacto da Usina Hidrelétrica de Belo Monte. A área de estudo compreende oito fragmentos florestais localizados desde a região da Volta Grande do rio Xingu até cerca de 50 km a sudoeste de Altamira, Pará (Fig. 1). O clima da região é equatorial úmido, com sazonalidade marcada e período chuvoso concentrado entre dezembro e maio, com média anual de pluviosidade de 1844 mm e 26,2°C. (Dos Santos *et al.* 2015). A cobertura vegetal original da área de estudo é classificada como floresta ombrófila aberta (Bastos 1972, 1982), mas existem também áreas de floresta de várzea, localizadas às margens do rio Xingu. Grande parte da vegetação da área de estudo foi convertida em um mosaico de fragmentos florestais de diferentes tamanhos e níveis de degradação, cercado por plantações e pastagens (MPEG 2002, Salomão 2007, Vieira *et al.* 2007).

Desenho amostral

Foram definidos oito módulos de amostragem nos fragmentos, que seguem o modelo RAPELD (Magnusson *et al.* 2005). Cada módulo é composto por duas trilhas paralelas de 4 km, afastadas 1 km entre si (Fig. 1). Em cada trilha foram estabelecidas cinco parcelas de 20×250 m, distando 250 m entre si, acompanhando a curva de nível (Fig. 1). Em cada parcela, foram instaladas quatro armadilhas para Drosophilidae, com distanciamento mínimo de 80 m entre elas e três armadilhas para Euglossini, com distanciamento mínimo de 100 m, totalizando 640 armadilhas para Drosophilidae e 480 para euglossini por campanha, com o desenho amostral completo. A distância mínima entre armadilhas para Drosophilidae e Euglossini foi de 20 m. As armadilhas ficaram em campo por dois dias consecutivos, sendo realizada a troca das iscas e a coleta dos

indivíduos capturados diariamente. Foram realizadas duas campanhas por ano, uma durante a estação chuvosa e outra durante a estação seca, entre 2012 e 2017, totalizando seis anos de amostragem.

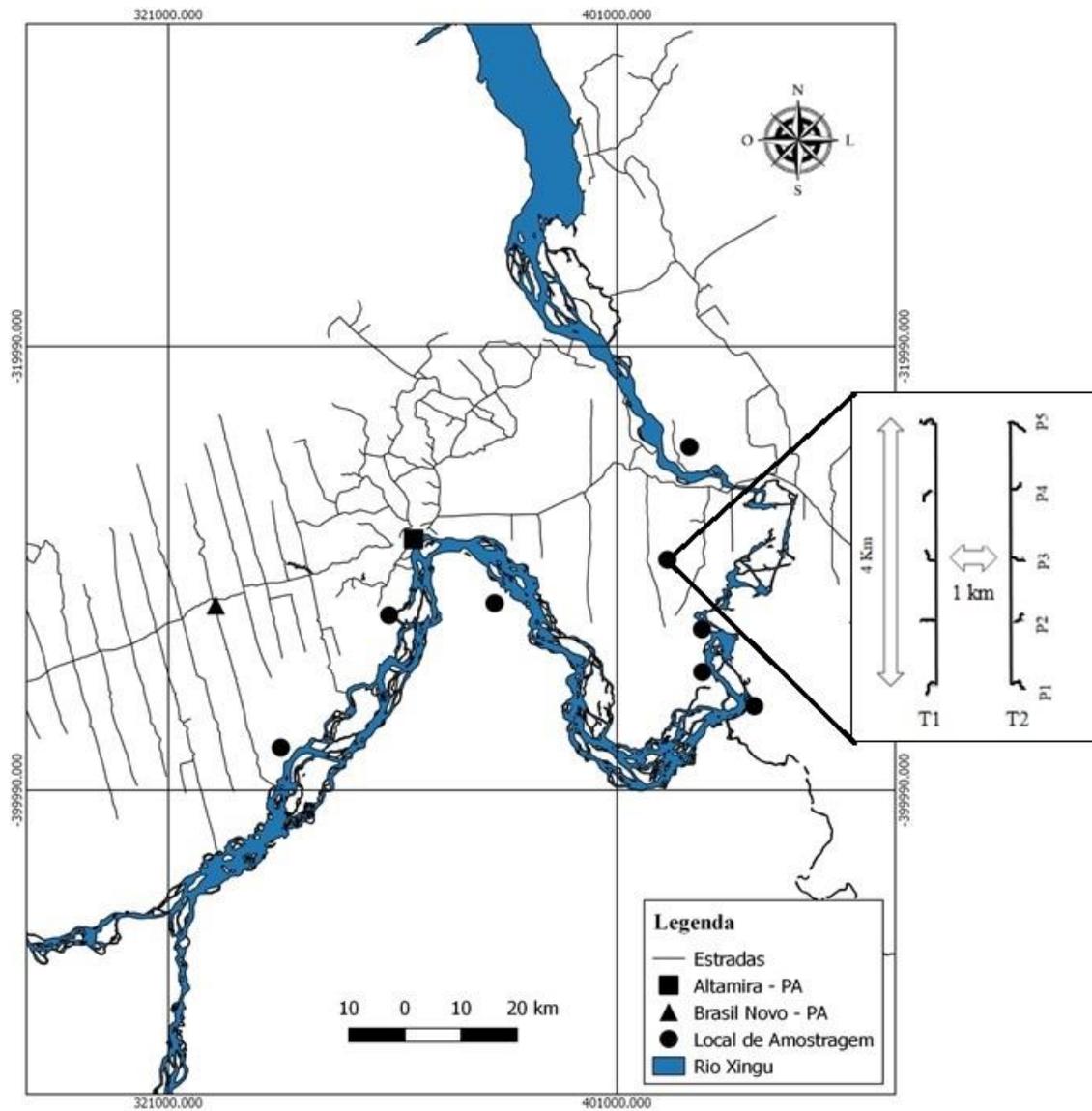


Figura 1. Localização dos módulos de amostragem. Cada módulo possui duas trilhas paralelas (T1-T2) de 4 km, distantes 1 km entre si. Cada uma dessas trilhas possui cinco parcelas (P1-P5) de 250 metros, acompanhando a curva de nível.

Coletas

Os insetos foram coletados com armadilhas confeccionadas com garrafas PET transparentes de 2 litros. Para os Drosophilidae foi utilizado o modelo proposto por (Medeiros & Klaczko 1999), enquanto para as Euglossini foi adotado um modelo que tem sido utilizado em estudos anteriores (Ramalho 2006, Aguiar & Gaglianone 2008), que está dentro das especificações mais utilizadas em armadilhas para estes insetos no Brasil (Faria, Sydney & Gonçalves 2015). As armadilhas para Drosophilidae receberam entre 100-150 ml de iscas produzidas com bananas maduras e sem casca, misturadas com 1% de fermento biológico seco (*Saccharomyces cerevisiae*), fermentadas em temperatura ambiente por 36 horas. As armadilhas para Euglossini receberam 2 ml de uma das seguintes essências: Cineol, salicilato de metila e vanilina, sendo que cada parcela recebeu uma armadilha com cada essência. A ordem da distribuição das essências foi alternada de forma sistemática entre as parcelas.

Identificação e preservação das amostras

Os drosofilídeos foram preservados em álcool 90%. A identificação foi realizada através da análise da genitália masculina, único método confiável para separação da maioria das espécies deste grupo (Vilela 1992), o que levou à restrição neste estudo da utilização somente dos machos. Para os casos em que não foi possível associar os animais coletados a nenhuma espécie descrita, foi definida uma morfoespécie, que recebeu um código e foi registrada em fotografias. Uma vez que a definição de morfoespécies foi baseada nos mesmos critério usado para identificar as espécies já descritas, é provável que as morfoespécies correspondam a espécies não descritas (Medeiros & Klaczko 2004). As abelhas Euglossini foram montadas em alfinete entomológico. Além do direcionamento do método de amostragem com essências, que captura quase exclusivamente machos (Vogel 1966, Dodson *et al.* 1969, Nascimento 2016), também para este grupo existe a necessidade da análise de estruturas

exclusivamente masculinas, para a identificação até o nível de espécie, o que levou ao uso exclusivo dos dados dos machos, sendo identificados até o nível de espécie pela equipe do Professor Dr. Márcio Luiz Oliveria no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Todos os espécimes de Drosophilidae e Euglossini coletados foram depositados em coleções científicas, incluindo o Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e Museu Paraense Emílio Goeldi.

Análise de dados

A existência de associações dos insetos com as variáveis ambientais foi investigada através de análises de redundância (RDA), realizadas com o uso do pacote estatístico *vegan* (Oksanen *et al.* 2017), no programa R 3.3.0 (R development Core Team 2016). Em cada análise, foram excluídas as espécies com abundância menor do que 20 indivíduos. Foi calculada a média dos números de indivíduos obtidos em cada parcela, em todas as campanhas, por espécie e estação climática. Assim, foram obtidas duas médias para cada espécie por parcela. Em seguida, foi obtida uma única média para cada espécie em cada parcela a partir da média destas duas médias. Sobre estes valores foi aplicada a transformação de Hellinger (raiz quadrada da divisão da abundância de cada táxon pela abundância total da amostra: Legendre & Legendre 2012) com a função *deconstand* do pacote *vegan* (Oksanen *et al.* 2017). Esta transformação é indicada para análises de ordenação em comunidades biológicas, a fim de diminuir as diferenças dos pesos entre espécies, reduzindo o efeito de arco, comum neste tipo de análise. Nesta análise, foram utilizadas variáveis ambientais obtidas no banco de dados do PLMIT (Tabela 1), as quais foram selecionadas considerando as possibilidades de interpretação dos padrões, assim como as correlações entre as variáveis. Anteriormente às análises, as

variáveis ambientais foram transformadas, com padronização de médias e variâncias, conforme recomendado para o uso de medidas obtidas com diferentes métricas escalares.

Tabela 1 – Descrição das variáveis ambientais utilizadas na análise de redundância.

Categorias das Variáveis	Código	Descrição
Vegetação – Parcela Dados das árvores ≥ 10 cm de diâmetro à altura do peito (DAP)	SPS.ARBÓREAS	Número de espécies.
	DAP	Somatório do diâmetro à altura do peito de todos os indivíduos medidos
Vegetação – entorno Vegetação da área num raio de 500 m no entorno da parcela	ALAGADA	% de área alagada
	FLORESTA	% de floresta
	PASTAGEM	% de pastagens
	PASTOSUJO	% de pasto sujo
Solo Variáveis químicas e físicas do solo até 30 cm de profundidade, por parcela.	FOSFATO	Concentração no solo
	PH	PH do solo
	AREIA	% das amostras
	SILTE	% das amostras
	ARGILA	% das amostras
Topografia e drenagem	ALTITUDE	Altitude da trilha da parcela
	DECLIVIDADE	Média da declividade dos dois lados da parcela, medida em cinco pontos equidistantes
	DIST. XINGU	Distância linear do Rio Xingu
	DIST. IGARAPES	Distância linear da drenagem mais próxima
	PROF. POÇO	Profundidade do lençol freático em junho de 2013. Foi escolhida esta data por ter maior número de pontos amostrados. Parcelas alagadas foram consideradas como 0
	DIST. LENÇOL	Distância vertical em relação à drenagem mais próxima. Parcelas alagadas foram consideradas como 0.

Para a obtenção de dados sobre o principal eixo de variação nos dois táxons, sem a influência das medidas de variáveis ambientais, foram realizadas análises de componentes principais (PCA), com matrizes de variância e covariância, empregando as mesmas matrizes utilizadas nas análises de RDA (incluindo a transformação de Hellinger). A associação entre os valores atribuídos a cada parcela, com base nos

resultados dos dois grupos de insetos, foi testada por uma análise de correlação de Pearson entre os scores obtidos para o primeiro eixo de variação nas análises de PCA dos dois grupos, com teste de significância por permutação, utilizando o programa PAST (Hammer *et al.* 2001).

Com base na associação das variáveis ambientais com o primeiro eixo das análises de RDA, foram selecionadas variáveis que adequadamente descrevessem um gradiente ambiental relevante para ambos os grupos de insetos. Em seguida, foram analisadas as relações do primeiro eixo de variação obtido para cada táxon com estas variáveis, por meio de análises de regressão múltipla, utilizando o programa PAST (Hammer *et al.* 2001).

Resultados

Ao longo das 12 campanhas realizadas, foram coletados 44.609 machos de Drosophilidae, distribuídos em seis gêneros e 105 espécies/morfoespécies e 30.957 Euglossini, distribuídos em cinco gêneros e 73 espécies (incluindo uma morfoespécie).

Os eixos da RDA explicaram 46,1%, sendo que o primeiro eixo explicou 30,1% e o segundo 4,7 % da variação dos Drosophilidae e 47% da variação dos Euglossini, sendo que o primeiro eixo explicou 21,7% e o segundo 7,2%. Como pode ser avaliado na disposição das variáveis ambientais nos gráficos destas análises (Fig. 2-3), para ambos os grupos, os primeiros eixos representaram o nível de antropização das parcelas (Espécies Florestais, Floresta e DAP associaram-se em um sentido no eixo e Pastagem e Pasto Sujo no lado oposto) estabelecendo um eixo de gradiente de antropização entre floresta e pastagem.

No caso das Drosophilidae, as espécies associadas ao maior nível de perturbação (menores scores no primeiro eixo da RDA) foram as espécies exóticas *Zaprionus indianus*, *Scaptodrosophila latifasciaeformis* e *Drosophila malerkotliana* e a espécie nativa *D. nebulosa*. Por outro lado, as espécies nativas *D. paulistorum*, *D. willistoni*, *D. suturtevantii*, *D. equinoxialis*, *D. subsaltans* e *D. prosaltans* estiveram associadas aos menores níveis de perturbação (maiores scores no primeiro eixo da RDA).

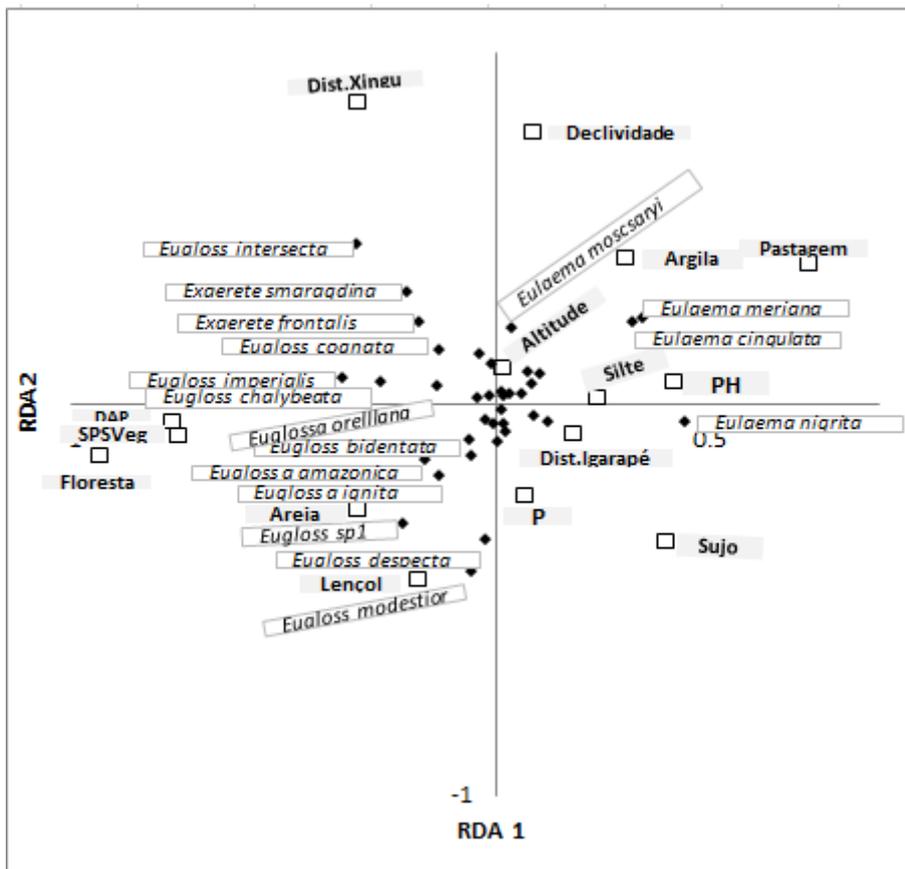


Figura 2. Ordenação da comunidade de Drosophilidae, descrevendo as associações entre as abundâncias das espécies e as variáveis ambientais em 69 parcelas distribuídas em oito fragmentos ao longo da Volta Grande do Xingu.

Euglossini

O primeiro eixo da RDA separou espécies indicadoras de áreas degradadas (pastagem, pasto sujo), em um sentido e indicadores de áreas prístinas no sentido oposto (DAP, Espécies Vegetais e Floresta). O PH do solo também esteve associado neste eixo (Fig. 2). Seis espécies pertencentes do subgênero *Glossura* (gênero *Euglossa*) (*Eug. allosticta*, *Eug. chalybeata*, *Eug. ingnita*, *Eug. imperialis*, *Eug. orellana* e *Eug. piliventris*), assim como as espécies pertencentes aos gêneros *Euglossa* (*Eug. cognata*, *Eug. bidentata*, *Eug. amazonica*, *Eug. despecta* e *Eug. sp1*) e *Exaerete* (*Exa. smaradigma*, *Exa. frontalis*) apresentaram padrões semelhantes entre si, estando associadas aos indicadores de florestas nativas. As espécies do gênero *Eulaema* (*Eul. cingulata*, *Eul. nigrita* e *Eul. meriana*) associaram-se às variáveis relacionadas à menor cobertura florestal.

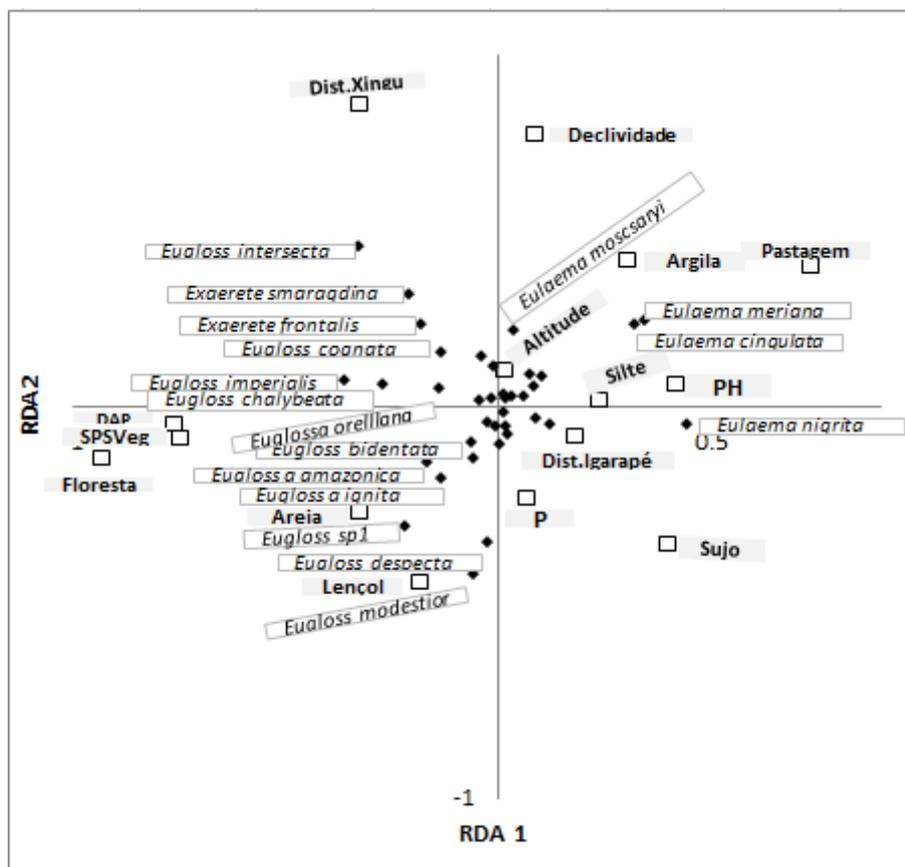


Figura 3. Ordenação da comunidade de Euglossini, descrevendo as associações entre as abundâncias das espécies e as variáveis ambientais em 69 parcelas distribuídas em oito fragmentos ao longo da Volta Grande do Xingu.

Os primeiros eixos das análises de PCA explicaram 47,0% e 26,7% das variações dos dados de Drosophilidae e Euglossini, respectivamente. Os scores atribuídos às parcelas nos primeiros eixos dos dois táxons estão fortemente correlacionados ($R^2=0,60$; $p=0,0001$), indicando que a principal fonte de variação das duas comunidades é a mesma.

Nas análises de regressão múltipla entre os scores dos primeiros eixos das ordenações e as variáveis ambientais descritoras da cobertura vegetal dentro e fora das parcelas, todos os efeitos foram significativos para os dois táxons (Tabela 1), assim como os sinais dos coeficientes de correlação são coincidentes. Esse resultado demonstra que a influência da cobertura vegetal dentro ou no entorno da parcela é a mesma sobre os dois grupos.

Tabela 1. Resultados das análises de regressão múltipla entre os primeiros eixos das análises de PCA dos dois grupos de insetos e as variáveis ambientais referentes à cobertura florestal.

Efeito		Drosophilidae		Euglossini	
		r	p	r	p
Geral		0,60	0,0000	0,71	0,0000
Dentro das parcelas de 20×250 m	Sps. Arbóreas	0,61	0,0000	0,69	0,0000
	DAP	0,60	0,0000	0,71	0,0000
Vizinhança de 500 m de distância das trilhas das parcelas	% Floresta	0,67	0,0000	0,85	0,0000
	% Pastagem	-0,48	0,0000	-0,65	0,0000
	% Pasto sujo	-0,37	0,0016	-0,39	0,0007

A porcentagem de pasto sujo na área de 500 m de raio no entorno da parcela foi a variável com menor efeito, mas a interpretação deste resultado deve levar em conta

o fato de que esta variável indica valores intermediários de antropização, o que está de acordo com seu posicionamento nos gráficos das RDAs (Fig. 2-3). Portanto seriam esperados valores intermediários para os primeiros eixos das ordenações em resposta aos maiores valores desta variável. Esta relação não é adequadamente tratada na análise de regressão múltipla, que tem como pressuposto relações lineares entre as variáveis. Assim, as análises dos resultados das três categorias de cobertura devem ser interpretadas em conjunto. Uma informação relevante resultante do posicionamento desta variável nas análises de RDA, assim como nas análises de regressão múltipla é que, para ambos os táxons, os resultados obtidos para a categoria “pasto sujo” parece mais com o pasto do que com a floresta.

Discussão

Nossos resultados demonstram que a antropização parece ser o principal fator determinante da estruturação das comunidades dos dois grupos de insetos analisados nesta paisagem. A cobertura florestal, em duas escalas espaciais de vizinhança (local e regional) parecem ser responsáveis pelos padrões observados. Este padrão está de acordo com o que vem sendo demonstrado na literatura, que a comunidade é influenciada pela estrutura e composição das árvores no habitat e principalmente pela sazonalidade climática e a variação espacial e temporal dos recursos alimentares (Roubik *et al.* 2004, Antonini *et al.* 2016, 2017).

Nossas análises não identificaram que a cobertura florestal tivesse maior influência em uma das escalas em relação à outra. A princípio, seria esperado que os Drosophilidae fossem mais influenciados pela vegetação medida em uma escala espacial menor (dentro da parcela), uma vez que estas pequenas moscas são bastante

sensíveis às condições microclimáticas, apresentam pequena capacidade de voo e foram amostrados com um método que assumidamente tenha um pequeno raio de atração (i.e. o raio de atração da isca usada é estimado entre 40 e 60 metros: Dobzhansky & Epling 1944; McInnis 1981). Uma possível explicação para este resultado pode estar relacionada com a escolha quanto a unidade amostral utilizada nas análises que, para ambos os grupos, foi a soma dos resultados de todas as armadilhas de uma parcela. A junção de armadilhas distando até 240 metros pode ter minimizado os efeitos de fontes de variação em escalas menores, resultando em uma medida da variação dos Drosophilidae semelhante à obtida para Euglossini. A ausência de diferença na resposta entre as duas escalas (cobertura vegetal dentro da parcela ou no entorno) no que diz respeito às Euglossini, pode ter ocorrido devido a capacidade de voo por longas distâncias do grupo (cerca de 23 km), como observado por Janzen, (1971). Sendo assim, nenhuma das escalas analisadas tem maior influência que a outra para a estruturação da comunidade.

No caso das Drosophilidae, as espécies associadas ao maior nível de perturbação (menores scores no primeiro eixo da RDA) foram as espécies exóticas *Zaprionus indianus*, *Scaptodrosophila latifasciaeformis* e *Drosophila malerkotliana* e a espécie nativa *D. nebulosa*. Por outro lado, as espécies nativas *D. paulistorum*, *D. willistoni*, *D. suturtevantii*, *D. equinoxialis*, *D. subsaltans* e *D. prosaltans* estiveram associadas aos menores níveis de perturbação (maiores scores no primeiro eixo da RDA). Estes resultados confirmam uma tendência repetidamente apontada na literatura, mas poucas vezes testada, de que espécies exóticas de drosofilídeos são associadas aos ambientes perturbados (menor cobertura florestal), assim como as espécies do complexo willistoni estão associadas aos ambientes mais prístinos (maior cobertura florestal). O aumento da abundância de *D. nebulosa* em áreas com menor cobertura florestal, por outro lado,

representa a substituição das espécies de floresta por espécies nativas associadas aos ambientes savânicos, uma vez que estes são os ecossistemas naturais onde esta espécie é mais abundante (Tidon-Sklorz & Sene 1999).

Entre as abelhas Euglossini, as espécies do gênero *Eulaema* (*E. nigrita*, *E. cingulata* e *E. meriana*) estão associadas com ambientes antropizados, enquanto as espécies dos gêneros *Euglossa* e *Exaerete* estão associadas aos ambientes de floresta preservada. Em geral, estas associações estão de acordo com padrões observadas em estudos anteriores (Zucchi *et al.* 1969, Peruquetti 1999, Tonhasca *et al.* 2002, Aguiar e Gaglianone 2008, Vittal *et al.* 2016). De qualquer forma, a maioria dos estudos anteriores que informaram tais padrões não utilizaram testes rigorosos, com base em replicação genuína e uma boa amostragem temporal.

O interflúvio Tapajós-Xingu tem sido frequentemente palco da instalação de grandes projetos em vários planos governamentais de desenvolvimento regional nesta região, incluindo a construção de hidrelétricas (e.g. Belo Monte, projeto de usina hidrelétrica no Tapajós), mineração (Belo Sun) e a contínua pavimentação de trechos da BR-230. Além disso, a diminuição e fragmentação da cobertura florestal da região têm sido provocadas por outras atividades antropogênicas ao longo de décadas, incluindo a atividade madeireira e o desmatamento para a agricultura cacaueira e pecuária (Andrade *et al.*, 2018). Assim, parece haver uma tendência de continuidade da antropização da paisagem nesta região com conseqüente substituição das comunidades de moscas e abelhas.

As associações encontradas entre as abundâncias de espécies de Drosophilidae e Euglossini com variáveis de perturbação ambiental dão suporte à utilização destes táxons como indicadores ambientais. Embora algumas espécies ou grupos sejam sensíveis à perturbação ambiental (i.e. sofrendo variações de abundância de acordo com

a cobertura florestal), análises mais detalhadas ainda são necessárias a fim de validar o potencial deste grupo como bioindicadores.

Drosophilidae e Euglossini apresentam diferenças relevantes em vários aspectos de sua biologia (e.g. ordens diferentes, tamanho, sensibilidade à variação climática, capacidade de voo, dieta), podendo ser considerados como grupos relativamente independentes entre os insetos alados. A concordância destes grupos como bioindicadores implica que o padrão identificado neste estudo tenda a se repetir em muitos dos grupos de insetos alados deste ecossistema.

Agradecimentos Nós agradecemos a todos os que, direta ou indiretamente, contribuíram para a produção deste manuscrito. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001. IM agradece à CAPES pela concessão da sua bolsa de pesquisa por meio do PPGBC.

Referências

- Andrade RP, Mourthe I, Saccardi V, Hernández-Ruz EJ (2018) Eastern extension of the geographic range of *Mico emiliae*. *Acta Amazônica* 48:260-263
- Aguiar WM, Gaglianone MC (2008) Comunidade de abelhas Euglossina (Hymenoptera: Apidae) em remanescentes de mata estacional semidecidual sobre tabuleiro no estado do Rio de Janeiro. *Neotropical Entomology*, v. 37, n. 2, p. 118-125
- Antonini Y, Silveira RA, Oliveira ML, Martins C, Oliveira R. (2016) Orchid bee fauna responds to habitat complexity on a savanna área (Cerrado) in Brazil. *Sociobiology*. 2016; 63: 819–82
- Antonini Y, Machado CB, Galetti PMJr, Oliveira M., Dirzo R., Fernandes GW (2017) Patterns of orchid bee species diversity and turnover among forested plateaus of central Amazonia. *PloS one*, 12(4), e0175884
- Baillie JE, Bennun LA, Brooks TM, Butchart SHM, Chanson JS, Cokeliss Z, Hilton TC, Hoffman M, Mace G, Mainka SA, Pollock CM, Rodrigues ASL, Stattersfield A.J, Stuart SN (2004) IUCN Red List of Threatened Species – a global species assessment. The IUCN Species Survival Commission, Cambridge, UK
- Bastos, TX, (1982) O clima da Amazônia Brasileira segundo Köppen (No. 87). Belém: EMBRAPA-CPATU

- Bastos, TX (1972) Estado atual dos conhecimentos das condições climáticas da Amazônia brasileira; [Estado actual de los conocimientos de las condiciones climáticas de la Amazonia Brasileira]. [Actual state of the knowing of climate of Brasileira Amazonia]. Boletim técnico, (54)
- Bizzo L, Gottschalk MS, Toni DCD, Hofmann PR (2010) Seasonal dynamics of a drosophilid (Diptera) assemblage and its potencial as bioindicator in open environments. Iheringia. Série Zoologia, 100(3), 185-191
- Burger J (2006) Bioindicators: a review of their use in the environmental literature 1970–2005. Environmental Bioindicators, 1(2), 136-144
- Coe MT, Costa MH, Soares-Filho BS (2009) The influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the Amazon River–Land surface processes and atmospheric feedbacks. Journal of Hydrology, 369(1-2), 165-174
- De Andréa MM, (2008) Bioindicadores ecotoxicológicos de agrotóxicos
- Dobzhansky T, Pavan C (1943) Studies on Brazilian species of *Drosophila*. Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, 36:1-72.
- Dobzhansky T, Epling C (1944) Contributions to the genetics, taxonomy, and ecology of *Drosophila pseudoobscura* and its relatives. Carnegie Inst. Wash. Pub.
- Dodson CH, Dressler RL, Hills GH, Adams RM, Williams NH (1969) Biologically active compounds in orchid fragrances. Science, 164 (1):1243-1249, Washington.
- Dos Santos franco V, De Souza EB, Pinheiro AN, Da Silva DTS, De Azevedo, FT, DO Carmo SJC, (2015) Evolução mensal da cota fluviométrica do Rio Xingu em Altamira-PA associada aos eventos El Niño e La Niña. Ciência e Natura, 37(1), 104-109
- Dutra S, De Marco P (2015) Bionomic differences in odonates and their influence on the efficiency of indicator species of environmental quality. Ecological Indicators, 49, 132-142
- Dressler RL, (1982) Biology of the orchid bee (Euglossini). Annual Review of Ecology and Systematics, 13:373-394
- Eltz T, Lunau K (2005) Antennal response to fragrance compounds in male orchid bees. Chemoecology, 15 (2):135-138, Berlin
- Fahrig L (2003) Effects of habitat fragmentation on biodiversity. Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics 34:487–515
- Faria LRR, Sydney NV, Gonçalves RB (2015) How Brazilian researchers have been sampling orchid bees. Ensaios sobre as abelhas da região Neotropical: homenagem aos, 80.
- Ferreira L, Tidon R (2005) Colonizing potential of Drosophilidae (Insecta, Diptera) in environments with different grades of urbanization. Biodiversity and Conservation 14:1809-1821
- Grandolfo VA, Junior, RCB, Melo C, Neto S, Neto JNM, Gonçalves BB. (2013) Riqueza e abundância de abelhas Euglossini (Hymenoptera, Apidae) em parques urbanos de Goiânia, Goiás. EntomoBrasilis, 6(2), 126-131
- Gerlach J, Samways M, Pryke J (2013) Terrestrial invertebrates as bioindicators: an overview of available taxonomic groups. Journal of insect conservation, 17(4), 831-850.
- Gomes DF (2017) Drosofilídeos (Insecta, Diptera) como indicadores de qualidade ambiental em um remanescente de Mata Atlântica em Santa Catarina. Trabalho de conclusão de curso Santa Catarina

- Higuchi MIG, Higuchi N (2004). *A floresta amazônica e suas múltiplas dimensões: uma proposta de educação ambiental*. INPA;[Brasília]: CNPq
- Healy C, Gotelli NJ, POTVIN C (2008) Partitioning the effects of biodiversity and environmental heterogeneity for productivity and mortality in a tropical tree plantation. *Journal of Ecology*, 96(5), 903-913
- Janzen DH. (1971) Euglossine bees as long-distance pollinators of tropical plants. *Science*. 171: 203-205.
- Keer JT, Packer L (1997) Habitat heterogeneity as a determinant of mammal species richness in high-energy regions. *Nature*, v. 385, p. 252-254
- Kuhn I, Klotz S (2005) Urbanization and homogenization – Comparing the floras of urban and rural areas in Germany. Elsevier Ltd *Biological Conservation*
- Laurance WF, Vasconcelos, HL (2009) Consequências ecológicas da fragmentação florestal na Amazônia
- Legendre P, Legendre LFJ (2012) *Numerical Ecology*. Amsterdam: Elsevier. 1006 p
- Leivas FWT, Carneiro E (2017) Utilizando os hexápodes (Arthropoda, Hexapoda) como bioindicadores na biologia da conservação: avanços e perspectivas. *Estudos de Biologia*, 34(83).
- Magnusson WE, Lima, AP, Luizão R, Luizão F, Costa FRC, Castilho CVE, KINUPP VF (2005) RAPELD: Uma modificação do método de Gentry para inventários de biodiversidade em sítios para pesquisa ecológica de longa duração. *Biota Neotropica.*, Vol. 5 (number 2) 6p
- McInnis, DO (1981). Estimation of the attractive radius for a *Drosophila* collection trap. *Drosophila Information Service* 56: 179-178.
- Markow TA, O’Grady PM (2006) *Drosophila: A guide to species identification and use* Academic Press. London.
- Mata RAD (2007) Diversidade das assembléias de Drosofilídeos (insecta, díptera) do Cerrado, Cap 2. Tese de doutorado, Brasília 2007.
- Mata RDA, McGeoch, M, Tidon, R. (2008) Drosophilid assemblages as a bioindicator system of human disturbance in the Brazilian Savanna. *Biodiversity and Conservation*, 17(12), 2899
- Medeiros HF (2006) Relações entre características bionômicas e fisiológicas de espécies de *Drosophila* e a distribuição de suas abundâncias na natureza. Tese de doutorado. Universidade Estadual De Campinas, Campinas.
- Medeiros HF, KLACZKO LB (1999) A weakly biased *Drosophila* trap. *Drosophila Information Service*. 82: 100-102.
- Medeiros HF, KLACZKO LB, (2004) How many species of *Drosophila* (Diptera, Drosophilidae) remain to be described in the forests of São Paulo, Brazil? Species lists of three forest remnants. *Biota Neotropica*. 4:1-12.
- Marcon JL, Menin M, Araújo MGP, Hrbek T (2012) Biodiversidade Amazônica: caracterização, ecologia e conservação. Edua, Manaus, 2012, p.372
- Macarthur RH, Wilson EO (1967) *The Theory of Island Biogeography*. Princeton, N.J.: Princeton University Press
- Maia RD (2011) Associações entre variáveis microclimáticas e padrões de densidade e diversidade em uma comunidade de Drosophilidae na floresta Amazônica. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Pará, Altamira. 34 p.
- Martins TK (2011) Determinantes ecológicos do risco de extinção: Abundância local, amplitude de nicho, capacidade de dispersão e a resposta das espécies de pequenos mamíferos à fragmentação florestal no Planalto Atlântico Paulista. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo. 69 p.

- McKinney ML (2006) Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological conservation*, 127(3), 247-260
- Moure JS (1997) A Check-list of the known euglossine bees (Hymenoptera, Apidae). *Atas do Simposio sobre a Biota Amazônica 5, (Zoologia):395-415*
- Museu paraense Emílio Goeldi (2002) Diagnóstico da vegetação e da flora da área de estudo da Usina Hidrelétrica de Belo Monte, estado do Pará. Belém: Convênio MCT-MPEG/ELETRONORTE. Relatório Técnico. 171 p
- Nascimento GS, Santos KPP, Fontenele WM, Barros RFM, Sousa DC, Rodrigo ALI MA, SILVA PRR (2016) Atração de Machos de Abelhas da Tribo Euglossini (Hymenoptera, Apoidea) por compostos aromáticos sintéticos no Parque Nacional de sete cidades, Piauí, Brasil. *Espacios* | vol. 37 N° 05
- Nemésio A, Silveira FA (2007) Orchid Bee Fauna (Hymenoptera:Apidae:Euglossina) of Atlantic Forest Fragments inside the Urban Area in Southeastern Brazil. *Neotropical Entomology*, 36(2):186-191
- Norte Energia (2011) Plano de conservação dos ecossistemas terrestres 12.3.5 – projeto de levantamento e monitoramento de invertebrados terrestres. Disponível: <http://www2.defensoria.pa.gov.br/portal/anexos/File/BeloMonte/PBA/Volume%20V%20-%20Item%2012/VOL%20V%20-%2012%20.pdf>. Acesso em 19/06/2014.
- Norte Energia (2012) SUMÁRIO – 12.3.5. projeto de levantamento e monitoramento de invertebrados terrestres..Disponível:<http://licenciamento.ibama.gov.br/Hidreletricas/BeloMonte/2%BA%20Relatorio%20Semestral%20Consolidado/CAP%CDTULO%202%20PLANOS,%20PROGRAMAS%20E%20PROJETOS/12/12.3/12.3.5/12.3.5%20-%20CAP%202%20-%20FINAL.pdf>. Acesso em 11/02 2013.
- Norte Energia (2013) SUMÁRIO – CAP 2. 12.2.3. -4° RC. Projeto de Levantamento e Monitoramento de Invertebrados Terrestres. Disponível em: <http://licenciamento.ibama.gov.br/Hidreletricas/BeloMonte/Relatorios%20Semestrais/4%C2%BARC%20FINAL%2030.08.2013%20%20PDF/CAP%202/12/12.2/12.2.3/CAP%202%20-%2012.2.3%20-%204%C2%BARC.pdf> Acesso em 29/06/2014
- Oliveira SCF, DÖGE PR, Hofmann (2006) Análise da funcionalidade de uma unidade de conservação de mata atlântica utilizando drosofilídeos como bioindicadores. In: Resumos do XXVI Congresso Brasileiro de Zoologia-Insecta.Londrina: Universidade Estadual de Londrina
- Oliveira BGDA (2015). Uso da terra e clima urbano e suas influências sobre a população de Euglossini na cidade de Parnaíba, PI, Brasil. Tese de doutorado
- Oksanen FJ. et al. vegan: Community Ecology Package. R package version 2.4-4. <http://cran.r-project.org/package=vegan>, 2017
- Oliveira-Junior JMB, Almeida SM, Rodrigues L, Silvério Júnior AJ, Anjos-Silva EJ (2015). Orchid bees (Apidae: Euglossini) in a forest fragment in the ecótono Cerrado-Amazonian forest, Brazil. *Acta biológica. Colombiana* 20 (3):67-78
- Oliveira MA, Gomes CFF, Pires EM, Marinho CG, Della Lucia TMC (2015) Bioindicadores ambientais: insetos como um instrumento desta avaliação. *Ceres*, 61(7)
- Parsons PA (1991) Biodiversity conservation under global climatic change: the insect *Drosophila* as biological indicator? *Global Ecology and Biogeography Letters* 1:77-83.
- Pearce JL, Venier LA (2006) The use of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) and spiders (Araneae) as bioindicators of sustainable forest management: a review. *Ecological indicators*, 6, 780-793

- Parson PA, Stanley SM (1981) Domesticated and widespread species. In: the genetics and Biology of drosophila (eds. M. Ashburner, H.L. Carson, Thompson J.N Academic Press, New York. Pp 349-393
- Pearsons PA (1991) Biodiversity conservation under global climatic change: The insect *Drosophila* as a biological indicator? *Global Ecology and Biogeography Letters*, Oxford, 1:77 - 83
- Pearson DL, Cassola F (1992) World-wide species richness patterns of tiger beetles (Coleoptera: Cincidelidae): indicator táxon for biodiversity and conservation studies. *Conservation Biology* 6:376-391
- Peruquetti RC, Campos LAO, Coelho CDP, Abrantes CVM, Lisboa LCO (1999) As abelhas Euglossini (Apidae) de áreas de Mata Atlântica: abundância, riqueza e aspectos biológicos. *Revista Brasileira de Zoologia*, 16(2):101-118
- Powell JR (1997) Progress and prospects in Evolutionary Biology: The *Drosophila* model. Oxford University Press, Oxford, 562p
- Ramalho AV, Gaglianone MC, Oliveira MLD (2009) Comunidades de abelhas Euglossina (Hymenoptera, Apidae) em fragmentos de Mata Atlântica no sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Entomologia*, 53(1), 95-101
- Ramirez S, Dressler RL, Ospina M (2002) Euglossine bees (Hymenoptera:Apidae) from the Neotropical Region: A species checklist with notes on their biology. *Biota Colombiana*,3(1):7-118.
- Rainio J, Niemelä J (2003) Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators. *Biodiversity and conservation*, 12(3), 487-506
- Rebêlo JMM, (2002). História natural das Euglossíneas. As abelhas das orquídeas. Lithograf editora, São Luís, 152p
- Rebêlo JMM, Cabral, AJM (1997) As abelhas Euglossinae de Barreirinhas, zona do litoral oriental Maranhenses..*Acta Amazônica*.27(2):145-152
- Roubik DW, Hanson PE (2004) Orchid bees from tropical America.- Biology and field guide. INBio Press, Santo Domingo de Heredia, 352p
- R Development Core Team (2016) R: A language and environment for statistical computing. Version 3.3.0. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria
- Ribeiro, MC, Metzger JP, Martensen, AC, Ponzoni FJ, Hirota, MM (2009) The Brazilian Atlantic forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological conservation*, 142(6), 1141-1153
- Salomão RDP, Vieira ICG, Suemitsu C, Rosa NDA, Almeida SSD, Amaral DDD, Menezes MPMD (2007) The forests of Belo Monte on the great curve of the Xingu River, Eastern Amazon. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais*, 2(3), 55-153
- Santa-Brígida R, Schmitz HJ, Martins MB (2017) Drosophilidae (Insecta, Diptera) in the state of Pará (Brazil). *Biota Neotropica*, 17(1)
- Santos END (2014) Contribuição da avifauna como indicador da integridade ambiental na Estação Experimental de Holambra-SP (Doctoral dissertation)
- Saavedra CCR, Callegari- Jacques SM, Napp M, Valente VLS (1995) A descriptive and analytical study of four neotropical drosophilid communities. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 33(3- 4), 62-74
- Sahlem G, Ekestubbe K (2001) Identification of dragonflies (Odonata) as indicators of species richness in boreal forest lakes. *Biodiversity and conservation* 10:673-60
- Silva EFD, Ribeiro LJDJ, Lazaroto AC (2017) Drosophilídeos como bioindicadores da qualidade ambiental na cidade de Ariquemes-RO

- Singer RB, Sazima M (2004) Abelhas Euglossini como polinizadoras de orquídeas na região de Picinguaba, São Paulo, pp. 175-187. In: Barros, F.; Kerbauy, G. (eds). *Orquidologia Sul-Americana: Uma compilação Científica*. Secretaria do Meio Ambiente, Instituto de Botânica, São Paulo, SMA
- Silva Giehl, N. F., Valadão, M. B. X., Brasil, L. S., dos Santos, J. O., Almeida, S. M., Lenza, E., & dos Anjos-Silva, E. J. (2013). O Efeito do fogo sobre a comunidade de abelhas Euglossini (Hymenoptera: Apidae) em floresta de transição Cerrado-Amazônia (Mato Grosso, Brasil). *EntomoBrasilis*, 6(3), 178-183.
- Sofia SH, Santos AMD, Silva, CR (2004). Euglossine bees (Hymenoptera, Apidae) in a remnant of Atlantic Forest in Paraná state, Brazil. *Iheringia. Série Zoologia*, 94(2), 217-222
- Shorrocks B (1975) The distribution and abundance of woodland species of British *Drosophila* (Diptera: Drosophilidae). *Journal of Animal Ecology* 44: 851-864
- Tanabe S (2002) Between-forest variation in vertical stratification of drosophilid populations. *Ecological Entomology* 27: 720-731
- Tidon R, Gottschalk SM, Martins MB, Schimtz HJ (2015) CTFB: Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil. Eletronic Database accessible at <http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/listaBrasil/ConsultaPublicaUC/ConsultaPublicaUC> (last access in 3 December 2015)
- Tidon-Sklorz R, Sene FM (1992) Vertical and temporal distribution of *Drosophila* (Diptera, Drosophilidae) species in a wooded area in the state of São Paulo, Brazil. *Revista Brasileira de Biologia*, 52(2), 331-317
- Tidon-Sklorz R, Sene FM (1999) *Drosophila*. Pp. 246-261. In: Brandão, C. R. F. & Cancellato, E. M. (Eds.) *Biodiversidade do Estado de São Paulo: I Síntese do conhecimento ao final do século XX*. Vol. 5. Capítulo 23. *Invertebrados terrestres*. FAPESP. São Paulo.
- Toda MJ (1992) Three-dimensional dispersion of *Drosophilid* flies in a cool temperate forest of northern Japan. *Ecological Research*. 7: 283-295.
- Tonhasca JrA, Blackmer JL, Albuquerque GS (2002) Within-habitat heterogeneity of euglossine bee populations: a re-evaluation of the evidence. *Journal of Tropical Ecology*, 18(6), 929-933
- Tonhasca JrA, Blackmer JL, Albuquerque GS (2002) Abundance and diversity of euglossine bees in the fragmented landscape of the Brazilian Atlantic Forest. *Biotropica*, 34(3), 416-422
- Townsend CR, Begon M, Harper JL *Fundamentos em ecologia*. Artmed Editora, 2009.
- Vital SL, Souza-Leão MVP, Campelo PH, Previero CA (2016) Levantamento de abelhas Euglossini (Hymenoptera: Apidae) como possíveis bioindicadoras da qualidade ambiental no reassentamento rural Mariana, Palmas, Tocantins. In: *jornada de iniciação científica, XVI, 2016*. Anais. Palmas: CEULP/ULBRA. (ResearchGate)
- Vieira ICG, Almeida SSD, Salomão, RDP, Menezes MPMD, Amaral DDD, Suemitsu C, Rosa NDA (2007) As florestas de Belo Monte na grande curva do rio Xingu, Amazônia Oriental.
- Vitt LJ, Caldwell JP, Wilbur HM, Smith DC (1990) Amphibians as harbingers of decay. *BioScience*, 40(6), 418-418
- Vogel S (1966) Parfümsammelnde bienen als bestäuber von orchidaceen und Gloxina *Österreichische Botanische Zeitschrift*, 113 (3):302-361
- Oliveira MA, Gomes CFF, Pires EM, Marinho CGS, Della Lucia TMC (2015) Bioindicadores ambientais: insetos como um instrumento desta avaliação. *Ceres*, 61(7)

- Wade TD, Riitters KH, Wickham JD, Jones KB (2003) Distribution and causes of global forest fragmentation. *Conservation Ecology*, 7, (2) Art. 7
- Van Klinken RD, Walter GH, (2001) Subtropical drosophilids in Australia can be characterized by adult distribution across vegetation type and by height above forest floor. *Journal of Tropical Ecology*. 17: 705–718.
- Vilela CR (1992) On the *Drosophila tripunctata* species group (Diptera, Drosophilidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 36:197-221
- Vilela CR, Bachli G (1990) Taxonomic studies on Neotropical species of seven genera of Drosophilidae (Diptera). *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft*, 63:1-332
- Zaina P (2016). Diversidade de scarabaeidae (coleoptera) necrófaga e copronecrófaga como bioindicadores de impactos ambientais de áreas de cerrado e pantanal com diferentes graus de conservação nos estados de mato grosso do sul e mato grosso. Tese de mestrado, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande.
- Zucchi R, Sakagami SF, De Camargo JM (1969) Biological Observations on a Neotropical Parasocial Bee, *Eulaema nigrita*, with a review on the biology of euglossinae (Hymenoptera, Apidae): A Comparative Study. *Journal of the Faculty of Science Hokkaido University, Series VI: Zoology*, 17:271-380.

CAPITULO 2

**DROSOPHILIDAE (DIPTERA) E EUGLOSSINI (APIDAE,
HYMENOPTERA) COMO FERRAMENTAS DE MONITORAMENTO
AMBIENTAL**

Drosophilidae (Diptera) e Euglossini (Apidae, Hymenoptera) como ferramentas de monitoramento ambiental²

Antônio Wesley Barros Caçador^{a,b}, Hermes Fonseca de Medeiros^{a,*}, Ítalo Mourthé^{a,b}

^a Universidade Federal do Pará (UFPA), Faculdade de Ciências Biológicas, Laboratório de Ecologia, Rua Coronel José Porfírio, 2515, Esplanada do Xingu, 68.372-040,

Altamira, PA, Brazil

^b Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Conservação, UFPA

*Autor correspondente: hermesfm@gmail.com

RESUMO

As respostas dos bioindicadores (organismos que respondem às alterações ambientais através de variações na abundância, riqueza, diversidade, composição, fisiologia ou morfologia) podem ser usadas para caracterizar, monitorar e/ou avaliar a integridade do ambiente. Várias taxa podem ser considerados como bioindicadores, mas os invertebrados, com destaque para os insetos, são frequentemente sugeridos para ocupar esse papel, principalmente, devido à sua facilidade de coleta, abundância, ciclo de vida curto e alta sensibilidade às perturbações ambientais. Neste estudo, analisamos os padrões de variação da abundância de dois grupos de insetos em uma paisagem fragmentada originalmente ocupada por floresta ombrófila aberta amazônica a fim de investigar a aplicabilidade destes grupos como ferramentas para o monitoramento da qualidade ambiental de fragmentos florestais. O agrupamento de espécies exóticas sem *D. malerkotliana*, e as espécies *S. latifascaeiformis*, *Z. indianus* podem ser utilizados como indicadores de áreas degradadas, assim como o gênero *Eulaema*, o agrupamento de *Eul. nigrita* + *Eul. cingulata* e a espécie *Eul. nigrita*. Por outro lado, *Drosophila sturtevanti* (Drosophilidae) e *Euglossa imperilais* e as espécies do subgênero *Glossura*

² "Artigo editado conforme as instruções para autores da revista Ecological Indicators, acessado no seguinte link <https://www.elsevier.com/journals/ecological-indicators/1470-160X?generatepdf=true>.

(Euglossini) emergiram como indicadores de áreas preservadas de floresta. Estes dois grupos podem ser importantes ferramentas na conservação do bioma amazônico.

Palavras-chave: antropização; composição da comunidade; conservação; fragmentos florestais.

1. Introdução

As florestas tropicais são os ecossistemas mais biodiversos do planeta (Marcon et al. 2012). A principal ameaça à conservação biótica destas florestas é a perda de habitat (Fahrig, 2003; Domingues e Bermann, 2012), que ocorre, principalmente, devido à remoção da cobertura florestal para os mais variados fins (e.g. agricultura, expansão urbana, rodovias, usinas hidroelétricas, exploração minerária, atividade madeireira). Como resultado do processo de remoção da cobertura florestal, as taxas de extinções têm aumentado de forma alarmante (Baillie et al., 2004; Martins, 2011; Domingues e Bermann, 2012; Haddad *et al.* 2015; Inpe, 2017).

O direcionamento de ações voltadas para a conservação de florestas depende da avaliação das áreas remanescentes quanto aos padrões de diversidade e dos efeitos da ação antrópica. Para isto, é necessário o desenvolvimento de metodologias eficientes para a obtenção de informações da integridade ambiental de remanescentes florestais. Dadas as dificuldades logísticas para o estudo e monitoramento de todas as espécies de um dado ecossistema, torna-se necessário escolher alguns táxons a fim de obter inferências válidas sobre a integridade do ambiente. Estes táxons são denominados bioindicadores ambientais (Vitt et al., 1990; Andreani et al., 2003, Burger, 2006, De Andréa, 2008; Santos 2014; Leivas, 2017).

Bioindicadores ambientais são espécies, grupos ou qualquer taxa cuja presença, ausência, abundância ou diversidade, reflita a integridade do ambiente (Moffatt e

Mclachlam, 2004; Mendoza e Prabhu Wink, 2004; Arias et al., 2007; Zaina, 2016). Os invertebrados apresentam características favoráveis para o biomonitoramento e caracterização dos efeitos da antropização, devido à sua facilidade de coleta, ciclo de vida curto, abundância alta e respostas rápidas às modificações no ambiente (Rainio, 2003; Wink et al., 2005; Pearce 2006; Dutra e De Marco, 2015; Oliveira et al., 2015; Zaina 2016). Apesar da ampla utilização destes organismos no monitoramento de ecossistemas aquáticos (Hare, 1992; Dallinger, 1994; Nachev, 2016; AbdAllah, 2017), estes ainda são pouco utilizados para avaliar os impactos em ambientes terrestres, concentrando-se principalmente no uso de alguns grupos de vertebrados (Regalado, 1997; Welsh e Ollivier, 1998; O'Connell et al. 2000; Leis et al., 2008; Mazzoti et al., 2009). Considerando o potencial dos invertebrados, assim como argumentos favoráveis à uma maior abrangência taxonômica e funcional na seleção de bioindicadores (Gerlach et al., 2013), torna-se necessário um investimento na avaliação da aplicabilidade de grupos de invertebrados como indicadores.

Vários grupos de invertebrados têm sido utilizados como indicadores, mas os insetos merecem destaque por representarem o grupo mais diverso e participarem de questões chave do ambiente (e.g. decomposição da matéria orgânica, polinização de plantas, produção de mel e seda, fonte de alimentação de outros taxa) (Thomazini e Thomazini, 2000; Wink et al., 2005; Oliveira, 2014; Zaina, 2016). Dentre os indicadores ambientais terrestres já identificados entre os invertebrados, destacam-se as borboletas (Andrade e Teixeira, 2017), formigas (Da Veiga et al., 2016), aranhas (Klimes, 1987; Jorge 2015), besouros, (Comar et al., 2016; Nishiwaki et al., 2017) moscas (Orlandin et al., 2015; Gomes, 2017) e cigarras (Hollier et al., 2005).

Um aspecto fundamental a ser avaliado na proposição de um método a ser utilizado na comparação de ambientes é a possibilidade de obtenção de inferências

suficientemente precisas e acuradas, com esforço amostral viável. Dale e Beyler (2001) apontam a existência de um custo-benefício na resposta de um bioindicador às variações ambientais, sendo que os grupos mais sensíveis às variações ambientais também tendem a ser mais variáveis, em resposta a outras fontes de variação que fogem ao interesse da avaliação de impacto ambiental (e.g. variações climáticas). Esta variação pode dificultar a obtenção de inferências suficientemente robustas. Neste estudo investigamos o uso de dois grupos de insetos alados, moscas de Drosophilidae (Diptera) e abelhas Euglossini (Apidae, Hymenoptera), como bioindicadores.

Drosophilidae é composta por mais de 4.200 espécies descritas (Bächli, 2015). O papel das moscas Drosophilidae na bioindicação vem sendo comumente investigado, principalmente, para caracterizar e monitorar o nível de antropização em florestas tropicais (Parsons, 1991, 1995; Saavedra et al., 1995; Ferreira e Tidon, 2005; Mata, 2008; Bizzo et al., 2010). A escolha desta família se justifica devido ao alto nível de conhecimento taxonômico do grupo, facilidade de coleta, ampla distribuição geográfica (cosmopolitas), presença e abundância em diversos ecossistemas, ciclo de vida curto e alta sensibilidade às alterações ambientais. Embora algumas espécies desta família sejam reconhecidamente associadas aos ambientes antropizados (Martins, 1989; Mata, 2007, 2008; Gottschalk, et al., 2007; Rohde et al., 2010) ou preservados (Mata, 2008), são escassos os estudos que avaliem a aplicabilidade destes organismos como bioindicadores ambientais (Mata, 2008), particularmente no bioma amazônico.

As abelhas Euglossini ocorrem exclusivamente na região neotropical, do norte da Argentina ao sul dos Estados Unidos, com diversidade e abundância maior em florestas tropicais (Moure, 1967; Dressler, 1982; Michener, 2000; Rebêlo, 2001, Nemésio, 2007). O papel dessas abelhas como indicadoras do estado de conservação de ambientes florestais tem sido frequentemente sugerido (Rebêlo e Cabral, 1997;

Peruquetti et al., 1999; Tonhasca et al., 2002; Aguiar e Gaglianone, 2008; Vittal et al., 2016). Algumas espécies podem ser associadas às florestas preservadas (Peruquetti et al., 1999; Giangareli et al., 2009), enquanto outras estão associadas aos ambientes antropizados (Tonhasca et al., 2002; Gaglianone, 2008). No entanto, também são escassos os trabalhos que validem seu potencial indicador, principalmente, em estudos de longo prazo em diferentes ambientes.

Assim, neste estudo, são analisadas as relações entre espécies destes dois grupos de insetos com o nível de antropização em fragmentos de floresta ombrófila aberta, com base em uma amostragem abrangente no tempo e no espaço em uma paisagem antropizada da Amazônia. Os padrões de abundância são analisados, com o intuito de avaliação e validação do papel destes organismos como bioindicadores, com base em critérios de sensibilidade, consistência e robustez i) quanto a acurácia na identificação de um padrão de antropização e ii) quanto a precisão na caracterização de uma área.

2. Material e métodos

2.1. Obtenção dos dados

Foram utilizados dados do monitoramento dos impactos da Usina Hidrelétrica de Belo Monte (UHE Belo Monte), construída na região da Volta Grande no Rio Xingu, no estado do Pará (Fig. 1). O clima da região é equatorial úmido, com sazonalidade marcada e período chuvoso concentrado entre dezembro e maio, com média anual de pluviosidade de 1.844 mm e 26,2°C. (Dos Santos *et al.* 2015). A cobertura vegetal original da área de estudo consistia em florestas ombrófila (Salomão, 2007; Vieira, 2007), assim como áreas de floresta de várzea, às margens do rio, tendo sido convertida em um mosaico de fragmentos florestais em diferentes níveis de degradação, plantações e pastagens (MPEG, 2002; Vieira *et al.* 2007).

O desenho amostral está baseado em oito módulos RAPELD (Magnusson *et al.*, 2005). Cada módulo é composto por duas trilhas paralelas com 4 km de extensão, afastadas 1 km entre si (Fig. 1). Em cada trilha foram estabelecidas cinco parcelas de 20×250 m, distantes 250 m entre si, acompanhando a curva de nível. Embora os módulos de amostragem tenham sido dispostos sobre fragmentos de floresta, as parcelas abrangem uma grande heterogeneidade ambiental, incluindo desde áreas de pastagem até trechos de floresta primária de terra firme e várzea (Norte Energia, 2011, 2012). Cada parcela recebeu três armadilhas para Euglossini e quatro para Drosophilidae. As armadilhas ficaram em campo por dois dias consecutivos, com troca diária das iscas e coleta dos indivíduos. Para Drosophilidae foram usadas aproximadamente 100-150 ml de isca de banana fermentada por armadilha (capítulo 1). Nas armadilhas de Euglossini foram usados 2 ml de essência (cineol, salicilato de metila ou vanilina). Estas essências foram usadas de forma alternada em cada parcela. A ordem de distribuição das essências entre as parcelas foi alternada de forma sistemática (capítulo 1).

Por uma questão logística, apenas os machos coletados foram identificados ao nível de espécie em ambos os grupos. Os machos não identificados de Drosophilidae foram provisoriamente determinados como morfoespécies. No caso das Euglossini, apenas uma morfoespécie, que corresponde a uma espécie em processo de descrição, foi utilizada nas análises. Todos os espécimes coletados foram depositados no Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo, no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e Museu Paraense Emílio Goeldi.

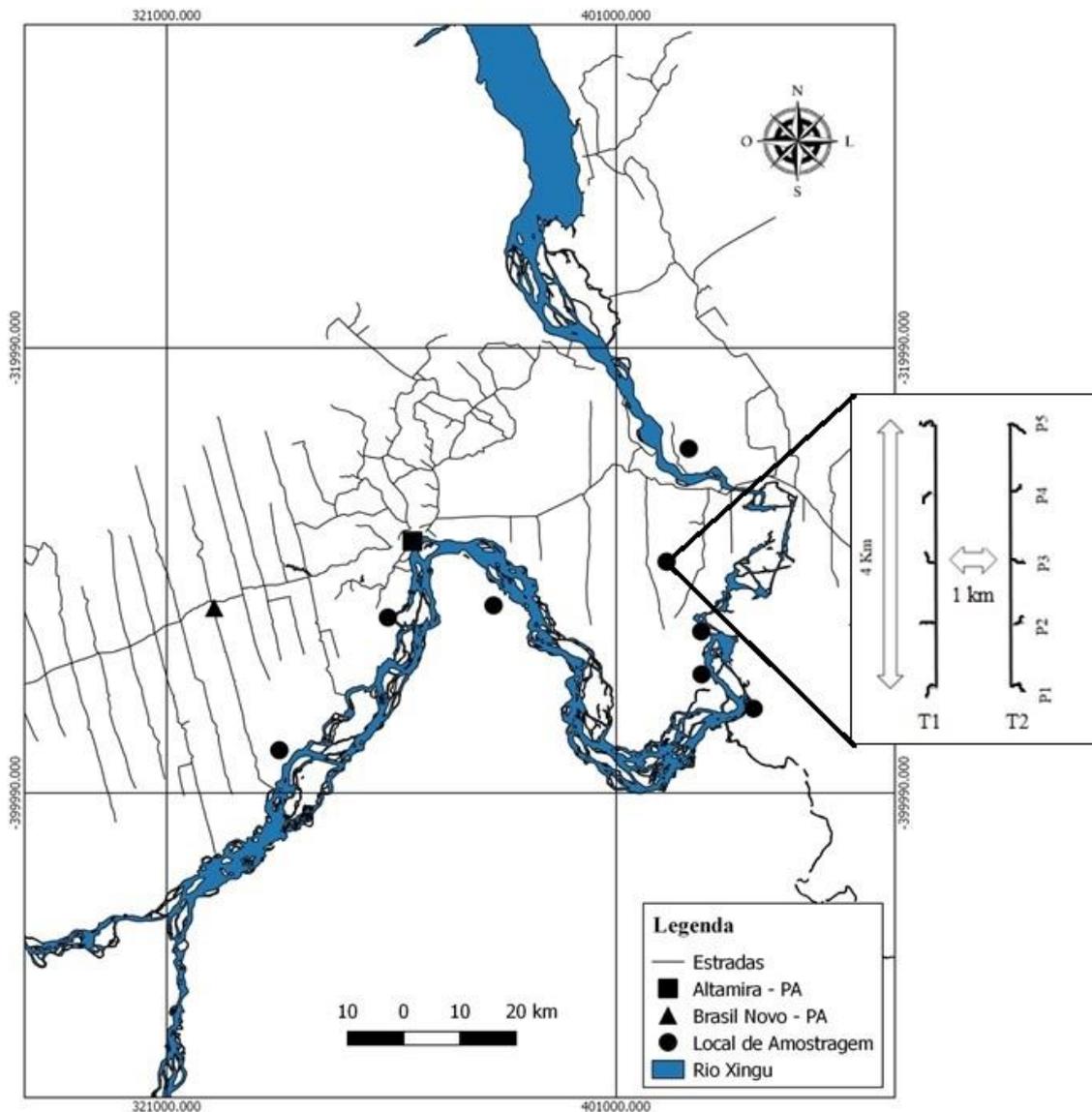


Fig. 1. Localização e representação esquemática dos módulos de amostragem.

2.2. Análise de dados

A escolha e avaliação dos bioindicadores foram realizadas em cinco etapas, cada uma delas consistindo em filtros para escolha dos melhores bioindicadores ambientais.

2.2.1. Análise de sensibilidade (etapa 1)

A primeira etapa de seleção dos táxons a serem avaliados como bioindicadores se baseou em análises de redundância (RDA) realizadas em um estudo anterior (capítulo 1). Neste estudo, o primeiro eixo das ordenações entre as abundâncias das espécies de

ambos os grupos com variáveis ambientais revelou a correlação entre algumas espécies e os níveis de antropização em cada parcela. Desta forma, essas associações foram tomadas como medidas do nível da resposta das espécies à antropização.

A associação de cada espécie com o primeiro eixo das RDAs foi avaliada através do coeficiente de correlação de Pearson entre os scores atribuídos às parcelas e as abundâncias de cada espécie. Ao contrário dos scores atribuídos às espécies pelas RDAs, os coeficientes de correlação acima descritos não são dependentes da magnitude da variância de cada espécie, permitindo a identificação de espécies pouco abundantes que possam ser boas bioindicadoras. Nesta análise, as abundâncias das espécies foram representadas pela transformação de Hellinger (Legendre e Legendre, 2012) da abundância média em cada parcela, assim como foi realizado nas RDAs do capítulo 1. Com base nestas correlações foi possível identificar espécies, ou conjuntos de espécies, que são mais abundantes em parcelas mais preservadas ou que apresentam o padrão oposto, sendo possíveis indicadores do nível de degradação das mesmas.

2.2.2. Avaliação de consistência (etapa 2)

Assumindo que o nível de degradação das parcelas deve ter permanecido o mesmo (ou similar) durante os seis anos de estudo, um bom indicador que esteja respondendo ao nível de degradação deve repetir, em um dado ano, o mesmo padrão na variação entre parcelas apresentado nos demais anos de amostragem. Esta repetitividade entre anos foi considerada neste estudo como uma medida da consistência dos bioindicadores. Nestas análises cada parcela foi representada pela média das abundâncias dos táxons nas duas campanhas de um mesmo ano (estação seca e chuvosa).

A repetição do padrão na variação entre parcelas foi medida por análises de correlação (Pearson) entre os resultados obtidos para cada parcela em anos diferentes,

com testes de permutação, utilizando o programa PAST (Hammer *et al.*, 2001). Estes testes foram repetidos entre todas as 10 combinações de pares de anos de amostragem (excluído o ano de 2012 por ter sido uma amostragem incompleta). Foram tomadas como medidas de consistência tanto as médias dos coeficientes de correlação obtidos, quanto à proporção dos testes que foram significativos. Foi estabelecido como limite para aprovação de bioindicadores, ter alcançado uma média de 0.15 nos 10 coeficientes de correlação, assim como ter obtido resultados significativos em, pelo menos 50% dos testes.

A partir desta etapa, avaliou-se não apenas as espécies isoladamente, mas também a abundância conjunta de alguns táxons supraespecíficos, ou agrupamentos de espécies com base em critérios ecológicos, para os quais havia indicação de respostas consistentes na literatura e/ou para os quais foi observada resposta consistente entre as espécies de um determinado agrupamento. Foram agrupadas *S. latifascaeiformis*, *Z. Indianus*, *D. simulans*, *D. melanogaster* e *D. malerkotliana* em um agrupamento denominado de exóticas. Optou-se também por testar o agrupamento de exóticas sem a espécie *D. malerkotliana*. *Drosophila Willistoni*, *D. Paulistorum*, e *D. equinoxialis* foram avaliadas como complexo willistoni. *Drosophila malerkotliana*, *D. melanogaster* e *D. simulans* formaram o agrupamento melanogaster e *D. simulans* e *D. melanogaster* como agrupamento melanogaster que são os termos usuais dos agrupamentos. As abelhas Euglossini foram agrupadas no gênero *Exaerete* (*Exa. frontalis*, *Exa. smaradigma*, *Exa. lepeletieri*), *Glossura* (*Euglossa glossura orellana*, *Eug. glossura ignita*, *Eug. glossura chalybeata*, *Eug. glossura imperialis*). *Euglossa* combinou as espécies *Eug. sp.1*, *Eug. Intersecta*, *Eug. cognata* e *Eug. Amazônica* e *Eulaema* agrupou *Eul. meriana*, *Eul. cingulata*, *Eul. nigrita* e *Eul. pseudocingulata*). Os dois últimos

agrupamentos foram formados pelas espécies *Eulaema nigrita* + *Eul. Cingulata* e *Eug. cordata* + *Eug. securigera*.

2.2.3 Avaliações da robustez (etapa 3)

Um aspecto importante a ser avaliado em um bioindicador seria a sua robustez à redução do esforço amostral. Nas análises descritas a seguir a robustez foi avaliada quanto aos aspectos de acurácia (aproximação do valor estimativo em relação ao valor real da variável sendo estimada) e precisão (variação entre estimativas obtidas para um mesmo parâmetro, devido a erros aleatórios).

Nestas etapas, foram avaliados os padrões obtidos com os dados de apenas um ano de amostragem, para ambos os grupos taxonômicos, considerando as seguintes alternativas de redução do esforço amostral: i) redução de dois para um dia de amostragem em cada armadilha; ii) redução de dois para apenas um transecto amostrado em cada módulo; iii) as duas formas de redução de esforço supracitadas em conjunto (1 Transecto/1 Dia). Apenas no caso das Euglossini, houve ainda uma tentativa de testar diferentes combinações de iscas (de todas as sete combinações possíveis entre as três essências utilizadas em cada parcela), assim como combinações destas alternativas com os demais aspectos de redução de amostragem mencionados acima. Apenas no caso das Drosophilidae: redução de 50% no número de armadilhas, usando apenas duas das quatro armadilhas normalmente empregadas). Foram considerados neste último caso apenas os resultados da primeira e última armadilhas em cada parcela, assim como combinações desta redução com as demais mencionadas acima.

2.2.3.1. Avaliações da robustez: acurácia (etapa 3)

Considerando que a primeira etapa na seleção dos bioindicadores consistiu na escolha de espécies cujas abundâncias estavam associadas ao nível de degradação das parcelas, tomou-se este padrão como sendo uma condição real na variação do

bioindicador. A partir daí, consideramos como uma medida de robustez na acurácia, a eficiência na detecção deste padrão em esforços amostrais menores.

Para tal, foram consideradas subamostras aleatórias das parcelas em cada módulo, por campanha, através de amostragem com reposição de Monte Carlo, com base no esforço amostral completo, assim como impondo as reduções de esforço amostral testadas. Para cada uma das subamostras, foram realizados testes de permutação da significância da correlação de Pearson entre o bioindicador e o primeiro eixo da RDA. A porcentagem de testes com resultados significativos foi tomada como uma medida da acurácia obtida com cada alternativa de esforço amostral, para cada bioindicador. Esta análises foram realizadas com o uso de rotinas específicas, implementadas na plataforma R (R development Core Team 2016).

2.2.3.2. Avaliações da robustez: precisão (Etapa 4)

A robustez de cada bioindicador, com relação à sua precisão, foi avaliada com base na magnitude do erro de amostragem na estimativa de sua frequência relativa, na caracterização de um módulo, em uma campanha. Para obter uma medida de erro de estimativa que represente de fato uma limitação para estudos ecológicos, optou-se pela utilização da razão entre duas fontes de variação: a variação devida ao erro de amostragem e um dos aspectos da variação das comunidades naturais, a diferenciação entre módulos e campanhas. Para isto, o erro de uma alternativa de amostragem foi quantificado como a razão entre a variação devida ao erro de amostragem e a variação observada entre módulos e campanhas.

A variação devida ao erro de amostragem na caracterização de cada módulo foi calculado com o desvio padrão dos resultados de 100 subamostras correspondentes ao esforço amostral avaliado, obtidas por reamostragem de parcelas, com reposição, restritas dentro de cada módulo (método de estimativa do erro padrão denominado

bootstrap padrão; MANLY, 1997). A variação devida aos padrões existentes foi calculada como o desvio padrão dos 88 valores obtidos pela caracterização dos oito módulos, nas 11 coletas. Valores mais baixos indicam melhor eficiência de amostragem.

3. Resultados

Ao longo das 11 campanhas foram coletados 75.566 machos dos dois grupos, sendo 44.609 *Drosophilidae*, distribuídos em seis gêneros e 105 espécies/morfoespécies e 30.957 *Euglossini*, distribuídos em cinco gêneros, classificados em 73 espécies/morfoespécies.

3.1. Análise de sensibilidade (etapa 1)

Com base nos valores de correlação das espécies com o primeiro eixo das RDAs realizadas no capítulo 1, foram selecionadas 19 espécies de *Drosophilidae* e 18 espécies de *Euglossini* para serem avaliadas como possíveis bioindicadores ambientais na região estudada (Tabela 1).

Tabela 1 - Resultados das correlações de Pearson entre os scores do primeiro eixo da RDA e abundância das espécies nos diferentes anos. A seleção foi feita a partir de um critério de correlação no qual espécies com valores menores de -0,3 foram consideradas indicadoras de áreas degradadas e valores maiores do que 0.3 foram consideradas indicadoras de área preservadas.

Drosophilidae	Sensibilidade	Consistência			Euglossini	Sensibilidade	Consistência	
		R	% Sig.				R	% Sig.
<i>Drosophila willistoni</i>	0,80	0,16	40%	<i>Euglossa chalybeata</i>	0,77	0,30	30%	
<i>D. paulistorum</i>	0,79	0,16	50%	<i>Eug. imperialis</i>	0,75	0,60	100%	
<i>D. sturtevanti</i>	0,68	0,28	60%	<i>Eug. spl</i>	0,61	0,17	40%	
<i>D. equinoxialis</i>	0,56	0,03	10%	<i>Eug. intersecta</i>	0,60	0,48	80%	
<i>D. subsaltans</i>	0,43	0,06	0%	<i>Eug. Orellana</i>	0,57	0,44	60%	
<i>D. parasaltans</i>	0,41	0,01	0%	<i>Exa. smaragdina</i>	0,49	0,32	70%	
<i>D. prosaltans</i>	0,39	0,07	0%	<i>Eug. cognata</i>	0,47	0,04	10%	
<i>D. cuaso</i>	0,36	0,02	0%	<i>Exaerete frontalis</i>	0,46	0,27	60%	
<i>D. fasciola</i>	0,35	0,00	0%	<i>Eug. ignita</i>	0,46	0,49	100%	
<i>D. ararama</i>	0,34	-0,1	10%	<i>Eug. amazônica</i>	0,42	0,20	40%	
<i>D. neocardini</i>	0,29			<i>Eug. bidentata</i>	0,22			
<i>D. coffeata</i>	0,29			<i>Eug. magnipes</i>	0,22			
<i>D. querubimae</i>	0,28			<i>Eug. avicula</i>	0,19			
<i>D. fulvimacula</i>	0,27			<i>Eug. augaspis</i>	0,14			
<i>D. spl5</i>	0,26			<i>Exa. lepeletieri</i>	0,12			
<i>D. moju</i>	0,23			<i>Elaema bombiformis</i>	0,11			
<i>D. fumipennis</i>	0,23			<i>Eug. fimbriata</i>	0,10			
<i>D. papei</i>	0,19			<i>Eug. modestior</i>	0,10			
<i>D. mesostigma</i>	0,17			<i>Eug. mourei</i>	0,06			
<i>D. ivai</i>	0,17			<i>Eug. despecta</i>	0,06			
<i>D. spl9</i>	0,16			<i>Eug. laevicinta</i>	0,05			
<i>D. tropicalis</i>	0,14			<i>Eug. prasina</i>	0,00			
<i>D. polymorpha</i>	0,12			<i>Eug. liopoda</i>	-0,06			
<i>D. camargoi</i>	0,11			<i>Eufrisea pulchra</i>	-0,07			
<i>D. malerkotliana</i>	0,001			<i>Euf. mussitans</i>	-0,11			
<i>D. paranaensis</i>	-0,24			<i>Euf. flaviventris</i>	-0,11			
<i>D. melanogaster</i>	-0,35	0,05	10%	<i>Eul. mocsaryi</i>	-0,20			
<i>D. simulans</i>	-0,36	0,13	20%	<i>Eug. pleosticta</i>	-0,22			
<i>D. spl1</i>	-0,37	0,00	0%	<i>Eug. Gaicani</i>	-0,25			
<i>D. cardini</i>	-0,45	0,01	0%	<i>Eug. chlorina</i>	-0,34			
<i>D. nebulosa</i>	-0,49	0,11	20%	<i>Eug. allostica</i>	-0,36			
<i>Rhinoleucophenga. sp35</i>	-0,52	0,11	10%	<i>Eul. pseudocingulata</i>	-0,40	0,13	20%	
<i>R. spl10</i>	-0,75	0,28	60%	<i>Eug. cordata</i>	-0,44	0,13	0%	
<i>Zaprionus. indianus</i>	-0,85	0,39	80%	<i>Eug. securigera</i>	-0,48	0,15	10%	
<i>Scaptodrosophila. latifascaeiformis</i>	-0,91	0,49	100%	<i>Eul. meriana</i>	-0,66	0,84	100%	
Comple. willistoni		0,24	50%	<i>Eul. cingulata</i>	-0,77	0,42	90%	
Grupo melanogaster		0,28	50%	<i>Eul. nigrita</i>	-0,78	0,61	100%	
Subgrupo melanogaster		0,57	80%	<i>Eul. nigrita + Eul. cingulata</i>		0,63	100%	
Rhinoleucophenga		0,31	70%	<i>Eulaema</i>		0,84	100%	
Exóticas		0,37	90%	<i>Exaerete</i>		0,49	90%	
Exóticas sem <i>D. malerkotliana</i>		0,50	100%	Espécies do subgênero <i>Glossura</i>		0,68	100%	
				<i>Euglossa</i> (subgênero <i>Glossura</i> excluído)		0,31	60%	
				<i>Eu. cordata + Eug. securigera</i>		0,15	10%	

Em ambos os grupos, as espécies correlacionadas negativamente com o eixo 1 da RDA, foram associadas às áreas degradadas e as positivas às áreas preservadas. Para *Drosophilidae* as correlações mais altas ficaram com as espécies *Scaptodrosophila latifascaeiformis*, *Zaprionus indianus* e *Rhinoleucophenga sp.35* e *R. spl11* para áreas

antropizadas enquanto *D. willistoni*, *D. paulistorum*, *D. sturtevantii* e *D. equinoxilais* para florestas preservadas (Tabela 1).

Euglossini

Para Euglossini, as espécies *Eulaema nigrata*, *Eulaema cingulata* e *Eulaema meriana* apresentaram as melhores correlações com áreas antropizadas, enquanto *Euglossa chalybeata*, *Euglossa imperialis* e *Euglossa* sp.1 alcançaram os valores mais altos em áreas preservadas. As demais espécies foram analisadas separadamente assim como as espécies que compõem cada grupo.

Identificados os indicadores associados com variáveis de interesse, resta saber qual a consistência (coerência) dos mesmos. Caso uma espécie, ou conjunto de espécies, esteja respondendo às características constantes das parcelas, é esperado que os valores obtidos para as parcelas em diferentes campanhas estejam correlacionados (as parcelas menos degradadas devem ser aproximadamente as mesmas em diferentes campanhas). Essa análise será averiguada na segunda etapa, denominada, consistência.

3.2. Consistência (etapa 2)

Drosophilidae

Foi utilizado o coeficiente de correlação médio de 0.15 e 50% dos testes com alfa <0.05 como critério mínimo para as espécies ou grupos passarem para próxima etapa. No total, 10 espécies/grupos avançaram para a próxima análise, sendo elas: exóticas excluindo *D. malerkotliana*, exóticas (incluindo *D. malerkotliana*), *G. melanogaster*, Subg *melanogaster*, complexo *willistoni*, *Rhinoleucophenga* (*R. sp.35* + *R. sp.10*), *R. sp.10*, *D. sturtevantii*, *D. paulistorum*, *Z. indianus*, *S. latifascaeiformis* (Tabela 1).

Entre as espécies e grupos indicadores de área antropizada, a consistência foi maior para o grupo de exóticas sem *D. malerkotliana* (Média de $r=0.5$ e % testes significativos=100%) do que para as espécies isoladas (*D. simulans*, média de $r=0.13$ e % testes significativos=20%; *S. latifascaeiformis*, média de $r=0.49$ e % testes significativos=100%; *Z. indianus*, média de $r=0.39$ e % testes significativos=80%; *D. melanogaster*, média de $r=0.05$ e % testes significativos=10%), seguido por *S. latifascaeiformis* (Média de $r=0.49$ e % testes significativos=100%) e *Z. indianus*

(Média de $r=0.49$ e % testes significativos=100%). A correlação incluindo *D. malerkotliana* ao grupo de exóticas diminui a consistência do grupo (Média de $r=0.37$ e % testes significativos=90%) (Tabela 1).

Entre os indicadores de área preservada o complexo willistoni mostrou-se mais coerente do que suas espécies isoladas (Complexo willistoni, média de $r=0.24$ e % testes significativos=50%; *D. willistoni*, média de $r=0.16$ e % testes significativos=40%; *D. paulistorum*, média de $r=0.16$ e % testes significativos=50%; *D. equinoxilais*, média de $r=0.03$ e % testes significativos=10%). O grupo de *Rhinoleucophenga* (*R.sp10+R.sp35*) alcançou valores mais consistentes do que suas espécies isoladas e maior que o complexo willistoni (Tabela 1).

D. sturtevantii atingiu média de $r=0.28$ e % testes significativos=60%. As espécies *R. sp35*, *D. cardini*, *D. nebulosa*, *D. sp11*, *D. simulans*, *D. melanogaster*, *D. ararama*, *D. Fasciola*, *D. cuaso*, *D. prosaltans*, *D. parasaltans*, *D.subsaltans* e *D.equinoxialis* foram reprovadas nessa etapa devido à sua baixa consistência (Tabela 1).

Euglossini

Dentre as Euglossini, 14 espécies passaram pelo critério estabelecido para consistência. Dentre as espécies e grupos indicadores de áreas antropizadas a maior consistência apresentada ocorreu com o agrupamento *Eulaema* (média de $r=0.84$ e % testes significativos=100%), seguido respectivamente por *Eul. meriana*, (média de $r=0.84$ e % testes significativos=100%), *Eulaema nigrita* + *Eulaema cingulata* (média de $r=0.63$ e % testes significativos=100%), *Eul. cingulata* (média de $r=0.42$ e % testes significativos=90%) e *Eul. nigrita* (média de $r=0.61$ e % testes significativos=100%). Entre os indicadores de mata o subgênero *Glossura* apresentou a consistência mais alta seguida respectivamente por *Euglossa imperialis*, *Eug. ignita*, o grupo de espécies que compõem *Exaerete*, *Eug. Intersercta*, *Eug. orellana*, *Exa. smaradgna*, *Euglossa* e *Exa. frontalis* (Tabela 1). As espécies *Eug. cordata*, *Eug. securigera*, *Eug cognata*, *Eug. chalybeata*, *Eug. sp1*, *Eug. Amazonica*, *Eul. pseudocingulata*, e o agrupamento *Eug. Cordata* + *Eug. securigera* não passaram para a próxima etapa devido à baixa consistência (Tabela 1).

Uma vez observadas quais as espécies e agrupamentos foram mais consistentes comparando suas respostas para cada parcela em diferentes anos, analisamos na

próxima etapa como essas espécies respondem à caracterização das parcelas com o esforço amostral reduzido.

3.3. Robustez quanto à acurácia (etapa 4)

Nesta etapa, optamos por separar as espécies indicadoras de área preservada daquelas indicadoras de área perturbada. Entre as oito espécies analisadas para área degradada, apenas seis passaram para a etapa seguinte. O grupo de espécies exóticas sem *D. malerkotliana*, seguido das espécies *S. latifasceaeformis*, *Z. indianus*, exóticas, *R. sp.10* e *Rhinoleucophenga* (*R. sp.10* + *R. sp.35*), apresentaram os melhores desempenhos (acima de 50%), respectivamente, avaliando a resposta frente às reduções de amostragem. A inclusão de *D. malerkotliana* ao grupo de exóticas diminuiu a robustez do grupo, que sofreu maiores perdas com as reduções (Fig. 2)

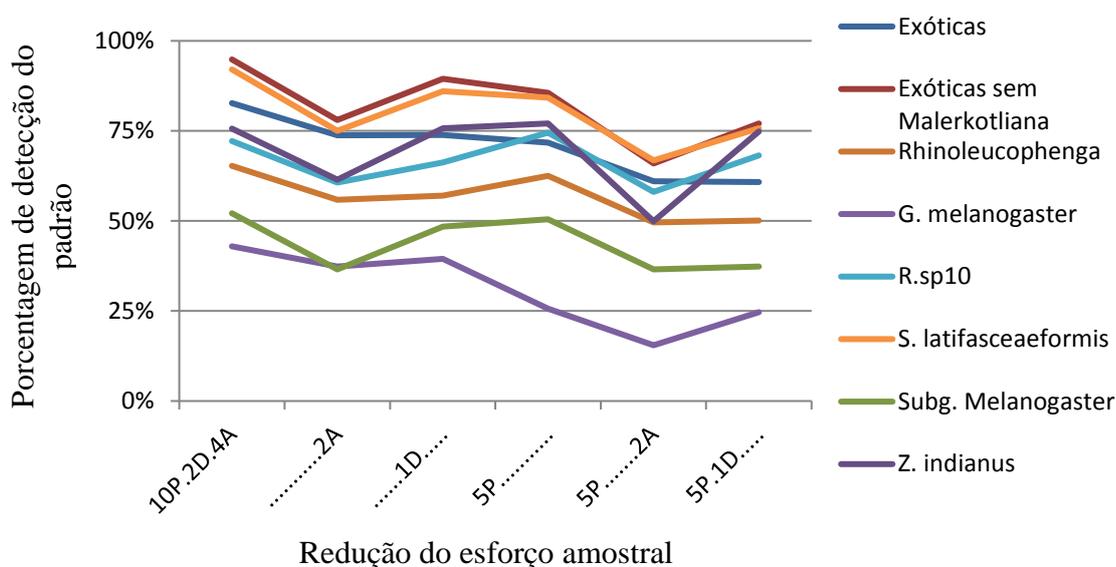


Fig. 2. Avaliação da robustez da resposta dos indicadores frente à diminuição de amostragem. P=parcelas, D=dias, A=armadilhas.

Entre as espécies indicadoras de área preservada, apenas *D. sturtevantii* passou para a etapa seguinte. *Drosophila willistoni*, *D. paulistorum* e o complexo Willistoni mostram-se sensíveis aos efeitos da redução, ficando abaixo dos 50% de correlações (Fig. 3). Os dados mostram um padrão onde todos sofreram maiores efeitos quando o esforço foi reduzido para 5 parcelas, 2 dias e 2 armadilhas. No geral, as espécies apresentam maior sensibilidade na redução no número de armadilhas quando comparado com reduções nos números de parcelas e dias (Fig. 3).

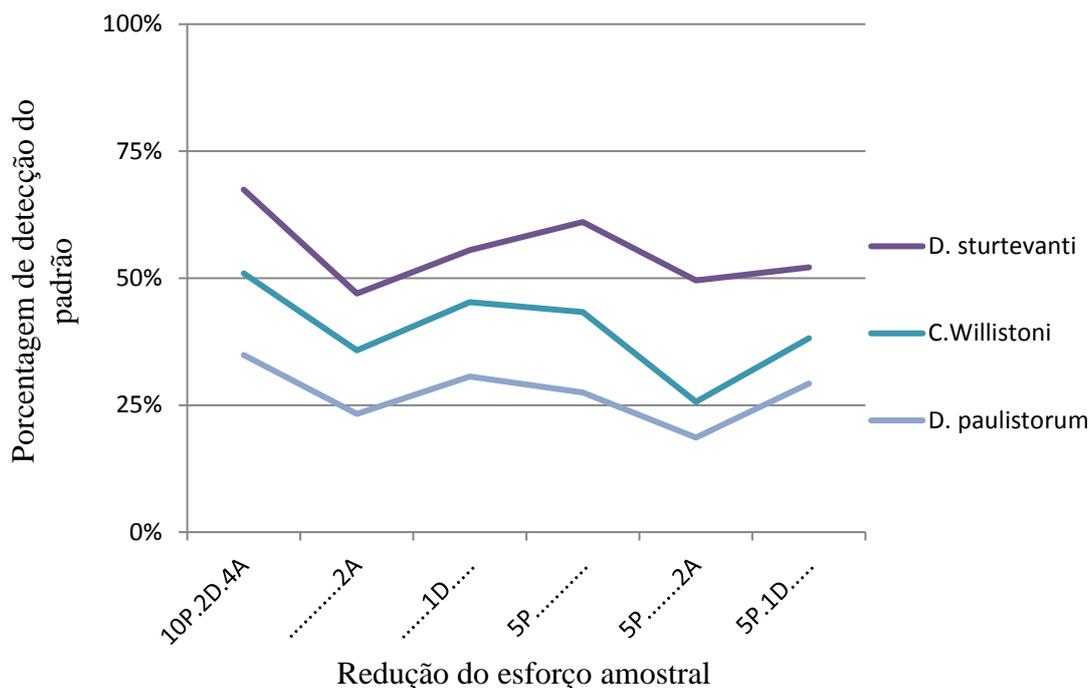


Fig. 3. Avaliação da robustez da resposta dos indicadores de mata frente a diminuição de amostragem. P= parcelas; D=dias; A=armadilhas.

Euglossini

Entre as espécies indicadoras de área antropizada o agrupamento de *Eul. nigrita* + *Eul. cingulata* e *Eul. nigrita* apresentou o melhor resultado, ficando próximo dos 100% e apresentando pouca sensibilidade às reduções no esforço amostral. O agrupamento Eulaema e a espécie *Eul. meriana* mostraram possuir uma sensibilidade alta, diminuindo linearmente seu potencial indicador em todas as reduções de esforço tentadas. *Eul. cingulata* apresentou sensibilidade alta na redução de dias, mas manteve sua resposta sempre acima dos 50% (Fig. 4).

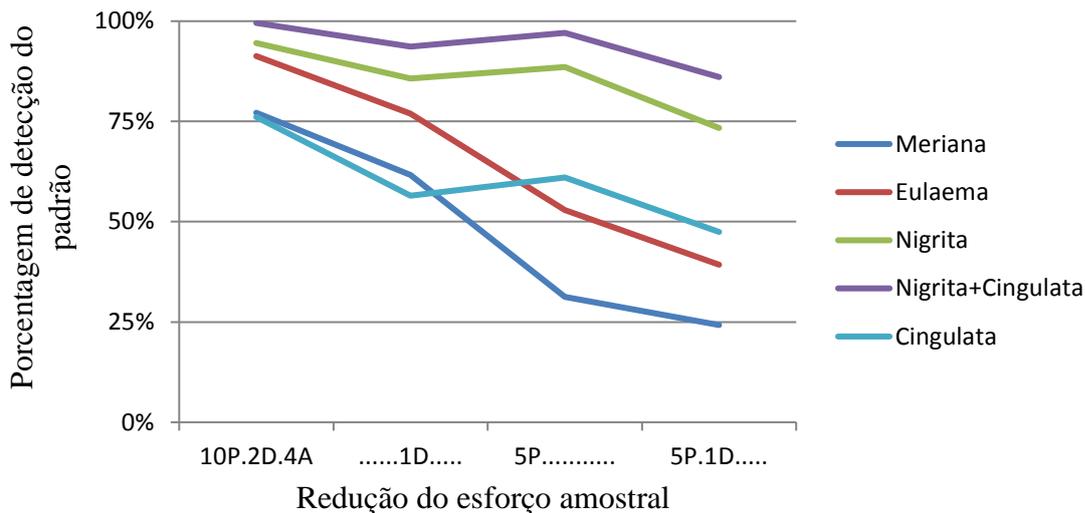


Fig. 4. Avaliação da robustez da resposta dos indicadores frente à diminuição de amostragem, comparando indicadores de área antropizada.

Avaliando as espécies e grupos de abelhas Euglossini indicadores de área preservada, o agrupamento do subgênero *glossura* apresentou a menor sensibilidade entre as reduções, seguida respectivamente de *Eulgossa imperialis*, *Euglossa*, *Eug. chalybeata*, *Eug. intersecta* e *Exaerete* respectivamente (Fig. 5). As espécies *Eug. Ignita*, *Eug. orellana*, *Eug. sp.1*, *Eug. amazonica*, *Exa. frontalis* e *Exa. smaradigma* mostraram-se inviáveis nessa etapa com valores abaixo de 50% em todas as reduções (Fig. 5)

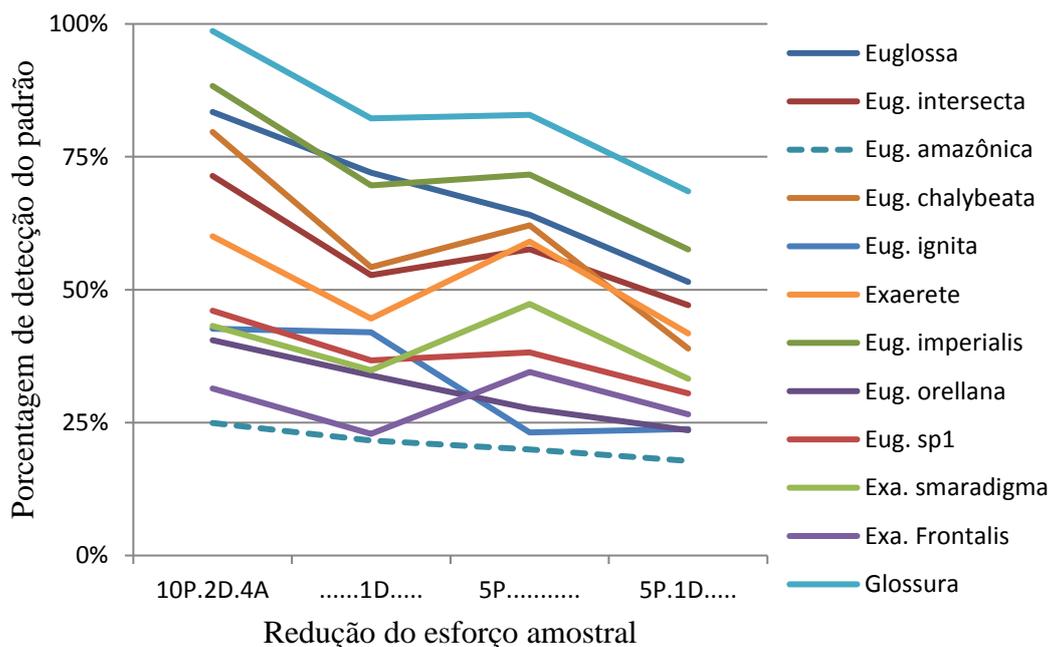


Fig. 5. Robustez quanto à acurácia com redução de amostragem para Euglossini.

Analisando as respostas das Euglossini indicadoras de área antropizada frente às diminuições e combinações de essências, todos os táxons apresentam melhor resposta com a combinação de todas as essências juntas (Cineol, salicilato e vanilina). Salicilato apenas não parece exercer um efeito atrativo sobre *Eul. nigrita* + *Eul. cingulata*, *Eul. nigrita* e *Eul. cingulata*. No entanto, esta essência parece atrair o agrupamento Eulaema e *Eul. meriana*. Cineol atrai *nigrita* + *cingulata* e *Eul. nigrita*, mas não parece atrair o agrupamento eulaema e as espécies *Eul. meriana* e *Eul. cingulata*. Vanilina parece exercer uma atratividade maior sobre *Eul. cingulata*, *Eul. nigrita* e *Eul. nigrita* + *Eul. Cingulata*, mas não funciona bem com *Eul. meriana* e o agrupamento Eulaema (Fig. 6).

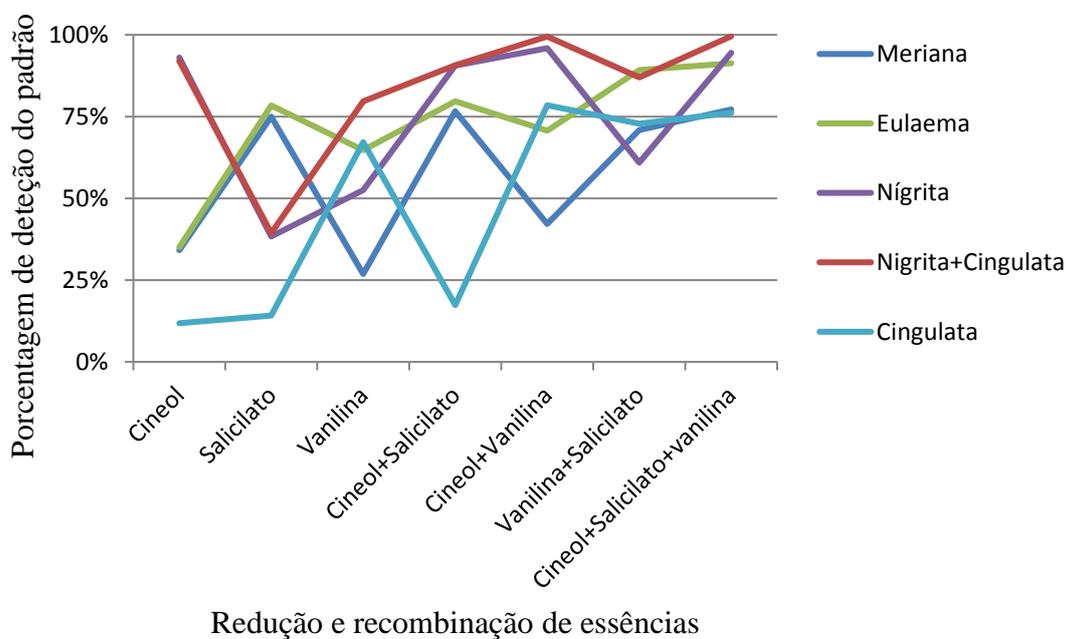


Fig. 6. Robustez quanto a acurácia com redução de essência para abelhas de área antropizada

Entre os indicadores de áreas preservadas, o uso de cineol apresentou as melhores respostas para todos os táxons e vanilina as piores respostas. As combinações que incluíram cineol melhoram a detecção do padrão. (Fig. 7).

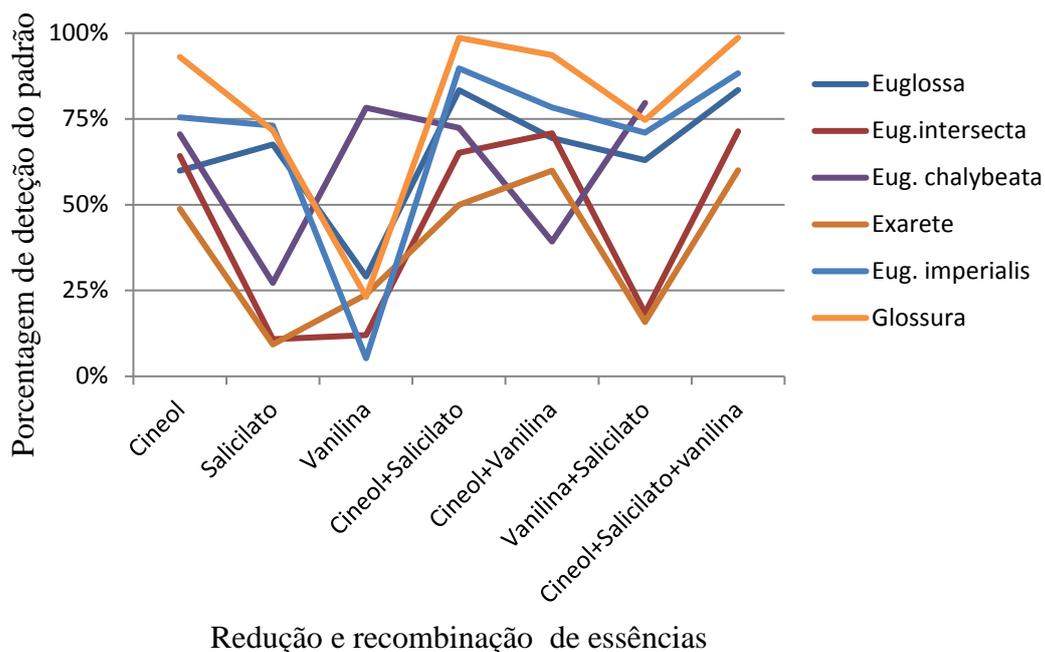


Fig. 7. Robustez quanto a acurácia com redução de essências para indicadores de mata.

3.4. Robustez quanto à precisão

Drosophilidae

Na avaliação de precisão, comparando as espécies e/ou agrupamentos indicadores de ambientes antropizados, as curvas seguem o mesmo padrão de resposta sendo que o agrupamento melanogaster e *Z. indianus* obtiveram os melhores resultados na caracterização dos módulos com a menor taxa de erro, seguido de *S. latifascaeiformis* e Exóticas sem *D. malerkotliana*, Exóticas e *Rhinoleucophenga* (Fig. 8).

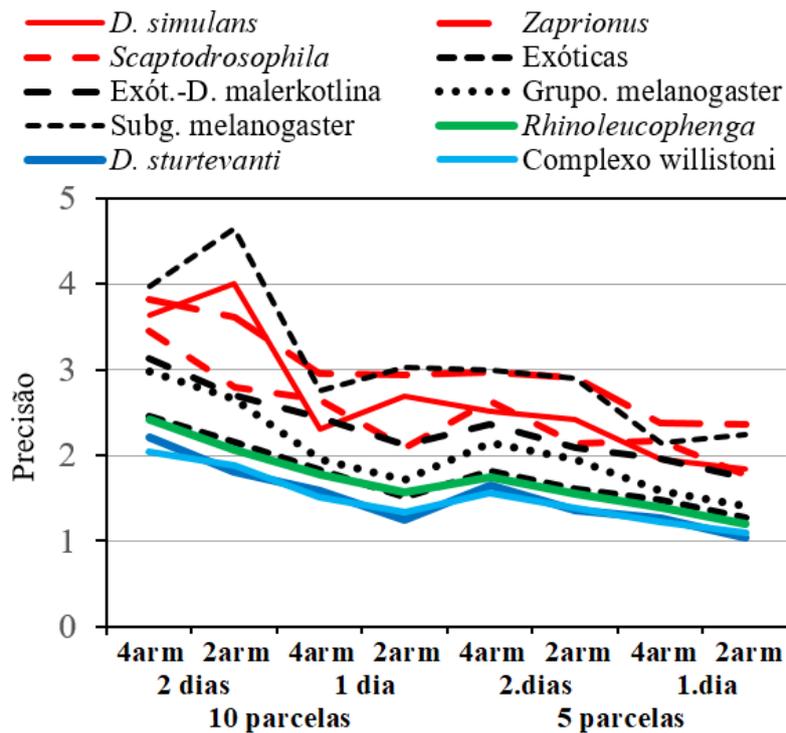


Fig. 8. Robustez quanto a precisão comparando as espécies de área antropizada

Comparando as espécies e grupos indicadores de ambientes preservados, *D. sturtevantii* obteve curva semelhante ao complexo *willistoni*, ambas possuindo alta sensibilidade com aumento linear do erro à medida que o esforço amostral foi diminuído, embora tenham se mostrado viáveis com o esforço amostral completo (Figura 14).

Euglossini

Considerando os 10 táxons e as 7 combinações de essências testadas, cada alternativa de redução do esforço amostral quanto às parcelas e dias de amostragem foi avaliada 70 vezes. Em 68 das comparações, o erro devido à utilização de um dia foi maior do que o erro devido à redução do número de parcelas (apenas *Eug. intersecta*, com uso das essências salicilato ou vanilina, quebrou esta tendência), enquanto em todas as comparações o erro obtido com as duas reduções aplicadas juntas foi o maior de todos. As médias obtidas para estes efeitos foram, considerando apenas 5 parcelas= $1,38 \pm 0,18$, apenas um dia= $1,58 \pm 0,35$, juntos= $2,00 \pm 0,40$. Uma vez que os efeitos das alternativas de alteração de esforço foram semelhantes nas diferentes combinações,

foram apresentados apenas dos resultados dos dois extremos, com o maior (C=esforço completo) e o menor (R=esforço reduzido) (Fig. 9).

Dentre as abelhas selecionadas para indicação de áreas antropizadas, *Eul. nigrita* seguida de *Eul. nigrita* + *Eul. cingulata* alcançaram os menores valores de erro em todas as reduções de esforço. Em geral, a melhor resposta (menor erro) foi alcançada com a combinação de todas as essências juntas em amostragens de 2 dias com 10 parcelas (Fig. 9A). No entanto, as respostas de cada agrupamento ou espécies oscilaram de acordo com o tipo de essência utilizado. Por exemplo, para a espécie *Eul. cingulata* a menor taxa de erro foi encontrada com o uso da combinação de cineol + salicilato ou com todas as essências juntas.

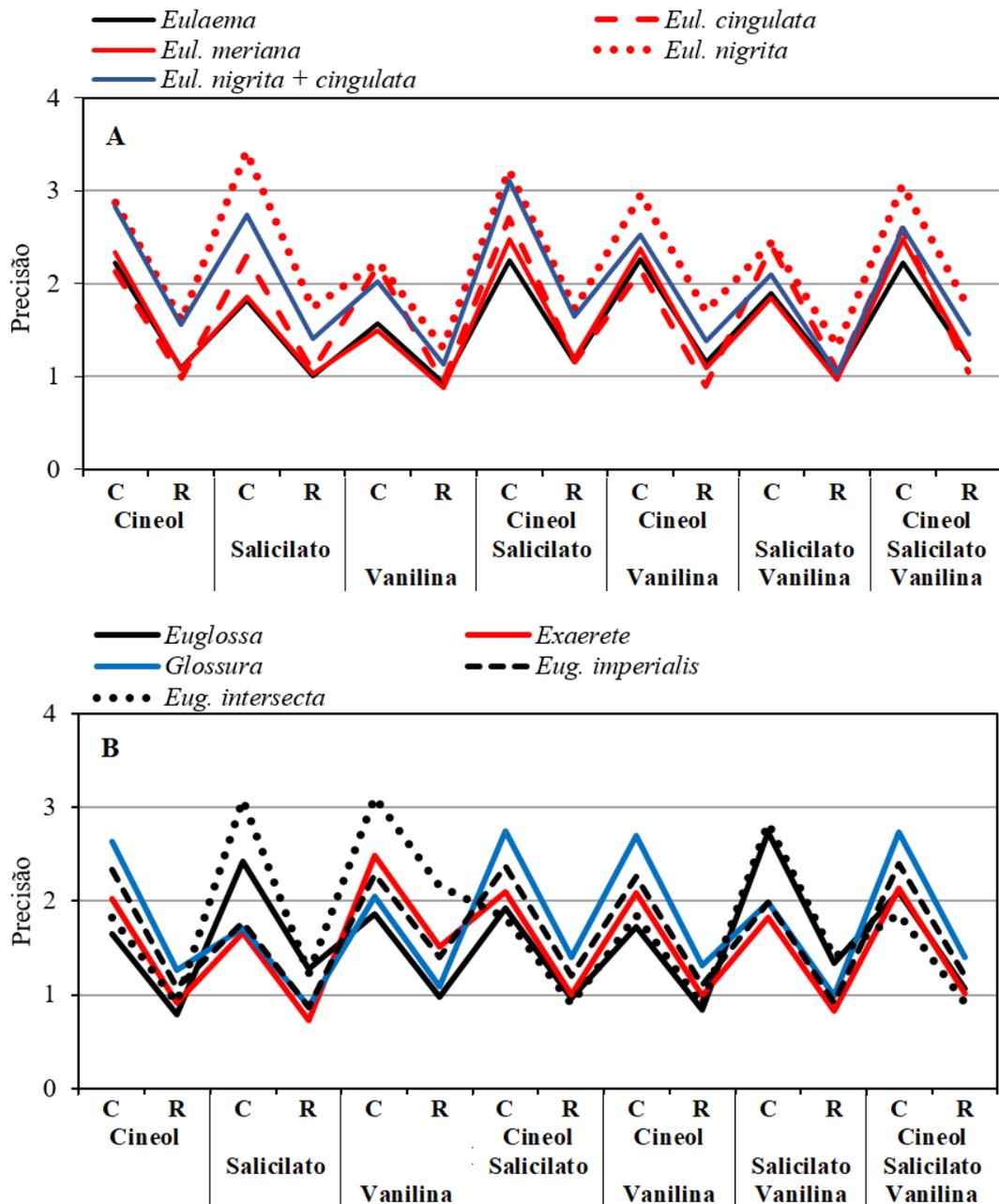


Fig. 9. Robustez quanto à precisão de abelhas. A) indicadoras de área antropizada; B) indicadores de áreas preservadas; C=amostragem completa com 10 parcelas e dois dias; R=amostragem reduzida a 5 parcelas e um dia; Precisão=erro padrão da variação entre módulos/erro padrão da estimativa do parâmetro em um módulo.

Para as espécies indicadoras de mata, o uso de todas as essências combinadas com amostragens em dois dias com 10 parcelas apresentou os menores erros. A variação na curva do erro da espécie *Eug intersecta* e *Euglossa* foi menor do que todas as outras com utilização apenas de salicilato ou vanilina, ou pela combinação das duas essências

em amostragens de dois dias e 10 parcelas. O uso de cineol, em geral, aumentou o erro. O agrupamento *Glossura* apresentou sensibilidade, aumentando enormemente o erro quando a essência salicilato foi utilizada ou a sua combinação entre as essências, com exceção de quando ela foi utilizada em conjunto com todas as outras essências, obtendo o menor erro. O agrupamento *Exaerete* teve melhor desempenho utilizando vanilina ou sua combinação em amostragem completa (2 dias com 10 parcelas). A variação na curva da espécie *Euglossa imperialis* apresentou a menor taxa de erro com coletas utilizando cineol ou vanilina em suas combinações ou isoladas em amostragens de dois dias com 10 parcelas (Fig. 9B)

4 Discussão

As análises resultaram na identificação de indicadores que apresentaram resultados satisfatórios quanto às respostas ao nível de antropização, coerência na detecção de padrões espaciais em diferentes anos de amostragem, assim como robustez em relação à redução do esforço amostral. Nossos resultados confirmam que os taxa, *Drosophilidae* e *Euglossini* são bons bioindicadores do nível de integridade das florestas ombrófilas abertas na Amazônia, podendo ser utilizados como ferramenta de diagnóstico ambiental.

Espécies do agrupamento exóticas (excluindo *D. malarikotlaiana*), além das espécies *S. latifasecaerformis* e *Z. indianus* emergiram como potenciais indicadoras de áreas degradadas. Entre os potenciais indicadores de área preservada, destaca-se *D. sturtevantii*. Dentre as *Euglossini*, o gênero *Eulaema*, o agrupamento de *Eul. nigrita* + *Eul. cingulata* e a espécie *Eul. nigrita* foram considerados como bons indicadores de áreas perturbadas. Por sua vez, abelhas do subgênero *Glossura* (gênero *Euglossa*), *Eugl. (Glossura) imperilais* e *Eugl. intersecta* foram validados como bioindicadores de áreas preservadas. Uma possível adição à esta lista seria o gênero *Exaerete*. Embora ele não tenha mostrado resultados tão bons como os demais bioindicadores selecionados, considerando que representa mais um gênero, com diferentes requerimentos ambientais, é relevante que também os padrões deste táxon sejam considerados na avaliação dos remanescentes florestais.

Em ambos os taxa foram observados casos em que o uso combinado das espécies em agrupamentos teve um melhor desempenho como bioindicadores da

integridade ambiental, quando comparado com o uso das espécies de forma isolada. O uso de agrupamentos pode aumentar a qualidade dos bioindicadores, devido a possibilidade do seu uso em uma amplitude maior de ambientes. Neste estudo, procuramos avaliar bioindicadores obtidos através do agrupamento de espécies com base em critérios ecológicos ou taxonômicos. Tais critérios apresentam vantagens imediatas, como a possibilidade de redução de custos com a identificação taxonômica dos bioindicadores, uma vez que a identificação de táxons superiores é mais rápida. Ainda, no caso das espécies invasoras de Drosophilidae, a identificação também poderia ser facilitada pelo fato destas espécies não terem parentes próximos entre a fauna nativa. A combinação de espécies por critérios taxonômicos ou ecológicos também tende a aumentar a aplicabilidade do uso dos bioindicadores quanto à amplitude de habitats em que eles podem ser utilizados. Por exemplo, algumas características compartilhadas por diferentes espécies de um determinado gênero (e.g. *Eulaema*) podem garantir a ocupação de diferentes ambientes por várias espécies. Desta forma, o gênero poderia ser utilizado como bioindicador da integridade ambiental em outras regiões nas quais as espécies identificadas como indicadores neste estudo não estejam presentes ou onde elas não forem abundantes.

No caso das espécies exóticas de Drosophilidae, a sua aplicabilidade como bioindicador resulta de um padrão mais geral, recorrente em outros grupos de organismos. Em geral observa-se uma maior resistência a invasão dos ecossistemas florestais do que em savanas. É provável que a abundância de espécies exóticas de Drosophilidae possa ser validada em outras regiões do Brasil, nas quais as espécies exóticas mais abundantes sejam diferentes daquelas ocorrentes na Amazônia, mas garantindo-se a mesma qualidade de bioindicação, como observado por Oliveira (2014) que identificou *D. immigrans*, que não ocorre na Amazônia, como indicador de antropização em matas do cerrado. Vale ressaltar que, embora a remoção de *D. malerkotiana* tenha resultado em sensível melhora dos resultados obtidos com as espécies exóticas, a associação do total de indivíduos de espécies exóticas com áreas degradadas foi confirmada neste estudo. A abundância das espécies exóticas de Drosophilidae poderia ser utilizada na bioindicação na paisagem analisada, mas este padrão pode ser melhorado através da calibragem do indicador, baseada na retirada da espécie *D. malerkotiana* nesta paisagem. A calibragem por meio da retirada de espécies

dos agrupamentos pode ser aplicada a outros bioindicadores agrupados, com ganhos significativos de qualidade analítica em diferentes paisagens.

O caso de *D. malerkotliana* pode ilustrar a necessidade de considerar a variação dos habitats e dos níveis de antropização em diferentes estudos. Cada estudo tende a amostrar mais intensamente diferentes intervalos dentro de uma variação, que varia desde florestas preservadas e densas até pastagens. Esta variação pode resultar de diferenças na cobertura florestal original, nível de antropização das paisagens ou do desenho amostral utilizado. *Drosophila malerkotliana* é uma espécie exótica que apresenta grande permeabilidade em florestas perturbadas. Entretanto, esta espécie está ausente, ou é muito rara, em áreas bem preservadas. Os ambientes mais bem preservados neste estudo ainda podem restringir a entrada da maior parte das espécies exóticas, mas uma vez que apresentam algum nível de degradação, estes habitats apresentam alta abundância de *D. malerkotliana*, o que torna esta espécie pouco informativa na avaliação da variação entre parcelas. No entanto, a simples ocorrência da espécie já permitiria a qualificação da paisagem como degradada, uma vez que esta espécie não ocorre em áreas realmente preservadas (e.g. florestas contínuas). Assim, pode-se considerar que esta talvez seja uma das espécies de Drosophilidae mais útil para monitoramento ambiental da integralidade ambiental. A simples ocorrência desta espécie em uma área seria o primeiro sinal de práticas lesivas ao ecossistema.

Drosophila willistoni tem sido apontada como um potencial indicador de áreas preservadas (Gotchalk, 2004; Tidon, 2006). Embora ela tenha apresentado o padrão esperado neste estudo, com maior abundância em parcelas preservadas durante a etapa de análise da sensibilidade, esta espécie não se mostrou consistente ao longo dos demais critérios avaliados (consistência e robustez quanto à acurácia e a precisão). A alternativa de tratar o complexo willistoni de espécies crípticas como um agrupamento (incluindo *D. equinoxialis* e *D. paulistorim*) resultou em uma pequena melhora, mas visto que o agrupamento willistoni esteve no limite mínimo de desempenho em todos os critérios avaliados neste estudo ele não pode ser considerado como um bioindicador confiável.

Uma ressalva deve ser feita em relação ao nosso critério de avaliação da robustez em relação à precisão na caracterização dos fragmentos em relação às alternativas de combinação de essências em Euglossini. Este critério se baseia no aumento da variação entre parcelas, em relação à variação entre módulos, em resposta à redução do esforço amostral obtido com um mesmo método. No caso da comparação

entre essências, não se trata apenas de redução do esforço amostral, mas também de uma mudança no método em si. A substituição de uma essência pode resultar em dados com maior variância entre parcelas por permitir uma amostragem mais sensível às variáveis de interesse, como a densidade de algumas espécies. Seria o caso de uma essência que fosse eficaz, mas tivesse um curto raio de atração ou que fosse mais eficiente na detecção de espécies que respondem bem à heterogeneidade ambiental entre parcelas. Neste caso hipotético, uma boa essência para estudo de padrões espaciais poderia ser rejeitada, por apresentar menor robustez. Considerando esta possibilidade, os resultados das comparações das essências quanto a este critério devem ser avaliados com cautela e não foram descartados candidatos a bioindicadores nesta etapa. De qualquer forma, estas análises resultaram em padrões que precisam ser investigados, particularmente nos casos em que a adição de mais de uma essência diminui a precisão de um táxon. Exemplos notáveis são os efeitos da adição de salicilato de metila sobre *Exaerete* e *Glossura* e da adição de cineol sobre *Eug. intersecta*.

A metodologia para avaliação de bioindicadores desenvolvida neste estudo permite a avaliação e validação de bioindicadores de integridade de habitat baseados em padrões de abundância de Drosophidae e Euglossini. O método mais utilizado atualmente para avaliação de bioindicadores, o IndVal (Dufrene e Legendre 1997), assim como suas adaptações para agrupamentos de espécies (De Cáceres et al. 2012), consiste no produto entre a especificidade (abundância) e a fidelidade (frequência de ocorrência) das espécies. O IndVal também difere do nosso método por ser primariamente aplicável em desenhos amostrais em que as diferenças entre ambientes são categóricas, enquanto o método aqui proposto analisa ao longo de um gradiente ambiental. Entretanto, nosso método poderia ser facilmente ajustado para qualquer outra forma de quantificação de um padrão, inclusive nos termos utilizados no IndVal.

Outra diferença fundamental entre a abordagem aqui adotada e o método IndVal, está na opção por tratar separadamente os quatro critérios de avaliação. Em um estudo de IndVal, duas espécies podem receber valores medianos para uma categoria ambiental, quando uma só ocorre neste ambiente (especificidade extrema), mas não foi detectada em todos os pontos amostrados neste ambiente, enquanto a outra não tem padrão claro de diferença de abundância entre ambientes, mas está presente em todos os pontos avaliados no ambiente em questão (fidelidade extrema). Este aspecto se justifica pelo objetivo direcionado à seleção de táxons que apresentem grande especificidade e

fidelidade, mas seu uso exclusivo restringe a interpretação das causas por trás dos valores obtidos para cada táxon. Com a separação dos critérios de avaliação é possível oferecer mais informações sobre o comportamento dos indicadores, que podem ser utilizadas tanto na tomada de decisão quanto ao seu uso quanto na interpretação dos resultados obtidos. Considerando que estudos sobre os efeitos da antropização frequentemente tratam de variações quantitativas, tanto dos ambientes amostrados, quando em relação à abundância dos organismos que respondem a esta antropização, acreditamos que a aplicação do método apresentado aqui possa trazer contribuições relevantes na identificação de indicadores da integridade ambiental.

Agradecimentos Nós agradecemos a todos os que, direta ou indiretamente, contribuíram para a produção deste manuscrito. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001. IM agradece à CAPES pela concessão da sua bolsa de pesquisa por meio do PPGBC.

Referências

- Aguiar, W.M, Galgiane, M.C., 2008. Comunidade de abelha *Euglossina* (Hymenoptera: Apidae) em remanescentes de mata estacional semidecidual sobre tabuleiro no estado do Rio de Janeiro. *Neotropical Entomology* 37(2):118-125.
- AbdAllah, A.T., 2017. Efficiency of invertebrate animals for risk assessment and biomonitoring of hazardous contaminants in aquatic ecosystem, a review and status report. *Environmental Risk Assessment and Remediation*, 1(1), 13-18.
- Andrade, D.A.D., Teixeira, I.R.D.V. (2017). Diversity of lepidoptera in a forest fragment in Muzambinho, Minas Gerais. *Ciência florestal*, 27(4), 1229-1241.
- Arias, A.R.L., Buss, D.F., Alburquerque, C.D., Inácio, A.F., Freire, M.M., Egler, M., Baptista, D.F., 2007. Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxico, *Ciência e saúde coletiva* 12(1): 61-72.
- Bizzo, L., Gottschalk, M.S., Toni, D.C.D., Hofmann, P. R. 2010. Seasonal dynamics of a drosophilid (Diptera) assemblage and its potential as bioindicator in open environments. *Iheringia. Série Zoologia*, 100(3), 185-191.
- Baillie, J.E., Bennun, L.A., Brooks, T.M., Butchart S. H.M., Chanson J.S., Cokeliss Z., Hilton T.C., Hoffman M., Mace G., Mainka S.A., Pollock C.M., Rodrigues A. S.L., Stattersfield A.J., Stuart S.N., 2004 IUCN red list of threatened species – a global species assessment. The IUCN species survival commission, Cambridge, UK.
- Barreto, P., Brandão Jr., A., Martins, H., Silva, D., Souza Jr., C., Sales, M., Feitosa, T., 2011 Risco de desmatamento associado a hidrelétrica de Belo Monte (p. 98).

- Belém: Imazon. Disponível: <http://www.imazon.org.br/publicacoes/livros/risco-de-desmatamento-associado-a-hidreletrica-de-belo-monte>. Acesso em 11/02/2013.
- Blair, R.B., 2001. Birds and butterflies along urban gradients in two ecoregions of the U.S. Pages 33–56 in Lockwood J.L., McKinney M.L., eds. *Biotic Homogenization*. Norwell (MA): Kluwer.
- Brasil., 2013 Protocolos. Disponível: <http://www.museu-goeldi.br/ppbio/>. Acesso em 11/02/2013.
- Comar, K.C., dos Santos Vicente, T., Coppo, T. L., Lopes, J., Zequi, J. A.C. 2016. Abundância e diversidade de Staphylinidae (coleoptera) em fragmento e reflorestamento no norte do Paraná. *EntomoBrasilis*, 9(2), 114-119.
- Cavasini, R., Buschini, M.L.T., Machado, L.P.B., Mateus, R.P. 2014. Comparison of Drosophilidae (Diptera) assemblages from two highland Araucaria forest fragments, with and without environmental conservation policies. *Brazilian Journal of Biology*, 74(4), 761-768.
- Clark, P.J., Reed, J.M., Chew, F.S., 2007 Effects of urbanization on butterfly species richness, guild structure, and rarity. *Urban Ecosystems*, v. 10, n. 3, p. 321-337.
- Clergeau, P., Croci, S., Jokimäki, J., Kaisanlahti-Jokimäki, M., Dinetti, M., 2006. Avifauna homogenisation by urbanisation: analysis at different European latitudes. *Biol. Conserv.* 127:336-344.
- Chace, J.F., Walsh, J.J., 2006. Urban effects on native avifauna: a review. *Landscape and urban planning*, 74(1), 46-69.
- Coe, M.T., Costa, M.H., Soares-Filho, B.S., 2009. The influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the Amazon River – Land surface processes and atmospheric feedbacks. *Journal of Hydrology* 369 (2009)
- Cox, P.M., Harris, P.P., Huntingford, C., Betts. R. A., Collins, M., Jones. C.D., Jupp, T. E., Marengo, J. A., Nobre, C.A., 2008. Increasing risk of Amazonian drought due to decreasing aerosol pollution. *Nature*. Vol 453:212-216.
- Costa, R. N., 2002. Hidroelétricas de grande escala em ecossistemas amazônicos: a Volta Grande do Xingu. Tese (Doutorado) - Depto. de Geografia/USP. Disponível em: http://www.anppas.org.br/encontro_anual/encontro1/gt/energia/Reinaldo%20Correa%20Costa.pdf Acesso: 11/02/ 2013.
- Dale, V.H., Beyeler, S.C., (2001). Challenges in the development and use of ecological indicators. *Ecological indicators*, 1(1), 3-10.
- Da Veiga, J.B., Dos Santos, R.C., Lopes, M.P.M., Da Silva, R.R., Da Silva, A.C.S., De Oliveira, A.S., 2016. Avaliação rápida da riqueza de formigas (Hymenoptera, Formicidae) em fragmentos de floresta ombrófila na região de Alta Floresta, MT. *Revista de Ciências Agroambientais*, 13(2).
- Dallinger, 1994. R. Dallinger Invertebrate organisms as biological indicators of heavy metal pollution *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 48 (1994), pp. 27-31 CrossRefView Record in Scopus
- De Souza, E.B.; Rocha, E.J.P., 2006. Diurnal variations of rainfall in Bragança-PA (eastern Amazon) during rainy season: mean characteristics and extreme events. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 21, n. 3ª, p. 142-152.
- De Oliveira, M.A., Gomes, C.F.F., Pires, E. M., Marinho, C.G.S., Della Lucia, T.M.C. 2015. Bioindicadores ambientais: insetos como um instrumento desta avaliação. *Ceres*, 61(7).
- De Oliveira, M.A., Gomes, C.F.F., Pires, E. M., Marinho, C.G.S., Della Lucia, T.M.C. 2015. Bioindicadores ambientais: insetos como um instrumento desta avaliação. *Ceres*, 61(7).

- Dobzhansky, T., Pavan, C., 1943. Studies on Brazilian species of *Drosophila*. *Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da Universidade de São Paulo*, 36:1-72.
- Do Nascimento, G.S., Santos, K.P.P., Fontenele, W.M., De Barros, R.F.M., Sousa, D. C., Rodrigo Alexandre, L.I.M.A., Silva, P.R.R., 2016. Atração de Machos de Abelhas da Tribo Euglossini (Hymenoptera, Apoidea) por Compostos Aromáticos Sintéticos no Parque Nacional de Sete Cidades, Piauí, Brasil. *Revista Espacios* | Vol. 37 (Nº 05).
- Dos Santos, B. C., Ferreira, P., Queiroz, R., Ferreira, L., Fornazier, M., Alves, W., Gomes, C., 2016. Entomofauna com indicador ecológico em sistemas agroflorestais no bioma Mata Atlântica.
- Domingues, M.S, Bermann, C., 2012 O arco de desflorestamento na Amazônia: da pecuária à soja. *Ambiente e sociedade*, v. 15, n. 2, p. 1-22, 2012.
- Dodson, C. H.; Dressler, R. L.; Hills, G. H.; Adams, R. M.; Williams, N. H., 1969. Biologically active compounds in orchid fragrances. *Science*, 164 (1):1243-1249.
- Dos Santos Franco, V., De Souza, E.B., Pinheiro, A.N., da Silva Dias, T. S., de Azevedo, F.T., Do Carmo Santos, J.C., 2015. Evolução mensal da cota fluviométrica do Rio Xingu em Altamira-PA associada aos eventos El Niño e La Niña. *Ciência e Natura*, 37(1), 104-109.
- Duchamp, J., Swihart, R. K., 2008. Shifts in bat community structure related to evolved traits and features of human-altered landscapes. *Landscape Ecology*, v. 23, n. 7, p. 849-860.
- Dutra, S., De Marco, P., 2015 Bionomic differences in odonates and their influence on the efficiency of indicator species of environmental quality. *Ecological Indicators*, 49, 132-142.
- Evelyn, M.J., Stiles, D.A., Young, R.A., 2004. Conservation of bats in suburban landscapes: roost selection by *Myotis yumanensis* in a residential area in California. *Biol. Conserv.* 115:463-473.
- Eltz, T, Lunau, K. 2005. Antennal response to fragrance compounds in male orchid bees. *Chemoecology*, 15 (2):135-138, Berlin.
- Faria, L.F., 2017. A Síndrome das florestas vazias e a importância dos pequenos fragmentos para a conservação dos anfíbios.
- Ferreira L, Tidon R., 2005. Colonizing potential of *Drosophilidae* (Insecta, Diptera) in environments with different grades of urbanization. *Biodivers Conserv* 14:1809–1821
- Germaine, S.S., Wakeling, B.F., 2001. Lizard species distributions and habitat occupation along an urban gradient in Tucson, Arizona, USA. *Biological Conservation*, v. 97, n. 2, p. 229-237.
- Giangarelli, D. C., Freiria, G. A., Colatreli, O. P., Suzuki, K. M., Sofia, S.H., 2009. *Eufriesea violacea* (Blanchard) (Hymenoptera: Apidae): an orchid bee apparently sensitive to size reduction in forest patches. *Neotropical Entomology*, 38(5), 610-615.
- Gerlach, J., Samways, M., Pryke, J. 2013. Terrestrial invertebrates as bioindicators: an overview of available taxonomic groups. *Journal of insect conservation*, 17(4), 831-850.
- Gomes, D.F., 2017. *Drosophilídeos* (Insecta, Diptera) como indicadores de qualidade ambiental em um remanescente de Mata Atlântica em Santa Catarina.
- Goeldi, M.P.E., 2002. Diagnóstico da vegetação e da flora da área de estudo da usina hidrelétrica de Belo Monte, estado do Pará. Belém: Convênio Mct-Mpeg/Eletronorte.

- Haddad, N.M., Brudvig, L.A., Clobert, J., Davies, K.F., Gonzalez, A., Holt, R.D., Cook, W. M., 2015. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, 1, e1500052.
- Hare, L., 1992. Hare Aquatic insects and trace metals: bioavailability, bioaccumulation, and toxicity. *Crit. Rev. Toxicol.*, 22:327-369.
- Hourigan, C.L., Johnson, C., Robson, S.K.A., 2006. The structure of a microbat community in relation to gradients of environmental variation in a tropical urban area. *Urban Ecosyst.* 9:67-82.
- INPE. Acesso em 27/11/2017 <http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>
- Johnson, J.B., Gates, J.E., Ford, W.M., 2008. Distribution and activity of bats at local and landscape scales within a rural-urban gradient. *Urban Ecosyst.* 11:227-242. Doi:10.1007/s11252-008-0055-x.
- Kuhn, I., Klotz, S., 2005. Urbanization and homogenization – Comparing the floras of urban and rural areas in Germany. Elsevier.
- Legendre, P., Legendre, L.F.J., 2012 *Numerical Ecology*. Amsterdam: Elsevier. 1006 p
- Liker, A., Papp, Z., Bókony, V., Lendvai, A. Z., 2008. Lean birds in the city: body size and condition of house sparrows along the urbanization gradient. *Journal of Animal Ecology.* 77:789-795.
- Loeb, S.C., Post, C.J., Hall, S.T., 2009. Relationship between urbanization and bat community structure in national parks of the southeastern U.S. *Urban Ecosyst.* 12:197-214. DOI: 10.1007/s11252-008-0075-06.
- Magnusson, W.E., Lima, A.P., Luizão, R., Luizão, F., Costa, F.R.C., Castilho, C.V. E., Kinupp, V.F., 2005. RAPELD: Uma modificação do método de Gentry para inventários de biodiversidade em sítios para pesquisa ecológica de longa duração. *Biota Neotropica*.
- Martins, T. K. 2011. Determinantes ecológicos do risco de extinção: Abundância local, amplitude de nicho, capacidade de dispersão e a resposta das espécies de pequenos mamíferos à fragmentação florestal no Planalto Atlântico Paulista. Dissertação de Mestrado - Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Departamento de zoologia Geral. 69 p.
- Mata, R. A., Mcgeoch, M., Tidon, R., 2008. Drosophilid assemblages as a bioindicator system of human disturbance in the Brazilian Savanna. *Biodiversity and conservation*, 17(12), 2899.
- Ministério Do Meio Ambiente – MMA., 2014. Bioma Amazônia, Brasília, 2014. <http://www.mma.gov.br/biomas/amazonia>. Acessado 19/10/2016
- Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Brooks, T.M., Pilgrim, J.D., Konstant, W. R., Da Fonseca, G.A.B., Kormos, C. 2003 Wilderness and biodiversity conservation. *Proceedings of National Academy of Sciences*, 100, 10309–10313.
- Marcon, J.L., Menin, M., Araújo, M.G.P., Hrbek, T. 2012. Biodiversidade Amazônica: caracterização, ecologia e conservação. Edua, Manaus, p.372.
- Mckinney, M.L., 2006. Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation* this issue, 127(3), 247-260.
- Mckinney, M.L. 2008. Effects of urbanization on species richness: a review of plants and animals. *Urban Ecosyst* 11:161-176. <http://dx.doi.org/10.1007/s11252-007-0045-4>.
- Mennechez, G., Clergeau, P., 2006. Effect of urbanization on habitat generalists: starlings not so flexible? *Acta Oecologica*, 30, 182–191.
- Medeiros, H.F., 2009. Ameaças à biodiversidade: Avaliação de impactos do projeto de aproveitamento hidrelétrico de Belo Monte Sobre a vida selvagem, Incluindo implicações socioeconômicas. In: Painel de especialistas: Análise crítica do estudo de impacto ambiental do aproveitamento hidrelétrico de Belo Monte. Disponível

- online:<http://www.faor.org.br/Belo%20Monte%20goela%20abaixoPainel%20de%20Especialistas.pdf>
- Medeiros, H. F., Klaczko, L. B., 1999. A weakly biased *Drosophila* trap. *Drosophila Information Service*. 82: 100-102.
- Medeiros, H.F., Klaczko, L.B., 2004. How many species of *Drosophila* (Diptera, Drosophilidae) remain to be described in the forests of São Paulo, Brazil? Species lists of three forest remnants. *Biota Neotropica*. 4:1-12.
- Mendoza, G.A., Prabhu, R., 2004. Fuzzy methods for assessing criteria and indicators of sustainable forest management. *Ecological Indicators*, v.3, n.4, p.227-236, 2004.
- Moffatt, S.F., Mclachlam, S.M., 2004. Understorey indicators of disturbance for riparian forests along an urban-rural gradient in Monitoba. *Ecological Indicators*, v.4, n.1, p.1-16.
- Nachev, M.S.B., 2016. Environmental parasitology: parasites as accumulation bioindicators in the marine environment. *Journal of Sea Research*, 113, 45-50.
- Nishiwaki, A.A.M., Pinheiro, S.M.G., de Omena Gusmão, L., da Silva, E. C., Santos, A.F.D.M.S., El-Deir, S.G., 2017. Scarabaeidae family (Coleoptera) as potential environmental quality bioindicator| Família Scarabaeidae (Coleoptera) como bioindicador de potencial de qualidade ambiental. *Revista Geama*, 3(2), 68-77.
- Norte Energia, 2011. Plano de Conservação dos Ecossistemas Terrestres. 12.3.5 – Projeto de Levantamento e Monitoramento de Invertebrados Terrestres. Disponível: <http://www2.defensoria.pa.gov.br/portal/anexos/File/BeloMonte/PBA/Volume%20V%20-%20Item%2012/VOL%20V%20-%2012%20%20plano%20eco%20terrestres.pdf>. Acesso em 19/06/2014.
- Norte Energia, 2012. SUMÁRIO – 12.3.5. Projeto de Levantamento e Monitoramento de Invertebrados Terrestres. Disponível: <http://licenciamento.ibama.gov.br/Hidreletricas/Belo%20Monte/2%BA%20Relatorio%20Semestral%20Consolidado/CAP%CDTULO%202%20%20PLANOS,%20PROGRAMAS%20E%20PROJETOS/12/12.3/12.3.5/12.3.5%20-%20CAP%202%20-%20FINAL.pdf>. Acesso em 11/02 2013.
- Norte Energia, 2013 SUMÁRIO – CAP 2. 12.2.3. -4º RC. Projeto de levantamento e monitoramento de invertebrados terrestres. Disponível em: <http://licenciamento.ibama.gov.br/Hidreletricas/Belo%20Monte/Relatorios%20Semestrais/4%20C%20BARC%20FINAL%2030.08.2013%20%20PDF/CAP%202/12.2/12.2.3/CAP%202%20-%2012.2.3%20-%204%20C%20BARC.pdf> Acesso em 29/06/2014
- Oprea, M., Mendes, P., Vieira, T.B., Ditchfield, A.D., 2009. Do wooded streets provide connectivity for bats in na urban landscape? *Biodivers. Conserv.* 18:2361-2371.
- Orlandin, E., dos Santos, E. B., Piovesan, M., Favretto, M. A., Schneeberger, A. H., de Oliveira Souza, V., Wagner, G., 2015. Atividade crepuscular de Culicídeos (Diptera: Culicidae) em área de floresta atlântica da região oeste de Santa Catarina, Sul do Brasil. seminário de iniciação científica, seminário integrado de ensino, pesquisa e extensão e mostra universitária.
- Oliveira, M.A.D., Gomes, C.F.F., Pires, E. M., Marinho, C.G.S., Della Lucia, T.M. C., 2014. Environmental bioindicators: insects as a tool for biodiversity monitoring. *Revista Ceres*, 61, 800-807.
- Oliveira-Junior, J. M. B.; Almeida, S. M.; Rodrigues, L.; Silvério Júnior, A. J.; Anjos-Silva, E.J., 2015. Orchid bees (Apidae: Euglossini) in a forest fragment in the ecótono Cerrado-Amazonian forest, Brazil. *Acta biol. Colomb.* 20(3):67-78.
- Parsons, P.A., 1991. Biodiversity conservation under global climatic-change—the insect *Drosophila* as a biological indicator. *Glob Ecol Biogeogr* 1:77–83.

- Parsons, P.A., 1995. Evolutionary response to drought stress—conservation implications. *Biol Conserv* 74:21–27.
- Pearce, J. L., E Venier, L. A., 2006. The use of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) and spiders (Araneae) as bioindicators of sustainable forest management: a review. *Ecological indicators*, 6, 780-793.
- Peruquetti R.C, Campos, L.A.O, Coelho, C.D.P, Abrantes, C.V.M, Lisboa, L.C.O., 1999., Abelhas Euglossini (Apidae) de areas de mata atlantica: abundância, riqueza e aspectos biológicos. *Revista Brasileira de Zoologia* 16(2):101-118
- Peruquetti, R.C., Campos, L.A.O., Coelho, C.P., Abrantes, C.M., & Lisboa, L.D.O., 1999. Abelhas Euglossini (Apidae) de áreas de Mata Atlântica: abundância, riqueza e aspectos biológicos. *Revista Brasileira de Zoologia*, 16(Supl 2), 101-118
- Pickett Sta, Cadenasso M. L., Grove Jm, Nilon Ch, Pouyat Rv, Zipperer Wc, Costanza R., 2001. Urban ecological systems: Linking terrestrial, ecological, physical, and socioeconomic components of metropolitan areas. *Annual Review of Ecology and Systematics* 32: 127–157.
- R Development Core Team (2016) R: A language and environment for statistical computing. Version 3.3.0 edn. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rainio, J., E Niemelä, J., 2003. Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators. *Biodiversity and conservation*, 12(3), 487-506.
- Rêbello, J.M.M, Cabral, A.J., 1997. Abelhas Euglossini de Bareirinhas, zona do litoral da baixada maranhense. *Acta Amazônica* 27:145-152
- Regalado, L.B., Silva, C., 1997. Utilização de aves como indicadoras de degradação ambiental. *Revista Brasileira de Ecologia*, 1(1), 81-83.
- Salomão, R. D. P., Vieira, I. C. G., Suemitsu, C., Rosa, N. D. A., Almeida, S. S. D., Amaral, D. D. D., & Menezes, M. P. M. D. (2007). The forests of Belo Monte on the great curve of the Xingu River, Eastern Amazon. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais*, 2(3), 55-153.
- Saavedra, C. C. R., Callegari-Jacques, S. M., Napp, M., Valente, V. L. S., 1995. A descriptive and analytical study of 4 neotropical drosophilid communities. *J Zool Syst Evol Res* 33:62–74.
- Scoriza, R. N., Correia, M. E., 2016. Fauna do Solo como Indicadora em Fragmentos Florestais na Encosta de Morrotes. *Floresta e Ambiente*, v. 23, n. 4, p. 598-601, 2016.
- Soares-Filho, B.S., Nepstad, D. C., Curran, L., Cerqueira, G. C., Garcia, R. A., Ramos, C. A., Voll E., Mcdonald, A., Lefebvre, P., Schlesinger, P., Mcgrath, D. 2005. Cenários de desmatamento para a Amazônia. *Estudos Avançados*, 19 (54): 137-152, Acesso: <http://www.scielo.br/pdf/ea/v19n54/07.pdf>.
- Sukopp, H., Starfinger, U., 1999. Disturbance in human ecosystems. In: Walker, L.R. (Ed.), *Ecosystems of Disturbed Ground*. Elsevier, Amsterdam. pp. 397–412.
- Thomazini, M.J., Thomazini, A.P.B.W., 2000. A fragmentação florestal e a diversidade de insetos nas florestas tropicais úmidas. Rio Branco: EMBRAPA Acre, 2000. 21p. *Circular Técnica*, 57.
- Tonhasca, Jr.A, Blackmer, J.L, Albuquerque, G. S. 2002. Abundance and diversity of Euglossine Bees in the Fragmented Landscape of the Brazilian Atlantic Forest. *Biotropica* 34(3):416-422.
- Vieira, I.C.G., Almeida, S.S.D., Salomão, R.D.P., Menezes, M.P.M.D., Amaral, D. D. D., Suemitsu, C., Rosa, N.D.A. 2007. As florestas de Belo Monte na grande curva do rio Xingu, Amazônia Oriental.

- Vilela, C.R. 1992. On the *Drosophila tripunctata* species group (Diptera, Drosophilidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 36:197-221.
- Vilela, C. R., & Bachli, G. (1990) Taxonomic studies on Neotropical species of seven genera of Drosophilidae (Diptera). *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft*, 63:1-332.
- Vital, S. L., Souza-Leão, M. V. P., Campelo, P. H., Previero, C. A., 2016. Levantamento de abelhas Euglossini (Hymenoptera: Apidae) como possíveis bioindicadoras da qualidade ambiental no reassentamento rural Mariana, Palmas, Tocantins. In: jornada de iniciação científica, xvi, 2016. Anais... Palmas: CEULP/ULBRA. (ResearchGate)
- Vogel, S., 1966. Parfümsammelnde bienen als Bestäuber von Orchidaceen und Gloxinia. *Österreichische Botanische Zeitschrift*, 113(3-4), 302-361.
- Wade, T.D., Riitters, K.H., Wickham, J. D., Jones, K. B., 2003. Distribution and causes of global forest fragmentation. *Conservation Ecology*, 7, (2) Art. 7
- Wink, C., Guedes, J.V.C., Fagundes, C.K., Rovedder, A.P., 2005. Insetos edáficos como indicadores da qualidade ambiental Soilborne insects as indicators of environmental quality. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 4, n. 1, p. 60-71.
- Zaina, P., 2016. Diversidade de scarabaeidae (coleoptera) necrófaga e copronecrófaga como bioindicadores de impactos ambientais de áreas de cerrado e pantanal com diferentes graus de conservação nos estados de mato grosso do sul e mato grosso. Tese de mestrado, Campo Grande – MS.

Conclusão Geral

Os dois grupos de invertebrados alados, Drosophilidae (Diptera) e Euglossini (Hymenoptera, Apidae) mostraram-se como bons indicadores da integridade ambiental de fragmentos de floresta ombrófila aberta na Amazônia. Essa validação consolida esses grupos como importantes ferramentas aliadas à conservação. O uso de espécies combinadas em agrupamentos melhora a resposta para indicação da qualidade ambiental dos fragmentos florestais. Essa ferramenta pode ser utilizada para identificar bioindicadores para uso em outros biomas.