



Universidade de Brasília  
Instituto de Ciências Biológicas  
Programa de Pós-Graduação em Ecologia

**DROSOFILÍDEOS (INSECTA, DIPTERA) EXÓTICOS À REGIÃO  
NEOTROPICAL: VARIAÇÃO TEMPORAL EM COMUNIDADES  
URBANAS E NATURAIS DO CERRADO**

Laís Barbosa Ribeiro

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Rosana Tidon

Brasília – DF

Junho de 2023



Universidade de Brasília  
Instituto de Ciências Biológicas  
Programa de Pós-Graduação em Ecologia

**DROSOFILÍDEOS (INSECTA, DIPTERA) EXÓTICOS À REGIÃO  
NEOTROPICAL: VARIAÇÃO TEMPORAL EM COMUNIDADES  
URBANAS E NATURAIS DO CERRADO**

Laís Barbosa Ribeiro

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Rosana Tidon

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia, do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ecologia.

Brasília – DF

Junho de 2023

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos docentes da Universidade de Brasília, principalmente aos professores do curso de Ciências Biológicas. Em especial, agradeço à minha magnífica orientadora da graduação e do mestrado, professora Rosana Tidon, que me acolheu no Laboratório de Biologia Evolutiva desde o início da minha jornada acadêmica. É enorme a minha admiração pela profissional que ela é. Com ela aprendi sobre a incrível Teoria da Biologia Evolutiva. Também aprendi e continuo aprendendo sobre o que é e como se faz ciência. A professora Rosana é compassivamente empática e me ensina sobre a vida. Obrigada!

Também, agradeço a equipe do Laboratório de Biologia Evolutiva, desde aqueles que não conheci, em especial Priscila, Renata, Sabrina e Bárbara, pelos dados cedidos para esse trabalho, até aqueles que tive a honra de conviver: Lara, Keven e Veida. Aos mais recentes da graduação e da pós, Laís, Angie, Pedro e Fábio, pelo conhecimento compartilhado e as altas aventuras em campo! Aos que executam o trabalho técnico (Fred) e a limpeza (Adriana), essenciais para o nosso trabalho.

Agradeço aos meus pais, Cláudia e José Antônio, por todo apoio financeiro e emocional. À minha irmã, Thaís, por sido minha inspiração nos estudos. Aos meus amigos de longa data (Emanuelle, Alice e Thiago) e aos mais recentes (Krissy, Ieltsim, Érika). Agradeço ao meu companheiro de vida, a quem tanto admiro, João Antonio, por compartilhar a vida comigo, me motivar e incentivar todas as minhas ideias. A você expresso minha gratidão por todo o amor e afeto! Agradeço a minha sogra, Leocades, por todo o apoio e carinho! Sou grata ao cãozinho Adamastor por ter me proporcionado tanto amor, por um período curto, mas suficiente para eu nunca o esquecer.

Sou grata à Universidade de Brasília pela oportunidade de formação que tive, assim como pelo apoio financeiro para que isso fosse possível. Agradeço a cada pessoa por trás de várias instituições e meios políticos que trabalham pela ciência e educação brasileira. Aos professores/coordenadores do Programa de Pós-Graduação em Ecologia da UnB pela dedicação em elevar a ciência no país. Aos servidores da Reserva Ecológica do IBGE pelo auxílio em campo. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela minha bolsa de pesquisa.

# ÍNDICE

<b>RESUMO</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>6</b>
<b>INTRODUÇÃO GERAL</b>	<b>7</b>
<b>Referências bibliográficas</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO 1: Dinâmica temporal da comunidade de drosofilídeos (Insecta, Diptera) da Reserva Ecológica do IBGE: contribuição das espécies exóticas</b>	<b>14</b>
Resumo	15
1. Introdução	16
2. Materiais e métodos	19
3. Resultados	25
4. Discussão	35
6. Referências bibliográficas	42
<b>CAPÍTULO 2: Host preferences show by drosophilids (Diptera) in a commercial fruit and vegetable distribution center follow the wild neotropical pattern</b>	<b>48</b>
Resumo	49
Abstract	50
1. Introduction	51
2. Materials and methods	52
3. Results	54
4. Discussion	61
5. Conclusions	65
6. References	66
<b>CAPÍTULO 3: Updated list of drosophilid species recorded in the Brazilian Savanna</b>	<b>74</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>82</b>

## RESUMO

Espécies invasoras são aquelas que, quando introduzidas em uma nova área, se estabelecem, experimentam crescimento populacional e causam impactos. Ao lado das mudanças climáticas, elas se destacam como as principais ameaças à perda de biodiversidade. O objetivo geral desta dissertação foi investigar a variação temporal de comunidades de drosofilídeos em dois ambientes, com foco nas espécies exóticas. No primeiro capítulo, investigamos as variações temporais nas comunidades de drosofilídeos em cerrados e matas da Reserva Ecológica do IBGE, uma área preservada e monitorada ao longo de 25 anos. Nessa reserva, observamos um aumento gradual no registro de drosofilídeos exóticos, que mantiveram populações abundantes em ambos os tipos de vegetação. Entretanto, as matas foram mais resistentes à invasão do que os cerrados. A abundância média de drosofilídeos capturados por armadilha diminuiu ao longo do tempo apenas no cerrado. Concluimos que, além da chegada e estabelecimento de espécies invasoras, outros fatores antrópicos de ameaça à biodiversidade estejam contribuindo para as variações observadas nessas comunidades de drosofilídeos. No segundo capítulo investigamos as comunidades de drosofilídeos e seus sítios de reprodução em dois períodos, distantes dez anos (2008 e 2018), em um centro de distribuição de frutas e vegetais na cidade de Brasília. Essa comunidade foi similar nos dois períodos e dominada por drosofilídeos exóticos, que utilizam uma maior variedade de hospedeiros do que as espécies neotropicais. No terceiro capítulo, atualizamos a lista de espécies de drosofilídeos do Cerrado de 129 para 138 espécies; a última lista datava de 2015. Dessa lista, 13 espécies de drosofilídeos são exóticas à região Neotropical e cinco delas foram introduzidas a partir do final do século XX: *Drosophila malerkotliana* Parshad and Paika, *Zaprionus indianus* Gupta, *D. nasuta* Lamb, *D. suzukii* Matsumura e *Z. tuberculatus* Malloch. As cidades podem funcionar como uma fonte de espécies exóticas que, ao invadirem áreas protegidas, contribuem para a homogeneização biótica. Por isso, o monitoramento torna-se essencial para identificar potenciais invasões, compreender os processos dessas invasões e conservar a fauna de drosofilídeos do Cerrado.

**Palavras-chave:** *Drosophila*, invasão biológica, monitoramento, variação temporal, *Zaprionus*.

## ABSTRACT

Invasive species, upon introduction to new environments, establish themselves, undergo population expansion, and exert ecological impacts. These species, alongside climate change, represent significant threats to biodiversity. The overarching goal of this study was to examine the temporal dynamics of drosophilid communities in two distinct environments, with a particular focus on exotic species. In the first chapter, we examined temporal fluctuations in drosophilid communities within the savannas and forests of the IBGE Ecological Reserve—a region subject to preservation and monitoring for a span of 25 years. Our observations revealed a progressive rise in the occurrence of exotic drosophilids, sustaining substantial populations in both vegetation types. Notably, the forests demonstrated greater resistance to invasion compared to the savannas. The mean abundance of drosophilids captured by traps diminished exclusively over time in the open vegetations. Our inference is that, in addition to the introduction and establishment of invasive species, diverse anthropogenic factors posing threats to biodiversity contribute to the observed variations in these drosophilid communities. In the second chapter, we investigated drosophilid communities and their breeding sites in two discrete periods, a decade apart (2008 and 2018), within a fruit and vegetable distribution center in Brasília. The community structure remained consistent across both periods, predominantly featuring exotic drosophilids adept at utilizing a broader range of hosts than Neotropical species.

The third chapter involved an update of the Cerrado drosophilid species list, expanding it from 129 to 138 species; the previous enumeration dated back to 2015. Among these, 13 drosophilid species are exotic to the Neotropical region, with five introduced since the close of the 20th century: *Drosophila malerkotiana* Parshad and Paika, *Zaprionus indianus* Gupta, *D. nasuta* Lamb, *D. suzukii* Matsumura, and *Z. tuberculatus* Malloch. Urban areas can serve as sources of exotic species, which, upon encroaching into protected regions, contribute to biotic homogenization. Consequently, vigilant monitoring is imperative for identifying potential invasions, comprehending the processes involved, and preserving the drosophilid fauna of the Cerrado.

**Keywords:** *Drosophila*, biological invasion, monitoring, temporal variation, *Zaprionus*.

## INTRODUÇÃO GERAL

Espécies invasoras são aquelas que, quando introduzidas em uma nova área, se estabelecem, experimentam crescimento populacional e causam impactos. Ao lado das mudanças climáticas, elas se destacam como as principais ameaças à perda de biodiversidade, sendo mencionadas na Ecologia moderna com mais frequência do que outros fatores (Anderson et al., 2021). Essas ameaças são classificadas, pela comunidade científica, dentre as cinco maiores causas da perda da biodiversidade em todo mundo, juntamente com a destruição de habitat, superexploração e poluição (IPES, 2019). Embora as interações entre os fatores que causam essas ameaças sejam mais importantes para sustentar ações conservacionistas do que cada um isoladamente (Van Der WAL et al., 2008; Bellard, Marino, & Courchamp, 2022), a contribuição relativa de espécies exóticas invasoras se tornou especialmente preocupante (Lodge, 1993; Seebens et al., 2017; Pyšek et al., 2020). Nas últimas décadas, o intenso transporte de pessoas e produtos pelo mundo facilitou deslocamentos e introduções de espécies para além de suas regiões biogeográficas originais (Meyerson & Mooney, 2007; Hulme, 2009). A importância desse processo foi reconhecida por Charles Elton em 1958, em seu livro “Biologia da Invasão por Animais e Plantas”. Entretanto, foi a partir da década de 1990 que o tema das invasões biológicas ganhou relevância nos estudos de ecologia e conservação da biodiversidade (Blackburn et al., 2011).

Invasões biológicas ameaçam espécies nativas, funções e serviços ecossistêmicos, a economia e a saúde humanas (IPBES, 2019). Como as espécies exóticas conseguem se adaptar a diferentes condições ambientais e geralmente não possuem inimigos naturais na área invadida, tornam-se excelentes competidoras, o que contribui para se tornarem invasoras (Blackburn, Bellard, & Ricciardi, 2019). Por isso, essas espécies são frequentemente associadas com as causas de extinções de animais e plantas (Bellard, Cassey, & Blackburn, 2016). Ao nível ecossistêmico, espécies invasoras podem alterar habitats, condições da água e ciclagem de nutrientes, entre outros efeitos (Vilà et al., 2010; Simberloff et al., 2013). O impacto econômico das invasões biológicas tem preocupado cientistas, produtores, e tomadores de decisão. Apenas na Europa, um estudo estimou prejuízos econômicos em 140 bilhões de dólares entre 1960 e 2020, principalmente do setor agrícola, relacionados a perdas por danos, provocados por espécies invasoras (Haubrock et al., 2021). Por fim, ao hospedar patógenos de humanos e outros animais (Chinchio et al., 2020), espécies invasoras se tornam um problema para a saúde. Esse

é o caso de *Aedes aegypti*, transmissor do vírus da dengue, Zika e Chikungunya (Bueno et al., 2016). Os impactos negativos ou positivos das invasões biológicas (depende da perspectiva de cada caso) precisam ser entendidos de forma integral para aplicação de estratégias de manejo e conservação adequadas (Simberloff et al., 2013).

Uma das consequências das invasões biológicas é a homogeneização biótica, uma importante ameaça global (Clavel, Julliard, & Devictor, 2011; Olden, Comte, & Giam, 2016) porque resulta no aumento da similaridade entre comunidades (McKinney & Lockwood, 1999). Em um estudo avaliando comunidades de plantas em 14 regiões da Dinamarca ao longo de 140 anos, Finderup Nielsen et al. (2019) encontraram um aumento de riqueza de espécies em todas as regiões, mas também uma homogeneização generalizada entre elas. Para que ocorra redução da diversidade beta em amplas escalas espaciais, entretanto, é preciso que a espécie invasora se estabeleça e se disperse no novo ambiente, o que exige o rompimento de filtros ambientais e bióticos (Jeschke & Heger, 2018). Contudo, é prevista uma considerável redução das espécies introduzidas desde as etapas iniciais até as finais – “*Tens rules hypothesis*” (Williamson, 1996). O sucesso de invasão depende da interação entre os fatores: a invasividade (características da espécie) e a invasibilidade (características do ambiente invadido) (Richardson & Pyšek, 2006). Dado que os atributos das espécies e dos ambientes não são estáticos, são necessários estudos de longo prazo para compreender os mecanismos pelos quais uma espécie se torna invasora (Catford et al., 2019).

Tendo em vista o exposto, muitas das hipóteses do sucesso de invasão abordam características da espécie invasora, do ambiente invadido, e das interações bióticas que ocorrem na área (David et al., 2017; Jeschke & Heger, 2018). Apesar da competição interespecífica ser questionável como responsável por extinções, ela certamente pode gerar afunilamentos populacionais que contribuem para extinções a longo prazo (Sax et al., 2007, David et al., 2017). A competição entre espécies invasoras e nativas pode ocorrer por confrontos diretos (Grangier & Lester, 2011; Charter et al., 2016) ou indiretos, quando as espécies exploram os mesmos recursos limitantes (Petren & Case, 1996). Nesses cenários, comunidades nativas muito diversas podem resistir à competição com espécies invasoras (“*Biotic Resistance Hypothesis*” – Elton, 1958) ou essas últimas podem ter vantagens competitivas devido à falta de capacidade da comunidade nativa lidar com características inéditas da invasora (“*Novel weapons*” - Callaway & Ridenour, 2004). Espécies exóticas também podem interagir positivamente entre si, de modo que a que chegou primeiro facilita a invasão de outra que

chegou depois (“*Meltdown Hypothesis*” - Simberloff & Holle, 1999; Simberloff, 2006). Embora a competição entre espécies exóticas possa influenciar os resultados das invasões, há poucos estudos dessa interação entre espécies no mesmo nível trófico (Rauschert & Shea, 2012).

A teoria das invasões biológicas enfrenta diversos vieses relacionados a escalas ecológicas, taxonômicas, espaciais e temporais (Pyšek et al., 2008; Olden, Comte, & Giam, 2016; Jeschke & Heger, 2018). Os impactos são comumente avaliados em nível populacional e em um curto período de tempo (Crystal-Ornelas & Lockwood, 2020). Espécies com mais potencial de impactar o ecossistema invadido são mais bem estudadas (Pyšek et al., 2008), e os estudos geralmente se concentram onde o efeito ou o invasor são mais visíveis (David et al., 2017; Simberloff et al., 2013). Entretanto, o ideal é que as interferências sutis de espécies exóticas no ambiente também sejam consideradas (Simberloff et al., 2013). Além disso, o suporte empírico para as hipóteses das invasões biológicas se concentra em plantas (60%), com apenas 14% dos estudos em invertebrados (Jeschke & Heger, 2018). Países do hemisfério Norte geram mais informações sobre invasões biológicas (Pyšek et al., 2008; Jeschke & Heger, 2018). No entanto, os conceitos e hipóteses sobre invasões dessas regiões podem não contribuir para o entendimento desse processo em países mega diversos, que geralmente concentram registros e padrões descritivos de espécies invasoras (Frehse et al., 2016).

Nesse estudo, exploramos dados advindos do monitoramento de comunidades de moscas da família Drosophilidae em ambientes urbanos e naturais do Cerrado brasileiro, como uma oportunidade de contribuir para o conhecimento das invasões biológicas. Existem mais de 4.600 espécies de drosofilídeos em todo o mundo (Bächli, 2023) e nos últimos séculos algumas se dispersam para além de suas áreas biogeográficas originais. Algumas espécies dessa família têm sido consideradas bons modelos para estudar invasões biológicas (Gibert et al., 2016), devido a suas características. Drosofilídeos são facilmente capturados, têm altas taxas reprodutivas e, desde o início do século XX, têm sido muito estudados em diversas áreas biológicas (genética, desenvolvimento, biologia molecular e comportamento, dentre outras) (Mohr, 2018). Dentre as 329 espécies de drosofilídeos registrados no Brasil (Tidon et al., 2023), 14 são exóticas à Região Neotropical (Yuzuki & Tidon, 2020; Cavalcanti et al., 2022).

Essas moscas se alimentam de microorganismos e utilizam uma variedade de sítios de criação larval, geralmente em processo de decomposição, como frutos, flores, seiva e fungos (Carson, 1971). Algumas espécies, mais generalistas, podem viver em ambientes perturbados como cidades e fazendas (Powell, 1997). Esse é o caso das cosmopolitas *Drosophila*

*melanogaster* Meigen e *D. simulans* Sturtevant, que exploram uma ampla gama de plantas nativas e introduzidas (Lachaise & Tsacas, 1983). Nos últimos anos, a dispersão da drosófila da asa manchada (*Drosophila suzukii* Matsumura) tem recebido muita atenção devido aos impactos econômicos que ela causa ao colocar ovos em frutos comerciais ainda no pé (Lee, Rodriguez-Saona, & Zalom, 2022). Na região Neotropical, são conhecidas 180 espécies de plantas hospedeiras para a criação de drosofilídeos em áreas naturais, e as espécies exóticas são predominantemente mais generalistas do que as neotropicais (Valadão et al., 2019). O monitoramento de drosofilídeos em uma área natural do Cerrado, ao longo de 25 anos, registrou 13 espécies exóticas, das quais cinco foram detectadas na região Neotropical a partir do final do século XX (*D. malerkotliana* Parshad and Paika, *Zaprionus indianus* Gupta, *D. nasuta* Lamb, *D. suzukii* e *Z. tuberculatus* Malloch). Portanto, é oportuno investigar o padrão de variação temporal dessa comunidade, bem como a eventual relação de mudanças temporais com a entrada de drosofilídeos invasores.

O objetivo geral desta dissertação foi investigar a variação temporal de comunidades de drosofilídeos em dois ambientes, com foco nas espécies exóticas. No primeiro capítulo, investigamos as variações temporais nas comunidades de drosofilídeos em uma reserva ecológica na cidade de Brasília, monitorada ao longo de 25 anos. Hipotetizamos que essa comunidade se alterou devido a introdução de espécies exóticas à região Neotropical durante o período de monitoramento. No segundo capítulo, investigamos a variação temporal na comunidade de drosofilídeos e seus sítios de reprodução em um centro hortifrutigranjeiro na cidade de Brasília, em dois períodos separados por dez anos. Hipotetizamos que os recursos disponíveis nesse local devem beneficiar espécies exóticas e generalistas que, portanto, devem ser mais abundantes que espécies neotropicais, em ambos os períodos. No terceiro capítulo, atualizamos a lista de espécies de drosofilídeos do Cerrado; a última lista datava de 2015 (Roque et al., 2015).

## Referências Bibliográficas

- Anderson, S. C., Elsen, P. R., Hughes, B. B., Tonietto, R. K., Bletz, M. C., Gill, D. A., Holgerson, M. A., et al. (2021). Trends in ecology and conservation over eight decades. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 19(5), 274–282.
- Bächli, G. (2023). TaxoDros: the database on Taxonomy of Drosophilidae. URL <http://taxodros.unizh.ch/>. Acesso em: outubro de 2023.
- Bellard, C., Cassey, P., & Blackburn, T. M. (2016). Alien species as a driver of recent extinctions. *Biology Letters*, 12(2), 20150623.
- Bellard, C., Marino, C., & Courchamp, F. (2022). Ranking threats to biodiversity and why it doesn't matter. *Nature Communications*, 13(1), 2616.
- Blackburn, T. M., Bellard, C., & Ricciardi, A. (2019). Alien versus native species as drivers of recent extinctions. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 17(4), 203–207.
- Blackburn, T. M., Pyšek, P., Bacher, S., Carlton, J. T., Duncan, R. P., Jarošík, V., Wilson, J. R. U., et al. (2011). A proposed unified framework for biological invasions. *Trends in Ecology & Evolution*, 26(7), 333–339.
- Bueno, M. G., Martinez, N., Abdalla, L., Duarte Dos Santos, C. N., & Chame, M. (2016). Animals in the Zika Virus Life Cycle: What to Expect from Megadiverse Latin American Countries. *PLoS neglected tropical diseases*, 10(12), e0005073.
- Callaway, R. M., & Ridenour, W. M. (2004). Novel weapons: Invasive success and the evolution of increased competitive ability. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(8), 436–443.
- Carson, H. L. (1971). *The ecology of Drosophila breeding sites, (Harold L. Lyon arboretum lecture) Carson, Hampton Lawrence (Harold Lyon Arboretum Lecture Number Two edição.)*. University of Hawaii Foundation Lyon Arboretum Fund.
- Catford, J. A., Smith, A. L., Wragg, P. D., Clark, A. T., Kosmala, M., Cavender-Bares, J., Reich, P. B., et al. (2019). Traits linked with species invasiveness and community invasibility vary with time, stage and indicator of invasion in a long-term grassland experiment. *Ecology Letters*, 22(4), 593–604.
- Cavalcanti, F. A. G. S., Ribeiro, L. B., Marins, G., Tonelli, G. S. S. S., Bão, S. N., Yassin, A., & Tidon, R. (2022). Geographic Expansion of an Invasive Fly: First Record of *Zaprionus tuberculatus* (Diptera: Drosophilidae) in the Americas. *Annals of the Entomological Society of America*, 115(3), 267–274.
- Charter, M., Izhaki, I., Ben Mocha, Y., & Kark, S. (2016). Nest-site competition between invasive and native cavity nesting birds and its implication for conservation. *Journal of Environmental Management*, 181, 129–134.
- Chinchio, E., Crotta, M., Romeo, C., Drewe, J. A., Guitian, J., & Ferrari, N. (2020). Invasive alien species and disease risk: An open challenge in public and animal health. *PLoS pathogens*, 16(10), e1008922.
- Clavel, J., Julliard, R., & Devictor, V. (2011). Worldwide decline of specialist species: Toward a global functional homogenization? *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(4), 222–228.
- Crystal-Ornelas, R., & Lockwood, J. L. (2020). The ‘known unknowns’ of invasive species impact measurement. *Biological Invasions*, 22(4), 1513–1525.
- David, P., Thébault, E., Anneville, O., Duyck, P.-F., Chapuis, E., & Loeuille, N. (2017). Chapter One - Impacts of Invasive Species on Food Webs: A Review of Empirical Data. Em D. A. Bohan, A. J. Dumbrell, & F. Massol (Orgs.), *Advances in Ecological Research, Networks of Invasion: A Synthesis of Concepts* (Vol. 56, p. 1–60). Academic Press.
- Elton, C. C. (1958). *The Ecology of Invasions by Animals and Plants*. Springer Netherlands.

- Finderup Nielsen, T., Sand-Jensen, K., Dornelas, M., & Bruun, H. H. (2019). More is less: Net gain in species richness, but biotic homogenization over 140 years. *Ecology Letters*, 22(10), 1650–1657.
- Frehse, F. de A., Braga, R. R., Nocera, G. A., & Vitule, J. R. S. (2016). Non-native species and invasion biology in a megadiverse country: Scientometric analysis and ecological interactions in Brazil. *Biological Invasions*, 18(12), 3713–3725.
- Gibert, P., Hill, M., Pascual, M., Plantamp, C., Terblanche, J. S., Yassin, A., & Sgrò, C. M. (2016). *Drosophila* as models to understand the adaptive process during invasion. *Biological Invasions*, 18(4), 1089–1103.
- Grangier, J., & Lester, P. J. (2011). A novel interference behaviour: Invasive wasps remove ants from resources and drop them from a height. *Biology Letters*, 7(5), 664–667.
- Haubrock, P., Turbelin, A., Cuthbert, R., Novoa, A., Taylor, N., Angulo, E., Ballesteros-Mejia, L., et al. (2021). Economic costs of invasive alien species across Europe. *NeoBiota*, 67, 153–190.
- Hulme, P. E. (2009). Trade, transport, and trouble: Managing invasive species pathways in an era of globalization. *Journal of Applied Ecology*, 46(1), 10–18.
- IPBES (2019). Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.
- Jeschke, J. M., & Heger, T. (Eds.). (2018). *Invasion Biology—Hypotheses and Evidence*. (Vol. 9). CABI.
- Lachaise, D., and Tsacas, L. (1983). Breeding sites in Tropical African *Drosophilids*, in: *The Genetics and Biology of Drosophila* (M. Ashburner, H. L. Carson, and J. N. Thompson, Jr., eds.), Vol. 3d, pp. 221–331, Academic Press, London.
- Lee, J. C., Rodriguez-Saona, C. R., & Zalom, F. G. (2022). Introductory Remarks: Spotlight on Spotted-Wing *Drosophila*. *Journal of Economic Entomology*, 115(4), 919–921.
- Lodge, D. M. (1993). Biological invasions: Lessons for ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, 8(4), 133–137.
- McKinney, M. L., & Lockwood, J. L. (1999). Biotic homogenization: A few winners replacing many losers in the next mass extinction. *Trends in Ecology & Evolution*, 14(11), 450–453.
- Meyerson, L. A., & Mooney, H. A. (2007). Invasive alien species in an era of globalization. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(4), 199–208.
- Mohr, S. E. (2018). *First in Fly*. Harvard University Press.
- Olden, J., Comte, L., & Giam, X. (2016). Biotic Homogenisation. *eLs*, 1–8.
- Petren, K., & Case, T. J. (1996). An Experimental Demonstration of Exploitation Competition in an Ongoing Invasion. *Ecology*, 77(1), 118–132.
- Powell, J. R. (1997). *Progress and prospects in evolutionary biology: The Drosophila model*. Oxford University Press.
- Pyšek, P., Richardson, D., Pergl, J., Jarošík, V., Sixtová, Z., & Weber, E. (2008). Geographical and taxonomic biases in invasion ecology. *Trends in Ecology & Evolution*.
- Pyšek, Petr, Hulme, P. E., Simberloff, D., Bacher, S., Blackburn, T. M., Carlton, J. T., Dawson, W., et al. (2020). Scientists' warning on invasive alien species. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 95(6), 1511–1534.
- Rauschert, E. S. J., & Shea, K. (2012). Invasional interference due to similar inter- and intraspecific competition between invaders may affect management. *Ecological Applications: A Publication of the Ecological Society of America*, 22(5), 1413–1420.
- Richardson, D. M., & Pyšek, P. (2006). Plant invasions: Merging the concepts of species invasiveness and community invasibility. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 30(3), 409–431.

- Roque, F., L. Mencarini, and R. Tidon (2015). Revised list of drosophilid species recorded in the Brazilian Savanna. *Dros. Inf. Serv.* 98: 70-74.
- Sax, D. F., Stachowicz, J. J., Brown, J. H., Bruno, J. F., Dawson, M. N., Gaines, S. D., Grosberg, R. K., et al. (2007). Ecological and evolutionary insights from species invasions. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(9), 465–471.
- Seebens, H., Blackburn, T. M., Dyer, E. E., Genovesi, P., Hulme, P. E., Jeschke, J. M., Pagad, S., et al. (2017). No saturation in the accumulation of alien species worldwide. *Nature Communications*, 8(1), 14435.
- Simberloff, D. (2006). Invasional meltdown 6 years later: Important phenomenon, unfortunate metaphor, or both? *Ecology Letters*, 9(8), 912–919.
- Simberloff, D., Martin, J.-L., Genovesi, P., Maris, V., Wardle, D. A., Aronson, J., Courchamp, F., et al. (2013). Impacts of biological invasions: What’s what and the way forward. *Trends in Ecology & Evolution*, 28(1), 58–66.
- Simberloff, D., & Von Holle, B. (1999). Positive Interactions of Nonindigenous Species: Invasional Meltdown? *Biological Invasions*, 1(1), 21–32.
- Tidon R, Gottschalk MS, Schmitz HJ, Martins MB, Costa SC (2023). Drosophilidae in Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil. PNUD. Disponível em: <<http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil/183187>>. Acesso em: 29 outubro de 2023.
- Valadão, H., Proença, C. E. B., Kuhlmann, M. P., Harris, S. A., & Tidon, R. (2019). Fruit-breeding drosophilids (Diptera) in the Neotropics: Playing the field and specialising in generalism? *Ecological Entomology*, 44(6), 721–737.
- Van Der WAL, R., Truscott, A.-M., Pearce, I. S. K., Cole, L., Harris, M. P., & Wanless, S. (2008). Multiple anthropogenic changes cause biodiversity loss through plant invasion. *Global Change Biology*, 14(6), 1428–1436.
- Vilà, M., Basnou, C., Pyšek, P., Josefsson, M., Genovesi, P., Gollasch, S., Nentwig, W., et al. (2010). How well do we understand the impacts of alien species on ecosystem services? A pan-European cross-taxa assessment. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 8, 135–144.
- Williamson, M. H. (Mark H. (1996). *Biological invasions*. London; New York: Chapman & Hall.
- Yuzuki, K., & Tidon, R. (2020). Identification key for drosophilid species (Diptera, Drosophilidae) exotic to the Neotropical Region and occurring in Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia*, 64.

## CAPÍTULO 1

### **Dinâmica temporal da comunidade de drosofilídeos (Insecta, Diptera) da Reserva Ecológica do IBGE: contribuição das espécies exóticas**

## Resumo

Áreas de proteção ambiental e programas de monitoramentos tornaram-se essenciais visando a conservação da biodiversidade. Nesse contexto, as moscas da família Drosophilidae foram monitoradas nos últimos 25 anos na Reserva Ecológica do IBGE (RECOR), sob o Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD). O objetivo deste estudo foi investigar variações temporais nas comunidades dessas moscas que, ao longo do monitoramento, foram invadidas por quatro espécies de drosofilídeos exóticos. Para tanto, utilizamos dados procedentes de coletas em matas e cerrados, disponíveis na literatura e coletados ao longo do presente trabalho. Em matas, foram analisadas comunidades de onze estações chuvosas interanuais não consecutivas e amostradas de forma padronizada (1998/1999; 1999/2000; 2001/2002; 2009/2010; 2010/2011; 2020/2021; 2013/2014; 2014/2015; 2015/2016; 2021/2022 e 2022/2023); nos cerrados, foram amostradas comunidades de oito das 11 estações chuvosas mencionadas (faltaram: 2009/2010; 2010/2011; 2020/2021). No total, foram contabilizados 123.960 drosofilídeos, 49% deles identificados como espécies exóticas. A riqueza de espécies entre estações chuvosas foi avaliada por curvas de rarefação, que mostraram mais tendência de estabilização nos cerrados do que nas matas. Nos dois tipos vegetacionais, entretanto, as curvas representando estações foram amplamente sobrepostas, dificultando o reconhecimento de eventuais padrões temporais. A abundância relativa de drosofilídeos, calculada para três conjuntos de espécies – (1) exóticas à região Neotropical, (2) neotropicais sinantrópicas e (3) neotropicais restritas à natureza, variou entre estações chuvosas. Espécies pertencentes a todos os grupos deixaram de ser registradas nas coletas mais recentes, mas principalmente as neotropicais restritas à natureza. Por outro lado, outras espécies - principalmente exóticas - se estabeleceram na comunidade ao longo do monitoramento e mantiveram populações estáveis. A abundância média de indivíduos por armadilhas foi correlacionada com os anos de coleta em ordem cronológica para investigar a tendência temporal e mostrou tendência de declínio apenas nos cerrados. Drosofilídeos exóticos alteram as comunidades naturais desses insetos, mas certamente outros fatores antrópicos de ameaças contribuíram para as variações observadas.

**Palavras-chave:** insetos, monitoramento, Cerrado, invasão biológica.

## 1. Introdução

Os seres humanos dependem da biodiversidade para sobreviver, no entanto, nossas atividades estão causando uma destruição generalizada da natureza, levando a declínios populacionais e à extinção de espécies (Prakash & Verma, 2022). Prevê-se uma perda catastrófica da biodiversidade devido ao aquecimento global, com impactos particularmente intensos nos oceanos e florestas tropicais nos próximos anos (Urban, 2015; Trisos, Merow, & Pigot, 2020). Já estão ocorrendo extinções locais devido às mudanças climáticas em centenas de espécies, especialmente para animais tropicais, onde a biodiversidade é mais rica (Wiens, 2016). Contudo, mudanças climáticas não são as únicas ameaças atual e futura à biodiversidade. Vários outros fatores são apontados como causas de declínio e extinção, tais como perda e fragmentação de habitat, poluição, e invasão de comunidades por espécies exóticas (Cardoso et al., 2020). Embora esses fatores de ameaças atuem sinergicamente, invasões biológicas representam a principal ameaça aos invertebrados nas regiões insulares do Atlântico e Pacífico (Leclerc, Courchamp, & Bellard, 2018). Espécies exóticas invasoras podem experimentar aumentos populacionais consideráveis e redefinir as condições ecológicas no novo ambiente, ameaçando as espécies nativas (Simberloff et al., 2013; Pysek et al., 2020; Prakash & Verma, 2022). Portanto, medidas para conter os impactos na biodiversidade tornam-se urgentes.

Diante da crise global da biodiversidade, a comunidade científica e organizações governamentais e não governamentais estão unindo esforços para mitigar a degradação da natureza. Medidas como criação de áreas protegidas e programas de conservação tem sido essencial para preservar ecossistemas (Tilman et al., 2017). Paralelamente, os países estão investindo em sistemas de pesquisa e monitoramento ecológico de longo prazo, como a Rede Internacional de Pesquisa Ecológica de Longa Duração (LTER), que facilita pesquisas multidisciplinares em várias escalas, além de monitoramento de longos períodos (Haughland et al., 2010). Essa rede favorece a colaboração entre cientistas de todo o mundo e gera dados de longo prazo, essenciais para compreensão das pressões antrópicas sobre os ecossistemas e a biodiversidade. Tais programas de monitoramento são essenciais, uma vez que conjuntos de dados de biodiversidade coletados com métodos consistentes ao longo de várias décadas ainda são escassos, o que limitou nossa compreensão de como a biodiversidade muda no tempo (Magurran et al., 2010).

O Brasil aderiu ao sistema LTER através do Programa de Pesquisa Ecológica de Longa Duração (PELD), criado em 1997 (Brasil 1997, Brasil 1998). Atualmente, o PELD congrega 34 sítios de referência em diferentes biomas brasileiros, com objetivo de investigar e monitorar os efeitos das mudanças climáticas, invasões biológicas e incêndios sobre a biodiversidade e serviços ecossistêmicos (Brito, 2020). O presente estudo foi conduzido em um sítio de referência do PELD localizado no Cerrado, um bioma criticamente ameaçado devido à conversão de terras para a agricultura (Rodrigues et al. 2022). O sítio corresponde a uma Área de Proteção Ambiental de uso sustentável das Bacias do Gama e Cabeça de Veado (AGCV). Na AGCV, diversos táxons, ecossistemas e vegetações foram estudados - principalmente por pesquisadores da Universidade de Brasília, em colaboração com outros centros de pesquisas, nacionais e internacionais, destacando a importância de dados de longo prazo para conservação desse bioma (Marques et al., 2022).

Dentre os táxons estudados na AGCV, moscas da família Drosophilidae foram monitoradas ao longo dos últimos vinte e cinco anos. Durante esse período, foram registrados eventos inéditos de invasão de espécies de drosofilídeos no Cerrado, incluindo: *Zaprionus indianus* em 1999 (Tidon, Leite & Leão, 2003); *Drosophila nasuta* e *D. suzukii* em 2013 (Leão et al., 2017) e *Z. tuberculatus*, em 2020 (Cavalcanti et al., 2022). Embora tenham ocorrido ajustes metodológicos ao longo do monitoramento, bem como algumas lacunas, os dados coletados oferecem uma oportunidade única para investigar variações temporais em uma comunidade que foi invadida por quatro espécies de drosofilídeos exóticos no período estudado. Além disso, os resultados deste trabalho possibilitam especulações sobre os efeitos de mudanças climáticas e de uso da terra próximas à AGCV sobre as comunidades de drosofilídeos.

## Objetivos e Hipóteses

O objetivo geral deste estudo foi avaliar a variação temporal nas comunidades de drosofilídeos estabelecidas em duas vegetações típicas do Cerrado localizadas na Reserva Ecológica do IBGE. Para tanto, estabelecemos os seguintes objetivos específicos:

- (i) investigar a variação temporal na riqueza de espécies de drosofilídeos, em mata de galeria e cerrado, entre 1998 e 2023;
- (ii) investigar a variação temporal na abundância relativa de espécies de drosofilídeos, em mata de galeria e cerrado, entre 1998 e 2023;
- (iii) investigar a variação temporal da abundância de indivíduos da família Drosophilidae, em mata de galeria e cerrado, entre 1998 e 2023.

As hipóteses que nortearam o estudo são:

- (i) Tanto a introdução de espécies exóticas como o deslocamento/extinção de espécies neotropicais contribuem para a variação na composição de espécies. Portanto, ao longo do tempo, a composição de espécies das comunidades deve ter se alterado.
- (ii) Partindo-se da premissa que espécies exóticas exploram uma variedade mais ampla de nichos reprodutivos em comparação com espécies neotropicais, elas tendem a se tornar abundantes nos locais invadidos. Portanto, quando espécies exóticas são introduzidas em uma comunidade, é esperado que a abundância relativa de espécies neotropicais diminua.
- (iii) Partindo-se da premissa que espécies exóticas tendem a se tornar abundantes nos locais invadidos, espera-se que a abundância total de indivíduos aumente ao longo do tempo à medida que espécies exóticas são introduzidas.

## **2. Materiais e Métodos**

### **Área de estudo**

O monitoramento de drosofilídeos foi realizado na Reserva Ecológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (RECOR), localizada no centro-sul do Distrito Federal (15°56'54.0"S 47°52'42.5"W), a 26 km ao sul do centro de Brasília (recor.ibge.gov.br). Esta reserva foi criada em 1975 e compõe a Área de Proteção Ambiental Gama-Cabeça de Veado, que faz parte da Zona-Núcleo (Lei de criação Nº 742, de 28/07/94) da Reserva da Biosfera do Cerrado, criada pela UNESCO (Unesco, Brasil, 2003).

Dessa forma, a área de estudo está localizada no bioma Cerrado, o qual corresponde a um complexo de formações vegetais que cobre uma ampla área na porção central do Brasil (Ratter, Ribeiro & Bridgewater, 1997). São descritas onze formações principais de vegetação para o Bioma, classificadas em formações florestais, savânicas, campestres, além de 25 tipos de fitofisionomias. Por isso, o Cerrado é conhecido como um mosaico de fitofisionomias (Ribeiro & Walter, 2008). A RECOR possui diversas formações e tipos de vegetação representativas do Cerrado (Takahashi et al., 2019). O cerrado sentido restrito e a mata de galeria são os tipos mais representativos e correspondem as vegetações em que os drosofilídeos foram coletados. Daqui por diante esses tipos de vegetação são designados como “cerrados” e “matas”, respectivamente. O primeiro, é caracterizado por árvores de pequeno porte, lenhosas e de cascas grossas, sobre estrato gramíneo (Ribeiro & Walter, 1998). O segundo, é classificado como floresta tropical perene, com vegetação arbórea de dossel sempre verde associada a cursos de água (Eiten, 1972). Devido à sua localização no Cerrado, a RECOR segue as mudanças sazonais regulares desse bioma, com um verão chuvoso de outubro a abril e um inverno seco de maio a setembro (Ribeiro e Walter, 1998).

### **Coleta de dados bibliográficos**

Buscamos estudos sobre a comunidade de drosofilídeos da RECOR no acervo do Laboratório de Biologia Evolutiva da Universidade de Brasília. Vale ressaltar que os estudos sobre esses insetos na RECOR foram exclusivamente realizados pelo grupo de pesquisas desse laboratório, coordenado pela professora Rosana Tidon. Após análise dos títulos, resumos e materiais e métodos, foram selecionados os estudos que atendiam aos seguintes critérios:

- (i) os drosofilídeos foram coletados na RECOR utilizando o método de armadilhas de garrafas PET iscadas com banana;

- (ii) as armadilhas foram instaladas a aproximadamente 1,5 metros do solo;
- (iii) as coletas foram realizadas nos meses que compreendem as estações chuvosas (outubro a abril);
- (iv) as coletadas foram realizadas em cerrados ou em matas;
- (v) foi realizada a determinação taxonômica dos espécimens coletados.

Foram selecionadas uma tese, duas dissertações e um artigo científico. A partir da sessão metodológica dos estudos, foram extraídas as principais informações sobre as coletas (Tabela 1).

Tabela 1. Informações metodológicas dos estudos selecionados para esta pesquisa.

Estudo	Autores /ano	Estação chuvosa	cerrado sentido restrito		mata de galeria	
			Total de meses	Total de armadilhas	Total de meses	Total de armadilhas
Artigo científico	Rosana Tidon (2006)	1998 - 1999	3	30	3	30
		1999 - 2000	7	70	7	70
Dissertação de mestrado	Renata A. da Mata (2002)	2001 - 2002	6	108	6	36
Tese de doutorado	Sabrina C. F. de Oliveira (2013)	2009 - 2010	-	-	2	30
		2010 -2011	-	-	4	60
		2013 - 2014	4	180	4	180
Dissertação de mestrado	Bárbara F. D. Leão (2016)	2014 - 2015	4	180	4	180
		2015 - 2016	3	135	4	180

### Coleta de drosofilídeos em campo

Além dos dados bibliográficos, coletamos drosofilídeos ao longo de três estações chuvosas: (i) em fevereiro e abril de 2021; (ii) em dezembro de 2021, fevereiro e abril de 2022; e (iii) em fevereiro e março de 2023. Na estação (i), foram amostradas apenas vegetações de matas, enquanto nas estações subsequentes, cerrados foram incluídos. Essa alteração se deve ao fato de que a implementação deste estudo, que tem como objetivo investigar a variação temporal em ambas as vegetações, ocorreu após a coleta de dados da primeira estação.

As seis matas amostradas na estação (i), cada uma com uma armadilha/mês, estão indicadas na Figura 1. Nas estações (ii) e (iii), amostramos três matas, em cada mês, dentre as áreas 1, 2, 3 e 6, com um total de 45 e 61 armadilhas, respectivamente, em cada estação. Também, nas estações (ii) e (iii), amostramos três cerrados, em cada mês, adjacentes às matas

selecionadas, com um total de 27 e 18 armadilhas, respectivamente, em cada estação. Conforme sugerido por Mata et al. (2014), as distâncias entre as áreas foram mantidas em pelo menos 100 metros em cerrados e 60 metros em matas, para conferir independência amostral.

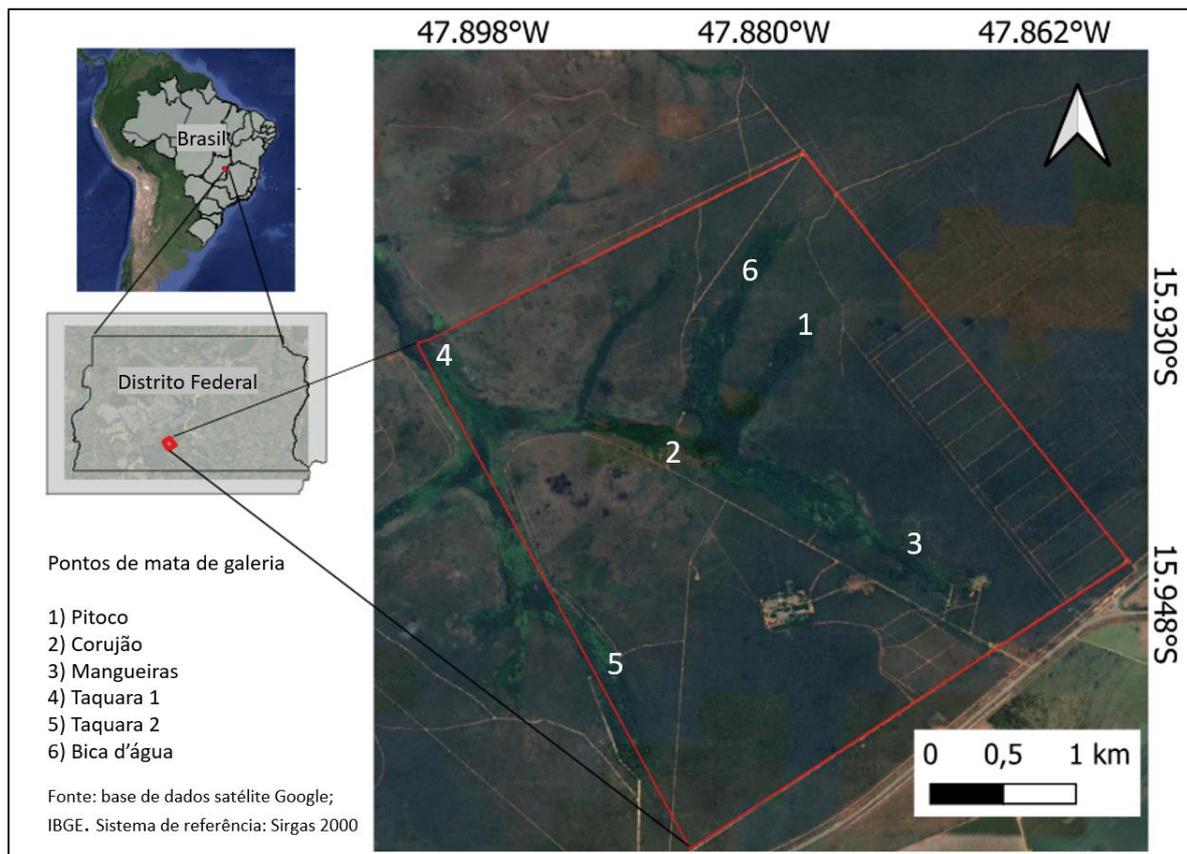


Figura 1. Mapa de localização dos pontos de coletas em matas de galeria da Reserva Ecológica do IBGE. Vegetações de cerrado sentido restrito adjacentes as matas também foram amostradas.

Drosofilídeos adultos vivos foram coletados por meio de armadilhas de garrafas PET adaptadas de Roque et al. (2011) (Figura 2, A-F). Neste estudo, substituímos o fundo da garrafa PET que bloqueia o acesso dos drosofilídeos à isca (Figura 2, E) por um tecido fino (Figura 2, G), com objetivo de disseminar melhor o odor da isca e assim aumentar a atratividade para esses insetos. Utilizamos isca de banana fermentada com *Saccharomyces cerevisiae* para atrair os drosofilídeos para a armadilha. Essa mistura foi preparada no dia anterior ao trabalho de campo e permaneceu em repouso por aproximadamente 12 horas antes de ser adicionada à armadilha para iniciar o processo de fermentação. As armadilhas foram instaladas em galhos de árvores a uma altura de aproximadamente 1,5 metro do solo e permaneceram no campo, em

média, por 72 horas. Esses procedimentos metodológicos são comuns a todos os estudos bibliográficos selecionados (Tabela 1), garantindo consistência no método de amostragem entre os estudos.

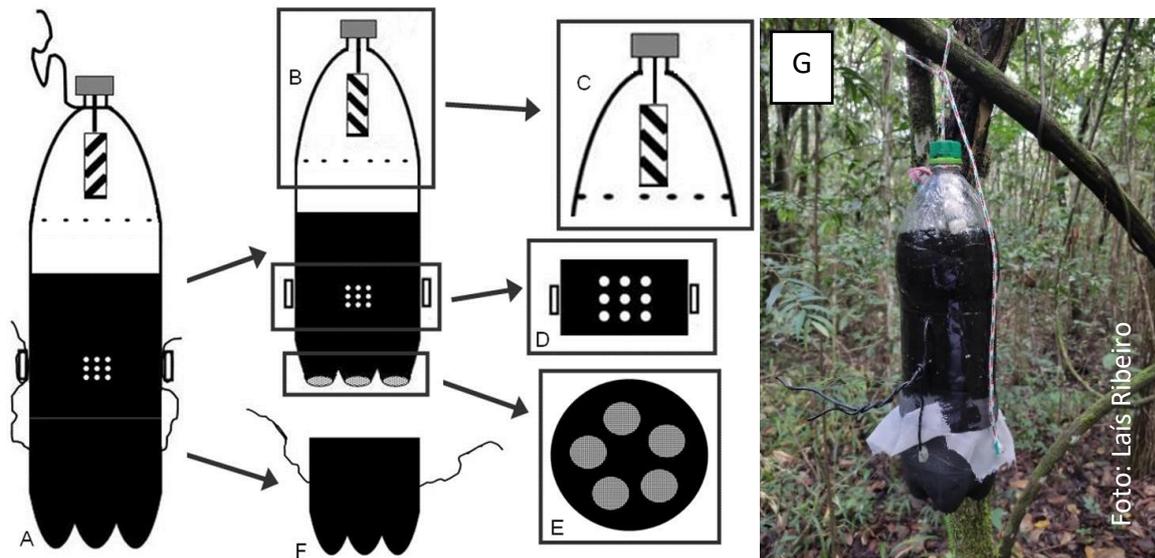


Figura 2. Armadilha para captura de drososfilídeos confeccionada com garrafa PET apresentada em Roque et al. 2011 (A-F). A) armadilha completa, B) compartimento de retenção de moscas, C) poleiro e pequenos furos para eliminação da umidade, D) furos para entrada de moscas E) furos para passagem do cheiro da isca, F) compartimento de armazenamento de iscas e, G) fotografia da armadilha de garrafa PET disposta em campo, mostrando a adaptação realizada neste trabalho (tecido fino).

### Determinação taxonômica de drososfilídeos

Os drososfilídeos foram extraídos das armadilhas ainda em campo e armazenados em tubos *Falcon* (50 ml) contendo álcool 70%, com registro de local e data da coleta. Posteriormente, essas amostras foram transportadas para o laboratório, onde os espécimens foram identificados sob uma lupa estereoscópica. A maioria das espécies foi determinada com chaves taxonômicas da morfologia externa, em alguns casos, realizamos extração e coloração da terminália masculina para determinar a espécie com base nessa estrutura (Dobzhansky & Pavan, 1943; Pavan & Cunha, 1947; Freire-Maia & Pavan, 1949; Frota-Pessoa, 1954; Val, 1982; Vilela & Bächli 1990; Vilela 1983; Yuzuki & Tidon, 2020). As espécies do subgrupo *D. willistoni* não foram identificadas ao nível de espécie, e os estudos bibliográficos (listados na Tabela 1) que realizaram tal identificação tiveram essas espécies agrupadas ao nível de subgrupo. No Cerrado, esse subgrupo compreende três espécies crípticas sendo que *D.*

*willistoni* é extremamente mais comum que as outras duas (Roque, Leão, & Tidon, 2017). Da mesma forma, mantivemos as espécies do gênero *Rhinoleucophenga* no nível de gênero devido à limitação de chaves taxonômicas disponíveis para este grupo no Cerrado.

Em alguns casos, não foi possível identificar os espécimens ao nível de gênero ou grupo ou espécie, e esses foram tratados como morfoespécies. Todos os estudos bibliográficos selecionados incluíam morfoespécies, especialmente em vegetações de matas. No entanto, devido à falta de descrição detalhada para cada uma delas, foi necessário agrupá-las na categoria “não identificadas” em cada estudo, a fim de preservar os dados de abundância. Ao final do processo de determinação taxonômica, os drosofilídeos foram depositados na Coleção do Laboratório de Biologia Evolutiva da Universidade de Brasília.

Por fim, com base em seus registros em áreas urbanas do Cerrado (Ferreira & Tidon, 2005; Ribeiro, Proença, & Tidon, 2023), os drosofilídeos foram classificados em três grupos de espécies: exóticas, neotropicais restritas à natureza, ou sinantrópicas.

## **Análise de dados**

Os dados da comunidade de drosofilídeos da RECOR, coletados entre 1998 e 2023, foram tabulados separadamente para cada tipo de vegetação. Cada tabela contém informações sobre o ano, mês, e o número de armadilhas da coleta. Com base nessas informações, quantificamos oito estações chuvosas interanuais (de outubro a abril) em cerrados (1998/1999; 1999/2000; 2001/2002; 2013/2014; 2014/2015; 2015/2016; 2021/2022; 2022/2023) e onze estações chuvosas interanuais em matas (1998/1999; 1999/2000; 2001/2002; 2009/2010; 2010/2011; 2013/2014; 2014/2015; 2015/2016; 2020/2021; 2021/2022; 2022/2023). As estações chuvosas, em ambas as vegetações, possuem de dois a sete meses amostrados. Para manter o mínimo de dois meses por estação chuvosa, os dados de 2000-2001 em mata que incluía apenas um mês (abril), foram excluídos.

Investigamos a variação temporal na riqueza de espécies entre as estações por meio de curvas de rarefação baseadas no número de indivíduos (Gotelli & Colwell, 2001) e suas extrapolações (Colwell et al., 2012; Chao & Jost, 2012). Para esse fim, utilizamos o pacote iNext do software R (R Core Team, 2021, versão 4.1.0) e um intervalo de confiança de 95%. As curvas de rarefação nos permitem comparar a riqueza de espécies sob diferentes esforços amostrais, bem como avaliar a suficiência amostral (Magurran & McGill, 2011). Em

complemento, comparamos a riqueza de espécies entre estações tomando como parâmetro três menores valores de N (número de indivíduos) definidos pelo software Past 4.03.

As espécies coletadas entre 1998 e 2023 foram tabeladas em ordem decrescente de abundância, acompanhadas do código: E (exótica à região Neotropical), S (neotropical sinantrópica), ou N (neotropical restrita à natureza). Além disso, calculamos a frequência de ocorrência de cada espécie, dada pelo número de estações chuvosa onde cada uma ocorreu dividido pelo número total de estações chuvosas amostradas (8 nos cerrados e 11 nas matas). Adicionalmente, investigamos a variação na abundância relativa dos grupos de espécies (E, S e N) por meio de gráficos de barras, em cerrados e matas. A abundância relativa foi calculada pelo total de indivíduos de cada grupo dividido pelo total de indivíduos em cada estação e o resultado foi multiplicado por 100. No grupo das espécies exóticas (E), foram nomeadas aquelas com abundância igual ou superior a 1% por estação chuvosa. Portanto, se a espécie correspondeu a pelo menos 1% dos drosofilídeos na primeira estação, mas não na segunda, sua abundância foi visualizada apenas na barra da primeira estação.

Para estimar a variação temporal na abundância de drosofilídeos, nós dividimos o número de indivíduos amostrados em cada mês de coleta pelo número de armadilhas instaladas naquele mês ( $N_{ind.mês}/N_{arm.mês}$ ). Assim, obtivemos uma média e desvio padrão do número de indivíduos por armadilha por estação chuvosa. Para avaliar diferenças significativas na abundância média de drosofilídeos entre estações chuvosas, aplicamos o teste de hipótese de Kruskal Wallis. Quando necessário, usamos o teste de Dunn-Bonferroni como post hoc, para identificar quais grupos diferiam entre si. Estações chuvosas com apenas dois eventos amostrais não foram consideradas.

Em seguida, investigamos a tendência da abundância média de indivíduos por armadilha, ao longo do tempo. Para isso, calculamos a correlação entre a média de drosofilídeos por armadilha em cada estação com os anos de coleta em ordem cronológica, utilizando o método de Spearman ( $\rho$ ), com significância estatística ( $p < 0.05$ ). Da mesma forma, calculamos a correlação entre a média de drosofilídeos de cada grupo de espécies (E, S e N) com os anos de coleta em ordem cronológica.

### 3. Resultados

Considerando todos os períodos de estudo e vegetações, foram contabilizados 123.960 drosofilídeos. Dentre eles, foram identificadas 54 espécies nominais, dois subgrupos do gênero *Drosophila* (subgrupo *D. willistoni* e subgrupo *D. fasciola*), um gênero (*Rhinoleucophenga*) e um grupo de morfoespécies. Espécimens classificados em espécies exóticas à região Neotropical corresponderam 49% da abundância total de drosofilídeos e representaram 13 espécies, sendo *Z. indianus* a mais abundante (41.694 indivíduos). Espécimens classificados em espécies neotropicais restritas à natureza corresponderam a 33% da amostra, e espécies neotropicais sinantrópicas a 18%.

#### Variação temporal na riqueza de drosofilídeos

Nos cerrados, as curvas de algumas estações atingiram a assíntota e outras não. Com o esforço amostral de 101 indivíduos nenhuma diferença foi indicada (Figura 3A). Com o aumento do esforço amostral ( $N = 1401$  e  $N = 2901$ ), apenas uma estação (2001/2002) se destacou com mais espécies (Figura 3A). Entretanto, com esforços amostrais mais substanciais (a partir de 4.000 indivíduos), os intervalos de confiança das curvas apresentaram ampla sobreposição. Portanto, não observamos variações relevantes na riqueza de espécies.

Nas matas, a maioria das curvas não atingiu a assíntota, indicando que a riqueza de espécies foi insuficientemente amostrada. Embora nem todas as curvas estejam sobrepostas umas às outras, não é possível identificar um padrão temporal nas 11 estações chuvosas amostradas (Figura 3B).

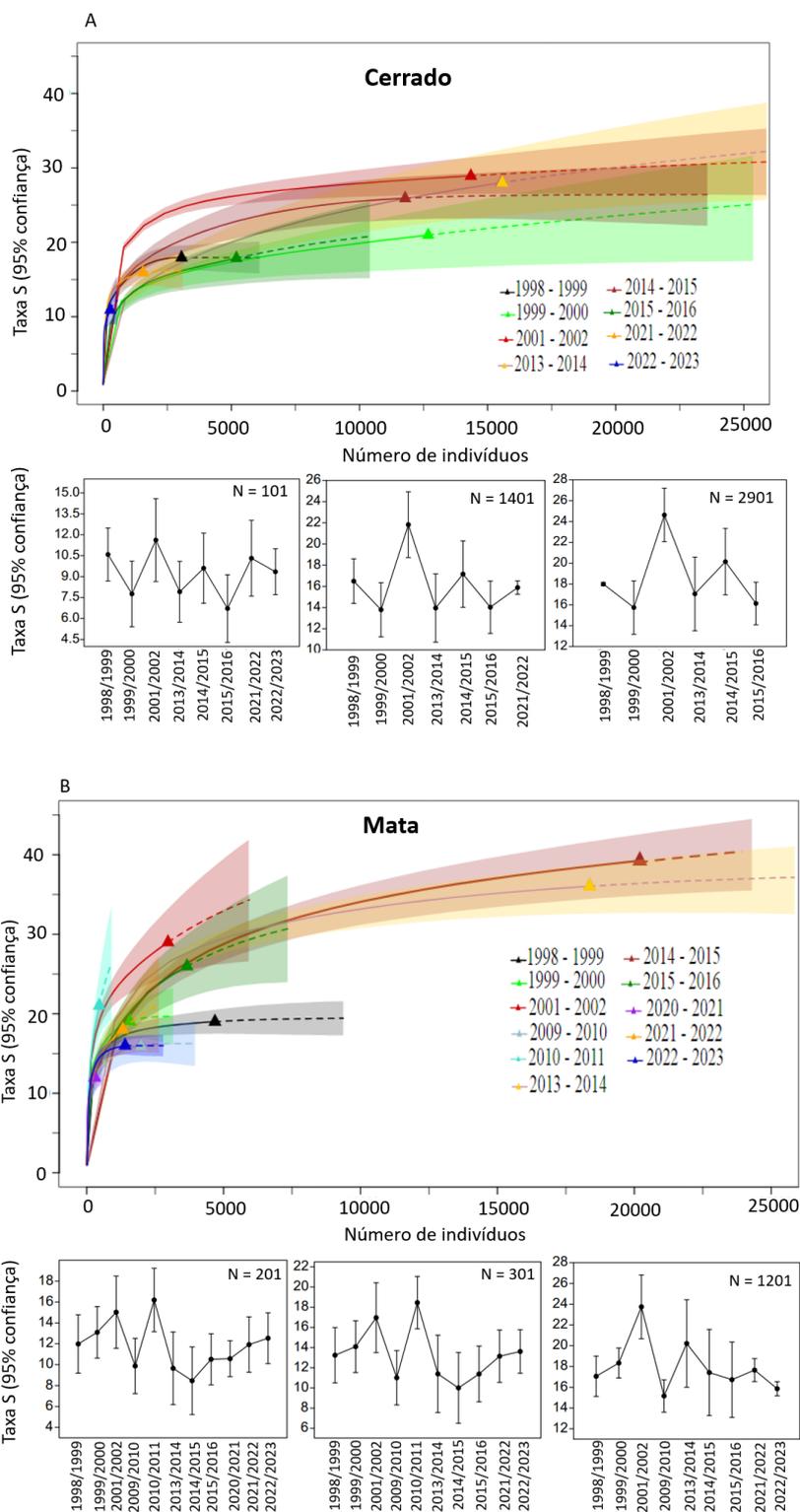


Figura 3. Curvas de rarefação baseada em número de indivíduos em vegetações de (A) cerrado restrito, em oito estações chuvosas e (B) matas de galeria, em onze estações chuvosas, na Reserva Ecológica do IBGE. Os gráficos (i), (ii) e (iii) em cada figura, comparam a riqueza de espécies entre estações chuvosas tomando como parâmetro três esforços amostrais estabelecidos pelo software estatístico Past 4.03.

## Variação temporal na abundância relativa de drosofilídeos

Observamos que a maioria das espécies - em ambas as vegetações - não ocorreu em todas as estações chuvosas. Nos cerrados, sete espécies (15%) estiveram presentes nas oito estações amostradas (Tabela 2) enquanto 23 espécies (49%) apareceram apenas em uma ou duas. Nas matas, cinco espécies (10%) ocorreram nas 11 estações amostradas (Tabela 3), enquanto 37 espécies (71%) foram registradas em seis estações ou menos. Portanto, ao longo das estações chuvosas, poucas espécies mantiveram populações estáveis e foram capturadas em todas as estações.

Nos cerrados, quando comparamos a composição de espécies do primeiro biênio amostrado (1998/1999 e 1999/2000) com o último (2021/2022, 2022/2023), observamos que doze espécies que estavam presentes no início do monitoramento - *D. hydei* (E7), *D. immigrans* (E8), *D. busckii* (E10), *D. polymorpha* (S5), *D. nigricruria* (N3), *D. ornatifrons* (N4), *D. mediotriata* (N9), *D. neocardini* (N16), *D. austrosaltans* (N23), *D. aragua* (N24), *D. mesostigma* (N30) e *D. pallidipennis* (N33) - deixaram de ser registradas. Por outro lado, *D. nasuta* (E4), *Z. tuberculatus* (E6), *D. suzukii* (E9), *D. ananassae* (E11), o gênero *Rhinoleucophenga sp.* (N6) e subgrupo *D. fasciola* (N31), que não haviam sido registrados no início do monitoramento, estiveram presentes no último biênio. Nas matas, quando comparamos a composição de espécies do primeiro triênio (1998/1999, 1999/2000 e 2001/2002) com o último (2020/2021, 2021/2022 e 2022/2023), 21 espécies registradas entre 1998 e 2002 não foram detectadas entre 2020 e 2023: *D. hydei* (E7), *D. busckii* (E10), *D. polymorpha* (S5), *D. cardinoides* (S7), *D. paranaenses* (S8), *D. nigricruria* (N3), *D. paraguayensis* (N5), *D. mediopunctata* (N8), *D. mediotriata* (N9), *D. maculifrons* (N10), *D. bocainenses* (N12), *D. fuscolineata* (N13), *D. guaru* (N15), *D. neocardini* (N16), *D. bandeirantium* (N17), *D. atrata* (N18), *D. austrosaltans* (N23), *D. aragua* (N24), *D. schildi* (N25), *D. ararama* (N27) e *D. neoguaramunu* (N29). Por outro lado, *D. nasuta* (E4), *Z. tuberculatus* (E6), *D. suzukii* (E9), *D. ananassae* (E11), *Rhinoleucophenga sp.* (N6), *D. arauana* (N14) e *Neotanygastrella tricoloripes* (N36) passaram a ser registradas. Em ambas as vegetações, três das espécies (E4, E6 e E9) que foram registradas no último biênio e triênio, foram introduzidas após 2013. Das quatro espécies introduzidas no século XXI, *Z. indianus* (E1), *D. nasuta* (E4) e *Z. tuberculatus* (E6) foram encontradas continuamente desde seu

primeiro registro em cerrados e matas. A exceção foi *D. suzukii* (E9), que ocorreu esporadicamente e apenas em matas.

Nos cerrados, as espécies exóticas dominaram quase todas as estações chuvosas (Figura 4A). Contudo, na última estação amostrada, espécies neotropicais sinantrópicas (S1, S2, S3 e S4) foram as mais abundantes (Tabela 2). A proporção de espécies neotropicais restritas à natureza foi a mais baixa (< 5%) em todas as estações chuvosas. Dessas últimas, apenas o subgrupo de espécies *D. willistoni* apresentou abundância relativa maior que 1% em algumas estações (1998 = 4%; 2001 = 2%; 2013 = 1% e 2014 = 2%).

A espécie exótica mais abundante no cerrado em 1998/1999 (39%), *D. simulans* (E2), teve sua abundância relativa persistentemente reduzida nas estações seguintes e não foi registrada na última estação amostrada (Figura 4A). Por outro lado, *Z. indianus* (E1), introduzida em 1998/1999, passou a ser a espécie dominante ao longo de seis estações chuvosas amostradas (1999/2000; 2001/2002; 2013/2014; 2014/2015; 2015/2016; e 2021/2022). Em 2021/2022, *Z. tuberculatus* (E6) foi registrada pela primeira vez no monitoramento, já como a segunda espécie exótica mais abundante. Em 2022/2023, a abundância relativa das espécies exóticas, bem como de *Z. indianus*, foram as menores já registradas desde 1999; nessa última estação a abundância de espécies neotropicais sinantrópicas aumentou, principalmente representada por *D. sturtevanti* (S1).

Nas matas, a abundância de espécies exóticas foi maior do que a de neotropicais apenas nas duas primeiras estações, com forte dominância de *D. simulans* (E2) (Figura 4B). Contudo, a abundância relativa dessa espécie se reduziu ao longo das estações e ficou abaixo de 1% a partir de 2021. Com a redução da abundância relativa das espécies exóticas, predominaram espécies neotropicais sinantrópicas e restritas à natureza nas estações subsequentes, sendo, *D. sturtevanti* (S1) e o subgrupo *D. willistoni* (N1) as mais abundantes (Tabela 3). Na estação 2015/2016, a proporção de espécies exóticas aumentou principalmente pela contribuição de *D. simulans*, *Z. indianus*, *D. nasuta* e *Z. tuberculatus*. Em 2020/2021, a abundância de *D. simulans* e *Z. indianus* foi reduzida e dominaram apenas as outras duas espécies. Após essa estação, *D. nasuta* se tornou a principal espécie exótica do grupo. Em 2022/2023, registramos a menor abundância de espécies exóticas em matas, em relação as outras estações amostradas. Nas três últimas estações chuvosas, as espécies neotropicais sinantrópicas, principalmente *D. sturtevanti*, se tornaram mais abundantes do que as restritas à natureza.

Tabela 2. Drosofilídeos registrados na Reserva Ecológica do IBGE em oito estações chuvosas em vegetação de cerrado sentido restrito, entre 1998 e 2023. **Cód**: código de classificação do táxon em exótico à região Neotropical “E”, neotropical sinantrópico “S” e neotropical restritas à natureza “N”, associado a um número identificador do táxon; **Nind.**: número de indivíduos; **Freq.oc.**: frequência de ocorrência do táxon.

Táxons	Cód	Nind.	Freq.oc.	Abundância relativa (%) de drosofilídeos por estação chuvosa em cerrado sentido restrito								
				1998	1999	2001	2013	2014	2015	2021	2022	2023
				1999	2000	2002	2014	2015	2016	2022	2023	
<i>Zaprionus indianus</i>	E1	40.012	1,00	3,68	78,12	49,19	66,67	65,19	77,88	52,00	18,15	
<i>D. sturtevanti</i>	S1	5.408	1,00	17,98	4,16	8,76	8,75	10,43	2,54	15,96	40	
<i>D. simulans</i>	E2	5.063	0,90	38,89	7,62	6,99	6,18	3,67	9,40	1,81	0	
<i>D. cardini</i>	S2	3.704	1,00	2,13	0,04	11,44	3,49	9,14	6,25	1,68	8,89	
<i>D. mercatorum</i>	S3	2.433	1,00	11,85	2,83	9,13	0,90	1,77	0,25	2,07	4,07	
<i>D. malerkotliana</i>	E3	2.369	1,00	5,81	0,92	0,84	10,17	2,38	1,25	0,90	6,30	
<i>D. nebulosa</i>	S4	1.729	1,00	0,30	2,73	5,07	1,47	2,57	1,21	2,39	5,93	
Sbg. <i>D. willistoni</i>	N1	955	0,90	3,77	0,71	1,62	1,55	2,20	0,01	0,78	0	
<i>Scaptodrosophila latifasciaeformis</i>	E5	542	1,00	5,74	0,28	0,68	0,34	1,14	0,27	1,03	5,93	
<i>D. polymorpha</i>	S5	482	0,60	7,02	1,93	0,13	0	0,03	0,02	0	0	
<i>D. hydei</i>	E7	348	0,50	2,23	0,09	1,85	0,02	0	0	0	0	
<i>D. nigricruria</i>	N3	310	0,60	0,07	0,01	2,11	0,01	0,03	0	0	0	
<i>Z. tuberculatus</i>	E6	307	0,25	0	0	0	0	0	0	18,22	9,26	
<i>Rhinoleucophenga sp.</i>	N6	205	0,60	0	0	0,67	0	0,39	0,37	1,74	0,37	
<i>D. paranaensis</i>	S8	58	0,40	0	0	0,38	0,01	0,02	0	0	0	
<i>D. immigrans</i>	E8	56	0,60	0,10	0,24	0,07	0,03	0,07	0	0	0	
<i>D. suzukii</i>	E9	45	0,60	0	0	0	0,03	0,26	0,12	0,13	0,74	
<i>D. mediotriata</i>	N9	43	0,60	0	0,06	0,10	0,03	0,10	0,08	0	0	
<i>D. busckii</i>	E10	40	0,40	0,10	0,17	0,10	0	0	0	0	0	
<i>D. prosaltans</i>	S6	40	0,75	0,07	0	0,19	0,01	0,03	0,02	0,32	0	
<i>D. cardinoides</i>	S7	39	0,25	0	0	0,26	0,01	0	0	0	0	
<i>D. buzzatii</i>	N11	36	0,40	0	0	0	0,09	0,15	0,08	0	0	
<i>D. nasuta</i>	E4	26	0,60	0	0	0	0,02	0,02	0,15	0,78	0,37	

Continuação

Táxons	Cód	Nind.	Freq.oc.	Abundância relativa (%) de drosofilídeos por estação chuvosa em cerrado sentido restrito							
				1998	1999	2001	2013	2014	2015	2021	2022
				1999	2000	2002	2014	2015	2016	2022	2023
<i>D. ornatifrons</i>	N4	17	0,50	0	0,01	0,09	0,01	0,02	0	0	0
<i>D. fuscolineata</i>	N13	15	0,13	0	0	0,10	0	0	0	0	0
<i>D. maculifrons</i>	N10	13	0,25	0	0	0,06	0	0,03	0	0	0
<i>D. bocainensis</i>	N12	8	0,25	0	0	0,05	0,01	0	0	0	0
<i>D. austrosaltans</i>	N23	7	0,25	0,10	0,03	0	0	0	0	0	0
<i>D. aragua</i>	N24	6	0,25	0	0,01	0,03	0	0	0	0	0
<i>D. neocardini</i>	N16	6	0,40	0,10	0,02	0,01	0	0	0	0	0
<i>D. fumipennis</i>	N2	4	0,25	0	0	0,01	0	0,02	0	0	0
<i>D. repleta</i>	S9	4	0,13	0	0	0,03	0	0	0	0	0
<i>D. mesostigma</i>	N30	3	0,25	0,07	0,01	0	0	0	0	0	0
<i>D. paramediotriata</i>	N20	3	0,13	0	0	0	0	0,03	0	0	0
<i>D. ananassae</i>	E11	2	0,25	0	0	0	0,01	0	0	0,06	0
<i>D. mediopunctata</i>	N8	2	0,13	0	0	0	0,01	0	0	0	0
Sbg. <i>D. fasciola</i>	N31	2	0,13	0	0	0	0	0	0	0,13	0
<i>D. aldrichi</i>	N34	1	0,13	0	0	0	0,01	0	0	0	0
<i>D. atrata</i>	N18	1	0,13	0	0	0	0	0	0,02	0	0
<i>D. guaru</i>	N15	1	0,13	0	0	0	0	0,01	0	0	0
<i>D. kikkawai</i>	E12	1	0,13	0	0	0	0,01	0	0	0	0
<i>D. medioimpressa</i>	N35	1	0,13	0	0	0,01	0	0	0	0	0
<i>D. paglioli</i>	N21	1	0,13	0	0	0	0,01	0	0	0	0
<i>D. pallidipennis</i>	N33	1	0,13	0	0,01	0	0	0	0	0	0
<i>D. schildi</i>	N25	1	0,13	0	0	0,01	0	0	0	0	0
<i>D. trapeza</i>	N26	1	0,13	0	0	0	0	0,01	0	0	0
Não identificadas	N7	50	0,40	0	0	0	0,19	0,31	0,02	0	0
Número de indivíduos		64.401		3.047	12.681	14.343	15.520	11.788	5.204	1.548	270

Tabela 3. Drosofilídeos registrados na Reserva Ecológica do IBGE em onze estações chuvosas em vegetação de mata de galeria, entre 1998 e 2023. **Cód.**: código de classificação do táxon em exótico à região Neotropical “E”, neotropical sinantrópico “S” e neotropical restritas à natureza “N”, associado a um número identificador do táxon; **Nind.**: número de indivíduos; **Freq.oc.**: frequência de ocorrência do táxon.

Táxons	Cód.	Nind.	Fqoc.	Abundância relativa (%) de drosofilídeos por estação chuvosa em mata de galeria											
				1998	1999	2001	2009	2010	2013	2014	2015	2020	2021	2022	
				1999	2000	2002	2010	2011	2014	2015	2016	2021	2022	2023	
<i>Sbg. D. Willistoni</i>	N1	38.129	0,82	0	0	33,51	63,60	36,47	75,11	89,26	39,99	14,55	18,45	32,54	
<i>D. sturtevanti</i>	S1	6.578	1,00	14,03	20,22	27,26	12,47	28,41	10,10	2,69	10,89	41,01	53,66	42,12	
<i>D. simulans</i>	E2	5.801	1,00	60,80	37,45	9,41	2,78	10,51	3,62	3,38	11,41	1,32	0,53	0,86	
<i>D. malerkotliana</i>	E3	2.781	1,00	10,44	13,05	0,54	11,96	1,57	6,18	1,61	4,78	6,08	3,13	3,10	
<i>Zaprionus indianus</i>	E1	1.682	0,91	0	8,81	4,27	2,07	7,83	2,08	0,80	14,46	3,44	1,52	2,59	
<i>D. nebulosa</i>	S4	855	1,00	0,15	4,94	12,54	4,19	3,80	0,71	0,26	0,89	3,17	1,60	2,45	
<i>D. nasuta</i>	E4	758	0,55	0	0	0	0	0	0,01	0,03	10,00	13,76	8,84	6,19	
<i>D. cardini</i>	S2	481	1,00	1,07	0,32	3,06	0,15	0,22	0,26	0,23	2,74	2,38	0,46	6,05	
<i>D. fumipennis</i>	N2	354	0,45	0	0	0	0,30	0,45	0,17	0,55	3,95	0	0	0	
<i>D. polymorpha</i>	S5	270	0,64	3,42	2,09	1,11	0	0,45	0,07	0,13	0,06	0	0	0	
<i>D. immigrans</i>	E8	254	0,82	3,31	1,58	0,47	0	1,12	0,17	0,07	0,06	0,26	0,23	0	
<i>D. mercatorum</i>	S3	243	0,73	1,73	2,79	2,76	0	0	0,10	0,02	0,16	0	0,15	0,29	
<i>D. ornatifrons</i>	N4	217	0,91	0,23	3,99	1,78	0	0,67	0,24	0,12	0,10	0,26	0,08	0,79	
<i>D. paraguayensis</i>	N5	216	0,73	2,11	2,60	0,37	0,61	1,57	0,11	0,11	0,04	0	0	0	
<i>Z. tuberculatus</i>	E6	130	0,27	0	0	0	0	0	0	0	0	13,49	5,03	0,94	
<i>D. prosaltans</i>	S6	90	0,55	0	0	0,20	0	1,57	0,01	0,02	0,10	0	4,95	0	
<i>D. mediopunctata</i>	N8	87	0,64	0	0,25	0,30	0,10	3,13	0,15	0,13	0,04	0	0	0	
<i>Scaptodrosophila latifasciaeformis</i>	E5	85	0,91	0,90	0,19	0,03	0,20	0,22	0,04	0,02	0,08	0	0,38	1,01	
<i>D. maculifrons</i>	N10	37	0,36	0	0	0,20	0	0,22	0,10	0,05	0	0	0	0	
<i>D. mediotriata</i>	N9	35	0,55	0	0,06	0,24	0	0,22	0,08	0,05	0,02	0	0	0	
<i>D. cardinoides</i>	S7	34	0,27	0,51	0	0	0,20	0	0,03	0	0	0	0	0	
<i>D. hydei</i>	E7	34	0,27	0,19	0,13	0,74	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>D. arauna</i>	N14	31	0,36	0	0	0	0	0	0,11	0	0,02	0	0,08	0,50	
<i>D. bocainensis</i>	N12	26	0,36	0	0	0,03	0	0	0,11	0,02	0,02	0	0	0	
<i>D. guaru</i>	N15	23	0,55	0,02	0,13	0,07	0	0	0,07	0,02	0,02	0	0	0	
<i>D. bandeirantorum</i>	N17	20	0,18	0	0	0,03	0	0	0,10	0	0	0	0	0	

Continuação

Táxons	Cód.	Nind.	Fqoc.	Abundância relativa (%) de drosofilídeos por estação chuvosa em mata de galeria											
				1998	1999	2001	2009	2010	2013	2014	2015	2020	2021	2022	
				1999	2000	2002	2010	2011	2014	2015	2016	2021	2022	2023	
<i>D. fuscolineata</i>	N13	18	0,18	0	0,13	0,54	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>D. atrata</i>	N18	17	0,45	0	0	0,10	0,20	0,89	0	0,01	0,06	0	0	0	
<i>D. neocardini</i>	N16	17	0,27	0,30	0	0	0,05	0	0,01	0	0	0	0	0	
<i>D. cuaso</i>	N19	15	0,09	0	0	0	0	0	0	0,07	0	0	0	0	
<i>D. nigricruria</i>	N3	14	0,27	0,13	0	0,24	0	0	0,01	0	0	0	0	0	
<i>D. suzukii</i>	E9	13	0,18	0	0	0	0	0	0	0,05	0	0	0	0,22	
<i>D. paramediostriata</i>	N20	12	0,18	0	0	0	0	0	0,03	0,03	0	0	0	0	
<i>D. pagliolii</i>	N21	11	0,18	0	0	0	0	0	0,05	0,01	0	0	0	0	
<i>D. piratininga</i>	N22	11	0,18	0	0	0	0	0	0,03	0,03	0	0	0	0	
<i>D. busckii</i>	E10	6	0,18	0,11	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>D. schildi</i>	N25	5	0,27	0	0	0,07	0	0,22	0,01	0	0	0	0	0	
<i>D. trapeza</i>	N26	5	0,27	0	0	0	0,10	0	0	0,01	0,02	0	0	0	
<i>D. ananassae</i>	E11	4	0,18	0	0	0	0	0	0,02	0	0	0	0,08	0	
<i>D. ararama</i>	N27	4	0,18	0	0	0,03	0	0	0,01	0	0	0	0	0	
<i>D. neoelliptica</i>	N28	4	0,09	0	0	0	0	0	0,02	0	0	0	0	0	
<i>D. neoguaramunu</i>	N29	3	0,18	0	0	0,03	0	0	0	0,01	0	0	0	0	
<i>D. paranaensis</i>	S8	3	0,18	0,04	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	
<i>D. buzzatii</i>	N11	2	0,09	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0	0	0	
<i>D. kikkawai</i>	E12	2	0,09	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	
<i>D. melanogaster</i>	E13	2	0,09	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	
<i>Rhinoleucophenga sp.</i>	N6	2	0,18	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0	0	0,07	
<i>D. aragua</i>	N24	1	0,09	0	0	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>D. austrosaltans</i>	N23	1	0,09	0	0	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>D. camargoi</i>	N32	1	0,09	0	0	0	0	0,22	0	0	0	0	0	0	
<i>Neotanygastrella tricoloripes</i>	N36	1	0,09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,08	0	
Não identificadas	N7	134	0,91	0,51	1,20	0	1,01	0,22	0,09	0,17	0,04	0,26	0,76	0,29	
Número de indivíduos		59.559		4.684	1.578	2.975	1.981	447	18.361	21.495	4.959	378	1.312	1.389	

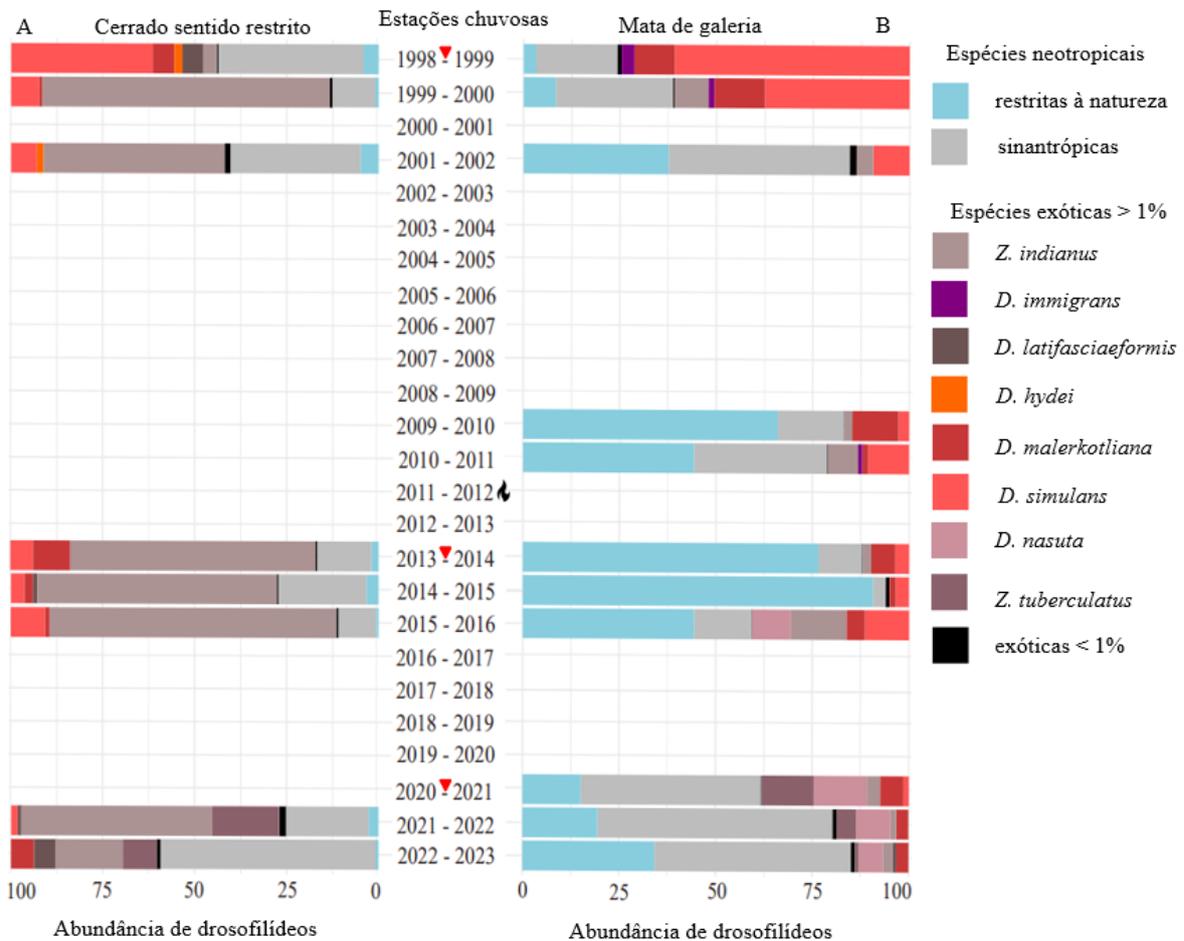


Figura 4. Abundância relativa de grupos de drosofilídeos neotropicais restritos à natureza, domésticos e exóticos à região Neotropical por estação chuvosa, em fitofisionomias de (A) cerrado sentido restrito e (B) matas de galeria, na Reserva Ecológica do IBGE. A abundância de espécies exóticas igual ou superior a 1% foi subdividida em cada barra. Triângulos vermelhos indicam estações chuvosas com registro de novas espécies exóticas. Símbolo de fogo indica período de incêndio intenso na RECOR.

### Varição temporal na abundância de indivíduos

Nos cerrados, a abundância de drosofilídeos por armadilha entre estações chuvosas não mostrou diferenças significativas (Kruskal-Wallis:  $H = 5,495$ ; g.l. = 6;  $p = 0,48$ ). A correlação da abundância média de drosofilídeos por armadilha com a sequência cronológica das estações indicou uma forte tendência decrescente e significativa na abundância média de moscas ao longo do tempo ( $\rho = -0,9$ ;  $p < 0,05$ ) (Figura 5A). Nas matas, houve uma diferença na abundância de drosofilídeos por armadilhas entre estações chuvosas (Kruskal-Wallis:  $H = 14,532$ ; g.l. = 7;  $p = 0,042$ ), entretanto essa diferença foi identificada apenas entre duas estações, 2001/2002 e 2010/2011 ( $p = 0,015$ ), sendo a menor em 2010/2011. A correlação entre abundância média de drosofilídeos e o tempo

cronológico das estações chuvosas amostradas não apresentou significância estatística ( $\rho = -0,25$ ;  $p < 0,45$ ) (Figura 5B).

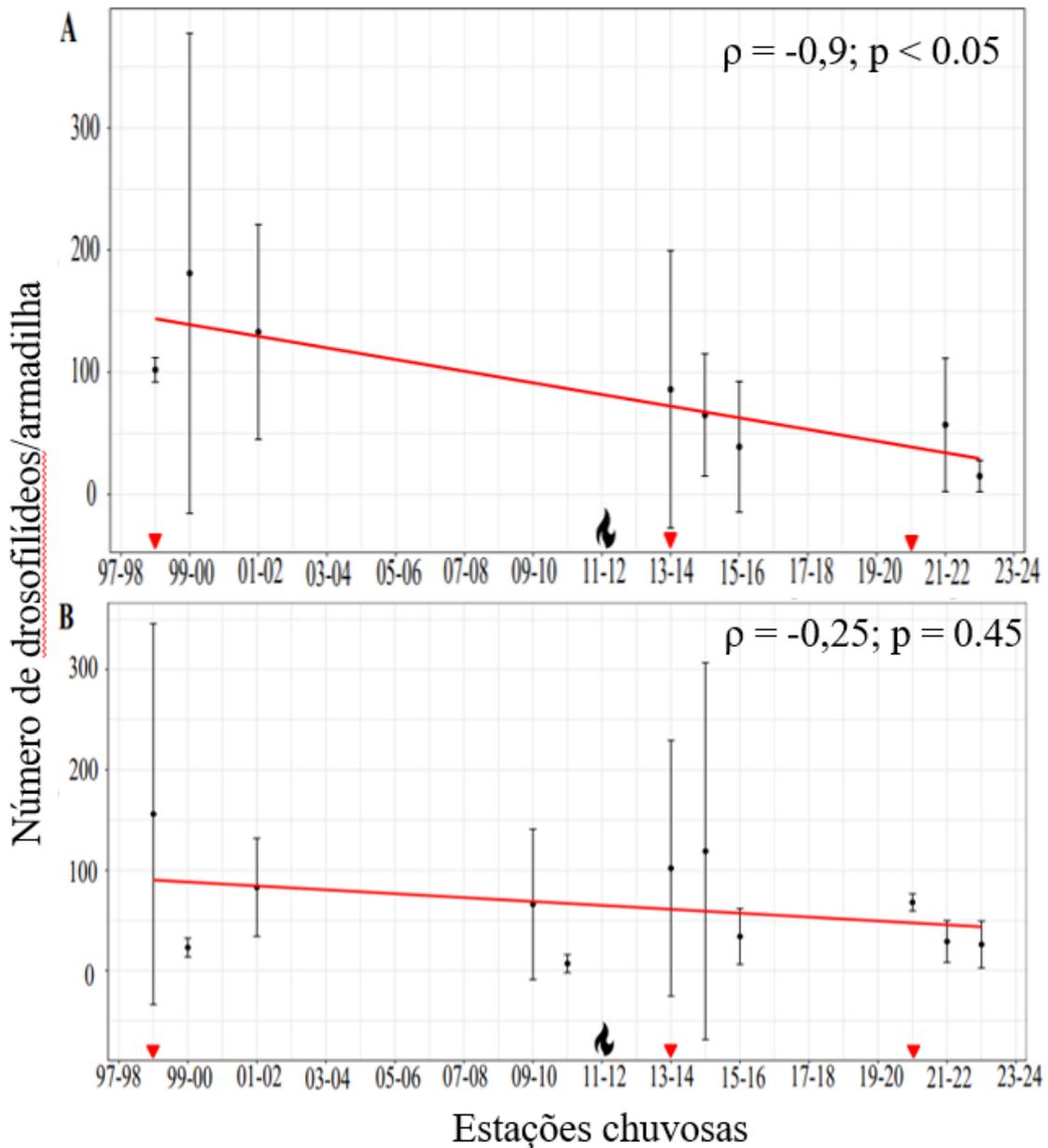


Figura 5. Correlação de Spearman ( $\rho$ ) entre o número de drosofilídeos por armadilha e estações chuvosas na Reserva Ecológica do IBGE (RECOR). (A) cerrado sentido restrito e (B) matas de galeria. Triângulos vermelhos indicam estações chuvosas com registro de novas espécies exóticas. Ícone de fogo indica período de incêndio intenso na RECOR.

Nos cerrados, as correlações individuais entre os grupos de espécies – exóticas, neotropicais sinantrópicas e neotropicais restritas à natureza - com o tempo indicaram fortes tendências decrescentes e significativas na abundância média de drosofilídeos de

todos os grupos (Tabela 4). Nas matas, apenas abundância média de drosofilídeos exóticos mostrou tendência decrescente e significativa, porém, a correlação foi moderada (Tabela 4).

Tabela 4. Correlações entre o número de drosofilídeos por armadilha e estações chuvosas para cada grupo de espécie.

Grupos de espécies	vegetação	
	cerrado sentido restrito	mata de galeria
neotropicais restritas à natureza	$\rho = -0,83$ ( <b>p = 0,010</b> )	$\rho = 0,1$ (p = 0,750)
neotropicais sinantrópicas	$\rho = -0,76$ ( <b>p = 0,037</b> )	$\rho = -0,054$ (p = 0,870)
exóticas	$\rho = -0,83$ ( <b>p = 0,015</b> )	$\rho = -0,67$ (p = <b>0,025</b> )

#### 4. Discussão

Neste estudo, investigamos dados de monitoramento de 25 de drosofilídeos em cerrados e matas na Reserva Ecológica do IBGE. O recorte de dados de estações chuvosas foi realizado devido ao conhecimento de que há maior diversidade e abundância de drosofilídeos nessa estação (Roque, Mata, & Tidon, 2013; Leão, 2016). Os dados obtidos no presente estudo possuem uma resolução taxonômica razoavelmente alta, em geral, ao nível de espécie. Portanto, eles podem contribuir para uma melhor interpretação dos padrões de variação temporal de comunidades do que determinações de táxons superiores (Basset et al., 2017).

#### Varição temporal na riqueza de espécies

Nos cerrados, as duas curvas mais próximas à assíntota (1998/1999 e 2021/2022) correspondem a estações chuvosas com as menores quantidades de armadilhas utilizadas (30 e 27, respectivamente) e meses amostrados (3 em cada). Essa tendência também foi observada nas matas, onde curvas representando estações com menor esforço amostral apresentaram maior tendência à estabilização. É possível que vieses de amostragens – como a proximidade das armadilhas de recursos naturais (frutos maduros ou no chão) – tenham contribuído para a ausência de padrões temporais interpretáveis. Dados de riqueza de espécies de borboletas em uma área de proteção ambiental na Alemanha, coletados por mais de 10 anos, mostram que a riqueza tem declinado (Rada et al., 2019). Assim, estudos adicionais que visem avaliar a efetividade de áreas protegidas para assegurar a

biodiversidade de invertebrados são importantes. Por outro lado, adequação da riqueza de espécies para avaliar mudanças temporais tem sido questionada pois há várias formas pelas quais as comunidades podem mudar, com redução da biodiversidade, mas sem manutenção do número de espécies (Magurran & Henderson, 2010, Kuczynski, Ontiveros, & Hillebrand, 2023).

De uma maneira geral, as curvas de rarefação nos cerrados estiveram mais próximas à assíntota do que as curvas nas matas. No bioma Cerrado, os primeiros estudos que contrastaram comunidades de drosofilídeos entre esses dois ambientes já registraram uma riqueza de espécies maior nas matas (Tidon, Leite, & Leão, 2003; Tidon, 2006). Para diferentes táxons, cerca de duas vezes mais espécies podem ser encontradas em vegetação de floresta do que no cerrado, como para formigas na Amazônia (Vasconcelos & Vilhena, 2006) e morcegos no Cerrado (Lima, Varzinczak, & Passos, 2017). A maior variedade de nichos e microclimas nesse ambiente pode sustentar uma maior diversidade de espécies. Além de abrigar ambientes mais úmidos, florestas neotropicais possuem uma abundância de frutos em decomposição no chão, que são os sítios de reprodução primários dos drosofilídeos (Powel, 1997). No Cerrado, a alta diversidade em matas de galeria foi associada a interação de vários fatores ambientais que geram uma comunidade de drosofilídeos complexa e dinâmica (Roque, Mata, & Tidon, 2013). Portanto, destacamos a importância das matas para conservação da diversidade faunística neotropical.

### **Variação temporal na abundância relativa das espécies**

A variação temporal na abundância relativa das espécies permite observar mudanças na estrutura e composição das comunidades. Essas mudanças podem ser relacionadas a diversos fatores, que englobam desde substituições contínuas que ocorrem naturalmente nas comunidades até alterações antrópicas (Magurran, 2007, Basset et al., 2023). Na RECOR, é razoável concluir que houve importantes mudanças na estrutura e composição de espécies de drosofilídeos nos últimos 25 anos. Mudanças substanciais na composição de drosofilídeos também foram vistas em um estudo similar na região subtropical do Alabama, com uma mudança de quase 50% das espécies, porém em um período muito maior, de 100 anos (Bombin & Reed, 2016). Concordamos com os autores que parte dessa variação se deve ao efeito aleatório da coleta e a fatores como mudanças climáticas e urbanização, além disso, acrescentamos a invasão da comunidade por espécies de drosofilídeos que não faziam parte dela.

A hipótese de que tanto a introdução de espécies exóticas como o deslocamento/extinção de espécies nativas contribuíram para alterar as comunidades foi apenas parcialmente sustentada. Embora o desaparecimento de espécies nativas e novos registros de exóticas tenham sido registrados, ocorreu também o oposto: espécies nativas passaram a ser registradas e outras exóticas deixaram de sê-lo nas últimas coletas. As espécies exóticas *D. hydei* e *D. busckii* não ocorreram nas últimas coletas em ambas as vegetações, e *D. immigrans* não foi mais registrada nos cerrados. Por outro lado, o gênero neotropical *Rhinoleucophenga sp.* passou a ser registrado em ambas as vegetações, além de outras duas espécies neotropicais nas matas. A maioria das espécies neotropicais, principalmente as restritas à natureza, são raras, o que dificulta avaliar se elas realmente sofreram extinção local. As espécies exóticas, por outro lado, após introduzidas são mais comuns e constantes. Por isso, as mudanças na composição das comunidades podem ser mais claramente evidentes a partir dos novos registros de espécies e as extinções podem passar despercebidas por mais tempo (Kuczynski, Ontiveros, & Hillebrand, 2023).

A substituição de espécies de drosofilídeos ao longo do tempo pode ocorrer devido a desvios de amostragens, conforme apontados por Didham et al. (2020). A migração de espécies de áreas antes conhecidas como muito diversas para outras não avaliadas dentro da área de estudo. Adicionalmente, mudanças nas condições ambientais afetam as atividades de insetos e, portanto, o momento de encontrá-los. Dessa forma, reconhecemos a importância de uma maior randomização das áreas de amostragem, assim como o monitoramento integral ao longo de toda a estação chuvosa. Se por um lado tais procedimentos seriam muito custosos, tendo em vista o esforço de identificação que exigiriam, por outro eles contribuiriam para compreender a dinâmica das espécies raras. Essas espécies devem ser estudadas com mais profundidade devido a sua relevância potencial no funcionamento dos ecossistemas (Magurran & Henderson, 2003; Lyons et al., 2005, Hewitt et al., 2016;). Lamentavelmente, ainda há uma falta de conhecimento generalizada sobre distribuições de espécies raras (Magurran, 2007).

Em especial, a ausência da espécie exótica *D. hydei*, que era registrada em ambas as vegetações, merece atenção. Essa espécie apresenta preferência por vegetações savânicas (Mata & Tidon, 2013) e foi frequente ao longo das quatro primeiras estações chuvosas de coletas em cerrados, com abundância relativa superior a 1% em algumas delas, mas desde 2014/2015 não foi mais registrada. *Drosophila hydei* é uma espécie cosmopolita (Vilela, 1983) e generalista em relação aos seus sítios de reprodução

(Atkinson, 1977). Na região Neotropical, nove espécies de plantas foram registradas como criadouros de *D. hydei* em ambientes naturais (Valadão et al., 2019) e 14 em mercado urbano (Ribeiro, Proença, & Tidon, 2023). Como ocorreu com outras espécies do grupo *D. repleta*, ela está adaptada para se reproduzir em cacto e sobreviver em regiões desérticas (Wasserman, 1982). Além disso, em áreas cultivadas na região neotropical essa espécie foi mais abundante nos meses de julho e agosto (Roque et al., 2017). Portanto, é possível que *D. hydei* ainda esteja presente em estações de estiagem, não avaliadas nesse estudo, ou então que tenha sido deslocada pelas espécies exóticas introduzidas mais recentemente.

A maioria das espécies que passaram a ser registradas na RECOR são exóticas e recentemente introduzidas. *Zaprionus indianus* Gupta tem origem afrotropical e foi registrada no Brasil em 1999 (Vilela, 1999). Nos cerrados da RECOR, essa espécie aumentou em abundância relativa de 7% no primeiro ano de monitoramento para 90% no segundo (Tidon, 2006). Conhecida como mosca do figo, *Z. indianus* é considerada uma praga agrícola porque deposita ovos em frutos maduros como pêssegos e figos (Commar et al., 2012). *Drosophila nasuta* Lamb e *D. suzukii* Matsumura, ambas de origem asiática, foram registradas no Brasil em 2013 (Deprá et al., 2014; Vilela & Goñi, 2015). A primeira está amplamente distribuída em vários biomas brasileiros (Batista et al., 2016; Silva et al., 2020; Leão et al., 2017; Montes et al., 2021; Medeiros et al., 2022), enquanto a última - conhecida como mosca-da-asa-manchada - é um importante praga de frutos com epicarpo delgado, como framboesas, amoras, mirtilos, morangos e cerejas (Mitsui, Takahashi, & Kimura, 2006). *Drosophila suzukii* se tornou uma praga de interesse mundial devido aos importantes prejuízos econômicos que causa em cultivos (Walsh et al., 2011; Wollmann 2020; Lee, Rodriguez-Saona, & Zalom, 2022; Knapp, Mazzi, & Finger, 2021). *Zaprionus tuberculatus*, também de origem afrotropical (Yassin & David, 2010), foi registrada pela primeira vez nas Américas em 2020, nos cerrados da RECOR (Cavalcanti et al., 2022). Alguns estudos registram suas larvas em frutos maduros (Balmès & Mouttet, 2019; Kamel et al., 2020), bem como adultos em pomares e vinhedos (Chireceanu et al., 2015). Com exceção de *D. suzukii*, todas essas espécies estão claramente estabelecidas na RECOR e mantêm populações estáveis. O sucesso dessas espécies na RECOR possivelmente é favorecido por centros de distribuição de alimentos urbanos que podem funcionar como fontes para essa área natural (Hipótese da pressão de propágulos - Lockwood et al., 2013) (Ribeiro, Proença, & Tidon, 2023).

A hipótese de que espécies exóticas reduziria a abundância relativa de espécies neotropicais foi parcialmente sustentada, pois também impactaram a abundância relativa de outras exóticas. Nos cerrados, a introdução de *Z. indianus* parece ter causado um considerável impacto na abundância relativa das espécies neotropicais sinantrópicas e de outras espécies exóticas, especialmente *D. simulans* Sturtevant. Essa última era a mais abundante na primeira estação chuvosa, mas deixou de ser registrada ao longo do monitoramento, enquanto *Z. indianus* se expandiu. *Drosophila simulans* é uma espécie de origem afrotropical que tem sido coletada desde os primeiros inventários de drosofilídeos realizados no Brasil (Sturtevant, 1921a, b; Duda, 1927) e no Cerrado (Pavan, 1950). Possivelmente, chegou ao Brasil em navios vindos da África, no século XVI, se naturalizou (Dobzhansky e Pavan, 1950), e se tornou abundante em muitas regiões no país (Região Norte: de Oliveira Brito et al., 2023; Região Sul (Poppe, Valente, & Schmitz, 2012); Região Nordeste (Rohde, et al., 2010)). Na região Neotropical, *D. simulans* é a espécie de drosofilídeo que utiliza mais espécies de plantas hospedeiras (82) em áreas naturais (Valadão et al., 2019) e em centro urbano de distribuição de frutas e vegetais próximo a RECOR (22) (Ribeiro, Proença, & Tidon, 2023). O generalismo de *D. simulans* na utilização de recursos levanta questões sobre os motivos para sua redução populacional nos cerrados e, posteriormente, nas matas. Hipotetizamos que a introdução de outras espécies exóticas, principalmente *Z. indianus* possa ter provocado o deslocamento de *D. simulans* nos cerrados da RECOR.

Nas matas, com exceção das duas primeiras estações chuvosas (dominadas por *D. simulans*), as abundâncias relativas de espécies neotropicais foram as maiores e especialmente representadas pelo subgrupo *D. willistoni*, comum em áreas florestadas (Martins, 2001; Cavasini et al., 2014). Isso sugere que os fragmentos florestais na RECOR estão resistindo à invasão de drosofilídeos e confirma a importância das matas de galeria na preservação das espécies neotropicais restritas à natureza. A redução populacional de *D. simulans* nas matas pode ter ocorrido em consequência da sua redução nos cerrados, o que suportaria a hipótese de que há um fluxo de espécies entre cerrados e matas entre estações de seca e chuva (Tidon, 2006). Certamente, reconhecemos a importância de se considerar fatores como mudanças climáticas e uso do solo em estudos futuros, visando aprofundar a compreensão das mudanças aqui observadas nas comunidades de drosofilídeos da RECOR.

## **Variação temporal na abundância de indivíduos**

A tendência de redução da abundância média de drosofilídeos, ao longo do tempo, sugere que estamos capturando cada vez menos indivíduos por armadilhas, na RECOR. Essa tendência foi mais alarmante nos cerrados, onde todos os grupos de espécies (exóticas, neotropicais sinantrópicas e restritas à natureza) se reduziram; nas matas, observamos apenas uma leve tendência de redução na categoria das espécies exóticas. Dessa forma, a hipótese de aumento de indivíduos classificados em espécies exóticas de drosofilídeos não encontrou suporte na escala temporal mais estendida deste trabalho. Entretanto, em outras partes do mundo, há evidências de aumento da abundância de pequenos grupos de espécies adaptáveis e generalistas (Sanchez-Bayo & Wyckhuys, 2019).

A lacuna de dados de muitas estações chuvosas, assim como os vieses de amostragem mencionados (Didham, 2020) podem eventualmente contribuir para enviesar a análise de correlação realizada. Nesse estudo, apesar do método de coleta padronizado, utilizamos dados de teses e dissertações com diferentes desenhos amostrais e objetivos de pesquisa. Idealmente, monitoramentos da biodiversidade deveriam seguir um planejamento robusto, minucioso, e estritamente padronizado (Magurran et al., 2010). Entretanto, na prática isso nem sempre é possível. Limitações logísticas eventualmente comprometem a continuidade do monitoramento (ex. pandemia, falta de recursos, de coletores e de taxonomistas treinados). Ao mesmo tempo, a experiência adquirida das coletas tem potencial para aprimorá-las, mediante o ajuste de armadilhas e a distância entre elas, dentre outros fatores. Na região tropical, não temos os dados históricos consistentes como nas regiões extra-tropicais, entretanto, declínios de insetos nos trópicos têm sido evidenciados por entomólogos experientes (Jazen & Hallwachs, 2019; Lewinsohn et al., 2022). Uma redução no número drosofilídeos por armadilha na RECOR, já eram percebidas pela pesquisadora Dra. Rosana Tidon, que acompanhou as coletas desde 1998 (comunicação pessoal). Dessa forma, o presente estudo – apesar das limitações mencionadas – correlaciona a diminuição da abundância de drosofilídeos com o tempo, ou seja, confirma as suspeitas da pesquisadora e alerta sobre um provável declínio desses insetos.

A tendência de declínios na abundância média de drosofilídeos pode ser atribuída a mudanças ambientais globais em curso, em especial no bioma Cerrado. Tais declínios

populacionais podem conduzir a generalizadas perdas de espécies e declínios de outros táxons através da cadeia alimentar (Wagner, 2020). Uma abrangente revisão sobre declínios de insetos em todo mundo sugere que, dentre os táxons terrestres, Lepidoptera, Hymenoptera e Coleoptera são os mais afetados, incluindo desde espécies especialistas de nichos até generalistas e comuns (Sanchez-Bayo & Wyckhuys, 2019). Os autores listam as principais causas de declínio em ordem de importância a: perda de habitat e conversão para a agricultura intensiva e urbanização; poluição por pesticidas e fertilizantes; introdução de espécies e patógenos e mudanças climáticas.

Todos esses fatores são inerentes à área de estudo aqui investigada. O Brasil é um grande exportador de soja e milho em grão. Apenas no Distrito Federal, entre 1990 e 2022, houve crescimento de 53 mil para 84 mil hectares para soja e de 16 mil para 60 mil para milho (IBGE, 2023). Adicionalmente, a população humana quase dobrou de tamanho, de 1.598.415 habitantes para 2.817.381 entre 1991 e 2022 (IBGE, 2023). Tais processos resultaram em constantes mudanças na paisagem para áreas agrícolas e urbanas, refletindo em pressões antrópicas adjacentes à RECOR (Marques et al., 2022), como era temido desde o estabelecimento dessa área como uma reserva da biosfera do Cerrado (Unesco, Brasil, 2003). No bioma, a temperatura média da superfície terrestre aumentou em cerca de 0,9 °C, em comparação com as condições históricas sob vegetação nativa (Rodrigues et al., 2022). Um aumento de temperatura acima da capacidade térmica dos ectotérmicos (Deutsch et al., 2008) deixaria de beneficiar até mesmo as espécies mais adaptáveis e comuns, que são as principais responsáveis pela manutenção das comunidades (Magurran, 2010; Magurran & Henderson, 2003). Em áreas tropicais protegidas das principais ameaças aos insetos, e com aumento de temperatura muito menores do que ocorre no Cerrado, como na Ilha de Barro Colorado no Panamá, alguns declínios de insetos têm sido relatados (Basset et al., 2023). Portanto, servem de alerta para outras partes do trópicos criticamente ameaçadas. Nesse contexto, esse estudo contribui para alertar de que a RECOR não está imune às ameaças antrópicas. Drosofilídeos exóticos estão alterando as comunidades de drosofilídeos neotropicais, principalmente nos cerrados, mas certamente outras ameaças estão atuando nesse processo.

## Referências bibliográficas

- Atkinson, W. (1977). *Ecological studies of the breeding sites and reproductive strategies of domestic species of Drosophila* (Doctoral dissertation, University of Leeds).
- Balmès V. & Mouttet R. (2019). The drosophilid risk on imports. *EPPO Bulletin* 49:122–126.
- Basset, Y., Butterill, P. T., Donoso, D. A., P. A. Lamarre, G., Souto-Vilarós, D., Perez, F., Bobadilla, R., et al. (2023). Abundance, occurrence, and time series: Long-term monitoring of social insects in a tropical rainforest. *Ecological Indicators*, 150, 110243.
- Basset, Y., Lamarre, G. P. A., Ratz, T., Segar, S. T., Decaëns, T., Rougerie, R., Miller, S. E., et al. (2017). The Saturniidae of Barro Colorado Island, Panama: A model taxon for studying the long-term effects of climate change? *Ecology and Evolution*, 7(23), 9991–10004.
- Batista M.R.D., Briantia M.T., Andrade C.A.C. & Klaczko L.B. (2016) Occurrence of invasive species *Drosophila nasuta* in Atlantic rainforest. Brazil. *Drosophila Information Service*, 99:44.
- Bombin, A., & Reed, L. K. (2016). The changing biodiversity of Alabama *Drosophila*: Important impacts of seasonal variation, urbanization, and invasive species. *Ecology and Evolution*, 6(19), 7057–7069.
- Brasil. 1997. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. 1997. Manual Operativo do Programa Integrado de Ecologia.
- Brasil. 1998. Brasília, DF. 26p. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq. Programa Integrado de Ecologia – PIE. Resolução Normativa 016/1998, de 17 de dezembro de 1998. Brasília, DF.
- Brito, M. A., Oliveira, D., Mamede, M. de A., Randig, O., & Lacerda, F. S. de. (2020). Programa de Pesquisa Ecológica de Longa Duração – PELD/CNPQ – Desafios da gestão, avanços e perspectivas. *Oecologia Australis*, 24(2), 259–265.
- Cardoso, P., Barton, P. S., Birkhofer, K., Chichorro, F., Deacon, C., Fartmann, T., Fukushima, C. S., et al. (2020). Scientists’ warning to humanity on insect extinctions. *Biological Conservation*, 242, 108426.
- Cavalcanti, F. A. G. S., Ribeiro, L. B., Marins, G., Tonelli, G. S. S. S., Bão, S. N., Yassin, A., & Tidon, R. (2022). Geographic Expansion of an Invasive Fly: First Record of *Zaprionus tuberculatus* (Diptera: Drosophilidae) in the Americas. *Annals of the Entomological Society of America*, 115(3), 267–274.
- 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, 761-768.
- Chao, A., and L. Jost (2012). “Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size.” *Ecology* 93 (12): 2533–47.
- Colwell, R. K., A. Chao, N. J. Gotelli, S. Y. Lin, C. X. Mao, R. L. Chazdon, and J. T. Longino (2012). “Models and estimators linking individual-based and sample-based rarefaction, extrapolation and comparison of assemblages.” *Journal of Plant Ecology*, 5 (1): 3–21.
- Commar, L. S., Galego, L. G. da C., Ceron, C. R., & Carareto, C. M. A. (2012). Taxonomic and evolutionary analysis of *Zaprionus indianus* and its colonization of

Palaearctic and Neotropical regions. *Genetics and Molecular Biology*, 35, 395–406. Sociedade Brasileira de Genética.

- de Oliveira Brito, R., Barbosa Viana-Junior, A., de Lurdes Bezerra Praxedes, C., & Bonifácio Martins, M. (2023). Diversity and community structure of *Drosophila* (Hexapoda, Diptera) in post-mining sites under different forest restoration techniques in the Brazilian Amazon. *Restoration Ecology*, e13990.
- Deprá, M., Poppe, J. L., Schmitz, H. J., De Toni, D. C., & Valente, V. L. S. (2014). The first records of the invasive pest *Drosophila suzukii* in the South American continent. *Journal of Pest Science*, 87(3), 379–383.
- Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Huey, R. B., Sheldon, K. S., Ghalambor, C. K., Haak, D. C., & Martin, P. R. (2008). Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(18), 6668–6672. Proceedings of the National Academy of Sciences.
- Didham, R. K., Basset, Y., Collins, C. M., Leather, S. R., Littlewood, N. A., Menz, M. H. M., Müller, J., et al. (2020). Interpreting insect declines: Seven challenges and a way forward. *Insect Conservation and Diversity*, 13(2), 103–114.
- Dobzhansky, T., C. Pavan (1943). Studies on Brazilian species of *Drosophila*. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo.
- Dobzhansky, T. & Pavan, C. (1950). Local and seasonal variations in relative frequencies of species of *Drosophila* in Brazil. *The Journal of Animal Ecology*, 19, 1-14.
- Duda, O. (1927). Die sudamerikanischen Drosophiliden (Dipteren) unter Berücksichtigung auch der anderen neotropischen sowie der nearktischen Arten. *Archiv für Naturgeschichte* 91: 1-228.
- Eiten, G. (1972). The cerrado vegetation of Brazil. *The Botanical Review*, 38(2), 201–341.
- Ferreira, L. B., & Tidon, R. (2005). Colonizing potential of Drosophilidae (Insecta, Diptera) in environments with different grades of urbanization. *Biodiversity & Conservation*, 14(8), 1809–1821.
- Freire-Maia, A. & C. Pavan (1949). Introdução estudo da drosófila. *Cultus*, 1: 3–66.
- Frota-Pessoa O. (1954). Revision of the *tripunctata* group of *Drosophila* with description of fifteen new species (Drosophilidae, Diptera). *Arquivos do Museu Paranaense* 10: 253–304.
- Gotelli, N. J., and R. K. Colwell (2001). “Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness.” *Ecology Letters* 4 (4): 379–91.
- Haughland, D. L., Hero, J.-M., Schieck, J., Castley, J. G., Boutin, S., Sólymos, P., Lawson, B. E., et al. (2010). Planning forwards: Biodiversity research and monitoring systems for better management. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(4), 199–200; author reply 200-201.
- Hewitt, J. E., Thrush, S. F., & Ellingsen, K. E. (2016). The role of time and species identities in spatial patterns of species richness and conservation. *Conservation Biology*, 30(5), 1080–1088.
- IBGE (2023). Culturas temporárias e permanentes. (Acesso em novembro de 2023, em <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producaoagricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=series-historicas>).
- IBGE (2023). Panorama do Censo 2022. (Acesso em novembro de 2023, em [https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/?utm\\_source=ibge&utm\\_medium=home&utm\\_campaign=portal](https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/?utm_source=ibge&utm_medium=home&utm_campaign=portal)).

- Janzen, D. H., & Hallwachs, W. (2019). Perspective: Where might be many tropical insects? *Biological Conservation*, 233, 102–108.
- Kamel, M. B. H., Z. B. Cheik, S. Zouari, L. Mdellel, and V. Balm (2020). First report of *Zaprionus indianus* and *Z. tuberculatus* (Diptera: Drosophilidae) in Tunisia. *EPPO Bull.* 50: 307–310.
- Knapp, L., Mazzi, D., & Finger, R. (2021). The economic impact of *Drosophila suzukii*: Perceived costs and revenue losses of Swiss cherry, plum and grape growers. *Pest Management Science*, 77(2), 978–1000.
- Kuczynski, L., Ontiveros, V. J., & Hillebrand, H. (2023). Biodiversity time series are biased towards increasing species richness in changing environments. *Nature Ecology & Evolution*, 7(7), 994–1001.
- Leão, Bárbara Ferreira Dobbin. Variação temporal das assembleias de drosofilídeos (Diptera, Drosophilidae) na reserva ecológica do IBGE. 2016. viii, 84 f., il. Dissertação (Mestrado em Ecologia) — Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- Leão, B. F. D., Roque, F., Deus, P., & Tidon, R. (2017). What happens when exotic species arrive in a new area? The case of drosophilids (Diptera) in the Brazilian Savanna. *Drosoph. Inf. Serv.*, 100, 65–69.
- Leclerc, C., Courchamp, F., & Bellard, C. (2018). Insular threat associations within taxa worldwide. *Scientific Reports*, 8(1), 6393.
- Lee, J. C., Rodriguez-Saona, C. R., & Zalom, F. G. (2022). Introductory Remarks: Spotlight on Spotted-Wing *Drosophila*. *Journal of Economic Entomology*, 115(4), 919–921.
- Lei nº 742, de 28 de julho de 1994. Define os limites, funções e sistema de gestão da Reserva da Biosfera do Cerrado no Distrito Federal e dá outras providências. Diário Oficial do Distrito Federal. Brasília, DF, jul. 1994. Seção 1, p. 5.
- Lewinsohn TM, Agostini K, Freitas AVL, Melo AS (2022) Insect decline in Brazil: an appraisal of current evidence. *Biology Letters* 18:
- Lima, C. S., Varzinczak, L. H., & Passos, F. C. (2017). Richness, diversity and abundance of bats from a savanna landscape in central Brazil. *Mammalia*, 81(1), 33–40.
- Lockwood, J.L., Hoopes, M.F. and Marchetti, M.P. (2013). *Invasion ecology*, 2nd edn. Wiley-Blackwell, Chichester, UK.
- Lyons, K. G., Brigham, C. A., Traut, B. h., & Schwartz, M. W. (2005). Rare Species and Ecosystem Functioning. *Conservation Biology*, 19(4), 1019–1024.
- Magurran, A. E. (2007). Species abundance distributions over time. *Ecology Letters*, 10(5), 347–354.
- Magurran, A. E., Baillie, S. R., Buckland, S. T., Dick, J. M., Elston, D. A., Scott, E. M., Smith, R. I., et al. (2010). Long-term datasets in biodiversity research and monitoring: Assessing change in ecological communities through time. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(10), 574–582.
- Magurran, A. E., and B. J. McGill (2011). *Biological diversity: Frontiers in measurement and assessment*. Oxford: Oxford University Press.
- Magurran, A. E., & Henderson, P. A. (2003). Explaining the excess of rare species in natural species abundance distributions. *Nature*, 422(6933), 714–716.
- Magurran, A. E., & Henderson, P. A. (2010). Temporal turnover and the maintenance of diversity in ecological assemblages. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 365(1558), 3611–3620.
- Marques, N. C., Machado, R. B., Aguiar, L. M., Mendonça-Galvão, L., Tidon, R., Vieira, E. M., & Bustamante, M. (2022). Drivers of change in tropical protected areas: Long-term monitoring of a Brazilian biodiversity hotspot. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 20(2), 69–78.

- Martins, M. B. (2001). Drosophilid fruit-fly guilds in forest fragments. Pages 175–186. In: Bierregaard RO, Gascon C, Lovejoy TE, Mesquita R (eds) *Lessons from Amazonia: the ecology and conservation of a fragmented forest*. Yale University Press, New Haven, Connecticut.
- Mata, Renata Alves da. Drosofilídeos (Diptera, Insecta) como indicadores do estado de perturbação do Cerrado. 2002. 58 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) — Universidade de Brasília, Brasília, 2002.
- Mata, R. A., Santos, G. A., Uehara-Prado, M., & Tidon, R. (2014). Improving sampling protocol for assessing drosophilid diversity: spatial independence and sample size. *Drosophila Information Service*, 97, 161-162.
- Mata, R., & Tidon, R. (2013). The relative roles of habitat heterogeneity and disturbance in drosophilid assemblages (Diptera, Drosophilidae) in the Cerrado. *Insect Conservation and Diversity*, 6(6), 663–670.
- Medeiros, H. F., Monteiro, M. P., Caçador, A. W. B., Pereira, C. M., de Lurdes Bezerra Praxedes, C., Martins, M. B., Montes, M. A., et al. (2022). First Records of the Invading Species *Drosophila nasuta* (Diptera: Drosophilidae) in the Amazon. *Neotropical Entomology*, 51(3), 493–497.
- Mitsui, H., Takahashi, K. H., & Kimura, M. T. (2006). Spatial distributions and clutch sizes of *Drosophila* species ovipositing on cherry fruits of different stages. *Population Ecology*, 48(3), 233–237.
- Montes, M. A., Neves, C. H. C. B., Ferreira, A. F., dos Santos, M. de F. S., Quintas, J. I. F. P., Manetta, G. D. Â., de Oliveira, P. V., et al. (2021). Invasion and Spreading of *Drosophila nasuta* (Diptera, Drosophilidae) in the Caatinga Biome, Brazil. *Neotropical Entomology*, 50(4), 571–578.
- Oliveira, Sabrina Cassimiro Fonseca de. Estabelecimento de bioindicadores robustos: Drosophilidae (Insecta, Diptera) como modelos em biologia da conservação. 2013. 184 f., il. Tese (Doutorado em Biologia Animal) — Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- Pavan, C. (1950). Espécies brasileiras de *Drosophila*. *Bol. Univ. São Paulo. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras* 111: 3-36.
- Pavan, C. & A. B. Cunha (1947). Espécies brasileiras de *Drosophila*. *Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da Universidade de São Paulo*, 86: 20–64.
- Poppe, J. L., Valente, V. L. da S., & Schmitz, H. J. (2012). Structure of Drosophilidae Assemblage (Insecta, Diptera) in Pampa Biome (São Luiz Gonzaga, RS). *Papéis Avulsos de Zoologia*, 52, 185–195. Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo.
- Powell, J. R. (1997). *Progress and prospects in evolutionary biology: The Drosophila model*. Oxford University Press.
- Prakash, S., & Verma, A. K. (2022). Anthropogenic activities and biodiversity threats. *International Journal of Biological Innovations*, 04(01), 94–103.
- Pyšek, Petr, Hulme, P. E., Simberloff, D., Bacher, S., Blackburn, T. M., Carlton, J. T., Dawson, W., et al. (2020). Scientists’ warning on invasive alien species. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 95(6), 1511–1534.
- R Core Team. (2021). R: A Language and Environment for Statistical Computing (Version 4.1.0) [Software]. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rada, S., Schweiger, O., Harpke, A., Kühn, E., Kuras, T., Settele, J., & Musche, M. (2019). Protected areas do not mitigate biodiversity declines: A case study on butterflies. *Diversity and Distributions*, 25(2), 217–224.
- Ribeiro, J. F., & Walter, B. M. T. (1998). Fitofisionomias do Bioma Cerrado.

- Ribeiro, L. B., Proença, C. E. B., & Tidon, R. (2023). Host Preferences Shown by Drosophilids (Diptera) in a Commercial Fruit and Vegetable Distribution Center Follow the Wild Neotropical Pattern. *Insects*, 14(4), 375.
- Rodrigues, A. A., Macedo, M. N., Silvério, D. V., Maracahipes, L., Coe, M. T., Brando, P. M., Shimbo, J. Z., et al. (2022). Cerrado deforestation threatens regional climate and water availability for agriculture and ecosystems. *Global Change Biology*, 28(22), 6807–6822.
- Rohde, C., de Oliveira Silva, D. M. I., de Araújo Jucá, J. C. L., Montes, M. A., & Garcia, A. C. L. (2010). Espécies invasoras da família Drosophilidae (Diptera, Insecta) em ambientes da Caatinga de Pernambuco. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica*, 7, 227-240.
- Roque, F., de Oliveira, S. C. F., & Tidon, R. (2011). Technical adaptations of retention traps used to catch drosophilids. *Drosophila Information Service*, 94, 140.
- Roque, F., Leão, B. F. D., & Tidon, R. (2017). Spatio-Temporal Distribution of the Cryptic Flies of the *Drosophila willistoni* (Diptera: Drosophilidae) Subgroup in a Neotropical Forest. *Annals of the Entomological Society of America*, 110(4), 398–402.
- Roque, F., Matavelli, C., Lopes, P. H. S., Machida, W. S., Von Zuben, C. J., & Tidon, R. (2017). Brazilian Fig Plantations Are Dominated by Widely Distributed Drosophilid Species (Diptera: Drosophilidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 110(6), 521–527.
- Roque, Francisco, da Mata, R. A., & Tidon, R. (2013). Temporal and vertical drosophilid (Insecta; Diptera) assemblage fluctuations in a neotropical gallery forest. *Biodiversity and Conservation*, 22(3), 657–672.
- Sánchez-Bayo, F., & Wyckhuys, K. A. (2019). Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological conservation*, 232, 8-27.
- Silva, D. G., Schmitz, H. J., de Medeiros, H. F., Rohde, C., Montes, M. A., & Garcia, A. C. L. (2020). Geographic expansion and dominance of the invading species *Drosophila nasuta* (Diptera, Drosophilidae) in Brazil. *Journal of Insect Conservation*, 24(3), 525–534.
- Simberloff, D., Martin, J.-L., Genovesi, P., Maris, V., Wardle, D. A., Aronson, J., Courchamp, F., et al. (2013). Impacts of biological invasions: What's what and the way forward. *Trends in Ecology & Evolution*, 28(1), 58–66.
- Sturtevant, A.H. (1921a). Genetic studies on *Drosophila simulans*. I. Introduction. Hybrids with *Drosophila melanogaster*. *Genetics* 5: 488-500.
- Sturtevant, A.H. (1921b). The North American species of *Drosophila*. *Publs. Carnegie Instn.* 301: 1-150.
- Subsídios ao zoneamento da APA Gama-Cabeça de Veado e Reserva da Biosfera do Cerrado: caracterização e conflitos socioambientais. – Brasília: UNESCO, MAB, Reserva da Biosfera do Cerrado, 2003.
- Takahashi, F., Ribeiro, M., Bergamini, L., Danieli-Silva, A., Gouveia, A., Macedo, M., & Guimarães, L. (2019). Reserva Ecológica do IBGE: Quatro décadas de produção de dados para a sociedade. *Revista brasileira de geografia*, 64, 146–160.
- Tidon, R. (2006). Relationships between drosophilids (Diptera, Drosophilidae) and the environment in two contrasting tropical vegetations. *Biological Journal of the Linnean Society*, 87(2), 233–247.
- Tidon, R., Leite, D. F., & Leão, B. F. D. (2003). Impact of the colonisation of *Zaprionus* (Diptera, Drosophilidae) in different ecosystems of the Neotropical Region: 2 years after the invasion. *Biological Conservation*, 112(3), 299–305.

- Tilman, D., Clark, M., Williams, D. R., Kimmel, K., Polasky, S., & Packer, C. (2017). Future threats to biodiversity and pathways to their prevention. *Nature*, 546(7656), 73–81.
- Trisos, C. H., Merow, C., & Pigot, A. L. (2020). The projected timing of abrupt ecological disruption from climate change. *Nature*, 580(7804), 496–501.
- Urban, M. C. (2015). Accelerating extinction risk from climate change. *Science*, 348(6234), 571–573.
- Val, F.C. (1982). The male genitalia of some Neotropical *Drosophila*: notes and illustrations. *Papéis Avulsos de Zoologia*, 34: 309–347.
- Valadão, H., Proença, C. E. B., Kuhlmann, M. P., Harris, S. A., & Tidon, R. (2019). Fruit-breeding drosophilids (Diptera) in the Neotropics: Playing the field and specialising in generalism? *Ecological Entomology*, 44(6), 721–737.
- Vasconcelos, H. L., & Vilhena, J. M. S. (2006). Species Turnover and Vertical Partitioning of Ant Assemblages in the Brazilian Amazon: A Comparison of Forests and Savannas. *Biotropica*, 38(1), 100–106.
- Vilela C. R. (1983). A revision of the *Drosophila repleta* species group (Diptera, Drosophilidae). *Revista Brasileira de Entomologia* 27: 1–114.
- Vilela, C. R. (1999). Is *Zaprionus indianus* Gupta, 1970 (Diptera, Drosophilidae) currently colonizing the neotropical region? *Drosophila Information Service*, 82, 37-39.
- Vilela, C. R. & G. Bachli (1990). Taxonomic studies on Neotropical species of seven genera of Drosophilidae (Diptera). *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft* 63: 1–332.
- Vilela, C. R., & Goñi, B. (2015). Is *Drosophila nasuta* Lamb (Diptera, Drosophilidae) currently reaching the status of a cosmopolitan species? *Revista Brasileira de Entomologia*, 59, 346–350. Sociedade Brasileira De Entomologia.
- Wagner, D. L. (2020). Insect Declines in the Anthropocene. *Annual Review of Entomology*, 65(1), 457–480.
- Walsh, D. B., Bolda, M. P., Goodhue, R. E., Dreves, A. J., Lee, J., Bruck, D. J., Walton, V. M., et al. (2011). *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae): Invasive Pest of Ripening Soft Fruit Expanding its Geographic Range and Damage Potential. *Journal of Integrated Pest Management*, 2(1), G1–G7.
- Wasserman, M. (1982). Cytological evolution in the *Drosophila repleta* species group. Ecological genetics and evolution: the cactus-yeast-*Drosophila* model system/edited JSF Barker, WT Starmer.
- Wiens, J. J. (2016). Climate-Related Local Extinctions Are Already Widespread among Plant and Animal Species. *PLOS Biology*, 14(12), e2001104.
- Wollmann, J., Schlesener, D. C. H., Mendes, S. R., Krüger, A. P., Martins, L. N., Bernardi, D., Garcia, M. S., et al. (2020). Infestation index of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in small fruit in southern Brazil. *Arquivos do Instituto Biológico*, 87, e0432018. Instituto Biológico.
- Yassin, A., & David, J. R. (2010). Revision of the afrotropical species of *Zaprionus* (Diptera, Drosophilidae), with descriptions of two new species and notes on internal reproductive structures and immature stages. *ZooKeys*, (51), 33–72.
- Yuzuki, K., & Tidon, R. (2020). Identification key for drosophilid species (Diptera, Drosophilidae) exotic to the Neotropical Region and occurring in Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia*, 64.

**Host preferences shown by drosophilids (Diptera) in a commercial fruit and vegetable distribution center follow the wild neotropical pattern**

**Preferências de hospedeiros demonstradas por drosofilídeos (Diptera) em um centro comercial de distribuição de frutas e vegetais seguem o padrão neotropical selvagem**

Este capítulo foi publicado na forma de artigo científico no jornal *Insects* (Qualis CAPES A2), em abril de 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/insects14040375>

## Host Preferences Shown by Drosophilids (Diptera) in a Commercial Fruit and Vegetable Distribution Center Follow the Wild Neotropical Pattern

Laís Barbosa Ribeiro <sup>1</sup>, Carolyn Elinore Barnes Proença <sup>2</sup> and Rosana Tidon <sup>1,3, \*</sup>

<sup>1</sup> Graduate Program in Ecology, Institute of Biological Sciences, University of Brasilia, Brasilia 70910-900, Brazil; laisribeiro015@hotmail.com

<sup>2</sup> Department of Botany, Institute of Biological Sciences, University of Brasilia, Brasilia 70910-900, Brazil; carolyn.proenca@gmail.com

<sup>3</sup> Department of Genetics and Morphology, Institute of Biological Sciences, University of Brasília, Brasilia 70910-900, Brazil \* Correspondence: rotidon@unb.br

**Resumo:** Embora os drosofilídeos tenham sido extensivamente estudados em laboratórios em todo o mundo, sua ecologia ainda é relativamente pouco compreendida. Isso é lamentável porque algumas espécies estão atualmente expandindo sua distribuição geográfica e infestando cultivos de frutas. Neste estudo, investigamos a relação entre drosofilídeos e possíveis hospedeiros vegetais em um centro de distribuição comercial de frutas e vegetais na região Neotropical. Coletamos frutas e vegetais descartados deste centro comercial durante dois períodos (2007–2008 e 2017–2018). Os recursos foram pesados e monitorados individualmente em laboratório. Os drosofilídeos que emergiram foram identificados, e a relação entre eles e seus recursos foi explorada. Dos 99.478 kg de possíveis hospedeiros coletados, identificamos 48 táxons de plantas, dos quais emergiram 48.894 drosofilídeos de 16 espécies. Em ambas as ocasiões de coleta, as assembléias de drosofilídeos foram fortemente dominadas basicamente pelas mesmas espécies exóticas, que exploram uma gama mais ampla de recursos, especialmente aqueles de origem exótica, quando comparadas aos drosofilídeos neotropicais. Estes resultados são preocupantes porque o local estudado, juntamente com outros mercados urbanos ao redor do mundo, pode estar atuando como fontes de espécies generalistas amplamente distribuídas que se dispersam para a vegetação natural circundante e contribuem para a homogeneização biótica.

**Palavras-chave:** sítio de criação, *Drosophila*; espécies invasoras; expansão de nicho; ecologia urbana; mercado hortifruti; *Zaprionus*.

**Abstract:** Although drosophilids have been extensively studied in laboratories worldwide, their ecology is still relatively poorly understood. This is unfortunate because some species are currently expanding their geographic distribution and infesting fruit crops. Here, we investigated the relationship between drosophilids and potential plant hosts in a commercial fruit and vegetable distribution center in the Neotropical region. We collected discarded fruits and vegetables from this commercial center during two time periods (2007–2008 and 2017–2018). Resources were weighted and individually monitored in the laboratory. The drosophilids that emerged were identified, and the relationship between them and their resources was explored. From the 99,478 kg of potential hosts collected, we identified 48 plant taxa, from which 48,894 drosophilids of 16 species emerged. On both collecting occasions, drosophilid assemblages were strongly dominated by basically the same exotic species, which explore a broader range of resources, especially those of exotic origin, when compared to neotropical drosophilids. These results are concerning because the studied site, along with other urban markets around the world, might be acting as sources of generalist widespread species that disperse to surrounding natural vegetation and contribute to biotic homogenization.

**Keywords:** breeding site; *Drosophila*; fruit markets; invasive species; niche breath; urban ecology; vegetable markets; *Zaprionus*.

## 1. Introduction

The family Drosophilidae includes more than 4.600 nominal species [1] that breed preferentially on fermenting substrates such as fruits, flowers, or fungi [2]. While most species are geographically and ecologically restricted, some are generalists and dispersed beyond their native ranges throughout the world [3]. In Brazil, 364 drosophilid species have been recorded, 350 of which are native and 14 of which are exotic to the Neotropical region [4]. Certain exotic species, such as *Drosophila melanogaster* Meigen and *D. simulans* Sturtevant, probably reached Brazil via ships from Africa in the 16th century. Others arrived in the country more recently as a consequence of globalization. From the late 20th century, five new arrivals in the Neotropics were accurately recorded in the earlier stages of invasion: *D. malerkotliana* Parshad and Paika [5], *Zaprionus indianus* Gupta [6], *D. nasuta* Lamb [7], *D. suzukii* Matsumura [8], and *Z. tuberculatus* Malloch [9]. These introductions are especially worrying because some of these species, such as the spotted wing Drosophila (*D. suzukii*, see [10,11]) and the African fig fly (*Z. indianus*, see [12,13]), have become invaders and impact agricultural crops.

The establishment of invasive species in new areas also represents an important threat to biodiversity [14]. Widespread species usually present a high climatic tolerance [15] and explore a wider range of resources than narrowly distributed species. As a result, they can outcompete native species. In a comprehensive survey of fruit-breeding drosophilids and their hosts in the Neotropics, Valadão et al. [16] recorded 180 species of plants (representing 50 families) acting as hosts of 100 drosophilid species. These authors also found that exotic drosophilids breed in more plant species and use exotic hosts more frequently than do Neotropical drosophilids. However, Valadão et al. [16] focused primarily on fruits collected near the host plants; fruits from markets and refuse containers were excluded from their analysis. As there is an expressive drosophilid fauna established in urban environments [17–21], it is worth investigating the drosophilid community associated with the resources available in commercial markets.

The Cerrado biome, also known as Brazilian Savanna, spans most of the Central Brazilian highlands [22] and is one of the world's biodiversity hotspots due to its high level of endemism and habitat loss [23]. It comprises a savanna of variable structure on the well-drained interfluves, with gallery forests or other moist vegetation following the watercourses [24]. The climate in the Cerrado is tropical dry winter Aw in 95% of the biome, according to the Koeppen classification, and the precipitation is highly seasonal and concentrated during the rainy season from October to April. Currently, 125

neotropical and 13 exotic species of drosophilid have been recorded in this biome [25]. The drosophilids established in a protected area in the center of the Cerrado biome and monitored since 1998 seem to respond to climate seasonality, vegetation heterogeneity, disturbance (including the arrival of exotic species), resource availability, and parasitoids [26–33]. Given the degree of knowledge of this system, it is relevant to investigate the entry routes and establishment sites of exotic species. In this context, food supply and distribution centers in urban areas, which receive products not only from all over the country but also from abroad, become important places to be explored.

The objective of our study was to investigate the relationship between drosophilids and plant species in a distribution center that supplies many urban markets located in the core area of the Cerrado biome. Our main questions were the following: Does the drosophilid community change over time? How are drosophilid species distributed among plant species? Do exotic drosophilids explore a wider range of resources than neotropical drosophilids?

## **2. Materials and Methods**

### **2.1. Collections and Taxonomic Determination**

Plant resources were collected at the Centrais de Abastecimento do Distrito Federal (“Federal District Supply Center” hereafter CEASA-DF), located in the Industry and Supply Sector of Brasília, Brazil. The horticultural products that arrive at CEASA-DF come from different regions of the country and undergo a selection process before being sold. In this process, fruits and vegetables that are deemed unfit for consumption are discarded on the ground, under unloading trucks, and in refuse containers. The collections focused on these decomposing plant resources, which serve as breeding sites for flies and were concentrated over two periods. First, six monthly collections were carried out between August 2007 and January 2008. In the second period, five collections were carried out between October 2018 and May 2019. The collection method in both periods was similar: two collectors randomly collected plant resources. However, in the first period, the collectors spent up to two hours on each collection, while in the second, they spent up to one hour, or until they completed a box of approximately 50 L. The sample units collected (fruits, vegetables, or their fragments) were individually packed and transported to the laboratory.

In the laboratory, each plant sample unit was identified to species (or variety for *Brassica olearacea* L. and *Prunus persica* L.) and classified into types: DF (dry fruits),

FF (fleshy fruits), SB (stem bulbs with cataphylls), ST (stem tubers), RT (root tubers), and VL (vegetative leaves). Sample units were then weighed and placed in a transparent plastic container to allow visualization of the hatched flies. In the containers, a thin layer of vermiculite was placed at the bottom to control humidity, and a thin cloth was placed at the opening to trap flies and allow gas exchange. The containers, kept at 25 °C and 12 h:12 h (L:D), were observed every two days. Hatched flies were aspirated and identified by external morphology [34,35] or male terminalia [36,37]. Taxon circumscriptions, names, authors, and geographic distributions of plant and drosophilid species are cited in Valadão et al. [16]. Taxa not included in their study were checked in Taxodros [1] and The World Flora Online [38] for drosophilids and plants, respectively.

## 2.2 Data Analyses

To assess sampling effort and compare species richness for both collection periods [39], we plotted the drosophilid species accumulation curves using a sample-based rarefaction method (plant taxa) using the function “specaccum” in the Vegan package [40] available in R 4.2.2. We used the Whittaker plot to show the species abundance rank and assess the evenness of the community [41]. To calculate the relative abundance of exotic/neotropical species, we added up the abundances of all the species in each category and divided them by the total abundance. We also assessed the drosophilid density (Nflies/g) per plant species; plant samples without emergencies were not considered. For each collection period, we built matrices of interactions between drosophilid species and plant species, including all recorded interactions. Then, we generate two bipartite networks to visualize the webs. Moreover, we calculated the Spearman correlation between the mass of each vegetable species and the richness and abundance of flies to understand whether the number of interactions reflected the number of resources. For that, the bipartite package [42] and the function “cor.test,” available in R 4.2.2, were used.

The classification of drosophilids as generalists or specialists was based on the criteria established by Magnacca et al. [43]. A species was considered a specialist if two conditions were satisfied: (i) at least two-thirds of its breeding records are associated with a single plant family; and (ii) any other family has <25% of the remaining records, ensuring a clear preference for a single family. For example, a species with 60 breeding records would be considered a specialist if at least 40 records were made in a single plant family and any other family had no more than 15 records. Thus, a drosophilid may be considered a specialist even if it uses alternative plant families as secondary or occasional hosts.

To investigate whether exotic drosophilids explore a wider range of resources than neotropical drosophilids, we calculated the proportion of positive associations observed between Neotropical (N) and exotic (E) hosts (H) and drosophilid (D) species for the four possible pairs: NH × ND, NH × ED, EH × ND, and EH × ED. The expected percentage of associations for each pair was predicted based on the total number of possible associations in the matrix. The adherence between observed and predicted association percentages in each category was tested using the X<sup>2</sup> goodness-of-fit test followed by an exact binomial test for each pair as a post hoc test [44]. For this analysis, we only used nominal species.

### 3. Results

In total, 99,478 kg of plant resources representing 48 species and two varieties (50 taxa in 28 botanical families) were collected and transported to the laboratory (Table 1). From this material, 48,894 drosophilids emerged, representing 16 species (Table 2). Despite the number of sampling units and drosophilids being approximately 50% smaller in the second period compared to the first, the two rarefaction curves stabilized. Thus, in both periods, the sampling effort was sufficient to represent the richness of drosophilids in this urban supply center (Figure 1).

#### 3.1. Temporal Changes

The richness of fly species in both periods was similar: 12 and 13 species, with a strong dominance of exotic species (Figure 2). The two most common species present on the two collection occasions (Table 2) corresponded to 98.7% and 93.4% of the total abundance, respectively. The species composition varied: nine occurred in both periods, three occurred exclusively in 2007–2008, and four occurred only in 2018–2019. The plant species most used by flies in 2007–2008 were pumpkin (1.81 flies/g of resource), melon (1.65 flies/g), and pineapple (1.26 flies/g). In the second period (2018–2019), the plant species with the highest density of drosophilids were potato (4.12 flies/g), mango (1.90 flies/g), and pineapple (1.34 flies/g). Several plant taxa did not register drosophilid emergence (Table 1).

**Table 1.** Plant families and taxa collected in the Federal District Supply Center in Brasília, Brazil (CEASA).

Family	Taxa	Popular name	Code	Type	Mass (g)	Empty Mass (%)	Collection Period
Actinidiaceae	<i>Actinidia chinensis</i> Planch. <sup>E</sup>	Kiwi; Kiwi	1	FF	592.4	86.26	1', 2
Amaranthaceae	<i>Beta vulgaris</i> L. <sup>E</sup>	Beterraba; Beetroot	2	RT	482.9	100	2'
Amaryllidaceae	<i>Allium cepa</i> L. <sup>E</sup>	Cebola; Onion	3	SB	3,037.1	57.81	1, 2
Anacardiaceae	<i>Anacardium occidentale</i> L. <sup>N</sup>	Caju; Cashew fruit	4	FF	524.0	25.38	1
	<i>Mangifera indica</i> L. <sup>E</sup>	Manga; Mango	5	FF	8,595.8	69.42	1, 2
	<i>Spondias mombin</i> L. <sup>N</sup>	Cajá,Cajazinho; Java plum	6	FF	107.2	100	2'
	<i>Spondias purpurea</i> L. <sup>N</sup>	Ciriguela, Seriguela; Gambia plum, Purple mombin	7	FF	8.9	100	2'
Annonaceae	<i>Annona squamosa</i> L. <sup>N</sup>	Pinha, Fruta do Conde; Custard apple	8	FF	398.6	100	2'
Apiaceae	<i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancr. <sup>N</sup>	Batata baroa, Mandioquinha; Arracache, Peruvian parsnip	9	RT	79.7	100	2'
	<i>Daucus carota</i> L. <sup>E</sup>	Cenoura; Carrot	10	RT	501.8	100	2'
Araceae	<i>Colocasia esculenta</i> (L.) Schott <sup>E</sup>	Inhame; Cocoyam, Taro	11	ST	711	73.42	1
Asteraceae	<i>Lactuca sativa</i> L. <sup>E</sup>	Alface; Lettuce	12	VL	290	0	1
Brassicaceae	<i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>acephala</i> DC. <sup>E</sup>	Couve; Collard greens, Kale	13	VL	59.9	100	2'
	<i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>capitata</i> L. <sup>E</sup>	Repolho; Cabbage	14	VL	585	0	1
Bromeliaceae	<i>Ananas comosus</i> (L.) Merr. <sup>N</sup>	Abacaxi; Pineapple	15	FF	27,195.5	0	1, 2
Cactaceae	<i>Selenicereus undatus</i> (Haw.) D.R.Hunt <sup>N</sup>	Pitaya; Dragon fruit	16	FF	205.9	100	2'
Caricaceae	<i>Carica papaya</i> L. <sup>N</sup>	Mamão; Papaya	17	FF	6,256.2	87.24	1', 2
Caryocaraceae	<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess. <sup>N</sup>	Pequi; no English name	18	FF	171	17.54	1

(continuação)

Family	Taxa	Popular name	Code	Type	Mass (g)	Empty Mass (%)	Collection Period
Convolvulaceae	<i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam. <sup>N</sup>	Batata doce; Sweet potato	19	RT	125.2	100	2'
Cucurbitaceae	<i>Cucumis anguria</i> L. <sup>E</sup>	Maxixe; West indian gherkin	20	FF	577.7	78.38	1, 2
	<i>Citrullus lanatus</i> (Thunb.) Matsum. and Nakai <sup>E</sup>	Melancia; Watermelon	21	FF	6,071.9	2.86	1, 2
	<i>Cucumis melo</i> L. <sup>E</sup>	Melão; Melon	22	FF	962.9	0	1, 2
	<i>Curcubita moschata</i> Duchesne <sup>N</sup>	Abóbora; Pumpkin, Winter squash	23	FF	1,497.3	11.98	1, 2
	<i>Cucumis sativus</i> L. <sup>E</sup>	Pepino; Cucumber	24	FF	844.7	58.01	1, 2
	<i>Sicyos edulis</i> Jacq. <sup>N</sup>	Chuchu; Chayote, Corstophine	25	FF	558.9	31.10	2
Ebenaceae	<i>Diospyros kaki</i> L.f. <sup>E</sup>	Caqui; Persimmon	26	FF	282.8	100	2'
Lauraceae	<i>Persea americana</i> Mill. <sup>N</sup>	Abacate; Avocado	27	FF	1,201.4	100	2'
Malvaceae	<i>Hibiscus esculentus</i> L. <sup>N</sup>	Quiabo; Okra, Gumbo, Lady's fingers	28	DF	62.9	100	2'
Moraceae	<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam. <sup>E</sup>	Jaca; Jackfruit	29	FF	1,490	0	1
Musaceae	<i>Musa x paradisiaca</i> L. <sup>E</sup>	Banana; Banana	30	FF	5,860.3	34.55	1, 2
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i> L. <sup>N</sup>	Goiaba; Guava	31	FF	1,035.7	54.28	1', 2
Oxalidaceae	<i>Averrhoa carambola</i> L. <sup>E</sup>	Carambola; Star fruit	32	FF	105.3	13.58	1, 2'
Passifloraceae	<i>Passiflora edulis</i> Sims <sup>N</sup>	Maracujá; Passion fruit	33	FF	1,800.9	43.17	1, 2
Rosaceae	<i>Fragaria vesca</i> L. <sup>N</sup>	Morango; Strawberry	34	FF	209.8	64.59	1, 2
	<i>Malus domestica</i> (Suckow) Borkh. <sup>E</sup>	Maçã; Apple	35	FF	5,128	94.,44	1, 2'
	<i>Prunus domestica</i> L. <sup>E</sup>	Ameixa; Plum	36	FF	1,393	63.03	1, 2

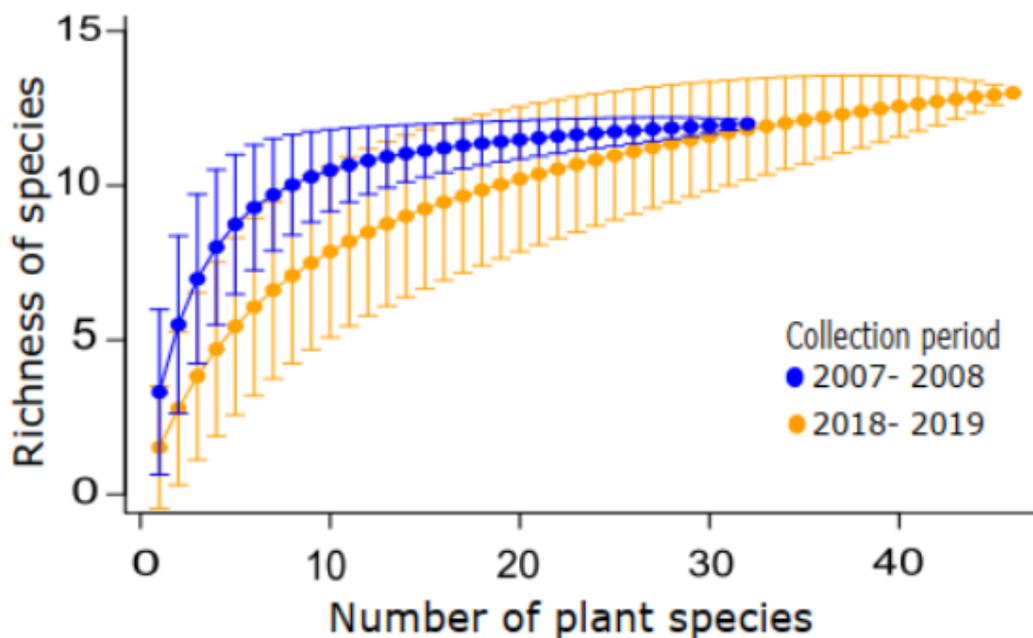
(continuação)

Family	Taxa	Popular name	Code	Type	Mass (g)	Empty Mass (%)	Collection Period
	<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch <sup>E</sup>	Pêssego; Peach	37	FF	709	56.56	1, 2'
	<i>Prunus persica</i> var. <i>nucipersica</i> (L.) C.K. Schneid. <sup>E</sup>	Nectarina; Nectarine	38	FF	433.8	76.26	1, 2'
	<i>Pyrus communis</i> L. <sup>E</sup>	Pera; Pear	39	FF	1,568.4	73.64	1, 2
Rutaceae	<i>Citrus x aurantiifolia</i> (Christm.) Swingle <sup>E</sup>	Limão; Lime	40	FF	571	80,14	2
	<i>Citrus x reticulata</i> Blanco <sup>E</sup>	Mexirica, Bergamota; Tangerine	41	FF	2,391	38,62	1, 2
	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck <sup>E</sup>	Laranja; Orange	42	FF	2,681.2	47.,78	1, 2
Sapindaceae	<i>Litchi chinensis</i> Sonn. <sup>E</sup>	Lichia; Lychee	43	FF	19.9	100	2'
Solanaceae	<i>Capsicum annuum</i> L. <sup>N</sup>	Pimentão; Bell pepper	44	FF	2,346.5	71.02	1, 2
	<i>Capsicum chinense</i> L. <sup>N</sup>	Pimenta; Chili pepper	45	FF	25.5	100	2'
	<i>Solanum aethiopicum</i> L. <sup>E</sup>	Jiló; Bitterberry	46	FF	239.6	100	2'
	<i>Solanum lycopersicum</i> Lam. <sup>N</sup>	Tomate; Tomato	47	FF	5,592	39.33	1, 2
	<i>Solanum melongena</i> L. <sup>E</sup>	Beringela; Eggplant, Aubergine	48	FF	360.5	39.92	2
	<i>Solanum tuberosum</i> L. <sup>N</sup>	Batata; Potato	49	<b>ST</b>	3,420.4	79.69	1, 2
Vitaceae	<i>Vitis vinifera</i> L. x <i>Vitis labrusca</i> <sup>EN</sup>	Uva; Grape	50	FF	108.4	40.96	1, 2'

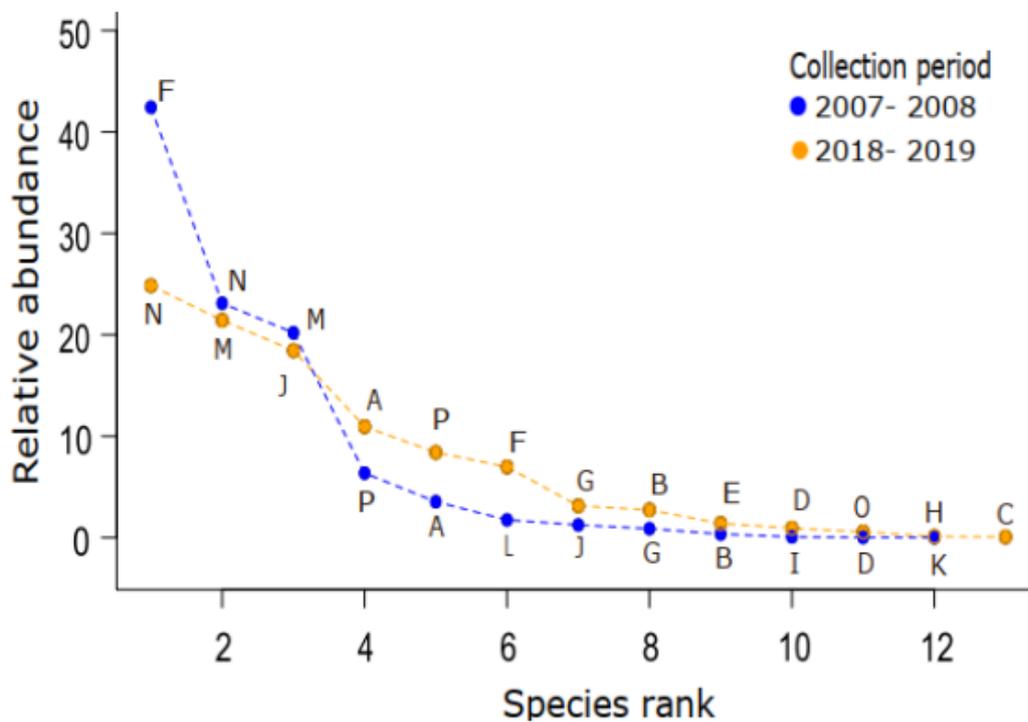
<sup>E</sup>: exotic; <sup>N</sup>: neotropical. Popular names: Brazilian Portuguese; English names. DF: dry fruit; FF: fleshy fruit; RT: root tuber; SB: stem bulb with cataphylls; ST: stem tuber; VL: vegetative leaf. Resources that are not FF in bold. Code: as in Figure 3. Mass: total collected. Empty mass: mass without the emergence of drosophilids. Collection periods 1: 2007–2008; 2: 2018–2019; apostrophe ('): there was no emergence of flies.

**Table 2.** Genera, subgenera, groups, and species of Drosophilidae recorded on fruits and vegetables collected in the Federal District Supply Center located in Brasília, Brazil, in two collection periods: 2007–2008 (1) and 2018–2019 (2). <sup>E</sup>: exotic; <sup>N</sup>: neotropical; Plant Fam/Spp: number of plant families and plant species with drosophilid records.

Genus	Subgenus	Group	Species	Code	Plant Fam/Spp	Abundance					
						2007–2008	2018–2019				
<i>Drosophila</i>	<i>Dorsilopha</i>	<i>busckii</i>	<i>D. busckii</i> Coquillett <sup>E</sup>	A	6/13	1,198	1,647				
			<i>D. cardini</i> Sturtevant <sup>N</sup>	B	9/14	121	412				
	<i>Drosophila</i>	<i>cardini</i>	<i>cardinoides</i>	<i>D. cardinoides</i>	C	1/2	0	11			
				Dobzhansky and Pavan <sup>N</sup>							
				<i>D. immigrans</i> Sturtevant <sup>E</sup>	D	4/4	8	140			
				<i>D. nasuta</i> Lamb <sup>E</sup>	E	1/1	0	211			
				<i>repleta</i>	<i>D. hydei</i> Sturtevant <sup>E</sup>	F	11/14	14,361	1,049		
					<i>D. mercatorum</i> Patterson and Wheeler <sup>N</sup>	G	9/13	299	472		
					<i>D. repleta</i> Wollaston <sup>N</sup>	H	1/1	0	17		
				<i>Sophophora</i>	<i>willistoni</i>	<i>melanogaster</i>	<i>D. nebulosa</i> Sturtevant <sup>N</sup>	I	4/4	25	0
							<i>D. ananassae</i> Doleschall <sup>E</sup>	J	10/14	424	2,775
							<i>D. kikkawai</i> Burla <sup>E</sup>	K	1/1	2	0
	<i>D. malerkotliana</i> Parshad and Paika <sup>E</sup>	L	6/6				592	0			
	<i>D. melanogaster</i> Meigen <sup>E</sup>	M	11/15				6,838	3,225			
	<i>Zaprionus</i>		<i>saltans</i>	<i>D. simulans</i> Sturtevant <sup>E</sup>	N	15/22	7,824	3,739			
				<i>D. sturtevantii</i> Duda <sup>N</sup>	O	1/1	0	85			
<i>Z. indianus</i> Gupta <sup>E</sup>				P	14/20	2,154	1,265				



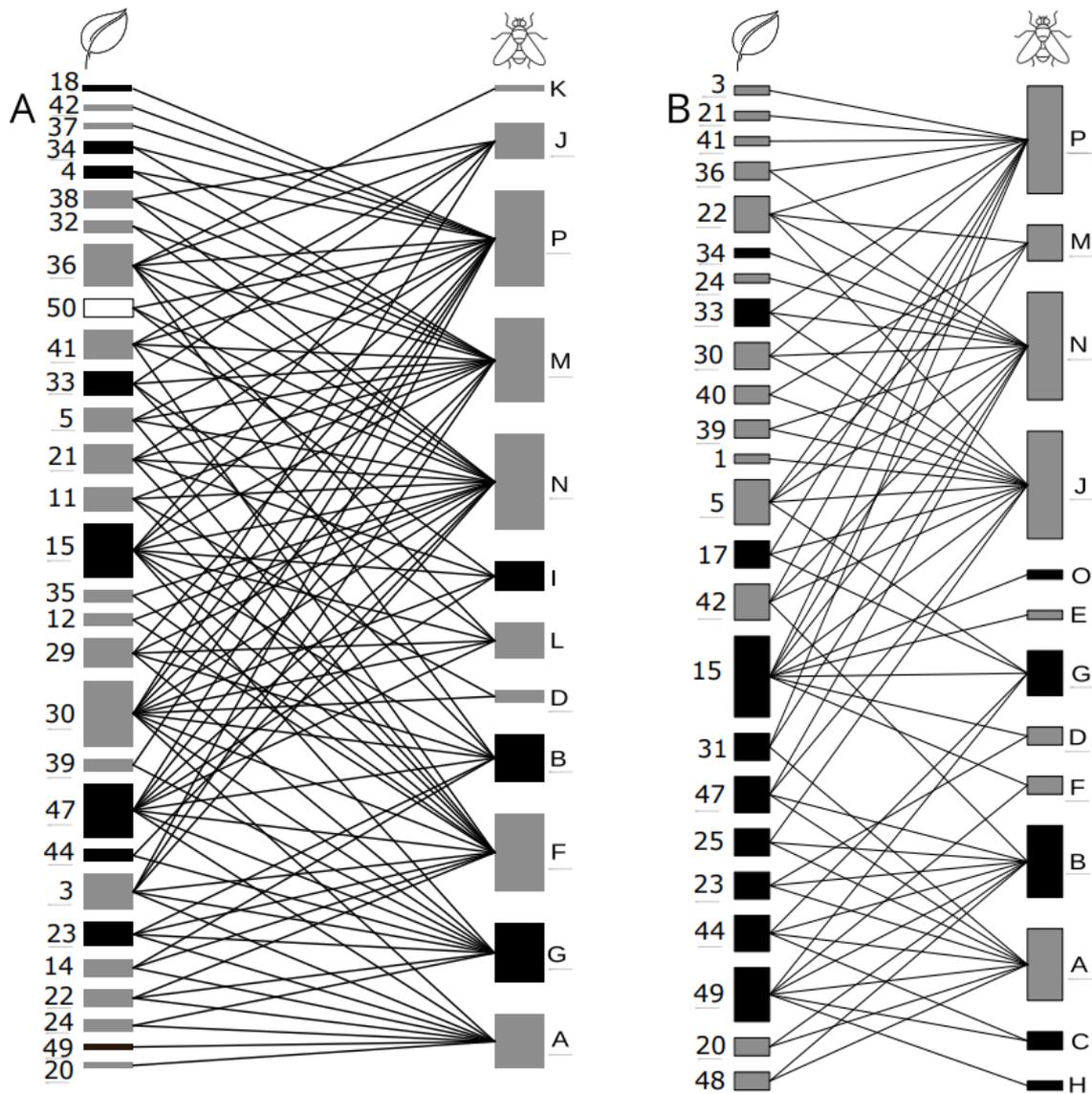
**Figure 1.** Sample-based rarefaction curves for Drosophilid species were recorded in fruits and vegetables collected in the Federal District Supply Center located in Brasília, Brazil, in two collection periods.



**Figure 2.** Rank–abundance distribution for drosophilid species recorded in fruits and vegetables collected in the Federal District Supply Center located in Brasília, Brazil, in two collection periods.

### 3.2. Relationships between Plant and Drosophilid Species

The associations between plant and drosophilid species are shown in Figure 3. The richness of drosophilids in the same plant species varied between 1 and 12, and the most commonly used hosts were pineapple (12 species), banana (11 species), tomato (10 species), melon, and plum (7 species each). Similarly, the number of hosts used by the same species of drosophilid varied between 1 and 22 (Table 2). The drosophilids recorded in most plant species were *Drosophila simulans* (22) and *Zaprionus indianus* (20). However, most species of drosophilids were considered generalists when analyzed using the Magnacca criterion. The exceptions were *D. cardinoides*, *D. nasuta*, *D. repleta*, *D. kikkawai*, and *D. sturtevanti*. The total success rate of fly emergence across the years was 70% of resources (N = 50 species). Fleshy fruits had a success rate of 76.9%; other classes of resources (pooled), such as tubers, bulbs, fruits that are fry at maturity, and leaves, had a lower rate of fly emergence (45.5%).



**Figure 3.** Quantitative food webs for drosophilid species were recorded in fruits and vegetables collected in the Federal District Supply Center located in Brasília, Brazil. (A) collection periods 2007–2008 and (B) collection periods 2018–2019. For each web, the left bars represent the host plant, and the right bars represent drosophilid species. The black lines represent established interactions between plants and drosophilids. The black bars represent native species for the Neotropical region, and the grey bars represent exotic species. The plant and fly species codes are given in Tables 1 and 2, respectively. Underlined codes represent species occurring in both periods, A and B.

The correlation between the drosophilid abundance hatched from each plant species and its mass (weighed in the laboratory) was 0.78 ( $p < 0.01$ ) and 0.76 ( $p < 0.01$ ) in the two collection periods, respectively. The correlation between the drosophilid richness hatched from each plant species and its mass was 0.8 ( $p < 0.01$ ) and 0.72 ( $p < 0.01$ ).

### 3.3. Neotropical and Exotic Resources Explored by Neotropical and Exotic Drosophilids

Regarding the geographic (native) origin of flies and host species, the matrix between nominal drosophilids and plants showed that 18.11% of all possible associations were recorded. Although the overall chi-square was not significant ( $\chi^2 = 7.311$ , d.f. = 3,  $p > 0.05$ ), the use of exotic hosts was significantly lower than expected for neotropical drosophilids and higher than expected for exotic drosophilids (Table 3). The use of neotropical hosts by neotropical and exotic drosophilids follows the same pattern, except that the  $p$ -value ( $p < 0.07$ ) was marginally significant.

**Table 3.** Percentages of observed interactions (matrix cell occupancy) between drosophilids and host species (i.e., 100% would mean all possible drosophilids using all possible hosts) for each of four possible classes of interaction: (i) Neotropical drosophilid  $\times$  Neotropical host; (ii) Neotropical drosophilid  $\times$  exotic host; (iii) exotic drosophilid  $\times$  Neotropical host; and (iv) exotic drosophilid  $\times$  exotic host.  $p$ -values refer to pair Binomial tests.

Drosophilids	Plant Hosts			
	Neotropical (21 Taxa)		Exotic (29 Taxa)	
Neotropical (6 species)	19/126 = 15.08%	( $p = 0.067$ )	15/174 = 8.93%	( $p < 0.001$ )
Exotic (10 species)	40/210 = 19.05%	( $p = 0.064$ )	68/280 = 24.28%	( $p = 0.012$ )

## 4. Discussion

This is the first study to investigate the drosophilid community's association with resources available in a food supply distribution center in the Neotropics. This study demonstrated that the drosophilid communities sampled in the two periods, separated by a decade, were remarkably similar and were mainly composed of generalist species, with most of them being exotic to the Neotropical region. Exotic drosophilid species clearly explored more hosts than their neotropical counterparts, especially exotic host species, supporting the pattern found for wild drosophilids and their fruit hosts [16].

### 4.1. The Fly Community Remained Relatively Stable after Ten Years

Over time, many similarities have been identified between the two widely isolated samples. Species richness was very similar, and the composition followed the pattern found in natural environments [45]: a few dominant species, generally exotic, in contrast to much more numerous rare species. The relative abundance of species in the community seems to be a predictor of their persistence in the community since the less frequent species (>1.23%) fluctuated the most between the two periods. Our results also support the hypotheses that

anthropic environments are favorable for establishing generalist drosophilids [17,19,46]. Markets, especially, provide large amounts and a variety of food resources for drosophilids and are less subject to climate seasonality that affects arthropod communities in tropical savannahs [47–49]. Therefore, distribution centers such as the one studied here may function as reservoirs that support generalist and exotic drosophilid populations.

#### 4.2. Drosophilid Species Are Not Randomly Distributed Among Plant Species

The abundance of drosophilids in each plant species was strongly correlated with the mass brought to the laboratory. Previous studies suggest that resource availability is an important predictor of population growth rates [32,50]. However, fly density fluctuated strongly among different hosts, indicating that plant identity also plays an important role in drosophilid abundance. In drosophilids, there are guilds of species associated with flowers, fungi, and fruits [2,51]. Even within the same guild, however, some host species seem to be especially attractive to flies. For the community studied here, pineapple represents an important resource because it is abundant, supports a high density and richness of drosophilids, and all the collected fragments were colonized. The richness and abundance of drosophilids in each host species probably reflect characteristics such as host chemistry, microbial composition, texture, temperature, and the presence or absence of larvae [52]. *Drosophila* females usually explore the substrate with their proboscis and ovipositor to evaluate its quality for oviposition [53]. As the internal microbiome of a single fly represents a highly reduced subset of the external microbial community, the flies might have some level of control over the yeasts and bacteria that inhabit their digestive tracts [54,55].

As might be expected [2], the emergence of Drosophilids from fleshy fruit (FF) resources was higher than from other types of resources, i.e., bulbs (SB), tubers (RT and ST), leaves (VL), and dry fruits (DF). No emergence of flies was detected from any of the root tubers (RT; N = 4), i.e., beetroot, carrot, Peruvian parsnip, or sweet potato; in nature, such resources would rot underground. There was also no emergence from Okra, commercialized as fruit at a very immature stage, that would have naturally matured into a dry, capsular fruit (DF). Stem and leaf resources (SB, ST, and VL), i.e., cabbage, collard greens, lettuce, onions, potato, and taro had varying levels of emergence. Seven species of *Drosophila* emerged in total from these resources, all of which, except for *D. immigrans*, were among the most abundant species in our dataset, with the three most abundant species of flies, *D. hydei*, *D. simulans*, and *D. melanogaster*, respectively colonizing four, three, or two species of these classes of resources.

The insect's choice of the host seems to be based on a decision rule that maximizes the expected production of offspring. Polyphagy is putatively selected for when the chances of an organism finding its preferred resource as well as encountering impalatable, toxic, or poor-quality resources are low, while monophagy is selected for when the chances of it finding its preferred resource, as well as encountering impalatable, toxic, or poor-quality resources are high; both strategies aim at maximizing intake of high-quality resources and avoiding a poor-quality diet [56]. The community studied here is mostly composed of generalist species that oviposit in hosts presenting a wide range of conditions. As urban markets tend to maintain high resource availability throughout the year, even if their composition varies according to seasonality, generalist drosophilids can easily find suitable breeding sites and therefore maintain larger populations in these locations. At the other extreme, four species (*D. kikkawai*, *D. repleta*, *D. sturtevantii*, and *D. nasuta*) were bred from a single host and presented relative abundances lower than 0.05%. Although resource fidelity has been described in drosophilid species [57,58], this is not the case here. *D. kikkawai*, *D. repleta*, and *D. sturtevantii* have been recorded in at least six plant families, and *D. nasuta* was a recent invader in the Neotropics during the period of this study; currently, it is widely established in South America, but its breeding sites are virtually unknown [59].

#### 4.3. Exotic Drosophilids Use More Resources Than Neotropical Drosophilids

The three drosophilid species that exploit the most resources—*Drosophila simulans*, *Zaprionus indianus*, and *D. melanogaster*—are endemic to Africa [3,35], widely distributed throughout the world [1], and abundant in South America [26,32,60]. The success of exotic drosophilids partly stems from their ability to exploit a wider range of plant species. This finding supports Valadão et al. [16], who suggest three complementary hypotheses to explain the broader resource richness used by exotic drosophilids. First, exotic species have survived the trials of introduction, establishment, and dispersion in a new area; thus, they should be adapted to an array of conditions. Second, they may favor their own offspring by inoculating microbes at their breeding sites through their fecal deposits and oviposited eggs [61,62], enhancing the resources available to hatching larvae. Finally, exotic drosophilids can be superior competitors compared to native species: *D. melanogaster* can affect the size of other species when sharing the same resource patch during the larval stage [63], and *Z. indianus* can chase away other species of drosophilids that leave potential breeding sites without laying eggs

(see video S1 in Valadão et al. [16]). These processes can promote niche breadth expansion via adaptive evolution [64].

Exotic drosophilids were particularly successful in breeding on exotic host plants, which usually represent much of the resources available in fruit and vegetable distribution centers. Consequently, these markets could provide plentiful breeding sites that act as sources of species that colonize surrounding patches of natural vegetation as well as a possible selection for enhanced generalism. The dispersion of competitive species from urban markets to nature, in turn, could contribute to biotic homogenization by eliminating native species [65,66]. The decline of insect populations and species around the world has been intensely debated, and while there are studies suggesting dramatic rates of extinction of insect species over the next few decades [67,68], there is also some criticism of the methods used to estimate this decline [69].

#### 4.4. Future Research

Drosophilids are good models in many areas of research [70], including conservation and invasion biology [71,72]. In addition to the high-quality, extensively researched publications about nearly all aspects of these flies, there are also complete databanks dealing with *Drosophila* genetics (<https://flybase.org/>, accessed on 18 January 2023) and taxonomy, including geographical distribution (<https://www.taxodros.uzh.ch/>, accessed on 18 January 2023). An interesting line of research would be testing the hypothesis that geographically widespread generalists have an apparently greater tendency to use novel, exotic hosts than geographically constrained specialists, as found for butterflies [73,74]. Another promising avenue for research is the standardized approach for systematically monitoring alien species and tracking biological invasions [75]. Considering that exotic species can interact, favoring each other and establishing new ones [76], monitoring becomes especially relevant. In the interval between the two collection periods, the establishment of two exotic species in the Neotropical region was recorded: *Drosophila nasuta* and *D. suzukii*. The first, *D. nasuta*, was registered by us in the second collection period as a rare specialist species (<0.5% of the sample came from a single host), although it was much more abundant (211 records) than the other newly recorded species of the second period combined (113). This result certainly reflects the short time of introduction at the time of collection since there are records of *D. nasuta* associated with different trophic levels [77]. Furthermore, given its distribution potential in

different Neotropical biomes [78,79], *D. nasuta* possibly uses a variety of resources that should mediate its dispersal. The second, *D. suzukii*, was not found in our samples, although it occurs in natural environments adjacent to the study area [80]. Known as the spotted-winged *Drosophila*, *D. suzukii* has already been found on 64 host plants in 25 families in Latin America, most of which are exotic species [10]. This is an important worldwide pest that infests wild and cultivated small soft-skinned fruits [81], and the rarity of this type of host in our samples might explain its absence in the present study.

## 5. Conclusions

In short, our study suggests that the drosophilid community established in a fruit and vegetable distribution center located in the core area of South America is relatively stable and dominated by generalist exotic species. Neotropical species were also present, but in general, they were rarer and showed a narrower niche breath. These results are worrying because the studied site, along with other urban markets around the world, might be acting as sources of generalist widespread species that disperse to surrounding natural vegetation and contribute to biotic homogenization.

**Author Contributions:** Conceptualization, R.T. and L.B.R.; methodology, L.B.R.; formal analysis, L.B.R. and R.T.; investigation, all authors; resources, R.T.; data curation, all authors; writing—original draft preparation, L.B.R. and R.T.; writing—review and editing, all authors; visualization, all authors; supervision, R.T.; project administration, R.T.; funding acquisition, R.T. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research was funded by the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), grant numbers 309973/20171 and 131296/2021-3, Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAPDF), grant number 0193.001710/2017, and Coordenação de Pessoal de Nível Superior (CAPES), code 001.

**Data Availability Statement:** Not applicable.

**Acknowledgments:** We are grateful to P.L. Rocha and K. Yuzuki for their technical support in collections and fly identification, and to L.H.P. Vieira and J.A.A. Nunes for their advice in the analyses.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest. The funders had no role in the design of the study, in the collection, analysis, or interpretation of data, in the writing of the manuscript, or in the decision to publish the results.

## References

1. TaxoDros: The Database on Taxonomy of Drosophilidae, v.1.04. Database. Available online: <https://www.taxodros.uzh.ch/search/class.php> (accessed on 18 January 2023).
2. Carson, H.L. *The Ecology of Drosophila Breeding Sites*; Harold L-Lyon Arboretum Lecture; University of Hawaii Foundation Lyon Arboretum Fund: New York, NY, USA, 1971; p. 28.
3. David, J.R.; Tsacas, L. Cosmopolitan, subcosmopolitan and widespread species: Different strategies within the Drosophilid family (Diptera). *C. R. Soc. Biogeogr.* **1981**, *57*, 11–26.
4. Drosophilidae in Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil. PNUD. Available online: <http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil/183186> (accessed on 19 January 2023).
5. Val, F.C.; Sene, F.M. Nova Introdução de *Drosophila* No Brasil. *Papéis Avulsos Zool.* **1980**, *33*, 293–298.
6. Vilela, C.R. Is *Zaprionus indianus* Gupta, 1970 (Diptera, Drosophilidae) Currently Colonising the Neotropical Region? *Drosoph. Inf. Serv.* **1999**, *82*, 37–38.
7. Vilela, C.R.; Goñi, B. Is *Drosophila nasuta* Lamb (Diptera, Drosophilidae) Currently Reaching the Status of a Cosmopolitan Species? *Rev. Bras. Entomol.* **2015**, *59*, 346–350. <https://doi.org/10.1016/j.rbe.2015.09.007>.
8. Deprá, M.; Poppe, J.L.; Schmitz, H.J.; De Toni, D.C.; Valente, V.L.S. The First Records of the Invasive Pest *Drosophila suzukii* in the South American Continent. *J. Pest Sci.* **2014**, *87*, 379–383. <https://doi.org/10.1007/s10340-014-0591-5>.
9. Cavalcanti, F.A.G.S.; Ribeiro, L.B.; Marins, G.; Tonelli, G.S.S.S.; Bão, S.N.; Yassin, A.; Tidon, R. Geographic Expansion of an Invasive Fly: First Record of *Zaprionus tuberculatus* (Diptera: Drosophilidae) in the Americas. *Ann. Entomol. Soc. Am.* **2022**, *115*, 267–274. <https://doi.org/10.1093/aesa/saab052>.
10. Garcia, F.R.M.; Lasa, R.; Funes, C.F.; Buzzetti, K. *Drosophila suzukii* Management in Latin America: Current Status and Perspectives. *J. Econ. Entomol.* **2022**, *115*, 1008–1023. <https://doi.org/10.1093/jee/toac052>.

11. Lee, J.C.; Rodriguez-Saona, C.R.; Zalom, F.G. Introductory Remarks: Spotlight on Spotted-Wing *Drosophila*. *J. Econ. Entomol.* **2022**, *115*, 919–921. <https://doi.org/10.1093/jee/toac041>.
12. Roque, F.; Matavelli, C.; Lopes, P.H.S.; Machida, W.S.; Von Zuben, C.J.; Tidon, R. Brazilian Fig Plantations Are Dominated by Widely Distributed Drosophilid Species (Diptera: Drosophilidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* **2017**, *110*, 521–527. <https://doi.org/10.1093/aesa/sax044>.
13. EFSA Panel on Plant Health (PLH); Bragard, C.; Baptista, P.; Chatzivassiliou, E.; Di Serio, F.; Gonthier, P.; Jaques Miret, J.A.; Justesen, A.F.; Magnusson, C.S.; Milonas, P.; et al. Pest Categorisation of *Zaprionus indianus*. *EFSA J.* **2022**, *20*, e07144. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7144>.
14. Mollot, G.; Pantel, J.H.; Romanuk, T.N. Chapter Two—The Effects of Invasive Species on the Decline in Species Richness: A Global Meta-Analysis. In *Advances in Ecological Research*; Bohan, D.A., Dumbrell, A.J., Massol, F., Eds.; Networks of Invasion: A Synthesis of Concepts; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2017; Volume 56, pp. 61–83.
15. da Silva, C.R.B.; Beaman, J.E.; Dorey, J.B.; Barker, S.J.; Congedi, N.C.; Elmer, M.C.; Galvin, S.; Tuiwawa, M.; Stevens, M.I.; Alton, L.A.; et al. Climate Change and Invasive Species: A Physiological Performance Comparison of Invasive and Endemic Bees in Fiji. *J. Exp. Biol.* **2021**, *224*, jeb230326. <https://doi.org/10.1242/jeb.230326>
16. Valadão, H.; Proença, C.E.B.; Kuhlmann, M.P.; Harris, S.A.; Tidon, R. Fruit-Breeding Drosophilids (Diptera) in the Neotropics: Playing the Field and Specialising in Generalism? *Ecol. Entomol.* **2019**, *44*, 721–737. <https://doi.org/10.1111/een.12769>.
17. Ferreira, L.B.; Tidon, R. Colonizing Potential of Drosophilidae (Insecta, Diptera) in Environments with Different Grades of Urbanization. *Biodivers. Conserv.* **2005**, *14*, 1809–1821. <https://doi.org/10.1007/s10531-004-0701-4>.
18. Gottschalk, M.S.; De Toni, D.C.; Valente, V.L.S.; Hofmann, P.R.P. Changes in Brazilian Drosophilidae (Diptera) Assemblages across an Urbanisation Gradient. *Neotrop. Entomol.* **2007**, *36*, 848–862. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2007000600005>.
19. Garcia, A.C.L.; Valiati, V.H.; Gottschalk, M.S.; Rohde, C.; Valente, V.L.d.S. Two Decades of Colonization of the Urban Environment of Porto Alegre, Southern Brazil, by

- Drosophila paulistorum* (Diptera, Drosophilidae). *Iheringia Série Zool.* **2008**, *98*, 329–338. <https://doi.org/10.1590/S0073-47212008000300007>.
20. Bombin, A.; Reed, L.K. The Changing Biodiversity of Alabama *Drosophila*: Important Impacts of Seasonal Variation, Urbanization, and Invasive Species. *Ecol. Evol.* **2016**, *6*, 7057–7069. <https://doi.org/10.1002/ece3.2452>.
  21. Grimaldi, D.; Ginsberg, P.S.; Thayer, L.; McEvey, S.; Hauser, M.; Turelli, M.; Brown, B. Strange Little Flies in the Big City: Exotic Flower-Breeding Drosophilidae (Diptera) in Urban Los Angeles. *PLoS ONE* **2015**, *10*, e0122575. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122575>.
  22. Eiten, G. The Cerrado Vegetation of Brazil. *Bot. Rev.* **1972**, *38*, 201–341. <https://doi.org/10.1007/BF02859158>.
  23. Myers, N.; Mittermeier, R.A.; Mittermeier, C.G.; da Fonseca, G.A.B.; Kent, J. Biodiversity Hotspots for Conservation Priorities. *Nature* **2000**, *403*, 853–858. <https://doi.org/10.1038/35002501>.
  24. Oliveira-Filho, A.T.; Ratter, J.A. 6. Vegetation Physiognomies and Woody Flora of the Cerrado Biome. In *The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*; Oliveira, P.S., Marquis, R.J., Eds.; Columbia University Press; New York, NY, USA, 2002; pp. 91–120.
  25. Ribeiro, L.B.; Cavalcanti, F.A.G.S.; Viana, J.P.C.; Amaral, J.M.; Costa, S.C.; Tidon, R. Updated List of Drosophilid Species Recorded in the Brazilian Savanna. *Dros. Inf. Serv.* **2022**, *105*, 85–89.
  26. Tidon, R.; Leite, D.F.; Leão, B.F.D. Impact of the Colonisation of *Zaprionus* (Diptera, Drosophilidae) in Different Ecosystems of the Neotropical Region: 2 Years after the Invasion. *Biol. Conserv.* **2003**, *112*, 299–305. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(02\)00322-1](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(02)00322-1).
  27. Tidon, R. Relationships between Drosophilids (Diptera, Drosophilidae) and the Environment in Two Contrasting Tropical Vegetations. *Biol. J. Linn. Soc.* **2006**, *87*, 233–247. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2006.00570.x>.
  28. Roque, F.; Hay, J.D.V.; Tidon, R. Breeding sites of drosophilids (Diptera) in the Brazilian Savanna. I. Fallen fruits of *Emmotum nitens* (Icacinaeae), *Hancornia speciosa* (Apocynaceae) and *Anacardium humile* (Anacardiaceae). *Rev. Bras. Entomol.* **2009**, *53*, 308–313.

29. Valadão, H.; Hay, J.D.V.; Tidon, R. Temporal Dynamics and Resource Availability for Drosophilid Fruit Flies (Insecta, Diptera) in a Gallery Forest in the Brazilian Savanna. *Int. J. Ecol.* **2010**, *2010*, e152437. <https://doi.org/10.1155/2010/152437>.
30. Roque, F.; da Mata, R.A.; Tidon, R. Temporal and Vertical Drosophilid (Insecta; Diptera) Assemblage Fluctuations in a Neotropical Gallery Forest. *Biodivers. Conserv.* **2013**, *22*, 657–672. <https://doi.org/10.1007/s10531-013-0433-4>.
31. Mata, R.A. da; Valadão, H.; Tidon, R. Spatial and Temporal Dynamics of Drosophilid Larval Assemblages Associated to Fruits. *Rev. Bras. Entomol.* **2015**, *59*, 50–57. <https://doi.org/10.1016/j.rbe.2015.02.006>.
32. Döge, J.d.S.; de Oliveira, H.V.; Tidon, R. Rapid Response to Abiotic and Biotic Factors Controls Population Growth of Two Invasive Drosophilids (Diptera) in the Brazilian Savanna. *Biol. Invasions* **2015**, *17*, 2461–2474. <https://doi.org/10.1007/s10530-015-0889-0>.
33. Schneider, D.I.; Sujii, E.R.; Laumann, R.A.; Tidon, R. Parasitoids of Drosophilids in the Brazilian Savanna: Spatial–Temporal Distribution and Host Associations with Native and Exotic Species. *Neotrop. Entomol.* **2022**, *51*, 514–525. <https://doi.org/10.1007/s13744-022-00966-7>.
34. Freire-Maia, N.; Pavan, C. Introdução ao Estudo da *Drosophila*. *Rev. Cultus* **1949**, *1*, 3–61.
35. Yuzuki, K.; Tidon, R. Identification Key for Drosophilid Species (Diptera, Drosophilidae) Exotic to the Neotropical Region and Occurring in Brazil. *Rev. Bras. Entomol.* **2020**, *64*, e2019100. <https://doi.org/10.1590/1806-9665-rbent-2019-100>.
36. Val, F.C. Male genitalia of some Neotropical *Drosophila*: Notes and illustrations. *Papéis Avulsos Zool.* **1982**, *34*, 309–347.
37. Vilela, C.R. A revision of the *Drosophila repleta* Species Group (Diptera, Drosophilidae). *Rev. Bras. Entomol.* **1983**, *27*, 1–114.
38. The World Flora Online. Available online: <http://www.worldfloraonline.org/> (accessed on 19 January 2023).
39. Gotelli, N.J.; Colwell, R.K. Quantifying Biodiversity: Procedures and Pitfalls in the Measurement and Comparison of Species Richness. *Ecol. Lett.* **2001**, *4*, 379–391.
40. Oksanen, J.; Simpson, G.L.; Blanchet, F.G.; Kindt, R.; Legendre, P.; Minchin, P.R.; O’Hara, R.B.; Solymos, P.; Stevens, M.H.H.; Szoecs, E.; et al. *Vegan: Community*

- Ecology Package 2022 (Version 2.6-4). Available online: <https://CRAN.R-project.org/package=vegan> (accessed on 18 January 2023).
41. Magurran, A.E. The commonness, and rarity, of species. In *Measuring Biological Diversity*, 1st ed.; Wiley-Blackwell: Malden, MA, USA, 2003; pp. 18–71. ISBN 978-0-632-05633-0.
  42. Dormann, C.F.; Gruber, B.; Fründ, J. The R Journal: Introducing the Bipartite Package: Analysing Ecological Networks. *R News* **2008**, *8*, 8–11.
  43. Magnacca, K.N.; Foote, D.; O’Grady, P.M. A review of the endemic Hawaiian Drosophilidae and their host plants. *Zootaxa* **2008**, *1728*, 1–58.
  44. Zar, J.H. *Biostatistical Analysis*, 4th ed.; Prentice Hall: Hoboken, NJ, USA, 1999; p. 663. ISBN 978-0-13-081542-2.
  45. Argemi, M.; Monclús, M.; Mestres, F.; Serra, L. Comparative Analysis of a Community of Drosophilids (Drosophilidae; Diptera) Sampled in Two Periods Widely Separated in Time. *J. Zool. Syst. Evol. Res.* **1999**, *37*, 203–210.
  46. Parsons, P.A. *The Evolutionary Biology of Colonizing Species*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 1983; p. 262. ISBN 0-521-25247-4.
  47. Kishimoto-Yamada, K.; Itioka, T. How Much Have We Learned about Seasonality in Tropical Insect Abundance since Wolda (1988)? *Entomol. Sci.* **2015**, *18*, 407–419. <https://doi.org/10.1111/ens.12134>.
  48. Braga, L.; Diniz, I.R. Trophic Interactions of Caterpillars in the Seasonal Environment of the Brazilian Cerrado and Their Importance in the Face of Climate Change. In *Caterpillars in the Middle: Tritrophic Interactions in a Changing World*; Marquis, R.J., Koptur, S., Eds.; Fascinating Life Sciences; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2022; pp. 485–508. ISBN 978-3-030-86688-4.
  49. Mavasa, R.; Yekwayo, I.; Mwabvu, T.; Tsvuura, Z. Preliminary Patterns of Seasonal Changes in Species Composition of Surface-Active Arthropods in a South African Savannah. *Austral Ecol.* **2022**, *47*, 1222–1231. <https://doi.org/10.1111/aec.13213>.
  50. Breitmeyer, C.M.; Markow, T.A. Resource Availability and Population Size in Cactophilic *Drosophila*. *Funct. Ecol.* **1998**, *12*, 14–21. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.1998.00152.x>.
  51. Heed, W.B. A New Cactus-Feeding but Soil-Breeding Species of *Drosophila* (Diptera: Drosophilidae). *Proc. Entomol. Soc. Wash.* **1977**, *79*, 649–654.

52. Markow, T.A.; O'Grady, P. Reproductive Ecology of *Drosophila*. *Funct. Ecol.* **2008**, *22*, 747–759. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2008.01457.x>.
53. Yang, C.; Belawat, P.; Hafen, E.; Jan, L.Y.; Jan, Y.-N. *Drosophila* Egg-Laying Site Selection as a System to Study Simple Decision-Making Processes. *Science* **2008**, *319*, 1679–1683. <https://doi.org/10.1126/science.1151842>.
54. Chandler, J.A.; Lang, J.M.; Bhatnagar, S.; Eisen, J.A.; Kopp, A. Bacterial Communities of Diverse *Drosophila* Species: Ecological Context of a Host–Microbe Model System. *PLoS Genet.* **2011**, *7*, e1002272. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1002272>.
55. Chandler, J.A.; Eisen, J.A.; Kopp, A. Yeast Communities of Diverse *Drosophila* Species: Comparison of Two Symbiont Groups in the Same Hosts. *Appl. Environ. Microbiol.* **2012**, *78*, 7327–7336. <https://doi.org/10.1128/AEM.01741-12>.
56. Levins, R.; MacArthur, R. An Hypothesis to Explain the Incidence of Monophagy. *Ecology* **1969**, *50*, 910–911. <https://doi.org/10.2307/1933709>.
57. Etges, W.J. Evolutionary Genomics of Host Plant Adaptation: Insights from *Drosophila*. *Curr. Opin. Insect Sci.* **2019**, *36*, 96–102. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2019.08.011>.
58. Auer, T.O.; Shahandeh, M.P.; Benton, R. *Drosophila sechellia*: A Genetic Model for Behavioral Evolution and Neuroecology. *Annu. Rev. Genet.* **2021**, *55*, 527–554. <https://doi.org/10.1146/annurev-genet-071719-020719>.
59. Lauer Garcia, A.C.; Pessoa Da Silva, F.; Campos Bezerra Neves, C.H.; Montes, M.A. Current and Future Potential Global Distribution of the Invading Species *Drosophila nasuta* (Diptera: Drosophilidae). *Biol. J. Linn. Soc.* **2022**, *135*, 208–221. <https://doi.org/10.1093/biolinnean/blab149>.
60. Sene, F.M.; Val, F.C.; Vilela, C.R.; Pereira, M.A.Q.R. Preliminary Data on the Geographical Distribution of *Drosophila* Species within Morphoclimatic Domains of Brazil. *Papéis Avulsos Zool.* **1980**, *33*, 315–326.
61. Bakula, M. The Persistence of a Microbial Flora during Postembryogenesis of *Drosophila melanogaster*. *J. Invertebr. Pathol.* **1969**, *14*, 365–374. [https://doi.org/10.1016/0022-2011\(69\)90163-3](https://doi.org/10.1016/0022-2011(69)90163-3).
62. Gilbert, D.G. Dispersal of Yeasts, and Bacteria by *Drosophila* in a Temperate Forest. *Oecologia* **1980**, *46*, 135–137. <https://doi.org/10.1007/BF00346979>.
63. Atkinson, W.D. A Field Investigation of Larval Competition in Domestic *Drosophila*. *J. Anim. Ecol.* **1979**, *48*, 91–102. <https://doi.org/10.2307/4102>.

64. Sexton, J.P.; Montiel, J.; Shay, J.E.; Stephens, M.R.; Slatyer, R.A. Evolution of Ecological Niche Breadth. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* **2017**, *48*, 183–206. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110316-023003>.
65. McKinney, M.L.; Lockwood, J.L. Biotic Homogenization: A Few Winners Replacing Many Losers in the next Mass Extinction. *Trends Ecol. Evol.* **1999**, *14*, 450–453. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(99\)01679-1](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(99)01679-1).
66. Olden, J.D.; Comte, L.; Giam, X. The Homogocene: A Research Prospectus for the Study of Biotic Homogenisation. *NeoBiota* **2018**, *36*, 23–36. <https://doi.org/10.3897/neobiota.37.22552>.
67. Sánchez-Bayo, F.; Wyckhuys, K.A.G. Worldwide Decline of the Entomofauna: A Review of Its Drivers. *Biol. Conserv.* **2019**, *232*, 8–27. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020>.
68. Wagner, D.L. Insect Declines in the Anthropocene. *Annu. Rev. Entomol.* **2020**, *65*, 457–480. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025151>.
69. Didham, R.K.; Basset, Y.; Collins, C.M.; Leather, S.R.; Littlewood, N.A.; Menz, M.H.M.; Müller, J.; Packer, L.; Saunders, M.E.; Schönrogge, K.; et al. Interpreting Insect Declines: Seven Challenges and a Way Forward. *Insect Conserv. Divers.* **2020**, *13*, 103–114. <https://doi.org/10.1111/icad.12408>.
70. Mohr, S.E. *First in Fly: Drosophila Research and Biological Discovery*; Harvard University Press: Cambridge, MA, USA, 2018; p. 257. ISBN 978-0-674-97101-1.
71. da Mata, R.A.; McGeoch, M.; Tidon, R. Drosophilids (Insecta, Diptera) as Tools for Conservation Biology. *Nat. Conserv.* **2010**, *8*, 60–65. <https://doi.org/10.4322/natcon.00801009>.
72. Gibert, P.; Hill, M.; Pascual, M.; Plantamp, C.; Terblanche, J.S.; Yassin, A.; Sgrò, C.M. *Drosophila* as Models to Understand the Adaptive Process during Invasion. *Biol. Invasions* **2016**, *18*, 1089–1103. <https://doi.org/10.1007/s10530-016-1087-4>.
73. Slove, J.; Janz, N. The Relationship between Diet Breadth and Geographic Range Size in the Butterfly Subfamily Nymphalinae – A Study of Global Scale. *PLoS ONE* **2011**, *6*, e16057. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0016057>.
74. Jahner, J.P.; Bonilla, M.M.; Badik, K.J.; Shapiro, A.M.; Forister, M.L. Use of Exotic Hosts by Lepidoptera: Widespread Species Colonize more Novel Hosts. *Evolution* **2011**, *65*, 2719–2724. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2011.01310.x>.

75. Latombe, G.; Pyšek, P.; Jeschke, J.M.; Blackburn, T.M.; Bacher, S.; Capinha, C.; Costello, M.J.; Fernández, M.; Gregory, R.D.; Hobern, D.; et al. A Vision for Global Monitoring of Biological Invasions. *Biol. Conserv.* 2017, 213, 295–308. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.06.013>.
76. Simberloff, D.; Von Holle, B. Positive Interactions of Nonindigenous Species. *Biol. Invasions* 1999, 1, 21–32. <https://doi.org/10.1023/a:1010086329619>.
77. David, J.R.; McEvey, S.F.; Solignac, M.; Tsacas, L. *Drosophila* Communities on Mauritius and the Ecological Niche of *Drosophila mauritiana* (Diptera, Drosophilidae). *Rev. Zool. Afr.* 1989, 103, 107–116.
78. Montes, M.A.; Neves, C.H.C.B.; Ferreira, A.F.; dos Santos, M.d.F.S.; Quintas, J.I.F.P.; Manetta, G.D.Â.; de Oliveira, P.V.; Garcia, A.C.L. Invasion and Spreading of *Drosophila nasuta* (Diptera, Drosophilidae) in the Caatinga Biome, Brazil. *Neotrop. Entomol.* 2021, 50, 571–578. <https://doi.org/10.1007/s13744-021-00875-1>.
79. Medeiros, H.F.; Monteiro, M.P.; Caçador, A.W.B.; Pereira, C.M.; de Lurdes Bezerra Praxedes, C.; Martins, M.B.; Montes, M.A.; Garcia, A.C.L. First Records of the Invading Species *Drosophila nasuta* (Diptera: Drosophilidae) in the Amazon. *Neotrop. Entomol.* 2022, 51, 493–497. <https://doi.org/10.1007/s13744-021-00938-3>.
80. Paula, M.A.; Lopes, P.H.S.; Tidon, R. First Record of *Drosophila suzukii* in the Brazilian Savanna. *Dros. Inf. Serv.* 2014, 97, 113–115.
- Wollmann, J.; Schlesener, D.C.H.; Mendes, S.R.; Krüger, A.P.; Martins, L.N.; Bernardi, D.; Garcia, M.S.; Garcia, F.R.M. Infestation Index of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in Small Fruit in Southern Brazil. *Arq. Inst. Biológico* 2020, 87, e0432018. <https://doi.org/10.1590/1808-1657000432018>.

## CAPÍTULO 3

### **ATUALIZAÇÃO DA LISTA DE ESPÉCIES DE DROSOFILÍDEOS DO CERRADO**

#### **UPDATED LIST OF DROSOPHILID SPECIES RECORDED IN THE BRAZILIAN SAVANNA**

Ribeiro, L.B., F.A.G.S. Cavalcanti, J.P.C. Viana, J.M. Amaral, S.C. Costa, and R. Tidon 2022,  
Dros. Inf. Serv. 105: 85-89.

Esta nota científica foi publicada no jornal *Drosophila Information Service* (DIS), em dezembro de 2022, volume 105. Disponível em: [www.ou.edu/journals/DIS105](http://www.ou.edu/journals/DIS105).

#### **Updated list of drosophilid species recorded in the Brazilian Savanna**

Ribeiro, L.B.<sup>1</sup>, F.A.G.S. Cavalcanti<sup>1</sup>, J.P.C. Viana<sup>1</sup>, J.M. Amaral<sup>2</sup>, S.C. Costa<sup>3</sup>, and R. Tidon<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Instituto de Biologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brazil;

<sup>2</sup>Departamento de Genética e Morfologia, Instituto de Biologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brazil;

<sup>3</sup>Departamento de Biologia, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, SP, Brazil; Email: rotidon@unb.br

## **Introduction**

The Brazilian Savanna, known locally as the Cerrado, covers about 2 million km<sup>2</sup> and is the second largest biome in South America. It is considered the most biodiverse savanna in the world (Oliveira and Marquis, 2002), and its vegetation comprises a structural gradient ranging from grasslands to forests, whose canopy height can reach 15–20 m (Ratter et al., 1997). The Cerrado is subject to intense land use changes, with approximately 45% of its native vegetation having been converted to anthropogenic use (Souza et al., 2020; Mapbiomas, 2021). Because of the high degree of endemism and extensive environmental alteration, it is considered as a hotspot of biodiversity (Myers et al., 2000).

The drosophilid fauna of this region was first studied in the 1940's through sporadic collections (e.g., Dobzhansky and Pavan, 1950). The first regular collections of these insects occurred in the late 1990's and are concentrated in the Federal District, where a monitoring program is still ongoing (Tidon et al., 2003; Tidon, 2006; Marques et al., 2022). More recently other research groups have also investigated drosophilid communities established in other areas of the biome (Blauth and Gottschalk, 2007; Costa et al., 2021).

The last list of drosophilids in the Brazilian Savanna was provided by Roque et al. (2015), and new records have been published since then. In this study, we compiled the available information on drosophilids collected in the Brazilian Savanna to expand this list.

## **Material and Methods**

We searched for references recording species of Drosophilidae for localities in the ISI Web of Knowledge ([www.webofknowledge.com](http://www.webofknowledge.com)), Google Scholar ([scholar.google.com](http://scholar.google.com)), TaxoDros (Bächli, 2022, [www.taxodros.uzh.ch](http://www.taxodros.uzh.ch)), and the Brazilian platform Curriculum Lattes, which contains publication lists of most researchers working in Brazil. We used the terms *Drosophila*, *Drosophilidae*, drosophilid, Cerrado and Brazilian Savanna. Drosophilid records found in this search were added to the list compiled by Roque et al. (2015).

## Results and Discussion

From the list provided by Roque et al. (2015), which included 129 records, we excluded two species. *Rhinoleucophenga mymercophaga* Vidal and Vilela was removed because it was recorded in a savanna vegetation in São Paulo State (Vidal and Vilela, 2015), located in a transitional area between the Cerrado and Atlantic Forest biomes. The second excluded species, *R. angustifrons* Malogolowkin, was originally recorded by Roque and Tidon (2008), but a re-analysis by Poppe et al. (2016) suggests that it is likely a *Leucophenga* Mik specimen. Here, we also identified the previously undetermined species of the genus *Diathoneura* as *D. brasiliensis* Duda.

In addition to the changes already mentioned, we have added 11 drosophilid species to the previous list. Five of them are neotropical and belong to the subfamily Drosophilinae: *Drosophila piratininga* Ratcov and Vilela, *D. aldrichi* Patterson, *Scaptomyza vittate* (Coquillett) (in Roque et al., 2016), *D. mediosignata* Dobzhansky and Pavan (in Valadão et al., 2010), and *D. saltans* Sturtevant (in Roque and Tidon, 2013). Four species, representing three genera not previously recorded in the Brazilian Savanna, belong to the subfamily Steganinae: *Hyalistata cerradensis* Costa, Pirani & Oliveira, *H. emas* Costa, Pirani & Oliveira, *Pseudiasata brasiliensis* Costa Lima (in Costa et al., 2022), and *Mayagueza lopesi* Costa, Pirani & Oliveira (in Costa et al., 2021). Finally, two non-neotropical species were also added: *Drosophila nasuta* Lamb (Leão et al., 2017) and *Zaprionus tuberculatus* Malloch (Cavalcanti et al., 2022). Thus, there are currently 138 drosophilid species recorded in the Brazilian Savanna (Table 1).

Updating the list of drosophilid species recorded in an area is important because it provides a real understanding of the biodiversity of that area. In the case of drosophilids, which are considered good models for ecological studies (Mata et al., 2010), updated records may also raise new questions about the structure and function of their communities. For example, most species of the subfamily Steganinae have peculiar life habits (e.g., predators, parasites, and feeders on animal tissues or secretions); however, this subfamily is still poorly known in Brazil (Ashburner, 1981; Bächli, 2022). The number of drosophilid species recorded in the Brazilian Savanna is still rising, suggesting that this biome demands more collection efforts. To expand the species list, it is necessary to diversify collection methods, improve taxonomic keys for neotropical drosophilids, and maintain inventories.

**Table 1.** List of the drosophilid species recorded in the Brazilian Savanna, arranged by classification. Species exotic to the Neotropical Region are marked with “(E)”, and those not recorded in the list provided by Roque et al. (2015) are marked with “#”.

<b>Species of Subfamily Drosophilinae</b>	
<b>Genus <i>Drosophila</i></b>	
<b>Subgenus <i>Dorsilopa</i></b>	
<b><i>busckii</i> group</b>	<i>D. busckii</i> Coquillett (E)
<b>Subgenus <i>Drosophila</i></b>	
<b><i>annulimana</i> group</b>	<i>D. annulimana</i> Duda <i>D. aragua</i> Vilela and Pereira <i>D. arapuan</i> da Cunha and Pavan <i>D. ararama</i> Pavan and da Cunha <i>D. arauna</i> Pavan and Nacurur <i>D. aureata</i> Wheeler
<b><i>aureata</i> group</b>	<i>D. aureata</i> Wheeler
<b><i>bromeliae</i> group/ <i>bromeliae</i> subgroup</b>	<i>D. bromelioides</i> Pavan and da Cunha
<b><i>calloptera</i> group</b>	<i>D. atrata</i> Burla and Pavan <i>D. calloptera</i> Schiner <i>D. quadrum</i> (Wiedemann) <i>D. schildi</i> Malloch
<b><i>canalina</i> group</b>	<i>D. annulosa</i> Vilela and Bachli <i>D. canalina</i> Patterson and Mainland <i>D. piratininga</i> Ratcov and Vilela #
<b><i>cardini</i> group/ <i>cardini</i> subgroup</b>	<i>D. cardini</i> Sturtevant <i>D. cardinoides</i> Dobzhansky and Pavan <i>D. neocardini</i> Streisinger <i>D. neomorpha</i> Heed and Wheeler <i>D. polymorpha</i> Dobzhansky and Pavan
<b><i>coffeata</i> group</b>	<i>D. coffeata</i> Williston <i>D. fuscolineata</i> Duda <i>D. pagliolii</i> Cordeiro
<b><i>dreyfusi</i> group</b>	<i>D. camargoi</i> Dobzhansky and Pavan <i>D. dreyfusi</i> Dobzhansky and Pavan
<b><i>guarani</i> group/ <i>guaramunu</i> subgroup</b>	<i>D. griseolineata</i> Duda <i>D. guaraja</i> King <i>D. maculifrons</i> Duda
<b><i>guarani</i> group/ <i>guarani</i> subgroup</b>	<i>D. guaru</i> Dobzhansky and Pavan <i>D. ornatifrons</i> Duda
<b><i>immigrans</i> group/ <i>immigrans</i> subgroup</b>	<i>D. immigrans</i> Sturtevant (E) <i>D. nasuta</i> Lamb (E) #
<b><i>pallidipennis</i> group</b>	<i>D. pallidipennis</i> Dobzhansky and Pavan
<b><i>repleta</i> group/ <i>fasciola</i> subgroup</b>	<i>D. coroica</i> Wasserman <i>D. ivai</i> Vilela <i>D. mapiriensis</i> Vilela and Bachli <i>D. moju</i> Pavan <i>D. onca</i> Dobzhansky and Pavan <i>D. papei</i> Bachli and Vilela <i>D. querubimae</i> Vilela

(continuação)

### Species of Subfamily Drosophilinae

#### Genus *Drosophila*

<i>repleta</i> group/ <i>hydei</i> subgroup	<i>D. rosinae</i> Vilela
<i>repleta</i> group/ <i>mercatorum</i> subgroup	<i>D. hydei</i> Sturtevant
	<i>D. mercatorum</i> Patterson and Wheeler
	<i>D. paranaensis</i> Barros
<i>repleta</i> group/ <i>mulleri</i> subgroup	<i>D. aldrichi</i> Patterson #
	<i>D. antonietae</i> Tidon-Sklorz and Sene
	<i>D. borborema</i> Vilela and Sene
	<i>D. buzzatii</i> Patterson and Wheeler
	<i>D. gouveai</i> Tidon-Sklorz and Sene
	<i>D. meridionalis</i> Wasserman
	<i>D. nigricruria</i> Patterson and Mainland
	<i>D. serido</i> Vilela and Sene
	<i>D. seriema</i> Tidon-Sklorz and Sene
<i>repleta</i> group/ <i>repleta</i> subgroup	<i>D. eleonora</i> Tosi <i>et al.</i>
	<i>D. neorepleta</i> Patterson and Wheeler
	<i>D. pseudorepleta</i> Vilela and Bachli
	<i>D. repleta</i> Wollaston
	<i>D. zottii</i> Vilela
<i>tripunctata</i> group/ subgroup I	<i>D. neoguaramunu</i> Frydenberg
<i>tripunctata</i> group/ subgroup II	<i>D. cuaso</i> Bachli, Vilela and Ratcov
	<i>D. medioimpressa</i> Frota-Pessoa
	<i>D. mediopunctata</i> Dobzhansky and Pavan
	<i>D. mediosignata</i> Dobzhansky and Pavan #
	<i>D. paraguayensis</i> Duda
	<i>D. roehrae</i> Pipkin and Heed
	<i>D. unipunctata</i> Patterson and Mainland
<i>tripunctata</i> group/ subgroup III	<i>D. bandeirantorum</i> Dobzhansky and Pavan
	<i>D. bifilum</i> Frota-Pessoa
	<i>D. mediopicta</i> Frota-Pessoa
	<i>D. mediotriata</i> Duda
	<i>D. mesostigma</i> Frota-Pessoa
	<i>D. paramediotriata</i> Townsend and Wheeler
	<i>D. trapeza</i> Heed and Wheeler
<i>tripunctata</i> group/ subgroup IV	<i>D. albirostris</i> Sturtevant
	<i>D. nappae</i> Vilela, Valente and Basso-da-Silva
<i>virilis</i> group/ <i>virilis</i> subgroup	<i>D. virilis</i> Sturtevant (E)
Ungrouped species	<i>D. caponei</i> Pavan and da Cunha
	<i>D. impudica</i> Duda
Subgenus <i>Phloridosa</i>	<i>D. denieri</i> Blanchard
	<i>D. lutzii</i> Sturtevant
Subgenus <i>Siphlodora</i>	<i>D. flexa</i> Loew
Subgenus <i>Sophophora</i>	
<i>melanogaster</i> group/ <i>ananassae</i> subgroup	<i>D. ananassae</i> Doleschall (E)
	<i>D. malerkotliana</i> Parshad and Paika (E)
<i>melanogaster</i> group/ <i>melanogaster</i> subgroup	<i>D. melanogaster</i> Meigen (E)

(continuação)

### Species of Subfamily Drosophilinae

#### Genus *Drosophila*

*melanogaster* group/ *suzukii* subgroup

*montium* group/ *kikkawai* subgroup

*saltans* group/ *cordata* subgroup

*saltans* group/ *elliptica* subgroup

*saltans* group/ *saltans* subgroup

*saltans* group/ *sturtevanti* subgroup

*willistoni* group/ *bocainensis* subgroup

*willistoni* group/ *willistoni* subgroup

*D. simulans* Sturtevant (E)

*D. suzukii* (Matsumura) (E)

*D. kikkawai* Burla (E)

*D. neocordata* Magalhaes

*D. neoelliptica* Pavan and Magalhaes

*D. austrosaltans* Spassky

*D. prosaltans* Duda

*D. pseudosaltans* Magalhaes

*D. saltans* Sturtevant #

*D. sturtevanti* Duda

*D. bocainensis* Pavan and da Cunha

*D. bocainoides* Carson

*D. capricorni* Dobzhansky and Pavan

*D. fumipennis* Duda

*D. nebulosa* Sturtevant

*D. parabocainensis* Carson

*D. paulistorum* Dobzhansky and Pavan

*D. equinoxialis* Dobzhansky

*D. tropicalis* Burla and da Cunha

*D. willistoni* Sturtevant

#### Genus *Diathoneura*

*Diathoneura brasiliensis* Duda #

#### Genus *Hirtodrosophila*

*hirticornis* group

Ungrouped species

*H. morgani* (Mourao, Gallo and Bicudo)

*H. pleuralis* (Williston)

*H. subflavohalterata* (Burla)

#### Genus *Mycodrosophila*

*M. projectans* (Sturtevant)

#### Genus *Neotanygastrella*

*N. tricoloripes* Duda

#### Genus *Scaptodrosophila*

*S. latifasciaeformis* (Duda) (E)

#### Genus *Scaptomyza*

Subgenus *Mesoscaptomyza*

*S. nigripalpis* Malloch

*S. vittata* (Coquillett) #

#### Genus *Zaprionus*

Subgenus *Zaprionus*

*vittiger* group

*tuberculatus* subgroup

*Z. indianus* Gupta (E)

*Z. tuberculatus* Malloch (E) #

#### Genus *Zygothrica*

*aldrichii* subgroup

*Z. microeristes* Grimaldi

(continuação)

**Species of Subfamily Drosophilinae**

**Genus *Drosophila***

***dispar* subgroup**

*Z. dispar* (Wiedemann)

*Z. prodispar* Duda

**Ungrouped species**

*Z. apopoeyi* Burla

*Z. poeyi* (Sturtevant)

---

**Species of Subfamily Steganinae**

---

**Genus *Amiota***

Undetermined species

**Genus *Hyalistata***

*H. cerradensis* Costa, Pirani & Oliveira #

*H. emas* Costa, Pirani & Oliveira #

**Genus *Leucophenga***

**Subgenus *Leucophenga***

*L. bimaculata* (Loew)

*L. montana* Wheeler

*L. maculosa* (Coquillett in Johnson)

*L. ornativentris* Kahl

*L. varia* (Walker)

**Genus *Mayagueza***

*M. lopesi* Costa, Pirani & Oliveira #

**Genus *Pseudiasata***

*P. brasiliensis* Costa Lima #

**Genus *Rhinoleucophenga***

**Subgenus *Pseudophortica***

**Without subgenus**

*R. obesa* (Loew)

*R. lopesi* Malogolowkin

*R. matogrossensis* Malogolowkin

*R. montensis* Junges & Gottschalk

*R. nigrescens* Malogolowkin

*R. personata* Malogolowkin

*R. punctulata* Duda

*R. tangaraensis* Junges & Gottschalk

---

New arrivals of invasive species also deserve special attention. *Drosophila nasuta*, native to the Indo-Pacific region, was first detected in the Brazilian Cerrado in December 2013 and has since increased its abundance (Leão et al., 2017) and geographic distribution in other biomes (Montes et al., 2021; Medeiros et al., 2022). *Zaprionus tuberculatus* was collected in the Brazilian Savanna in 2020, marking the first time this afrotropical species has been recorded in the Americas (Cavalcanti et al.; 2022). This species can cause economic damage to fruits, especially when associated with other drosophilid pests (Amiresmaeili et al., 2019). Our results highlight and reinforce the importance of monitoring drosophilid communities and updating species lists, as this information supports the development of conservation and agricultural strategies.

**Acknowledgments:** We are thankful to the Universidade de Brasília. This research was granted by the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), and Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

## References

Amiresmaeili, N., C. Jucker, S. Savoldelli, and D. Lupi 2019, *J. Entomol. Acarol. Res.* 51: 8–15; Ashburner, M., 1981, In: *The Genetics and Biology of Drosophila*, Vol. 3: 395–429; Bächli, G., 2022, *TaxoDros*. The database on Taxonomy of Drosophilidae, <http://taxodros.uzh.ch/>; Blauth, M.L., and M.S. Gottschalk 2007, *Dros. Inf. Serv.* 90: 90-96; Cavalcanti, F.A., L.B. Ribeiro, G. Marins, G.S. Tonelli, S.N. Bão, A. Yassin, and R. Tidon 2022, *Ent. Soc. of America.* 115(3): 267-274; Chaves, N.B., and R. Tidon 2008, *Rev. Bras. Ent.* 52: 340-348; Costa, S.C., G. Pirani, and S.S. Oliveira 2021, *Zootaxa* 5068(2): 287-294; Costa, S.C., G. Pirani, and S.S. Oliveira 2022, *Zootaxa* 5116(3): 334-350; Dobzhansky, T., and C. Pavan 1950, *J. Anim. Ecol.* 19: 1-14; Leao, B.F.D., F. Roque, P.H.M. Deus, and R. Tidon 2017, *Dros. Inf. Serv.* 100: 65-69; Mata, R.A, M. McGeoch, and R. Tidon 2010, *Nature Conserv.* 8(1): 60–65; Marques, N.S, R.B. Machado, L.M.S. Aguiar, L. Mendonça-Galvão, R. Tidon, E.M. Vieira, O.J. Marini-Filho, and M. Bustamante 2022, *Perspect. Ecol. Conserv.* 20(2): 69–78; Medeiros, H.F., M.P. Monteiro, A.W.B. Caçador, C.M. Pereira, C.D.L.B. Praxedes, M.B. Martins, M.A. Montes, and A.C.L. Garcia 2022, *Neotrop. Entomol.* 51: 493–97; Montes, M.A., C.H.C.B. Neves, A.F. Ferreira, M.D.F.S. dos Santos, J.I.F.P. Quintas, G.D.Â. Manetta, P.V. de Oliveira, and A.C.L. Garcia 2021, *Neotrop. Entomol.* 50: 571–78; Myers, N., R.A. Mittermeier, C.G. Mittermeier, G.A.B. da Fonseca, and J. Kent 2000, *Nature* 403: 853-858; Oliveira, P.S., and R.J. Marquis 2002, *The Cerrados of Brazil. Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna.* Columbia University Press; Paula, M.A., P.H.S. Lopes, and R. Tidon 2014, *Dros. Inf. Serv.* 97: 113-115; Poppe, J.L., V.L.S. Valente, J.P.J. Santos, and M.S. Gottschalk 2016, *Zootaxa* 4208(3): 261-281; Projeto MapBiomias - Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil, accessed on 20 December 2022 from <http://mapbiomas.org>; Ratter, J.A., J.F. Ribeiro, and S. Bridgewater 1997, *The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity.* *Ann. Bot.* 80: 223–230; Roque, F., and R. Tidon 2008, *Dros. Inf. Serv.* 91: 94- 98; Roque, F., R.A. da Mata, and R. Tidon 2013, *Biodivers. Conserv.* 22(3): 657-672; Roque, F., L. Mencarini, and R. Tidon 2015, *Dros. Inf. Serv.* 98: 70-74; Roque, F., L. Mencarini, B.F.D. Leao, M.N. Delgado, and R. Tidon 2016, *Dros. Inf. Serv.* 99: 48-49; Souza Jr, C.M., J.Z. Shimbo, M.R. Rosa, et al. 2020, *Remote Sensing* 12(17): 2735; Tidon, R., D.F. Leite, and B.F.D. Leão 2003, *Biol. Conserv.* 112(3): 299-305; Tidon, R., 2006, *Bio. Jour. Lin. Soc.* 87(2): 233-247; Valadão, H.O., J.V. Hay, and R. Tidon 2010, *Int. J. Ecol.* 1: 1-7; Vidal, M.C., and C.R. Vilela 2015, *Ann. Entomol. Soc. Am.* 108(5): 932-940.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo visou contribuir para o conhecimento da ecologia e invasões biológicas, ao investigar a variação temporal nas comunidades de moscas da família Drosophilidae em dois ambientes distintos no Cerrado brasileiro. A reserva ecológica localizada na cidade de Brasília, monitorada ao longo de 25 anos, recebeu drosofilídeos exóticos que se tornaram abundantes e bem estabelecidos. Essas espécies contribuíram mais intensamente para as variações temporais na comunidade de drosofilídeos nos cerrados sentido restrito do que nas matas. Por outro lado, nessa última vegetação há uma maior riqueza de espécies, destacando a importância de fragmentos florestais para conservação da diversidade desses insetos.

Sugerimos que mercados urbanos podem estar funcionando como fontes de drosofilídeos exóticos para fragmentos de áreas naturais adjacentes às cidades. O centro de frutas e vegetais monitorado em dois períodos separados por dez anos, na cidade de Brasília, é repleto de drosofilídeos exóticos que aparentemente mantiveram populações estáveis. Nessa comunidade, a dominância de drosofilídeos exóticos é explicada pela habilidade que possuem em utilizar uma gama maior de hospedeiros do que drosofilídeos neotropicais. Acreditamos que tais mercados urbanos funcionem como uma rota de entrada principal de drosofilídeos exóticos, que chegam imaturos em frutos e vegetais parcialmente estragados.

Os drosofilídeos exóticos contribuem para as mudanças temporais observadas nas comunidades de drosofilídeos na reserva ecológica estudada. Entretanto, fatores como, a expansão de áreas agrícolas e urbanas e mudanças climáticas, certamente também contribuem para essas mudanças, e podem estar associados ao declínio generalizado na abundância de espécies neotropicais e exóticas, observado especialmente em vegetação de cerrado. Nas atuais condições, as áreas de proteção natural podem não estar sendo suficientes para conservar a biodiversidade das ameaças antrópicas. Precisamos monitorar a biodiversidade a longo prazo, medindo os principais atributos dos ecossistemas e dos processos humanos e naturais, para termos uma melhor compreensão das mudanças temporais experimentadas por elas. Dessa forma, será possível elaborar planos de manejo mais eficientes para que as áreas de conservação possam cumprir seu papel com mais eficiência.