



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ELLEN VITÓRIA BARBOSA DO CARMO

DINÂMICA POPULACIONAL, ABUNDÂNCIA E POTENCIAL DE INFESTAÇÃO
DE *Zaprionus tuberculatus* E *Zaprionus indianus* (DIPTERA: DROSOPHILIDAE)

AREIA

2026

ELLEN VITÓRIA BARBOSA DO CARMO

**DINÂMICA POPULACIONAL, ABUNDÂNCIA E POTENCIAL DE INFESTAÇÃO
DE *Zaprionus tuberculatus* E *Zaprionus indianus* (DIPTERA: DROSOPHILIDAE)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Agronomia

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique de Brito

AREIA

2026

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

C287d Carmo, Ellen Vitoria Barbosa do.

Dinâmica populacional, abundância e potencial de infestação de *Zaprionus tuberculatus* e *Zaprionus indianus* (Diptera: Drosophilidae) / Ellen Vitoria Barbosa do Carmo. - Areia:UFPB/CCA, 2026.
53 f. : il.

Orientação: Carlos Henrique de Brito.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Método de coleta. 3. Flutuação populacional. 4. Monitoramento. I. Brito, Carlos Henrique de. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635(043.3)

ELLEN VITÓRIA BARBOSA DO CARMO

Dinâmica populacional, abundância e potencial de infestação de *Zaprionus tuberculatus* e *Zaprionus indianus* (Diptera: Drosophilidae)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Agronomia.

Aprovado em: 07/11/2025.

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
CARLOS HENRIQUE DE BRITO
Data: 25/02/2026 10:07:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Carlos Henrique de Brito (Orientador)
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Documento assinado digitalmente
MARILIA DE MACEDO DUARTE MORAIS
Data: 02/03/2026 20:18:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Marília de Macedo Duarte Moraes
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Documento assinado digitalmente
ROBERIO DE OLIVEIRA
Data: 02/03/2026 20:44:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Robério de Oliveira
SEEC – RN



Documento assinado digitalmente
JACINTO DE LUNA BATISTA
Data: 26/02/2026 11:42:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Jacinto de Luna Batista
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

A Deus, por guiar meus passos e iluminar meu caminho. Aos meus pais, Francisco e Lucivânia, por serem meu porto seguro e minha maior inspiração. Aos meus irmãos, Neto, Júnior e Samuel (*in memoriam*), que me ensinaram o verdadeiro significado de amor e saudade. E a toda a minha família, que me cercam de carinho e me impulsionam a seguir em frente, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida, concedendo-me saúde e fé para o alcance dessa realização.

Ao meu núcleo familiar, por serem sempre minha base e refúgio em todos os momentos, bons e ruins. Francisco (pai), Lucivânia (mãe), Júnior e Neto (irmãos). Amo muito vocês! Agradeço muito a Deus por ter vocês em minha vida.

A toda minha família, paterna e materna por todo apoio, incentivo e segurança na minha capacidade de chegar até aqui, em especial a tio Nildo que sempre foi uma fonte de força e sabedoria, e a sua presença constante foi essencial. Emílio, meu namorado, agradeço pelo amor, pela paciência e pela compreensão. Seu apoio incondicional fez toda a diferença na realização deste sonho.

Ao meu querido orientador, Prof. Dr. Carlos Henrique de Brito, que me acolheu durante todo o mestrado, me mostrou muitas vezes que eu seria capaz de chegar até aqui de inúmeras formas, mesmo sem saber. Muito obrigada por todos os ensinamentos repassados, pelos momentos compartilhados, por confiar responsabilidades a mim, fazendo com que se fizesse parte importante no meu crescimento pessoal e profissional.

Externo aqui minha imensa gratidão aos membros do Laboratório de Invertebrados (LABIN) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Elany Marques, Lylian Ribeiro, José Jurandez, Manoel Oliveira, Wanderlécio, Ana Clara, Nadiane, Caio César, Alessya e Rayssa.

Às minhas amigas, Jennifer, Rubiane e Mylene, vocês são partes importantíssimas na realização desse sonho.

Às irmãs que a vida me deu, Emily Mirlene, Milena Araújo e Ana Carolina, que foram peças chave durante todo o período em Areia e tornaram tudo mais leve. Obrigada por todos momentos de descontração.

A banca examinadora pela disponibilidade em compor a avaliação desta pesquisa e pelo tempo que será destinado à leitura e à defesa.

A Janderson, por toda paciência e ensinamentos repassados.

À Thais Helena, funcionária do LABIN/UFPB, por toda ajuda concedida.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Agradeço a todos os(as) professores(as) do Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela dedicação no ensino, pela disponibilidade e pelas contribuições que ampliaram minha formação científica.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para que eu chegasse até aqui.

“Aqueles que se sentem satisfeitos sentam-se e nada fazem. Os insatisfeitos são os únicos benfeitores do mundo.”

Walter S. Landor

RESUMO

O Brasil ocupa posição de destaque mundial na fruticultura devido às suas condições edafoclimáticas favoráveis e ao desenvolvimento tecnológico, fatores que impulsionam a produção em todas as regiões. Entretanto, a fruticultura tropical enfrenta sérios desafios relacionados à incidência de drosophilídeos invasores, entre os quais as moscas-das-frutas (Diptera: Drosophilidae) constituem um dos principais entraves produtivos e comerciais. Entre as espécies, *Zaprionus tuberculatus* e *Zaprionus indianus* destacam-se pela elevada adaptabilidade, ciclo de vida curto e alto potencial biótico, características que favorecem sua dispersão em ambientes tropicais e potencializam seus impactos sobre os pomares. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a dinâmica, a flutuação populacional, a abundância e o potencial de infestação de *Z. indianus* e *Z. tuberculatus* em pomares domésticos da mesorregião do Agreste Paraibano, considerando atrativos e métodos de coleta, estrato de ocorrência, hospedeiros disponíveis, índices de infestação, variações climáticas e diferenças entre municípios. Para isso, foram avaliados fatores como atrativos alimentares, estrato de ocorrência, métodos de coleta, hospedeiros disponíveis, variações climáticas e diferenças entre municípios. A pesquisa foi conduzida de maio de 2024 a abril de 2025 em cinco cidades, por meio de armadilhas do tipo *McPhail* com diferentes atrativos e coleta de frutos hospedeiros para análise faunística e índices de infestação. Os dados foram submetidos à análise estatística por Modelos Lineares Generalizados Mistos (MLGM), com distribuição binomial negativa. Os resultados demonstram que o suco de goiaba é mais eficiente para a captura de *Z. tuberculatus*, enquanto *Z. indianus* não apresenta preferência clara. *Z. indianus* é mais abundante em frutos caídos no solo, enquanto *Z. tuberculatus* predomina no estrato da planta. As armadilhas são mais eficazes que a coleta de frutos para monitoramento contínuo. Há variação nos índices de diversidade entre os municípios. A goiaba é identificada como o hospedeiro preferido por ambas as espécies. Os municípios de Remígio e Pilões apresentam as maiores abundâncias de *Z. indianus* e *Z. tuberculatus*. A umidade relativa do ar apresenta tendência positiva sem significância estatística sobre a abundância de *Z. indianus* e *Z. tuberculatus*. A temperatura média apresenta efeito significativo de baixa magnitude. A precipitação não mostra associação significativa. As análises individuais por espécie não revelam interações significativas com as variáveis ambientais. Recomenda-se intensificar o monitoramento no início e no final da estação chuvosa, quando os picos populacionais se tornam mais evidentes, e ampliar os estudos em maior escala temporal e espacial para subsidiar estratégias de controle mais eficazes e sustentáveis.

Palavras-chave: método de coleta; flutuação populacional; monitoramento.

ABSTRACT

Brazil holds a prominent global position in fruit production due to its favorable soil and climatic conditions and technological development, factors that drive production across all regions. However, tropical fruit production faces serious challenges related to the incidence of invasive drosophilids, among which fruit flies (Diptera: Drosophilidae) constitute one of the main production and commercial constraints. Among these species, *Zaprionus tuberculatus* and *Zaprionus indianus* stand out for their high adaptability, short life cycle, and high biotic potential—traits that favor their dispersal in tropical environments and intensify their impacts on orchards. In this context, the present study aimed to evaluate the population dynamics, population fluctuation, abundance, and infestation potential of *Z. indianus* and *Z. tuberculatus* in home orchards in the Agreste mesoregion of Paraíba, considering attractants and sampling methods, stratum of occurrence, available hosts, infestation indices, climatic variation, and differences among municipalities. To this end, factors such as food attractants, stratum of occurrence, sampling methods, available hosts, climatic variation, and differences among municipalities were assessed. The research was conducted from May 2024 to April 2025 in five municipalities, using McPhail traps with different attractants and collecting host fruits for faunistic analysis and infestation indices. Data were analyzed using Generalized Linear Mixed Models (GLMMs) with a negative binomial distribution. The results show that guava juice is more efficient for capturing *Z. tuberculatus*, whereas *Z. indianus* shows no clear preference. *Z. indianus* is more abundant in fruits fallen on the ground, while *Z. tuberculatus* predominates in the plant stratum. Traps are more effective than fruit collection for continuous monitoring. Diversity indices vary among municipalities, and guava is identified as the preferred host for both species. The municipalities of Remígio and Pilões show the highest abundances of *Z. indianus* and *Z. tuberculatus*. Relative humidity shows a positive trend but no statistical significance for the abundance of *Z. indianus* and *Z. tuberculatus*. Mean temperature has a significant effect of low magnitude. Precipitation shows no significant association. Species-specific analyses did not reveal significant interactions with environmental variables. We recommend intensifying monitoring at the beginning and end of the rainy season, when population peaks become more evident, and expanding studies over broader temporal and spatial scales to support more effective and sustainable control strategies.

Keywords: collection method; population fluctuation; monitoring.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Capítulo I	Análise de abundância e infestação de <i>Zaprionus indianus</i> e <i>Zaprionus tuberculatus</i> (Diptera: Drosophilidae) em pomares domésticos da mesorregião do Agreste Paraibano.....	17
Figura 1 –	Área de estudo.....	20
Figura 2 –	Abundância de machos e fêmeas de <i>Zaprionus indianus</i> e <i>Zaprionus tuberculatus</i> capturados em armadilhas com atrativos de proteína e suco de goiaba em cinco cidades da mesorregião do Agreste Paraibano.....	24
Figura 3 –	Abundância de adultos de <i>Zaprionus indianus</i> e <i>Zaprionus tuberculatus</i> capturados nos estratos de planta e solo em cinco cidades da mesorregião do Agreste Paraibano.....	25
Figura 4 –	Abundância de adultos das espécies <i>Zaprionus indianus</i> e <i>Zaprionus tuberculatus</i> capturados por armadilhas e em frutos em cinco cidades da mesorregião do Agreste Paraibano.....	26
Capítulo II	Flutuação populacional de <i>Zaprionus indianus</i> e <i>Zaprionus tuberculatus</i> (Diptera: Drosophilidae) em pomares domésticos da mesorregião do Agreste Paraibano.....	37
Figura 5 –	Área de estudo.....	40
Figura 6 –	Influência da temperatura média (°C) na flutuação populacional de <i>Zaprionus indianus</i> e <i>Zaprionus tuberculatus</i> nos municípios de Areia (A), Pilões (B), Alagoa Grande (C), Remígio (D) e Alagoa Nova (E), localizados na mesorregião do Agreste Paraibano, no período de maio de 2024 a abril de 2025.....	44
Figura 7 –	Influência da precipitação (mm) na flutuação populacional de <i>Zaprionus indianus</i> e <i>Zaprionus tuberculatus</i> nos municípios de Areia (A), Pilões (B), Alagoa Grande (C), Remígio (D) e Alagoa Nova (E), localizados na mesorregião do Agreste Paraibano, no período de maio de 2024 a abril de	

2025..... 45

Figura 8 – Influência da umidade (%) na flutuação populacional de *Zaprionus indianus* e *Zaprionus tuberculatus* nos municípios de Areia (A), Pilões (B), Alagoa Grande (C), Remígio (D) e Alagoa Nova (E), localizados na mesorregião do Agreste Paraibano, no período de maio de 2024 a abril de 2025..... 46

Figura 9 – Relação entre variáveis climáticas e a abundância de *Zaprionus* spp. em cinco cidades da mesorregião do Agreste Paraibano, no período de maio de 2024 a abril de 2025..... 47

LISTA DE TABELAS

Capítulo I	Análise de abundância e infestação de <i>Zaprionus indianus</i> e <i>Zaprionus tuberculatus</i> (Diptera: Drosophilidae) em pomares domésticos da mesorregião do Agreste Paraibano.....	17
Tabela 1 –	Índices de infestação de <i>Zaprionus indianus</i> e <i>Zaprionus tuberculatus</i> em frutos de goiaba em cinco cidades da mesorregião do Agreste Paraibano	26
Tabela 2 –	Análise faunística geral das espécies de <i>Zaprionus indianus</i> e <i>Zaprionus tuberculatus</i> obtidas através de frutos de goiaba (coletados no solo e planta) e armadilhas em cinco cidades da mesorregião do Agreste Paraibano.....	28

SUMÁRIO

1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	13
	REFERÊNCIAS.....	15
2	CAPÍTULO I – ANÁLISE DE ABUNDÂNCIA E INFESTAÇÃO DE <i>Zaprionus indianus</i> E <i>Zaprionus tuberculatus</i> (DIPTERA: DROSOPHILIDAE) EM POMARES DOMÉSTICOS DA MESORREGIÃO DO AGRESTE PARAIBANO.....	17
2.1	RESUMO.....	17
2.2	ABSTRACT.....	18
2.3	INTRODUÇÃO.....	19
2.4	MATERIALE MÉTODOS.....	20
2.4.1	Período e locais de estudo.....	20
2.4.2	Coleta de dados.....	21
2.4.2.1	Armadilhas.....	21
2.4.2.2	Frutos.....	22
2.4.3	Identificação dos espécimes coletados.....	22
2.4.4	Índices de infestação e diversidade.....	22
2.4.5	Análise de dados.....	23
2.5	RESULTADOS.....	23
2.6	DISCUSSÃO.....	28
2.7	CONCLUSÕES.....	32
	REFERÊNCIAS.....	33
3	CAPÍTULO II – FLUTUAÇÃO POPULACIONAL DE <i>Zaprionus indianus</i> E <i>Zaprionus tuberculatus</i> (DIPTERA: DROSOPHILIDAE) EM POMARES DOMÉSTICOS DA MESORREGIÃO DO AGRESTE PARAIBANO.....	37
3.1	RESUMO.....	37
3.2	ABSTRACT.....	38
3.3	INTRODUÇÃO.....	39
3.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	40
3.4.1	Período e locais de estudo.....	40
3.4.2	Coleta de dados.....	41
3.4.3	Identificação dos espécimes coletados.....	42

3.4.4	Análise de dados.....	42
3.5	RESULTADOS.....	43
3.6	DISCUSSÃO.....	47
3.7	CONCLUSÕES.....	50
	REFERÊNCIAS.....	51

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Devido à sua ampla extensão territorial e elevado potencial produtivo, o Brasil destaca-se como uma das principais potências mundiais na fruticultura (Brasil, 2024). Esse desempenho decorre, em grande parte, de condições edafoclimáticas favoráveis que, associadas ao desenvolvimento tecnológico, permitem a produção de frutas em diferentes regiões do país (SEAB/DERAL, 2020). A diversidade de espécies frutíferas cultivadas exerce papel relevante na economia brasileira ao gerar empregos ao longo de toda a cadeia produtiva e contribuir para a renda no mercado interno e nas exportações (Brasil, 2018). Como resultado, o país consolidou-se como o terceiro maior produtor frutícola do mundo (Brasil, 2021).

No cenário nacional, o Estado de São Paulo concentra a maior participação na produção de frutas (37,71%), seguido por Bahia (9,29%) e Pará (7,15%). A Paraíba ocupa o 14º lugar, sendo responsável por 1,49% da produção em 2024 (Abrafrutas, 2024). Ressalta-se que todos os estados do Nordeste são produtores frutícolas e que, na Paraíba, observa-se expansão da área cultivada e diversificação de frutíferas, com predominância de sistemas vinculados à agricultura familiar (IBGE, 2023).

Apesar de regiões tropicais e subtropicais oferecerem condições propícias à fruticultura, essas mesmas condições favorecem a incidência de pragas agrícolas. Nesse contexto, as moscas-das-frutas se destacam como um dos principais entraves à produção, por ocasionarem perdas expressivas e restrições à comercialização (Tiring e Satar, 2021). Além disso, a diversidade de habitats e a variabilidade climática do Brasil contribuem para que o país reúna elevada diversidade de moscas-das-frutas (Zucchi, 2008; 2017). Entre os grupos de maior interesse, espécies exóticas representam risco à biodiversidade local e aos sistemas produtivos, especialmente quando apresentam rápido estabelecimento e expansão (Simberloff *et al*, 2013). Nesse conjunto, destacam-se duas espécies do gênero *Zaprionus* (Coquillett, 1902): *Zaprionus tuberculatus* (Malloch, 1932) e *Zaprionus indianus* (Gupta, 1970).

As moscas *Zaprionus* spp. apresentam elevada adaptabilidade, ciclo de desenvolvimento curto e alto potencial biótico (Commar *et al*, 2012). Em regiões tropicais, a dinâmica populacional dessas e de outras moscas-das-frutas é modulada por fatores ambientais e biológicos que variam no tempo e no espaço (Gleason *et al*, 2019). Assim, compreender a flutuação populacional ao longo das estações fornece subsídios essenciais para interpretar a ecologia desses insetos e orientar estratégias de manejo (Forrest, 2016). Variáveis como condições climáticas, altitude, localização geográfica, fenologia das frutíferas e presença de hospedeiros primários e secundários podem influenciar diretamente a abundância das moscas-

das-frutas em pomares (Montes, Raga e Souza Filho, 2011), tornando necessário identificar os períodos e condições mais propícios à multiplicação das espécies-praga.

O monitoramento de moscas-das-frutas, em escala global e nacional, tem sido conduzido principalmente com armadilhas contendo atrativos alimentares (Taira *et al*, 2013). Entretanto, armadilhas instaladas em árvores isoladas não permitem, por si só, a identificação dos hospedeiros definitivos (Aluja *et al*, 1987). Dessa forma, a coleta direta em frutos torna-se necessária para diagnósticos mais precisos de associação inseto–hospedeiro, informação fundamental tanto para estudos biológicos e ecológicos quanto para embasar programas de manejo e controle (Uramoto, Walder e Zucchi, 2004).

Na Paraíba, a fruticultura possui importância socioeconômica, constituindo para muitos produtores familiares uma alternativa de geração de renda (SEBRAE, 2005). A mesorregião do Agreste Paraibano destaca-se pela vocação frutícola, com produção de goiaba (*Psidium guajava* L.), manga (*Mangifera indica* L.) e acerola (*Malpighia emarginata* DC), entre outras frutíferas, com relevância em municípios como Alagoa Nova, Remígio, Alagoa Grande, Pilões e Areia. A produção estadual de frutas é estimada em 618.675 toneladas, e a Paraíba contribui com mais de 2.980 toneladas anuais de goiaba e 7.335 toneladas de manga (Abrafrutas, 2024).

Entretanto, perdas associadas às moscas-das-frutas têm sido recorrentes, cenário que se torna mais preocupante com a detecção recente de *Z. tuberculatus* no Estado (Ribeiro *et al*, 2024). Esse registro amplia a necessidade de estudos sobre a dinâmica populacional de *Zaprionus* spp. em condições locais, sobretudo em sistemas de pomares domésticos, nos quais a heterogeneidade de hospedeiros e de manejo pode influenciar a disponibilidade de recurso e a persistência das populações. Apesar da importância econômica e social da fruticultura na região, ainda são escassos os estudos que abordam a dinâmica populacional de moscas associadas a esses sistemas no Estado da Paraíba.

Diante da rápida expansão dos drosofilídeos no Brasil, do crescimento da fruticultura no semiárido brasileiro, especialmente voltada para a exportação (Araújo e Silva, 2013) e do potencial invasor e hábito alimentar generalista dessas moscas, torna-se essencial aprofundar o conhecimento sobre as populações de *Z. indianus* e *Z. tuberculatus* na Paraíba. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a dinâmica, a flutuação populacional, a abundância e o potencial de infestação de *Z. indianus* e *Z. tuberculatus* em pomares domésticos da mesorregião do Agreste Paraibano, considerando atrativos e métodos de coleta, estrato de ocorrência, hospedeiros disponíveis, índices de infestação, variações climáticas e diferenças entre municípios.

REFERÊNCIAS

- ABRAFRUTAS. Produção de frutas brasileiras por estado. Brasília, 2024. Disponível em: <https://abrafrutas.org/paineis-de-producao/>. Acesso em: 24 out. 2025.
- ABRAFRUTAS. Setor de fruticultura se destaca nas exportações brasileiras. Brasília, 2024. Disponível em: [https://abrafrutas.org/2024/07/setor-de-fruticultura-se-destaca-nas-exportacoes-brasileiras/#:~:text=O%20Brasil%20ocupa%20o%20terceiro,Frutas%20e%20Derivados%20\(Abrafrutas\)](https://abrafrutas.org/2024/07/setor-de-fruticultura-se-destaca-nas-exportacoes-brasileiras/#:~:text=O%20Brasil%20ocupa%20o%20terceiro,Frutas%20e%20Derivados%20(Abrafrutas)). Acesso em: 25 fev. 2025.
- ALUJA, M.; CABRERA, M.; RIOS, E.; GUILLÉN, J.; CELEDONIO-HURTADO, H.; HENDRICH, J.; LIEDO, P. A. Survey of the economically important fruit flies (Diptera: Tephritidae) present in Chiapas and a few other fruit growing regions in Mexico. **Florida Entomologist**, v. 70, n. 3, p. 320-329, 1987.
- ARAÚJO, G. J. F.; SILVA, M. M. Crescimento econômico no semiárido brasileiro: o caso do polo frutícola Petrolina/Juazeiro. **Caminhos de Geografia**, v. 14, n. 46, p. 246–264, 2013.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano nacional de desenvolvimento da fruticultura. Brasília, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/search?origem=form&SearchableText=Plano%20nacional%20de%20desenvolvimento%20da%20fruticultura>. Acesso em: 25 fev. 2025.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano nacional de desenvolvimento da fruticultura. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/search?origem=form&SearchableText=Plano%20nacional%20de%20desenvolvimento%20da%20fruticultura>. Acesso em: 25 fev. 2025.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Setor de fruticultura se destaca nas exportações brasileiras. Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/search?origem=form&SearchableText=Setor%20de%20fruticultura%20se%20destaca%20nas%20exporta%C3%A7%C3%B5es%20brasileiras>. Acesso em: 21 maio 2025.
- COMMAR, L. S.; GALEGO, L. G. C.; CERON, C. R.; CARARETO, C. M. A. Taxonomic and evolutionary analysis of *Zaprionus indianus* and its colonization of Palearctic and neotropical regions. **Genetics and Molecular Biology**, v. 35, n. 2, p. 395-406, 2012.
- FORREST, J. R. K. Complex responses of insect phenology to climate change. **Current Opinion in Insect Science**, v. 17, n. 1, p. 49-54, 2016.
- GLEASON, J. M.; ROY, P. R.; EVERMAN, E. R.; GLEASON, T. C.; MORGAN, T. J. Phenology of *Drosophila* species across a temperate growing season and implications for behavior. **PloS One**, v. 14, n. 5, p. e0216601, 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html>. Acesso em: 21 mar. 2025.

MONTES, S. M. N. M.; RAGA, A.; SOUZA FILHO, M. F. Levantamento de espécies de *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae) em áreas de cucurbitáceas sob sistema de mitigação de risco. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 78, n. 2, p. 317-320, 2011.

RIBEIRO, L. S.; SOUSA, N. R.; SALUSTINO, A. S.; MORAIS, M. M. D.; MADDALENA, A.; ABREU, K. G.; OLIVEIRA-FILHO, M. C.; BRITO, C. H.; ARAUJO, H. F. P.; MARTINS, J. V. S.; RIBEIRO, W. S. First record of *Zaprionus tuberculatus* (Malloch, 1932) (Diptera: Drosophilidae) in Paraíba state, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, p. e285905, 2024.

SEAB/DERAL. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento - Departamento de Economia Rural. Análise da conjuntura agropecuária, safra 2016/2017. Paraná, 2020. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/busca?termo=An%25C3%25A1lise-da-conjuntura-agropecu%25C3%25A1ria-safra-20162017>. Acesso em: 06 mar. 2025.

SEBRAE PARAÍBA. Fruticultura. João Pessoa, 2005. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/pb?codUf=16>. Acesso em: 26 fev. 2025.

SIMBERLOFF, D.; MARTIN, J. L.; GENOVESI, P.; MARIS, V.; WARDLE, D. A.; ARONSON, J.; COURCHAMP, F.; GALIL, B.; BERTHOU, E. G.; PASCAL, M.; PYSEK, P.; SOUSA, R.; TABACCHI, E.; VILA, M. Impacts of biological invasions: what's what and the way forward. **Trends in ecology & evolution**, v. 28, n. 1, p. 58-66, 2013.

TAIRA, T. L.; ABOT, A. R.; NICÁCIO, J.; UCHÔA, M. A.; RODRIGUES, S. R.; GUIMARÃES, J. A. Fruit flies (Diptera, Tephritidae) and their parasitoids on cultivated and wild hosts in the Cerrado-Pantanal ecotone in Mato Grosso do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 57, n. 3, p. 300–308, 2013.

TIRING, G.; SATAR, S. Annual population fluctuations of Mediterranean fruit fly in the Eastern Mediterranean Region of Turkey; Problem of non-marketing fruit. **Phytoparasitica**, v. 49, n. 5, p. 807–817, 2021.

URAMOTO, K.; WALDER, J. M. M.; ZUCCHI, R. A. Biodiversidade de moscas-das-frutas do gênero *Anastrepha* (Diptera, Tephritidae) no campus da ESALQUSP, Piracicaba, São Paulo. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 48, n. 3, p. 409-414, 2004.

ZUCCHI, R. A. Fruit flies in Brazil - *Anastrepha* species, their host plants and parasitoids. Disponível em: <www.lea.esalq.usp.br/anastrepha/>, atualizado em 27 de novembro, 2017. Acesso em: 25 fev. 2025.

2 CAPÍTULO I – ANÁLISE DE ABUNDÂNCIA E INFESTAÇÃO DE *Zaprionus indianus* E *Zaprionus tuberculatus* (DIPTERA: DROSOPHILIDAE) EM POMARES DOMÉSTICOS DA MESORREGIÃO DO AGRESTE PARAIBANO

2.1 RESUMO

A dinâmica populacional de moscas-das-frutas em sistemas agrícolas tropicais é influenciada por fatores bióticos e abióticos, que afetam a abundância, distribuição e comportamento das espécies. Este estudo teve como objetivo analisar a distribuição e a abundância de *Z. indianus* e *Z. tuberculatus* em pomares domésticos da mesorregião do Agreste Paraibano, considerando fatores ambientais, atrativos alimentares, métodos de coleta e variações locais de infestação. A pesquisa foi realizada de maio/2024 a abril/2025, abrangendo pomares de cinco municípios da mesorregião do Agreste Paraibano. Foram utilizadas armadilhas *McPhail* com dois diferentes atrativos alimentares (suco de goiaba e proteína) e a coleta de frutos para estimar os índices de infestação e análise faunística das espécies. Os dados foram analisados por meio de Modelos Lineares Generalizados Mistos (MLGM). Os resultados indicam que o suco de goiaba atrai mais *Z. tuberculatus*, enquanto *Z. indianus* não apresenta preferência clara. No estrato da planta, as abundâncias de ambas as espécies são semelhantes, mas no solo, *Z. indianus* é mais abundante que *Z. tuberculatus*. A combinação de armadilhas e frutos como métodos de coleta demonstra que as armadilhas são mais eficazes para monitoramento contínuo. Há variação nos índices de diversidade entre os municípios e a goiaba é identificada como o hospedeiro preferido por ambas as espécies. A análise de abundância confirma que *Z. indianus* é dominante em todas as localidades e que *Z. tuberculatus* é menos abundante e tem uma distribuição mais restrita. Os índices de infestação confirmam que *Zaprionus* spp. variam de acordo com a localização geográfica, sendo mais elevados em municípios com maior número de frutos disponíveis. A necessidade de um manejo regionalizado adaptado às condições locais é evidenciada pelos diferentes padrões de infestação e dominância observados entre os municípios. Futuras pesquisas devem expandir o escopo espacial e temporal para entender melhor a interação de *Zaprionus* spp. com outras variáveis ambientais e espécies nos pomares.

Palavras-chave: atrativos alimentares; frutos hospedeiros; método de coleta.

2.2 ABSTRACT

Population dynamics of fruit flies in tropical agricultural systems are influenced by biotic and abiotic factors that affect species abundance, distribution, and behavior. This study aimed to analyze the distribution and abundance of *Z. indianus* and *Z. tuberculatus* in backyard orchards in the Agreste Paraibano mesoregion, considering environmental factors, food attractants, sampling methods, and local variation in infestation. The research was conducted from May 2024 to April 2025 and included orchards in five municipalities of the Agreste Paraibano mesoregion. McPhail traps baited with two different food attractants (guava juice and protein) and fruit sampling were used to estimate infestation indices and to perform faunistic analyses of the species. Data were analyzed using Generalized Linear Mixed Models (GLMMs). The results indicate that guava juice attracts more *Z. tuberculatus*, whereas *Z. indianus* shows no clear preference. In the plant stratum, the abundances of both species are similar, but on the ground, *Z. indianus* is more abundant than *Z. tuberculatus*. Combining traps and fruit sampling shows that traps are more effective for continuous monitoring. Diversity indices vary among municipalities, and guava is identified as the preferred host for both species. Abundance analysis confirms that *Z. indianus* is dominant in all localities and that *Z. tuberculatus* is less abundant and has a more restricted distribution. Infestation indices confirm that *Zaprionus* spp. vary according to geographic location, with higher levels in municipalities with a greater availability of fruits. The need for region-specific management adapted to local conditions is highlighted by the different infestation and dominance patterns observed among municipalities. Future research should expand the spatial and temporal scope to better understand the interaction of *Zaprionus* spp. with other environmental variables and species in orchards.

Keywords: food attractants; host fruits; collection method.

2.3 INTRODUÇÃO

A dinâmica populacional de moscas-das-frutas em sistemas tropicais resulta da interação entre fatores bióticos, como disponibilidade e fenologia de frutos hospedeiros, e fatores abióticos, como temperatura, umidade relativa e precipitação. Esses componentes afetam a abundância, a distribuição espacial e temporal e a atividade de adultos, influenciando também a resposta a atrativos alimentares utilizados em programas de monitoramento (Momen *et al*, 2025). Nesse contexto, *Zaprionus indianus* (Gupta, 1970) e *Zaprionus tuberculatus* (Malloch, 1932) têm despertado atenção devido à expansão geográfica, plasticidade trófica e potencial de causar perdas em sistemas frutícolas (Jobim *et al*, 2023).

Espécies de *Zaprionus* utilizam ampla variedade de recursos alimentares e substratos de oviposição (Rakes *et al*, 2023), porém o conhecimento sobre hospedeiros preferenciais e níveis de infestação ainda é limitado em diferentes regiões do Brasil, o que restringe o planejamento de ações de manejo (Garcia, 2020b). A identificação de hospedeiros e a quantificação de infestação por meio de coleta de frutos permitem estimar pupários, emergência e viabilidade pupal, além de associar o uso de recursos às condições locais de frutificação e manejo (Santos *et al*, 2022). Adicionalmente, a amostragem nos estratos planta e solo pode indicar diferenças no comportamento de busca por recurso e no uso de micro-habitats, contribuindo para compreender como *Z. indianus* e *Z. tuberculatus* exploram e partilham recursos em contextos ambientais distintos (Tait *et al*, 2020).

A integração entre captura de adultos em armadilhas e a confirmação de infestação via frutos oferece um diagnóstico mais completo: armadilhas refletem presença e atividade de adultos, enquanto frutos permitem confirmar infestação e estimar parâmetros populacionais associados ao sucesso de desenvolvimento (Malavasi *et al*, 2000; Salazar-Mendonza *et al*, 2021). Além disso, diferenças na resposta a atrativos e na dominância local podem orientar estratégias de monitoramento direcionadas; *Z. indianus* é frequentemente dominante em ambientes tropicais, enquanto *Z. tuberculatus* ainda é pouco estudada no Brasil e pode apresentar padrões de resposta e uso de recursos mais dependentes do contexto local (Silva *et al*, 2005; Cavalcanti *et al*, 2022).

A mesorregião do Agreste Paraibano, caracterizada por mosaicos de pomares domésticos e quintais produtivos, é um cenário apropriado para investigar a ecologia de *Zaprionus* spp. Predominam cultivos de goiaba (*Psidium guajava* L.), manga (*Mangifera indica* L.) e acerola (*Malpighia emarginata* DC), com oferta variável ao longo do ano. Essas flutuações, associadas a diferenças microclimáticas entre municípios, podem modular a

ocorrência, a dominância e os níveis de infestação das espécies. A goiaba, em particular, destaca-se como recurso recorrente para *Zaprionus* spp. (Da Mata *et al*, 2024), embora a magnitude da infestação e o papel de cada espécie possam variar conforme microclima, manejo e composição da vegetação circundante.

Diante desse cenário, este estudo teve como objetivo analisar a distribuição e a abundância de *Z. indianus* e *Z. tuberculatus* em pomares domésticos da mesorregião do Agreste Paraibano, considerando fatores ambientais, atrativos alimentares, métodos de coleta e variações locais de infestação. Especificamente, testaram-se as hipóteses de que: (i) atrativos à base de suco de goiaba capturam mais *Z. tuberculatus* que atrativos proteicos, enquanto *Z. indianus* não apresenta preferência marcada; (ii) *Z. tuberculatus* é mais abundante no estrato planta, ao passo que *Z. indianus* utiliza planta e solo de forma semelhante; (iii) armadilhas capturam mais indivíduos que a coleta de frutos; (iv) a goiaba é o principal hospedeiro de ambas as espécies; e (v) *Z. indianus* é dominante em todos os municípios amostrados, com variação espacial nos níveis de infestação de *Zaprionus* spp. associada à disponibilidade de frutos.

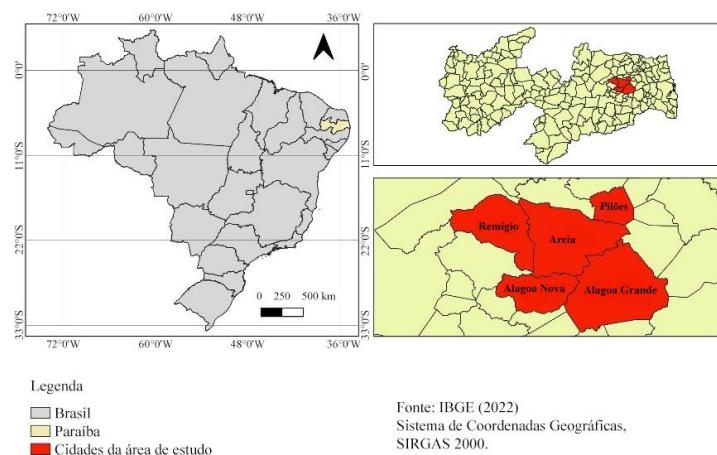
2.4 MATERIAL E MÉTODOS

2.4.1 Período e locais de estudo

O estudo foi realizado de maio de 2024 a abril de 2025 em pomares domésticos localizados nos municípios de Areia (S 06° 57' 52.6" W 035° 42' 46.0"), Alagoa Grande (S 07° 00' 88.6" W 035° 58' 76.4"), Remígio (S 07° 00' 08.9" W 035° 47' 55.0"), Alagoa Nova (S 07° 05' 14.4" W 035° 74' 66.4") e Pilões (S 06° 54' 01.3" W 035° 39' 16.2"), situados na mesorregião do Agreste Paraibano (Figura 1).

Figura 1 – Área de estudo

Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A seleção dos pomares em cada município foi realizada considerando a diversidade de espécies frutíferas presentes, especialmente aquelas reconhecidas como hospedeiras potenciais de drosofilídeos, que garantiram a disponibilidade de diferentes substratos para oviposição e desenvolvimento larval ao longo do estudo. Essa diversidade foi considerada fundamental para possibilitar uma avaliação mais representativa da ocorrência de *Zaprionus* spp. em pomares domésticos da região.

A distância entre os pomares não foi adotada como critério de seleção, uma vez que o objetivo do estudo foi contemplar municípios distintos dentro da mesorregião do Agreste Paraibano, de modo a abranger áreas com diferentes condições microclimáticas e composições de hospedeiros. No entanto, para assegurar maior transparência no delineamento amostral, ressalta-se que a distância mínima registrada entre dois pomares foi de aproximadamente 15km, enquanto a máxima foi de 32 km.

A mesorregião do Agreste Paraibano apresenta transição climática e, conforme Köppen (1936), predominam áreas do tipo As, com ocorrência de setores BSh no estado; as condições variam entre municípios e altitudes.

2.4.2 Coleta de dados

2.4.2.1 Armadilhas

Foram instaladas duas armadilhas do modelo *McPhail* em cada propriedade, totalizando 10 armadilhas, destinadas à captura de *Zaprionus* spp. Cada armadilha continha um tipo de atrativo alimentar: proteína hidrolisada a 5% (Biofruit®) ou suco de goiaba a 20%. As armadilhas foram posicionadas na altura média da copa das árvores (mediana de 3 a 6 metros), contendo 300 mL da solução atrativa e 3 gotas de formol em cada uma para preservação dos espécimes.

Dentro de cada pomar, as armadilhas foram distribuídas em pontos distintos, mantidas a distância mínima de aproximadamente 25 metros entre si, de modo a reduzir a possibilidade de pseudorreplicação. Procurou-se posicionar uma armadilha próxima à área central do pomar e outra em área de borda, assegurando a amostragem de micro-habitats distintos e a captura de maior heterogeneidade ambiental. As áreas dos pomares variaram entre aproximadamente 4 e 6 ha.

As armadilhas permaneceram abertas durante 15 dias por mês e nas vistorias mensais o conteúdo de cada armadilha foi coletado e foram repostos os atrativos. Os insetos capturados foram acondicionados em recipientes plásticos identificados (atrativo, município e mês),

contendo álcool 70%, conforme protocolos estabelecidos pelo USDA (United States Department of Agriculture).

Após, os insetos foram encaminhados ao Laboratório de Invertebrados (LABIN), pertencente ao Departamento de Biociências localizado da Universidade Federal da Paraíba (DB/UFPB), *campus II*, onde foram feitas as triagens e identificadas em nível de espécie.

2.4.2.2 Frutos

A coleta dos frutos foi realizada mensalmente durante os meses de estudo, nos pomares selecionados em cada município. Frutos maduros ou em início de maturação foram coletados tanto do solo como das plantas e após a coleta, os frutos foram transportados em sacos plásticos até o LABIN/UFPB onde foram contabilizados, pesados e individualizados em bandejas plásticas (34,9cm x 28,9cm x 7,5cm, capacidade de 5,5L) contendo camada de 2 cm de areia esterilizada e cobertas com tecido “voil”. Após período de 10 a 13 dias a areia foi peneirada para coleta dos pupários.

Os pupários coletados foram armazenados em placas de Petri (140 x 15mm) com areia esterilizada e mantidos no laboratório (temperatura média de $25 \pm 2^\circ\text{C}$, UR $60 \pm 10\%$ e fotófase de 12 horas) até a emergência das moscas. Posteriormente, armazenadas em coletores universais de 80 mL, contendo álcool 70% para posterior identificação taxonômica.

2.4.3 Identificação dos espécimes coletados

No LABIN, os adultos de *Zaprionus* spp. foram identificados quanto à espécie utilizando o modelo de chave dicotômica, levando como referência características taxonômicas como o tubérculo na margem médio-ventral do fêmur anterior e as listras abdominais (Van Der Linde *et al*, 2006). Após a identificação, os vouchers foram depositados em recipientes contendo álcool 70%, com a devida identificação do local de coleta, mês, espécie, sexo e tipo de atrativo utilizado (para os coletados em armadilhas). Esses espécimes foram armazenados no próprio laboratório, para assegurar a rastreabilidade do material identificado e permitir futuras verificações por outros pesquisadores.

2.4.4 Índices de infestação e diversidade

Com base nas coletas de frutos, calcularam-se o nível de infestação (NI), número médio de pupários por quilograma de fruto (Araujo e Zucchi, 2003), e a viabilidade pupal (%), obtida pela razão entre o número de adultos emergidos e o número total de pupários, multiplicada por 100 (Castro Portilla, 2002).

A análise faunística das espécies de *Zaprionus* spp. foi realizada considerando cada município como uma comunidade distinta (Silveira Neto *et al*, 1976; Uramoto, Walder e Zucchi, 2005). Foram calculadas a frequência relativa (F%), a constância (espécies constantes, acessórias ou acidentais) e a dominância (espécie dominante quando $F\% > 1/S$). A diversidade foi avaliada pelos índices de Simpson (λ), Shannon-Wiener (H') e equitabilidade de Hill modificada (E), conforme Brower e Zar (1984), Magurran (1988) e Hill (1973).

2.4.5 Análise de dados

Para investigar os fatores que afetam a abundância de adultos de *Z. indianus* e *Z. tuberculatus*, diferentes abordagens estatísticas foram empregadas a partir de Modelos Lineares Generalizados Mistos (MLGM) com distribuição binomial negativa, apropriada para dados de contagem superdispersos. Os modelos foram ajustados com a função *glmmTMB* no R (Brooks *et al*, 2017).

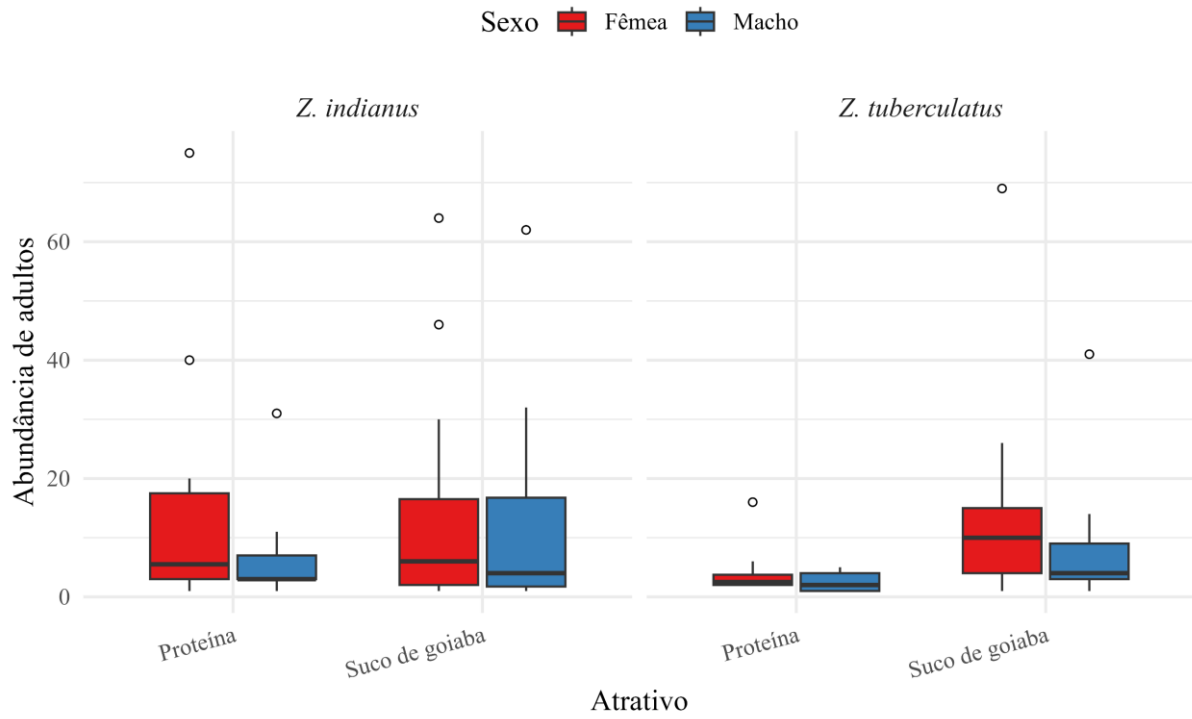
A adequação dos modelos foi avaliada por meio do pacote *DHARMA* (Hartig, 2024), com inspeção dos resíduos simulados, testes para sobredispersão, inflação de zeros, presença de outliers e ajuste dos resíduos à distribuição teórica esperada (teste de Kolmogorov-Smirnov). Os pressupostos foram atendidos, sem indicação de problemas relevantes. O critério de informação de Akaike (AIC) foi utilizado para comparar o ajuste dos modelos de distribuição binomial negativa em relação ao modelo de Poisson, confirmando a superioridade do primeiro.

O poder explicativo dos modelos foi avaliado pelos coeficientes de determinação marginal e condicional (R^2), utilizando o pacote *performance*. As comparações pós-hoc entre os níveis dos fatores (atrativo, estrato, método, sexo e espécie) foram conduzidas com o pacote *emmeans* (Lenth, 2024), permitindo a identificação de diferenças específicas entre os grupos e interações. A visualização dos resultados foi realizada com o pacote *ggplot2* (Wickham, 2016), incluindo gráficos exploratórios da relação entre abundância e as variáveis ambientais para cada espécie. Todas as análises foram conduzidas no software Rstudio (R Core Team, 2025), versão 4.4.2.

2.5 RESULTADOS

O MLGM indicou diferenças consistentes na abundância entre espécies e sexos. A abundância de *Z. tuberculatus* foi significativamente menor do que a de *Z. indianus* ($\beta = -1,27$; $p = 0,0058$) e os machos apresentaram abundância inferior à das fêmeas ($\beta = -0,89$; $p = 0,033$). Observou-se ainda interação significativa entre atrativo e espécie ($\beta = 1,23$; $p = 0,021$), indicando que o efeito do atrativo variou conforme a espécie (Figura 2).

Figura 2 – Abundância de machos e fêmeas de *Zaprionus indianus* e *Zaprionus tuberculatus* capturados em armadilhas com atrativos de proteína e suco de goiaba em cinco municípios da mesorregião do Agreste Paraibano



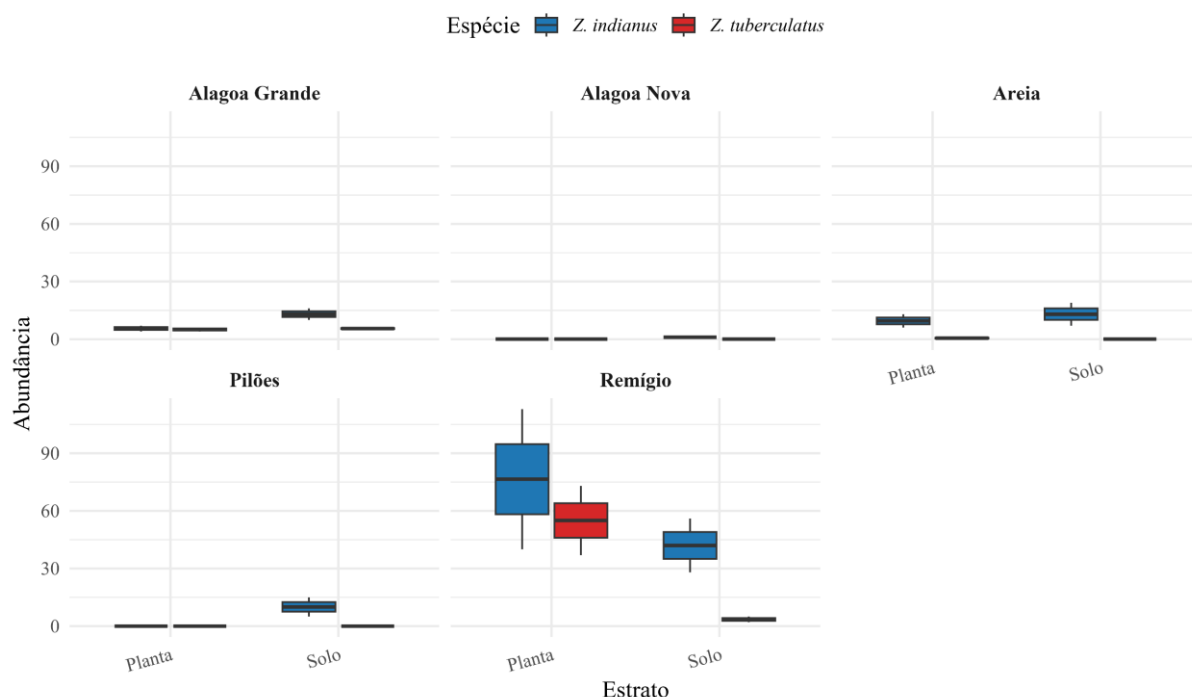
Nota: As caixas mostram a distribuição dos dados por sexo, espécie e atrativo.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

As comparações múltiplas mostraram que, para fêmeas de *Z. tuberculatus*, a abundância foi significativamente maior em armadilhas contendo suco de goiaba em comparação à proteína ($\beta = -0,88$; $p = 0,040$, escala logarítmica). Nos demais grupos, machos de *Z. tuberculatus* ($p = 0,063$) e ambos os sexos de *Z. indianus* ($p = 0,300$ e $p = 0,461$), não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os atrativos.

Foi observada interação significativa entre estrato e espécie ($p = 0,0087$). *Z. indianus* apresentou maior abundância tanto no estrato planta quanto no solo, enquanto *Z. tuberculatus* foi menos abundante, especialmente no solo. A comparação entre espécies dentro do estrato planta não foi significativa ($p = 0,13$), porém no solo *Z. indianus* foi significativamente mais abundante do que *Z. tuberculatus* ($\beta = 2,74$; $p < 0,0001$) (Figura 3).

Figura 3 – Abundância de adultos de *Zaprionus indianus* e *Zaprionus tuberculatus* capturados nos estratos de planta e solo em cinco municípios da mesorregião do Agreste Paraibano

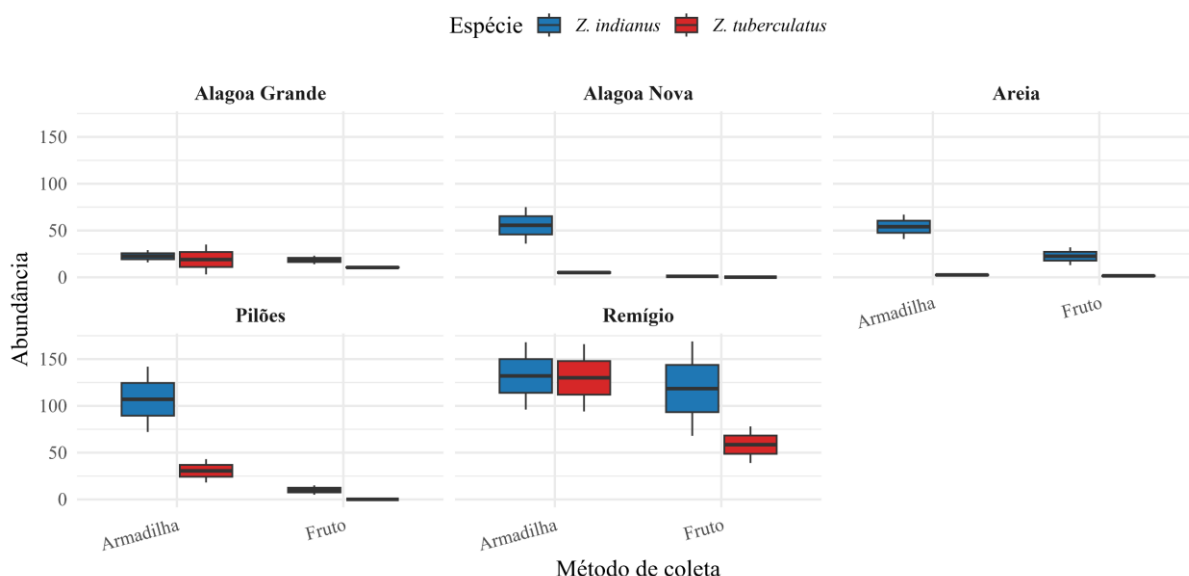


Nota: As caixas representam o intervalo interquartil, com a linha horizontal indicando a mediana e os extremos os valores mínimo e máximo observados.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

O modelo indicou maior abundância de adultos em armadilhas do que em frutos para ambas as espécies: *Z. indianus* ($\beta = 1,53$; $p = 0,0005$) e *Z. tuberculatus* ($\beta = 1,31$; $p = 0,0029$). *Z. indianus* foi mais abundante do que *Z. tuberculatus* em ambos os métodos, com diferença mais acentuada nas armadilhas ($\beta = 1,47$; $p = 0,0005$) do que nos frutos ($\beta = 1,25$; $p = 0,0041$). Não houve interação significativa entre método e espécie ($p = 0,71$), sugerindo que a superioridade das armadilhas em relação aos frutos ocorreu de modo semelhante para as duas espécies (Figura 4).

Figura 4 – Abundância de adultos das espécies *Zaprionus indianus* e *Zaprionus tuberculatus* capturados por armadilhas e em frutos em cinco municípios da mesorregião do Agreste Paraibano



Nota: As caixas representam o intervalo interquartil, com a linha horizontal indicando a mediana e os extremos os valores mínimo e máximo observados.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

No levantamento realizado a partir das coletas de frutos, foram amostrados frutos pertencentes a seis famílias botânicas: Myrtaceae (*Psidium guajava* L.), Anacardiaceae (*Mangifera indica* L. e *Spondias mombin* L.), Rutaceae (*Citrus sinensis* L.), Annonaceae (*Annona muricata* L.), Moraceae (*Artocarpus heterophyllus* L.) e Malpighiaceae (*Malpighia emarginata* DC). Dessas, as espécies de *Zaprionus* spp. foram identificadas apenas na família Myrtaceae, em frutos da goiaba da variedade Paluma (Tabela 1).

Tabela 1 – Índices de infestação de *Zaprionus indianus* e *Zaprionus tuberculatus* em frutos de goiaba em cinco municípios da mesorregião do Agreste Paraibano

Localidades	Quantidade (n)				Índices de infestação	
	Nº frutos	Frutos (Kg)	Nº pupários	Nº adultos	VP (%)*	NI*
Areia	19	2,82	43	20	46,51	15,24
Alagoa Grande	14	1,94	40	21	52,5	20,61
Remígio	109	11,49	528	354	67,04	45,95
Alagoa Nova	20	2,96	57	2	3,5	19,25
Pilões	25	3,87	47	20	42,55	12,14
Total	187	23,08	715	417		

Nota: *VP – Viabilidade pupal (%); NI – Nível de infestação.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Variação significativa foi observada entre os municípios, com Remígio apresentando os maiores valores para todos os indicadores, como o número de frutos (109), o peso total dos frutos (11,49 kg), o número de pupários (528) e o número de adultos emergidos (354),

resultando na maior taxa de emergência (67,04%) e no maior nível de infestação (45,95 pupários/kg). Alagoa Grande apresentou o segundo maior nível de infestação (20,61 pupários/kg), seguido por Alagoa Nova (19,25 pupários/kg), Areia (15,24 pupários/kg) e Pilões (12,14 pupários/kg).

A análise faunística de *Zaprionus* spp. capturadas em frutos e armadilhas foi realizada com base na abundância de fêmeas e revelou padrões distintos de dominância e distribuição entre os municípios estudados (Tabela 2). *Z. indianus* foi a espécie dominante em todos os municípios, com uma frequência relativa superior a 58% e classificada como constante e dominante (*W* e *D*) em todas as localidades. Em contraste, *Z. tuberculatus* foi menos frequente e predominou em algumas localidades, como Pilões e Remígio, onde foi classificada como acessória (*Y*).

A riqueza de espécies foi constante em todos os locais ($S = 2$), com *Z. indianus* e *Z. tuberculatus* sendo as únicas espécies registradas. O índice de Simpson (λ) indicou menor diversidade em locais como Areia e Alagoa Nova ($\lambda = 0,90$), com maior predominância de *Z. indianus*, enquanto Pilões e Remígio apresentaram índices mais baixos ($\lambda = 0,66$ e $0,51$, respectivamente), sugerindo maior diversidade e equilíbrio na comunidade de moscas-das-frutas (Tabela 2).

O índice de Shannon-Wiener (H') refletiu a diversidade, com Remígio ($H' = 0,68$) mostrando maior equilíbrio entre as espécies, enquanto Areia e Alagoa Nova apresentaram baixa diversidade ($H' = 0,2$). A equitabilidade de Hill modificada (E) foi maior em Remígio ($E = 0,98$), indicando uma maior equidade entre as espécies, enquanto Areia teve um valor baixo de E ($0,49$), sugerindo dominância clara de *Z. indianus* (Tabela 2).

Tabela 2 – Análise faunística geral de *Zaprionus indianus* e *Zaprionus tuberculatus* obtidas através de frutos de goiaba (coletados no solo e planta) e armadilhas em cinco municípios da mesorregião do Agreste Paraibano

ESPÉCIES	CIDADES											
	AREIA				A. GRANDE				A. NOVA			
	N	F	C	D	N	F	C	D	N	F	C	D
<i>Z. indianus</i>	73	94,8	W	d	52	82,53	W	d	76	95	W	d
<i>Z. tuberculatus</i>	4	5,19	Z	n	11	17,46	Z	n	4	5	Z	n
TOTAL	77				63				80			
S	2				2				2			
λ	0,9014				0,7118				0,905			
H'	0,2				0,46				0,2			
E	0,49				0,69				0,47			

ESPÉCIES	CIDADES							
	PILÕES				REMÍGIO			
	N	F	C	D	N	F	C	D
<i>Z. indianus</i>	157	78,5	W	d	337	58	W	d
<i>Z. tuberculatus</i>	43	21,5	Z	n	244	41,99	Y	n
TOTAL	200				581			
S	2				2			
λ	0,6625				0,5128			
H'	0,52				0,68			
E	0,75				0,98			

Nota: N – Número de moscas capturadas (fêmeas); F – Frequência relativa (%); C – Constância (W – constante, Y – acessória e Z – acidental); D = Dominância (d – dominante e n – não dominante); S = Riqueza; λ – Índice de Simpson; H' – Índice de Shannon-Wiener; E – Equitabilidade através do índice de Hill modificado.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

2.6 DISCUSSÃO

Os resultados desta pesquisa evidenciam que o padrão de abundância observado, com *Z. indianus* sendo a espécie mais abundante, pode estar relacionado a características biológicas específicas dessa espécie, como elevada capacidade de dispersão, ampla plasticidade ecológica e maior competitividade em ambientes antrópicos (Rios, Costa e Galego, 2022). A ampla gama de hospedeiros de *Z. indianus* facilita sua adaptação a diversos ambientes, o que tem contribuído para sua expansão geográfica no Brasil. Esse processo pode estar associado não apenas à sua plasticidade ecológica, mas também à capacidade de colonizar rapidamente novos ambientes antrópicos (Viana *et al*, 2024).

Uma possível seletividade das fêmeas de *Z. tuberculatus* por atrativos ricos em açúcares, como o suco de goiaba, possivelmente associada às demandas nutricionais para a oviposição, pode explicar a maior abundância observada nesse tipo de armadilha. Comportamentos semelhantes já foram relatados em fêmeas de outras espécies de moscas-das-frutas, como

Bactrocera zonata (Saunders, 1842), que demonstraram forte atração por voláteis provenientes de frutos (Ravikumar e Viraktamath, 2007; Binyameen *et al*, 2021).

Embora não tenha sido observada preferência estatisticamente significativa entre os atrativos, a ausência de seletividade sugere que, ao contrário das fêmeas, os machos de *Z. tuberculatus* e ambos os sexos de *Z. indianus* podem ser menos exigentes quanto ao tipo de atrativo. Esse comportamento pode estar relacionado à capacidade de responder a uma gama mais ampla de estímulos, incluindo sinais que indicam a presença de fêmeas ou outras substâncias voláteis associadas a potenciais locais de oviposição (Tan e Nishida, 2012), exigências nutricionais distintas e estratégias de busca por recursos (Prokopy e Roitberg, 1984), ressaltando a necessidade de estudos adicionais para aprimorar as estratégias de captura e controle.

Os achados reforçam a importância de se considerar variações ambientais locais e temporais (R^2 condicional e marginal), como já relatado por Majeed *et al* (2024), que observaram que a atratividade de armadilhas contendo compostos voláteis produzidos por leveduras associadas às moscas-das-frutas é modulada por variáveis climáticas como temperatura, umidade e precipitação. Tais condições influenciam diretamente a captura de indivíduos e, consequentemente, a eficácia das estratégias de monitoramento e controle. O pomar localizado no município de Remígio concentrou as maiores capturas de ambas as espécies com ambos os atrativos, o que aponta para a influência dessas variáveis climáticas, bem como diversidade de frutos hospedeiros e densidade de vegetação, na eficácia das armadilhas (Hoffmann, 2010; Tidon, Leite e Leão, 2003).

Observou-se que *Z. indianus* apresentou maiores abundâncias absolutas tanto no estrato planta quanto no solo, ao passo que *Z. tuberculatus* foi menos abundante em ambos, com decréscimo mais acentuado no solo. Esse padrão é consistente com a literatura que indica que fêmeas de *Z. indianus* tendem a ovipositar em frutos com melhor condição fisiológica, frequentemente ainda fixos à planta, favorecendo o desenvolvimento larval (Leão e Tidon, 2004; Matavelli *et al*, 2015).

A estratificação do monitoramento, portanto, além de elucidar diferenças ecológicas entre as espécies, orienta estratégias mais direcionadas de amostragem e controle. Embora *Z. tuberculatus* seja descrita como espécie generalista (Viana *et al*, 2024), foi observado neste estudo uma menor abundância relativa da espécie, especialmente no solo, sugerindo desempenho reduzido sob condições menos favoráveis do substrato.

A maior eficiência das armadilhas como ferramenta de detecção, especialmente em áreas com menor presença de frutos aptos, reforça sua utilidade prática. Em contrapartida, a

ausência de interação estatística significativa entre método e espécie sugere que as diferenças entre elas se mantêm estáveis independentemente da técnica empregada, o que valida o uso conjunto dos métodos em programas de monitoramento. Estudos como o de Timmeren *et al* (2017) demonstram que a amostragem larval em frutas complementa a captura em armadilhas, fornecendo uma detecção mais sensível da presença de *Drosophila suzukii* (Matsumura, 1931). Além disso, o método “*sleeve*” desenvolvido por Zriki *et al* (2024) reforçam o valor de incluir amostragem direta de frutos como parte de uma estratégia integrada de monitoramento. Tais abordagens confirmam que, embora armadilhas sejam valiosas, sua combinação com técnicas larvais aumenta a eficácia diagnóstica em sistemas frutícolas.

A predominância da goiabeira na região, tanto em pomares comerciais quanto domésticos, favorece seu papel como hospedeiro preferencial, como já observado em estudos anteriores que apontam a importância da disponibilidade do hospedeiro na dinâmica populacional de moscas-das-frutas (Alba *et al*, 2017).

O pomar localizado no município de Remígio é caracterizado como um ponto crítico de infestação, indicando a maior pressão populacional das espécies entre os pomares estudados. Fatores como manejo agrícola, densidade de plantas hospedeiras, qualidade dos frutos e condições microclimáticas provavelmente favoreceram o desenvolvimento das larvas e a viabilidade pupal. Para os outros pomares, o padrão sugere a existência de barreiras ao desenvolvimento larval e pupal, como competição microbiológica, decomposição avançada dos frutos ou presença de inimigos naturais, fenômenos discutidos por Matavelli *et al* (2015) em estudos com drosófilas em frutos de goiabeira.

As informações de análise faunística são cruciais para o entendimento da bioecologia destes insetos em diferentes áreas (Marsaro Júnior *et al*, 2012). O fato de *Z. indianus* ter sido amplamente dominante em todos os pomares, indicando a maior frequência relativa, evidencia a ampla distribuição e capacidade de colonização da espécie, que se destaca como a mais adaptada às condições edafoclimáticas e aos recursos disponíveis nos pomares da mesorregião do Agreste Paraibano, corroborando estudos prévios que identificam a espécie como uma espécie invasora altamente competitiva em ambientes tropicais (Silva *et al*, 2005).

A classificação de *Z. tuberculatus* como espécie acessória (y) em Pilões e Remígio sugere um possível processo de adaptação local, permitindo à espécie competir com outras moscas-das-frutas e explorar nichos ecológicos específicos nos quais se torna mais dominante. Essa dinâmica pode estar associada à sua capacidade de utilizar diferentes substratos e à influência de variáveis ambientais, como temperatura, umidade e precipitação, que apresentam variações entre as localidades avaliadas. A ampla gama de hospedeiros, aliada à elevada

capacidade de dispersão, confere a *Z. tuberculatus* maior plasticidade ecológica, favorecendo sua colonização e persistência em diferentes condições ambientais, o que pode explicar sua expansão geográfica registrada no Brasil (Viana *et al*, 2024).

A análise dos índices de diversidade reforça observações cruciais sobre a estrutura comunitária. Os menores valores de Shannon-Wiener ($H' = 0,2$) em Areia e Alagoa Nova apontam para baixa diversidade e forte dominância de uma espécie, possivelmente *Z. indianus*. Em contraste, os valores mais elevados de H' em Remígio (0,68) e Pilões (0,52) sugerem um cenário mais equilibrado, com maior participação de *Z. tuberculatus*. Essa interpretação é consistente com estudos anteriores que mostraram que ambientes mais equilibrados apresentam maiores H' e equitabilidade (E), como descrito por Torres *et al* (2006) em comunidades de *Drosophila* spp. Em Remígio, o valor elevado de equitabilidade ($E = 0,98$) reforça que ambas as espécies ocorrem em proporções mais semelhantes, padrão já documentado por De Toni *et al* (2007), em que os índices de diversidade e dominância foram essenciais para caracterizar a estrutura das comunidades ao longo do tempo. O índice de Simpson (λ), variando de 0,51 em Remígio a 0,90 em Areia e Alagoa Nova, confirma que valores baixos indicam comunidades mais diversas e menos dominadas por uma única espécie (Krebs, 2001). Finalmente, a riqueza de espécies ($S = 2$) permaneceu constante em todas as áreas, pois apenas duas espécies de *Zaprionus* foram registradas.

Portanto, embora *Z. indianus* continue sendo a espécie mais abundante e dominante, *Z. tuberculatus* está presente em níveis consideráveis nas cinco localidades avaliadas neste estudo, podendo representar um potencial risco fitossanitário. A variação na dominância entre os municípios indica que a composição das espécies e a estrutura da comunidade de drosofilídeos são fortemente influenciadas por fatores locais e reforça a importância de análises faunísticas como ferramentas para o planejamento de estratégias de monitoramento e controle regionalizado, indicando a necessidade de maior atenção em áreas com maior diversidade e equilíbrio, como Remígio, e de medidas mais focadas no controle de *Z. indianus* nas demais localidades.

O estudo ainda reforça a importância de considerar tanto os fatores bióticos quanto abióticos na dinâmica populacional das espécies de *Zaprionus* spp. A análise detalhada da abundância e distribuição das espécies nos diferentes estratos com diferentes atrativos alimentares forneceu uma compreensão mais profunda dos comportamentos reprodutivos e ecológicos de *Z. indianus* e *Z. tuberculatus*. A integração dos métodos de coleta com frutos e armadilhas revelou-se eficiente para compreender a ecologia dessas espécies, destacando a importância de monitoramentos contínuos e regionais. Estudos como o de Renkema *et al* (2018)

reforçam a ideia de que uma abordagem integrada pode maximizar o diagnóstico populacional de drosófilídeos em sistemas frutícolas. Esses achados fornecem uma base sólida para o desenvolvimento de estratégias de manejo mais específicas, adaptadas às particularidades de cada município, e indicam a necessidade de novas investigações para aprimorar o controle integrado de *Zaprionus* spp.

Essas informações são essenciais para o desenvolvimento de estratégias preventivas e de controle populacional, especialmente na mesorregião do Agreste Paraibano, onde tais espécies podem representar riscos significativos à fruticultura. Portanto, a presente pesquisa contribui diretamente para esse cenário, elucidando aspectos ecológicos importantes relacionados ao uso diferenciado de recursos, estratos de captura e eficácia relativa de diferentes atrativos e métodos de amostragem em condições locais.

2.7 CONCLUSÕES

A preferência de *Z. tuberculatus* por suco de goiaba e a flexibilidade alimentar de *Z. indianus* confirmam que o suco de goiaba atrai mais *Z. tuberculatus* (hipótese i).

No estrato da planta, as abundâncias de ambas as espécies são semelhantes (hipótese ii), mas no solo, *Z. indianus* é mais abundante que *Z. tuberculatus* (hipótese ii).

A combinação de armadilhas e frutos como métodos de coleta demonstra que as armadilhas são mais eficazes para monitoramento contínuo, corroborando a hipótese iii.

Há variação nos índices de diversidade entre os municípios e a goiaba foi identificada como o hospedeiro preferido por ambas as espécies (hipótese iv).

A análise de abundância confirma que *Z. indianus* é dominante em todas as localidades, validando a hipótese de que essa espécie é mais frequente em todos os municípios (hipótese v). Em contraste, *Z. tuberculatus* é menos abundante e teve distribuição mais restrita.

Os índices de infestação confirmam que *Zaprionus* spp. varia de acordo com a localização geográfica, sendo mais elevados em municípios com maior número de frutos disponíveis.

REFERÊNCIAS

- ALBA, A. S. M.; RAIMUNDA, N. S. L.; ALMERINDA, A. R. A.; KENESON, K. G. M. Diversity and infestation of fruit flies (Diptera: Tephritidae) in guava (*Psidium guajava* L.). **Revista Africana de Pesquisa Agrícola**, v. 12, n. 24, p. 2087-2092, 2017.
- ARAUJO, E. L.; ZUCCHI, R. A. Moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) em goiaba (*Psidium guajava* L.), em Mossoró, RN. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 70, n. 1, p. 73-77, 2003.
- BINYAMEEN, M.; HAMID, A.; AFZAL, I.; SAJJAD, M.; AZEEM, M.; ZAKA, S. M.; SARWAR, Z. M.; SHAD, S. A.; BAKER, T. C.; SCHLYTER, F. Role of fruit volatiles of different guava varieties in attraction and oviposition behaviors of peach fruit fly, *Bactrocera zonata* Saunders. **Interações Artrópode-Planta**, v. 15, n. 1, p. 95-106, 2021.
- BROOKS, M. E.; KRISTENSEN, K.; VAN BENTHEM, K. J.; MAGNUSSON, A.; BERG, C. W.; NIELSEN, A.; SKAUG, H.J.; MACHLER, M.; BOLKER, B. M. **glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling**. The R Journal, v. 9, n. 2, p. 378-400, 2017. Disponível em: <https://journal.r-project.org/archive/2017/RJ-2017-066/index.html>. Acesso em: 25 abr. 2025.
- BROWER, J. E.; ZAR, J. H. Field and laboratory methods for general ecology. Dubuque, Iowa, USA: W. C. **Brown Publishers**, p. 226, 1984.
- CASTRO PORTILLA, N. E. **A acerola (*Malpighia puniceifolia* L., 1972) como hospedeiro de moscas-das-frutas (Diptera:Tephritidae) no Recôncavo da Bahia**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, 2002.
- CAVALCANTI, F. A. G. S.; RIBEIRO, L. B.; MARINS, G.; TONELLI, G. S. S. S.; BAO, S. N.; YASSIN, A.; TIDON, R. Geographic Expansion of an Invasive Fly: First Record of *Zaprionus tuberculatus* (Diptera: Drosophilidae) in the Americas. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 114, n. 5, p. 571–576, 2022.
- DA MATA, D. A.; SILVA, T. B.; SILVA, F. G.; SILVA, G. F.; LIMA, A. D. C.; PEREIRA, F. M.; PAIVA, J. H. S.; MACENA, R. A.; OLIVEIRA, V. S.; PORCINO, M. M.; SILVA, J. R. S.; CUNHA, A. L.; MARACAJA, P. B.; MEDEIROS, A. C.; MONTEIRO, R. E. P. Infestation of *Zaprionus tuberculatus* in guava crops: effects on productivity and sustainable control strategies. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 15, n. 10, p. e4398, 2024.
- DE TONI, D. C.; GOTTSCHALK, M. S.; CORDEIRO, J.; HOFFMANN, P. R. P.; VALENTE, V. L. S. Study of the Drosophilidae (Diptera) communities on Atlantic Forest islands of Santa Catarina state, Brazil. **Neotropical Entomology**, v. 36, n. 3, p. 356–375, 2007.
- GARCIA, F. R. M. Base para o manejo de *Drosophila suzukii* em toda a área na América Latina. In: Manejo de *Drosophila suzukii*, Nova York. **Springer International Publishing**, 2020b. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-62692-1_5. Acesso em: 23 jan. 2025.

HARTIG, F. **DHARMA: Residual diagnostics for hierarchical (multi-level/mixed) regression models**. R package version 0.4.7, 2024. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/DHARMA/index.html>. Acesso em: 25 abr. 2025.

HILL, M. O. Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. **Ecology**, v. 54, n. 2, p. 427-432, 1973.

HOFFMANN, A. A. Physiological climatic limits in *Drosophila*: patterns and implications. **Journal of Experimental Biology**, v. 213, n. 6, p. 870–880, 2010.

JOBIM, K.; KASTER, P. L.; ROSA, B. R.; TIDON, R.; GARCIA, F. R. M. Expansion of the area of occurrence of *Zaprionus tuberculatus* (Diptera: Drosophilidae) in the Americas and registration of new host plants. **Brazilian Journal of Biology**. V. 83, p. E273916, 2023.

KÖPPEN, W. **Das geographische System der Klimate**. In: **Handbuch der Klimatologie**. Gebrüder Borntraeger, Berlin, v. 1, n. 1, p. 1-44, 1936.

KREBS, C. J. **Ecologia: A Análise Experimental de Distribuição e Abundância**. Benjmin Cumming, Nova York, 2001.

LEÃO, B. F. D.; TIDON, R. Newly invading species exploiting native host-plants: the case of the African *Zaprionus indianus* (Gupta) in the Brazilian Cerrado (Diptera, Drosophilidae). **Annales de la Société Entomologique de France**, v. 40, n. 3-4, p. 285-290, 2004.

LENTH, R. V. **Emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means**. R package version 1.9.0, 2024. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/emmeans/index.html>. Acesso em: 25 abr. 2025.

MAGURRAN, A. E. **Ecological diversity and its measurements**. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1988.

MAJEED, D. M.; MAJEED, A.; MIR, S. J.; KHAN, S. A.; JAMALI, M. M. Effect of temperature, humidity and rainfall on the population of *Bactrocera* spp. In mango orchards. **Entomology and Zoology Journal**, v. 12, n. 1, p. 15–22, 2024.

MALAVASI, A.; ZUCCHI, R. A. **Moscas-das-frutas de importância econômica no Brasil: conhecimento básico e aplicado**. Holos, Ribeirão Preto, 2000.

MARSARO JÚNIOR, A.L.; NASCIMENTO, D.B.; RONCHI-TELES, B.; ADAIME, R. Faunistic analysis of the species of *Anastrepha Schiner* (Diptera: Tephritidae) in three municipalities of the state of Roraima, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, n. 4, p. 813-819, 2012.

MATAVELLI, C.; CARVALHO, M. J.; MARTINS, N. E.; MIRTH, C.K. Differences in larval nutritional requirements and female oviposition preference reflect the order of fruit colonization of *Zaprionus indianus* and *Drosophila simulans*. **Journal of Insect Physiology**, v. 82, n. 1, p. 66-74, 2015.

MOMEN, M.; HOSSAIN, M. A.; SEHELI, K.; HOSSAIN, M. F.; BARI, M. A. Population dynamics of fruit flies (Diptera: Tephritidae) in relation to environmental variables, with implications for pest management. **Scientific Reports**, v. 15, n. 3725, 2025.

PROKOPY, R. J.; ROITBERG, B. D. Foraging behavior of true fruit flies. **American Scientist**, v. 72, n. 1, p. 41–49, 1984.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2025. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 25 abr. 2025.

RAKES, L. M.; DELAMONT, M.; COLE, C.; YATES, J. A.; BLEVINS, L. J.; HASSAN, F. N.; BERGLAND, A. O.; ERICKSON, P. A. A small survey of introduced *Zaprionus indianus* (Diptera: Drosophilidae) in orchards of the eastern United States. **Journal of Insect Science**, v. 23, n. 5, p. 21, 2023.

RAVIKUMAR, P.; VIRAKTAMATH, C. A. Attraction of female fruit flies to different protein food baits in guava and mango orchards. **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 27, n. 3, p. 103–107, 2007.

RENKEMA, J. M.; IGLESIAS, L. E.; BONNEAU, P.; LIBURD, O. E. Trapping system comparisons for and factors affecting populations of *Drosophila suzukii* and *Zaprionus indianus* in winter-grown strawberry. **Pest Management Science**, v. 74, n. 9, p. 2076–2088, 2018.

RIOS, J. O.; COSTA, S. C.; GALEGO, L. G. C. Demografia e polimorfismos esterásicos em populações brasileiras de *Zaprionus indianus* (Diptera: Drosophilidae) oriundas de localidades do Cerrado brasileiro. **Evidência: Biociências, saúde e inovação**, v. 22, n. 2, p. 95–114, 2022.

SALAZAR-MENDOZA, P.; PERALTA-ARAGÓN, I.; ROMERO-RIVAS, L.; SALAMANCA, J.; RODRÍGUEZ-SAONA, C. The abundance and diversity of fruit flies and their parasitoids change with elevation in guava orchards in a tropical Andean forest of Peru, independent of seasonality. **PLOS ONE**, v. 16, n. 4, p. e0250731, 2021.

SANTOS, J. P.; MENEZES-NETTO, A. C.; ANASILIEIRO, A. A.; WERNER, S. S.; LINS JUNIOR, J. C. Infestação de moscas-das-frutas (*Anastrepha* spp.) e sua relação com compostos fenólicos de frutos de Myrtaceae nativas. **Agropecuária Catarinense**, v. 35, n. 1, p. 43–48, 2022.

SILVA, N. M.; FANTINEL, C. C.; VALENTE, V. L. S.; VALIATI, V. H. Population dynamics of the invasive species *Zaprionus indianus* (Gupta) (Diptera: Drosophilidae) in communities of drosophilids of Porto Alegre City, Southern of Brazil. **Neotropical Entomology**, v. 34, n. 3, p. 363–374, 2005.

SILVEIRA NETO, S.; NAKANO, O.; BARBIN, D.; VILA NOVA, N. A. **Manual de ecologia dos insetos**. Agronômica Ceres, São Paulo, 1976.

TAN, K. H.; NISHIDA, R. Methyl eugenol: Its occurrence, distribution, and role in nature, especially in relation to insect behavior and pollination. **Journal of Insect Science**, v. 12, n. 56, p. 2–19, 2012.

TAIT, G.; PARK, K.; NIERI, R.; CRAVA, M. C.; MERMER, S.; CLAPPA, E.; BOYER, G.; DALTON, D. T.; CARLIN, S.; BREWER, L.; WALTON, V. M.; ANFORA, G.; ROSSI-STACCONI, M. V. Reproductive site selection: Evidence of an oviposition cue in a highly adaptive dipteran, *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). **Environmental Entomology**, v. 49, n. 2, p. 355–363, 2020.

TIDON, R.; LEITE, D. F.; LEÃO, B. F. D. Impact of the 36esserves36a36 of *Zaprionus* (Diptera, Drosophilidae) in different ecosystems of the Neotropical Region: 2 years after the invasion. **Biological Conservation**, v. 112, p. 299–305, 2003.

TIMMEREN, S. V.; DIEPENBROCK, L. M.; BERTONE, M. A.; BURRACK, H. J.; ISAACS, R. A Filter Method for Improved Monitoring of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) Larvae in Fruit. **Journal of Integrated Pest Management**, v. 8, n. 1, 2017.

TORRES, J. R.; MADI-RAVAZZI, L. M. Seasonal variation in natural populations of *Drosophila* spp. (Diptera) in two woodlands in the State of São Paulo, Brazil. **Iheringia, Série Zoologia**, v. 96, n. 4, p. 437–444, 2006.

URAMOTO, K.; WALDER, J. M. M.; ZUCCHI, R. A. Análise quantitativa e distribuição de populações de espécies de *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae) no Campus Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP. **Neotropical Entomology**, v. 34, n. 1, p. 33–39, 2005.

USDA. **Fruit fly detection guidelines**. United States Department of Agriculture, 2024. Disponível em: <https://www.aphis.usda.gov/sites/default/files/fruit-fly-detection-guidelines>. Acesso em: 13 ago. 2025.

VAN DER LINDE, K.; STECK, G. J.; HIBBARD, K.; BIRDSLEY, J. S.; ALONSO, L. M.; HOULE, D. First records of *Zaprionus indianus* (Diptera: Drosophilidae), a pest species on 36esserves fruits from Panama and the United States of America. **Florida Entomologist**, n. 89, n. 3, p. 402–404, 2006.

VIANA, J. P. C.; RIBEIRO, L. B.; CAVALCANTI, F. A. G. S.; TIDON, R. *Zaprionus tuberculatus* (Diptera, Drosophilidae): a 36esserves36a species that 36esserves attention. **Journal of Applied Entomology**, v. 1, n. 00, p. 1–7, 2024.

WICKHAM, H. **ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**. New York: Springer-Verlag, 2016. Disponível em: <https://ggplot2.tidyverse.org>. Acesso em: 25 abr. 2025.

ZRIKI, G.; BELOIS, R.; FOURNIER, C.; TERGOAT-BERTRAND, L.; POUPART, P. Y.; BARDEL, A.; GARD, B.; RODE, N. O. A fast and reliable larval sampling method for improving the monitoring of fruit flies in soft and stone fruits. **Journal of Economic Entomology**, v. 117, n. 2, p. 578–584, 2024.

3 CAPÍTULO II – FLUTUAÇÃO POPULACIONAL DE *Zaprionus indianus* E *Zaprionus tuberculatus* (DIPTERA: DROSOPHILIDAE) EM POMARES DOMÉSTICOS DA MESORREGIÃO DO AGRESTE PARAIBANO

3.1 RESUMO

As espécies *Zaprionus indianus* e *Zaprionus tuberculatus*, (Drosophilidae) têm ganhado destaque devido ao potencial de impacto na fruticultura e à associação com ambientes antropizados. Este estudo avaliou a flutuação populacional dessas espécies em pomares domésticos na mesorregião do Agreste Paraibano e investigou sua relação com variáveis climáticas, visando identificar períodos críticos para o manejo. A pesquisa foi realizada entre maio de 2024 e abril de 2025, em cinco municípios da região. Utilizaram-se armadilhas do modelo *McPhail* para capturar os insetos, utilizando como atrativos alimentares o suco de goiaba e a proteína hidrolisada. A análise dos dados foi conduzida por meio de Modelos Lineares Generalizados Mistos (MLGM) com distribuição binomial negativa, considerando as variáveis ambientais temperatura, umidade e precipitação. No total, foram registrados 1.116 indivíduos, com dominância de *Z. indianus* ao longo do período. Observou-se sazonalidade com picos concentrados em meses específicos e um “mínimo populacional” no final de 2024, coincidente com baixa precipitação e redução da umidade relativa. No MLGM para *Zaprionus* spp., a temperatura apresentou efeito positivo significativo sobre a abundância, enquanto a umidade exibiu tendência positiva sem significância estatística e a precipitação não foi significativa. As interações espécie $\times$ variável ambiental não foram significativas, indicando ausência de evidência estatística de respostas climáticas distintas entre *Z. indianus* e *Z. tuberculatus* no conjunto amostral. Esses resultados apontam que a flutuação de *Zaprionus* spp. na região é modulada principalmente por condições térmicas, com possível contribuição da umidade em escala local, enquanto a precipitação atua de forma predominantemente indireta via disponibilidade/condição do recurso. Recomenda-se intensificar o monitoramento e adotar medidas preventivas nos meses que concentraram picos, sobretudo na transição seco-úmido.

Palavras-chave: drosofilídeos; armadilha; monitoramento.

3.2 ABSTRACT

The species *Zaprionus indianus* and *Zaprionus tuberculatus* (Drosophilidae) have gained prominence due to their potential impact on fruit production and their association with anthropogenic environments. This study assessed the population fluctuation of these species in home orchards in the Agreste mesoregion of Paraíba and investigated their relationship with climatic variables, aiming to identify critical periods for management. The research was carried out between May 2024 and April 2025 in five municipalities in the region. McPhail traps were used to capture insects, with guava juice and hydrolyzed protein as food attractants. Data analysis was conducted using Generalized Linear Mixed Models (GLMMs) with a negative binomial distribution, considering the environmental variables temperature, humidity, and precipitation. In total, 1,116 individuals were recorded, with *Z. indianus* dominating throughout the study period. Seasonality was observed, with peaks concentrated in specific months and a “population minimum” at the end of 2024, coinciding with low precipitation and reduced relative humidity. In the GLMM for *Zaprionus* spp., temperature showed a significant positive effect on abundance, whereas humidity showed a positive trend without statistical significance and precipitation was not significant. Species $\times$ environmental-variable interactions were not significant, indicating no statistical evidence of distinct climatic responses between *Z. indianus* and *Z. tuberculatus* in the sampled dataset. These results suggest that the fluctuation of *Zaprionus* spp. in the region is primarily modulated by thermal conditions, with possible local-scale contributions from humidity, while precipitation acts predominantly indirectly through resource availability/condition. We recommend intensifying monitoring and adopting preventive measures in the months that concentrated peaks, especially during the dry–wet transition.

Keywords: drosophilids; trap; monitoring.

3.3 INTRODUÇÃO

As espécies *Zaprionus indianus* (Gupta, 1970) e *Zaprionus tuberculatus* (Malloch, 1932) (Drosophilidae) têm despertado crescente interesse no contexto da fruticultura em função do elevado potencial reprodutivo e da capacidade de alterar a composição de comunidades nativas (Pfeiffer *et al*, 2019). Originária da África, *Z. indianus* disseminou-se globalmente, associando-se a danos em culturas frutíferas e evidenciando alta plasticidade ecológica, inclusive sob condições ambientais adversas (Lavagnino, Fanara e Mensch, 2020). A recente detecção de *Z. tuberculatus* no Brasil amplia esse cenário de preocupação, uma vez que a espécie pode ocupar nichos semelhantes aos de *Z. indianus* e também de *Drosophila suzukii* (Matsumura, 1931) (Vieira *et al*, 2019; Amiresmaeili *et al*, 2019), ambas reconhecidas como pragas agrícolas de relevância.

A abundância de dípteros frugívoros varia ao longo do ano e pode ser fortemente influenciada por fatores abióticos, como temperatura, umidade relativa e precipitação, que afetam diretamente o desenvolvimento, a reprodução e o estabelecimento das populações (Markow e O'Grady, 2008). Em regiões sazonais do semiárido, estudos indicam que a precipitação pode atuar como componente importante do ciclo reprodutivo de espécies de Tephritidae e Drosophilidae, com maior atividade associada ao período chuvoso (Araujo *et al*, 2009). Além disso, a flexibilidade adaptativa e a associação com ambientes antropizados favorecem a dominância de espécies exóticas invasoras ao longo do tempo (Tidon, Leite e Leão, 2003; Gottschalk *et al*, 2007), o que torna essencial compreender a flutuação populacional e identificar períodos críticos de maior ocorrência.

Desta forma, compreender os padrões de flutuação populacional dessas espécies e os períodos de maior ocorrência é essencial para um manejo eficiente e sustentável. Essas informações permitem planejar estratégias de controle mais precisas, otimizando o uso de recursos e reduzindo impactos ambientais (Ronchi-Teles e Silva, 2005). Sabe-se que a flutuação populacional de *Z. indianus* e *Z. tuberculatus* pode influenciar diretamente a produtividade e a qualidade das colheitas, exigindo monitoramento constante e ações de controle oportunas.

Nesse sentido, o uso de armadilhas representa uma ferramenta eficaz para o monitoramento populacional, possibilitando a identificação de picos de infestação e sua correlação com variáveis climáticas (Azevedo *et al*, 2010). Além disso, permite detectar o momento em que a densidade populacional atinge o nível de controle, favorecendo a adoção de medidas mais assertivas (Paranhos, Lima e Gama, 2013).

Parte-se da hipótese de que variáveis climáticas, sobretudo temperatura e umidade relativa, modulam a flutuação populacional de *Zaprionus* spp. na mesorregião do Agreste Paraibano. Assim, o presente estudo busca responder: quais são os períodos críticos de maior abundância dessas espécies em pomares domésticos da mesorregião do Agreste Paraibano? Diante disso, o estudo teve como objetivo avaliar a flutuação populacional de *Zaprionus* spp. em pomares domésticos nessa região, correlacionando abundância das espécies com variáveis climáticas, afim de identificar os períodos de ocorrência e orientar estratégias adequadas de controle.

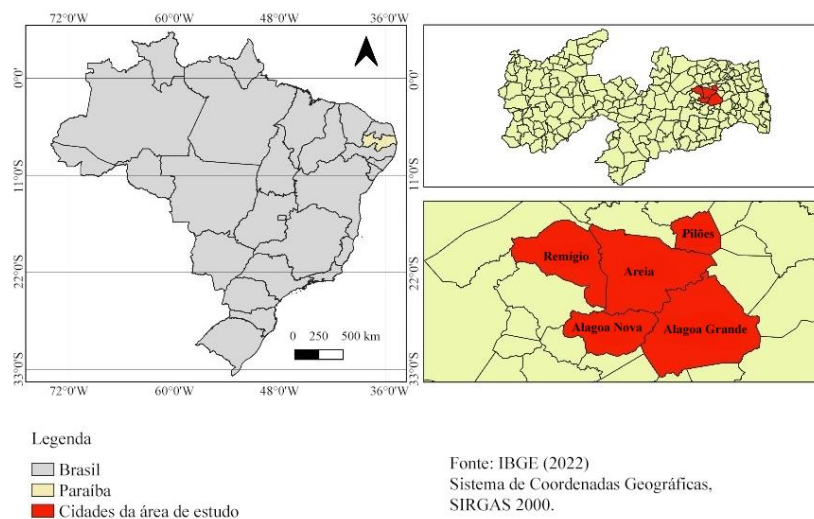
3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Período e locais de estudo

O estudo foi realizado de maio de 2024 a abril de 2025 em pomares domésticos localizados nos municípios de Areia (S 06° 57' 52.6" W 035° 42' 46.0"), Alagoa Grande (S 07° 00' 88.6" W 035° 58' 76.4"), Remígio (S 07° 00' 08.9" W 035° 47' 55.0"), Alagoa Nova (S 07° 05' 14.4" W 035° 74' 66.4") e Pilões (S 06° 54' 01.3" W 035° 39' 16.2"), situados na mesorregião do Agreste Paraibano (Figura 5).

Figura 5 – Área de estudo

Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A seleção dos pomares em cada município foi realizada considerando a diversidade de espécies frutíferas presentes, especialmente aquelas reconhecidas como hospedeiras potenciais de drosofilídeos. Entre as espécies cultivadas, destacaram-se goiaba (*Psidium guajava* L.), manga (*Mangifera indica* L.), acerola (*Malpighia emarginata* DC), mamão (*Carica papaya* L.)

e banana (*Musa* spp.), que garantiram a disponibilidade de diferentes substratos para oviposição e desenvolvimento larval ao longo do ano. Essa diversidade foi considerada fundamental para possibilitar uma avaliação mais representativa da ocorrência de *Zaprionus* spp. em pomares domésticos da região.

A distância entre os pomares não foi adotada como critério de seleção, uma vez que o objetivo do estudo foi contemplar municípios distintos dentro da mesorregião do Agreste Paraibano, abrangendo áreas com diferentes condições microclimáticas e composições de hospedeiros. No entanto, para assegurar maior transparência no delineamento amostral, ressalta-se que a distância mínima registrada entre dois pomares foi de aproximadamente 15km, enquanto a máxima foi de 32 km.

Esta região possui clima semiárido, com temperatura média anual variando entre 25°C e 28°C, e um padrão de chuvas concentrado de abril a agosto, com longos períodos secos no restante do ano. De acordo com mapeamentos de Köppen (1936) aplicado à Paraíba, no Agreste predominam áreas do tipo As, com ocorrência de setores BSh.

3.4.2 Coleta de dados

Foram instaladas 2 armadilhas do modelo *McPhail* em cada propriedade, totalizando 10 armadilhas, destinadas à captura de *Zaprionus* spp. Cada armadilha continha um tipo de atrativo alimentar: proteína hidrolisada a 5% (Biofruit®) ou suco de goiaba a 20%. As armadilhas foram posicionadas na altura média da copa das árvores, contendo 300 mL da solução atrativa e 3 gotas de formol em cada uma para preservação dos espécimes.

Dentro de cada pomar, as armadilhas foram distribuídas em pontos distintos, mantida uma distância mínima de aproximadamente 25 metros entre si, de modo a reduzir a possibilidade de pseudorreplacação. Procurou-se posicionar uma armadilha próxima à área central do pomar e outra em área de borda, assegurando a amostragem de micro-habitats distintos e a captura de maior heterogeneidade ambiental. As áreas dos pomares variaram entre aproximadamente 4 e 6 ha.

As armadilhas permaneceram abertas durante 15 dias por mês e nas vistorias mensais o conteúdo de cada armadilha foi coletado e foram repostos os atrativos. Os insetos capturados foram acondicionados em recipientes plásticos identificados (atrativo, município e mês), contendo álcool 70%, conforme protocolos estabelecidos pelo USDA (United States Department of Agriculture).

Após, os insetos foram encaminhados ao Laboratório de Invertebrados (LABIN), pertencente ao Departamento de Biociências localizado da Universidade Federal da Paraíba (DB/UFPB), *campus II*, onde foram feitas as triagens e identificadas em nível de espécie.

3.4.3 Identificação dos espécimes coletados

No LABIN, os adultos de *Zaprionus* spp. foram identificados quanto à espécie utilizando o modelo de chave dicotômica, levando como referência características taxonômicas como o tubérculo na margem médio-ventral do fêmur anterior e as listras abdominais (Van Der Linde, 2006). Após a identificação, os vouchers foram depositados em recipientes contendo álcool 70%, com a devida identificação do local de coleta, mês, espécie, sexo e tipo de atrativo utilizado (para os coletados em armadilhas). Esses espécimes foram armazenados no próprio laboratório, para assegurar a rastreabilidade do material identificado e permitir futuras verificações por outros pesquisadores.

3.4.4 Análise de dados

Os dados populacionais foram analisados em relação às variáveis climáticas: temperatura média, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica. As informações meteorológicas foram obtidas junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e à Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAPB).

Para investigar os efeitos das variáveis ambientais sobre a abundância de adultos de *Zaprionus* spp., foram ajustados Modelos Lineares Generalizados Mistos (MLGM) com distribuição binomial negativa utilizando o pacote *glmmTMB* (Brooks *et al*, 2017). A variável resposta foi a abundância de adultos por armadilha, enquanto as variáveis preditoras incluíram temperatura (°C), precipitação (mm) e umidade relativa do ar (%). Efeitos aleatórios de cidade e mês foram incluídos para controlar a dependência espacial e temporal. A significância das variáveis ambientais foi avaliada por seus coeficientes no modelo completo e pela comparação do ajuste do modelo binomial negativo ao modelo Poisson usando o critério de informação de Akaike (AIC). O modelo binomial negativo apresentou ajuste superior (AIC = 781,8) em relação ao modelo Poisson (AIC = 1521,5). Para quantificar a contribuição individual de cada variável ambiental, foram ajustados modelos reduzidos (excluindo uma variável por vez) e comparados os coeficientes de determinação marginal (R^2) obtidos com o pacote *performance*. O diagnóstico dos resíduos foi realizado com o pacote *DHARMa* (Hartig, 2024), verificando a adequação da distribuição, sobredispersão e inflação de zeros. A visualização dos resultados foi

realizada com o pacote *ggplot2* (Wickham, 2016). Todas as análises foram conduzidas no software RStudio, versão 4.4.2 (R Core Team, 2025).

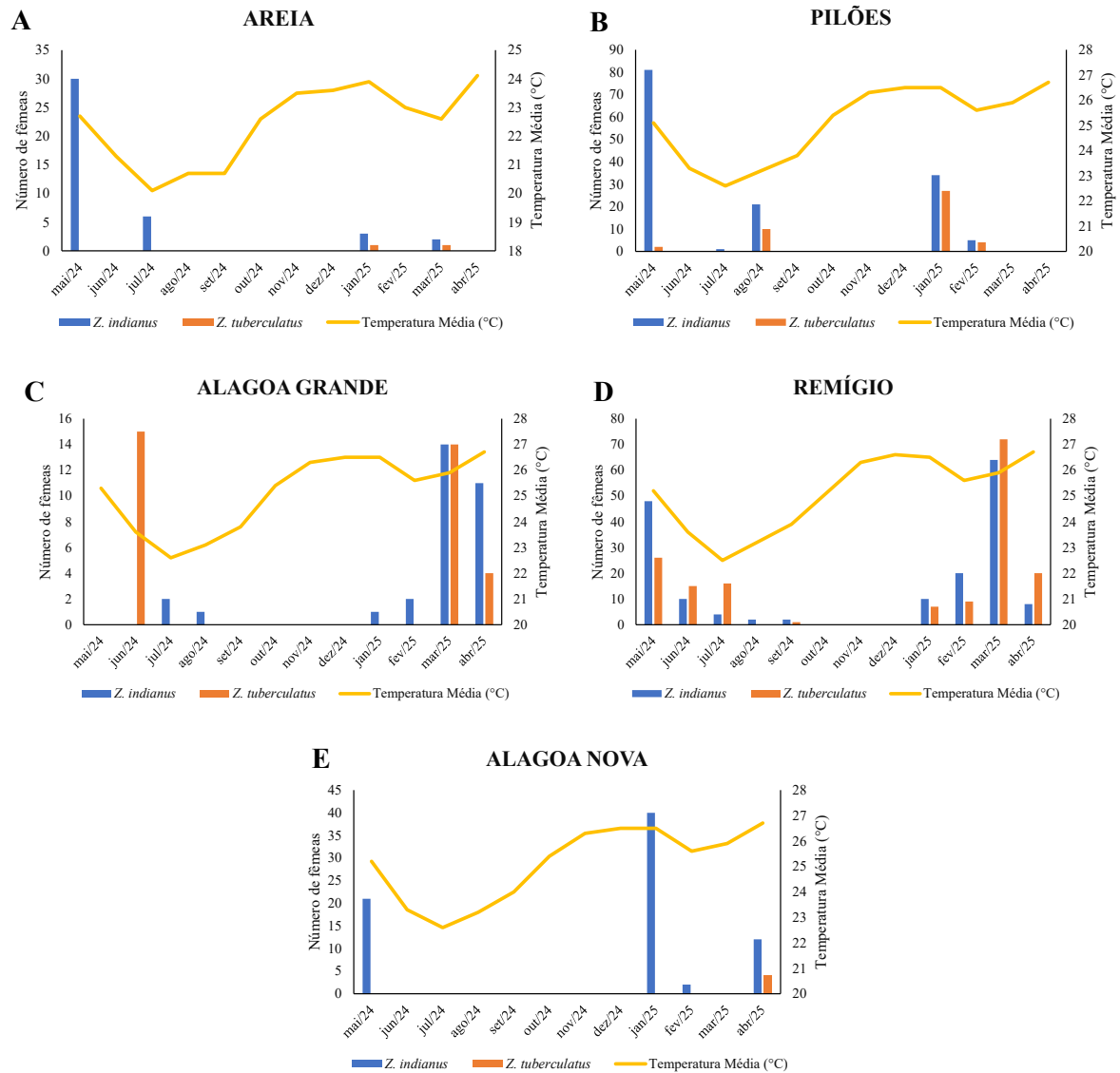
3.5 RESULTADOS

Durante o período de estudo, foram contabilizados 1.116 indivíduos de *Zaprionus* spp., sendo 742 de *Z. indianus* (455 fêmeas e 287 machos) e 374 de *Z. tuberculatus* (250 fêmeas e 124 machos). A distribuição por município indicou maior abundância em Remígio (524 indivíduos) e Pilões (275), seguidos por Alagoa Nova (121), Areia (113) e Alagoa Grande (83).

A flutuação populacional foi descrita com base nos dados de fêmeas, e as variáveis ambientais foram apresentadas separadamente por município (Figuras 6A–E; 7A–E; 8A–E). De forma geral, observou-se concentração de picos em meses específicos e redução populacional no final de 2024, padrão que coincidiu com condições ambientais menos favoráveis.

A temperatura média apresentou variação sazonal moderada e padrão semelhante entre os municípios, com valores mais baixos em junho–julho/2024 (20,1–22,6 °C) e elevação gradual a partir de agosto, com leve oscilação no início de 2025 e valores mais elevados ao final do período (Figuras 6A–E), atingindo 26,71 °C. Quanto à flutuação populacional, os maiores registros de fêmeas de *Z. indianus* ocorreram em maio/2024 (Areia e Pilões) e no início de 2025, especialmente em janeiro/2025 (Pilões e Alagoa Nova) e março/2025 (Alagoa Grande e Remígio). Para *Z. tuberculatus*, os maiores registros foram observados em junho/2024 (Alagoa Grande) e março/2025 (Remígio), além de aumento em janeiro/2025 em Pilões.

Figura 6 – Influência da temperatura média (°C) na flutuação populacional de *Zaprionus indianus* e *Zaprionus tuberculatus* nos municípios de Areia (A), Pilões (B), Alagoa Grande (C), Remígio (D) e Alagoa Nova (E), localizados na mesorregião do Agreste Paraibano, no período de maio de 2024 a abril de 2025

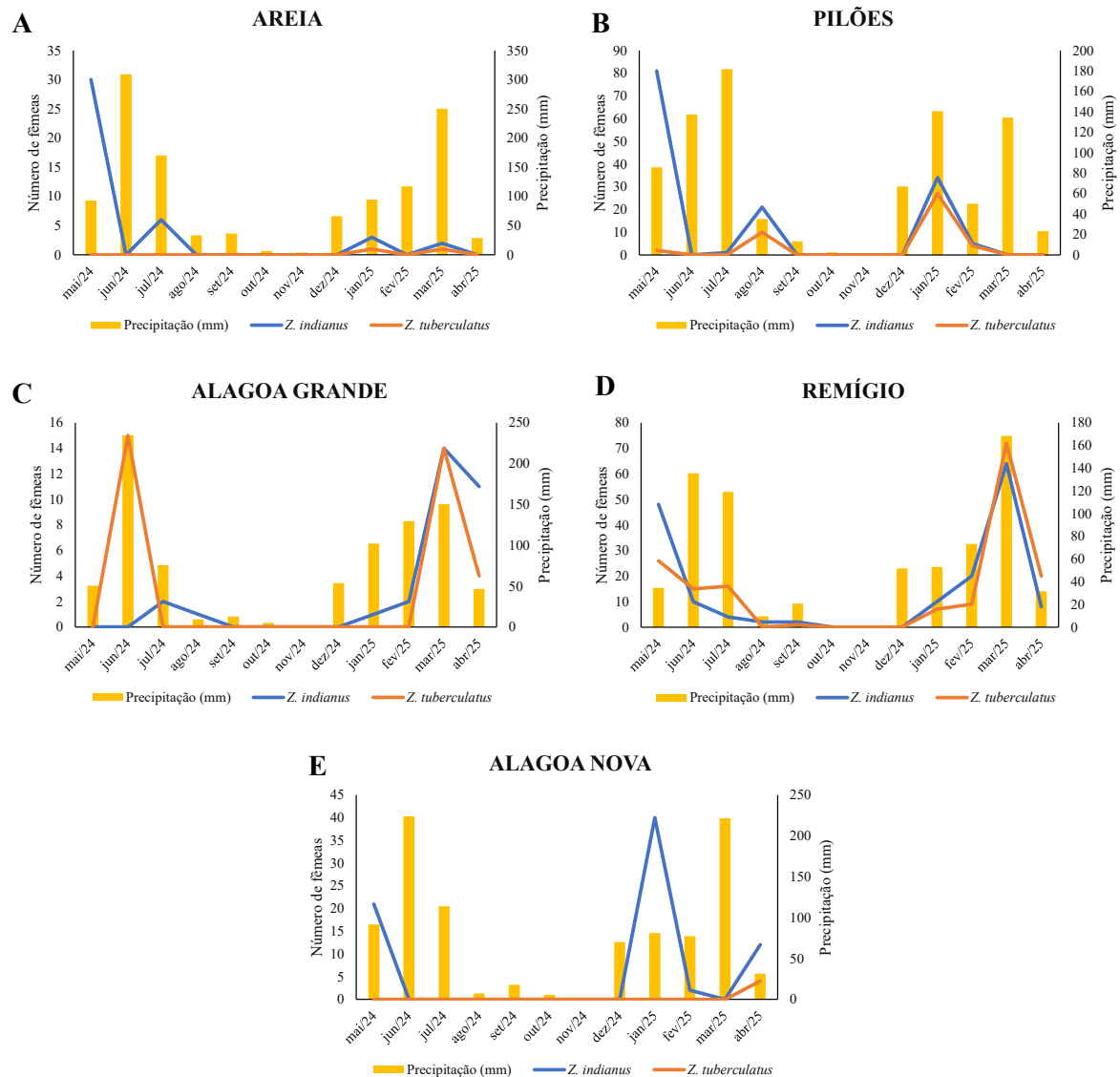


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A precipitação apresentou padrão sazonal semelhante entre os municípios, com maiores valores entre maio e julho/2024 (93 e 309,2mm, respectivamente), redução acentuada durante a estiagem de setembro a novembro/2024 (variando de 0 a 36,5mm) e retomada a partir de dezembro/2024, com aumento mais evidente no primeiro trimestre de 2025 (Figuras 7A–E). Os maiores registros de fêmeas de *Z. indianus* ocorreram em maio/2024 (Areia e Pilões) e no início de 2025, especialmente em janeiro/2025 (Pilões e Alagoa Nova) e março/2025 (Alagoa Grande

e Remígio). Para *Z. tuberculatus*, os maiores registros ocorreram em junho/2024 (Alagoa Grande) e março/2025 (Remígio), além de aumento em janeiro/2025 em Pilões.

Figura 7 – Influência da precipitação (mm) na flutuação populacional de *Zaprionus indianus* e *Zaprionus tuberculatus* nos municípios de Areia (A), Pilões (B), Alagoa Grande (C), Remígio (D) e Alagoa Nova (E), localizados na mesorregião do Agreste Paraibano, no período de maio de 2024 a abril de 2025

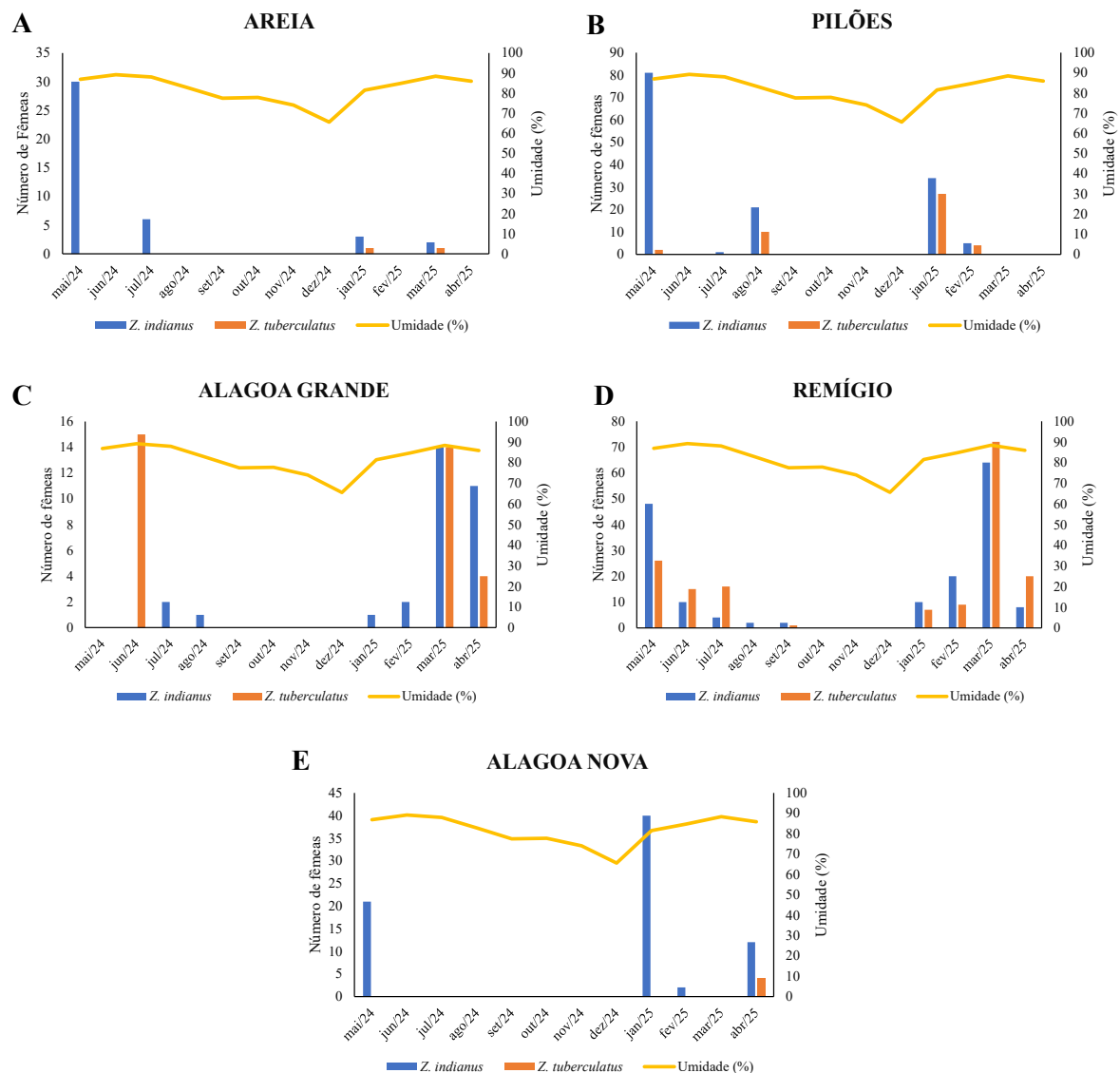


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A umidade relativa manteve-se elevada ao longo do período em todos os municípios, com redução mais evidente no final de 2024 nos meses de novembro e dezembro (74,05 e 65,6%, respectivamente) e recuperação a partir de janeiro/2025 (81,5%), permanecendo em patamares altos até abril/2025 (Figuras 8A–E). Em relação à flutuação populacional, os maiores registros de fêmeas de *Z. indianus* ocorreram em maio/2024 (Areia e Pilões) e no início de

2025, especialmente em janeiro/2025 (Pilões e Alagoa Nova) e março/2025 (Alagoa Grande e Remígio). Para *Z. tuberculatus*, os maiores registros foram observados em junho/2024 (Alagoa Grande) e março/2025 (Remígio), além de aumento em janeiro/2025 em Pilões.

Figura 8 – Influência da umidade (%) na flutuação populacional de *Zaprionus indianus* e *Zaprionus tuberculatus* nos municípios de Areia (A), Pilões (B), Alagoa Grande (C), Remígio (D) e Alagoa Nova (E), localizados na mesorregião do Agreste Paraibano, no período de maio de 2024 a abril de 2025

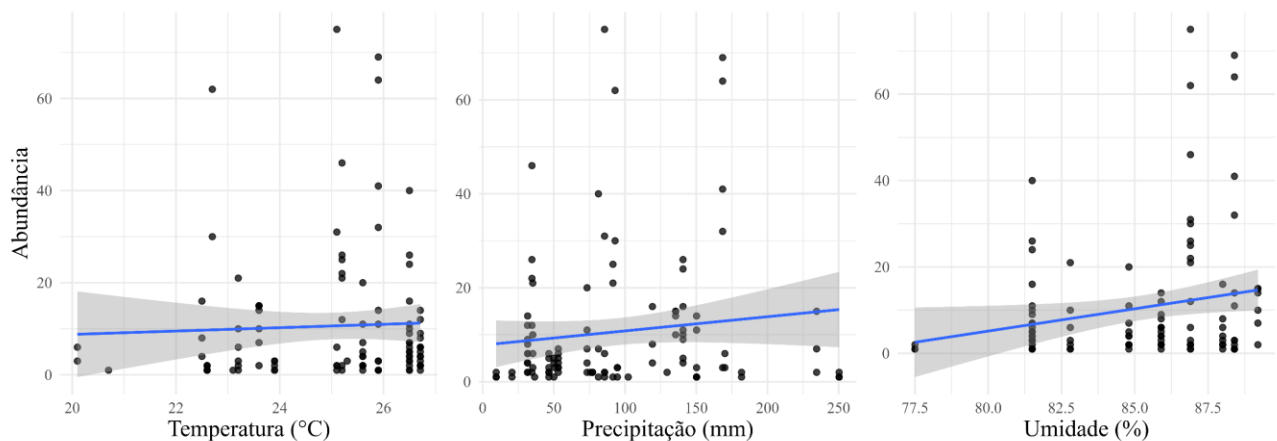


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

No intervalo de novembro–dezembro/2024, observou-se de forma consistente a ocorrência simultânea de baixos acumulados de precipitação (Figuras 6A–E) e redução da umidade relativa (Figuras 8A–E). Nesse mesmo período, os registros de fêmeas de *Z. indianus* e *Z. tuberculatus* foram reduzidos ou ausentes na maioria dos municípios.

A análise dos efeitos ambientais sobre a abundância de *Zaprionus* spp. por armadilha indicou que, no nível do gênero (Figura 9), apenas a temperatura apresentou efeito estatisticamente significativo ($\beta = 0,22$; $p = 0,035$). A umidade relativa apresentou tendência positiva, porém sem significância estatística ($\beta = 0,12$; $p = 0,068$), enquanto a precipitação não apresentou efeito significativo ($\beta = 0,005$; $p = 0,123$). Ao testar respostas específicas por espécie, as interações espécie $\times$ variável ambiental não foram significativas para temperatura ($\beta = 0,05$; $p = 0,728$), precipitação ($\beta = 0,004$; $p = 0,262$) e umidade ($\beta = 0,03$; $p = 0,674$), indicando ausência de diferenças estatísticas entre *Z. indianus* e *Z. tuberculatus* quanto à resposta às variações de temperatura, precipitação e umidade no conjunto amostral analisado.

Figura 9 – Relação entre variáveis climáticas e a abundância de *Zaprionus* spp. em cinco cidades da mesorregião do Agreste Paraibano, no período de maio de 2024 a abril de 2025



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

3.6 DISCUSSÃO

A sazonalidade observada para *Z. indianus* e *Z. tuberculatus* entre maio/2024 e abril/2025 é compatível com a ecologia de drosófilídeos frugívoros, cuja abundância resulta da interação entre condições ambientais e disponibilidade de substratos fermentescíveis que sustentam oviposição e desenvolvimento larval (Markow e O’Grady, 2008). Em pomares, esse vínculo com o “recurso efetivo” tende a ser heterogêneo, porque a oferta real de frutos em decomposição varia com fenologia/maturação, intensidade de colheita, remoção de frutos caídos e outras práticas de sanitização, além do macroclima observado em escala mensal (Deconninck *et al*, 2024; Tait *et al*, 2021).

A temperatura média variou moderadamente (20,1–26,71 °C) e de forma relativamente homogênea entre os municípios (Figuras 6A–E). Dentro dessa faixa, pequenas elevações

térmicas podem aumentar taxas de desenvolvimento, sobrevivência e reprodução em insetos e, por isso, seu efeito tende a ser mais “direto” e estatisticamente detectável do que variáveis com ação predominantemente indireta (Buckley *et al*, 2017). De fato, o MLGM indicou efeito positivo significativo da temperatura sobre a abundância de *Zaprionus* spp. por armadilha ($\beta = 0,22$; $p = 0,035$; Figura 9), sugerindo que, quando o recurso está disponível, condições térmicas mais altas dentro do intervalo observado podem favorecer a atividade e/ou a dinâmica populacional. Em drosófilas, variações térmicas relativamente pequenas podem repercutir em fecundidade e ritmo reprodutivo, alterando o potencial de crescimento populacional. (Hoffmann, 2010). Ainda assim, a queda populacional no fim de 2024 ocorreu quando a temperatura não estava no mínimo anual, reforçando que a temperatura deve ser interpretada como fator de suporte, cujo efeito depende do contexto hídrico e do microambiente do substrato (Deconninck, *et al*, 2024). Por fim, a ausência de interação espécie $\times$ temperatura no MLGM (Figura 9) indica que, no conjunto amostral analisado, não houve evidência estatística de respostas térmicas distintas entre *Z. indianus* e *Z. tuberculatus*.

A precipitação exibiu padrão sazonal relativamente semelhante entre municípios, com maiores acumulados entre maio–julho/2024, mínimos entre setembro–novembro/2024 e retomada no primeiro trimestre de 2025 (Figuras 7A–E). Mesmo quando o acumulado mensal não explica diretamente a abundância, a chuva pode atuar indiretamente ao favorecer a manutenção/umidificação de substratos orgânicos (frutos caídos e material em decomposição), ampliando a disponibilidade do recurso alimentar e reprodutivo e sustentando a reprodução após eventos úmidos, ainda que o sincronismo não seja perfeito entre localidades (Grimaldi e Richenbacher, 2023). Consistente com essa leitura, o MLGM não detectou efeito significativo da precipitação sobre a abundância (Figura 9), sugerindo que o acumulado mensal pode não capturar adequadamente o microambiente relevante.

Um padrão particularmente consistente foi o “mínimo populacional” em novembro–dezembro/2024, quando a umidade relativa atingiu os menores valores da série (74,05% em novembro e 65,6% em dezembro; Figuras 8A–E) e os registros de fêmeas foram reduzidos ou ausentes na maioria dos municípios. Esse comportamento é biologicamente plausível porque drosófilas podem ser limitadas por dessecação: a redução da umidade ambiental tende a restringir desempenho e persistência, especialmente quando o substrato também perde umidade (Wang, Ferveur e Moussian, 2021).

Para *Z. indianus*, há evidências experimentais de plasticidade sazonal e sensibilidade ao “déficit de saturação”, com efeitos sobre resistência à dessecação e balanço hídrico, reforçando que regimes de menor umidade podem atuar como filtro ambiental relevante para o desempenho

e a persistência populacional (Kalra e Parkash, 2016). Além disso, a umidade atua não apenas via fisiologia do adulto, mas também via microhabitat larval: o desenvolvimento imaturo depende de substratos fermentescíveis com umidade suficiente, e a desidratação do recurso pode comprometer o sucesso de desenvolvimento (Hodge, 2001).

Do ponto de vista estatístico, o MLGM apontou tendência positiva da umidade, porém sem significância ($\beta = 0,12$; $p = 0,068$; Figura 9), o que é compatível com a ideia de que o efeito existe, mas pode ser difícil de detectar quando a umidade é representada como média mensal em estação meteorológica, uma medida que nem sempre reflete o microclima real do pomar e do substrato.

No MLGM, não foram detectadas interações significativas entre espécie e nenhuma das variáveis ambientais avaliadas, indicando ausência de evidência estatística de respostas distintas entre *Z. indianus* e *Z. tuberculatus* no conjunto amostral. Esse resultado pode refletir semelhança real de resposta, mas também limitações de poder estatístico associadas ao desbalanceamento e ao menor número de registros de *Z. tuberculatus*, além da representação das variáveis climáticas em escala mensal por estação meteorológica, que pode amortecer o sinal do microclima do pomar.

Em conjunto, os resultados indicam que temperatura e umidade atuam de forma integrada na modulação do desempenho e da persistência de *Zaprionus* spp., ao passo que a precipitação tende a exercer influência predominantemente indireta, ao afetar a disponibilidade e a condição do recurso fermentescível (Deconninck *et al*, 2024). Do ponto de vista ecológico e aplicado, *Z. indianus* foi dominante e mais recorrente temporalmente, consistente com seu sucesso como invasora em ambientes antropizados (Jobim *et al*, 2025), enquanto *Z. tuberculatus* apresentou menor abundância, porém ocorrência recorrente, compatível com um processo de colonização/estabelecimento em consolidação na Paraíba (Ribeiro *et al*, 2024). Assim, maio/2024 e março/2025, que concentraram picos em municípios como Remígio e Pilões, representam janelas críticas para intensificação do monitoramento e adoção de medidas preventivas, sobretudo na transição seco-úmido, quando o recurso fermentescível tende a aumentar e as condições microambientais se tornam mais favoráveis.

3.7 CONCLUSÕES

Os municípios de Remígio e Pilões apresentam as maiores abundâncias de *Z. indianus* e *Z. tuberculatus*.

A umidade relativa do ar apresenta tendência positiva, porém sem significância estatística sobre a abundância de *Z. indianus* e *Z. tuberculatus*. A temperatura média apresenta

efeito significativo, embora de baixa magnitude. A precipitação não mostra associação significativa, sugerindo influência limitada dentro da faixa registrada no estudo.

As análises individuais por espécie não revelam interações significativas com as variáveis ambientais, o que impede concluir diferenças específicas de resposta entre *Z. indianus* e *Z. tuberculatus*. Esse resultado pode estar relacionado a limitações no tamanho amostral por espécie. A análise em nível de gênero apresenta maior robustez e melhor desempenho estatístico.

Os resultados corroboram parcialmente a hipótese de que fatores climáticos influenciam a abundância de *Zaprionus* spp. no Agreste Paraibano, com destaque para a temperatura como principal variável associada.

Recomenda-se intensificar o monitoramento populacional e adotar medidas preventivas de controle antes dos picos sazonais, especialmente na transição entre a estação seca e o início da chuvosa, quando as condições ambientais favorecem o crescimento populacional dessas espécies invasoras.

REFERÊNCIAS

- AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Dados meteorológicos**. João Pessoa: AESA, 2025. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/chuvas/>. Acesso em: 14 nov. 2024.
- AMIRESMAEILI, N.; JUCKER, C.; SAVOLDELLI, S.; LUPI, D. Can exotic drosophilids share the same niche of the invasive *Drosophila suzukii*? **Journal of Entomological and Acarological Research**, v. 51, n. 1, p. 8-15, 2019.
- ARAÚJO, E. L.; CUNHA, A. A.; SILVA, R. K. B.; NUNES, A. M. M.; GUIMARÃES, J. A. Espécies de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) na região do Baixo Jaguaribe, estado do Ceará. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 76, n. 4, 2009.
- AZEVEDO, F. R.; GUIMARÃES, J. A.; SIMPLICIO, A. A. F.; SANTOS, H. R. Análise faunística e flutuação populacional de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) em pomares comerciais de goiaba na Região do Cariri Cearense. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 77, n. 1, p. 33-41, 2010.
- BROOKS, M. E.; KRISTENSEN, K.; VAN BENTHEM, K. J.; MAGNUSSON, A.; BERG, C. W.; NIELSEN, A.; SKAUG, H.J.; MACHLER, M.; BOLKER, B. M. glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling. **The R Journal**, v. 9, n. 2, p. 378-400, 2017.
- BUCKLEY, L. B.; ARAKAKI, A. J.; CANNISTRA, A. F.; KHAROUBA, H. M.; KINGSOLVER, J. G. Insect development, thermal plasticity and fitness implications in changing, seasonal environments. **Integrative and Comparative Biology**, v. 57, n. 5, p. 988-988, 2017.
- DECONNINCK, G.; BOULEMBERT, M.; ESLIN, P.; COUTY, A.; DUBOIS, F.; GALLET-MORON, E.; PINCEBOURDE, S. P.; CHABRERIE, O. Fallen fruit: A backup resource during winter shaping fruit fly communities. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 26, n. 1, p. 1-8, 2024.
- GOTTSCHALK, M. S.; TONI, D. C.; VALENTE, V. L. S.; HOFFMANN, P. R. P. Changes in brazilian *Drosophilidae* (Diptera) assemblages across an urbanisation gradient. **Neotropical Entomology**, v. 36, n. 6, p. 848-862, 2007.
- GRIMALDI, D. A.; RICHENBACHER, I. **Exceptional species diversity of *Drosophilidae* (Diptera) in a Neotropical forest**. American museum of natural history, n. 3997, p. 1–28, 2023.
- HARTIG, F. **DHARMA: Residual diagnostics for hierarchical (multi-level/mixed) regression models**. R package version 0.4.7, 2024. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/DHARMA/index.html>. Acesso em: 25 abr. 2025.
- HODGE, S. The effect of pH and water content of natural resources on the development of *Drosophila melanogaster* larvae. **Drosophila Information Service**, v. 84, p. 38-43, 2001.

HOFFMANN, A. A. Physiological climatic limits in *Drosophila*: patterns and implications. **Journal of Experimental Biology**, v. 213, n. 6, p. 870–880, 2010.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Gráficos diários de estações**. Brasília: INMET, 2025. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/Graficos/A001>. Acesso em: 14 nov. 2024.

JOBIM, K.; ROSA, B. R.; KASTER, P. L.; OVRUSKI, S. M.; GARCIA, F. R. M. Interactions of the invasive fruit flies *Drosophila suzukii*, *Zaprionus indianus*, *Zaprionus tuberculatus* and *Ceratitis capitata* with their hosts in the Brazilian Pampa Biome. **Insects**, v. 16, n. 12, p. 1285, 2025.

KALRA, B.; PARKASH, R. Effects of saturation deficit on desiccation resistance and water balance in seasonal populations of the tropical drosophilid *Zaprionus indianus*. **Journal of Experimental Biology**, v. 15, n. 219, p. 3237–3245, 2016.

KÖPPEN, W. **Das geographische System der Klimate**. In: Handbuch der Klimatologie. Gebrüder Borntraeger, Berlin, v. 1, n. 1, 1936.

LAVAGNINO, N. J.; FANARA, J. J.; MENSCH, J. Comparison of overwintering survival and fertility of *Zaprionus indianus* (Diptera: Drosophilidae) flies from native and invaded ranges. **Journal of Thermal Biology**, v. 87, p. 102470, 2020.

MARKOW, T. A.; O'GRADY, P. Reproductive ecology of *Drosophila*. **Functional Ecology**, v. 22, n. 5, p. 747–759, 2008.

PARANHOS, B. A. J.; LIMA, T. C. C.; GAMA, F. C. **Controle de moscas-das-frutas no Vale do São Francisco**. Embrapa Semiárido, 2013. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/980799>. Acesso em: 30 mar. 2025.

PFEIFFER, D. G.; SHRADER, M. E.; WAHLS, J. C. E.; WILLBRAND, B. N.; SANDUM, I.; VAN DER LINDE, K.; LAUB, C. A.; MAYS, R. S.; DAY, E. R. African Fly (Diptera: Drosophilidae): biology, expansion of geographic range, and its potential status as a soft fruit pest. **Journal of Integrated Pest Management**, v. 10, n. 1, p. 20, 2019.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2025. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 25 abr. 2025.

RIBEIRO, L. S.; SOUSA, N. R.; SALUSTINO, A. S.; MORAIS, M. M. D.; MADDALENA, A.; ABREU, K. G.; OLIVEIRA-FILHO, M. C.; BRITO, C. H.; ARAUJO, H. F. P.; MARTINS, J. V. S.; RIBEIRO, W. S. First record of *Zaprionus tuberculatus* (Malloch, 1932) (Diptera: Drosophilidae) in Paraíba state, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, p. e285905, 2024.

RONCHI-TELES, B.; SILVA, N. M. Flutuação populacional de espécies de *Anastrepha Schiner* (Diptera: Tephritidae) na região de Manaus, AM. **Neotropical Entomology**, v. 34, n. 5, p. 733–741, 2005.

TAIT, G.; MERMER, S.; STOCKTON, D.; LEE, J.; AVOSANI, S.; ABRIEUX, A.; ANFORA, G.; BEERS, E.; BIONDI, A.; BURRACK, H.; CHA, D.; CHIU, J. C.; CHOI, M. Y.; CLOONAN, K.; CRAVA, C. M.; DAANE, K. M.; DALTON, D. T.; DIEPENBROCK, L.; FANNING, P.; GANJISAFFAR, F.; GÓMEZ, M. I.; GUT, L.; GRASSI, A.; HAMBY, K.; HOELMER, K. A.; IORIATTI, C.; ISAACS, R.; KLICK, J.; KRAFT, L.; LOEB, G.; ROSSI-STACCONI, M. V.; NIERI, R.; PFAB, F.; PUPPATO, S.; RENDON, D.; RENKEMA, J.; RODRIGUEZ-SAONA, C.; ROGERS, M.; SASSÙ, F.; SCHONEBERG, T.; SCOTT, M. J.; SEAGRAVES, M.; SIAL, A.; TIMMEREN, S. V.; WALLINGFORD, A.; WANG, X.; YEH, D. A.; ZALOM, F. G.; WALTON, V. M. *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae): A decade of research towards a sustainable integrated pest management program. **Journal of Economic Entomology**, v. 114, n. 5, p. 1950-1974, 2021.

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. **Biological Conservation**, v. 112, n. 3, p. 299-305, 2003.

USDA. **Fruit fly detection guidelines**. United States Department of Agriculture, 2024. Disponível em: <https://www.aphis.usda.gov/sites/default/files/fruit-fly-detection-guidelines>. Acesso em: 13 ago. 2025.

VAN DER LINDE, K.; STECK, G. J.; HIBBARD, K.; BIRDSLEY, J. S.; ALONSO, L. M.; HOULE, D. First records of *Zaprionus indianus* (Diptera; Drosophilidae), a pest species on commercial fruits from Panama and the United States of America. **Florida Entomologist**, v. 89, n. 3, p. 402–404, 2006.

VIEIRA, J. G. A.; WOLLMANN, J.; SCLESENER, D. C. H.; MENDES, S. R.; GARCIA, F. R. M. Infestation levels of *Zaprionus indianus* (Diptera: Drosophilidae) in different host fruits. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 2, p. 268- 273, 2019.

WANG, Y.; FERVEUR, J. F.; MOUSSIAN, B. Eco-genetics of desiccation resistance in *Drosophila*. **Biological Reviews**, v. 96, n. 4, p. 1421–1440, 2021.

WICKHAM, H. **ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**. New York: Springer-Verlag, 2016. Disponível em: <https://ggplot2.tidyverse.org>. Acesso em: 25 abr. 2025.