



ANA LUISA RODRIGUES SILVA

**EXPLORANDO O POTENCIAL DE *DORU LUTEIPES*
(DERMAPTERA: FORFICULIDAE) COMO PREDADOR E
SUA ATUAÇÃO SOBRE *SPODOPTERA FRUGIPERDA***

**LAVRAS – MG
2024**

ANA LUISA RODRIGUES SILVA

**EXPLORANDO O POTENCIAL DE *DORU LUTEIPES* (DERMAPTERA:
FORFICULIDAE) COMO PREDADOR E SUA ATUAÇÃO SOBRE *SPODOPTERA*
*FRUGIPERDA***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, área de concentração em Entomologia, para obtenção do título de Mestre.

Profa. Dra. Rosangela Cristina Marucci
Orientadora

**LAVRAS – MG
2024**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Silva, Ana Luisa Rodrigues.

Explorando o potencial de *Doru luteipes* (Dermaptera:
Forficulidae) como predador e sua atuação sobre *Spodoptera*
frugiperda / Ana Luisa Rodrigues Silva. - 2024.

82 p. : il.

Orientador(a): Rosangela Cristina Marucci.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2024.

Bibliografia.

1. Controle biológico. 2. Atividade predatória. 3. Tesourinha. I.
Marucci, Rosangela Cristina. II. Título.

ANA LUISA RODRIGUES SILVA

**EXPLORANDO O POTENCIAL DE *DORU LUTEIPES* (DERMAPTERA:
FORFICULIDAE) COMO PREDADOR E SUA ATUAÇÃO SOBRE *SPODOPTERA*
*FRUGIPERDA***

**EXPLORING THE POTENTIAL OF *DORU LUTEIPES* (DERMAPTERA:
FORFICULIDAE) AS A PREDATOR AND ITS ACTION ON *SPODOPTERA*
*FRUGIPERDA***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, área de concentração em Entomologia, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 06 de fevereiro de 2024.

Dr^a. Rosangela Cristina Marucci UFLA
Dr^a. Maria Fernanda Gomes Villalba Peñafior UFLA
Dr. Amarildo Pasini UEL

Profa. Dra. Rosangela Cristina Marucci
Orientadora

**LAVRAS – MG
2024**

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal de Lavras (UFLA), à Escola de Ciências Agrárias de Lavras (ESAL) e ao Departamento de Entomologia (DEN), pela oportunidade concedida para a realização do curso de mestrado.

O desenvolvimento deste trabalho foi possível devido ao apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

Agradeço à minha professora e orientadora Rosangela Cristina Marucci pela confiança e oportunidade em fazer parte de sua equipe, como também pela disponibilidade, atenção e pelos incentivos e correções que moldaram esse trabalho. Agradeço à professora Izabela Oliveira e Sérgio Simão pelo grande auxílio nas análises estatísticas.

Agradeço à minha mãe, Maria de Lourdes e ao meu pai, Luiz, pelo apoio incondicional. Agradeço às minhas irmãs, Natália e Daniela, por sempre me incentivarem a ser uma pessoa melhor e por serem exemplos de dedicação e amor à leitura e aos estudos. Agradeço às minhas sobrinhas, Elisa e Lorena, por alegrarem meus dias e renovarem minhas esperanças em um futuro melhor. Agradeço também à Patrick pelo apoio durante toda a minha trajetória acadêmica, inclusive ao longo do desenvolvimento deste trabalho, e, principalmente, por ter compartilhado o seu amor pela Entomologia.

Por fim, muito obrigada aos meus colegas de curso e do Núcleo de Estudos em Entomologia (NEENTO), professores do Departamento de Entomologia e a todos que direta e indiretamente fizeram parte da minha formação.

RESUMO

Doru luteipes (Scudder, 1876) (Dermaptera: Forficulidae) é o predador mais comumente observado em cultivos de milho no Brasil, presente nas principais regiões produtoras do grão. Na cultura, a tesourinha é considerada um importante inimigo natural de lepidópteros, como *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) e *Helicoverpa zea* (Boddie, 1850) (Lepidoptera: Noctuidae), dos quais se alimenta preferencialmente dos ovos e lagartas neonatas, e de diferentes espécies de afídeos. *Doru luteipes* apresenta hábito onívoro, se alimentando do pólen do milho e de esporos de fungos, que possibilitam sua permanência na lavoura mesmo quando há baixa disponibilidade de presas. Várias pesquisas foram desenvolvidas nas últimas três décadas, explorando o potencial predatório desta tesourinha e avaliando a seletividade dos principais inseticidas utilizados no manejo de insetos-praga de ocorrência na cultura. Entretanto, as informações precisas sobre seu papel como agente de controle são ainda muito escassas e dispersas. Além disso, mesmo que a ocorrência de *D. luteipes* no campo esteja diretamente relacionada a redução populacional da lagarta-do-cartucho, vários aspectos de sua atuação predatória ainda não foram estudados. Nesta dissertação, escrevemos um artigo de revisão objetivando agrupar as informações sobre a atuação da tesourinha como inimigo natural de pragas agrícolas e estimular o desenvolvimento de novas pesquisas. Investigamos aspectos da atuação de *D. luteipes* sobre *S. frugiperda* pouco explorados até então, como efeitos de não-consumo ou não-letais sobre mariposas, a preferência predatória entre ovos e neonatas, a resposta funcional sobre ovos e atração a voláteis de plantas infestadas por ovos e neonatas. Adicionalmente, avaliamos a atração da tesourinha aos voláteis de plantas de milho que sofreram herbivoria pelo pulgão *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus, 1758) (Hemiptera: Aphididae), buscando analisar seu potencial na localização de afídeos no campo. Mariposas de *S. frugiperda* depositaram menor número de ovos em plantas com a presença prévia da tesourinha, indicando que a ocorrência precoce deste predador pode prejudicar a colonização da praga. A tesourinha prefere se alimentar de ovos da lagarta-do-cartucho, e tanto machos como fêmeas apresentam resposta funcional tipo II, mas os machos apresentam melhor desempenho quando expostos a maiores densidades de ovos. Assim, machos e fêmeas de *D. luteipes* são hábeis na busca e consumo da presa preferencial e o aumento na densidade populacional de ambos seria favorável ao controle biológico de *S. frugiperda*. Fêmeas da tesourinha são fortemente atraídas por plantas danificadas por neonatas, entretanto, não se direcionam aos voláteis de plantas infestadas por adultos de *R. padi*. Estes achados agregam conhecimento sobre a atuação predatória de *D. luteipes* e expandem as perspectivas para futuras pesquisas visando favorecer a ocorrência e atuação deste notável inimigo natural.

Palavras-chave: Tesourinha. Controle biológico. Lagarta-do-cartucho. Atividade predatória.

ABSTRACT

Doru luteipes (Scudder, 1876) (Dermaptera: Forficulidae) is the most commonly observed predator in Brazilian maize crops, present in all main producing regions. In the crop, the earwig is considered an important natural enemy of lepidopteran insects, such as *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) and *Helicoverpa zea* (Boddie, 1850) (Lepidoptera: Noctuidae), of which it preferentially feeds on the eggs and neonate caterpillars, as well of different aphid species. *D. luteipes* has an omnivorous habit, feeding on corn pollen and fungal spores, which allows it to remain in the field even when there is low prey availability. Several researches have been conducted in the last three decades, exploring the predatory potential of this earwig and evaluating the selectivity of the main insecticides used in the management of insect pests that occur in the crop. However, information about its role as a natural enemy is still very scarce and scattered. Furthermore, even though the occurrence of *D. luteipes* in the field is directly related to the population reduction of the fall armyworm, several aspects of its predatory activity have not yet been studied. In this work, we developed a review article aiming to gather information about the role of *D. luteipes* as a natural enemy of agricultural pests and stimulate the development of new works. We investigated aspects of *D. luteipes* action on *S. frugiperda* that were little explored until now, such as non-consumption or non-lethal effects on moths, the predatory preference between eggs and neonates, the functional response on eggs and attraction to volatiles from egg and neonate-infested plants. Additionally, we evaluated the attraction of *D. luteipes* to volatiles from maize plants attacked by *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus, 1758) (Hemiptera: Aphididae), seeking to analyze its potential in locating aphids in the field. *S. frugiperda* moths deposited a smaller number of eggs on plants with the previous presence of earwigs, indicating that the early occurrence of this predator in the field may difficult pest colonization. The earwig prefers to feed on fall armyworm eggs, and males and females showed a type II functional response, but males perform better when exposed to higher egg densities. Thus, *D. luteipes* males and females efficiently search for and consume their preferred prey and the increase in population density of both would be favorable to *S. frugiperda* biological control. Female earwigs are strongly attracted to plants damaged by neonate caterpillars, however, they do not respond to volatiles from plants infested by *R. padi* adults. These findings add knowledge about *D. luteipes* predatory activity and expand the perspectives for future studies aimed at favoring the occurrence and activity of this notable natural enemy.

Keywords: Earwig. Biological control. Fall armyworm. Predatory activity.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	8
INTRODUÇÃO GERAL	8
SEGUNDA PARTE.....	15
ARTIGO 1 - Estado da arte sobre a atividade predatória e as diferentes faces de <i>Doru luteipes</i> (Dermaptera: Forficulidae) em cultivos de milho	15
ARTIGO 2 - New perspective on the role of <i>Doru luteipes</i> as a predator of the fall armyworm: Non-consumption effects, predatory preference and olfactory response	45
CONSIDERAÇÕES FINAIS	81

PRIMEIRA PARTE

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, atrás apenas dos EUA e da China (USDA, 2023). O grão de milho representa a segunda principal commodity produzida no país e é destinado principalmente à alimentação animal e produção de biocombustível (USDA, 2023), mas ainda compõe uma importante fração da dieta da população brasileira, desempenhando um formidável papel na busca por segurança alimentar e nutricional (SHIFERAW et al., 2011; MIEDANER; JUROSZEK, 2020; NÓIA JÚNIOR; SENTELHAS, 2020). No Brasil, a cultura do milho vem sendo produzida em três diferentes safras e permanece cultivada no campo praticamente durante todo o ano agrícola, o que possibilita uma grande produção anual. Entretanto, a produtividade brasileira ainda é considerada muito baixa quando comparada aos outros dois países (CONAB, 2022).

A presença constante da cultura no campo ocasiona uma ponte verde que favorece a permanência e a reprodução de pragas e patógenos que ameaçam a produção (OLIVEIRA; FRIZZAS, 2021), agentes fitossanitários que já são favorecidos pelas nossas condições tropicais e subtropicais, com altas temperaturas e umidade (CAIRNS et al., 2012; DE GROOTE et al., 2020; MUELLER et al., 2020). Além da deficiência hídrica, a incidência de insetos-praga é um dos fatores que mais comprometem o rendimento do milho, impedindo que a cultura alcance máximo potencial produtivo (FERNANDES; CARNEIRO, 2006).

Spodoptera frugiperda (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), popularmente conhecida como lagarta-do-cartucho, é uma das principais pragas que limitam o desenvolvimento da cultura e a produtividade (OLIVEIRA et al., 2014; NAGOSHI et al., 2015). Apesar do milho ser o hospedeiro preferencial, *S. frugiperda* se adaptou e ameaça outras culturas anuais de importância econômica, como a soja e o algodão, restringindo os benefícios da rotação de culturas e comprometendo o sistema produtivo como um todo (SILVA et al., 2017; HORIKOSHI et al., 2021; MAGGIO et al., 2022).

Além de uma ampla gama de hospedeiros, que torna possível a permanência no campo até o próximo plantio do milho, *S. frugiperda* apresenta grande voracidade, alta capacidade reprodutiva e de dispersão a longas distâncias, características que a tornam uma das mais danosas pragas que ameaçam culturas em condições tropicais (CRUZ et al., 1999; FARIAS et al., 2014; NAGOSHI et al., 2015; SILVA et al., 2017).

Os inseticidas químicos compõem a estratégia mais frequentemente utilizada para o controle de *S. frugiperda*. Contudo, além da eficácia limitada devido ao hábito críptico da praga

(BOAVENTURA et al., 2021), há cada vez mais relatos de populações resistentes a diferentes ingredientes ativos (CARVALHO et al., 2013; BOLZAN et al., 2019) e as proteínas tóxicas expressas por plantas modificadas geneticamente com genes de *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) (Berliner, 1915) (Bacillales: Bacillaceae) (FARIAS et al., 2014; HUANG et al., 2021). Em adição à pressão de seleção de populações resistentes, o uso indevido dos inseticidas traz diversos riscos ao meio ambiente e à saúde humana, além de ocasionar ressurgência e surtos de pragas secundárias (ARAÚJO et al., 2011; PAREDES-SÁNCHEZ et al., 2021). Estes impasses têm estimulado o estudo e desenvolvimento de métodos de controle mais sustentáveis, como o controle biológico, que já ocorre naturalmente e não deve mais ser visto apenas como uma alternativa ao método químico.

Dentre os predadores com ocorrência natural no Brasil, destaca-se a tesourinha *Doru luteipes* (Scudder, 1876) (Dermaptera: Forficulidae), frequentemente observada em milharais (CRUZ, 1995; CRUZ; OLIVEIRA, 1997) ao longo de todo o ano (REIS; OLIVEIRA; CRUZ, 1988). A tesourinha já demonstrou potencial como agente de biocontrole de *S. frugiperda* (PACHECO et al., 2023), atuando principalmente sobre ovos e lagartas de primeiro a terceiro instar (CRUZ; OLIVEIRA, 1997; SILVA; BRITO; OLIVEIRA, 2022), sendo capaz de identificar e se direcionar a voláteis liberados por plantas que sofreram herbivoria (NARANJO-GUEVARA et al., 2017; BELL et al., 2020). Ademais, seu hábito onívoro permite que sobreviva em baixas densidades populacionais de presas, enquanto se alimenta de pólen e esporos de fungos (MARUCCI et al., 2019; PACHECO et al., 2023).

Em lavouras de milho, a tesourinha encontra um local protegido para se abrigar durante o dia e com umidade ideal para oviposição e desenvolvimento embrionário (CRUZ, 1995), apresentando longevidade que permite que proteja as plantas de milho durante todo o ciclo da cultura (REIS; OLIVEIRA; CRUZ, 1988; CRUZ, 1995). Ninfas e adultos ocupam o mesmo espaço e atuam na regulação populacional de *S. frugiperda* (MARUCCI et al., 2019).

Entretanto, o pico populacional de *D. luteipes* na lavoura ocorre próximo ao florescimento, devido a atração pelo pólen do milho em contraste com a ausência de plantas atrativas que possibilitem sua permanência nas redondezas (MAGGIO et al., 2022; PACHECO et al., 2023). Enquanto isso, as mariposas da lagarta-do-cartucho iniciam a oviposição logo após a emergência das plantas (TOSCANO et al., 2012; VOLP; ZALUCKI; FURLONG, 2022), de modo que, quando o predador chega até a lavoura, já podem ter ocorrido injúrias devido a alimentação das lagartas.

A adoção de estratégias de controle biológico conservativo, como a utilização e manutenção de plantas atrativas na lavoura, pode favorecer a ocorrência e permanência de *D.*

luteipes no campo, permitindo que atue sobre as primeiras gerações de *S. frugiperda*. A tesourinha apresenta facilidade de criação em laboratório e é considerada para liberações inundativas em campo (PASINI; PARRA; LOPES, 2007), mas ainda há vários aspectos de sua atuação predatória que precisam ser melhor elucidados antes que possa compor programas de controle biológico aumentativo.

Por meio de nossa pesquisa objetivamos: *i*) compilar as informações, ainda muito dispersas, sobre o potencial de *D. luteipes* como agente de biocontrole em regiões tropicais e *ii*) desvendar a atuação de *D. luteipes* sobre *S. frugiperda*, incluindo preferência de consumo entre ovos e neonatas, resposta funcional sobre os ovos, resposta olfativa a voláteis de plantas que sofreram herbivoria e os efeitos de não-consumo que a chegada precoce de *D. luteipes* pode exercer sobre mariposas, com impacto na colonização e estabelecimento da praga na lavoura.

Os resultados dessa pesquisa foram organizados em dois artigos: 1) “Estado da arte sobre atividade predatória e as diferentes faces de *Doru luteipes* (Dermaptera: Forficulidae) em cultivos de milho” e 2) “Nova perspectiva da atuação de *Doru luteipes* sobre a lagarta-do-cartucho: efeitos de não-consumo, preferência predatória e resposta olfativa”, os quais serão apresentados a seguir.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, L. F. de; SILVA, A. G. da; CRUZ, I.; CARMO, E. L. do; HORVATH NETO, A.; GOULART, M. M. P.; RATTES, J. F. Flutuação populacional de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), *Diatraea saccharalis* (Fabricius) e *Doru luteipes* (Scudder) em milho convencional e transgênico Bt. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 10, n. 3, p. 205-214, 2011.
- BELL, K.; NARANJO-GUEVARA, N.; SANTOS, R. C.; MEADOW, R.; BENTO, J. M. S. Predatory earwigs are attracted by herbivore-induced plant volatiles linked with plant growth-promoting Rhizobacteria. **Insects**, v. 11, n. 5, p. 271, 2020.
- BOAVENTURA, D.; BUER, B.; HAMAEEKERS, N.; MAIWALD, F.; NAUEN, R. Toxicological and molecular profiling of insecticide resistance in a Brazilian strain of fall armyworm resistant to Bt Cry1 proteins. **Pest Management Science**, v. 77, n. 8, p. 3713-3726, 2021.
- BOLZAN, A.; PADOVEZ, F. E.; NASCIMENTO, A. R.; KAISER, I. S.; LIRA, E. C.; AMARAL, F. S.; KANNO, R. H.; MALAQUIAS, J. B.; OMOTO, C. Selection and characterization of the inheritance of resistance of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to chlorantraniliprole and cross-resistance to other diamide insecticides. **Pest Management Science**, v. 75, n. 10, p. 2682–2689, 2019.
- CAIRNS, J. E.; SONDER, K.; ZAIDI, P. H.; VERHULST, N.; MAHUKU, G.; BABU, R.; NAIR, S. K.; DAS, B.; GOVAERTS, B.; VINAYAN, M. T.; RASHID, Z.; NOOR, J. J.; DEVI, P.; VICENTE, F.; BODDUPALLI, P. M. Maize production in a changing climate: impacts, adaptations, and mitigation strategies. **Advances in Agronomy**, v. 114, p. 1-58, 2012.
- CARVALHO, R. A.; OMOTO, C.; FIELD, L. M.; WILLIAMSON, M. S.; BASS, C. Investigating the Molecular Mechanisms of Organophosphate and Pyrethroid Resistance in the Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda*. **PLoS ONE**, v. 8, p. e62268, 2013.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira: grãos safra 2021/2022. Brasília: CONAB, 2023. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 31 ago. 2023.
- CRUZ, I. Manejo integrado de pragas de milho com ênfase para o controle biológico. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 24, n. 4, p. 48-92, 1995.
- CRUZ, I.; FIGUEIREDO, M. L. C.; OLIVEIRA, A. C.; VASCONCELOS, C. A. Damage of *Spodoptera frugiperda* (Smith) in different maize genotypes cultivated in soil under three levels of aluminium saturation. **International Journal of Pest Management**, v. 45, n. 4, p. 293-296, 1999.
- CRUZ, I.; OLIVEIRA, A. C. Flutuação populacional do predador *Doru Luteipes* Scudder em plantas de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 4, p. 363-368, 1997.

DE GROOTE, H.; KIMENJU, S. C.; MUNYA, B.; PALMAS, S.; KASSIE, M.; BRUCE, A. Spread and impact of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) in maize production areas of Kenya. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 292, n. 106804, 2020.

FARIAS, J. R.; ANDOW, D. A.; HORIKOSHI, R. J.; SORGATTO, R. J.; FRESIA, P.; SANTOS, A. C.; OMOTO, C. Field-evolved resistance to Cry1F maize by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. **Crop Protection**, v. 64, p. 150-158, 2014.

FERNANDES, O. A.; CARNEIRO, T. R.; Controle biológico de *Spodoptera frugiperda* no Brasil. In: PINTO, A. de S.; NAVA, D. E.; ROSSI, M. M.; MALERBO-SOUZA, D. T. (Org.). **Controle biológico de pragas na prática**. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 75-82.

HORIKOSHI, R.J.; DOURADO, P.M.; BERGER, G.U.; FERNANDES, D.D.S.; OMOTO, C.; WILLSE, A.; MARTINELLI, S.; HEAD, G.P.; CORRÊA, A.S. Large-scale assessment of lepidopteran soybean pests and efficacy of Cry1Ac soybean in Brazil. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 15956, 2021.

HUANG, F. Resistance of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, to transgenic *Bacillus thuringiensis* Cry1F corn in the Americas: Lessons and implications for Bt corn IRM in China. **Insect Science**, v. 28, n. 3, p. 574-589, 2021.

MAGGIO, D. H.; ROSSETTI, V. Z.; SANTOS, L. M. A.; CARMEZINI, F. L.; CORRÊA, A. S. A molecular marker to identify *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) DNA in predators' gut content. **Insects**, v. 13, n. 7, p. 365-376, 2022.

MARUCCI, R. C.; SOUZA, I. L.; SILVA, L. O.; AUAD, A. M.; MENDES, S. M. Pollen as a component of the diet of *Doru luteipes* (Scudder, 1876) (Dermaptera: forficulidade). **Brazilian Journal of Biology**, v. 79, n. 4, p. 584-588, 2019.

MIEDANER, T.; JUROSZEK, P. Global warming and increasing maize cultivation demand comprehensive efforts in disease and insect resistance breeding in north-western Europe. **Plant Pathology**, v. 70, n. 5, p. 1032-1046, 2021.

MUELLER, D. S.; WISE, K. A.; SISSON, A. J.; ALLEN, T. W.; BERGSTROM, G. C.; BISSONNETTE, K. M. Corn yield loss estimates due to diseases in the United States and Ontario, Canada, from 2016 to 2019. **Plant Health Progress**, v. 21, p. 238-247, 2020.

NAGOSHI, R. N.; ROSAS-GARCÍA, N. M.; MEAGHER, R. L.; FLEISCHER, S.; WESTBROOK, J. K.; SAPPINGTON, T. W.; HAY-ROE, M.; THOMAS, J. M.; MURÚA, G. M. Haplotype profile comparisons between *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) populations from Mexico with those from Puerto Rico, South America, and the United States and their implications to migratory behavior. **Journal of Economic Entomology**, v. 108, n. 1, p. 135-144, 2015.

NARANJO-GUEVARA, N.; PEÑAFLORES, M. F. G.; CABEZAS-GUERRERO, M. F.; BENTO, J. M. S. Nocturnal herbivore-induced plant volatiles attract the generalist predatory earwig *Doru luteipes* Scudder. **Naturwissenschaften**, v. 104, n. 9-10, p. 77, 2017.

- NÓIA JÚNIOR, R. S.; SENTELHAS, P. C. Yield gap of the double-crop system of main-season soybean with off-season maize in Brazil. **Crop & Pasture Science**, v. 71, n. 5, p. 445-458, 2020.
- OLIVEIRA, C. M.; AUAD, A. M.; MENDES, S. M.; FRIZZAS, M. R. Crop losses and the economic impact of insect pests on Brazilian agriculture. **Crop Protection**, v. 56, p. 50-54, 2014.
- OLIVEIRA, C. M.; FRIZZAS, M. R. Eight decades of *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott) (Hemiptera, Cicadellidae) in Brazil: what we know and what we need to know. **Neotropical Entomology**, v. 51, n. 1, p. 1-17, 2022.
- PACHECO, R. C.; SILVA, D. D.; MENDES, S. M.; LIMA, K. P.; FIGUEIREDO, J. E. F.; MARUCCI, R. C. How omnivory affects the survival and choices of earwig *Doru luteipes* (Scudder) (Dermaptera: Forficulidae)? **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p. e243890, 2023.
- PAREDES-SÁNCHEZ, F. A.; RIVERA, G.; BOCANEGRA-GARCÍA, V.; MARTÍNEZ-PADRÓN, H. Y.; BERRONES-MORALES, M.; NIÑO-GARCÍA, N.; HERRERA-MAYORGA, V. Advances in control strategies against *Spodoptera frugiperda*. A review. **Molecules**, v. 23, n. 5587, 2021.
- PASINI, A.; PARRA, J. R. P.; LOPES, J. Dieta artificial para criação de *Doru luteipes* (Scudder) (Dermaptera: Forficulidae), predador da lagarta-do-cartucho do milho, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 36, n. 2, p. 308-311, 2007.
- REIS, L. L.; OLIVEIRA, L. J.; CRUZ, I. Biologia e potencial de *Doru luteipes* no controle de *Spodoptera frugiperda*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 23, n. 4, p. 33-342, 1988.
- SHIFERAW, B.; PRASANNA, B. M.; HELLIN, J.; BÄNZIGER, M. Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security. **Food Security**, v. 3, p. 307-327, 2011.
- SILVA, D. M.; BUENO, A. D. F.; ANDRADE, K.; STECCA, C. D. S.; NEVES, P. M. O. J.; OLIVEIRA, M. C. N. Biology and nutrition of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) fed on different food sources. **Scientia Agricola**, v. 74, n. 1, p. 18-31, 2017.
- SILVA, H. E. G.; BRITO, C. H.; OLIVEIRA, R. Biological aspects and predatory capacity of *Doru luteipes* when fed with *Spodoptera frugiperda*. **Revista Caatinga**, v. 35, n. 3, p. 490-497, 2021.
- TOSCANO, L. C.; CALADO FILHO, G. C.; CARDOSO, A. M.; MARUYAMA, W. I.; TOMQUELSKI, G. V. Impacto de inseticidas sobre *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) e seus inimigos naturais em milho safrinha cultivado em Cassilândia e Chapadão do Sul, MS. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 79, n. 2, p. 223-231, 2012.
- USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. World agricultural production: circular series. Washington: USDA, 2023. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2023.

VOLP, T. M.; ZALUCKI, M. P.; FURLONG, M. J. What defines a host? Oviposition behavior and larval performance of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on five putative host plants. **Journal of Economic Entomology**, v. 115, n. 6, p. 1744-1751, 2022.

SEGUNDA PARTE**ARTIGO 1****Estado da arte sobre a atividade predatória e as diferentes faces de *Doru luteipes*
(Dermaptera: Forficulidae) em cultivos de milho**

(Manuscript written according to Journal of Applied Entomology' guidelines)

Potencial de *Doru luteipes* como inimigo natural na cultura do milho

Ana Luisa Rodrigues Silva¹; Rosangela Cristina Marucci^{1*}

¹Department of Entomology, Federal University of Lavras (UFLA), Lavras, Brazil

*Correspondence

Rosangela Cristina Marucci, Biological Control Laboratory, Entomology Department, Federal University of Lavras, PO Box 3037, 37200-900, Lavras, State of Minas Gerais, Brazil. E-mail: rosangelac.marucci@ufla.br

*Acknowledgments

We thank all people that work on Department of Entomology, Federal University of Lavras (UFLA), especially to the Biological Control laboratory. This research is part of the Masters Dissertation of Ana Luisa Rodrigues Silva and was supported by Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) and Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

(Versão preliminar em português)

Resumo

A tesourinha *Doru luteipes* (Scudder) (Dermaptera: Forficulidae) é o predador mais comumente observado em lavouras de milho nas principais regiões produtoras do Brasil e, há mais de 30 anos, tem sido o alvo de estudos, em campo e em laboratório, voltados para o controle biológico de insetos-praga cujo manejo é desafiador. O milho é um dos principais grãos produzidos no Brasil, onde compõe significativa parcela da alimentação populacional. No país, a cultura é frequentemente afetada por patógenos e insetos-praga que ameaçam a produção, favorecidos pelas condições climáticas tropicais e subtropicais e pela permanência de cultivos de milho no campo durante praticamente todo o ano agrícola. Mesmo que *D. luteipes* já tenha sido considerada para liberações aumentativas, as informações sobre a atuação deste predador são ainda muito escassas e dispersas, e não se sabe o seu verdadeiro potencial como agente de biocontrole de pragas no campo. Este artigo de revisão foi desenvolvido com o objetivo principal de sintetizar a literatura e discutir o potencial de *D. luteipes* na regulação de populações de insetos-praga e de estruturas fúngicas, incluindo registros fotográficos de sua atuação predatória. Almejamos ainda incentivar e inspirar novos estudos sobre este importante inimigo natural, cujo real benefício para a cultura permanece incógnito.

Palavras-chave: *Zea mays*, *Spodoptera frugiperda*, controle biológico, tesourinha, predação.

Introdução

A ordem Dermaptera apresenta aproximadamente 2.200 espécies descritas em quase todo o mundo (Haas, 2021). Insetos desta ordem estão presentes em várias regiões agrícolas no Brasil e são capazes de atuar sobre grande número de espécies de insetos-praga (Silva et al., 2022a). Todavia, apesar de, junto com outros agentes macrobiológicos, comporem grande parte da supressão natural de pragas (Van Lenteren, 2012), estes agentes de biocontrole são ainda muito pouco estudados.

Dermápteros são noturnos, durante o dia se abrigam em locais escuros e úmidos (Campos, Picanço, Martins, Tomaz & Guedes, 2011; Hehar, Gries & Gries, 2008) e se tornam predadores ativos exclusivamente durante a noite, se aproveitando de um espaço livre da competição o que permite sua convivência com predadores diurnos (Naranjo-Guevara, Peñaflor, Cabezas-Guerrero & Bento, 2017; Silva, Souza, Marucci & Guzman-Martinez, 2022c). O hábito tigmotátil possibilita o encontro com insetos-praga de hábito críptico, cujo manejo com métodos tradicionais de controle muitas vezes é dificultado.

Diferentes espécies de Dermaptera, como *Doru taeniatum* (Dohrn) (Chapman et al., 2000), *Doru lineare* (Eschscholz) (Romero Sueldo, Virla, Contarini, Van Nieuwenhove & Speranza, 2023) e *Doru luteipes* (Scudder) (Dermaptera: Forficulidae) (Marucci, Souza, Silva, Auad & Mendes, 2019) ocorrem e apresentam íntima relação com a cultura do milho, encontrando nas plantas abrigo contra a luz, a umidade necessária ao desenvolvimento embrionário, além de diversas fontes alimentares (Cruz, 1995b; Marucci et al., 2019).

A espécie de Dermaptera mais estudada no Brasil tem sido *D. luteipes*, principalmente devido a ampla distribuição no território nacional (Heleodoro, 2021) e facilidade de criação. Já existem metodologias e dieta artificial padronizadas para criação de *D. luteipes*, que permitem a manutenção em laboratório e tornariam possível a produção em larga escala para suprir programas de controle biológico (Silva et al., 2022). Além disso, os inseticidas utilizados no controle da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), uma das principais pragas do milho no Brasil, apresentam baixa toxicidade contra esta espécie (Campos et al., 2011), o que tornaria possível sua atuação em conjunto ao controle químico.

Entretanto, mesmo que já tenha sido considerado para liberações em campo (Pasini, Parra & Lopes, 2007), as informações sobre a atuação deste predador são ainda muito escassas e dispersas, e se baseiam, principalmente, em bioensaios laboratoriais, que nem sempre representam seu verdadeiro potencial.

Para preencher essa lacuna, organizamos as informações sobre esta espécie e sua atuação sobre insetos-alvo, destacando seu papel ao longo do desenvolvimento da cultura do

milho e a importância de sua preservação. Objetivamos também apontar novas direções para o desenvolvimento de estudos que desvendem seu potencial como agente de biocontrole, de modo que *D. luteipes* possa vir a ser o foco de programas de controle biológico conservativo e/ou aumentativo em regiões de clima tropical no Brasil e em outros países de ocorrência. A principal ferramenta de busca utilizada para elaboração deste artigo de revisão foi o Google Acadêmico (Scholar Google) e as plataformas Web of Science e Scopus. A pesquisa se concentrou em trabalhos contendo as palavras-chave: “*Doru luteipes*”, “*Spodoptera frugiperda*”, “maize”, “biological control”.

Planta hospedeira

O milho *Zea mays* (Poaceae) é nativo do México, onde foi domesticado há mais de 9.000 anos (Kennett et al., 2020). Desse modo, é um dos grãos mais antigos a serem largamente cultivados e representa uma importante fonte da alimentação humana desde a antiguidade (Aladesanmi, Oroboade, Osiogun & Osewole, 2019). É uma planta C4 de ciclo anual, com alta atividade fotossintética e crescimento rápido (García-Lara & Serna-Saldivar, 2019).

A cultura apresenta ampla diversidade genética, adaptabilidade e resistência a condições adversas (Costa, Fernandes, Medeiros & Evangelista, 2020), o que permite que seja cultivada em uma grande diversidade de solos, fotoperíodos, altitudes e climas em regiões tropicais, subtropicais e temperadas (Neuffer, 1982; Paliwal, Granados, Lafitte, Violic & Marathree J. P., 2000; Shiferaw, Prasanna, Hellin & Bänziger, 2011; Tůmová et al., 2018). Grande parte da produção mundial de milho se concentra em três países: os EUA são os maiores produtores, com 31% da produção total, seguidos da China com 22% e do Brasil com 9,5% (USDA, 2023).

De acordo com a FAO, em 2016 aproximadamente 85% da produção mundial de milho foi destinada ao trato animal e produção de bioetanol. Com o contínuo crescimento populacional, a demanda por carnes e conseqüentemente pelo milho tende a crescer (Erenstein, 2010). Apesar de ser mais utilizado na alimentação animal, o milho é a principal fonte de energia para pessoas em países da África e da América Latina, onde contribui diretamente com mais de 20% do consumo de calorias (Shiferaw et al., 2011). De qualquer modo, o milho desempenha um importante papel na busca por segurança alimentar e nutricional, um dos maiores desafios globais (Miedaner & Juroszek, 2021; Nóia Júnior & Sentelhas, 2020).

Vários fatores comprometem o desenvolvimento de lavouras de milho, visto que a cultura é frequentemente afetada por patógenos, insetos-praga e outros estresses bióticos e abióticos (Cairns et al., 2012; De Groot et al., 2020; Mueller et al., 2020). Com o passar dos anos, patógenos e pragas têm conseguido avançar para regiões onde ainda não ocorriam,

dificultando cada vez mais o manejo da cultura e se tornando um dos maiores desafios para a segurança alimentar (Erenstein, Jaleta, Sonder, Mottaleb & Prasanna, 2022; Hampf, Nendel, Strey & Strey, 2021; Oerke, 2006). O desafio é ainda maior, principalmente, em países com condições tropicais e subtropicais, as quais favorecem a proliferação de agentes fitossanitários. As mudanças climáticas que têm ocorrido nas últimas décadas também afetam cultivos de milho, dando origem a novas ameaças, além de agravar a ocorrência destes estresses (Burdon & Zhan, 2020; Deutsch et al., 2018; Porter et al., 2019).

No Brasil, o milho vem sendo cultivado em até três safras anuais. Dessa maneira, há a formação de uma ponte verde que favorece a permanência e desenvolvimento de pragas e patógenos que ameaçam a produção (Oliveira & Frizzas, 2022). Em adição à deficiência hídrica, a incidência de insetos-praga é um dos fatores que mais comprometem o rendimento do milho (Fernandes & Carneiro, 2006). Dentre os principais insetos que afetam a cultura, se encontram os lepidópteros desfolhadores, que ocasionam perdas significativas a cada safra (Russo et al., 2019).

***Doru luteipes*: hábito, presas e sobrevivência**

A tesourinha *D. luteipes* é o predador mais encontrado em lavouras de milho no Brasil (Cruz, 1995b; G. A. Silva et al., 2018), presente em todas as principais regiões produtoras (Reis, Oliveira & Cruz, 1988; Marucci et al., 2019) na safra de verão e na segunda safra (safrinha). É observada em até 70% das plantas em locais onde o milho é cultivado durante todo o ano (Araújo et al., 2011; Picanço, Galvan, Galvão, Silva & Gontijo, 2003; Silva et al., 2022a). A tesourinha apresenta hábito tigmotátil e é estimulada pelo contato direto com coespecíficos e plantas (Jarvis, Haas & Whiting, 2005; Pacheco et al., 2023), de modo que o cartucho da planta de milho, com folhas muito próximas, proporciona um microclima com alta umidade e é o local ideal para abrigo, reprodução e oviposição da espécie.

O estágio ninfal de *D. luteipes* dura aproximadamente 40 dias e os adultos apresentam longevidade de até um ano (Reis et al., 1988). Por consequência, a espécie poderia permanecer na cultura do milho durante todo o ciclo, protegendo-a de potenciais artrópodes-praga.

Por se tratar de um predador generalista, *D. luteipes* necessita de uma dieta diversificada, e ninfas e adultos se alimentam de afídeos, tripes e ovos e primeiros instares larvais da ordem Lepidoptera (Fernandes et al., 2007; Pacheco et al., 2023; Silva, Brito & Oliveira, 2022b). Apresenta grande voracidade que resulta em alta capacidade predatória (Sueldo & Virla, 2017) e se alimenta de pólen e esporos de fungos (onivoria) (Marucci et al., 2019). Diversos autores

avaliaram o potencial de predação ou consumo de *D. luteipes* sobre várias espécies de insetos-praga e estruturas fúngicas (Tabela 1).

Há estudos que demonstraram o potencial de *D. luteipes* como agente de controle biológico de pulgões-pragas, incluindo espécies que infestam cultivos de milho. Por exemplo, Alvarenga, Vendramim & Cruz (1995, 1996) avaliaram o efeito de *D. luteipes* sobre o crescimento populacional de *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae). Nestes trabalhos, os cientistas comprovaram que a tesourinha é capaz de reduzir significativamente populações do pulgão em plantas de sorgo, sejam genótipos suscetíveis, moderadamente resistentes ou altamente resistentes. O consumo total de pulgões por *D. luteipes*, durante a fase adulta, variou de 1890 a 3831 em função dos genótipos de sorgo.

Pesquisas sobre a seletividade dos principais inseticidas utilizados para o controle de *Brevicoryne brassicae* (Linnaeus) (Hemiptera: Aphididae) à *D. luteipes*, indicaram que os ingredientes ativos deltametrina e pirimicarbe são altamente seletivos a todas as fases de desenvolvimento do predador, e que sua utilização deveria ser priorizada no campo para evitar impactos a populações deste agente de controle biológico (Bacci et al., 2001).

Resultado semelhante foi encontrado para inseticidas utilizados no controle do pulgão-verde *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) (Bacci, Picanço, Gusmão, Barreto & Galvan, 2002). O inseticida à base de pirimicarbe foi altamente seletivo a todos os estádios ninfais de *D. luteipes*, em dose que ocasionou 90% de mortalidade para *M. persicae*.

A atuação de *D. luteipes* sobre outras espécies de afídeos, como *Aphis gossypii* Glover e *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) (Hemiptera: Aphididae) também já foi investigada em condições de campo e laboratoriais, respectivamente (Romero Sueldo, Dode & Virla, 2014; Sujii et al., 2007).

Sujii et al. (2007) identificaram, além de diversas espécies de joaninhas, *D. luteipes* como um dos predadores mais abundantes do afídeo *A. gossypii* em áreas de cultivo de algodão submetidas ou não a aplicação de inseticidas. Novamente, inseticidas aplicados em doses recomendadas pelo fabricante, apresentando como ingredientes ativos diafentiuron, imidacloprido, metamidofós e cipermetrina+fenofós, demonstraram seletividade a *D. luteipes*, cuja abundância relativa permaneceu constante entre os tratamentos.

Sueldo et al. (2014) concluíram que *D. luteipes* e *D. lineare* são importantes predadores com potencial semelhante na redução de populações do pulgão do milho, *R. maidis*. Essa espécie causa danos diretos e indiretos à cultura por meio da alimentação e da transmissão de vírus. Em ambas as espécies de tesourinha, os machos consumiram mais pulgões que as fêmeas.

Marucci et al. (2019) também avaliaram a atuação de *D. luteipes* sobre *R. maidis* em laboratório, concluindo que a sobrevivência do predador foi menor quando alimentado exclusivamente com o pulgão, havendo prolongamento do desenvolvimento ninfal e maior mortalidade das ninfas. Por consequência, esta e outras espécies de pulgões não apresentariam todos os nutrientes necessários para o desenvolvimento pleno da espécie no campo, sendo importante a complementação de sua dieta com pólen do milho. No mesmo trabalho, a alimentação exclusiva com ovos de *S. frugiperda* também não foi favorável ao pleno desenvolvimento do predador.

Silva et al. (2022c) estudaram o potencial de *D. luteipes* no controle de *Caliothrips phaseoli* (Hood) (Thysanoptera: Thripidae). Adultos de *D. luteipes* se alimentaram diariamente de 210 tripes, consumindo um número aproximadamente seis vezes superior ao obtido para *Orius insidiosus* (Say) (Hemiptera: Anthocoridae), percevejo predador comercializado em diversos países para o controle de tripes. Desde o primeiro instar, *D. luteipes* consumiu mais tripes do que adultos de *O. insidiosus*. Desta maneira, os autores discutiram que hábito tigmotátil de *D. luteipes* permitiria ocupar o mesmo nicho de várias espécies de tripes, que são caracterizadas pelo hábito críptico. Além disso, a tesourinha complementaria o controle proporcionado durante o dia por *O. insidiosus*, já que ela se alimenta exclusivamente à noite. Os autores não detectaram a ocorrência de predação intraguilda entre a tesourinha e o percevejo predador.

Nota-se um número razoável de trabalhos que avaliaram a atuação de *D. luteipes* sobre espécies de pulgões (Figura 1). Entretanto, o potencial da tesourinha em localizar e atuar na redução populacional destes insetos sugadores ainda não foi investigado profundamente. Há predomínio de trabalhos cujo objetivo principal foi avaliar a seletividade de inseticidas, sem ao menos quantificar a atuação predatória de *D. luteipes*. Desse modo, ainda não se sabe o real controle proporcionado por este predador em campo, sobre espécies de pulgões e/ou tripes.

Por outro lado, esta tesourinha é considerada um inimigo natural importante e indispensável no manejo de populações de lepidópteros desfolhadores que afetam a cultura do milho, como a lagarta-do-cartucho *S. frugiperda* e a lagarta-da-espiga *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae) (Cruz, Alvarenga & Figueiredo, 1995; Reis et al., 1988). Adultos e ninfas da tesourinha são encontrados no cartucho, pendão e espigas, assim como as pragas mencionadas, o que possibilita o encontro e a atuação do predador (Marucci et al., 2019).

Spodoptera frugiperda é uma praga-chave do milho e um dos principais fatores que limitam o desenvolvimento da cultura, impedindo maiores produtividades (Nagoshi et al., 2015; Oliveira, Auad, Mendes & Frizzas, 2014). *D. luteipes* protege o milho ao preda ovos e lagartas

neonatas da lagarta-do-cartucho, havendo uma correlação negativa entre a ocorrência do inimigo natural e da praga (Badji, Guedes, Silva, & Araújo, 2004; Guerreiro, Filho & Busoli, 2003). Inclusive, sabe-se que reduções populacionais significativas de lagartas são observadas em plantas que contém, no mínimo, um casal de *D. luteipes* (Cruz, 1991). Em função do grande número de trabalhos que abordam a atuação de *D. luteipes* sobre *S. frugiperda* e a dificuldade de manejo deste fitófago, a interação entre as espécies será abordada em tópico exclusivo.

A biologia e capacidade predatória de *D. luteipes* alimentada com ovos de *H. zea* foi estudada por Cruz et al. (1995). A tesourinha se alimentou durante o ciclo de, em média, 8276 ovos, com consumo de 39 ovos por dia. Ao se alimentarem exclusivamente de ovos de *H. zea*, as tesourinhas apresentaram ciclo de aproximadamente 217,9 dias, superior ao de 128 dias observado para tesourinhas que se alimentaram de ovos de *S. frugiperda* (Reis et al., 1988). O período ninfal apresentou duração média de 34,4 dias.

A alimentação de *D. luteipes* sobre ovos de *Helicoverpa armigera* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae) também já foi comprovada, em condições laboratoriais. O consumo médio diário dos ovos e lagartas recém-eclodidas de *H. armigera* foi de 16,8 e 12,7, respectivamente (Ribeiro et al., 2017). Em contrapartida, quando há opção de escolha, *D. luteipes* prefere se alimentar de ovos de *S. frugiperda*, seguido de ovos de *H. armigera* e *Ephestia kuehniella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) (Redoan et al. 2014).

A presença de *D. luteipes* resulta em correlação positiva com a mortalidade de ovos de *Diatraea saccharalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae) em lavouras de milho. Ao distribuir ovos sentinelas de *D. saccharalis* no campo, Fenoglio & Trumper (2007) observaram que a predação dos ovos por *D. luteipes* foi constante ao longo de todo o desenvolvimento vegetativo da cultura, apesar de reduzir em períodos de chuva mais intensa. Além disso, *D. luteipes* não é impactada negativamente pelo cultivo de híbridos de milho com genes de *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) (Berliner) (Bacillales: Bacillaceae), complementando o controle de *D. saccharalis* e *S. frugiperda* proporcionado por essa tecnologia (Araújo et al., 2011; Fernandes et al., 2007).

O consumo total e o tempo de desenvolvimento de ninfas de *D. luteipes* alimentadas exclusivamente com ovos de *Plutella xylostella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Plutellidae) foi de 4.600 ovos e 27 dias, respectivamente (Pedroso, Otuka, Veiga, Magalhães & De Bortoli, 2010), indicando alta voracidade do estágio ninfal.

Recentemente, descobriu-se um novo serviço ecológico desempenhado por *D. luteipes* em plantas de milho. Silva et al. (2022a) reportaram que a tesourinha se alimenta de uredósporos de *Puccinia polysora* (Underw) (Pucciniales: Pucciniaceae), agente causal da ferrugem polisora do milho (Figura 2). Todos os estádios ninfais e adultos foram capazes de

reduzir significativamente a concentração dos uredósporos em laboratório e em plantas infectadas.

A fungivoria de *D. luteipes* também foi confirmada por Pacheco et al. (2023), que avaliaram a sobrevivência de ninfas recém-eclodidas alimentadas exclusivamente com os uredósporos de *P. polysora*, pólen de milho, ovos de *S. frugiperda* ou com uma combinação de ovos de *S. frugiperda* e uredósporos. Os autores concluíram que a sobrevivência das ninfas era inferior sempre que recebiam uma única fonte alimentar, e que a alimentação com ovos e uredósporos proporcionou uma sobrevivência semelhante ao tratamento controle (dieta artificial). Logo, a onivoria é essencial para sobrevivência e manutenção de *D. luteipes* no campo (Pacheco et al., 2023), ampliando o seu potencial como agente de biocontrole contra doenças de origem fúngica.

Já existem metodologias que, através de técnicas de biologia molecular, permitem identificar o DNA de *S. frugiperda* e outros artrópodes-praga no conteúdo do trato digestivo de inimigos naturais, incluindo tesourinhas (Maggio, Rossetti, Santos, Carmezini & Corrêa, 2022; Paula et al., 2022). Estas novas tecnologias possibilitam o desenvolvimento de estudos para caracterizar as interações tróficas e entender a dinâmica de *D. luteipes* no campo, esclarecendo o seu verdadeiro papel e a amplitude de sua atuação no controle biológico de pragas e/ou patógenos.

Principal presa no milho e o manejo desafiador

Spodoptera frugiperda é nativa do continente americano, ocorrendo em diversos países, como Brasil, Argentina e Estados Unidos (Clark et al., 2007; Prowell, McMichael & Silvain, 2004). Recentemente, esta espécie se tornou um grande problema para a agricultura mundial (Volp, Zalucki & Furlong, 2022), pois alcançou o status cosmopolita ao se dispersar para diferentes regiões da Europa (Alemanha e Holanda), África, Ásia e Oceania (Deshmukh et al., 2018; FAO, 2021; Goergen, Kumar, Sankung, Togola & Tamò, 2016; Maino et al., 2021). Após a primeira detecção na África, em 2016, sua dispersão no Hemisfério Oriental ocorreu em tempo recorde, de modo que a extensão dos danos econômicos causados é difícil de ser mensurada, apesar de ser muito significativa (Volp et al., 2022).

Spodoptera frugiperda apresenta uma ampla gama de hospedeiros, grande voracidade, alta capacidade reprodutiva e de dispersão a longas distâncias (Silva et al., 2017; Farias et al., 2014; Nagoshi et al., 2015). Estas características a colocam como uma das pragas mais danosas que ameaçam culturas anuais em regiões tropicais (Cruz, Figueiredo, Oliveira & Vasconcelos, 1999).

Apresenta mais de 300 plantas hospedeiras, distribuídas em 76 famílias botânicas, porém é notável a preferência por plantas da família Poaceae, que representa 30% destas espécies (Montezano et al., 2018; Volp et al., 2022). Nos países recentemente colonizados, *S. frugiperda* está frequentemente associada ao milho devido a preferência de oviposição e melhor performance e desenvolvimento larval (Guo et al., 2021; He, Wang, Chen, Ge, Wyckhuys & Wu, 2021a; He, Zhao, Gao & Wu, 2021b).

Experimentos conduzidos por Volp et al. (2022) demonstram que as mariposas ovipositam mais rapidamente no milho, originando massas de ovos maiores. No campo, observa-se posturas logo após o surgimento das primeiras folhas de milho (Toscano, Calado Filho, Cardoso, Maruyama & Tomquelski, 2012). Por outro ângulo, os mesmos pesquisadores observaram que folhas de algodão e soja são menos adequadas ao seu desenvolvimento, prolongando o período larval e reduzindo o peso das pupas, o que indica que o hospedeiro apresenta baixa qualidade nutricional. Apesar da adequação ao algodão e à soja ser inferior, *S. frugiperda* apresenta alta taxa de sobrevivência e potencial de causar danos econômicos a essas culturas (Bueno et al., 2010; Silva et al., 2017; Pitre & Hogg, 1983).

No Brasil, *S. frugiperda* tem sido praga-chave do milho e algodão, mas sua ocorrência na cultura da soja tem crescido (Horikoshi et al., 2021). Dessa forma, o sistema produtivo brasileiro favorece a multiplicação e permanência no campo durante todo o ano, pois devido a adaptação às diferentes culturas agrícolas cultivadas no país, as quais são cultivadas repetidamente em sucessão, é desafiador reduzir sua densidade populacional. Assim, *S. frugiperda* consegue permanecer no campo até o próximo plantio do milho, seu hospedeiro preferencial (Silva et al., 2017).

Na cultura do milho, *S. frugiperda* pode acarretar danos a todos os estádios de desenvolvimento e causar perdas significativas, de 17 a 39% (Cruz, 1995a; Silva et al., 2022b). As lagartas mais jovens, de primeiro e segundo instar, se alimentam da epiderme e parênquima foliar, causando inicialmente injúria denominada raspagem (Toscano et al., 2012). Conforme as lagartas se desenvolvem, ficam mais agressivas e causam orifícios cada vez maiores nas folhas, reduzindo a área fotossintética e índices de produtividade das lavouras (Farinelli & Fornasieri Filho, 2006; Toscano et al., 2012).

Os maiores danos ocorrem após a formação do cartucho do milho, onde o inseto se aloja, podendo danificar o meristema apical e causar a morte da planta (Araújo et al., 2011). Além disso, no interior do cartucho o inseto fica protegido da ação de inseticidas, limitando e reduzindo a eficácia do principal método de controle utilizado para o seu manejo (Araújo et al., 2011; Paredes-Sánchez et al., 2021).

A presença de *S. frugiperda* durante todo o ano agrícola ocasiona o uso indevido dos inseticidas, que são aplicados mais vezes e em maiores doses, trazendo diversos riscos ao ambiente e à saúde humana, além de ocasionar ressurgência, surtos de pragas secundárias e grande pressão de seleção de populações resistentes (Araújo et al., 2011; Paredes-Sánchez et al., 2021). Em vista disso, relatos de populações resistentes têm sido cada vez mais frequentes em todo o mundo para compostos como DDT, organofosforados, carbamatos e piretróides (Guan et al., 2021; Okuma et al., 2018; Zhao et al., 2020).

Plantas transgênicas com genes *Bt* compõem outra estratégia utilizada mundialmente para o manejo de *S. frugiperda* (Maggio et al., 2022). Entretanto, também têm ocasionado a seleção de populações resistentes, com relatos de resistência a proteínas Cry1 em Porto Rico, Brasil, Argentina e nos Estados Unidos (Horikoshi et al., 2016; Huang, 2021; Machado et al., 2020; Storer, Kubiszak, Ed King, Thompson & Santos, 2012). Além disso, a suscetibilidade de *S. frugiperda* tanto ao controle químico quanto às plantas *Bt* depende do estágio de desenvolvimento, sendo maior, principalmente, no primeiro instar (Paredes-Sánchez et al., 2021), o que limita a eficácia e aplicabilidade destes métodos.

A adoção de programas de Manejo Integrado de Pragas proporciona opções para minimizar os problemas causados pelo controle químico, focando na utilização de inimigos naturais. Muitas vezes a escolha e a aplicação de inseticidas não leva em conta a presença destes organismos benéficos, podendo impactá-los negativamente (Araújo et al., 2011). A estratégia mais sustentável seria primeiramente avaliar o serviço ecossistêmico oferecido pelos insetos antagonistas que já estão presentes naturalmente nas lavouras, e utilizar agentes biológicos (predadores, parasitoides e entomopatógenos) como ferramentas de controle. Adicionalmente, as injúrias causadas pela lagarta-do-cartucho tendem ser maiores quando os inimigos naturais não estão presentes no campo (Figueiredo et al., 2006).

Vários inimigos naturais são considerados promissores agentes de controle biológico de *S. frugiperda*, por reduzirem efetivamente sua densidade populacional (Maggio et al., 2022). Dentre os mais de 100 parasitoides que regulam a espécie, destacam-se *Telenomus remus* Nixon (Hymenoptera: Platygasteridae), *Trichogramma* spp. (Hymenoptera: Trichogrammatidae) e moscas da família Tachinidae (Figueiredo et al., 2006; Sisay et al., 2018; Wengrat et al., 2021). Já entre os predadores, os mais comumente encontrados em cultivos de milho são tesourinhas, joaninhas, carabídeos e crisopídeos (Dutra et al., 2012; Reis et al., 1988).

A lagarta-do-cartucho também é infectada por um grande número de entomopatógenos, sejam bactérias, fungos ou vírus (Berretta, Rios & Sciocco de Cap, 1998; Gardner & Fuxa, 1980; Vera, Valverde, Popich & Toledo, 1995). Dentre estes antagonistas, os predadores são

ainda os menos estudados e cuja contribuição na supressão de populações é mais difícil de ser estimada no campo (Maggio et al., 2022).

Potencial de *Doru luteipes* na regulação de *Spodoptera frugiperda*

A primeira pesquisa que avaliou o desempenho de *D. luteipes* sobre *S. frugiperda*, considerando a tesourinha um predador com potencial em campo, foi desenvolvida por Reis et al. (1988). As ninfas das tesourinhas apresentaram consumo médio de 465 lagartas recém-eclodidas, enquanto na fase adulta consumiram em média 2349 lagartas, sendo que os machos se alimentaram mais que as fêmeas. A longevidade média dos adultos alimentados apenas com lagartas foi de 113,7 dias, e não diferiu da longevidade de 83,2 dias apresentada por aqueles alimentados exclusivamente com os ovos de *S. frugiperda* (Figura 3). Estes resultados diferem dos observados por Silva et al. (2022) que obtiveram longevidade de apenas 44,6 dias para *D. luteipes* alimentada com neonatas de *S. frugiperda*.

Araújo et al. (2011) avaliaram a flutuação populacional de *D. luteipes* e *S. frugiperda* em cultivos de milho tradicional e *Bt*, e não constataram diferenças, concluindo que a tesourinha, além de não ser impactada negativamente pela tecnologia, ainda contribuiu para suprimir crescimentos populacionais da praga. De acordo com Souza et al. (2021), ninfas de quinto instar da tesourinha são capazes de se alimentar de 70 ovos e 43 neonatas de *S. frugiperda* em 24 horas, e sua capacidade predatória e comportamento de procura não é alterado quando se alimentam de lagartas resistentes à proteína Cry1F.

Estudos prévios demonstraram que fêmeas de *S. frugiperda* são capazes de diferenciar plantas de milho intactas de plantas que sofreram herbivoria, preferindo as plantas intactas (Signoretti, Peñaflor & Bento, 2012). Dessa forma, as mariposas identificam os compostos voláteis de plantas já atacadas e evitam a competição intraespecífica, sendo as posturas colocadas em plantas não infestadas (Pinto-Zevallos, Strapasson & Zarbin, 2016).

Por outro lado, sabe-se que, ao longo da evolução, as plantas desenvolveram mecanismos de proteção induzidos pela herbivoria, como o aumento na concentração de metabólitos secundários com efeito tóxico ou deterrente contra insetos e a liberação de compostos orgânicos voláteis (Mithöfer & Boland, 2012; Pinto-Zevallos et al., 2016). Estes voláteis atraem os inimigos naturais do inseto herbívoro, recrutando-os ao local de ocorrência e favorecendo o controle biológico (Clavijo McCormick, Unsicker & Gershenson, 2012).

A planta de milho, ao ser consumida por lagartas de *S. frugiperda* assim como de *Spodoptera littoralis* (Boisduval) (Lepidoptera: Noctuidae), libera vários terpenoides, voláteis de folhas verdes e indol, compostos que são percebidos pelos insetos antagonistas e pelos

próprios insetos fitófagos (De Lange, Farnier, Gaudillat & Turlings, 2016; Degen, Dillmann, Marion-Poll & Turlings, 2004; Pinto-Zevallos et al., 2016).

Naranjo-Guevara et al. (2017) comprovaram que *D. luteipes* é capaz de detectar voláteis liberados por plantas de milho atacadas por *S. frugiperda* e *D. saccharalis*, conseguindo localizar as presas mesmo durante a noite. A atração foi maior para plantas danificadas a curto prazo (1-3 horas). Os pesquisadores ressaltaram que, mesmo após jejum de 48 horas, a tesourinha foi capaz de localizar e se alimentou de *S. frugiperda* exclusivamente no período noturno, principalmente entre 19 e 21 horas. *D. luteipes* também é atraída pelos voláteis de plantas de rúcula *Eruca sativa* (Brassicaceae) danificadas por *S. frugiperda* (Bell, Naranjo-Guevara, Dos Santos, Meadow & Bento, 2020).

Contudo, ninfas de *D. luteipes* alimentadas exclusivamente com ovos de *S. frugiperda* apresentam prolongamento da fase ninfal e maior taxa de mortalidade (Marucci et al., 2019). Portanto, a alimentação exclusiva com ovos não garante os nutrientes necessários ao desenvolvimento pleno da espécie. Sabe-se que a suplementação da alimentação da tesourinha com pólen do milho permite que ela sobreviva em condições de baixa densidade de presas (Silva et al., 2022), além de aumentar taxas de sobrevivência e fertilidade (Marucci et al., 2019).

No Brasil, *D. luteipes* é encontrada durante todo o ano, inclusive durante os estádios de desenvolvimento do milho, quando *S. frugiperda* apresenta grande ocorrência (Marucci et al., 2019). Todavia, o pico populacional do predador coincide com o estágio reprodutivo do milho, pois o pólen desempenha papel essencial na atração e manutenção da tesourinha no campo (Maggio et al., 2022; Pacheco et al., 2023), o que pode ocasionar certo atraso na supressão da praga.

Além disso, adultos de *D. luteipes* não se alimentam de lagartas de *S. frugiperda* a partir do quarto instar, devido a maior rigidez do exoesqueleto (Silva et al., 2022). Logo, estratégias para adiantar a chegada do predador devem ser tomadas para que a tesourinha chegue à lavoura quando o milho é mais suscetível a praga (Maggio et al., 2022) e encontre suas presas na fase de desenvolvimento em que é capaz de consumi-las (ovos e neonatas), evitando injúrias.

A utilização de plantas de cobertura que produzem grande quantidade de pólen, durante a entressafra do milho, é uma estratégia que permitiria atrair previamente *D. luteipes*, entre outros inimigos naturais. Assim, estes agentes de biocontrole já estariam na lavoura desde a implantação da cultura, e atuariam sobre as primeiras gerações de *S. frugiperda*. Porém, há uma lacuna em relação as espécies de plantas especializadas no recrutamento de *D. luteipes*.

Conclusões

Na elaboração desta revisão foram consultadas 26 obras que utilizaram a tesourinha *D. luteipes* como objeto de estudo principal ou secundário. Destas, 23 pesquisas foram realizadas no Brasil e três na Argentina. Das pesquisas realizadas no Brasil, 58% foram desenvolvidas por instituições de ensino e/ou pesquisa de Minas Gerais e 31% de São Paulo. Esta predominância já era esperada, pois por várias décadas estes foram dois dos principais estados produtores de milho, e a maioria das pesquisas foram desenvolvidas com inimigos naturais, predadores e parasitoides, presentes na região.

Os dados levantados evidenciaram a identidade de *D. luteipes* com a cultura do milho e a importância de manter um predador voraz, longo e de hábito críptico abrigado para regular a população de pequenos artrópodes-pragas (pulgões, tripes, ovos e neonatas de Lepidoptera), além de ter potencial em reduzir estruturas fúngicas e, na ausência de presas, utilizar o pólen como alimento suplementar. Na agricultura tropical, a manutenção de predadores generalistas e onívoros é o ponto chave para lidar com a alta pressão e surto de pragas, estratégia que deve ser priorizada.

Referências

- Aladesanmi, O. T., Oroboade, J. G., Osisiogu, C. P., & Osewole, A. O. (2019). Bioaccumulation factor of selected heavy metals in *Zea mays*. *Journal of Health & Pollution*, 9(24), 191207. <https://doi.org/10.5696/2156-9614-9.24.191207>
- Alvarenga, C. D., Vendramim, J. D., & Cruz, I. (1995). Biologia e predação de *Doru luteipes* (Scud.) sobre *Schizaphis graminum* (Rond.) criado em diferentes genótipos de sorgo. *Anais Da Sociedade Entomológica Do Brasil*, 24(3), 523–531.
- Alvarenga, C. D., Vendramim, J. D., & Cruz, I. (1996). Efeito do predador *Doru luteipes* (Scud.) sobre o crescimento populacional de *Schizaphis graminum* (Rond.) em diferentes genótipos de sorgo. *Anais Da Sociedade Entomológica Do Brasil*, 25(1), 137–140.
- Araújo, L. F., Silva, A. G., Cruz, I., Carmo, E. L., Horvath Neto, A., Goulart, M. M. P., & Rattes, J. F. (2011). Flutuação Populacional de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), *Diatraea saccharalis* (Fabricius) e *Doru luteipes* (Scudder) em Milho Convencional e Transgênico BT. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 10(3), 205–214. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v10n3p205-214>
- Bacci, L., Picanço, M. C., Gusmão, M. R., Barreto, R. W., & Galvan, T. L. (2002). Inseticidas seletivos à tesourinha *Doru luteipes* (Scudder) utilizados no controle do pulgão verde em brássicas. *Horticultura Brasileira*, 20(2), 174–179. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362002000200011>
- Bacci, L., Picanço, M. C., Gusmão, M. R., Crespo, A. L. B., Eliseu, E., & Pereira, J. G. (2001). Seletividade de inseticidas a *Brevicoryne brassicae* (L.) (Hemiptera: Aphididae) e ao predador *Doru luteipes* (Scudder) (Dermaptera: Forficulidae). *Neotropical Entomology*, 30(4), 707–713.
- Badji, C. A., Guedes, R. N. C., Silva, A. A., & Araújo, R. A. (2004). Impact of deltamethrin on arthropods in maize under conventional and no-tillage cultivation. *Crop Protection*, 23(11), 1031–1039. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2004.03.003>
- Bell, K., Naranjo-Guevara, N., Dos Santos, R. C., Meadow, R., & Bento, J. M. S. (2020). Predatory earwigs are attracted by herbivore-induced plant volatiles linked with plant growth-promoting rhizobacteria. *Insects*, 11(5), 271–282. <https://doi.org/10.3390/insects11050271>
- Berretta, M. F., Rios, M. L., & Sciocco de Cap, A. (1998). Characterization of a nuclear polyhedrosis virus of *Spodoptera frugiperda* from Argentina. *Journal of Invertebrate Pathology*, 71(3), 280–282. <https://doi.org/10.1006/jipa.1997.4731>

- Bueno, R. C. O. de F., Carneiro, T. R., Bueno, A. de F., Pratisoli, D., Fernandes, O. A., & Vieira, S. S. (2010). Parasitism capacity of *Telenomus remus* Nixon (Hymenoptera: Scelionidae) on *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) eggs. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 53(1), 133–139. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132010000100017>
- Burdon, J. J., & Zhan, J. (2020). Climate change and disease in plant communities. *PLOS Biology*, 18(11), e3000949. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000949>
- Cairns, J. E., Sonder, K., Zaidi, P. H., Verhulst, N., Mahuku, G., Babu, R., ... Prasanna, B. M. (2012). Maize production in a changing climate. In D. L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy* (Vol. 114, pp. 1–58). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394275-3.00006-7>
- Campos, M. R., Picanço, M. C., Martins, J. C., Tomaz, A. C., & Guedes, R. N. C. (2011). Insecticide selectivity and behavioral response of the earwig *Doru luteipes*. *Crop Protection*, 30(12), 1535–1540. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.08.013>
- Chapman, J. W., Williams, T., Martínez, A. M., Cisneros, J., Caballero, P., Cave, R. D., & Goulson, D. (2000). Does cannibalism in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) reduce the risk of predation? *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 48(4), 321–327. <https://doi.org/10.1007/s002650000237>
- Clark, P. L., Molina-Ochoa, J., Martinelli, S., Skoda, S. R., Isenhour, D. J., Lee, D. J., ... Foster, J. E. (2007). Population variation of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in the Western Hemisphere. *Journal of Insect Science*, 7(5), 1–10. <https://doi.org/10.1673/031.007.0501>
- Clavijo McCormick, A., Unsicker, S. B., & Gershenzon, J. (2012). The specificity of herbivore-induced plant volatiles in attracting herbivore enemies. *Trends in Plant Science*, 17(5), 303–310. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.03.012>
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. (2023). Acompanhamento da safra brasileira: grãos safra 2021/2022.
- Costa, E. N., Fernandes, M. G., Medeiros, P. H., & Evangelista, B. M. D. (2020). Resistance of maize landraces from Brazil to fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in the winter and summer seasons. *Plant Protection*, 79(3), 377–386. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200034>
- Cruz, I. (1991). Potencial de *Doru luteipes* como predador de *Spodoptera frugiperda* em condições de campo. *Relatório Técnico Anual Do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo*, 4, 85–86.

- Cruz, I. (1995a). *A lagarta-do-cartucho na cultura do milho* (Vol. 21, p. 45p). Vol. 21, p. 45p. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS.
- Cruz, I. (1995b). Manejo integrado de pragas de milho com ênfase para o controle biológico. *Anais Da Sociedade Entomológica Do Brasil*, 24(4), 48–92.
- Cruz, I., Alvarenga, C. D., & Figueiredo, P. E. F. (1995). Biologia de *Doru luteipes* (Scudder) e sua capacidade predatória de ovos de *Helicoverpa zea* (Boddie). *Anais Da Sociedade Entomológica Do Brasil*, 24(2), 273–278. <https://doi.org/10.37486/0301-8059.v24i2.1027>
- Cruz, I., Figueiredo, M. L. C., Oliveira, A. C., & Vasconcelos, C. A. (1999). Damage of *Spodoptera frugiperda* (Smith) in different maize genotypes cultivated in soil under three levels of aluminium saturation. *International Journal of Pest Management*, 45(4), 293–296. <https://doi.org/10.1080/096708799227707>
- De Groote, H., Kimenju, S. C., Munyua, B., Palmas, S., Kassie, M., & Bruce, A. (2020). Spread and impact of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) in maize production areas of Kenya. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 292, 106804. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106804>
- De Lange, E. S., Farnier, K., Gaudillat, B., & Turlings, T. C. J. (2016). Comparing the attraction of two parasitoids to herbivore-induced volatiles of maize and its wild ancestors, the teosintes. *Chemoecology*, 26(1), 33–44. <https://doi.org/10.1007/s00049-015-0205-6>
- Degen, T., Dillmann, C., Marion-Poll, F., & Turlings, T. C. J. (2004). High genetic variability of herbivore-induced volatile emission within a broad range of maize inbred lines. *Plant Physiology*, 135(4), 1928–1938. <https://doi.org/10.1104/pp.104.039891>
- Deshmukh, S. S., Kalleshwaraswamy, C. M., Asokan, R., Mahadeva Swamy, H. M., Maruthi, M. s., Pavithra, H. B., ... Goergen, G. (2018). First report of the Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J E Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), an alien invasive pest on maize in India project. *Pest Management in Horticultural Ecosystems*, 24(1), 23–29. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/327704289>
- Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Tigchelaar, M., Battisti, D. S., Merrill, S. C., Huey, R. B., & Naylor, R. L. (2018). Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science*, 361(6405), 916–919. <https://doi.org/10.1126/science.aat3466>
- Dutra, C. C., Koch, R. L., Burkness, E. C., Meissle, M., Romeis, J., Hutchison, W. D., & Fernandes, M. G. (2012). *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) Exhibits No

- Preference between Bt and Non-Bt Maize Fed *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *PLoS ONE*, 7(9), e44867. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0044867>
- Erenstein, O. (2010). The evolving maize sector in Asia: Challenges and opportunities. *Journal of New Seeds*, 11(1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/15228860903517770>
- Erenstein, O., Jaleta, M., Sonder, K., Mottaleb, K., & Prasanna, B. M. (2022). Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. *Food Security*, 14(5), 1295–1319. <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7>
- FAO. (2021, August 31). FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. FAOSTAT.
- Farias, J. R., Andow, D. A., Horikoshi, R. J., Sorgatto, R. J., Fresia, P., dos Santos, A. C., & Omoto, C. (2014). Field-evolved resistance to Cry1F maize by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. *Crop Protection*, 64, 150–158. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.06.019>
- Farinelli, R., & Fornasieri Filho, D. (2006). Avaliação de dano de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em cultivares de milho. *Científica*, 34(2), 197–202.
- Fenoglio, M. S., & Trumper, E. V. (2007). Influence of weather conditions and density of *Doru luteipes* (Dermaptera: Forficulidae) on *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) egg mortality. *Environmental Entomology*, 36(5), 1159–1165. [https://doi.org/10.1603/0046-225x\(2007\)36\[1159:iowcad\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1603/0046-225x(2007)36[1159:iowcad]2.0.co;2)
- Fernandes, O. A., & Carneiro, T. R. (2006). Controle biológico de *Spodoptera frugiperda* no Brasil. In *Controle biológico de pragas na prática* (pp. 75–82). Piracicaba.
- Fernandes, Odair Aparecido, Faria, M., Martinelli, S., Schmidt, F., Carvalho, V. F., & Moro, G. (2007). Short-term assessment of bt maize on non-target arthropods in Brazil. *Scientia Agricola*, 64(3), 249–255. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162007000300006>
- Figueiredo, M. de L. C., Martins-Dias, A. M. P., & Cruz, I. (2006). Relação entre a lagarta-do-cartucho e seus agentes de controle biológico natural na produção de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(12), 1693–1698. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006001200002>
- García-Lara, S., & Serna-Saldivar, S. O. (2019). Corn History and Culture. In *Corn* (pp. 1–18). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00001-2>
- Gardner, W. A., & Fuxa, J. R. (1980). Pathogens for the suppression of the fall armyworm. *The Florida Entomologist*, 63(4), 439. <https://doi.org/10.2307/3494527>
- Goergen, G., Kumar, P. L., Sankung, S. B., Togola, A., & Tamò, M. (2016). First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J E Smith) (Lepidoptera,

- Noctuidae), a new alien invasive pest in West and Central Africa. *PLOS ONE*, *11*(10), e0165632. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165632>
- Guan, F., Zhang, J., Shen, H., Wang, X., Padovan, A., Walsh, T. K., ... Wu, Y. (2021). Whole-genome sequencing to detect mutations associated with resistance to insecticides and Bt proteins in *Spodoptera frugiperda*. *Insect Science*, *28*(3), 627–638. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12838>
- Guerreiro, J. C., Filho, E. B., & Busoli, A. C. (2003). Ocorrência estacional de *Doru luteipes* na cultura do milho em São Paulo, Brasil. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, (70), 46–49.
- Guo, J., Zhang, M., Gao, Z., Wang, D., He, K., & Wang, Z. (2021). Comparison of larval performance and oviposition preference of *Spodoptera frugiperda* among three host plants: Potential risks to potato and tobacco crops. *Insect Science*, *28*(3), 602–610. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12830>
- Haas, F. (2021). Dermaptera. In *Insetos do Brasil: Diversidade e taxonomia* (1st ed., pp. 297–307). Ribeirão Preto: Holos.
- Hampf, A. C., Nendel, C., Strey, S., & Strey, R. (2021). Biotic yield losses in the Southern Amazon, Brazil: Making use of smartphone-assisted plant disease diagnosis data. *Frontiers in Plant Science*, *12*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.621168>
- He, L., Wang, T., Chen, Y., Ge, S., Wyckhuys, K. A. G., & Wu, K. (2021a). Larval diet affects development and reproduction of East Asian strain of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Journal of Integrative Agriculture*, *20*(3), 736–744. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62879-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62879-0)
- He, L., Zhao, S., Gao, X., & Wu, K. (2021b). Ovipositional responses of *Spodoptera frugiperda* on host plants provide a basis for using Bt-transgenic maize as trap crop in China. *Journal of Integrative Agriculture*, *20*(3), 804–814. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63334-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63334-2)
- Hehar, G., Gries, R., & Gries, G. (2008). Re-analysis of pheromone-mediated aggregation behaviour of European earwigs. *The Canadian Entomologist*, *140*(6), 674–681. <https://doi.org/10.4039/n08-026>
- Heleodoro, R. A. (2021). Forficulidae in Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil.
- Horikoshi, R. J., Bernardi, D., Bernardi, O., Malaquias, J. B., Okuma, D. M., Miraldo, L. L., ... Omoto, C. (2016). Effective dominance of resistance of *Spodoptera frugiperda* to Bt maize and cotton varieties: implications for resistance management. *Scientific Reports*, *6*(1), 34864. <https://doi.org/10.1038/srep34864>

- Horikoshi, R. J., Dourado, P. M., Berger, G. U., de S. Fernandes, D., Omoto, C., Willse, A., ... Corrêa, A. S. (2021). Large-scale assessment of lepidopteran soybean pests and efficacy of Cry1Ac soybean in Brazil. *Scientific Reports*, *11*(1), 15956. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95483-9>
- Huang, F. (2021). Resistance of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, to transgenic *Bacillus thuringiensis* Cry1F corn in the Americas: lessons and implications for Bt corn IRM in China. *Insect Science*, *28*(3), 574–589. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12826>
- Jarvis, K. J., Haas, F., & Whiting, M. F. (2005). Phylogeny of earwigs (Insecta: Dermaptera) based on molecular and morphological evidence: reconsidering the classification of Dermaptera. *Systematic Entomology*, *30*(3), 442–453. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113.2004.00276.x>
- Kennett, D. J., Prufer, K. M., Culleton, B. J., George, R. J., Robinson, M., Trask, W. R., ... Gutierrez, S. M. (2020). Early isotopic evidence for maize as a staple grain in the Americas. *Science Advances*, *6*(23). <https://doi.org/10.1126/sciadv.aba3245>
- Machado, E. P., dos S. Rodrigues Junior, G. L., Führ, F. M., Zago, S. L., Marques, L. H., Santos, A. C., ... Bernardi, O. (2020). Cross-crop resistance of *Spodoptera frugiperda* selected on *Bt* maize to genetically-modified soybean expressing Cry1Ac and Cry1F proteins in Brazil. *Scientific Reports*, *10*(1), 10080. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67339-1>
- Maggio, D. H., Rossetti, V. Z., Santos, L. M. A., Carmezini, F. L., & Corrêa, A. S. (2022). A Molecular Marker to Identify, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) DNA in Predators' Gut Content. *Insects*, *13*(7), 635–646. <https://doi.org/10.3390/insects13070635>
- Maino, J. L., Schouten, R., Overton, K., Day, R., Ekesi, S., Bett, B., ... Reynolds, O. L. (2021). Regional and seasonal activity predictions for fall armyworm in Australia. *Current Research in Insect Science*, *1*, 100010. <https://doi.org/10.1016/j.cris.2021.100010>
- Marucci, R. C., Souza, I. L., Silva, L. O., Auad, A. M., & Mendes, S. M. (2019). Pollen as a component of the diet of *Doru luteipes* (Scudder, 1876) (Dermaptera: Forficulidade). *Brazilian Journal of Biology*, *79*(4), 584–588. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.184072>
- Miedaner, T., & Juroszek, P. (2021, June 1). Global warming and increasing maize cultivation demand comprehensive efforts in disease and insect resistance breeding in north-western Europe. *Plant Pathology*, Vol. 70, pp. 1032–1046. Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/ppa.13365>

- Mithöfer, A., & Boland, W. (2012). Plant Defense Against Herbivores: Chemical Aspects. *Annual Review of Plant Biology*, 63(1), 431–450. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042110-103854>
- Montezano, D. G., Specht, A., Sosa-Gómez, D. R., Roque-Specht, V. F., Sousa-Silva, J. C., Paula-Moraes, S. V., ... Hunt, T. E. (2018, September 1). Host Plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *African Entomology*, Vol. 26, pp. 286–300. Entomological Society of Southern Africa. <https://doi.org/10.4001/003.026.0286>
- Mueller, D. S., Wise, K. A., Sisson, A. J., Allen, T. W., Bergstrom, G. C., Bissonnette, K. M., ... Wiebold, W. J. (2020). Corn yield loss estimates due to diseases in the United States and Ontario, Canada, from 2016 to 2019. *Plant Health Progress*, 21(4), 238–247. <https://doi.org/10.1094/PHP-05-20-0038-RS>
- Nagoshi, R. N., Rosas-Garcia, N. M., Meagher, R. L., Fleischer, S. J., Westbrook, J. K., Sappington, T. W., ... Murua, G. M. (2015). Haplotype profile comparisons between *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) populations from Mexico with those from Puerto Rico, South America, and the United States and their implications to migratory behavior. *Journal of Economic Entomology*, 108(1), 135–144. <https://doi.org/10.1093/jee/tou044>
- Naranjo-Guevara, N., Peñaflor, M. F. G. V., Cabezas-Guerrero, M. F., & Bento, J. M. S. (2017). Nocturnal herbivore-induced plant volatiles attract the generalist predatory earwig *Doru luteipes* Scudder. *The Science of Nature*, 104(9–10), 77. <https://doi.org/10.1007/s00114-017-1498-9>
- Neuffer, M. G. (1982). Growing maize for genetic purposes. In *Maize for biological research* (pp. 19–30). Grand Forks: University Press.
- Nóia Júnior, R. de S., & Sentelhas, P. C. (2020). Yield gap of the double-crop system of main-season soybean with off-season maize in Brazil. *Crop and Pasture Science*, 71(5), 445. <https://doi.org/10.1071/CP19372>
- Oerke, E. C. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, 144(1), 31–43. <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>
- Okuma, D. M., Bernardi, D., Horikoshi, R. J., Bernardi, O., Silva, A. P., & Omoto, C. (2018). Inheritance and fitness costs of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) resistance to spinosad in Brazil. *Pest Management Science*, 74(6), 1441–1448. <https://doi.org/10.1002/ps.4829>

- Oliveira, C. M., Auad, A. M., Mendes, S. M., & Frizzas, M. R. (2014). Crop losses and the economic impact of insect pests on Brazilian agriculture. *Crop Protection*, *56*, 50–54. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.10.022>
- Oliveira, Charles Martins de, & Frizzas, M. R. (2022). Eight decades of *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott) (Hemiptera, Cicadellidae) in Brazil: What we know and what we need to know. *Neotropical Entomology*, *51*(1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s13744-021-00932-9>
- Pacheco, R. C., Silva, D. D., Mendes, S. M., Lima, K. P., Figueiredo, J. E. F., & Marucci, R. C. (2023). How omnivory affects the survival and choices of earwig *Doru luteipes* (Scudder) (Dermaptera: Forficulidae)? *Brazilian Journal of Biology*, *83*, e243890. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.243890>
- Paliwal, R. L., Granados, G., Lafitte, H. R., Violic, A. D., & Marathree J. P. (2000). Tropical Maize: Improvement and Production. *FAO Plant Production and Protection Series*, (28), 1–363.
- Paredes-Sánchez, F. A., Rivera, G., Bocanegra-García, V., Martínez-Padrón, H. Y., Berrones-Morales, M., Niño-García, N., & Herrera-Mayorga, V. (2021, September 1). Advances in control strategies against *Spodoptera frugiperda*. A review. *Molecules*, Vol. 26, p. 5587. MDPI. <https://doi.org/10.3390/molecules26185587>
- Pasini, A., Parra, J. R. P., & Lopes, J. M. (2007). Dieta artificial para criação de *Doru luteipes* (Scudder) (Dermaptera: Forficulidae), predador da lagarta-do-cartucho do milho, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Neotropical Entomology*, *36*(2). <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2007000200020>
- Paula, Dc. D. S. P., Barros, S. K. A., Pitta, R. M., Barreto, M. R., Togawa, R. C., & Andow, D. A. (2022). Metabarcoding versus mapping unassembled shotgun reads for identification of prey consumed by arthropod epigeal predators. *GigaScience*, *11*. <https://doi.org/10.1093/gigascience/giac020>
- Pedroso, E. do C., Otuka, A. K., Veiga, A. C. P., Magalhães, G. de O., & De Bortoli, S. A. de. (2010). Consumo e desenvolvimento de *Doru luteipes* (Scudder) alimentado com ovos de *Plutella xylostella* (L.). *Horticultura Brasileira*, *28*(2), 672–675. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/236079914>
- Picanço, M. C., Galvan, T. L., Galvão, J. C. C., Silva, E. do C., & Gontijo, L. M. (2003). Intensidades de perdas, ataque de insetos-praga e incidência de inimigos naturais em cultivares de milho em cultivo de safrinha. *Ciência e Agrotecnologia*, *27*(2), 339–347. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542003000200013>

- Pinto-Zevallos, D. M., Strapasson, P., & Zarbin, P. H. G. (2016). Herbivore-induced volatile organic compounds emitted by maize: Electrophysiological responses in *Spodoptera frugiperda* females. *Phytochemistry Letters*, *16*, 70–74.
<https://doi.org/10.1016/j.phytol.2016.03.005>
- Pitre, H. N., & Hogg, D. B. (1983). Development of the fall armyworm on cotton, soybean and corn. *Journal of the Georgia Entomological Society*, *18*(2), 182–187.
- Porter, J. R., Challinor, A. J., Henriksen, C. B., Howden, S. M., Martre, P., & Smith, P. (2019). Invited review: Intergovernmental Panel on Climate Change, agriculture, and food – A case of shifting cultivation and history. *Global Change Biology*, *25*(8), 2518–2529. <https://doi.org/10.1111/gcb.14700>
- Prowell, D. P., McMichael, M., & Silvain, J. F. (2004). Multilocus genetic analysis of host use, introgression, and speciation in host strains of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Annals of the Entomological Society of America*, *97*(5), 1034–1044.
- Redoan, A. C. M., Cruz, I., Amâncio, M. B., da Silva, C. A., da Silva, R. B., & Silva, C. R. S. (2014). Preferência alimentar de *Doru luteipes* a ovos de *Anagasta kuehniella*, *Spodoptera frugiperda* e *Helicoverpa armigera*. *XXX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO*. Retrieved from
<http://www.portaldocampo.com.br/culturas/milho/panora>
- Reis, L. L., Oliveira, L. J., & Cruz, I. (1988). Biologia e potencial de *Doru luteipes* no controle de *Spodoptera frugiperda*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *23*(4), 333–342.
- Ribeiro, C. I., César, C., Coelho, S., Rocha, M. S., De Oliveira Martins, L., Damasceno, N. C., ... Mendes, S. M. (2017). Capacidade predatória de *Doru luteipes* e *Euborellia annulipes* sobre *Helicoverpa armigera*. *SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA PIBIC/BIC JÚNIOR*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo.
- Romero Sueldo, G. M., & Virla, E. G. (2017). Datos biológicos de *Doru luteipes* (Dermaptera: Forficulidae) en plantaciones de caña de azúcar y consumo de huevos de *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) en condiciones de laboratorio. *Revista de La Sociedad Entomológica Argentina*, *68*(3), 359–363.
- Romero Sueldo, Gladys M., Virla, E. G., Contarini, M., Van Nieuwenhove, G. A., & Speranza, S. (2023). Evaluation of *Doru lineare* (Dermaptera: Forficulidae) effectiveness against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and its potential protection of maize seedlings. *Revista de La Sociedad Entomologica Argentina*, *82*(2), 46–53.
<https://doi.org/10.25085/rsea.820206>

- Romero Sueldo, M., Dode, M., & Virla, E. G. (2014). Depredación de *Doru luteipes* y *D. lineare* (Dermaptera: Forficulidae) sobre *Rhopalosiphum maidis* (Hemiptera: Aphididae) en condiciones de laboratorio. *Acta Zoológica Lilloana*, 58(1), 73–79.
- Russo, M. L., Scorsetti, A. C., Vianna, M. F., Cabello, M., Ferreri, N., & Pelizza, S. (2019). Endophytic effects of *Beauveria bassiana* on corn (*Zea mays*) and its herbivore, *Rachiplusia nu* (Lepidoptera: Noctuidae). *Insects*, 10(4), 110–118.
<https://doi.org/10.3390/insects10040110>
- Shiferaw, B., Prasanna, B. M., Hellin, J., & Bänziger, M. (2011). Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security. *Food Security*, 3(3), 307–327. <https://doi.org/10.1007/s12571-011-0140-5>
- Signoretto, A. G. C., Peñaflor, M. F. G. V., & Bento, J. M. S. (2012). Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), female moths respond to herbivore-induced corn volatiles. *Neotropical Entomology*, 41(1), 22–26.
<https://doi.org/10.1007/s13744-011-0003-y>
- Silva, D. D. da, Mendes, S. M., Parreira, D. F., Pacheco, R. C., Marucci, R. C., Cota, L. V., ... Figueiredo, J. E. F. (2022a). Fungivory: a new and complex ecological function of *Doru luteipes* (Scudder) (Dermaptera: Forficulidae). *Brazilian Journal of Biology*, 82.
<https://doi.org/10.1590/1519-6984.238763>
- Silva, D. M., Bueno, A. de F., Andrade, K., Stecca, C. dos S., Neves, P. M. O. J., & de Oliveira, M. C. N. (2017). Biology and nutrition of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) fed on different food sources. *Scientia Agricola*, 74(1), 18–31.
<https://doi.org/10.1590/1678-992x-2015-0160>
- Silva, H. E. G. da, Brito, C. H. de, & Oliveira, R. de. (2022b). Biological aspects and predatory capacity of *Doru luteipes* when fed with *Spodoptera frugiperda*. *Revista Caatinga*, 35(2), 490–497. <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n224rc>
- Silva, G. A., Picanço, M. C., Ferreira, L. R., Ferreira, D. O., Farias, E. S., Souza, T. C., ... Pereira, E. J. G. (2018). Yield losses in transgenic Cry1Ab and non-bt corn as assessed using a crop-life-table approach. *Journal of Economic Entomology*, 111(1), 218–226.
<https://doi.org/10.1093/jee/tox346>
- Silva, L. P., Souza, I. L., Marucci, R. C., & Guzman-Martinez, M. (2022c). *Doru luteipes* (Dermaptera: Forficulidae) and *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae) as Nocturnal and Diurnal Predators of Thrips. *Neotropical Entomology*, 52(2), 263–272.
<https://doi.org/10.1007/s13744-022-00982-7>

- Sisay, B., Simiyu, J., Malusi, P., Likhayo, P., Mendesil, E., Elibariki, N., ... Tefera, T. (2018). First report of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), natural enemies from Africa. *Journal of Applied Entomology*, *142*(8), 800–804. <https://doi.org/10.1111/jen.12534>
- Souza, C. S. F., Silveira, L. C. P., Souza, B. H. S., Nascimento, P. T., Damasceno, N. C. R., & Mendes, S. M. (2021). Efficiency of biological control for fall armyworm resistant to the protein cry1f. *Brazilian Journal of Biology*, *81*(1), 154–163. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.224774>
- Storer, N. P., Kubiszak, M. E., Ed King, J., Thompson, G. D., & Santos, A. C. (2012). Status of resistance to Bt maize in *Spodoptera frugiperda*: Lessons from Puerto Rico. *Journal of Invertebrate Pathology*, *110*(3), 294–300. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2012.04.007>
- Sujii, E. R., Beserra, V. A., Ribeiro, P. H., Da Silva-Santos, P. V., Pires, C. S. S., Schmidt, F. G. V., Laumann, R. A. (2007). Community of natural enemies and natural biological control of the aphid *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) and cotton leafworm *Alabama argilacea* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae) in the cotton crop. *Arquivos Do Instituto Biológico*, *74*(4), 329–336. <https://doi.org/10.1590/1808-1657v74p3292007>
- Toscano, L. C., Calado Filho, G. C., Cardoso, A. M., Maruyama, W. I., & Tomquelski, G. (2012). Impacto de inseticidas sobre *Spodoptera Frugiperda* e seus inimigos naturais. *Arquivos Do Instituto Biológico*, *79*(2), 223–231.
- Tůmová, L., Tarkowská, D., Řehořová, K., Marková, H., Kočová, M., Rothová, O., ... Holá, D. (2018). Drought-tolerant and drought-sensitive genotypes of maize (*Zea mays* L.) differ in contents of endogenous brassinosteroids and their drought-induced changes. *PLOS ONE*, *13*(5), e0197870. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197870>
- USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. (2023, August 31). World agricultural production: circular series.
- Van Lenteren, J. C. (2012). The state of commercial augmentative biological control: plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake. *BioControl*, *57*(1), 1–20. <https://doi.org/10.1007/s10526-011-9395-1>
- Vera, M. L., Valverde, L., Popich, S. B., & Toledo, Z. D. A. (1995). Evaluación preliminar de los enemigos naturales de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em Tucumán, Argentina. *Acta Entomológica Chilena*, *19*, 135–141.
- Volp, T. M., Zalucki, M. P., & Furlong, M. J. (2022). What Defines a Host? Oviposition Behavior and Larval Performance of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on

Five Putative Host Plants. *Journal of Economic Entomology*, 115(6), 1744–1751.
<https://doi.org/10.1093/jee/toac056>

Wengrat, A. P. G. S., Coelho Junior, A., Parra, J. R. P., Takahashi, T. A., Foerster, L. A., Corrêa, A. S., ... Zucchi, R. A. (2021). Integrative taxonomy and phylogeography of *Telenomus remus* (Scelionidae), with the first record of natural parasitism of *Spodoptera* spp. in Brazil. *Scientific Reports*, 11(1), 14110. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93510-3>

Zhao, Y.-X., Huang, J.-M., Ni, H., Guo, D., Yang, F.-X., Wang, X., ... Gao, C.-F. (2020). Susceptibility of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith), to eight insecticides in China, with special reference to lambda-cyhalothrin. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 168, 104623.
<https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104623>

Figuras

Fig. 1. Fêmea de *Doru luteipes* se alimentando do pulgão *Rhopalosiphum padi*.



Fig. 2. Fêmea de *Doru luteipes* se alimentando de uredósporos de *Puccinia* sp.



Fig. 3. Fêmea de *Doru luteipes* consumindo ovos de *Spodoptera frugiperda*.

Tabelas

Tabela 1. Atuação predatória de *Doru luteipes*.

Presas	Ordem	Família	Estádio de desenvolvimento	Local de atuação	Fonte	
<i>Schizaphis graminum</i>	Hemiptera	Aphididae	Adultos e ninfas	Campo (sorgo)	Alvarenga et al. 1995 Alvarenga et al. 1996	
<i>Brevicoryne brassicae</i>				Laboratório	Bacci et al. 2001	
<i>Myzus persicae</i>					Bacci et al. 2002	
<i>Rhopalosiphum maidis</i>					Romero Sueldo et al. 2014 Marucci et al. 2019	
<i>Aphis gossypii</i>				Campo (algodão) Laboratório	Sujii et al. 2007	
<i>Caliothrips phaseoli</i>	Thysanoptera	Thripidae	Adultos	Laboratório	Silva et al. 2022c	
<i>Helicoverpa zea</i>	Lepidoptera	Noctuidae	Ovos	Laboratório	Cruz et al. 1995c	
<i>Helicoverpa armigera</i>					Ribeiro et al. 2017 Redoan et al. 2014	
<i>Spodoptera frugiperda</i>			Ovos e ninfas de 1 a 3º instar	Campo (milho) Laboratório	Reis et al. 1988 Araújo et al. 2011 Redoan et al. 2014 Naranjo-Guevara et al. 2017 Souza et al. 2021 Silva et al. 2022b	
<i>Diatraea saccharalis</i>			Crambidae	Ovos	Campo (milho) Laboratório	Fenoglio & Trumper 2007
<i>Plutella xylostella</i>			Plutellidae		Laboratório	Pedroso et al. 2010
<i>Ephestia kuehniella</i>	Pyralidae	Redoan et al. 2014				
<i>Puccinia polysora</i>	Pucciniales	Pucciniaceae	-	Campo (milho) Laboratório	Silva et al. 2022a Pacheco et al. 2023	

ARTIGO 2**New perspective on the role of *Doru luteipes* as a predator of the fall armyworm: Non-consumption effects, predatory preference and olfactory response**

(Manuscript written according to the Journal of Applied Entomology' guidelines)

Different aspects of the predatory action of *Doru luteipes* on *Spodoptera frugiperda*

Ana Luisa R. Silva¹; Patrick L. Gualberto¹; Sérgio D. Simão²; Izabela Regina C. de Oliveira²; Rosangela Cristina Marucci^{1*}

¹Department of Entomology, Federal University of Lavras (UFLA), Lavras, Brazil

²Department of Statistics, Federal University of Lavras (UFLA), Lavras, Brazil

*Correspondence

Rosangela Cristina Marucci, Biological Control Laboratory, Entomology Department, Federal University of Lavras, PO Box 3037, 37200-900, Lavras, State of Minas Gerais, Brazil.

E- mail: rosangelac.marucci@ufla.br

*Acknowledgments

We thank all people that work on Department of Entomology, Federal University of Lavras (UFLA), especially to the Biological Control laboratory. This research is part of the Masters Dissertation of Ana Luisa Rodrigues Silva and was supported by Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) and Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

(Preliminary version in English)

Abstract

In Brazil, the common earwig *Doru luteipes* (Scudder) (Dermaptera: Forficulidae) is considered an important biocontrol agent for the maize crop, consuming the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) eggs and young caterpillars. Despite this, several aspects of the tritrophic interaction between both species and the corn plant have not yet been studied. We aim to evaluate the non-consumption effects of earwigs on the oviposition of moths, the earwigs predatory preference between eggs and neonates, functional response on eggs and to clarify aspects related to their attraction to volatiles released by plants infested by *S. frugiperda* eggs and neonates and by *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus) (Hemiptera: Aphididae), considering that the earwig feeds on several aphid species, but its potential in locating them has not yet been explored. In no-choice tests between plants with or without the presence of the predator, *S. frugiperda* moths deposited a smaller number of eggs on plants with risk of predation. In choice-based tests, earwigs initially attacked caterpillars, but preferred to feed on eggs. Males and females fed more on eggs with increasing supply density and consumption was adjusted to the type II functional response curve. *D. luteipes* males were more efficient predators than females when exposed to higher egg densities. Mated females were able to detect and target plants damaged by *S. frugiperda* neonates, but not by *R. padi* adults. These findings clarify aspects of the predatory role of *D. luteipes* on *S. frugiperda* that had not yet been addressed and confirm that the earwig is an important biological control agent, potentially capable of impacting the colonization and population growth of *S. frugiperda* in maize crops, if there were conditions favorable to its early arrival.

Keywords: maize, biological control, olfactometry, predation, non-lethal effects, predator-prey interactions.

Introduction

The earwig *Doru luteipes* (Scudder) (Dermaptera: Forficulidae) is common and widely distributed in Brazilian territory (Reis et al., 1988; Cruz & Oliveira, 1997). In maize fields, its preferred habitat, the predator finds shelter during the day, microclimate with adequate humidity for embryonic development and different food sources (Cruz, 1995b; Jarvis et al., 2005; Marucci et al., 2019; Pasini et al., 2007).

Doru luteipes has high predatory capacity and a generalist habit, feeding on potential insect pests from the orders Lepidoptera, Hemiptera and Thysanoptera (Bacci et al., 2001; Cruz, 2007; Romero Sueldo, Dode & Virla, 2014; Silva, Souza, Marucci & Guzman-Martinez, 2022a). The earwig has the potential to protect the corn crop from planting to harvest, and feeds on pollen when there is low prey availability (Silva et al., 2022b). Furthermore, its thigmotactile habit allows it to have access to insects with a cryptic habit, which are often difficult to manage with traditional control methods (Jarvis et al., 2005; Silva et al., 2022a).

The earwig is considered an important predator of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), a key pest of maize, which preferentially feeds on eggs and neonate caterpillars (Silva et al., 2022c). In the field, a negative correlation is observed between populations of both species, characterized by significant population reductions of *S. frugiperda* on plants with at least one couple of the predator (Badji et al., 2004; Cruz, 1991).

Even though certain aspects of the direct action of *D. luteipes* on *S. frugiperda* have already been researched and elucidated, little is known about its indirect action, through the effects of non-consumption induced by fear of predation. The effects of non-consumption are exerted by the previous presence of the predator in the environment or through signs (auditory, olfactory and/or visual) indicating its presence, which can affect the behavior and physiology of the prey (DeWitt, Visscher, Schuler & Thiel, 2019; MacLeod, Krebs, Boonstra & Sheriff, 2018). These indirect effects may have a greater impact on prey population reduction than predation itself (Mestre, Narimanov, Menzel & Entling, 2020).

The exposure of moths, including *S. frugiperda*, to the risk of predation can impact the physiology and performance of offspring (Castellanos & Barbosa, 2006; Cinel, Hahn & Kawahara, 2020; Sun & Bai, 2020; Zhang et al., 2023), thus it is possible to predict that the previous presence of *D. luteipes* on the corn plant may affect the host selection of *S. frugiperda* for oviposition.

However, as it is attracted to pollen, the population peak of *D. luteipes* in the crop only occurs close to flowering, when oviposition has already occurred and, even, the hatching of *S.*

frugiperda neonates, resulting in leaf damage (Maggio et al., 2022; Marucci et al., 2019; Pacheco et al., 2023).

Eventually, when the earwig arrives at the corn plant, it finds neonate caterpillars and eggs close to hatching. Exposed to eggs and neonates, it can be attracted by the movement of neonates and attack them first, a behavior observed for other generalist predators (Eubanks & Denno, 2000; Venzon, Janssen & Sabelis, 2002). Previous studies indicated greater consumption of eggs than of neonates (Silva et al., 2022c), but the functional response type of *D. luteipes* to *S. frugiperda* has not yet been determined. Evaluating the ability of predators to seek out and attack preferred prey is important for selecting the best natural enemy, as well as defining the optimal population, when considering augmentative biological control programs (Lewis, Vet, Tumlinson, Van Lenteren & Papaj, 1990; Van Lenteren & Manzaroli, 1999).

Several studies refer to *D. luteipes* as one of the main predators of aphids in field and laboratory conditions (Alvarenga, Vendramim & Cruz, 1996; Bacci, Picanço, Gusmão, Barreto & Galvan, 2002; Bacci et al., 2001; Romero Sueldo et al., 2014; Sujii et al., 2007), although, little is known about their potential to locate and reduce the population of these insects.

We already know that *D. luteipes* is capable of locating the fall armyworm and sugarcane borer *Diatraea saccharalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae) over long distances through volatiles released by damaged maize plants (Bell et al., 2020; Naranjo-Guevara et al., 2017). In this case, the earwig is attracted to plants attacked by chewing insects, which, when feeding on the plant, activate jasmonic acid-dependent defensive responses (Kant et al., 2015; Walling, 2000). However, damage caused by phloem-feeding insects is often related to salicylic acid (Moran & Thompson, 2001), and the response of *D. luteipes* to plants attacked by aphids is unknown.

Conversely, substances secreted during oviposition are also capable of stimulating defense pathways in plants (Fatouros et al., 2012; Geiselhardt et al., 2013; Hilker & Meiners, 2010), and considering the olfactory capacity of *D. luteipes* in detecting its preferred prey, the earwig may be able to locate, at greater distances, *S. frugiperda* egg clutches.

Hence, the hypotheses that guided this research were: *i*) the previous presence of *D. luteipes* affects the oviposition capacity of *S. frugiperda*, *ii*) *D. luteipes* prefers to attack neonates first, but consumes more *S. frugiperda* eggs; *iii*) as for other predators, the consumption rate of *D. luteipes* increases with increasing density of *S. frugiperda* eggs supplied, and *iv*) *D. luteipes* is attracted to volatiles released by plants infested by *S. frugiperda* eggs and neonates, but not by aphid-infested plants.

Seeking to fill these gaps and confirm our hypotheses, we investigated: *i*) the non-consumption effects that the presence of *D. luteipes* can have on *S. frugiperda* females during host selection for oviposition, *ii*) the predatory preference of *D. luteipes* among *S. frugiperda* eggs and neonate caterpillars, *iii*) the functional response of *D. luteipes* to *S. frugiperda* eggs, and *iv*) the response of *D. luteipes* to volatiles released by corn plants damaged by aphids, infested by *S. frugiperda* eggs or newborn caterpillars.

Materials and methods

The experiments were carried out at the Laboratory of Biological Pest Control (LCBIOL) and Laboratory of Chemical Ecology of Insect-Plant Interactions (LEQIIP) located in the Department of Entomology (DEN) of the School of Agricultural Sciences of Lavras (ESAL) at the Federal University of Lavras (UFLA), Lavras, Minas Gerais, Brazil. All bioassays were carried out under controlled conditions ($25 \pm 2^\circ\text{C}$, $70 \pm 10\%$ UR and 14 hours photophase) and the experimental design was completely randomized. In the experiments we used corn plants of the conventional cultivar BRS1010, between the fifth and sixth vegetative development stages (V5 and V6).

Doru luteipes rearing

Male and female specimens from the *D. luteipes* stock population, maintained for several generations, were used in the bioassays. Adult insects were kept in plastic arenas (12.5×14.5 cm) with approximately 400 individuals, containing: corrugated cardboard as shelter, plastic cups with moistened cotton and transparent acrylic straws ($10 \text{ cm} \times 8 \text{ mm}$) in a vertical position and sealed at one end with cotton, serving as an oviposition shelter. Artificial diet composed of 35% cat food, 37% wheat germ, 23% brewer's yeast, 14% powdered milk, 0.5% Nipagim and 0.5% ascorbic acid was provided *ad libitum*.

Arena maintenance was carried out every three days and consisted of cleaning, replacing the diet, humidifying the cotton pads, removing the straws with egg clutches and inserting new oviposition shelters. Females with their respective egg clutches were removed from the arenas every week, transferred to smaller arenas (9.5×7.5 cm) with artificial shelter, diet and moistened cotton. The females returned to their respective rearing arenas 14 days after their removal, when maternal behavior was no longer observed, and the nymphs were kept apart until the adults' emergency. Part of these newly emerged adults was used in bioassays and part was used to compose new arenas.

***Spodoptera frugiperda* and *Rhopalosiphum padi* obtaining and rearing**

Aphids were collected in the field on corn plants tassels and subsequently identified as *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus) (Hemiptera: Aphididae). These aphids were then taken to the laboratory and kept in maize leaf cuttings (15 cm long) sanitized with neutral detergent to eliminate contaminants. These leaves were kept vertically in circular holes made in a Styrofoam board, kept in a plastic tray (43 × 29.5 × 7 cm) containing water. The basal end of the leaves remained in contact with water to ensure turgidity. The trays remained in a B.O.D. incubator and fresh leaves were provided weekly after cleaning the trays. As soon as the aphids migrated to the new leaves, the old ones were discarded.

Spodoptera frugiperda specimens were obtained from the rearing stock of the Laboratory of Ecotoxicology and Integrated Pest Management (Mendes, Boregas, Lopes, Waquil & Waquil, 2011). Two days old pupae were removed from rearing, sexed and separated in plastic containers (9.5 × 7.5 cm) until adults emerged. Newly emerged adults were transferred to new containers at a 1:1 density. In this way, mated females were obtained for the oviposition bioassay, eggs for the evaluation of functional response and predatory preference and neonate caterpillars for the infestation of plants used in olfactometry tests.

Effect of *Doru luteipes* presence on *Spodoptera frugiperda* oviposition

The bioassay consisted of a no-choice oviposition test for *S. frugiperda* females, between plants: *i*) without the presence of the earwig; *ii*) with the prior presence of the earwig. Each treatment was repeated 15 times.

The plant with the presence of the predator received, transferred from rearing, a female with its respective eggs, deposited no more than 48 hours before. In this way, the maternal care shown by *D. luteipes* and the fact that it rarely moves away from egg clutches allowed the earwig to remain on the plant throughout the test, without feeding. The earwig + egg clutch transfer was performed 24 hours before the start of the test. Plants from both treatments remained covered with voile fabric bags (38 × 56 cm) and artificial diet was supplied in a plastic container at the base of the plant during 24 hours. The voile fabric was fixed externally with a bamboo stick and then attached with elastic to the upper end of the vase.

In the late afternoon of the following day (5 pm), three copulated *S. frugiperda* females were released inside the voile fabric covering each plant. The fabric was attached higher up, so that the moths did not have contact with the surface of the pot or the soil, thus the leaf surface was the only substrate available for oviposition. The following morning (8 am), moths were

removed, and the effect of predator presence was assessed by counting the number egg clutches and eggs per plant. Egg clutches that were performed on voile fabric were not counted.

***Doru luteipes* preference between *Spodoptera frugiperda* eggs and neonate caterpillars**

The earwig's predation preference was evaluated in experimental arenas (9.5 × 7.5 cm) lined with filter paper (9.5 cm). Pure talcum powder was applied to the upper half of the containers' sides, preventing earwigs and newborn caterpillars from escaping. Twenty *S. frugiperda* eggs were deposited together on one side of the arena, while 20 neonates were distributed on the opposite side. Shortly after prey release, a newly emerged (48 to 72 hours) female earwig fasting for 24 hours was released into the center of the arena.

Each arena was observed for 15 minutes, during which the prey attacked first and the time until the first attack on each prey were noted. After this period, the earwig was removed, the number of remaining eggs and neonates was noted, and the consumption calculated. The experiment was carried out in scotophase and at night (7 pm to 9 pm), a period in which *D. luteipes* shows greater predatory activity (Naranjo-Guevara et al., 2017).

The choice was visualized using a white light flashlight covered with red cellophane paper, with 60 repetitions being carried out over four nights, with an earwig per repetition.

***Doru luteipes* functional response on *Spodoptera frugiperda* eggs**

The bioassay consisted of supplying five different densities (150, 200, 250, 300 and 350) of *S. frugiperda* eggs to male and female earwigs and was repeated 20 times. Eggs that were no more than 48 hours old and recently emerged earwigs, between 48 and 72 hours old and previously fasted for 24 hours, were used. After fasting, at 5 pm, an earwig was released into the Petri dish (9 × 1.5 cm) with the eggs clutch on one end and moistened cotton wool as a source of water on the opposite side. The number of remaining eggs was recorded 24 hours after exposure to the predator and the number of eggs consumed was calculated.

***Doru luteipes* olfactory response to herbivore-induced maize volatiles**

The olfactory response was evaluated using a Y-shaped olfactometer (15 cm in length and two cm in internal diameter, with an 120° angle between the arms). The tests were conducted in a LEQIIP room maintained under controlled conditions, during the night (7 pm to 9 pm). Treatments consisted of intact and infested maize plants (eggs, *S. frugiperda* neonate caterpillars or *R. padi* adults).

To obtain plants carrying *S. frugiperda* egg clutches, three mated moths were kept in contact with the plants overnight (5 pm to 8 am). After this period, the moths were removed. For neonate caterpillar infestation, 24 hours before the bioassay, 60 *S. frugiperda* neonates were transferred to corn plants. Finally, plants infested by aphids received, 48 hours before the bioassay, 30 adult females of *R. padi*. This way, there was time for the aphids to feed and begin to reproduce by parthenogenesis. Both neonates and aphids remained on the plant during the olfactometry test.

Moments before the tests, the plants were covered with a polyester plastic bag (41 × 33 cm) cut at the vertices, openings through which silicone hoses responsible for connecting the treatments to the side arms of the olfactometer were introduced. An air compressor introduced ambient air into the system, leading it to containers with activated carbon and distilled water for filtration and humidification, respectively. The air was then brought to the olfactometer arms at a flow rate of 350 mL/min/arm.

Doru luteipes female, fasted for 24 hours, was released into the central arm of the olfactometer and observed for five minutes, until it made a choice. Mated females aged 10 to 14 days, which would be in search of food and oviposition shelter, were used in all combinations. A choice was considered when the earwig crossed a line in the distal third of one of the olfactometer arms, remaining there for at least 20 seconds. Each earwig was tested only once, and those that did not respond within the period considered were classified as “non-response” and the result disregarded.

The position of the treatments on the olfactometer was inverted after every three responses, and every seven responses the Y-tube of the olfactometer was changed. Forty-two repetitions were performed per combination and each combination was performed over two nights. Each combination required six plants, exchanged every seven responses.

The olfactory response was evaluated against the following combinations: *i*) plant infested by neonates vs. intact plant (PIN vs. IP); *ii*) egg-infested plant vs. intact plant (EIP vs. IP); *iii*) plant infested by neonates vs. egg-infested plant (PIN vs. EIP); *iv*) aphid-infested plant vs. intact plant (AIP vs. IP); *v*) aphid-infested plant vs. egg-infested plant (AIP vs. EIP).

Statistical analysis

All statistical analysis were performed using the R program (R Core Team, 2022) (version 4.2.2). The bioassays, except for the functional response, were analyzed by fitting linear mixed models (GLMM) (Littell et al., 2000) through the *glmer* function of the *lmerTest* package. Treatment effects were considered fixed, and the effect of time was considered

random for bioassays that were performed over different nights. All variance components were estimated using the restricted maximum likelihood method. The quasi-Poisson distribution family was used for counting data, and the binomial distribution was used for binary data. Means were estimated using the *lsmeans* function from the *emmeans* package and comparisons between treatments were made using the Tukey test at 5% probability.

To determine the functional response model – FR (type I, II or III) – that best describes the relation between prey density and the number of eggs consumed, logistic regressions were fitted for each sex (Male and Female) using *frair:frair_test* (version 0.5.100) (Pritchard, Paterson, Bovy, & Barrios-O’Neill, 2017) The parameters *a* (capture/attack rate), *h* (handling time) and *T* (experimental time) were considered to create the FR curve.

The fixed parameter *T* was set to 24 h (1 day) and, after providing initial estimates, FR models were fit using maximum likelihood estimation in *frair:frair_fit* (Pritchard et al., 2017). To test differences in egg consumption for each sex, a logistic regression model was fitted. Raw data comparing the proportion of prey consumed between densities was plotted to verify the fit of the data with a Type II FR. Bootstrapping (n = 1500) was used to visualize the uncertainty around the adjusted FRs and construct 95% confidence intervals.

Results

Effect of *Doru luteipes* presence on *Spodoptera frugiperda* oviposition

Over a 15 h period, *S. frugiperda* moths oviposited a smaller number of eggs on plants with the presence of earwig, compared to those without the presence of the predator (GLM, quasi – Poisson, $\chi^2 = 5.41$, $GL = 1$, $P = 0.02$, Figure 1), with the average number of 118 ± 28 and 252 ± 54 eggs, respectively. Regarding the number of egg clutches, there was no difference between treatments (GLM, quasi – Poisson, $\chi^2 = 1.58$, $GL = 1$, $P = 0.209$).

Doru luteipes preference between *Spodoptera frugiperda* eggs and neonate caterpillars

The earwig fed on both preys, with no difference in attack frequency. (GLM, binomial, $\chi^2 = 2.57$, $GL = 1$, $P = 0.09$). *D. luteipes* attacked *S. frugiperda* neonate caterpillars first (GLM, binomial, $\chi^2 = 16.70$, $GL = 1$, $P < 0.001$, Figure 2), and faster (GLM, quasi – Poisson, $\chi^2 = 17.77$, $GL = 1$, $P < 0.001$), taking 3.6 ± 0.38 minutes to prey on caterpillars and 5.2 ± 0.52 minutes to prey on eggs. On the other hand, the earwig consumed a greater number of eggs (GLM, Poisson, $\chi^2 = 49.28$, $GL = 1$, $P < 0.001$, Figure 3) than neonates, with average consumption of 17.3 ± 0.61 and 12.4 ± 0.47 , respectively.

Doru luteipes functional response on *Spodoptera frugiperda* eggs

The number of *S. frugiperda* eggs consumed by *D. luteipes* increased with the increasing density of preys supplied and the *frair_test* function showed that the data followed a type II functional response (Rogers, 1972) for both males and females (Figure 4). The average number of preys consumed by males and females was similar at 150, 200, 250 and 300 egg densities (Table 1). However, at the 350 eggs density, males showed significantly higher consumption, consuming on average 40 eggs more than females (LM, ANOVA, $F = 5.07$, $GL = 1$, $P = 0.03$, Table 1). Concerning the parameters attack rate (a) and handling time (h), which underlie the functional response curve, there was also a difference between both sexes. Females had attack rate 2.3 times higher than males (*frair_compare*, $Z = 61.68$, $P < 0.001$, Table 2) and higher handling time (*frair_compare*, $Z = 18.67$, $P < 0.001$, Table 2). The maximum attack rate (T/h) was also calculated, with T being the total duration of the experiment (1 day). Females had a maximum attack rate of 116.68 eggs.day⁻¹ and males of 148.59 eggs.day⁻¹.

Doru luteipes olfactory response to herbivory-induced maize volatiles

Doru luteipes females responded and targeted volatiles released by plants infested by *S. frugiperda* neonate caterpillars against intact plants (GLM, binomial, $\chi^2 = 14.39$, $GL = 1$, $P < 0.001$, Figure 5) and against egg-infested plants (GLM, binomial, $\chi^2 = 24.60$, $GL = 1$, $P < 0.001$, Figure 5). On the contrary, they did not respond to volatiles induced by *R. padi* infestation when confronted with intact plants (GLM, binomial, $\chi^2 = 0.11$, $GL = 1$, $P = 0.74$, Figure 5), thus as to the volatiles of egg-infested plants against intact plants (GLM, binomial, $\chi^2 = 3.01$, $GL = 1$, $P = 0.08$, Figure 5). Nevertheless, among aphid-infested and egg clutch-infested plants, earwigs responded to the egg clutch-induced volatiles (GLM, binomial, $\chi^2 = 4.67$, $GL = 1$, $P = 0.03$, Figure 5).

Discussion

Interactions between predator and prey are a fundamental component for population balance, whether in natural environments or agricultural conditions (Zhou et al., 2023). Much of the work that addresses such interactions focuses on the effects of consumption, which result in a direct reduction in prey population (Carr & Hixon, 1995; Fumagalli & Motta, 2013). However, the risk of predation can also exert non-consumption or indirect effects, contributing to biological control without necessarily causing the death of a certain herbivore-prey (Preisser, Bolnick & Benard, 2005; Rendon, Whitehouse & Taylor, 2016). Non-consumption effects

occur due to stress-induced responses of prey that perceive the presence and attack potential of predators and may have an even greater impact than direct consumption effects (Preisser et al., 2005; Sun & Bai, 2020; Zhou et al., 2023).

Studies investigating these non-lethal effects in insect populations are still rare, but it has been observed that the stress caused by the presence of predators can induce behaviors that compromise feeding, oviposition and increase the exposure of insect pests to adverse environmental conditions, even favoring the action of other natural enemies (Freinschlag & Schausberger, 2016; Hermann & Thaler, 2018; Lima & Dill, 1990; McCauley, Rowe & Fortin, 2011; Schmitz, Beckerman & O'Brien, 1997; Sheriff & Thaler, 2014; Tigreros, Norris, Wang & Thaler, 2017; Werner & Peacor, 2003). In this way, the predator would be able to alter the herbivore's impact on the plant, by its simple presence (Werner & Peacor, 2003).

In our research, the indirect effect that the presence of *D. luteipes* has on the oviposition capacity of *S. frugiperda* could be observed. Moths deposited fewer eggs on plants in the presence of the predator. It is worth noting that the earwigs used in the test were satiated and in none of the repetitions were observed signs of egg predation.

Spodoptera exigua (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) exposed to the echolocation sound of bats, important natural control agents, modifies flight, movement and reproduction behavior (courtship and copulation) due to fear of predation (Zhou et al., 2023). Although there was no change in the number of eggs laid, females avoided ovipositing in areas where the bat's sound pressure was stronger. On the other hand, *Spodoptera litura* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae) exposed to similar conditions showed a reduction in total fecundity and survival (Zhang et al., 2023). Changes in oviposition in response to predators have already been observed for other insects from the orders Lepidoptera and Diptera (Russell et al., 2022; Sendoya, Freitas & Oliveira, 2009).

Under the conditions explored in our research, the moths did not have the chance to choose oviposition sites free from predator influence and may have been induced to retain eggs in order to avoid predation. But, in the case of high density of earwigs on maize plants in the field, the reduction in egg numbers is likely to be reproduced, as the risk of predation would be present on a large scale. Therefore, we can infer that the previous presence of earwigs can affect oviposition and colonization of the preferential prey, and that the adoption of measures that favor the occurrence of *D. luteipes* from the beginning of crop development, such as the use of attractive plants, is essential.

Spodoptera frugiperda caterpillars exposed to the risk of predation by *Podisus maculiventris* (Say) (Hemiptera: Pentatomidae) fed less and showed a reduction in body weight

(Sun & Bai, 2020). As the presence of *D. luteipes* had a significant effect on *S. frugiperda* adults, which are the biological phase with greater mobility and, consequently, less vulnerable to predators (Hermann & Thaler, 2018), it is very likely that its presence could also exert non-lethal effects on caterpillars, especially during feeding, given that herbivores in general often feed less when close to predators (Bernays, 1997; Rypstra & Buddle, 2013).

The total impact of predation risk caused by *D. luteipes* throughout the *S. frugiperda* cycle and the mechanisms through which moths are able to detect the presence of earwigs still need to be unraveled in future research.

Unfortunately, under agricultural conditions, *D. luteipes* is observed in higher densities only close to maize flowering (Maggio et al., 2022; Pacheco et al., 2023), since in monocultures there are no other plants capable of providing alternative prey, shelter, pollen and/or microclimate suitable for its permanence. Therefore, in this research we also seek to clarify aspects of the direct action of *D. luteipes* on *S. frugiperda*, considering that when earwigs happen in the field, moths have already laid their eggs and the neonate caterpillars have already hatched or are close to hatching.

It is known that, in field and laboratory conditions, *D. luteipes* preferentially feeds on *S. frugida* eggs and younger caterpillars. Due to the rigid body structure of more developed caterpillars, *D. luteipes* is unable to feed on them after the 3rd instar (Silva, et al. 2022c). Under a situation of choice between *S. frugiperda* eggs and neonates, we observed that *D. luteipes* attacked and consumed neonates first, possibly attracted by their movement. However, once the earwig found the egg mass, it continually fed on them, resulting in greater consumption.

Similar attack priority was observed for generalist predatory stink bugs (Eubanks & Denno, 2000; Venzon et al., 2002), which preferentially feed on mobile prey, even if it has lower nutritional quality. Regarding *D. luteipes*, only the first attack was directed at mobile prey. As it is a nocturnal predator, *D. luteipes* depends less on visual cues than hemipterans to locate prey, which are diurnal and have very keen vision. Therefore, we can infer that the first attack occurred due to the initial ease of detecting and capturing the neonates, but the earwig prefers to feed on *S. frugiperda* eggs, which were most consumed. The greater consumption of eggs in relation to caterpillars has already been observed for *D. luteipes* and *Doru lineare* (Eschscholz) (Dermaptera: Forficulidae) (Romero Sueldo & Virla, 2009; Silva et al., 2022c).

It is distinctly possible that the earwig chooses to feed primarily on immobile prey, simply to avoid spending energy on foraging, since, after being released into the arena, the newly hatched caterpillars disperse quickly, climbing to the edge of the container or hiding

under the filter paper. The chemical composition of *S. frugiperda* eggs and neonates is unknown, therefore, we cannot say that the earwig's choice is based on nutritional quality.

Several studies have demonstrated that exclusive *S. frugiperda* eggs feeding provided high immature viability and adult fecundity for generalist predators, including *D. luteipes* (Auad, Carvalho, Souza & Barbosa, 2003; Silva et al., 2022c; Nunes et al., 2018b; Pasini et al., 2007). Controversially, Pacheco et al. (2023) observed that a diet based on *S. frugiperda* eggs led to a very low survival rate for *D. luteipes* nymphs. However, exclusive feeding upon pollen or uredospores of maize polysora rust also did not provide high viability, indicating that a single food source is not favorable to its development.

Although, *D. luteipes* preference to consume *S. frugiperda* eggs can be considered favorable to biological control, as it would prevent the occurrence of injuries due to the neonates feeding. Furthermore, by disrupting the layered egg clutches deposited by the moth, *D. luteipes* may be able to expose the eggs it does not consume to unfavorable environmental conditions.

Due to the greater consumption of *S. frugiperda* eggs by *D. luteipes*, we chose to study the functional response to different egg densities. We observed that the consumption of males and females of *D. luteipes* increased as the density of eggs supplied increased, configuring the type II functional response (Holling, 1959). This result was already expected, as it is common in most systems involving generalist predators and parasitoids (Cave & Gaylor, 1989; Aragão, 1993). Predators with this type of functional response can reduce populations of target pests and are considered good candidates for biological control programs with inundative release (Van Lenteren, 2012).

The main characteristic of the type II functional response is the gradual increase in the number of preys consumed with increasing density (Hassell, 1978; Hassell, Lawton & Beddington, 1977; Van Alphen & Jervis, 1996). Therefore, due to the greater availability of preys, the predator increases consumption, as it spends less time searching for food. This linear growth in consumption is not observed at higher prey densities, because, despite locating food more quickly, the consumption rate becomes strongly affected by the handling time, required for the predator to capture, subdue, kill and consume its prey (Holling, 1959). Consequently, consumption becomes limited exclusively by the predator's handling time, which causes the curve's stabilization (Romero Sueldo, Bruzzone & Virla, 2010).

In this research, we observed that, for males and females, the stabilization of consumption began at the 250 eggs density. However, from the 300 eggs density, the performance of males surpassed that of females, being superior at the 350 eggs density. Females had a much higher attack rate (a), but as they have longer handling time (h), consumption

growth declined sharply across densities. For this reason, females consume, on average, less 32 eggs.day⁻¹ than males. Therefore, males are more efficient predators when exposed to greater availability of *S. frugiperda* eggs.

This result differs from that observed for other earwig species, where females consumed more prey than males (Coelho, Pec, Silva, Peñaflor & Marucci, 2023; Oliveira et al., 2019; Nunes et al., 2018). In these studies, the greater consumption by females was justified by the greater need for energy to carry out maternal care and the greater need for food to meet the demand for nutrients for egg production (Rankin et al., 1995). However, while most species in the order Dermaptera have females larger than males (Coelho et al., 2023; Rankin et al., 1995), *D. luteipes* males and females are similar in size. Like that, *D. luteipes* males may require more food to maintain their essential functions, even without additional demands aimed at reproduction (Reis et al., 1988; Romero Sueldo et al., 2014).

Doru lineare and *Labidura riparia* (Pallas) (Dermaptera: Labiduridae) also showed type II response to *S. frugiperda*. *Doru lineare* females had an attack rate of 0.374 and satiety occurred after consumption of 39.4 neonates (Romero Sueldo et al., 2010). The attack rate of *D. luteipes* on eggs was 8.2, showing superior performance to *D. lineare*. On the other hand, *L. riparia* 5th instar nymphs showed an average consumption of 2.85 6th instar caterpillars per day (Tian et al., 2021). This species is very voracious, as it is capable of consuming all stages of *S. frugiperda* development, with the exception of pupae.

The functional response of generalist predators on *S. frugiperda* eggs and caterpillars has already been studied by Di et al. (2021). The consumption of *Orius sauteri* (Poppius) (Hemiptera: Anthocoridae) and *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae) fit Holling's type II functional response model, for both stages of prey development. Nymphs of the stink bug *O. sauteri* had an attack rate of 0.744, handling time of 0.049 days and a maximum attack rate of 15.19 *S. frugiperda* eggs per day. Adults of *H. axyridis* presented parameters of 0.560, 0.085 days and 130.73 eggs per day, respectively.

When comparing the previous parameters with those obtained for *D. luteipes*, we observed that both males and females have a higher attack rate and shorter handling time, therefore being more efficient in searching for and consuming eggs. Furthermore, the maximum attack rate of *D. luteipes* is comparable to that of *H. axyridis*, which is considered a voracious predator of *S. frugiperda* (Di et al., 2021).

Finally, in this research we evaluated *D. luteipes* response to volatiles from plants attacked by *S. frugiperda* and the aphid *R. padi*. Throughout evolution, plants have developed mechanisms to respond to herbivore attacks (Pinto-Zevallos et al., 2016), such as the emission

of volatile organic compounds that can recruit natural enemies of the herbivore in question (McCormick, Unsicker & Gershenson, 2012). These compounds can attract natural enemies over long distances, unlike odors released by prey themselves (Reddy, Holopainen & Guerrero, 2002; M. E. Rogers & Potter, 2002).

When attacked by *S. frugiperda* and *Spodoptera littoralis* (Boisduval) (Lepidoptera: Noctuidae), maize plants release several terpenoids, green leaf volatiles and indoles, which can attract natural enemies (De Lange, Farnier, Gaudillat & Turlings, 2016; Degen, Dillmann, Marion-Poll & Turlings, 2004; Pinto-Zevallos et al., 2016). Naranjo-Guevara et al. (2017) observed that a commercial hybrid attacked by *S. frugiperda* and *D. saccharalis* released volatiles that attracted *D. luteipes*. The earwig was mainly attracted to volatiles from short-term damaged plants released during the night, mostly composed of green leaves volatiles.

Volatiles released by maize can vary markedly with plant genotype (Degen et al., 2004). In our research we also observed *D. luteipes* attraction to plants damaged by *S. frugiperda* neonate caterpillars, even 24 hours after the start of herbivory. This response happened in all combinations containing neonate-infested plants (PIN).

This is the first record of *D. luteipes* attraction to volatiles released from a common variety of maize, which reinforces the intimate relationship between this species of earwig and the crop, regardless of the genotype. *D. luteipes* was attracted to corn plants even if they are not damaged by herbivores (Naranjo-Guevara et al., 2017). There is also a close relation between *D. luteipes* and *S. frugiperda*, as the earwig is attracted to arugula plants attacked by *S. frugiperda* caterpillars, but not by *Plutella xylostella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Plutellidae) (Bell et al., 2020).

When evaluating whether *D. luteipes* would be attracted to plants with *S. frugiperda* eggs-infested plants (EIP) against intact plants (IP), we did not obtain a significant choice. However, in the combination of egg-infested plants (EIP) vs. aphid-infested plants (AIP), we surprisingly found the response of earwigs to plants with eggs. This difference between the combinations that contained plants with eggs may have occurred due to the size of the egg clutches, which made them more or less noticeable to the predator. This variation in the attractiveness of *S. frugiperda* egg clutches has been observed previously (Peñaflor, Erb, Miranda, Werneburg & Bento, 2011). The authors discussed the possibility that, by covering part of the plant's photosynthetic tissue, *S. frugiperda* egg clutches suppress the release of volatiles. Therefore, the larger the leaf surface covered by the egg clutches, the lower the release of volatiles.

Oviposition can induce volatile production, whose attractiveness to egg parasitoids has already been proven (Fatouros, Dicke, Mumm, Meiners & Hilker, 2008; Hilker & Meiners, 2002; Mumm, Scharnk, Wegener, Schulz & Hilker, 2003; Roque-Romero, Cisneros, Rojas, Ortiz-Carreón & Malo, 2020; Tamiru et al., 2011). Pheromones or compounds released from the scales that moths use to cover their eggs can also attract natural enemies (Chiri & Legner, 1986; Colazza, Rosi & Clemente, 1997; DeLury, Gries, Gries, Judd & Khaskin, 1999; Noldus, Lewis & Tumlinson, 1990; Shu & Jones, 1989; Tognon et al., 2016; Xu, Huigens, Orr & Groot, 2014).

Even so, our results were unable to elucidate the real response of *D. luteipes* to plants with *S. frugiperda* eggs. Aphid infestation can harm or favor the encounter of natural enemies with their preferred hosts/prey (de Vos & Jander, 2010; Dicke, van Loon & Soler, 2009; Ponzio, Gols, Pieterse & Dicke, 2013), and may have interfered in the choice of *D. luteipes*, since earwigs were attracted to egg clutches only in relation to plants that suffered herbivory by *R. padi*.

Aphid damage is also responsible for the emission of herbivory-induced volatiles (Chehab et al., 2008; J. Zhu et al., 2005a; Zhu & Park, 2005b). The attraction of several generalist predators, such as *Orius* (Wolff) stinkbugs, ladybugs and lacewings, to these volatiles has already been proven (Hatano, Kunert, Michaud & Weisser, 2008; M. S. Oliveira & Pareja, 2014; Pettersson et al., 2008; Tan & Liu, 2014; J. Zhu et al., 2005a). But, even though different natural enemies respond to the odor of plants damaged by herbivores, the response is generally more effective to volatiles from plants infested by preferred hosts or prey (Du, Poppy & Powell, 1996; Turlings, Tumlinson & Lewis, 1990). Hence, different natural enemies may present different degrees of specialization, which affects the response to volatiles induced by herbivory (Silva, França & Pareja, 2016; Tan & Liu, 2014).

In the case of plants damaged by aphids, this attractiveness can vary greatly within the same predator family. For example, while *Chrysoperla externa* (Hagen) was attracted to aphid-damaged plants, the same attractiveness was not observed for *Ceraeochrysa cubana* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) (Silva et al., 2016). *Doru luteipes* also did not respond to aphid-infested plants (AIP). The damage caused by aphids is very different from the damage caused by lepidopterans (Van Poecke, Roosjen, Pumarino & Dicke, 2003), and earwigs are probably not adapted to identify volatiles from plants infested by *R. padi*. It is worth highlighting that the actions of predators depend largely on experience and learning (De Boer, Posthumus & Dicke, 2004; Drukker, Bruin & Sabelis, 2000). Therefore, it is not impossible that earwigs with prior

experience consuming aphids on corn plants may learn to locate them via volatiles. This possible learning remains to be evaluated for *D. luteipes*.

Considering the olfactory response of *D. luteipes*, it was only notable for plants infested by neonates (PIN). However, the ability to detect and target plants in this condition is beneficial, since neonate are the main development phase responsible for *S. frugiperda* population growth in the field (Barros, Torres & Bueno, 2010; Giolo, Grützmacher, Garcia & Busato, 2002), in addition to, as already has been discussed, the earwig can find remaining eggs and act on them, preventing injuries.

Our research aimed to present a new approach to the role of *D. luteipes* in the regulation of *S. frugiperda*. The earwig prefers to consume eggs and the consumption of males and females increases with the density of eggs provided, presenting a type II functional response. Furthermore, and in contrast to what was observed for other earwig species, males present a predatory performance comparable to and even superior to that of females and the increase in the density of both could be favorable to the regulation of *S. frugiperda* in the field.

Doru luteipes is capable of detecting the odors of plants infested by *S. frugiperda* neonates but cannot detect the odors of plants infested by *R. padi*. More studies are needed to elucidate the role of volatiles released by plants infested with *S. frugiperda* egg clutches in this predator behavior. Finally, we present the first record of a reduction in the number of eggs deposited by the moth on maize plants with the previous presence of *D. luteipes*, which expands the perspectives for future studies on the effects of non-consumption or non-lethal effects of earwigs on *S. frugiperda*.

Conclusions

Doru luteipes prefers to feed on *S. frugiperda* eggs, the predatory behavior of males and females is very similar and fits the type II functional response curve. The presence of *D. luteipes* negatively impacts the fecundity of *S. frugiperda* resulting in lower number of eggs and the earwig can identify volatiles released by plants infested by *S. frugiperda* neonate caterpillars, but not by *R. padi*.

References

- Alvarenga, C. D., Vendramim, J. D., & Cruz, I. (1996). Efeito do predador *Doru luteipes* (Scud.) sobre o crescimento populacional de *Schizaphis graminum* (Rond.) em diferentes genótipos de sorgo. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, 25(1), 137-140.
- Aragão, M. B. (1993). Ecologia nutricional de insetos e suas Implicações no Manejo de Pragas. *Cadernos de Saúde Pública*, 9(1), 100-100. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X1993000100013>
- Auad, A. M., Carvalho, C. F., Souza, B., & Barbosa, L. R. (2003). Duração e viabilidade das fases imaturas de *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae) alimentada com ovos e lagartas de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 2(1), 106-111. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v2n1p106-111>
- Bacci, L., Picanço, M. C., Gusmão, M. R., Barreto, R. W., & Galvan, T. L. (2002). Inseticidas seletivos à tesourinha *Doru luteipes* (Scudder) utilizados no controle do pulgão verde em brássicas. *Horticultura Brasileira*, 20(2), 174-179. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362002000200011>
- Bacci, L., Picanço, M. C., Gusmão, M. R., Crespo, A. L. B., Eliseu, E., & Pereira, J. G. (2001). Seletividade de inseticidas a *Brevicoryne brassicae* (L.) (Hemiptera: Aphididae) e ao predador *Doru luteipes* (Scudder) (Dermaptera: Forficulidae). *Neotropical Entomology*, 30(4), 707-713.
- Badji, C. A., Guedes, R. N. C., Silva, A. A., & Araújo, R. A. (2004). Impact of deltamethrin on arthropods in maize under conventional and no-tillage cultivation. *Crop Protection*, 23(11), 1031-1039. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2004.03.003>
- Barros, E. M., Torres, J. B., & Bueno, A. F. (2010). Oviposição, desenvolvimento e reprodução de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em diferentes hospedeiros de importância econômica. *Neotropical Entomology*, 39(6), 996-1001. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2010000600023>
- Bell, K., Naranjo-Guevara, N., Dos Santos, R. C., Meadow, R., & Bento, J. M. S. (2020). Predatory earwigs are attracted by herbivore-induced plant volatiles linked with plant growth-promoting rhizobacteria. *Insects*, 11(5), 271-282. <https://doi.org/10.3390/insects11050271>
- Bernays, E. A. (1997). Feeding by lepidopteran larvae is dangerous. *Ecological Entomology*, 22(1), 121-123. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2311.1997.00042.x>

- Carr, M. H., & Hixon, M. A. (1995). Predation effects on early post-settlement survivorship of coral-reef fishes. *Marine Ecology Progress Series*, 124, 31-42.
<https://doi.org/10.3354/meps124031>
- Castellanos, I., & Barbosa, P. (2006). Evaluation of predation risk by a caterpillar using substrate-borne vibrations. *Animal Behaviour*, 72(2), 461-469.
<https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2006.02.005>
- Cave, R. D., & Gaylor, M. J. (1989). Functional response of *Telenomus reynoldsi* (Hym.: Scelionidae) at five constant temperatures and in an artificial plant arena. *Entomophaga*, 34(1), 3-10.
- Chehab, E. W., Kaspi, R., Savchenko, T., Rowe, H., Negre-Zakharov, F., Kliebenstein, D., & Dehesh, K. (2008). Distinct roles of jasmonates and aldehydes in plant-defense responses. *PLoS ONE*, 3(4), e1904. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001904>
- Chiri, A. A., & Legner, E. F. (1986). Response of three *Chelonus* (Hymenoptera: Braconidae) Species to kairomones in scales of sex Lepidoptera. *The Canadian Entomologist*, 118(4), 329-333. <https://doi.org/10.4039/Ent118329-4>
- Cinel, S. D., Hahn, D. A., & Kawahara, A. Y. (2020). Predator-induced stress responses in insects: A review. *Journal of Insect Physiology*, 122, 104039.
<https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2020.104039>
- Clavijo McCormick, A., Unsicker, S. B., & Gershenzon, J. (2012). The specificity of herbivore-induced plant volatiles in attracting herbivore enemies. *Trends in Plant Science*, 17(5), 303-310. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.03.012>
- Coelho, R. S., Pec, M., Silva, A. L. R., Peñaflor, M. F. G. V., & Marucci, R. C. (2023). Predation potential of the earwig *Euborellia annulipes* on fruit fly larvae and trophic interactions with the parasitoid *Diachasmimorpha longicaudata*. *Journal of Applied Entomology*, 147(2), 147-156. <https://doi.org/10.1111/jen.13091>
- Colazza, S., Rosi, M. C., & Clemente, A. (1997). Response of egg parasitoid *Telenomus busseolae* to sex pheromone of *Sesamia nonagrioides*. *Journal of Chemical Ecology*, 23(11), 2437-2444. <https://doi.org/10.1023/B:JOEC.00000006657.11973.27>
- Cruz, I. (1991). Potencial de *Doru luteipes* como predador de *Spodoptera frugiperda* em condições de campo. *Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo*, 4, 85-86.
- Cruz, I. (1995). Manejo integrado de pragas de milho com ênfase para o controle biológico. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, 24(4), 48-92.

- Cruz, I. (2007). Controle biológico de pragas na cultura de milho para produção de conservas (minimilho), por meio de parasitoides e predadores. *Embrapa Milho e Sorgo*.
- Cruz, I., & Oliveira, A. C. (1997). Flutuação populacional do predador *Doru luteipes* Scudder em plantas de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 32(4), 363-368.
- De Boer, J. G., Posthumus, M. A., & Dicke, M. (2004). Identification of volatiles that are used in discrimination between plants infested with prey or nonprey herbivores by a predatory mite. *Journal of Chemical Ecology*, 30(11), 2215-2230.
<https://doi.org/10.1023/B:JOEC.0000048784.79031.5e>
- De Lange, E. S., Farnier, K., Gaudillat, B., & Turlings, T. C. J. (2016). Comparing the attraction of two parasitoids to herbivore-induced volatiles of maize and its wild ancestors, the teosintes. *Chemoecology*, 26(1), 33-44. <https://doi.org/10.1007/s00049-015-0205-6>
- de Vos, M., & Jander, G. (2010). Volatile communication in plant–aphid interactions. *Current Opinion in Plant Biology*, 13(4), 366-371. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2010.05.001>
- Degen, T., Dillmann, C., Marion-Poll, F., & Turlings, T. C. J. (2004). High genetic variability of herbivore-induced volatile emission within a broad range of maize inbred lines. *Plant Physiology*, 135(4), 1928-1938. <https://doi.org/10.1104/pp.104.039891>
- DeLury, N. C., Gries, R., Gries, G., Judd, G. J. R., & Khaskin, G. (1999). Moth scale-derived kairomones used by egg-larval parasitoid *Ascogaster quadridentata* to locate eggs of its host, *Cydia pomonella*. *Journal of Chemical Ecology*, 25(11), 2419-2431.
<https://doi.org/10.1023/A:1020861821919>
- DeWitt, P. D., Visscher, D. R., Schuler, M. S., & Thiel, R. P. (2019). Predation risks suppress lifetime fitness in a wild mammal. *Oikos*, 128(6), 790-797.
<https://doi.org/10.1111/oik.05935>
- Di, N., Zhang, K., Xu, Q., Zhang, F., Harwood, J. D., Wang, S., ... Wang, J. D. ; (2021). Predatory Ability of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) and *Orius sauteri* (Hemiptera: Anthocoridae) for Suppression of Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Insects*, 12(12), 1063-1072.
<https://doi.org/10.3390/insects12121063>
- Dicke, M., van Loon, J. J. A., & Soler, R. (2009). Chemical complexity of volatiles from plants induced by multiple attack. *Nature Chemical Biology*, 5(5), 317-324.
<https://doi.org/10.1038/nchembio.169>

- Drukker, B., Bruin, J., & Sabelis, M. W. (2000). Anthocorid predators learn to associate herbivore-induced plant volatiles with presence or absence of prey. *Physiological Entomology*, 25(3), 260-265. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3032.2000.00190.x>
- Du, Y. J., Poppy, G. M., & Powell, W. (1996). Relative importance of semiochemicals from first and second trophic levels in host foraging behavior of *Aphidius ervi*. *Journal of Chemical Ecology*, 22(9), 1591-1605. <https://doi.org/10.1007/BF02272400>
- Eubanks, M. D., & Denno, R. F. (2000). Health food versus fast food: the effects of prey quality and mobility on prey selection by a generalist predator and indirect interactions among prey species. *Ecological Entomology*, 25(2), 140-146. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2311.2000.00243.x>
- Fatouros, N. E., Dicke, M., Mumm, R., Meiners, T., & Hilker, M. (2008). Foraging behavior of egg parasitoids exploiting chemical information. *Behavioral Ecology*, 19(3), 677-689. <https://doi.org/10.1093/beheco/arn011>
- Fatouros, N. E., Lucas-Barbosa, D., Weldegergis, B. T., Pashalidou, F. G., van Loon, J. J. A., Dicke, M., ... Huigens, M. E. (2012). Plant volatiles induced by herbivore egg deposition affect insects of different trophic levels. *PLoS ONE*, 7(8), e43607. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043607>
- Freinschlag, J., & Schausberger, P. (2016). Predation risk-mediated maternal effects in the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*. *Experimental and Applied Acarology*, 69(1), 35-47. <https://doi.org/10.1007/s10493-016-0014-9>
- Fumagalli, C., & Motta, M. (2013). A Simple Theory of Predation. *The Journal of Law and Economics*, 56(3), 595-631. <https://doi.org/10.1086/672951>
- Geiselhardt, S., Yoneya, K., Blenn, B., Drechsler, N., Gershenson, J., Kunze, R., & Hilker, M. (2013). Egg laying of cabbage White Butterfly (*Pieris brassicae*) on *Arabidopsis thaliana* affects subsequent performance of the larvae. *PLoS ONE*, 8(3), e59661. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059661>
- Giolo, F. P., Grützmacher, A. D., Garcia, M. S., & Busato, G. R. (2002). Parâmetros biológicos de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lep.: Noctuidae) oriundas de diferentes localidades e hospedeiros. *Revista Brasileira de Agrociência*, 8(3), 219-224.
- Hassell, M. P. (1978). *The dynamics of arthropod predator-prey systems* (C. 13). Princeton University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctvx5wb2n>
- Hassell, M. P., Lawton, J. H., & Beddington, J. R. (1977). Sigmoid functional responses by invertebrate predators and parasitoids. *The Journal of Animal Ecology*, 46(1), 249-262. <https://doi.org/10.2307/3959>

- Hatano, E., Kunert, G., Michaud, J. P., & Weisser, W. W. (2008). Chemical cues mediating aphid location by natural enemies. *European Journal of Entomology*, *105*(5), 797-806. <https://doi.org/10.14411/eje.2008.106>
- Hermann, S. L., & Thaler, J. S. (2018). The effect of predator presence on the behavioral sequence from host selection to reproduction in an invulnerable stage of insect prey. *Oecologia*, *188*(4), 945-952. <https://doi.org/10.1007/s00442-018-4202-7>
- Hilker, M., & Meiners, T. (2002). Induction of plant responses to oviposition and feeding by herbivorous arthropods: a comparison. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, *104*(1), 181-192. <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2002.01005.x>
- Hilker, M., & Meiners, T. (2010). How do plants “notice” attack by herbivorous arthropods? *Biological Reviews*, *85*(2), 267-280. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2009.00100.x>
- Holling, C. S. (1959). Some characteristics of simple types of predation and parasitism. *The Canadian Entomologist*, *91*(7), 385-398. <https://doi.org/10.4039/Ent91385-7>
- Jarvis, K. J., Haas, F., & Whiting, M. F. (2005). Phylogeny of earwigs (Insecta: Dermaptera) based on molecular and morphological evidence: reconsidering the classification of Dermaptera. *Systematic Entomology*, *30*(3), 442-453. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113.2004.00276.x>
- Kant, M. R., Jonckheere, W., Knegt, B., Lemos, F., Liu, J., Schimmel, B. C. J., ... Alba, J. M. (2015). Mechanisms and ecological consequences of plant defence induction and suppression in herbivore communities. *Annals of Botany*, *115*(7), 1015-1051. <https://doi.org/10.1093/aob/mcv054>
- Lanza Reis, L., Oliveira, L. J., & Cruz, I. (1988). Biologia e potencial de *Doru luteipes* no controle de *Spodoptera frugiperda*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *23*(4), 333-342.
- Lewis, W. J., Vet, L. E. M., Tumlinson, J. H., Van Lenteren, J. C., & Papaj, D. R. (1990). Variations in parasitoid foraging behavior: Essential element of a sound biological control theory. *Environmental Entomology*, *19*(5), 1183-1193. <https://doi.org/10.1093/ee/19.5.1183>
- Lima, S. L., & Dill, L. M. (1990). Behavioral decisions made under the risk of predation: A review and prospectus. *Canadian Journal of Zoology*, *68*(4), 619-640. <https://doi.org/10.1139/z90-092>
- Littell, R. C., Pendergast, J., & Natarajan, R. (2000). Modelling covariance structure in the analysis of repeated measures data. *Statistics in Medicine*, *19*(13), 1793-1819. [https://doi.org/10.1002/1097-0258\(20000715\)19:13<1793::AID-SIM482>3.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/1097-0258(20000715)19:13<1793::AID-SIM482>3.0.CO;2-Q)

- MacLeod, K. J., Krebs, C. J., Boonstra, R., & Sheriff, M. J. (2018). Fear and lethality in snowshoe hares: the deadly effects of non-consumptive predation risk. *Oikos*, *127*(3), 375-380. <https://doi.org/10.1111/oik.04890>
- Maggio, D. H., Rossetti, V. Z., Santos, L. M. A., Carmezini, F. L., & Corrêa, A. S. (2022). A Molecular Marker to Identify *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) DNA in Predators' Gut Content. *Insects*, *13*(7), 635-646. <https://doi.org/10.3390/insects13070635>
- Marucci, R. C., Souza, I. L., Silva, L. O., Auad, A. M., & Mendes, S. M. (2019). Pollen as a component of the diet of *Doru luteipes* (Scudder, 1876) (Dermaptera: Forficulidae). *Brazilian Journal of Biology*, *79*(4), 584-588. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.184072>
- McCauley, S. J., Rowe, L., & Fortin, M.-J. (2011). The deadly effects of “nonlethal” predators. *Ecology*, *92*(11), 2043-2048. <https://doi.org/10.1890/11-0455.1>
- Mendes, S. M., Boregas, K. G. B., Lopes, M. E., Waquil, M. S., & Waquil, J. M. (2011). Respostas da lagarta-do-cartucho a milho geneticamente modificado expressando a toxina Cry 1A(b). *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *46*(3), 239-244. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000300003>
- Mestre, L., Narimanov, N., Menzel, F., & Entling, M. H. (2020). Non-consumptive effects between predators depend on the foraging mode of intraguild prey. *Journal of Animal Ecology*, *89*(7), 1690-1700. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13224>
- Moran, P. J., & Thompson, G. A. (2001). Molecular responses to aphid feeding in *Arabidopsis* in relation to plant defense pathways. *Plant Physiology*, *125*(2), 1074-1085. <https://doi.org/10.1104/pp.125.2.1074>
- Mumm, R., Scharnk, K., Wegener, R., Schulz, S., & Hilker, M. (2003). Chemical analysis of volatiles emitted by *Pinus sylvestris* after induction by insect oviposition. *Journal of Chemical Ecology*, *29*(5), 1235-1252. <https://doi.org/10.1023/A:1023841909199>
- Naranjo-Guevara, N., Peñaflor, M. F. G. V., Cabezas-Guerrero, M. F., & Bento, J. M. S. (2017). Nocturnal herbivore-induced plant volatiles attract the generalist predatory earwig *Doru luteipes* Scudder. *The Science of Nature*, *104*(9-10), 77. <https://doi.org/10.1007/s00114-017-1498-9>
- Noldus, L. P. J. J., Lewis, W. J., & Tumlinson, J. H. (1990). Beneficial arthropod behavior mediated by airborne semiochemicals. IX. Differential response of *Trichogramma pretiosum*, an egg parasitoid of *Heliothis zea*, to various olfactory cues. *Journal of Chemical Ecology*, *16*(12), 3531-3544. <https://doi.org/10.1007/BF00982116>
- Nunes, G. S., Dantas, T. A. V., Figueiredo, W. R. S., Souza, M. S., Nascimento, I. N., & Batista, J. L. (2018). Predation of diamondback moth larvae and pupae by *Euborellia*

- annulipes*. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences*, 13(3), 1-8. <https://doi.org/10.5039/agraria.v13i3a5557>
- Oliveira, R. de, Alves, P. R. R., Dantas, T. A. V., Oliveira, G. M. de, Borba, M. de A., Souza, M. dos S. de, & Batista, J. de L. (2019). Biological aspects and predation of *Pygidicrana v-nigrum* against the Mediterranean Fly *Ceratitis capitata*. *Journal of Experimental Agriculture International*, 31(1), 1-8. <https://doi.org/10.9734/JEAI/2019/46542>
- Oliveira, M. S., & Pareja, M. (2014). Attraction of a ladybird to sweet pepper damaged by two aphid species simultaneously or sequentially. *Arthropod-Plant Interactions*, 8(6), 547-555. <https://doi.org/10.1007/s11829-014-9336-x>
- Pacheco, R. C., Silva, D. D., Mendes, S. M., Lima, K. P., Figueiredo, J. E. F., & Marucci, R. C. (2023). How omnivory affects the survival and choices of earwig *Doru luteipes* (Scudder) (Dermaptera: Forficulidae)? *Brazilian Journal of Biology*, 83, e243890. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.243890>
- Pasini, A., Parra, J. R. P., & Lopes, J. M. (2007). Dieta artificial para criação de *Doru luteipes* (Scudder) (Dermaptera: Forficulidae), predador da lagarta-do-cartucho do milho, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Neotropical Entomology*, 36(2). <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2007000200020>
- Peñaflor, M. F. G. V., Erb, M., Miranda, L. A., Werneburg, A. G., & Bento, J. M. S. (2011). Herbivore-induced plant volatiles can serve as host location cues for a generalist and a specialist egg parasitoid. *Journal of Chemical Ecology*, 37(12), 1304-1313. <https://doi.org/10.1007/s10886-011-0047-9>
- Petterson, J., Ninkovic, V., Glinwood, R., Abassi, S. Al, Birkett, M., Pickett, J., & Wadhams, L. (2008). Chemical stimuli supporting foraging behaviour of *Coccinella septempunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae): volatiles and allelobiosis. *Applied Entomology and Zoology*, 43(3), 315-321. <https://doi.org/10.1303/aez.2008.315>
- Pinto-Zevallos, D. M., Strapasson, P., & Zarbin, P. H. G. (2016). Herbivore-induced volatile organic compounds emitted by maize: Electrophysiological responses in *Spodoptera frugiperda* females. *Phytochemistry Letters*, 16, 70-74. <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2016.03.005>
- Ponzio, C., Gols, R., Pieterse, C. M. J., & Dicke, M. (2013). Ecological and phytohormonal aspects of plant volatile emission in response to single and dual infestations with herbivores and phytopathogens. *Functional Ecology*, 27(3), 587-598. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12035>

- Preisser, E. L., Bolnick, D. I., & Benard, M. F. (2005). Scared to death? The effects of intimidation and consumption in predator-prey interactions. *Ecology*, *86*(2), 501-509. <https://doi.org/10.1890/04-0719>
- Pritchard, D. W., Paterson, R. A., Bovy, H. C., & Barrios-O'Neill, D. (2017). frair: an R package for fitting and comparing consumer functional responses. *Methods in Ecology and Evolution*, *C*, 8, ss. 1528-1534. British Ecological Society. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12784>
- R Core Team. (2022). R: A Language and Environment for Statistical Computing.
- Rankin, S. M., Palmer, J. O., Larocque, L., & Risser, A. L. (1995). Life history characteristics of Ringlegged Earwig (Dermaptera: Labiduridae): Emphasis on ovarian development. *Annals of the Entomological Society of America*, *88*(6), 887-893. <https://doi.org/10.1093/aesa/88.6.887>
- Reddy, G. V. P., Holopainen, J. K., & Guerrero, A. (2002). Olfactory responses of *Plutella xylostella* natural enemies to host pheromone, larval frass, and green leaf cabbage volatiles. *Journal of Chemical Ecology*, *28*(1), 131-143. <https://doi.org/10.1023/A:1013519003944>
- Rendon, D., Whitehouse, M. E. A., & Taylor, P. W. (2016). Consumptive and non-consumptive effects of wolf spiders on cotton bollworms. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, *158*(2), 170-183. <https://doi.org/10.1111/eea.12390>
- Rogers, D. (1972). Random search and insect population models. *The Journal of Animal Ecology*, *41*(2), 369. <https://doi.org/10.2307/3474>
- Rogers, M. E., & Potter, D. A. (2002). Kairomones from scarabaeid grubs and their frass as cues in below-ground host location by the parasitoids *Tiphia vernalis* and *Tiphia pygidialis*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, *102*(3), 307-314. <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2002.00951.x>
- Romero Sueldo, M., & Virla, E. G. (2009). *Doru lineare* (Dermaptera: Forficulidae), insecto benéfico em cultivos de maíz del norte argentino: preferencias alimenticias y tasas de consumo. *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas*, *35*, 39-47.
- Romero Sueldo, Mabel, Dode, M., & Virla, E. G. (2014). Depredación de *Doru luteipes* y *D. lineare* (Dermaptera: Forficulidae) sobre *Rhopalosiphum maidis* (Hemiptera: Aphididae) en condiciones de laboratorio. *Acta Zoológica Lilloana*, *58*(1), 73-79.
- Roque-Romero, L., Cisneros, J., Rojas, J. C., Ortiz-Carreón, F. R., & Malo, E. A. (2020). Attraction of *Chelonus insularis* to host and host habitat volatiles during the search of

- Spodoptera frugiperda* eggs. *Biological Control*, 140, 104100.
<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104100>
- Russell, M. C., Herzog, C. M., Gajewski, Z., Ramsay, C., Moustaid, F. El, Evans, M. V., ...
 McCall, A. C. (2022). Both consumptive and non-consumptive effects of predators
 impact mosquito populations and have implications for disease transmission. *eLife*, 11,
 e71503. <https://doi.org/10.7554/eLife.71503>
- Rypstra, A. L., & Buddle, C. M. (2013). Spider silk reduces insect herbivory. *Biology Letters*,
 9(1), 20120948. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2012.0948>
- Schmitz, O. J., Beckerman, A. P., & O'Brien, K. M. (1997). Behaviorally mediated trophic
 cascades: Effects of predation risk on food web interactions. *Ecology*, 78(5), 1388-1399.
- Sendoya, S. F., Freitas, A. V. L., & Oliveira, P. S. (2009). Egg-Laying Butterflies Distinguish
 Predaceous Ants by Sight. *The American Naturalist*, 174(1), 134-140.
<https://doi.org/10.1086/599302>
- Sheriff, M. J., & Thaler, J. S. (2014). Ecophysiological effects of predation risk; an
 integration across disciplines. *Oecologia*, 176(3), 607-611.
<https://doi.org/10.1007/s00442-014-3105-5>
- Shu, S., & Jones, R. L. (1989). Kinetic effects of a kairomone in moth scales of the European
 corn borer on *Trichogramma nubilale* Ertle & Davis (Hymenoptera:
 Trichogrammatidae). *Journal of Insect Behavior*, 2(1), 123-131.
<https://doi.org/10.1007/BF01053622>
- Silva, D. D. da, Mendes, S. M., Parreira, D. F., Pacheco, R. C., Marucci, R. C., Cota, L. V.,
 ... Figueiredo, J. E. F. (2022b). Fungivory: a new and complex ecological function of
Doru luteipes (Scudder) (Dermaptera: Forficulidae). *Brazilian Journal of Biology*, 82.
<https://doi.org/10.1590/1519-6984.238763>
- Silva, H. E. G. da, Brito, C. H. de, & Oliveira, R. de. (2022c). Biological aspects and
 predatory capacity of *Doru luteipes* when fed with *Spodoptera frugiperda*. *Revista
 Caatinga*, 35(2), 490-497. <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n224rc>
- Silva, S. E. B. da, França, J. F., & Pareja, M. (2016). Olfactory response of four
 aphidophagous insects to aphid- and caterpillar-induced plant volatiles. *Arthropod-Plant
 Interactions*, 10(4), 331-340. <https://doi.org/10.1007/s11829-016-9436-x>
- Silva, L. P., Souza, I. L., Marucci, R. C., & Guzman-Martinez, M. (2022a). *Doru luteipes*
 (Dermaptera: Forficulidae) and *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae) as Nocturnal
 and Diurnal Predators of Thrips. *Neotropical Entomology*, 52(2), 263-272.
<https://doi.org/10.1007/s13744-022-00982-7>

- Sueldo, M. R., Bruzzone, O. A., & Virla, E. G. (2010). Characterization of the earwig, *Doru lineare*, as a predator of larvae of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*: A functional response study. *Journal of Insect Science*, *10*(1), 38-47.
<https://doi.org/10.1673/031.010.3801>
- Sujii, E. R., Beserra, V. A., Ribeiro, P. H., Da Silva-Santos, P. V., Pires, C. S. S., Schmidt, F. G. V., ... Laumann, R. A. (2007). Community of natural enemies and natural biological control of the aphid *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) and cotton leafworm *Alabama argilacea* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae) in the cotton crop. *Arquivos do Instituto Biológico*, *74*(4), 329-336. <https://doi.org/10.1590/1808-1657v74p3292007>
- Sun, J., & Bai, Y. (2020). Predator-induced stress influences fall armyworm immune response to inoculating bacteria. *Journal of Invertebrate Pathology*, *172*, 107352.
<https://doi.org/10.1016/j.jip.2020.107352>
- Tamiru, A., Bruce, T. J. A., Woodcock, C. M., Caulfield, J. C., Midega, C. A. O., Ogot, C. K. P. O., ... Khan, Z. R. (2011). Maize landraces recruit egg and larval parasitoids in response to egg deposition by a herbivore. *Ecology Letters*, *14*(11), 1075-1083.
<https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01674.x>
- Tan, X. L., & Liu, T. X. (2014). Aphid-induced plant volatiles affect the attractiveness of tomato plants to *Bemisia tabaci* and associated natural enemies. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, *151*(3), 259-269. <https://doi.org/10.1111/eea.12190>
- Tian, C., Cao, H., Zhang, J., Liu, X., Cai, T., Li, G., ... Feng, H. (2021). Behavioral and functional responses of *Labidura riparia* Pallas preying on *Spodoptera frugiperda*. *Chinese Journal of Biological Control*, *12*(6), 1160-1165.
<https://doi.org/10.16409/j.cnki.2095-039x.2021.11.001>
- Tigreros, N., Norris, R. H., Wang, E. H., & Thaler, J. S. (2017). Maternally induced intraclutch cannibalism: An adaptive response to predation risk? *Ecology Letters*, *20*(4), 487-494. <https://doi.org/10.1111/ele.12752>
- Tognon, R., Sant'Ana, J., Zhang, Q.-H., Millar, J. G., Aldrich, J. R., & Zalom, F. G. (2016). Volatiles mediating parasitism of *Euchistus conspersus* and *Halyomorpha halys* eggs by *Telenomus podisi* and *Trissolcus erugatus*. *Journal of Chemical Ecology*, *42*(10), 1016-1027. <https://doi.org/10.1007/s10886-016-0754-3>
- Turlings, T. C. J., Tumlinson, J. H., & Lewis, W. J. (1990). Exploitation of herbivore-induced plant odors by host-seeking parasitic wasps. *Science*, *250*(4985), 1251-1253.
<https://doi.org/10.1126/science.250.4985.1251>

- Van Alphen, J. J. M., & Jervis, M. (1996). Foraging behavior. İçinde *Insect natural enemies*. New York: Chapman and Hall.
- Van Lenteren, J. C. (2012). The state of commercial augmentative biological control: plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake. *BioControl*, 57(1), 1-20. <https://doi.org/10.1007/s10526-011-9395-1>
- Van Lenteren, J. C., & Manzaroli, G. (1999). Evaluation and use of predators and parasitoids for biological control of pests in greenhouses. İçinde *Developments in Plant Pathology* (C. 14, ss. 183-201). https://doi.org/10.1007/0-306-47585-5_13
- Van Poecke, R. M. P., Roosjen, M., Pumarino, L., & Dicke, M. (2003). Attraction of the specialist parasitoid *Cotesia rubecula* to *Arabidopsis thaliana* infested by host or non-host herbivore species. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 107(3), 229-236. <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2003.00060.x>
- Venzon, M., Janssen, A., & Sabelis, M. W. (2002). Prey preference and reproductive success of the generalist predator *Orius laevigatus*. *Oikos*, 97(1), 116-124. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2002.970112.x>
- Walling, L. L. (2000). The myriad plant responses to herbivores. *Journal of Plant Growth Regulation*, 19(2), 195-216. <https://doi.org/10.1007/s003440000026>
- Werner, E. E., & Peacor, S. D. (2003). A review of trait-mediated indirect interactions in ecological communities. *Ecology*, 84(5), 1083-1100. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2003\)084\[1083:AROTII\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2003)084[1083:AROTII]2.0.CO;2)
- Xu, J., Huigens, M. E., Orr, D., & Groot, A. T. (2014). Differential response of *Trichogramma* wasps to extreme sex pheromone types of the noctuid moth *Heliothis virescens*. *Ecological Entomology*, 39(5), 627-636. <https://doi.org/10.1111/een.12142>
- Zhang, W., Liu, Y., Wang, Z., Lin, T., Feng, J., & Jiang, T. (2023). Effects of predation risks of bats on the growth, development, reproduction, and hormone levels of *Spodoptera litura*. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11. <https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1126253>
- Zhou, R., Li, X., Zhu, Y., Wang, Q., Wu, H., & Feng, J. (2023). Behavioral response of *Spodoptera exigua* under bat echolocation call stress. *Biological Control*, 182, 105236. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2023.105236>
- Zhu, J., Obrycki, J. J., Ochieng, S. A., Baker, T. C., Pickett, J. A., & Smiley, D. (2005a). Attraction of two lacewing species to volatiles produced by host plants and aphid prey. *Naturwissenschaften*, 92(6), 277-281. <https://doi.org/10.1007/s00114-005-0624-2>

Zhu, J., & Park, K. C. (2005b). Methyl salicylate, a soybean aphid-induced plant volatile attractive to the predator *Coccinella septempunctata*. *Journal of Chemical Ecology*, 31(8), 1733-1746. <https://doi.org/10.1007/s10886-005-5923-8>

Figures

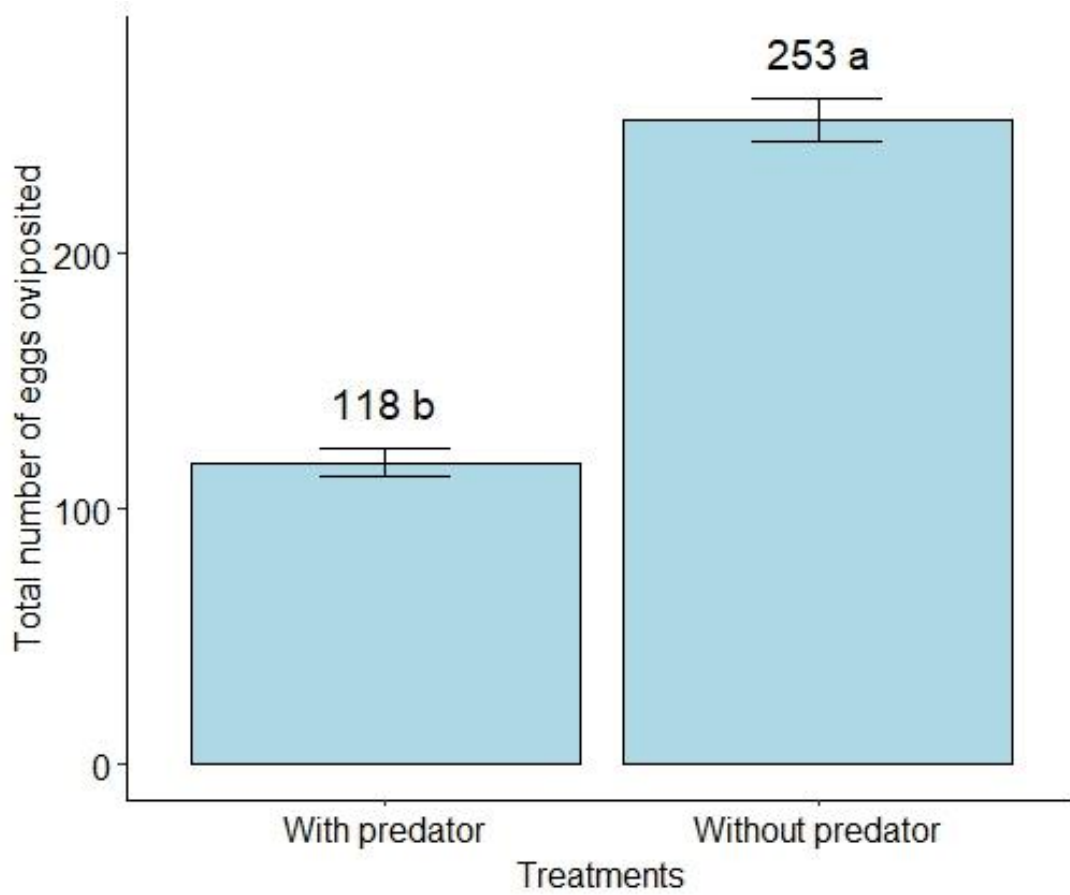


Fig. 1. Total number (\pm SE) of eggs deposited by *Spodoptera frugiperda* during 15 h. Error bars represent confidence intervals calculated by generalized linear models with quasi-Poisson distribution. Different letters indicate significant differences according to Tukey's test ($P = 0.05$).

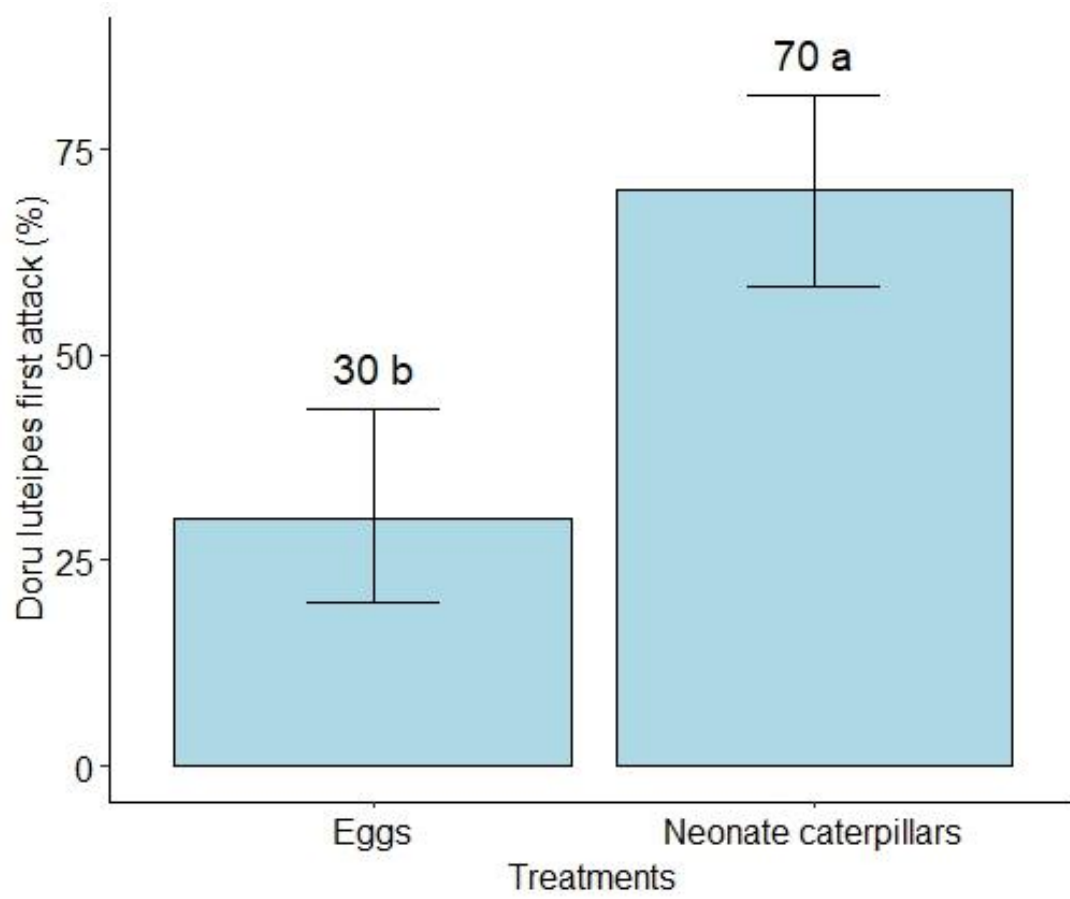


Fig. 2. *Doru luteipes* first attack (\pm SE) on *Spodoptera frugiperda* neonate caterpillars and eggs. Error bars represent confidence intervals calculated by generalized linear models with binomial distribution. Different letters indicate significant differences according to Tukey's test ($P = 0.05$).

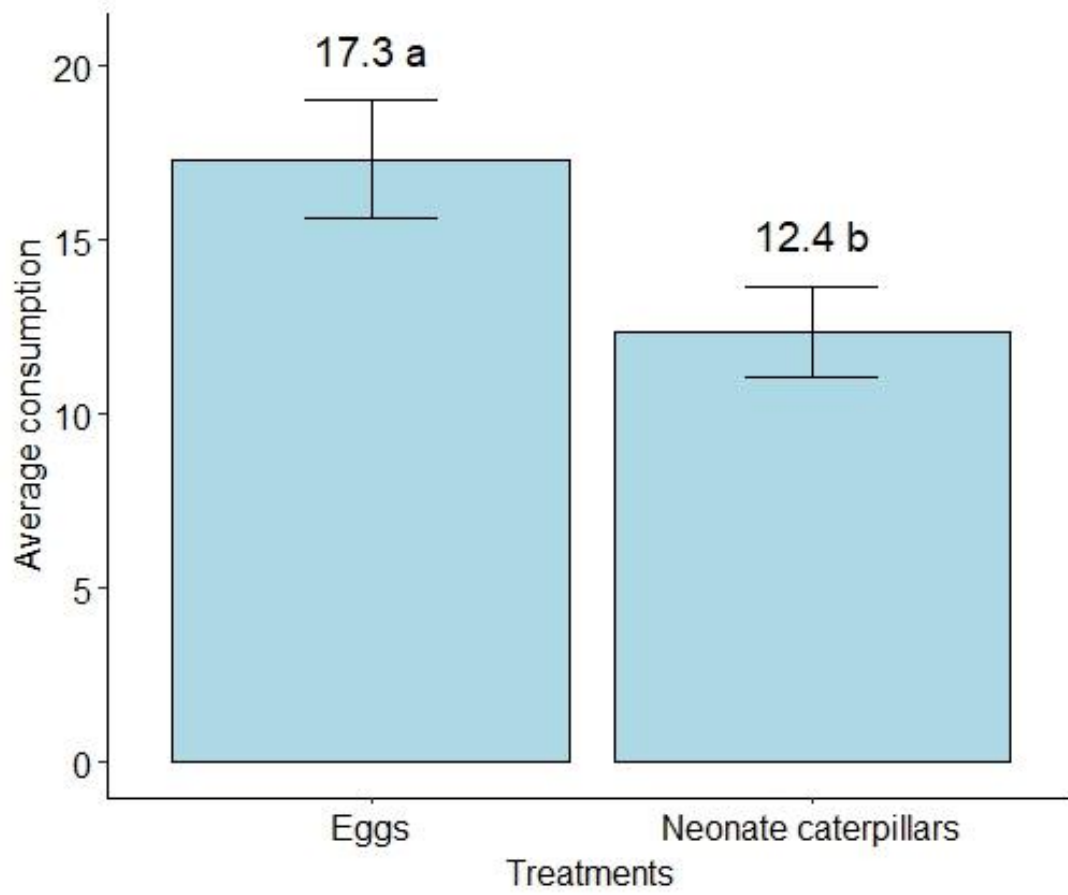


Fig. 3. Number (\pm SE) of *Spodoptera frugiperda* neonates and eggs consumed by *Doru luteipes*. Error bars represent confidence intervals calculated by generalized linear models with Poisson distribution. Different letters indicate significant differences according to Tukey's test ($P = 0.05$).

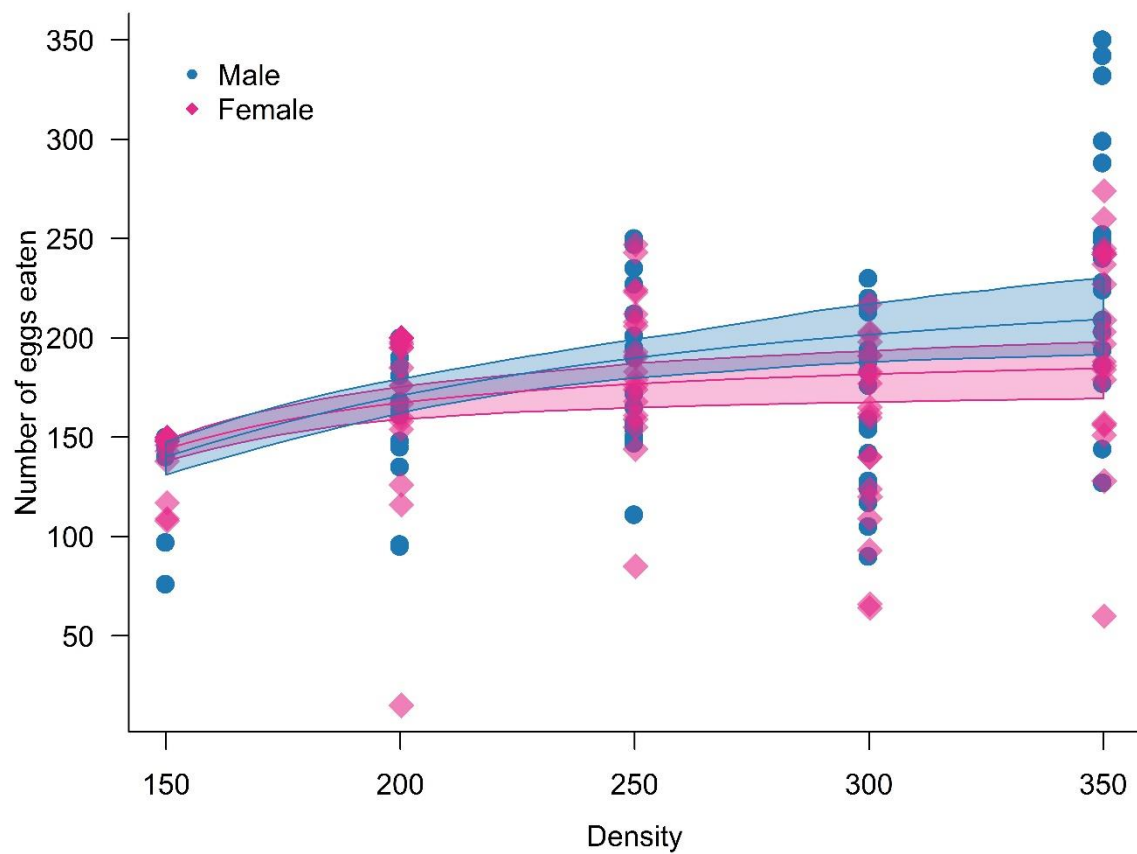


Fig. 4. Functional response curves of *Doru luteipes* males and females exposed to different densities of *Spodoptera frugiperda* eggs. Circles and diamonds represent the number of eggs consumed at each density by males and females, respectively. The central line represents the estimated mean values, and the lighter colors represent the limits of the confidence interval (Bootstrap 95%).

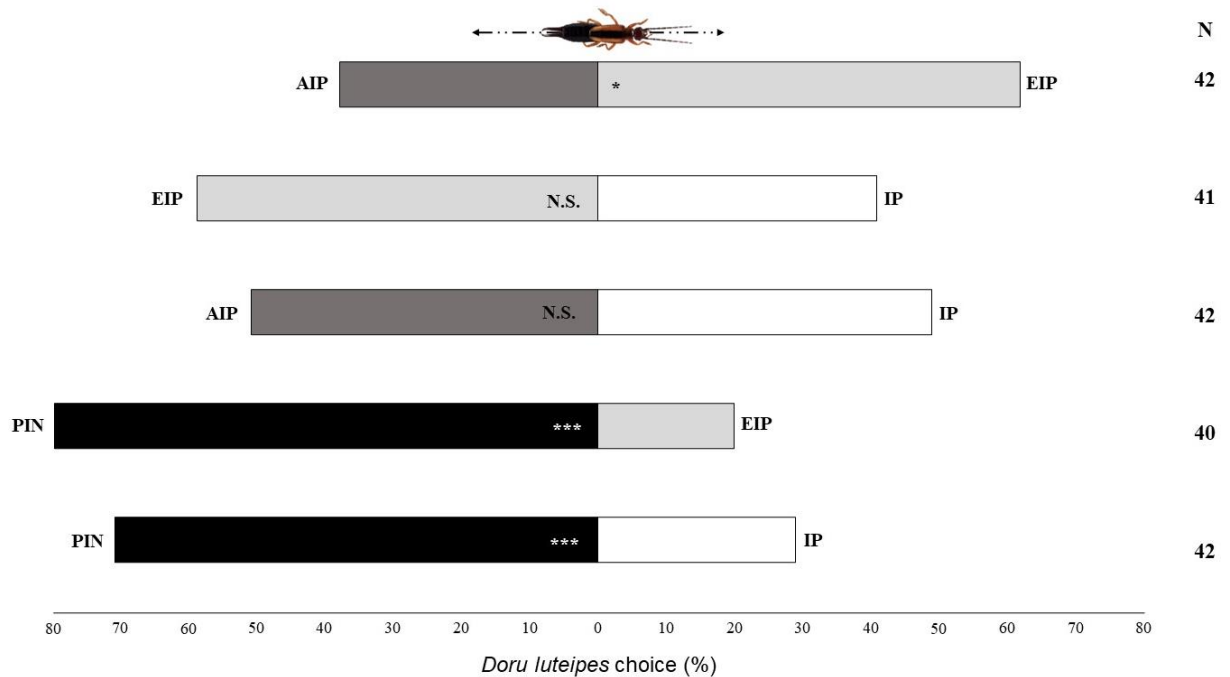


Fig. 5. Olfactory response of *Doru luteipes* females in Y olfactometer to volatiles induced by herbivory in maize plants. Bars indicate the choice by *D. luteipes* ($n > 40$), which moved towards the odor source in the choice situation. Odor sources consisted of intact plants (IP), plants infested by neonates (PIN), egg-infested plants (EIP) and aphid-infested plants (AIP). N: number of responses; χ^2 test (* $P = 0.03$, *** $P < 0.001$, N.S. not significant).

Tables

Table 1. Average number (\pm SE) of *Spodoptera frugiperda* eggs consumed at different densities in 24 h.

Density	Average prey consumed	
	Female	Male
150	145 \pm 2a	140 \pm 5a
200	171 \pm 10a	169 \pm 7a
250	186 \pm 8a	198 \pm 10a
300	154 \pm 10a	166 \pm 9a
350	198 \pm 11a	239 \pm 13b

Note: Means followed by different letters in the line differ according to Tukey's test at 5% probability.

Table 2. Functional response parameters of *Doru luteipes* females and males fed for 24 h with different densities of *Spodoptera frugiperda* eggs.

Sex	Parameters	Estimative	Confidence intervals
Female	a	8.221	4.113 – 14.163
	h	0.009	0.008 – 0.009
Male	a	3.644	2.014 – 6.594
	h	0.007	0.005 – 0.008

h: Handling time; a: Attack rate.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

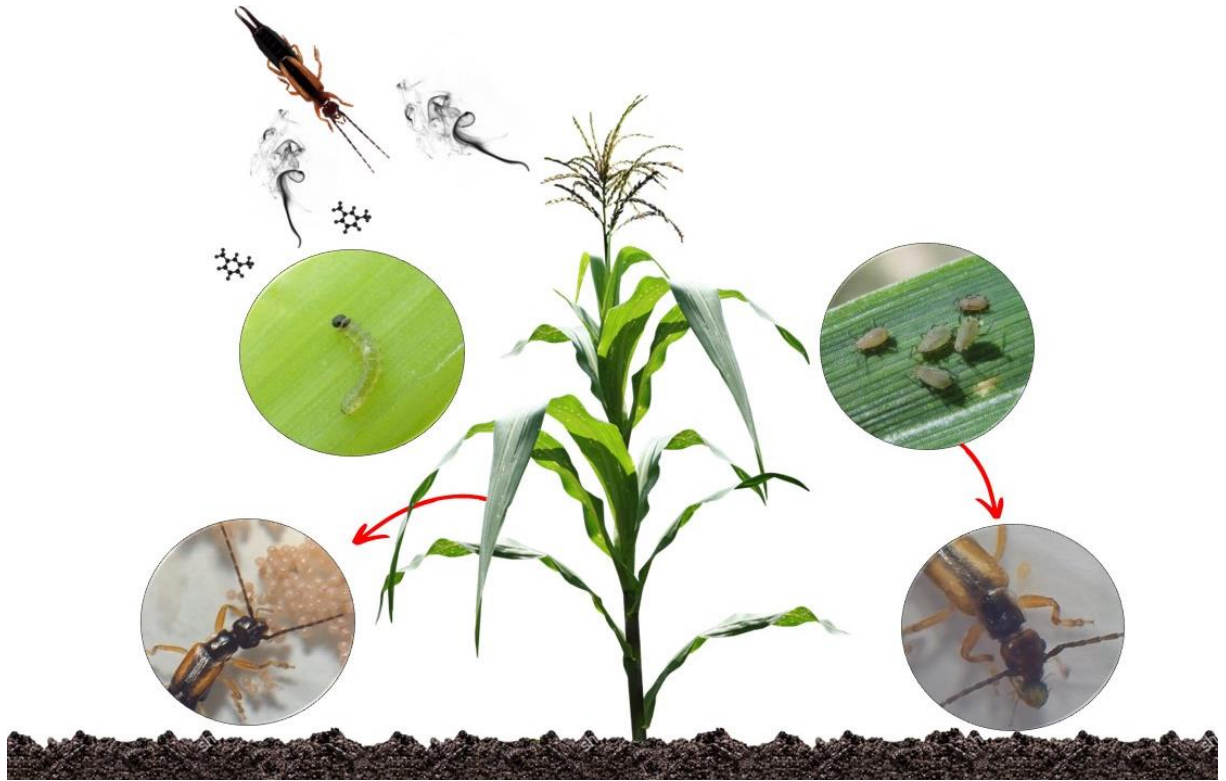
A tesourinha comum *Doru luteipes* é muito conhecida no Brasil por ser um importante agente natural de controle de populações da lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda*. Apesar de já ter sido alvo de diversos estudos ao longo das últimas três décadas, as informações sobre sua atividade predatória são ainda muito dispersas, portanto, escrevemos um artigo de revisão com o objetivo de compilar estas informações e estimular o desenvolvimento de novos estudos, almejando que a tesourinha possa finalmente vir a ser utilizada em programas de controle biológico conservativo e/ou aumentativo.

Nossas pesquisas visaram esclarecer aspectos da atuação de *D. luteipes* sobre *S. frugiperda* que ainda não haviam sido desvendados. Os resultados, descritos no segundo artigo (Figura 1A e B), demonstraram a importância de favorecer a ocorrência precoce da tesourinha no campo, devido ao seu potencial em prejudicar a colonização da praga, com impactos indiretos e diretos às mariposas e a seus descendentes, impedindo o crescimento populacional e conseqüentemente injúrias devido a alimentação da praga.

Doru luteipes é facilmente mantida em laboratório, apresentando metodologia de criação padronizada e dieta artificial de baixo custo, adequada a todos os estágios de desenvolvimento da espécie. Todavia, devido ao notável hábito generalista, a atuação sobre pragas-alvo no campo ainda deve ser confirmada, visando justificar a liberação inundativa. Além disso, a criação experimental de *D. luteipes* precisa ser otimizada para viabilizar a criação em larga escala permitindo suprir programas de controle biológico. Esperamos trabalhar estes aspectos nos próximos quatro anos, por meio da realização de pesquisas aplicadas durante o curso de doutorado.

Fig. 1. Desenho esquemático dos resultados da pesquisa. (A) *Doru luteipes* chega à lavoura atraída por voláteis induzidos pela herbivoria causada por lagartas neonatas de *Spodoptera frugiperda*. Uma vez na planta, atua sobre ovos e afídeos. (B) *Doru luteipes* ocorrendo precocemente na lavoura pode afetar indiretamente a mariposa de *Spodoptera frugiperda*, dificultando sua colonização.

(A)



(B)

