



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/FITOTECNIA

KÁSSIO EWERTON SANTOS SOMBRA

PROSPECÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS PARA O CONTROLE DE *Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) E SELETIVIDADE À *Trichogramma pretiosum* (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE)

FORTALEZA

2019

KÁSSIO EWERTON SANTOS SOMBRA

PROSPECÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS PARA O CONTROLE DE *Spodoptera frugiperda*
(LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) E SELETIVIDADE À *Trichogramma pretiosum*
(HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de *Magister Scientiae* em Agronomia/Fitotecnia. Área de concentração: Entomologia Agrícola.

Orientador: Prof. Patrik Luiz Pastori, *D. Sc.*
Coorientador: Prof. Mauricio Sekiguchi de Godoy, *D. Sc.*

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S676p Sombra, Kassio Ewerton Santos.
Prospecção de óleos essenciais para o controle de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) e seletividade à *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) / Kassio Ewerton Santos Sombra. – 2019.
114 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Fortaleza, 2019.
Orientação: Prof. Dr. Patrik Luiz Pastori.
Coorientação: Prof. Dr. Mauricio Sekiguchi de Godoy.
1. Inseticidas botânicos. 2. Controle alternativo. 3. Lagarta-do-cartucho. 4. Manejo integrado de pragas. 5. Parasitoide de ovos. I. Título.

CDD 630

KÁSSIO EWERTON SANTOS SOMBRA

PROSPECÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS PARA O CONTROLE DE *Spodoptera frugiperda*
(LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) E SELETIVIDADE À *Trichogramma pretiosum*
(HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de *Magister Scientiae* em Agronomia/Fitotecnia. Área de concentração: Entomologia Agrícola.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Patrik Luiz Pastori, *D. Sc.* (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Raimundo Ivan Remígio Silva, *D. Sc.*
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Pesq^a. Elaine Facco Celin, *D. Sc.*
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)

Pesq^a. Cristiane Ramos Coutinho, *D. Sc.*
IN Soluções Biológicas LTDA.

À minha mãe

À minha tia Ildene

Ao meu tio Dedé (*in memoriam*)

À minha vó Daura Sombra (*in memoriam*)

Ao meu avô Pedro Lopes (*in memoriam*)

AGRADECIMENTOS

À Deus, por cuidar e proteger minha família, por me ensinar que viver é amor, e que nenhum dinheiro está acima da vida humana!

À minha mãe, Maria Luiza Sombra, por se dedicar ao máximo, muitas vezes além do humanamente possível, para me educar de forma exemplar, me permitindo estudar e evoluir enquanto pessoa e profissional.

À minha tia, Ildene Sombra, por ser uma segunda mãe, por participar e contribuir sempre pro meu crescimento, acreditar e me apoiar a conquistar meus sonhos.

À minha irmã, Anaklaudia Sombra, por me ajudar e incentivar a continuar.

À minha namorada, Liliane Freitas, por participar ativamente deste trabalho e colocar a ‘mão na massa’, além de acreditar e me incentivar diariamente, companheira e cúmplice para todos os momentos!

À minha vó, Daura Sombra - *in memoriam*, ao meu avô, Pedro Lopes - *in memoriam* e ao meu saudoso tio, José Oliveira Sobrinho - *in memoriam*, por semearem e cultivarem em mim a paixão pela agricultura e pelo meio rural.

A todos os meus tios e tias, e a toda minha família.

À Universidade Federal do Ceará (UFC) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, pela oportunidade de cursar o Mestrado, com ênfase em Entomologia Agrícola.

Ao meu orientador, prof. Patrik Pastori, pela orientação e aprendizado constante, pelo apoio nos momentos mais difíceis e motivação para superar os desafios que surgiram.

Aos membros da banca examinadora, pesquisadoras Cristiane Ramos Coutinho e Elaine Facco Celin, e ao prof. Raimundo Ivan Remígio Silva, pelo tempo dedicado para a revisão e correção do trabalho, e pelas valiosas contribuições.

Ao grande amigo, Ivan Remígio, por me apresentar à entomologia, mas principalmente por me ensinar que não existem limites, que somos águias e nossa missão é voar, rompendo os paradigmas impostos pela sociedade.

À minha amiga, Marianne Gonçalves, por toda paciência para me ajudar e esclarecer dúvidas, ‘conversar’ e, acima de tudo, partilhar vivências que me incentivaram a crescer e ser alguém melhor.

À minha amiga, Cristiane Ramos Coutinho, pela paciência e atenção que me dedicou, principalmente, nos momentos mais difíceis, gratidão!

Ao meu amigo e colega do LEA, Caio Aguiar, por todo tempo e dedicação, fosse chuva ou sol, final de semana ou feriado, por ajudar a tirar este projeto do papel e torna-lo uma pesquisa científica.

Aos membros da equipe *Diaphania*: Alice, Bruna, Laura, Lorena, Sabrina e Thays Aquino, por toda dedicação e paciência diária, para conduzirem as criações diante de tantos desafios na graduação e, contribuírem para a realização desta pesquisa.

Aos meus amigos do Laboratório de Entomologia Aplicada (LEA), Adson, Alysson, Camila, Carol, Carlos, Dalila, Debora, Lorena Gomes, Lucas, Meyary, Paula, Roberta, Ruan, Suyanne, Thais Paz e Thais Motta pelo companheirismo, pelo apoio, pelos momentos de descontração, pela ajuda e desenvolvimento da pesquisa, vocês foram indispensáveis para a concretização deste trabalho, e principalmente pelas amizades que levarei pra vida.

Aos meus professores e professoras, pela paciência e atenção com que conduziram cada aula, atividade ou trabalho! Desculpem e muito obrigado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro por meio da concessão da bolsa de estudos.

À empresa AGROPAULO Agroindustrial LTDA., na pessoa do Sr. Paulo Telles e da Sr^a. Dayanne Oliveira, além de colaboradores e profissionais envolvidos, pela oportunidade, apoio e confiança para a realização do trabalho.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, *campus* Limoeiro do Norte, pela oportunidade de desenvolver parte deste trabalho no Laboratório de Entomologia Aplicada (LEA) da Instituição.

Aos estudantes do IFCE e membros do Núcleo de Manejo Agrossustentável (NEMA - IFCE), Andreza, Gledson, Henrique, Jailma, Igor, Kalline, Lucivanio, Milena e Pedro, pela dedicação e contribuição.

À agricultura familiar por me ensinarem que semear é um gesto de vida, e não de morte, obrigado pela motivação pra lutar! Viva a agroecologia e a agricultura familiar!

RESUMO

Os óleos essenciais de plantas aromáticas, com atividade inseticida, repelente ou fago-inibidora, vem destacando-se como alternativas ao controle de artrópodes-praga. Com composição variada, podem atuar sobre múltiplos sítios de ação, reduzindo a possibilidade de resistência e, em alguns casos, apresentando seletividade aos inimigos naturais, como parasitoides. O trabalho teve por objetivo avaliar o potencial inseticida, repelente e antifedante dos óleos essenciais de alecrim-pimenta *Lippia organoides* Kunth (Verbenaceae), citronela *Cymbopogon winterianus* Jowitt (Poaceae) e capim-santo *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf (Poaceae) sobre *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) e, a seletividade ao parasitoide de ovos, *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). Avaliaram-se atividades ovicida, larvicida - calculando-se as dosagens letais (DL₅₀) e, pupicida por contato. Além da repelência, antifedância, utilizando os métodos dos discos foliares com e sem chance de escolha; e antibiose, incorporando-se os óleos à dieta artificial. A seletividade foi avaliada por meio da sobrevivência e do parasitismo de *T. pretiosum*. Os três óleos expressaram atividade inseticida sobre ovos, larvas e pupas de *S. frugiperda*, destacando-se a rápida ação das soluções com óleo de alecrim-pimenta (média de 97,4% de potencial ovicida, 74,2% de pupicida, além de DL₅₀ de apenas 0,001% e 0,033%, por exposição e aplicação tópica, respectivamente). Os óleos também expressaram repelência, antifedância e antibiose, citando-se o óleo de capim-santo com 54,0% de repelência à 0,1% e, o de alecrim-pimenta, com DL₅₀ por antibiose de 0,151% e potencial antifedante de 49,0%. O óleo de citronela apresentou atividade inseticida, repelente, antifedante e antibiose sobre *S. frugiperda* em maior período, em alguns parâmetros, equiparou-se à testemunha. O óleo de alecrim-pimenta mostrou-se mais seletivo, com DL₅₀ de 0,43% sobre adultos de *T. pretiosum*, redução de 22% do parasitismo e, 88% de emergência de adultos à 0,01%, considerado inócuo segundo a *International Organization for Biological and Integrated Control of Noxious Animals and Plants/West Palearctic Regional Section* (IOBC/WPRS). Enquanto os óleos de citronela e capim-santo foram considerados levemente nocivos na maioria das dosagens avaliadas. As múltiplas atividades e a seletividade, fisiológica e ecológica, observadas nos óleos essenciais, permitem a integração com liberações de *T. pretiosum* no manejo integrado da lagarta-do-cartucho.

Palavras-chave: Inseticidas botânicos. Controle alternativo. Lagarta-do-cartucho. Manejo integrado de pragas. Parasitoide de ovos.

ABSTRACT

The essential oils of aromatic plants, with insecticidal, repellent or phage-inhibiting activity, have been highlighted as alternatives to the control of pest arthropods. With varied composition, they can act on multiple sites of action, reducing the occurrence of resistance and, in some cases, showing selectivity to the natural enemies, as parasitoids. The objective of this work was to evaluate the insecticidal, repellent and phage-inhibiting potential of essential oils rosemary pepper *Lippia origanoides* Kunth (Verbenaceae), citronella *Cymbopogon winterianus* Jowitt (Poaceae) and lemongrass *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf (Poaceae) on *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), and the selectivity to the egg parasitoid, *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). Ovicidal and larvicidal activities were evaluated, calculating lethal dosages (LD₅₀), and pupicidal per contact. Besides the repellency, antifeedant, using the methods of the foliar discs with and without possibility of choice; and antibiosis, incorporating the oils into the artificial diet. The selectivity was evaluated by the survival and parasitism of *T. pretiosum*. The three oils showed insecticidal activity on eggs, larvae and pupae of *S. frugiperda*, with the rapid action of solutions with rosemary pepper oil (mean 97.4% ovicidal potential, 74.2% pupicidal, of LD₅₀ of only 0.001% and 0.033%, by exposure and topical application, respectively). The oils also expressed repellency, antifeedance and antibiosis, citing the essential oil of lemongrass with 54.0% of repellency at 0.1% and that of rosemary pepper with LD₅₀ by antibiosis of 0.151% and anti-fouling potential of 49.0%. The citronella oil presented insecticidal activity, repellent, antifeedance and antibiosis on *S. frugiperda* in a longer period, in some parameters, it was compared to the control. Rosemary pepper oil was more selective, with LD₅₀ of 0.43% on adults of *T. pretiosum*, reduction of 22% of parasitism, and emergence of adults 88% at 0.01%, considered innocuous according to *International Organization for Biological and Integrated Control of Noxious Animals and Plants/West Palearctic Regional Section (IOBC/WPRS)*. While citronella and lemongrass oils were considered slightly harmful in most of the dosages evaluated. The multiple activities and the selectivity, physiological and ecological, observed in the essential oils, can allow the integration with releases of *T. pretiosum* in the integrated handling of the fall armyworm.

Keywords: Alternative control. Botanical insecticides. Egg parasitoid. Fall armyworm. Integrated pest management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Bioensaio de atividade ovicida	27
Figura 2	– Bioensaio de toxicidade por exposição em superfície tratada	28
Figura 3	– Bioensaio de toxicidade por aplicação tópica no mesotórax	29
Figura 4	– Bioensaio de atividade pupicida	30
Figura 5	– Potencial ovicida (PO) (A) e deterioração de ovos (B) de <i>S. frugiperda</i> , em porcentagem (%), após pulverização com soluções de óleos essenciais. Fortaleza – CE, Brasil	32
Figura 6	– Mortalidade corrigida (Mc) de lagartas de <i>S. frugiperda</i> , em porcentagem (%), após 6 (A), 12 (B), 24 (C) e 48 horas (D) de exposição em superfície tratada com as soluções de óleos essenciais. Fortaleza - CE, Brasil	33
Figura 7	– Pupas formadas (A) e adultos emergidos (B) de <i>S. frugiperda</i> , em porcentagem (%), após exposição das lagartas por 48 horas em superfície tratada com as soluções de óleos essenciais. Fortaleza - CE, Brasil	34
Figura 8	– Mortalidade corrigida (Mc) de lagartas de <i>S. frugiperda</i> , em porcentagem (%), 6 (A), 12 (B), 24 (C) e 48 horas (D) após a aplicação tópica das soluções de óleos essenciais. Fortaleza - CE, Brasil	35
Figura 9	– Pupas formadas e adultos emergidos, em porcentagem (%), a partir de lagartas de <i>S. frugiperda</i> que receberam aplicação tópica das soluções de óleos essenciais. Fortaleza - CE, Brasil	37
Figura 10	– Potencial pupicida (PP), em porcentagem (%), e duração do ínstar pupal de <i>S. frugiperda</i> , em dias, após pulverização das soluções de óleos essenciais. Fortaleza - CE, Brasil	38
Figura 11	– Bioensaio de repelência	53
Figura 12	– Bioensaio de não-preferência alimentar com chance de escolha	54
Figura 13	– Bioensaio de não-preferência alimentar sem chance de escolha	55
Figura 14	– Bioensaio de antibiose	56

Figura 15 – Atividade repelente (RP) dos óleos essenciais, e mortalidade corrigida (Mc) de lagartas de <i>S. frugiperda</i> , em porcentagem (%), no teste de preferência de área. Fortaleza - CE, Brasil	58
Figura 16 – Consumo foliar diário e acumulado de <i>S. frugiperda</i> , em área (cm ²), utilizando discos tratados com soluções de óleos essenciais, no bioensaio de não-preferência com chance de escolha. Fortaleza - CE, Brasil	59
Figura 17 – Consumo foliar de <i>S. frugiperda</i> em discos foliares tratados com soluções de óleos essenciais, no bioensaio de não-preferência com chance de escolha. Fortaleza - CE, Brasil	61
Figura 18 – Consumo foliar diário e acumulado de <i>S. frugiperda</i> , em área (cm ²), utilizando discos tratados com soluções de óleos essenciais no bioensaio de não-preferência sem chance de escolha. Fortaleza - CE, Brasil	62
Figura 19 – Consumo foliar de <i>S. frugiperda</i> em discos foliares tratados com soluções de óleos essenciais, no bioensaio de não-preferência sem chance de escolha. Fortaleza - CE, Brasil	63
Figura 20 – Comprimento, em milímetros (mm), e peso de pupas de <i>S. frugiperda</i> , em gramas (g), após alimentação das lagartas com dietas artificiais contendo soluções de óleos essenciais, no bioensaio de antibiose. Fortaleza - CE, Brasil	65
Figura 21 – Emergência e razão sexual de adultos de <i>S. frugiperda</i> , em porcentagem (%), após alimentação das lagartas com dietas artificiais contendo soluções de óleos essenciais, no bioensaio de antibiose. Fortaleza - CE, Brasil	66
Figura 22 – Bioensaio de toxicidade por contato. Pulverização dos tubos de vidro (A) e liberação de adultos de <i>T. pretiosum</i> linhagem “Ubajara” (B) após 24 horas	82
Figura 23 – Bioensaio de seletividade. Pulverização das cartelas contendo ovos (A) e Exposição das cartelas contendo ovos ao parasitismo por fêmeas de <i>T. pretiosum</i> linhagem “Ubajara” (B)	83

Figura 24 – Bioensaio de susceptibilidade. Exposição das cartelas ao parasitismo por fêmeas de <i>T. pretiosum</i> linhagem “Ubajara” (A) e pulverização das cartelas com óleos essenciais, ou testemunha (B)	84
Figura 25 – Parasitismo e emergência de adultos de <i>T. pretiosum</i> linhagem “Ubajara”, em porcentagem (%), em ovos previamente pulverizados com óleos essenciais. Fortaleza - CE, Brasil	87
Figura 26 – Emergência e razão sexual de adultos de <i>T. pretiosum</i> , em porcentagem (%), após pulverização dos ovos parasitados com óleos essenciais. Fortaleza - CE, Brasil	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Análise de variância (ANOVA) para potencial ovicida (PO), potencial larvicida (PL), por exposição em superfície tratada (Mc EST) e por aplicação tópica (Mc APT), e potencial pupicida (PP) de três óleos essenciais sobre <i>S. frugiperda</i>	31
Tabela 2	– Dosagens letais (DL ₅₀), em porcentagem (%), para ocasionar mortalidade larval de 50% sobre <i>S. frugiperda</i> após 48 horas de exposição em superfície tratada com soluções de óleos essenciais. Fortaleza - CE, Brasil	34
Tabela 3	– Dosagens letais (DL ₅₀), em porcentagem (%), para ocasionar mortalidade larval de 50% sobre <i>S. frugiperda</i> 48 horas após a aplicação tópica das soluções de óleos essenciais. Fortaleza - CE, Brasil	36
Tabela 4	– Análise de variância (ANOVA) para repelência percentual (RP), índice de preferência alimentar (IP), percentual de atividade antifedante (PA) e mortalidade corrigida (Mc) por antibiose sobre <i>S. frugiperda</i>	57
Tabela 5	– Índice de preferência alimentar (IP) de <i>S. frugiperda</i> , após imersão dos discos foliares em soluções de óleos essenciais, no bioensaio de não-preferência com chance de escolha. Fortaleza - CE, Brasil	60
Tabela 6	– Atividade antifedante (PA) de soluções de óleos essenciais, em porcentagem (%), sobre <i>S. frugiperda</i> , no bioensaio de não-preferência sem chance de escolha. Fortaleza - CE, Brasil	63
Tabela 7	– Mortalidade corrigida (Mc), em porcentagem (%), de lagartas de <i>S. frugiperda</i> alimentadas com dieta artificial (GREENE et al., 1976), contendo soluções de três óleos essenciais. Fortaleza - CE, Brasil	64
Tabela 8	– Dosagens letais (DL ₅₀), em porcentagem (%), para ocasionar 50% de mortalidade por antibiose em lagartas de <i>S. frugiperda</i> , incorporando-se as soluções de óleos essenciais à dieta artificial (GREENE et al., 1976). Fortaleza - CE, Brasil	65
Tabela 9	– Análise de variância (ANOVA) para mortalidade corrigida (MC), redução do parasitismo (RP) e emergência (EM) de adultos de <i>T. pretiosum</i> linhagem “Ubajara”, submetidos a soluções de óleos essenciais	85

Tabela 10 – Mortalidade corrigida (Mc), em porcentagem (%), de adultos de <i>T. pretiosum</i> linhagem “Ubajara”, expostos por 24 horas a superfícies tratadas com soluções de óleos essenciais. Fortaleza - CE, Brasil	86
Tabela 11 – Dosagens letais (DL ₅₀), em porcentagem (%), para ocasionar 50% de mortalidade em adultos de <i>T. pretiosum</i> linhagem “Ubajara”, após 24 horas de exposição. Fortaleza - CE, Brasil	86
Tabela 12 – Reduções da taxa de parasitismo (RP), em porcentagem (%), inferidas por soluções de óleos essenciais sobre a oviposição de <i>T. pretiosum</i> linhagem “Ubajara”. Fortaleza - CE, Brasil	88

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	14
2	POTENCIAL INSETICIDA DE TRÊS ÓLEOS ESSENCIAIS SOBRE <i>Spodoptera frugiperda</i> (J. E. SMITH) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)	22
2.1	Introdução	23
2.2	Material e métodos	25
2.2.1	<i>Local de estudo</i>	25
2.2.2	<i>Criação de <u>S. frugiperda</u></i>	25
2.2.3	<i>Obtenção dos óleos essenciais</i>	26
2.2.4	<i>Delineamento experimental</i>	26
2.2.5	<i>Bioensaio de atividade ovicida</i>	26
2.2.6	<i>Bioensaio de atividade larvicida por exposição em superfície tratada</i>	27
2.2.7	<i>Bioensaio de atividade larvicida por aplicação tópica</i>	28
2.2.8	<i>Bioensaio de atividade pupicida</i>	29
2.2.9	<i>Análise estatística</i>	30
2.3	Resultados	30
2.4	Discussão	38
2.5	Conclusão	40
3	POTENCIAL REPELENTE, ANTIFEDANTE E ANTIBIOSE DE TRÊS ÓLEOS ESSENCIAIS SOBRE <i>Spodoptera frugiperda</i> (J. E. SMITH) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)	48
3.1	Introdução	49
3.2	Material e métodos	51
3.2.1	<i>Local de estudo</i>	51
3.2.2	<i>Criação de <u>S. frugiperda</u></i>	51
3.2.3	<i>Obtenção dos óleos essenciais</i>	52
3.2.4	<i>Delineamento experimental</i>	52
3.2.5	<i>Bioensaio de repelência</i>	52
3.2.6	<i>Bioensaio de não-preferência alimentar com chance de escolha</i>	54
3.2.7	<i>Bioensaio de não-preferência alimentar sem chance de escolha</i>	55
3.2.8	<i>Bioensaio de antibiose</i>	56
3.2.9	<i>Análise estatística</i>	56

3.3	Resultados	57
3.4	Discussão	66
3.5	Conclusão	68
4	SELETIVIDADE DE TRÊS ÓLEOS ESSENCIAIS SOBRE <i>Trichogramma pretiosum</i> RILEY (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE)	77
4.1	Introdução	78
4.2	Material e métodos	80
4.2.1	<i>Local de estudo</i>	80
4.2.2	<i>Criação de <u>S. frugiperda</u></i>	80
4.2.3	<i>Criação de <u>T. pretiosum</u></i>	80
4.2.4	<i>Obtenção dos óleos essenciais</i>	81
4.2.5	<i>Delineamento experimental</i>	81
4.2.6	<i>Bioensaio de toxicidade</i>	81
4.2.7	<i>Bioensaio de seletividade</i>	82
4.2.8	<i>Bioensaio de susceptibilidade</i>	84
4.2.9	<i>Análise estatística</i>	84
4.3	Resultados	85
4.4	Discussão	89
4.5	Conclusão	91
5	CONCLUSÕES FINAIS	97
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	98
	REFERÊNCIAS	99

1 INTRODUÇÃO GERAL

A lagarta-do-cartucho ou lagarta-militar, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), é um lepidóptero nativo das regiões tropicais e subtropicais do continente americano, com hábito polífago. É capaz de se alimentar de mais de 80 espécies de plantas, destacando-se seu alto potencial biótico (FERNANDES et al., 2017; EARLY et al., 2018). Apresenta certa preferência por gramíneas como arroz *Oryza* spp., milho *Zea mays* L. e sorgo *Sorghum bicolor* (L.) Moench. (Poaceae), porém, também se alimenta e ocasiona danos significativos em culturas como algodão *Gossypium* spp. (Malvaceae); feijão *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae); repolho *Brassica oleracea* var. *capitata* L. (Brassicaceae) e tomate *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae) (BOIÇA JÚNIOR et al., 2013; GORDY et al., 2015). Além de também alimentar-se de plantas daninhas, como tiririca *Cyperus rotundus* L. (Cyperaceae) e corda-de-viola *Ipomoea grandifolia* (Dammer) O'Donell (Convolvulaceae), que servem de abrigo para desenvolver-se e atacar as culturas (MONTEZANO et al., 2018).

A lagarta-do-cartucho consolidou-se como importante praga na cultura do milho (*Z. mays*), com ocorrência generalizada nas Américas (MURÚA et al. 2015; MONTEZANO et al., 2018). Recentemente estabeleceu-se na Índia (KALLESHWARASWAMY et al., 2018), e em países da África (GOERGEN et al., 2016; FELDMANN et al., 2019), como Camarões (TINDO et al., 2017), Uganda (OTIM et al., 2018) e Senegal (BRÉVAULT et al., 2018), geralmente em lavouras de agricultura familiar, onde o milho é alimento básico para as famílias e criações de animais (DAY et al., 2017). Estima-se que os prejuízos à produção de milho africano podem totalizar US\$ 3 bilhões em 2019 (NAGOSHI et al., 2018).

As lagartas de *S. frugiperda* ocasionam danos significativos em todos os estágios de desenvolvimento do milho (MONTEZANO et al., 2018), provocando a destruição das folhas mais novas e do ‘cartucho’, reduzindo a atividade fotossintética, e conseqüentemente, o rendimento de grãos da cultura (GOERGEN et al., 2016; NAGOSHI et al., 2018). As perdas oscilam entre 17,7 e 55,6%, de acordo o estágio fenológico, condições edafoclimáticas, sistemas de cultivo e fatores bióticos (GOERGEN et al., 2016; FERNANDES et al., 2019).

Assim, o controle da lagarta-do-cartucho tornou-se constante nas lavouras, especialmente as de milho, apoiando-se geralmente no uso intensivo, e algumas vezes indiscriminado, de inseticidas sintéticos, que tem propiciado o surgimento de populações resistentes (ZHU et al., 2015; CARVALHO et al., 2018; DERMAUW et al., 2018), além de implicações à saúde humana e ao ambiente (MICHELOTTO et al., 2017). Diante disto, cresceu o interesse por métodos que apresentem eficácia, segurança e seletividade e, que sejam

tecnicamente viáveis e ambientalmente seguros, destacando-se, entre outros, o controle alternativo utilizando óleos essenciais (ISMAN, 2015, 2016; AYIL-GUTIÉRREZ et al., 2018).

Os óleos essenciais são compostos por misturas complexas de metabólitos secundários que auxiliam na comunicação inter e intraespecífica, além de compor alguns mecanismos de defesa vegetal (MIRESMAILLI; ISMAN, 2014; ISMAN, 2016). Quando aplicados de forma exógena, podem atuar sobre múltiplos sítios de ação, como o sistema nervoso central, modulando os receptores do ácido γ -aminobutírico (GABA), inibindo a acetilcolinesterase ou competindo pelos receptores nicotínicos de acetilcolina (nAChR) (PAVELA; BENELLI, 2016, CAMPOS et al., 2018). Assim conferem atividade inseticida ou acaricida por contato, fumigação ou ingestão; repelência, antifedância ou antibiose, reduzindo o potencial biótico de artrópodes-praga por desencadear reações comportamentais ou inibindo a seleção hospedeira para alimentação e oviposição; além do potencial de antibiose (pós-ingestão), reduzindo a velocidade de desenvolvimento, a fertilidade e a fecundidade, ou até provocando alterações na razão sexual (REGNAULT-ROGER et al., 2012; ISMAN, 2015, 2016). Pesquisas indicam que alguns óleos (com misturas entre 20 à 60 compostos) apresentam baixo risco de resistência múltipla ou cruzada (REGNAULT-ROGER et al., 2012; ISMAN; GRIENEISEN, 2014).

O óleo essencial de citronela, *Cymbopogon winterianus* Jowitt., (Poaceae), por exemplo, é composto principalmente por geraniol [(E)3,7-dimetil-octa-2,6-dieno-1-ol], citronelol (3,7-dimetiloct-6-en-1-ol) e citronelal (3,7-dimetiloct-6-en-1-al)]. Compostos que podem conferir repelência à insetos, como adultos do mosquito da dengue *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae), pernilongo *Culex quinquefasciatus* Say (Diptera: Culicidae) (SUWANSIRISILP et al., 2013), e mosquito *Anopheles gambiae* Giles (Diptera: Culicidae), principal vetor da malária (DELETRE et al., 2013). Estudos sobre atividade inseticida em *S. frugiperda* (SILVA et al., 2016), tripes *Frankliniella schultzei* Trybom (Thysanoptera: Thripidae) e pulgão-verde *Myzus persicae* Sulzer (Hemiptera: Aphididae) demonstram mortalidade variando de 34,3 e 96,9%, nos dois últimos (PINHEIRO et al., 2013). Além de ação acaricida sobre ácaro-rajado *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) (VICENTINI et al., 2015), carrapatos *Rhipicephalus microplus* (Canestrini) (Acari: Ixodidae) (SINGH et al., 2014a) e *Hyalomma anatolicum* Koch (Acari: Ixodidae) (SINGH et al., 2014b).

O óleo essencial de capim-santo, *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf. (Poaceae), é composto por citral (3,7-dimethyl-2,6-octadienal) e citronelal (3,7-dimetiloct-6-en-1-al), além de geraniol (E)3,7-dimetil-octa-2,6-dieno-1-ol) e mirceno (7-Methyl-3-methylene-1,6-octadiene) em menores concentrações (KNAAK et al., 2013; SILVA et al., 2014). Estes

compostos podem conferir ação repelente sobre o pulgão-da-couve *Brevicoryne brassicae* L. (Hemiptera: Aphididae) (RICCI et al., 2002) e o besouro-castanho *Tribolium castaneum* (Herbst.) (Coleoptera: Tenebrionidae) (OLIVERO-VERBEL et al., 2010); ação inseticida sobre *S. frugiperda* (SILVA et al., 2016), e fungicida sobre a mancha de *Cladosporium trichoides* Emmons (Capnodiales: Davidiellaceae) e a antracnose *Colletotrichum gloeosporioides* (Penzig) Saccardo (Phyllachorales: Glomerellaceae) (PÉREZ-CORDERO et al., 2017). Os compostos do óleo essencial de capim-santo têm sido utilizados também como feromônio artificial na captura de enxames de abelhas *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae), reduzindo os custos de aquisição de novos enxames, elevando a taxa de povoamento das colmeias (BALBUENA et al., 2012).

O óleo essencial de alecrim-pimenta vem destacando-se, principalmente, pela presença dos monoterpenos aromáticos, timol [2-isopropil-5-metil-fenol] e carvacrol (2-metil-5-(1-metiletil)-fenol] (REGNAULT-ROGER et al., 2012), responsáveis por ocasionar a morte, reduzir ou inibir a alimentação e a oviposição de diferentes artrópodes-praga (EL-WAKEIL, 2013), como o gorgulho-do-milho *Sitophilus zeamais* Mots. (Coleoptera: Curculionidae) (OLIVEIRA et al., 2018) e a mosca-branca *Bemisia tabaci* (Genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae) (VITE-VALLEJO et al., 2018).

Diante do potencial dos óleos essenciais, estudos também têm buscado apontar seus possíveis efeitos sobre inimigos naturais utilizados no controle biológico (BESTETE et al., 2011; ERCAN et al., 2013; ISMAN; GRIENEISEN, 2014). Heather & Hassan (2012), avaliaram os efeitos do óleo essencial de árvore-chá *Leptospermum petersonii* (F. M. Bailey) (Myrtaceae) sobre a traça-das-crucíferas *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) e *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae), e constataram que os compostos majoritários do óleo (citrinal e citronelal), foram seletivos aos adultos de *T. pretiosum*, enquanto expressaram atividade inseticida, antifedante e antibiose sobre larvas de *P. xylostella*, reduzindo a sobrevivência, o crescimento larval e, afetando a oviposição das mariposas. O estudo reforça a importância e a viabilidade da integração entre controle biológico e alternativo, potencializando resultados satisfatórios obtidos nos dois métodos, visando reduzir perdas e elevar a produtividade das culturas (TAVARES et al., 2009; HEATHER; HASSAN, 2012).

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o potencial inseticida, repelente e antifedante, além da antibiose de óleos essenciais de alecrim-pimenta (*L. organoides*), citronela (*C. winterianus*) e capim-santo (*C. citratus*), visando o controle de *S. frugiperda* e, sua seletividade ao parasitoide *T. pretiosum*.

REFERÊNCIAS

- AYIL-GUTIÉRREZ, B. A.; SÁNCHEZ-TEYER, L. F.; VAZQUEZ-FLOTA, F.; MONFORTE-GONZÁLEZ, M.; TAMAYO-ORDÓÑEZ, Y.; TAMAYO-ORDÓÑEZ, M. C.; RIVERA, G. Biological effects of natural products against *Spodoptera* spp. **Crop Protection**, v. 114, p. 195-207, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.08.032>
- BALBUENA, M. S.; MOLINAS, J.; FARINA, W. M. Honeybee recruitment to scented food sources: correlations between in-hive social interactions and foraging decisions. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 66, n. 3, p. 445-452, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00265-011-1290-3>
- BESTETE, L. R.; PRATISSOLI, D.; QUEIROZ, V. T. D.; CELESTINO, F. N.; MACHADO, L. C. Toxicity of Castor bean oil on *Helicoverpa zea* and *Trichogramma pretiosum*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 8, p.791-797. 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011000800002>
- BOIÇA JÚNIOR, A. L.; CAMPOS, Z. R.; CAMPOS, A. R.; VALÉRIO FILHO, W. V.; CAMPOS, O. R. *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in cotton: vertical distribution of egg masses, effects of adult density and plant age on oviposition behavior. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 80, n. 4, p. 424-429. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1808-16572013000400008>
- BRÉVAULT, T.; NDIAYE, A.; BADIANE, D.; BAL, A. B.; SEMBÈNE, M.; SILVIE, P.; HARAN, J. First records of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), in Senegal. **Entomologia Generalis**, v. 37, n. 2, p.127-142. 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.1127/entomologia/2018/0553>
- CAMPOS, E. V.; PROENÇA, P. L.; OLIVEIRA, J. L.; BAKSHI, M.; ABHILASH, P. C.; FRACETO, L. F. Use of botanical insecticides for sustainable agriculture: Future perspectives. **Ecological Indicators**, p. 1-13. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.038>
- CARVALHO, I. F.; ERDMANN, L. L.; MACHADO, L. L.; ROSA, A. P. S. A.; ZOTTI, M. J.; NEITZKE, C. G. Metabolic resistance in the fall armyworm: an overview. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 12, p. 426-436. 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.5539/jas.v10n12p426>
- DAY, R.; ABRAHAMS, P.; BATEMAN, M.; BEALE, T.; CLOTTEY, V.; COCK, M.; COLMENAREZ, Y.; CORNIANI, N.; EARLY, R.; GODWIN, J.; GOMEZ, J.; MORENO, P. G.; MURPHY, S. T.; OPPONG-MENSAH, B.; PHIRI, N.; PRATT, C.; SILVESTRI, S.; WITT, A. Fall armyworm: impacts and implications for Africa. **Outlooks on Pest Management**, v. 28, n. 5, p. 196-201, 2017. DOI: https://doi.org/10.1564/v28_oct_02
- DELETRE, E.; MARTIN, T.; CAMPAGNE, P.; BOURGUET, D.; CADIN, A.; MENUT, C.; BONAFOS, R.; CHANDRE, F. Repellent, irritant and toxic effects of 20 plant extracts on adults of the malaria vector *Anopheles gambiae* mosquito. **PLoS One**, v. 8, n. 12, p. e82103, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082103>

DERMAUW, W.; PYM, A.; BASS, C.; VAN LEEUWEN, T.; FEYEREISEN, R. Does host plant adaptation lead to pesticide resistance in generalist herbivores?. **Current Opinion in Insect Science**, v. 26, n. 1, p. 25-33. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cois.2018.01.001>

EARLY, R.; GONZÁLEZ-MORENO, P.; MURPHY, S. T.; DAY, R. Forecasting the global extent of invasion of the cereal pest *Spodoptera frugiperda*, the fall armyworm. **BioRxiv**, e391847. 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.1101/391847>

EL-WAKEIL, N. E. Botanical pesticides and their mode of action. **Gesunde Pflanzen**, v. 65, n. 4, p. 125-149, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s10343-013-0308-3>

ERCAN, F.; BAŞ, H.; KOÇ, M.; PANDIR, D.; ÖZTEMİZ, S. Insecticidal activity of essential oil of *Prangos ferulacea* (Umbelliferae) against *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae) and *Trichogramma embryophagum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v.37, n. 6, p.719-725. 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.3906/tar-1211-15>

FELDMANN, F.; RIECKMANN, U.; WINTER, S. The spread of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in Africa - What should be done next?. **Journal of Plant Diseases and Protection**, p. 1-5. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41348-019-00204-0>

FERNANDES, F. O.; ABREU, J. A.; CHRISTI, L. M.; RODRIGUES-FILHO, J. A.; MARTINS, A.; ROSA, A. P. S. A. **Desenvolvimento de *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) em cultivares de milho em laboratório**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2017. 35p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 264).

FERNANDES, F. O.; ABREU, J. A.; CHRIST, L. M.; ROSA, A. P. S. A. Efficacy of insecticides against *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797). **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 1, p. 494-503. 2019. DOI: <https://dx.doi.org/10.5539/jas.v11n1p494>

GOERGEN, G.; KUMAR, P. L.; SANKUNG, S. B.; TOGOLA, A.; TAMÒ, M. 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**, v. 11, n. 10, p. e0165632. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0165632>

GORDY, J. W.; LEONARD, B. R.; BLOUIN, D.; DAVIS, J. A.; STOUT, M. J. Comparative effectiveness of potential elicitors of plant resistance against *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in four crop plants. **PLoS One**, v. 10, n. 9, e0136689. 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0136689>

HEATHER, N.; HASSAN, E. Efficacy of *Leptospermum petersonii* oil, on *Plutella xylostella*, and its parasitoid, *Trichogramma pretiosum*. **Journal of Economic Entomology**, v. 105, n. 4, p. 1379-1384, 2012. DOI: <https://dx.doi.org/10.1603/EC11382>

ISMAN, M. B. A renaissance for botanical insecticides?. **Pest Management Science**, v. 71, n. 12, p. 1587-1590, 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.1002/ps.4088>

ISMAN, M. B. Pesticides based on plant essential oils: Phytochemical and practical considerations. In: **Medicinal and Aromatic Crops: Production, Phytochemistry, and Utilization**. American Chemical Society, 2016. p. 13-26. DOI: <https://dx.doi.org/10.1021/bk->

2016-1218.ch002

ISMAN, M. B.; GRIENEISEN, M. L. Botanical insecticide research: many publications, limited useful data. **Trends in Plant Science**, v. 19, n. 3, p. 140-145, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.11.005>

KALLESHWARASWAMY, C. M.; ASOKAN, R.; SWAMY, H. M. M.; MARUTHI, M. S.; PAVITHRA, H. B.; KAVITA, H.; GOERGEN, G. First report of the Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), an alien invasive pest on maize in India. **Pest Management in Horticultural Ecosystems**, v. 24, n. 1, p. 23-29, 2018.

KNAAK, N.; WIEST, S. L.; ANDREIS, T. F.; FIUZA, L. M. Toxicity of essential oils to the larvae of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Biopesticides**, v. 6, n. 1, p. 49-53, 2013.

MICHELOTTO, M. D.; CROSARIOL-NETO, J.; PIROTTA, M. Z.; DUARTE, A. P.; FEITAS, R. S.; FINOTO, E. L. Eficácia de milho transgênico tratado com inseticida no controle da lagarta-do-cartucho no milho safrinha no estado de São Paulo, Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 2, p. 128-138, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-70542017412020816>

MIRESMAILLI, S.; ISMAN, M. B. Botanical insecticides inspired by plant-herbivore chemical interactions. **Trends in Plant Science**, v. 19, p.29-35. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.10.002>

MONTEZANO, D. G.; SPECHT, A.; SOSA-GÓMEZ, D. R.; ROQUE-SPECHT, V. F.; SOUSA-SILVA, J. C.; PAULA-MORAES, S. V. D.; PETERSON, J. A.; HUNT, T. E. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. **African Entomology**, v. 26, n. 2, p. 286-300. 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.4001/003.026.0286>

MURÚA, M. G.; NAGOSHI, R. N.; DOS SANTOS, D. A.; HAY-ROE, M. M.; MEAGHER, R. L.; VILARDI, J. C. Demonstration using field collections that Argentina fall armyworm populations exhibit strain-specific host plant preferences. **Journal of Economic Entomology**, v. 108, n. 5, p. 2305-2315. 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.1093/jee/tov203>

NAGOSHI, R. N.; GOERGEN, G.; TOUNOU, K. A.; AGBOKA, K.; KOFFI, D.; MEAGHER, R. L. Analysis of strain distribution, migratory potential, and invasion history of fall armyworm populations in northern Sub-Saharan Africa. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 3710. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21954-1>

OLIVEIRA, A. R. M. F.; OLIVEIRA, L. M.; CARNEIRO, J. S.; SILVA, T. R. S.; COSTA, L. C. B. Essential oil of *Lippia sidoides* and its major compound thymol: Toxicity and walking response of populations of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Crop Protection**, v. 112, p. 33-38, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.05.011>

OLIVERO-VERBEL, J.; NERIO, L. S.; STASHENKO, E. E. Bioactivity against *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) of *Cymbopogon citratus* and *Eucalyptus citriodora* essential oils grown in Colombia. **Pest Management Science**, v. 66, n. 6, p.664-668. 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/ps.1927>

OTIM, M. H.; TAY, W. T.; WALSH, T. K.; KANYESIGYE, D.; ADUMO, S.; ABONGOSI, J.; OCHEN, S.; SSERUMAGA, J.; ALIBU, S.; ABALO, G.; ASEA, G.; AGONA, A. Detection of sister-species in invasive populations of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) from Uganda. **PLoS One**, v. 13, n. 4, e0194571. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194571>

PAVELA, R.; BENELLI, G. Essential oils as ecofriendly biopesticides? Challenges and constraints. **Trends in Plant Science**, v. 21, n. 12, p. 1000-1007, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.10.005>

PINHEIRO, P. F.; QUEIROZ, V. T. D.; RONDELLI, V. M.; COSTA, A. V.; MARCELINO, T. D. P.; PRATISSOLI, D. Insecticidal activity of citronella grass essential oil on *Frankliniella schultzei* and *Myzus persicae*. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 37, n. 2, p. 138-144, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542013000200004>

PÉREZ-CORDERO, A.; CHAMORRO-ANAYA, L.; VITOLA-ROMERO, D.; HERNÁNDEZ-GÓMEZ, J. Antifungal activity of *Cymbopogon citratus* against *Colletotrichum gloesporioides*. **Agronomía Mesoamericana**, v. 28, n. 2, p. 465-475, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/ma.v28i2.23647>

REGNAULT-ROGER, C.; VINCENT, C.; ARNASON, J. T. Essential oil in insect control: Low risk products in a high-state world. **Annual Review Entomology**, v. 57, p. 405-424, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120710-100554>

RICCI, E. M.; PADÍN, S. B.; KAHAN, A.; RÉ, S. Efecto repelente de los aceites esenciales de laurel y lemongrass sobre *Brevicoryne brassicae* L. (Homoptera: Aphididae) en repollo. **Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas**, v. 28, n. 2, p. 207-212, 2002.

SILVA, C. T. S.; WANDERLEY-TEIXEIRA, V.; CUNHA, F. M.; OLIVEIRA, J. V.; ANDRADE DUTRA, K.; NAVARRO, D. M. A. F.; TEIXEIRA, Á. A. C. Biochemical parameters of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) treated with citronella oil (*Cymbopogon winterianus* Jowitt ex Bor) and its influence on reproduction. **Acta Histochemica**, v. 118, n. 4, p. 347-352, 2016. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.acthis.2016.03.004>

SILVA, F. M.; BERTINI, L. M.; ALVES, L. A.; MOURA, L. F.; BARBOSA, P. T.; FERNANDES, A. B. D. Análise da composição química do óleo essencial de capim santo (*Cymbopogon citratus*) obtido através de extrator por arraste com vapor d' água construído com materiais de fácil aquisição e baixo custo. **Holos**, v. 30, n. 4, p.144-152. 2014. <https://doi.org/10.15628/holos.2014.1762>

SINGH, N. K.; VEMU, B.; NANDI, A.; SINGH, H.; KUMAR, R.; DUMKA, V. K. Acaricidal activity of *Cymbopogon winterianus*, *Vitex negundo* and *Withania somnifera* against synthetic pyrethroid resistant *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. **Parasitology Research**, v. 113, n. 1, p. 341-350, 2014a. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00436-013-3660-4>

SINGH, N. K.; VEMU, B.; NANDI, A.; SINGH, H.; KUMAR, R.; DUMKA, V. K. Laboratory assessment of acaricidal activity of *Cymbopogon winterianus*, *Vitex negundo* and *Withania somnifera* extracts against deltamethrin resistant *Hyalomma anatolicum*. **Experimental and Applied Acarology**, v. 63, n. 3, p. 423-430, 2014b. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10493-014-9791-1>

SUWANSIRISILP, K.; VISETSON, S.; PRABARIPAI, A.; TANASINCHAYAKUL, S.; GRIECO, J. P.; BANGS, M. J.; CHAREONVIRIYAPHAP, T. Behavioral responses of *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae) to four essential oils in Thailand.

Journal of Pest Science, v. 86, n. 2, p. 309-320, 2013. DOI:

<https://dx.doi.org/10.1007/s10340-012-0464-8>

TAVARES, W. S.; CRUZ, I.; PETACCI, F.; ASSIS JÚNIOR, S. L.; FREITAS, S. S.; ZANUNCIO, J. C.; SERRÃO, J. E. Potential use of Asteraceae extracts to control *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and selectivity to their parasitoids *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) and *Telenomus remus* (Hymenoptera: Scelionidae).

Industrial Crops and Products, v. 30, n. 3, p. 384-388. 2009. DOI:

<https://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.07.007>

TINDO, M.; TAGNE, A.; TIGUI, A.; KENGNI, F.; ATANGA, J.; BILA, S.; DOUMTSOP, A.;

ABEGA, R. First report of the fall army worm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera, Noctuidae) in Cameroon. **Cameroon Journal of Biological and Biochemical Sciences**, v. 25, p. 30-32. 2017.

VICENTINI, V. B.; PRATISSOLI, D.; QUEIROZ, V. T. D.; COSTA, A. V.; PINHEIRO, P. F.; ZINGER, F. D.; RONDELLI, V. M. Ethanol extract of *Cymbopogon winterianus* on mortality and number of eggs of *Tetranychus urticae*. **Ciência Rural**, v. 45, n. 7, p. 1154-1159, 2015.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20140175>

VITE-VALLEJO, O.; BARAJAS-FERNÁNDEZ, M. G.; SAAVEDRA-AGUILAR, M.;

CARDOSO-TAKETA, A. Insecticidal effects of ethanolic extracts of *Chenopodium ambrosioides*, *Piper nigrum*, *Thymus vulgaris*, and *Origanum vulgare* against *Bemisia tabaci*.

Southwestern Entomologist, v. 43, n. 2, p. 383-394, 2018. DOI:

<https://doi.org/10.3958/059.043.0209>

ZHU, Y. C.; BLANCO, C. A.; PORTILLA, M.; ADAMCZYK, J.; LUTTRELL, R.; HUANG, F. Evidence of multiple/cross resistance to Bt and organophosphate insecticides in Puerto Rico population of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*.

Pesticide Biochemistry and Physiology, v. 122, v. 1, p. 15-21. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2015.01.007>

2 POTENCIAL INSETICIDA DE TRÊS ÓLEOS ESSENCIAIS SOBRE *Spodoptera frugiperda* (J. E. SMITH) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)

RESUMO

O controle alternativo utilizando óleos essenciais com atividade inseticida, repelente e/ou fagoinibidora, vem se destacando como importante ferramenta no Manejo Integrado de Pragas (MIP), impulsionado pelo crescente interesse por métodos que preencham os requisitos de eficácia, segurança, seletividade e, que sejam tecnicamente viáveis e ambientalmente seguros. O trabalho teve por objetivo determinar o potencial inseticida de óleos essenciais de alecrim-pimenta *Lippia origanoides* Kunth (Verbenaceae), citronela *Cymbopogon winterianus* Jowitt. (Poaceae) e capim-santo *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf. (Poaceae) para o controle de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). Avaliou-se a atividade ovicida, larvicida e pupicida, comparando-se cinco dosagens (0,1; 0,5; 1,0; 2,5 e 5,0%), além da testemunha negativa (detergente neutro à 5,0%). Registraram-se os ovos não eclodidos, mortalidade de lagartas e adultos não emergidos, utilizando os valores para cálculo dos potenciais ovicida e pupicida, além das dosagens letais (DL_{50}) às lagartas de *S. frugiperda*. Os óleos essenciais apresentaram atividade inseticida sobre ovos, larvas e pupas, destacando-se a rápida ação do óleo essencial de alecrim-pimenta, que registrou, na menor dosagem, média de 97,8% de potencial ovicida e 81,3% de pupicida, além de dosagens letais (DL_{50}) calculadas de 0,001% e 0,033%, enquanto o óleo de capim-santo apresentou dosagens de 0,008 e 1,151%, e o de citronela 0,159 e 1,348%, por exposição e aplicação tópica, respectivamente, citando-se a atividade repelente expressa pelo óleo de citronela, que induziu comportamento de fuga e agressividade às lagartas de *S. frugiperda*.

Palavras-chave: Inseticidas botânicos. Lagarta-do-cartucho. Manejo integrado de pragas.

ABSTRACT

The alternative control using essential oils with insecticidal, repellent and/or phage-inhibiting activity has been highlighted as an important tool in Integrated Pest Management (IPM), driven by the growing interest in methods that meet the requirements of efficacy, safety, selectivity and, technically feasible and environmentally safe. The objective of this work was to determine the insecticidal potential of essential oils of pepper-rosemary *Lippia origanoides* Kunth

(Verbenaceae), citronella *Cymbopogon winterianus* Jowitt. (Poaceae) and lemongrass *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf. (Poaceae) for control of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). Ovicidal, larvicidal and pupicidal activity were evaluated, comparing five dosages (0.1, 0.5, 1.0, 2.5 and 5.0%), in addition to the negative control (neutral detergent at 5.0 %). Non-hatched eggs, caterpillar mortality and non-emerged adults were recorded using the values for calculating ovicidal and pupicidal potentials, as well as lethal dosages (LD₅₀) for *S. frugiperda* caterpillars. The essential oils presented insecticidal activity on eggs, larvae and pupae, with a high percentage of pepper-rosemary essential oil, which showed, at the lowest dosage, a mean of 97.8% ovicidal potential and 81.3% pupicidal, as well as lethal dosages (LD₅₀) calculated as 0.001% and 0.033%, while the oil of lemongrass presented dosages of 0.008 and 1.151%, and that of citronella 0.159 and 1.348%, by exposure and topical application respectively, the repellent activity expressed by citronella oil, which induced escape behavior and aggressiveness to *S. frugiperda* caterpillars, was observed.

Keywords: Botanical insecticides. Fall armyworm. Integrated pest management.

2.1 Introdução

A lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), é um lepidóptero nativo das regiões tropicais e subtropicais do continente americano, com hábito polífago e, consolidou-se como importante lepidóptero-praga na cultura do milho *Zea mays* L. (Poaceae) (GOERGEN et al., 2016; FERNANDES et al., 2017; EARLY et al., 2018), destacando-se pelo alto potencial biótico e ocorrência generalizada nas Américas (MONTEZANO et al., 2018), Ásia (KALLESHWARASWAMY et al., 2018) e África (FELDMANN et al., 2019). As lagartas podem atacar e alimentar-se das plantas de milho (*Z. mays*), desde a emergência das plântulas até a formação de espigas (NAGOSHI et al., 2018), reduzindo a atividade fotossintética e ocasionando perdas significativas no rendimento de grãos da cultura (GOERGEN et al., 2016; FERNANDES et al., 2019).

Normalmente, o controle da lagarta-do-cartucho (*S. frugiperda*) tem sido realizado utilizando inseticidas sintéticos (ZHU et al., 2015), como organofosforados e neonicotinóides, além de plantas geneticamente modificadas (transgênicas), capazes de expressar toxinas *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) (VÉLEZ et al. 2016; XIAO; WU, 2019). No entanto, o uso inadequado destas tecnologias tem ocasionado o surgimento de populações resistentes (GORDY et al., 2015), assim como, a redução da população de inimigos naturais e organismos

benéficos (MARTINS et al., 2009; MICHELOTTO et al., 2017). Portanto, a busca por métodos que preencham os requisitos de eficácia, segurança e seletividade, torna-se cada vez mais importante, destacando-se o controle alternativo com óleos essenciais de plantas aromáticas (ALVES et al., 2018; AYIL-GUTIÉRREZ et al., 2018).

Os óleos essenciais são compostos por misturas complexas de metabólitos secundários, que evolutivamente passaram a constituir os mecanismos de defesa vegetal contra insetos e ácaros fitófagos e, quando extraídos e aplicados de forma exógena, podem conferir atividade inseticida, repelente ou fago-inibidora (MIRESMAILLI; ISMAN, 2014; ISMAN, 2015, 2016). As plantas do gênero *Lippia*, por exemplo, vêm tornando-se importantes fontes de compostos inseticidas, principalmente pela presença do timol (2-isopropil-5-metil-fenol) e do carvacrol (2-metil-5-(1-metiletil)-fenol) (REGNAULT-ROGER et al., 2012; DOS SANTOS et al., 2016). Esses monoterpenos aromáticos são responsáveis por conferir aos óleos essenciais de tomilho *Thymus vulgaris* L. (Lamiaceae) (SAID-AL AHL et al., 2019), de orégano *Origanum vulgare* L. (Labiatae) (JAVIER et al., 2018) e de alecrim-pimenta *Lippia origanoides* Kunth (Verbenaceae) (OLIVEIRA et al., 2017), o potencial de ocasionar a morte, reduzir ou inibir a alimentação e oviposição (antifedância) (EL-WAKEIL, 2013; AMRI et al., 2014), sobre diferentes artrópodes-praga, como o gorgulho-do-milho *Sitophilus zeamais* Mots. (Coleoptera: Curculionidae) (OLIVEIRA et al., 2018) e a mosca-branca *Bemisia tabaci* (Genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae) (VITE-VALLEJO et al., 2018).

O óleo essencial de capim-santo, *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf. (Poaceae), composto majoritariamente por citral (3,7-dimethyl-2,6-octadienal) e citronelal (3,7-dimetiloct-6-en-1-al) (SILVA et al., 2014), pode conferir ação repelente sobre o pulgão-da-couve *Brevicoryne brassicae* L. (Hemiptera: Aphididae) (RICCI et al., 2002) e o besouro-castanho *Tribolium castaneum* (Herbst.) (Coleoptera: Tenebrionidae) (OLIVERO-VERBEL et al., 2010). Enquanto o óleo de citronela, *Cymbopogon winterianus* Jowitt., (Poaceae), composto por geraniol [(E)3,7-dimetil-octa-2,6-dieno-1-ol], citronelol (3,7-dimetiloct-6-en-1-ol) e citronelal, pode conferir repelência à adultos do mosquito da dengue *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae) (SUWANSIRISILP et al., 2013), ação inseticida sobre tripes *Frankliniella schultzei* Trybom (Thysanoptera: Thripidae) e pulgão-verde *Myzus persicae* Sulzer (Hemiptera: Aphididae) (PINHEIRO et al., 2013), além de ação acaricida sobre o ácaro-rajado *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) (VICENTINI et al., 2015).

Diante disto, nas últimas décadas, cresceu o interesse pelos estudos sobre o uso fitossanitário dos óleos essenciais (REGNAULT-ROGER et al., 2012; ALVES et al., 2018), motivados pela alta diversidade de plantas aromáticas com atividade inseticida, repelente ou

fagoinibidora, e pela predominância de produtos comerciais, formulados e produzidos, à base de extratos e óleos essenciais como exemplo do neem indiano *Azadirachta indica* A. Juss (Meliaceae) (BENELLI et al., 2016). Os produtos à base de neem podem possuir múltiplos modos de ação, capazes de promover toxicidade devido aos efeitos dos antinutrientes e, a regulação de crescimento, atuando sobre diferentes artrópodes-praga de importância econômica (GAHUKAR, 2016, 2017, 2018). No entanto, a intensificação do seu uso à longo prazo pode provocar riscos similares aos observados com uso de inseticidas sintéticos, como aumento nos relatos de resistência, a ressurgência e a erupção de populações de artrópodes-praga (REGNAULT-ROGER et al., 2012; ZHU et al., 2015). Assim, tornam-se necessários estudos que prospectem óleos essenciais de diferentes plantas, gerando inovação e diversificação nas ferramentas para melhorar os programas de MIP (REGNAULT-ROGER et al., 2012; ALVES et al., 2018).

O trabalho teve o objetivo de avaliar o potencial inseticida dos óleos essenciais de alecrim-pimenta (*L. origanoides*), de citronela (*C. winterianus*) e de capim-santo (*C. citratus*) sobre as fases de ovo, larva e pupa de *S. frugiperda*.

2.2 Material e métodos

2.2.1 Local de estudo

O trabalho foi desenvolvido em sala climatizada ($25 \pm 3^\circ\text{C}$, $70 \pm 10\%$ de UR e fotofase de 12 h) no Laboratório de Entomologia Aplicada (LEA) da Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, CE, Brasil.

2.2.2 Criação de *S. frugiperda*

A criação foi estabelecida a partir de lagartas coletadas em áreas de cultivo comercial, nos municípios de Quixeré e Limoeiro do Norte-CE, Brasil, e mantidas utilizando dieta artificial, proposta por Greene et al. (1976).

As coletas foram realizadas no período da manhã, observando a presença de injúrias ou fezes na região do cartucho das plantas de milho (*Z. mays*) para localizar as lagartas de *S. frugiperda* e transferi-las para tubos de vidro (100 x 25 mm) contendo dieta artificial. Os tubos foram tamponados com algodão hidrófobo e transportados para o LEA - UFC, onde foram mantidos sob condições controladas até a formação de pupas que, após serem retiradas do

resíduo da dieta, foram colocadas em placas de Petri (90 x 15 mm), e aí permaneceram até a emergência dos adultos. Os adultos foram transferidos para gaiolas cilíndricas de policloreto de polivinila (PVC) (10 x 25 cm), contendo solução de mel à 10% (alimentação), revestidas com papel toalha (oviposição) e fechadas nas extremidades com tecido tipo 'voil'. A solução e o papel toalha foram trocados a cada dois dias, recortando-se as massas de ovos e colocando-as em placas de Petri (90 x 15 mm). Após três dias, as lagartas recém-eclodidas foram transferidas, com auxílio de um pincel de pêlos finos, para tubos de vidro (100 x 25 mm) contendo dieta artificial, utilizando-se as gerações seguintes nos bioensaios.

2.2.3 Obtenção dos óleos essenciais

Os óleos essenciais foram cedidos pela AGROPAULO Agroindustrial S/A Jaguaruana-CE, Brasil após extração em laboratório, empregando-se a técnica de hidrodestilação por 'arraste a vapor' (KOKETSU; GONÇALVES, 1991).

2.2.4 Delineamento experimental

Os bioensaios foram implantados em delineamento inteiramente casualizado (DIC), esquema fatorial 3 x 5, para avaliar a atividade dos óleos essenciais de alecrim-pimenta (*L. origanoides*), de citronela (*C. winterianus*) e de capim-santo (*C. citratus*), nas dosagens à 0,1; 0,5; 1,0; 2,5 e 5,0% de óleo essencial por litro de água, determinadas com por meio de testes preliminares de dose/mortalidade, sobre ovos, larvas (lagartas) e pupas de *S. frugiperda*. As dosagens dos óleos essenciais foram dissolvidas previamente com auxílio de detergente neutro (1:1). Foram instaladas cinco repetições por tratamento, utilizando-se 20 ovos, 10 lagartas de 3º instar (identificadas de acordo com a largura da cápsula cefálica) ou 10 pupas de *S. frugiperda* por repetição.

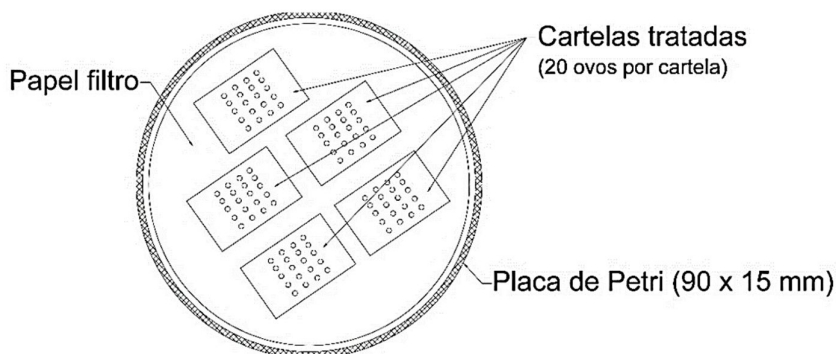
A testemunha negativa consistiu de água destilada e detergente neutro à 5,0%.

2.2.5 Bioensaio de atividade ovicida

A atividade ovicida foi determinada utilizando cartelas de cartolina azul celeste (4 x 2 cm), contendo ovos de *S. frugiperda* com até 24 horas de idade, coletados na criação mantida no LEA-UFC e colados de forma equidistante utilizando solução de goma arábica à 20%, com auxílio de pincel de pêlos finos e microscópio estereoscópio. As cartelas foram colocadas sobre

papel filtro e, pulverizadas com $200 \pm 20 \mu\text{L}$ das soluções de óleos essenciais, ou testemunha, utilizando pulverizador manual. Após 30 minutos, as cartelas (repetições) foram organizadas em placas de Petri (90 x 15 mm) (Figura 1), fechando-as com filme plástico PVC[®] (TAVARES et al., 2010).

Figura 1 - Bioensaio de atividade ovicida



Fonte: elaborada pelo autor.

A deterioração ou a eclosão dos ovos de *S. frugiperda* foi avaliada diariamente por sete dias, calculando-se o percentual de atividade ovicida, conforme descrito (DURAI PANDIYAN et al., 2015; SANGHA et al., 2017):

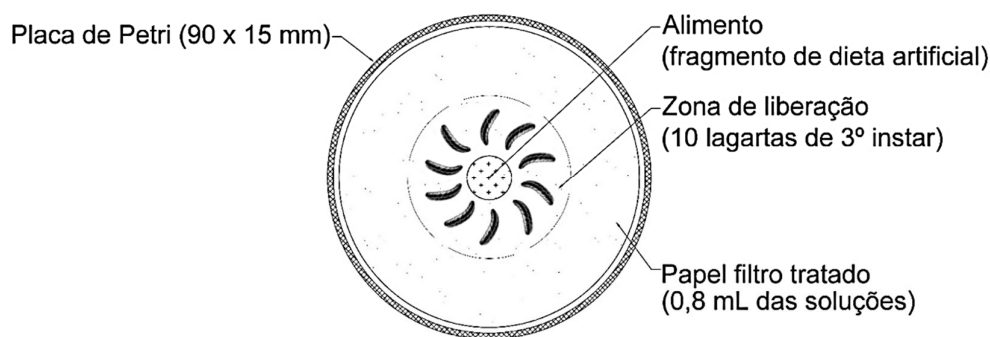
$$PO(\%) = \frac{OVC - OVT}{100 - OVC} \times 100 \quad (1)$$

Onde: PO= Percentual de atividade ovicida; OVC= Ovos não eclodidos na testemunha; OVT= Ovos não eclodidos nos tratamentos com óleos essenciais.

2.2.6 Bioensaio de atividade larvicida por exposição em superfície tratada

O bioensaio de atividade larvicida por exposição em superfície tratada foi realizado utilizando discos de papel filtro (85 mm), impregnados com 0,8 mL das soluções de óleos essenciais, ou testemunhas, colocados em placas de Petri (90 x 15 mm) e deixados em repouso por 30 minutos (OLIVERO-VERBEL et al., 2010; DOS SANTOS et al., 2016; GAO et al., 2018). Após secagem, realizou-se a liberação das lagartas no centro das superfícies tratadas (ALMEIDA et al., 2017), fornecendo um fragmento de dieta artificial (GREENE et al., 1976) para evitar a morte das lagartas por inanição, e fechando-se as placas com filme plástico PVC[®] (Figura 2).

Figura 2 - Bioensaio de toxicidade por exposição em superfície tratada



Fonte: elaborada pelo autor.

As mortalidades acumuladas foram avaliadas após 6, 12, 24 e 48 horas de exposição em superfície tratada com as soluções de óleos essenciais, ou testemunha, considerando mortas as lagartas que não apresentavam resposta observável a um estímulo mecânico, realizado com um pincel de pêlos finos (ABBASZADEH et al., 2014; SILVA et al., 2017). Após 48 horas de exposição, as lagartas sobreviventes foram retiradas e transferidas para tubos de vidro (100 x 25 mm) contendo dieta artificial (GREENE et al., 1976), registrando-se o número de pupas formadas e de adultos emergidos.

Posteriormente, a mortalidade observada foi corrigida em relação à testemunha negativa, utilizando-se as fórmulas propostas por Abbott (1925), descritas a seguir (SELIN-RANI et al., 2016):

$$\%M = \frac{NIMT}{NTIT} \times 100 \quad (2)$$

Onde: %M= Porcentagem de mortalidade; NIMT= Número de lagartas mortas no tratamento; NTIT= Número total de lagartas no tratamento.

$$Mc(\%) = \frac{\%Mo - \%Mt}{100 - \%Mt} \times 100 \quad (3)$$

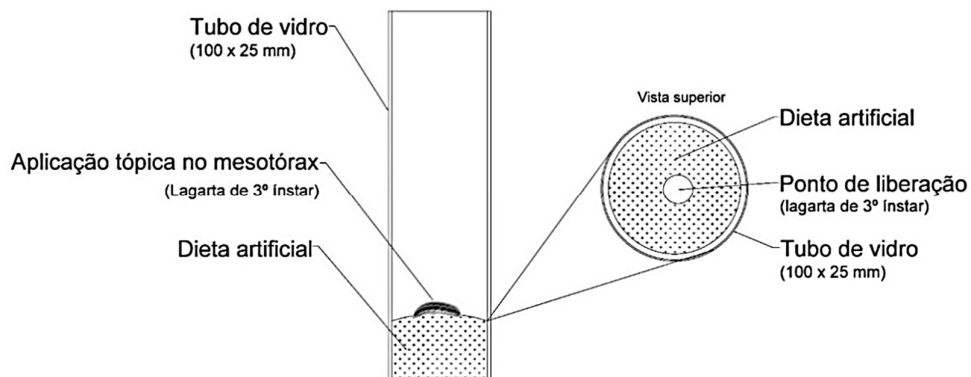
Onde: Mc= Mortalidade corrigida; Mo= Mortalidade observada; Mt= Mortalidade da testemunha negativa.

2.2.7 Bioensaio de atividade larvicida por aplicação tópica

No segundo bioensaio de atividade larvicida, as soluções de óleos essenciais, ou testemunha, foram aplicadas topicamente sobre o mesotórax de lagartas de *S. frugiperda*, previamente colocadas, com auxílio de um pincel de pêlos finos, em tubos de vidro (100 x 25 mm) contendo dieta artificial (GREENE et al. 1976; MURCIA-MESEGUER et al., 2018; MELO et al., 2018). Os tubos foram tamponados com algodão hidrófobo e organizados em

estantes na posição vertical (Figura 3).

Figura 3 - Bioensaio de toxicidade por aplicação tópica no mesotórax



Fonte: elaborada pelo autor.

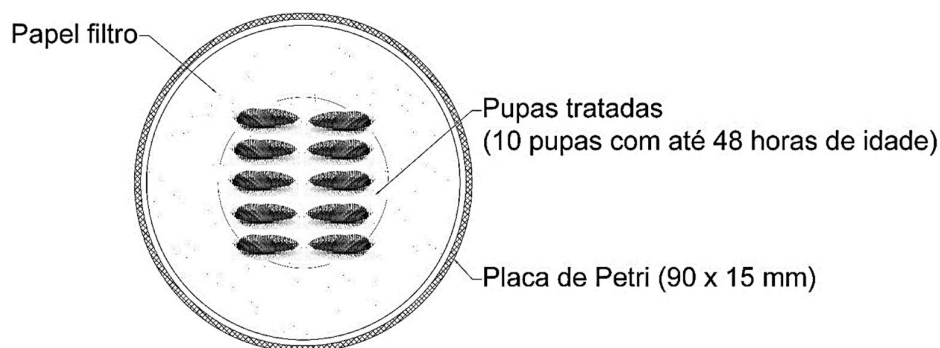
As mortalidades acumuladas foram avaliadas 6, 12, 24 e 48 horas após a aplicação tópica das soluções de óleos essenciais, ou testemunha (ABBASZADEH et al., 2014; SILVA et al., 2017). As lagartas sobreviventes permaneceram nos tubos de vidro (100 x 25 mm), e puderam se alimentar de dieta artificial (GREENE et al., 1976), registrando-se o número de pupas formadas e de adultos emergidos.

A mortalidade observada também foi corrigida em relação à testemunha utilizando-se as fórmulas propostas por Abbott (1925).

2.2.8 Bioensaio de atividade pupicida

A atividade pupicida (BASKAR et al., 2009) foi determinada utilizando pupas de *S. frugiperda*, com até 48 horas de idade, colocadas sobre papel filtro e pulverizadas com $200 \pm 20 \mu\text{L}$ das soluções de óleos essenciais, ou testemunha, utilizando pulverizador manual. Após 30 minutos, as pupas foram colocadas em placas de Petri (90 x 15 mm) contendo papel filtro de mesmo diâmetro, fechando-se as placas com filme plástico PVC[®] (Figura 4).

Figura 4 - Bioensaio de atividade pupicida



Fonte: elaborada pelo autor.

A mortalidade das pupas e a emergência de adultos foi avaliada diariamente por quinze dias e os valores foram utilizados para cálculo do percentual de atividade pupicida (PP), conforme fórmula adaptada de Sangha et al. (2017) e descrita abaixo (DURAIPANDIYAN et al., 2015):

$$PP(\%) = \frac{AEC - AET}{100 - AEC} \times 100 \quad (4)$$

Onde: PP= Percentual de atividade pupicida; AEC= Adultos não emergidos na testemunha; AET= Adultos não emergidos nos tratamentos com óleos essenciais.

2.2.9 Análise estatística

Os valores médios de mortalidade corrigida (Mc) foram submetidos a análise de 'Próbit', para determinação das curvas de dose-mortalidade (FINNEY, 2009), e por meio das curvas, foram geradas estimativas das doses letais (DL₅₀) para mortalidade de 50% das populações do lepidóptero-praga. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), comparando-se as médias, em casos de diferença significativa, por meio do Teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$), com auxílio do software estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2014) e SIGMAPLOT[®] (SIGMAPLOT, 2011).

2.3 Resultados

Houveram diferenças significativas entre os óleos essenciais de alecrim-pimenta (*L. origanoides*), citronela (*C. winterianus*) e capim-santo (*C. citratus*), nos bioensaios de atividade ovicida ($p < 0,05$), larvicida (exposição e aplicação tópica) e pupicida ($p < 0,01$) (Tabela 1).

Entretanto, as dosagens dos óleos essenciais, apesar de diferirem quanto à atividade larvívica e pupívica ($p < 0,01$), geralmente inferindo aumento nas taxas de mortalidade à medida que se elevou a diluição do óleo essencial, não diferiram quanto a atividade ovívica (Tabela 1).

Tabela 1 - Análise de variância (ANOVA) para potencial ovívica (PO), potencial larvívica (PL), por exposição em superfície tratada (Mc EST) e por aplicação tópica (Mc APT), e potencial pupívica (PP) de três óleos essenciais sobre *S. frugiperda*

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		PO (%)	PL (%)		PP (%)
			MC EST	MC APT	
Óleos essenciais	2	366,54*	9638,20**	36433,28**	693,56**
Doses	4	264,89 ^{ns}	1827,40**	4808,20**	552,84**
Óleos x Doses	8	137,02 ^{ns}	114,97 ^{ns}	568,73 ^{ns}	295,00**
Resíduo	135	122,21	277,12	510,44	79,19
C.V. (%)		11,80	23,41	38,40	11,93

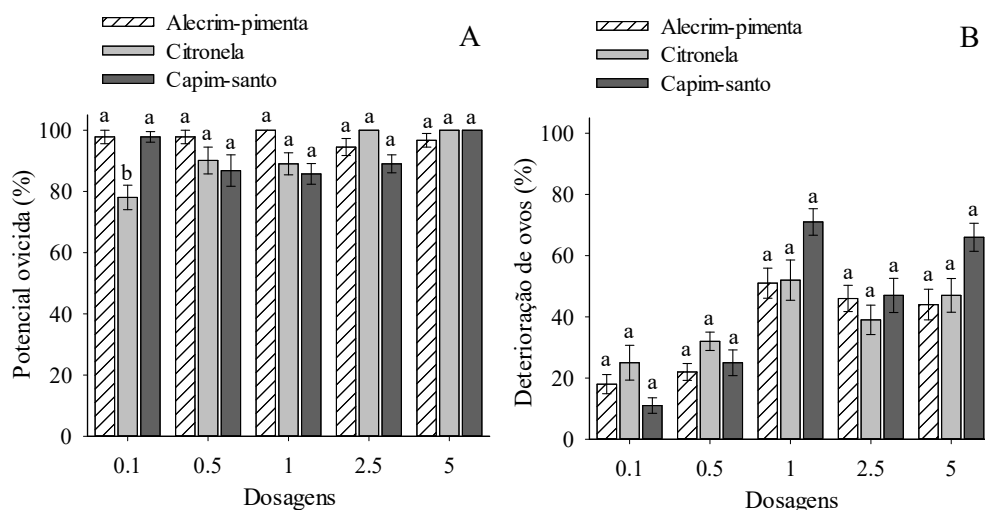
**significativo ao nível de 1% de probabilidade.

*significativo ao nível de 5% de probabilidade.

^{ns} não significativo.

Os três óleos essenciais apresentaram potencial ovívica (PO), alterando e reduzindo a emergência de lagartas de *S. frugiperda* após pulverização dos ovos, apesar de diferirem entre si apenas na dosagem à 0,1%, sendo que as soluções de alecrim-pimenta e de capim-santo equipararam-se com 97,8% de potencial ovívica, e diferiram da solução com óleo de citronela, que registrou potencial ovívica de apenas 78,0% (Figura 5). A pulverização das soluções sobre os ovos, além de induzir não eclosão, ocasionou em alguns casos, a sua deterioração parcial ou total, constatando-se até 71% de ovos deteriorados após a aplicação da solução de capim-santo à 1,0%, enquanto os ovos tratados com a solução à 0,1%, sofreram apenas 11% de deterioração (Figura 5).

Figura 5 - Potencial ovicida (PO) (A) e deterioração de ovos (B) de *S. frugiperda*, em porcentagem (%), após pulverização com soluções de óleos essenciais. Fortaleza - CE, Brasil

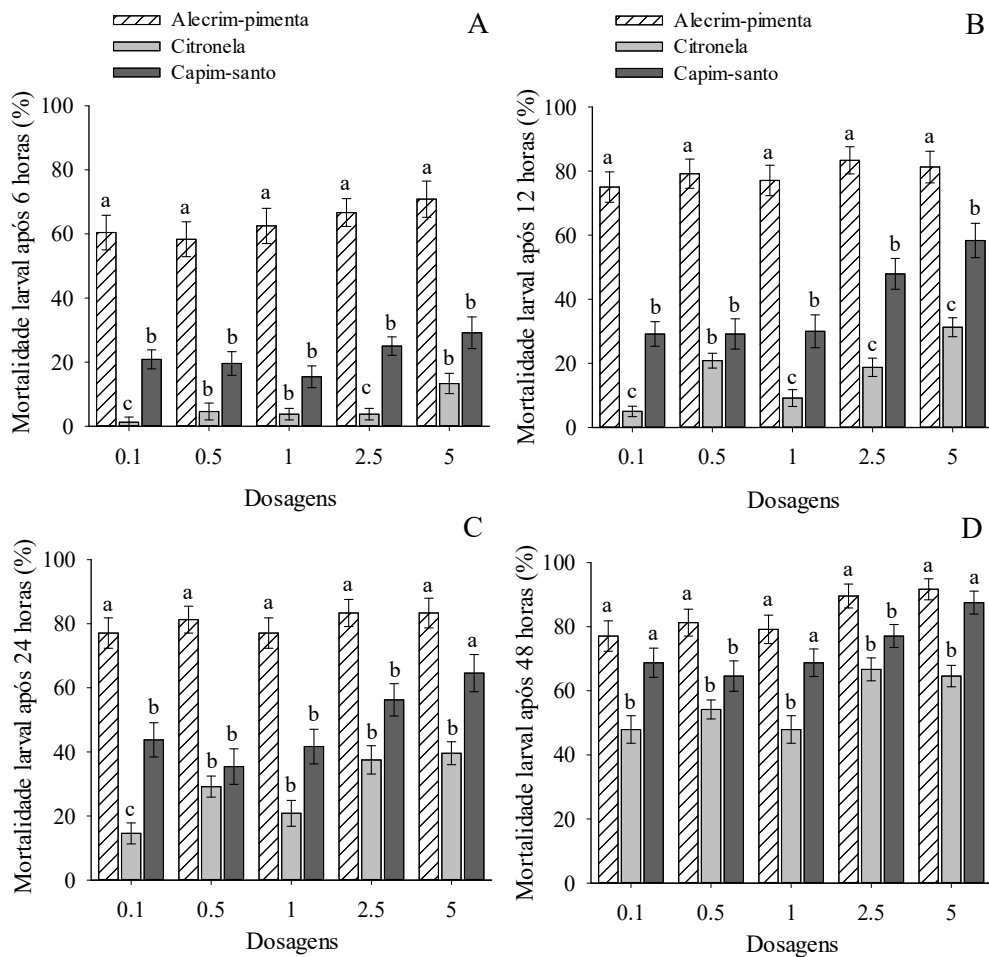


Fonte: elaborada pelo autor.

O óleo essencial de alecrim-pimenta apresentou maior atividade larvicida no bioensaio por exposição em superfície tratada, destacando-se por agir logo após a aplicação e ocasionar, 60,4% de mortalidade larval à 0,1% após 6 horas de exposição (Figura 6). No entanto, as soluções com óleo essencial de citronela necessitaram de maior período de exposição para atuar e expressar seu potencial larvicida, como constatou-se, na dosagem à 0,1%, que após 6 horas induziu apenas 1,2% de mortalidade, mas gradativamente, atingiu 47,9% de mortalidade após 48 horas (Figura 6). Entretanto, apesar do menor potencial larvicida, as lagartas expostas às soluções de citronela apresentaram alterações comportamentais evidentes, como ‘confusão’ e comportamento de fuga, além de maior agressividade, que lagartas expostas às soluções com óleos de alecrim-pimenta e capim-santo.

As soluções com óleo essencial de capim-santo também necessitaram de maior período de exposição para atuar, porém, os efeitos foram similares aos do alecrim-pimenta, partindo de paralisia seguida de necrose e enrijecimento dos tecidos, evoluindo para a morte das lagartas de *S. frugiperda* (Figura 6).

Figura 6 - Mortalidade corrigida (Mc) de lagartas de *S. frugiperda*, em porcentagem (%), após 6 (A), 12 (B), 24 (C) e 48 horas (D) de exposição em superfície tratada com as soluções de óleos essenciais. Fortaleza - CE, Brasil



Fonte: elaborada pelo autor.

Ao analisar as dosagens letais (DL_{50}) pela sobreposição dos intervalos de confiança ($IC_{95\%}$), constatou-se que os maiores potenciais larvicidas dos óleos essenciais de alecrim-pimenta e capim-santo, resultaram nas menores dosagens letais (DL_{50}) por exposição em superfície tratada, com diluições de apenas 0,001 e 0,008%, respectivamente, para ocasionar 50% de mortalidade em populações de lagartas de *S. frugiperda*. Já o óleo essencial de citronela apresentou a maior dosagem letal (DL_{50}), diferindo e, necessitando de diluições de 0,159%, para ocasionar mortalidades similares (Tabela 2).

Tabela 2 - Dosagens letais (DL₅₀), em porcentagem (%), para ocasionar mortalidade larval de 50% sobre *S. frugiperda* após 48 horas de exposição em superfície tratada com soluções de óleos essenciais. Fortaleza - CE, Brasil

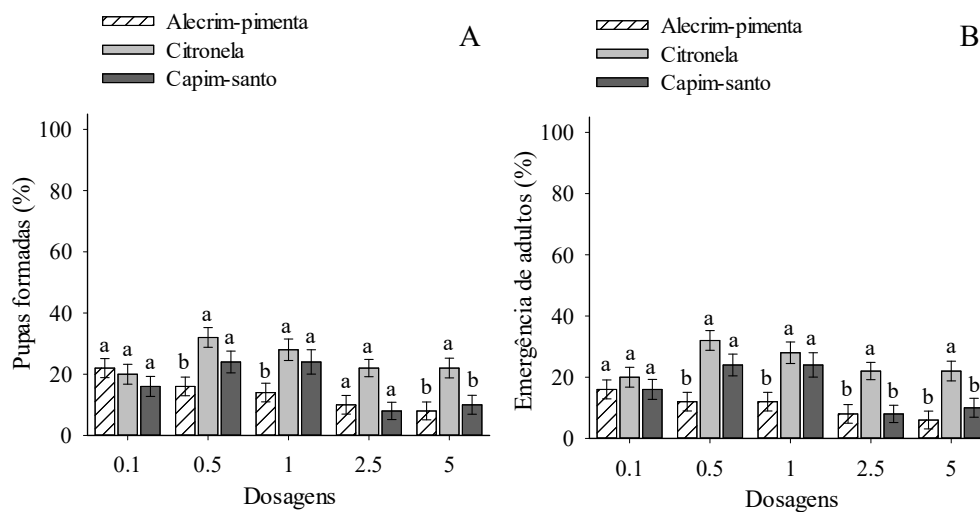
Óleos essenciais	DL ₅₀ ^a	IC _{95%} ^b
Alecrim-pimenta	0,001	0,0005 - 0,027
Citronela	0,159	0,052 - 0,634
Capim-Santo	0,008	0,001 - 0,083

^aDosagem letal.

^bIntervalos de confiança (IC 95%).

O período de exposição aos óleos essenciais gerou efeitos subletais nas lagartas de *S. frugiperda* que, apesar de alimentadas com dieta artificial, em alguns casos, não conseguiram atingir a fase de pupa ou emergir como adulto. Constatou-se 16% de pupas formadas e 12% de adultos emergidos de lagartas expostas à solução de alecrim-pimenta à 0,5%, enquanto àquelas expostas às soluções de citronela e capim-santo à 0,5% obtiveram 32 e 24% de pupas formadas, respectivamente, igualando valores de adultos emergidos (Figura 7).

Figura 7 - Pupas formadas (A) e adultos emergidos (B) de *S. frugiperda*, em porcentagem (%), após exposição das lagartas por 48 horas em superfície tratada com as soluções de óleos essenciais. Fortaleza - CE, Brasil

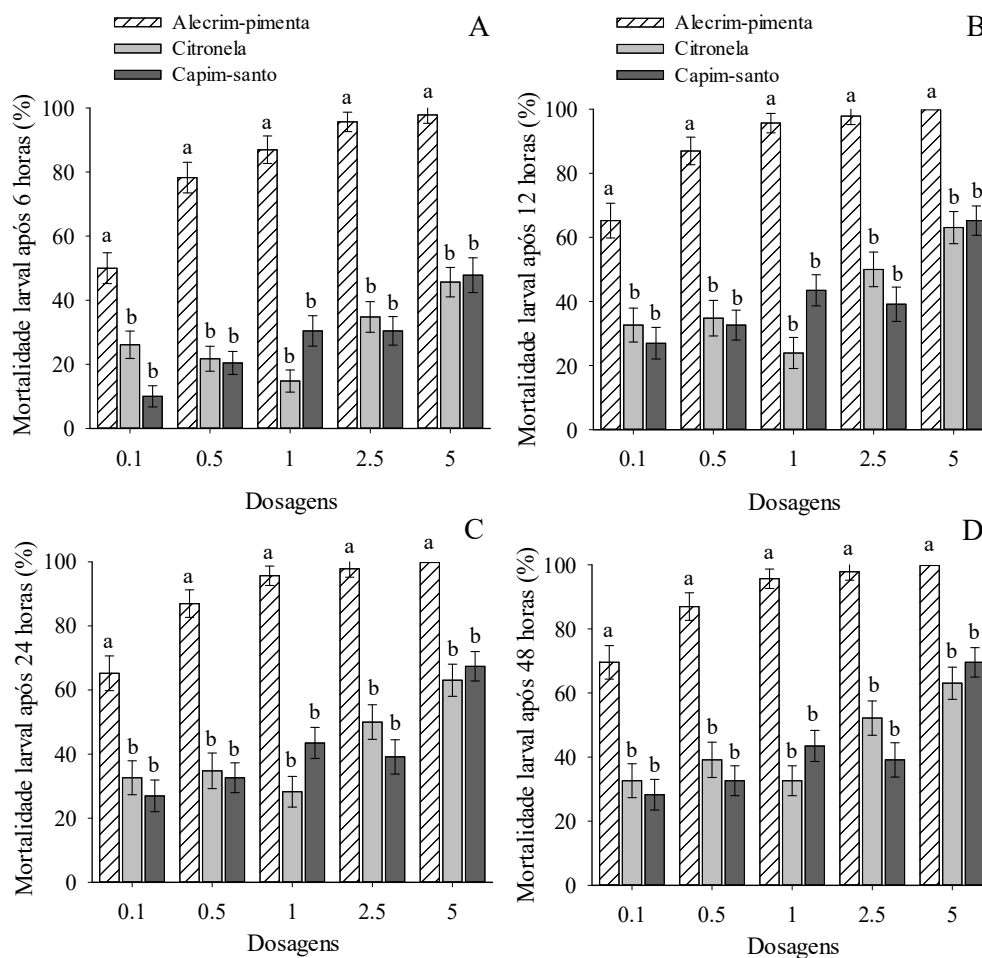


Fonte: elaborada pelo autor.

O bioensaio com aplicação tópica das soluções de óleos essenciais gerou resultados

de mortalidade larvica similares à exposição das lagartas à superfície tratada, destacando-se novamente a rápida ação do óleo essencial de alecrim-pimenta, ocasionando maiores taxas de mortalidade seis horas após a aplicação, como 97,8% de mortalidade larvica na dosagem à 5,0% e, 50,0% na dosagem à 0,1% (Figura 8).

Figura 8 - Mortalidade corrigida (Mc) de lagartas de *S. frugiperda*, em porcentagem (%), 6 (A), 12 (B), 24 (C) e 48 horas (D) após a aplicação tópica das soluções de óleos essenciais. Fortaleza - CE, Brasil



Fonte: elaborada pelo autor.

As diferentes dosagens dos óleos essenciais de citronela e capim-santo, inclusive as mais elevadas, necessitaram das 48 horas de atuação para ocasionarem taxas de mortalidade próximas à 50%, como constatou-se nas soluções à 5,0%, que só atingiram 63,0 e 69,6% de mortalidade larvica na última avaliação, respectivamente (Figura 8).

Esse menor efeito larvica das soluções com óleos essenciais de citronela e capim-

santo, resultou nas maiores dosagens letais (DL_{50}), necessitando de diluições de 1,34 e 1,15% para ocasionar 50% de mortalidade de lagartas de *S. frugiperda*. Já a alta atividade por contato do óleo essencial de alecrim-pimenta resultou na menor dosagem letal (DL_{50}), com diluições de 0,033% para ocasionar mortalidade de 50% das lagartas de *S. frugiperda*, geralmente associando-se ao surgimento de necrose local e enrijecimento dos tecidos do mesotórax, poucas horas após a aplicação tópica (Tabela 3).

Tabela 3 - Dosagens letais (DL_{50}), em porcentagem (%), para ocasionar mortalidade larval de 50% sobre *S. frugiperda* 48 horas após a aplicação tópica das soluções de óleos essenciais. Fortaleza - CE, Brasil

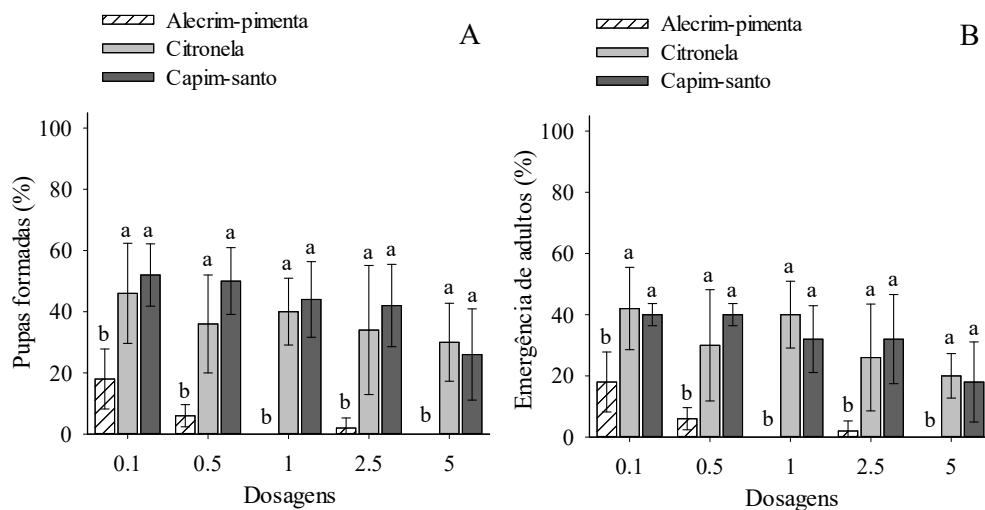
Óleos essenciais	DL_{50}^a	$IC_{95\%}^b$
Alecrim-pimenta	0,033	0,006 - 0,074
Citronela	1,348	0,429 - 10,356
Capim-Santo	1,151	0,291 - 5,343

^aDosagem letal.

^bIntervalos de confiança (IC 95%).

A aplicação tópica das soluções de óleos essenciais também resultou em efeitos subletais nas lagartas de *S. frugiperda*, que ao sobreviverem as 48 horas de avaliação inicial, e podendo alimentar-se de dieta artificial, em alguns casos, também não conseguiram formar pupas ou emergir como adultos, destacando-se a solução de alecrim-pimenta à 0,1% com apenas 18% de pupas formadas e adultos emergidos (Figura 9). Enquanto as soluções com óleos essenciais de citronela e capim-santo induziram efeitos similares na maioria das dosagens, ocasionando decréscimo no número de pupas formadas, ou de adultos emergidos a partir das pupas formadas, evidenciando a capacidade dos óleos para afetar, reduzir e até interromper o ciclo de vida do lepidóptero (Figura 9).

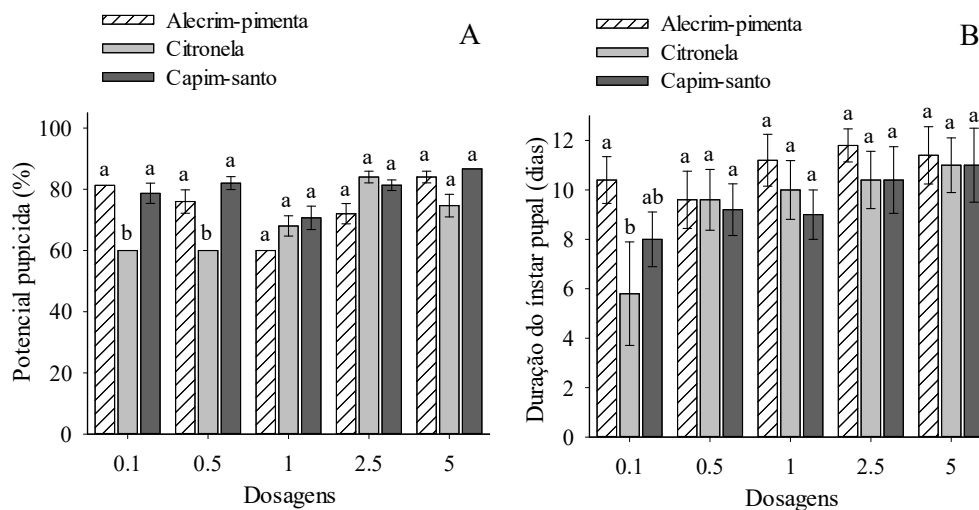
Figura 9 - Pupas formadas (A) e adultos emergidos (B), em porcentagem (%), a partir de lagartas de *S. frugiperda* que receberam aplicação tópica das soluções de óleos essenciais. Fortaleza - CE, Brasil



Fonte: elaborada pelo autor.

As pulverizações dos óleos essenciais de alecrim-pimenta, citronela e capim-santo sobre pupas de *S. frugiperda*, reduziu significativamente a emergência de adultos, evidenciando atividade pupicida de moderada a alta nas cinco dosagens dos três óleos (Figura 10). Constatou-se diferenças significativas apenas nas dosagens mais baixas, sendo que os óleos de alecrim-pimenta e capim-santo obtiveram 81,3 e 78,6% à 0,1% de diluição, 76,0 e 82,0% à 0,5%, respectivamente (Figura 10), diferindo estatisticamente do óleo de citronela, que registrou apenas 60,0% de potencial pupicida nas duas dosagens (Figura 10). Apesar da baixa emergência de adultos, a pulverização das pupas não alterou a duração do ínstar pupal na maioria das dosagens, exceto para aquelas pupas tratadas com óleo essencial de citronela à 0,1%, que apresentaram emergência de 80,0% e duração do ínstar de apenas 6 dias (Figura 10), metade do tempo necessário para a emergência de adultos após aplicação de solução com detergente neutro à 5% (testemunha negativa) (Figura 10).

Figura 10 - Potencial pupicida (PP) (A), em porcentagem (%), e duração do ínstar pupal (B) de *S. frugiperda*, em dias, após pulverização das soluções de óleos essenciais. Fortaleza - CE, Brasil



Fonte: elaborada pelo autor.

2.4 Discussão

Os resultados obtidos utilizando óleos essenciais de alecrim-pimenta (*L. origanoides*), citronela (*C. winterianus*) e capim-santo (*C. citratus*) sobre ovos, larvas e pupas de *S. frugiperda*, corroboram com a literatura e fornecem informações adicionais sobre o potencial biocida de extratos e óleos essenciais (REGNAULT-ROGER et al., 2012; AYIL-GUTIÉRREZ et al., 2018). As principais diferenças encontradas são atribuídas, principalmente, à composição e aos mecanismos de ação, que causaram alterações morfológicas, fisiológicas e comportamentais sobre os diferentes instares de *S. frugiperda* (EL-WAKEIL, 2013; CAMPOS et al., 2018).

O óleo essencial de alecrim-pimenta apresentou a ação mais rápida e a maior atividade inseticida sobre os três instares de *S. frugiperda* avaliados, induzindo em lagartas, hiperatividade, tremor e paralisia rígida, possivelmente em função da perda de energia e fadiga neuromuscular, induzida por neuroexcitação, atribuída à ação dos compostos majoritários, principalmente Carvacrol (30,37%), além de α -himachalene (10,38%), terpinolene (7,96%), α -pinene (5,08%) e β -myrcene (3,90%) (BORGES et al., 2012; DOS SANTOS et al., 2016). O carvacrol é capaz de competir pelos receptores nicotínicos de acetilcolina (nAChR), atuando como inibidor da acetilcolinesterase (AChE) (EL-WAKEIL, 2013; CAMPOS et al., 2018),

bloqueador dos receptores da octopamina (KHANIKOR et al., 2013; MELO et al. 2018), ou receptores de tiramina (TyrR), que é um precursor da octopamina na mosca-do-vinagre *Drosophila melanogaster* Meigen (Diptera: Drosophilidae) (CAMPOS et al., 2018). Os compostos presentes no óleo de alecrim-pimenta, induziram maior rapidez e potencial inseticida sobre *S. frugiperda*, devido principalmente, a capacidade dos mecanismos de ação atuarem sobre o sistema nervoso central e periférico do inseto, o que permitiu maior velocidade nos efeitos neurotóxicos, quando comparado às complexas cascatas de sinalização de outras vias (EL-WAKEIL, 2013; CAMPOS et al., 2018; MELO et al. 2018).

Os compostos majoritários do óleo de alecrim-pimenta e de outras plantas do gênero *Lippia*, como o alecrim-de-tabuleiro *Lippia gracilis* Schauer (Verbenaceae), também expressaram potencial ovicida e larvicida sobre artrópodes-praga de diferentes Ordens e Famílias, destacando-se coleópteros, como a broca-do-olmo *Xanthogaleruca luteola* (Müller) (Coleoptera: Chrysomelidae) (TAK et al., 2015), e o gorgulho-das-farinhas *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) (ZIAEE et al., 2014; AINANE et al., 2019); além de inúmeros lepidópteros, como a lagarta-falsa-medideira-da-couve *Trichoplusia ni* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) (JIANG et al., 2012; TAK et al., 2015), helicoverpa *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), broca-do-colmo-manchado *Chilo partellus* Swinhoe (Lepidoptera: Pyralidae), lagartas *Spodoptera litura* (F.) (KOUL et al., 2013) e *Spodoptera littoralis* (Boisduval) (Lepidoptera: Noctuidae) (PAVELA, 2011), além da broca-das-cucurbitáceas *Diaphania hyalinata* (L.) (Lepidoptera: Crambidae) (MELO et al. 2018) e a traça-das-crucíferas *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), com potencial de provocar reduções de até 82,2% na emergência e 48,0% de mortalidade larval nesta última (SANGHA et al., 2017).

A menor atividade inseticida do óleo essencial de citronela, assim como, o maior período para atuar e ocasionar a mortalidade, devem-se, principalmente, aos mecanismos de ação do γ -terpinene (18.35%), β -caryophyllene (3.44%) e geraniol (3.44%), e em menores concentrações ao eugenol (1.22%) e β -myrcene (1.01%). O geraniol pode se ligar ao sítio ativo da acetilcolinesterase (AChE), responsável pela hidrólise da acetilcolina (ACh) nas sinapses colinérgicas, ocasionando inibição competitiva reversível (DICKENS; BOHBOT, 2013; EL-WAKEIL, 2013), que associada aos demais compostos induz letargia, redução e cessação gradativa do movimento, evoluindo para paralisia, presumivelmente, devido a privação de oxigênio e/ou incapacidade respiratória (RATTAN, 2010; EL-WAKEIL, 2013; CAMPOS et al., 2018).

O óleo essencial de capim-santo apresentou atividade inseticida similar à do óleo

essencial de citronela, em parte devido aos mecanismos dos compostos 3-Carene (29.01%), (E,E)-2,4-Decadienal (25.95%), (S)-cis-Verbenol (10.42%), Isopulegol (5.75%) e D-Limonene (0.94%), mais principalmente há maior concentração e o mecanismo de ação do α -citral (16.22%), que induziram inibição competitiva reversível da acetilcolinesterase (AChE) similar ao observado com geraniol (SILVA et al., 2014; SOLIMAN et al., 2017). No entanto, apesar da menor atividade inseticida observada quando comparados ao óleo de alecrim-pimenta, estudos tem apontado o potencial dos óleos essenciais de citronela e de capim-santo sobre diferentes artrópodes-praga, como a lagarta-falsa-medideira *T. ni* (JIANG et al., 2012), biótipos de mosca-branca *B. tabaci* (DELETRE et al., 2015), besouro-castanho *T. castaneum*, gorgulho-do-arroz *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae) (OLIVERO-VERBEL et al., 2010; STEFANAZZI et al., 2011) e gorgulho-do-milho *S. zeamais* (KABERA et al., 2011).

As alterações comportamentais induzidas pelas soluções com óleo essencial de citronela, podem ser atribuídas a interação entre o composto majoritário menthone (55.97%), um monoterpene de odor aromático e mentolado característico, e compostos minoritários, como o geraniol (3.44%), que possivelmente reagiram com os receptores olfativos dos insetos, induzindo resposta neurológica, que resultou em antixenose ou não-preferência, irritabilidade (agressividade) e comportamento de fuga (NERIO et al., 2010; DELETRE et al., 2016). Estas alterações, apesar de não ocasionarem mortalidade direta, podem dificultar na prática, a seleção hospedeira para alimentação e/ou oviposição, e conseqüentemente, reduzir os danos à cultura de interesse (SILVA et al., 2016; BAKER et al., 2018; CAMPOS et al., 2018).

2.5 Conclusões

Os óleos essenciais [alecrim-pimenta (*L. origanoides*), citronela (*C. winterianus*) e capim-santo (*C. citratus*)] apresentaram atividade inseticida sobre ovos, larvas e pupas de *S. frugiperda*, destacando-se a rápida ação e as altas taxas de mortalidade ocasionadas pelo óleo essencial de alecrim-pimenta.

Os óleos essenciais de capim-santo e citronela necessitaram de maiores períodos para atuar e ocasionar mortalidade significativa sobre ovos, larvas e pupas de *S. frugiperda*.

O óleo de citronela provocou alterações comportamentais nas lagartas de *S. frugiperda*, que refletiram em fuga e agressividade.

REFERÊNCIAS

ABBASZADEH, G.; SRIVASTAVA, C.; WALIA, S. Insecticidal and antifeedant activities of clerodane diterpenoids isolated from the Indian bhant tree, *Clerodendron infortunatum*, against the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*. **Journal of Insect Science**, v. 14, n. 1, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/jis/14.1.29>

ABBOTT, W. S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. **Journal of Economic Entomology**, v. 18, p. 265-266, 1925. DOI: <https://dx.doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>

AINANE, A.; CHARAF, S.; ELABBOUBI, M.; ELKOUALI, M.; TALBI, M.; BENHIMA, R.; CHERROUD, S.; AINANE, T. Chemical composition and insecticidal activity of five essential oils: *Cedrus atlantica*, *Citrus limonum*, *Rosmarinus officinalis*, *Syzygium aromaticum* and *Eucalyptus globules*. **Materials Today: Proceedings**, v. 13, p. 474-485. 2019. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2019.04.004>

ALVES, S. D.; CARVALHO, G. A.; OLIVEIRA, D. F.; CORRÊA, A. D. Screening of Brazilian plant extracts as candidates for the control of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Revista Colombiana de Entomología**, v. 44, n. 1, p. 32-38, 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.25100/socolen.v44i1.6539>

ALMEIDA, W. A.; SILVA, I. H. L.; SANTOS, A. C. V.; BARROS JÚNIOR, A. P.; SOUSA, A. H. Potentiation of copaíba oil-resin with synthetic insecticides to control of fall armyworm. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 4, p. 1059-1066. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252017v30n427rc>

AMRI, I.; HAMROUNI, L.; HANANA, M.; JAMOSSI, B.; LEBDI, K. Essential oils as biological alternatives to protect date palm (*Phoenix dactylifera* L.) against *Ectomyelois ceratoniae* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae). **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 74, p.273-279. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392014000300004>

AYIL-GUTIÉRREZ, B. A.; SÁNCHEZ-TEYER, L. F.; VAZQUEZ-FLOTA, F.; MONFORTE-GONZÁLEZ, M.; TAMAYO-ORDÓÑEZ, Y.; TAMAYO-ORDÓÑEZ, M. C.; RIVERA, G. Biological effects of natural products against *Spodoptera* spp. **Crop Protection**, v. 114, p. 195-207, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.08.032>

BAKER, B. P.; GRANT, J. A.; MALAKAR-KUENEN, R. **Citronella & citronella oil profile**. New York: NYS Integrated Pest Management Program Publications, 2018. 15p.

BASKAR, K.; KINGSLEY, S.; VENDAN, S. E.; PAULRAJ, M. G.; DURAI PANDIYAN, V.; IGNACIMUTHU, S. Antifeedant, larvicidal and pupicidal activities of *Atalantia monophylla* (L) Correa against *Helicoverpa armigera* Hubner (Lepidoptera: Noctuidae). **Chemosphere**, v. 75, n. 3, p. 355-359, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.12.034>

BENELLI, G.; CANALE, A.; TONIOLO, C.; HIGUCHI, A.; MURUGAN, K.; PAVELA, R.; NICOLETTI, M. Neem (*Azadirachta indica*): towards the ideal insecticide?. **Natural Product Research**, v. 31, n. 4, p. 369-386, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/14786419.2016.1214834>

BORGES, A. R.; ALBUQUERQUE AIRES, J. R.; HIGINO, T. M. M.; MEDEIROS, M. D. G. F.; CITÓ, A. M. G. L.; LOPES, J. A.; FIGUEIREDO, R. C. B. Q. Trypanocidal and cytotoxic activities of essential oils from medicinal plants of Northeast of Brazil. **Experimental Parasitology**, v. 132, n. 2, p.123-128. 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.exppara.2012.06.003>

CAMPOS, E. V.; PROENÇA, P. L.; OLIVEIRA, J. L.; BAKSHI, M.; ABHILASH, P. C.; FRACETO, L. F. Use of botanical insecticides for sustainable agriculture: Future perspectives. **Ecological Indicators**, p. 1-13. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.038>

DELETRE, E.; CHANDRE, F.; BARKMAN, B.; MENUT, C.; MARTIN, T. Naturally occurring bioactive compounds from four repellent essential oils against *Bemisia tabaci* whiteflies. **Pest Management Science**, v. 72, n. 1, p. 179-189, 2015a. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.3987>

DELETRE, E.; MALLENT, M.; MENUT, C.; CHANDRE, F.; MARTIN, T. Behavioral response of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) to 20 plant extracts. **Journal of Economic Entomology**, v. 108, n. 4, p. 1890-1901. 2015b. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/tov118>

DICKENS, J. C.; BOHBOT, J. D. Mini review: Mode of action of mosquito repellents. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 106, n. 3, p. 149-155, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pestbp.2013.02.006>

DOS SANTOS, A. C. V.; FERNANDES, C. C.; LOPES, L.; SOUSA, A. H. D. Insecticidal oils from amazon plants in control of fall armyworm. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 3, p. 642-647. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252016v29n314rc>

DURAI PANDIYAN, V.; MUTHU, C.; BASKAR, K.; AL-DHABI, N. A.; IGNACIMUTHU, S. Evaluation of fractions and 5, 7-dihydroxy-4', 6-dimethoxy-flavone from *Clerodendrum phlomidis* Linn. F. against *Helicoverpa armigera* Hub. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 58, n. 2, p. 216-221, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-8913201400128>

EARLY, R.; GONZÁLEZ-MORENO, P.; MURPHY, S. T.; DAY, R. Forecasting the global extent of invasion of the cereal pest *Spodoptera frugiperda*, the fall armyworm. **BioRxiv**, e391847. 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.1101/391847>

EL-WAKEIL, N. E. Botanical pesticides and their mode of action. **Gesunde Pflanzen**, v. 65, n. 4, p. 125-149, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s10343-013-0308-3>

FELDMANN, F.; RIECKMANN, U.; WINTER, S. The spread of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in Africa - What should be done next?. **Journal of Plant Diseases and Protection**, p. 1-5. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41348-019-00204-0>

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>

FERNANDES, F. O.; ABREU, J. A.; CHRISTI, L. M.; RODRIGUES-FILHO, J. A.; MARTINS, A.; ROSA, A. P. S. A. **Desenvolvimento de *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) em cultivares de milho em laboratório**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2017. 35p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 264).

FERNANDES, F. O.; ABREU, J. A.; CHRISTI, L. M.; ROSA, A. P. S. A. Efficacy of insecticides against *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797). **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 1, p. 494-503. 2019. DOI: <https://dx.doi.org/10.5539/jas.v11n1p494>

FINNEY, D. J. **‘Probit analysis’**. 4. ed. London: Cambridge University Press, 2009. 272 p.

GAHUKAR, R. T. Management of pests and diseases of important tropical/subtropical medicinal and aromatic plants: A review. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, v. 9, p. 1-18. 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jarmap.2018.03.002>

GAHUKAR, R. T. Use of plant-derived products to control household and structural arthropod pests. **International Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 6, n. 2, p. 22-28. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.14419/ijbas.v6i2.7483>

GAHUKAR, R. T. Plant-derived products in crop protection: effects of various application methods on pests and diseases. **Phytoparasitica**, v. 44, n. 3, p. 379-391. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12600-016-0524-3>

GAO, Q.; SONG, L.; SUN, J.; CAO, H. Q.; WANG, L.; LIN, H.; TANG, F. Repellent action and contact toxicity mechanisms of the essential oil extracted from Chinese chive against *Plutella xylostella* larvae. **Archives of Insect Biochemistry and Physiology**, v.100, n.1, p. e21509. 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.1002/arch.21509>

GOERGEN, G.; KUMAR, P. L.; SANKUNG, S. B.; TOGOLA, A.; TAMÒ, M. 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**, v. 11, n. 10, p. e0165632. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0165632>

GORDY, J. W.; LEONARD, B. R.; BLOUIN, D.; DAVIS, J. A.; STOUT, M. J. Comparative effectiveness of potential elicitors of plant resistance against *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in four crop plants. **PLoS One**, v. 10, n. 9, e0136689. 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0136689>

GREENE, G. L.; LEPLA, N. C.; DICKERSON, W. A. Velvetbean caterpillar: A rearing procedure and artificial medium. **Journal of Economic Entomology**, v. 69, n. 4, p.487-488, 1976. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/jee/69.4.487>

ISMAN, M. B. A renaissance for botanical insecticides?. **Pest Management Science**, v. 71, n. 12, p. 1587-1590, 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.1002/ps.4088>

ISMAN, M. B. Pesticides based on plant essential oils: Phytochemical and practical considerations. In: **Medicinal and Aromatic Crops: Production, Phytochemistry, and Utilization**. American Chemical Society, 2016. p. 13-26. DOI: <https://dx.doi.org/10.1021/bk-2016-1218.ch002>

- JAVIER, A. M. V., OCAMPO, V. R., CEBALLO, F. A., & JAVIER, P. A. Insecticidal activities of the essential oils from different plants against cabbage worm, *Crociodolomia pavonana* Fabricius (Lepidoptera: Crambidae). **Philippine Agricultural Scientist**, v. 101, n. 2, p. 158-166. 2018.
- JIANG, Z. L.; AKHTAR, Y.; ZHANG, X.; BRADBURY, R.; ISMAN, M. B. Insecticidal and feeding deterrent activities of essential oils in the cabbage looper, *Trichoplusia ni* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Applied Entomology**, v. 136, n. 3, p. 191-202, 2012.
- KABERA, J.; GASOGO, A.; UWAMARIYA, A.; UGIRINSHUTI, V.; NYETERA, P. Insecticidal effects of essential oils of *Pelargonium graveolens* and *Cymbopogon citratus* on *Sitophilus zeamais* (Motsch.). **African Journal of Food Science**, v. 5, n. 6, p. 366-375. 2011.
- KALLESHWARASWAMY, C. M.; ASOKAN, R.; SWAMY, H. M. M.; MARUTHI, M. S.; PAVITHRA, H. B.; KAVITA, H.; GOERGEN, G. First report of the Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), an alien invasive pest on maize in India. **Pest Management in Horticultural Ecosystems**, v. 24, n. 1, p. 23-29, 2018.
- KHANI KOR, B.; PARIDA, P.; YADAV, R. N. S.; BORA, D. Comparative mode of action of some terpene compounds against octopamine receptor and acetyl cholinesterase of mosquito and human system by the help of homology modeling and docking studies. **Journal of Applied Pharmaceutical Science**, v. 3, n. 2, p. 6-12. 2013. DOI: <https://doi.org/10.7324/japs.2013.30202>
- KOKETSU, M.; GONÇALVES, S. L. **Óleos essenciais e sua extração por arraste de vapor**. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa, CTAA, 1991. 24 p. (Documentos, 8).
- KOUL, O.; SINGH, R.; KAUR, B.; KANDA, D. Comparative study on the behavioral response and acute toxicity of some essential oil compounds and their binary mixtures to larvae of *Helicoverpa armigera*, *Spodoptera litura* and *Chilo partellus*. **Industrial Crops and Products**, v. 49, p. 428-436, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.05.032>
- MARTINS, G. M.; TOSCAN, L. C.; TOMQUELSKI, G. V.; MARUYAMA, W. I. Inseticidas químicos e microbianos no controle da lagarta-do-cartucho na fase inicial da cultura do milho. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 2, p. 170-174, 2009.
- MELO, C. R.; PICANÇO, M. C.; SANTOS, A. A.; SANTOS, I. B.; PIMENTEL, M. F.; SANTOS, A. C.; BLANK, A. F.; ARAÚJO, A. P. A.; CRISTALDO, P. F.; BACCI, L. Toxicity of essential oils of *Lippia gracilis* chemotypes and their major compounds on *Diaphania hyalinata* and non-target species. **Crop Protection**, v. 104, p. 47-51. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2017.10.013>
- MICHELOTTO, M. D.; CROSARIOL-NETO, J.; PIROTTA, M. Z.; DUARTE, A. P.; FEITAS, R. S.; FINOTO, E. L. Eficácia de milho transgênico tratado com inseticida no controle da lagarta-do-cartucho no milho safrinha no estado de São Paulo, Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 2, p. 128-138, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-70542017412020816>
- MIRESMAILLI, S.; ISMAN, M. B. Botanical insecticides inspired by plant-herbivore chemical interactions. **Trends in Plant Science**, v. 19, p.29-35. 2014. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.10.002>

MONTEZANO, D. G.; SPECHT, A.; SOSA-GÓMEZ, D. R.; ROQUE-SPECHT, V. F.; SOUSA-SILVA, J. C.; PAULA-MORAES, S. V. D.; PETERSON, J. A.; HUNT, T. E. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. **African Entomology**, v. 26, n. 2, p. 286-300. 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.4001/003.026.0286>

MURCIA-MESEGUER, A.; ALVES, T. J.; BUDIA, F.; ORTIZ, A.; MEDINA, P. Insecticidal toxicity of thirteen commercial plant essential oils against *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). **Phytoparasitica**, v. 46, n. 2, p. 233-245. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12600-018-0655-9>

NAGOSHI, R. N.; GOERGEN, G.; TOUNOU, K. A.; AGBOKA, K.; KOFFI, D.; MEAGHER, R. L. Analysis of strain distribution, migratory potential, and invasion history of fall armyworm populations in northern Sub-Saharan Africa. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 3710. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21954-1>

NERIO, L. S.; OLIVERO-VERBEL, J.; STASHENKO, E. Repellent activity of essential oils: a review. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 1, p. 372-378, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.07.048>

OLIVEIRA, A. R. M. F.; OLIVEIRA, L. M.; CARNEIRO, J. S.; SILVA, T. R. S.; COSTA, L. C. B. Essential oil of *Lippia sidoides* and its major compound thymol: Toxicity and walking response of populations of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Crop Protection**, v. 112, p. 33-38, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.05.011>

OLIVEIRA, A. P.; SANTANA, A. S.; SANTANA, E. D.; LIMA, A. P. S.; FARO, R. R.; NUNES, R. S.; LIMA, A. D.; BLANK, A. F.; ARAÚJO, A. P. A.; CRISTALDO, P. F.; BACCI, L. Nanoformulation prototype of the essential oil of *Lippia sidoides* and thymol to population management of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Industrial Crops and Products**, v. 107, p. 198-205, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.05.046>

OLIVERO-VERBEL, J.; NERIO, L. S.; STASHENKO, E. E. Bioactivity against *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) of *Cymbopogon citratus* and *Eucalyptus citriodora* essential oils grown in Colombia. **Pest Management Science**, v. 66, n. 6, p.664-668. 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/ps.1927>

PAVELA, R. Antifeedant and larvicidal effects of some phenolic components of essential oils lasp lines of introduction against *Spodoptera littoralis* (Boisd.). **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 14, n. 3, p. 266-273, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1080/0972060X.2011.10643932>

PINHEIRO, P. F.; QUEIROZ, V. T. D.; RONDELLI, V. M.; COSTA, A. V.; MARCELINO, T. D. P.; PRATISSOLI, D. Insecticidal activity of citronella grass essential oil on *Frankliniella schultzei* and *Myzus persicae*. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 37, n. 2, p. 138-144, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542013000200004>

RATTAN, R. S. Mechanism of action of insecticidal secondary metabolites of plant origin. **Crop Protection**, v. 29, n. 9, p. 913-920. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.05.008>

- REGNAULT-ROGER, C.; VINCENT, C.; ARNASON, J. T. Essential oil in insect control: Low risk products in a high-state world. **Annual Review Entomology**, v. 57, p. 405-424, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120710-100554>
- RICCI, E. M.; PADÍN, S. B.; KAHAN, A.; RÉ, S. Efecto repelente de los aceites esenciales de laurel y lemongrass sobre *Brevicoryne brassicae* L. (Homoptera: Aphididae) en repollo. **Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas**, v. 28, n. 2, p. 207-212, 2002.
- SAID-AL AHL, H. A. H.; SABRA, A. S.; ALATAWAY, A.; ASTATKIE, T.; MAHMOUD, A. A.; BLOEM, E. Biomass production and essential oil composition of *Thymus vulgaris* in response to water stress and harvest time. **Journal of Essential Oil Research**, v. 31, n. 1, p. 63-68, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/10412905.2018.1518794>
- SANGHA, J. S.; ASTATKIE, T.; CUTLER, G. C. Ovicidal, larvicidal, and behavioural effects of some plant essential oils on diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). **The Canadian Entomologist**, v. 149, n. 5, p. 639-648, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.4039/tce.2017.13>
- SELIN-RANI, S.; SENTHIL-NATHAN, S.; THANIGAIVEL, A.; VASANTHA-SRINIVASAN, P.; EDWIN, E. S.; PONSANKAR, A.; LIJA-ESCALINE, J.; KALAIVANI, K.; ABDEL-MEGEED, A.; HUNTER, W. D.; ALESSANDRO, R. T. Toxicity and physiological effect of quercetin on generalist herbivore, *Spodoptera litura* Fab. and a non-target earthworm *Eisenia fetida* Savigny. **Chemosphere**, v.165, p.257-267. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.08.136>
- SIGMAPLOT. **Statistical Package for the Social Sciences - SigmaPlot for Windows**. v.12. Chicago, IL, USA. 2011.
- SILVA, C. T. S.; WANDERLEY-TEIXEIRA, V.; CUNHA, F. M.; OLIVEIRA, J. V.; ANDRADE DUTRA, K.; NAVARRO, D. M. A. F.; TEIXEIRA, Á. A. C. Biochemical parameters of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) treated with citronella oil (*Cymbopogon winterianus* Jowitt ex Bor) and its influence on reproduction. **Acta Histochemica**, v. 118, n. 4, p. 347-352, 2016. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.acthis.2016.03.004>
- SILVA, F. M.; BERTINI, L. M.; ALVES, L. A.; MOURA, L. F.; BARBOSA, P. T.; FERNANDES, A. B. D. Análise da composição química do óleo essencial de capim santo (*Cymbopogon citratus*) obtido através de extrator por arraste com vapor d' água construído com materiais de fácil aquisição e baixo custo. **Holos**, v. 30, n. 4, p.144-152. 2014. <https://doi.org/10.15628/holos.2014.1762>
- SILVA, S. M.; CUNHA, J. P. A. R.; CARVALHO, S. M.; ZANDONADI, C. H. S.; MARTINS, R. C.; CHANG, R. *Ocimum basilicum* essential oil combined with deltamethrin to improve the management of *Spodoptera frugiperda*. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 6, p. 665-675, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1413-70542017416016317>
- SOLIMAN, W. S.; SALAHELDIN, S.; AMER, H. Chemical Composition Evaluation of Egyptian Lemongrass, *Cymbopogon citratus*, Essential Oil. **International Journal of Scientific & Engineering Research**, v. 8, n. 1, p. 630-634. 2017.
- STEFANAZZI, N.; STADLER, T.; FERRERO, A. Composition and toxic, repellent and feeding deterrent activity of essential oils against the stored-grain pests *Tribolium castaneum*

(Coleoptera: Tenebrionidae) and *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). **Pest Management Science**, v. 67, n. 6, p. 639-646, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.2102>

SUWANSIRISILP, K.; VISETSON, S.; PRABARIPAI, A.; TANASINCHAYAKUL, S.; GRIECO, J. P.; BANGS, M. J.; CHAREONVIRIYAPHAP, T. Behavioral responses of *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae) to four essential oils in Thailand. **Journal of Pest Science**, v. 86, n. 2, p. 309-320, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s10340-012-0464-8>

TAK, J. H.; JOVEL, E.; ISMAN, M. B. Contact, fumigant, and cytotoxic activities of thyme and lemongrass essential oils against larvae and an ovarian cell line of the cabbage looper, *Trichoplusia ni*. **Journal of Pest Science**, v. 89, p. 183-193. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10340-015-0655-1>

TAVARES, W. S.; CRUZ, I.; FONSECA, F. G.; GOUVEIRA, N. L.; SERRÃO, J. E.; ZANUNCIO, J. C. Deleterious activity of natural products on postures of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Pyralidae). **Zeitschrift für Naturforschung C**, v. 65, n. 5/6, p. 412-418, 2010. DOI: <https://dx.doi.org/10.1515/znc-2010-5-615>

VÉLEZ, A. M.; VELLICHIRAMMAL, N. N.; JURAT-FUENTES, J. L.; SIEGFRIED, B. D. Cry1F resistance among lepidopteran pests: A model for improved resistance management?. **Current Opinion in Insect Science**, v. 15, p. 116-124. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cois.2016.04.010>

VICENTINI, V. B.; PRATISSOLI, D.; QUEIROZ, V. T. D.; COSTA, A. V.; PINHEIRO, P. F.; ZINGER, F. D.; RONDELLI, V. M. Ethanol extract of *Cymbopogon winterianus* on mortality and number of eggs of *Tetranychus urticae*. **Ciência Rural**, v. 45, n. 7, p. 1154-1159, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20140175>

VITE-VALLEJO, O.; BARAJAS-FERNÁNDEZ, M. G.; SAAVEDRA-AGUILAR, M.; CARDOSO-TAKETA, A. Insecticidal effects of ethanolic extracts of *Chenopodium ambrosioides*, *Piper nigrum*, *Thymus vulgaris*, and *Origanum vulgare* against *Bemisia tabaci*. **Southwestern Entomologist**, v. 43, n. 2, p. 383-394, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3958/059.043.0209>

XIAO, Y.; WU, K. Recent progress on the interaction between insects and *Bacillus thuringiensis* crops. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 374, n. 1767, p. 20180316, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0316>

ZHU, Y. C.; BLANCO, C. A.; PORTILLA, M.; ADAMCZYK, J.; LUTTRELL, R.; HUANG, F. Evidence of multiple/cross resistance to Bt and organophosphate insecticides in Puerto Rico population of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 122, v. 1, p. 15-21. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2015.01.007>

ZIAEE, M.; MOHARRAMIPOUR, S.; MOHSENFAR, A. Toxicity of *Carum copticum* essential oil-loaded nanogel against *Sitophilus granarius* and *Tribolium confusum*. **Journal of Applied Entomology**, v. 138, n. 10, p. 763-771, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/jen.12133>

3 POTENCIAL REPELENTE, ANTIFEDANTE E ANTIBIOSE DE TRÊS ÓLEOS ESSENCIAIS SOBRE *Spodoptera frugiperda* (J. E. SMITH) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)

RESUMO

Nos últimos anos, cresceu o interesse por óleos essenciais com atividade inseticida, repelente ou antifedante, capazes de desencadear alterações fisiológicas e comportamentais, que podem reduzir a sobrevivência, a preferência para oviposição e alimentação. Diante disso, o trabalho teve por objetivo avaliar a não-preferência e a antibiose dos óleos de alecrim-pimenta *Lippia origanoides* Kunth (Verbenaceae), citronela *Cymbopogon winterianus* Jowitt. (Poaceae) e capim-santo *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf. (Poaceae), comparando-se cinco dosagens (0,1; 0,5; 1,0; 2,5 e 5,0% de cada óleo por litro de água), além da testemunha negativa (detergente neutro à 5,0%), sobre lagartas de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). Avaliou-se a preferência de área alimentar, utilizando o método do disco foliar com e sem chance de escolha, além da antibiose, por incorporação dos óleos à dieta artificial. Calculou-se a repelência percentual, o índice de preferência alimentar, a atividade antifedante e as dosagens letais (DL₅₀) por antibiose. Os óleos essenciais apresentaram atividade repelente, antifedante e antibiose sobre lagartas de *S. frugiperda*, destacando-se o óleo de capim-santo com 54,0% de repelência percentual à 0,1%, o de alecrim-pimenta com 72,0% de mortalidade por contato e 52,2% por antibiose, além de DL₅₀ de 0,151%, com índice de preferência alimentar de 0,5 e potencial antifedante de 49,0%. Já o óleo essencial de citronela necessitou de maiores dosagens para expressar repelência, antifedância e antibiose, e em alguns casos, diferiu dos demais, como no potencial antifedante de 22,3% e no consumo foliar acumulado de 16,7 cm² à 0,1%, após três dias, equiparando-se a testemunha.

Palavras-chave: Inseticidas botânicos. Lagarta-do-cartucho. Manejo integrado de pragas.

ABSTRACT

In recent years, interest has increased in essential oils with insecticidal, repellent or antifeedant activities capable of triggering physiological and behavioral changes, which may reduce survival, preference for oviposition and feeding. In view of this, the objective of this study was to evaluate the non-preference and antibiosis essential oils of pepper-rosemary *Lippia*

origanoides Kunth (Verbenaceae), citronella *Cymbopogon winterianus* Jowitt. (Poaceae) and lemongrass *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf. (Poaceae), comparing five dosages (0.1, 0.5, 1.0, 2.5 and 5.0% of oil per liter of water), in addition to the negative control (neutral detergent at 5.0%), on caterpillars of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). The preference of area and food was evaluated, using the foliar disc method with and without a choice, besides antibiosis, by incorporation of the oils into the artificial diet. Percentage repellency, feed preference index, antifeedant activity and lethal dosages (LD₅₀) by antibiosis were calculated. The essential oils presented repellent, antifeedant and antibiosis activity on *S. frugiperda* caterpillars, with emphasis on the oil of lemongrass with 54.0% percentage repellency at 0.1%, pepper-rosemary at 72.0% of contact mortality and 52.2% for antibiosis, in addition to LD₅₀ of 0.151%, with food preference index of 0.5 and antifeedant potential of 49.0%. The citronella essential oil required higher dosages to express repellency, antifeedance and antibiosis, and in some cases, it differed from the others, as in the antifeedant potential of 22.3% and in the accumulated foliar consumption of 16.7 cm² to 0.1 %, after three days, equating the control.

Keywords: Botanical insecticides. Fall armyworm. Integrated pest management.

3.1 Introdução

A lagarta-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), é um lepidóptero nativo das Americas (MONTEZANO et al., 2018), de hábito polígrafo e alto potencial biótico (EARLY et al., 2018) e, com certa preferência por gramíneas, como milho *Zea mays* L. e sorgo *Sorghum bicolor* (L.) Moench. (Poaceae), apesar de ocasionar danos em culturas, como algodão *Gossypium* spp. (Malvaceae), feijão *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae) e repolho *Brassica oleracea* var. *capitata* L. (Brassicaceae) (BOIÇA JÚNIOR et al., 2013; GORDY et al., 2015). Na cultura do milho, as lagartas alimentam-se e ocasionam perdas significativas, em todos os estádios fenológicos da planta (MONTEZANO et al., 2018), que podem oscilar entre 17,7 e 55,6% sobre o rendimento de grãos, de acordo com o sistema de cultivo, condições edafoclimáticas e resistência da variedade/híbrido (GOERGEN et al., 2016; NAGOSHI et al., 2018; FERNANDES et al., 2019).

Nos últimos anos, o uso intensivo e, algumas vezes inadequado, de inseticidas sintéticos e plantas geneticamente modificadas para expressar toxinas de *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) (VÉLEZ et al. 2016; XIAO; WU, 2019), tem resultado no surgimento e aumento da

frequência de indivíduos resistentes (CARVALHO et al., 2018; DERMAUW et al., 2018; ZHU et al., 2015, 2019), além de impactos à saúde humana e ao ambiente (BOHNER et al., 2013). Esse cenário tem impulsionado a busca por métodos alternativos de controle (VENZON et al., 2005), que apresentem eficiência, segurança e seletividade e, que sejam economicamente viáveis em diferentes escalas e condições edafoclimáticas (ISMAN, 2015, 2016; TAK et al., 2017; AYIL-GUTIÉRREZ et al., 2018).

Os óleos essenciais apresentam uma variedade de infoquímicos ou metabólitos secundários, como alcaloides, fenólicos, esteróis, flavonoides e terpenos (GAHUKAR et al., 2016, 2017, 2018) que podem expressar características biocidas (ABBASZADEH et al., 2014; VITE-VALLEJO et al., 2018), repelentes (GAO et al., 2018) e/ou antifedantes (MAGRINI et al., 2015; BASKAR et al., 2017a) e, ocasionar por exemplo, toxicidade por contato ou fumigação, desencadeando reações comportamentais, inibindo ou dificultando a seleção hospedeira, além de efeitos pós-ingestão, como alterações biológicas e fisiológicas, capazes de reduzir a sobrevivência, a fertilidade e a fecundidade, ou alterar a razão sexual das populações de artrópodes-praga (REGNAULT-ROGER et al., 2012; ISMAN, 2015, 2016; TAK et al., 2017). Apesar de predominarem estudos com atividade inseticida (ABBASZADEH et al., 2014; VITE-VALLEJO et al., 2018), a repelência e a antifedância de alguns óleos essenciais podem assumir enorme importância no Manejo Integrado de Pragas (MIP), uma vez que desencadeiam alterações comportamentais, que podem reduzir a preferência para oviposição e/ou alimentação, preservando a cultura, ou até aumentando a fuga do artrópode-praga, uma vez que as lagartas buscam escapar dos efeitos letais do óleo essencial (KŁYŚ et al., 2017; PRIMAVESI et al., 2017).

Os óleos essenciais de plantas do gênero *Lippia*, como *Lippia sidoides* Cham. e *Lippia origanoides* Kunth (Verbenaceae), geralmente possuem concentrações variáveis de dois monoterpênicos aromáticos, o carvacrol (2-metil-5-(1-metiletil)-fenol) e o timol (2-isopropil-5-metil-fenol), que possuem ação inseticida, repelente ou antifedante, sobre diferentes artrópodes-praga (EL-WAKEIL, 2013; AMRI et al., 2014), como o gorgulho-do-milho *Sitophilus zeamais* Mots. (Coleoptera: Curculionidae) (OLIVEIRA et al., 2018) e a mosca-branca *Bemisia tabaci* (Genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae) (VITE-VALLEJO et al., 2018). Assim como os alecrins, os óleos essenciais de algumas gramíneas aromáticas, como o capim-santo *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf. e a citronela *Cymbopogon winterianus* Jowitt. (Poaceae), que apresentam em sua composição constituintes como citral (3,7-dimetil-2,6-octadienal), citronelal (3,7-dimetil-oct-6-en-1-al), citronelol (3,7-dimetil-oct-6-en-1-ol) ou geraniol [(E)3,7-dimetil-octa-2,6-dieno-1-ol], ou até mesmo mirceno (7-Methyl-3-methylene-1,6-octadiene) em menores quantidades

(KNAAK et al., 2013; SILVA et al., 2014), podem repelir artrópodes-praga, como o besouro-castanho *Tribolium castaneum* (Herbst.) (Coleoptera: Tenebrionidae) (OLIVERO-VERBEL et al., 2010), o pulgão-da-couve *Brevicoryne brassicae* L. (Hemiptera: Aphididae) (LIMA et al., 2008) e o mosquito-da-dengue *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae) (SUWANSIRISILP et al., 2013), além de apresentar ação inseticida sobre tripes *Frankliniella schultzei* Trybom (Thysanoptera: Thripidae) e pulgão-verde *Myzus persicae* Sulzer (Hemiptera: Aphididae) (PINHEIRO et al., 2013; COSTA et al., 2015), e também ação acaricida sobre o ácaro-rajado *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) (VICENTINI et al., 2015).

O trabalho teve objetivo de avaliar a atividade repelente, antifedante e a antibiose de óleos essenciais de alecrim-pimenta (*L. origanoides*), de citronela (*C. winterianus*) e de capim-santo (*C. citratus*), sobre lagartas de *S. frugiperda*.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Local de estudo

O trabalho foi desenvolvido em salas climatizadas ($25 \pm 3^\circ\text{C}$, $70 \pm 10\%$ de UR e fotofase de 12 h) no Laboratório de Entomologia Aplicada (LEA) da Universidade Federal do Ceará (UFC) (Fortaleza-CE, Brasil) e, no Laboratório de Entomologia Agrícola (LEA) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) (Limoeiro do Norte-CE, Brasil).

3.2.2 Criação de *S. frugiperda*

A criação foi estabelecida a partir de lagartas coletadas em áreas de cultivo comercial de milho (*Z. mays*), nos municípios de Quixeré e Limoeiro do Norte-CE, Brasil e, mantidas utilizando dieta artificial, proposta por Greene et al. (1976), até a formação de pupas. As pupas foram retiradas do resíduo da dieta e colocadas em tubos de vidro (100 x 25 mm) onde permaneceram até a emergência dos adultos. Após emergirem, os adultos foram transferidos para gaiolas cilíndricas de policloreto de polivinila (PVC) (10 x 25 cm), contendo solução de mel à 10% (alimentação), revestidas com papel toalha (oviposição) e fechadas nas extremidades com tecido tipo 'voil'. A cada dois dias trocou-se o papel toalha e a solução, recortando-se as massas de ovos e colocando-as em placas de Petri (90 x 15 mm). Após três dias, as lagartas recém-eclodidas foram transferidas, com auxílio de um pincel de pêlos finos,

para tubos de vidro (100 x 25 mm) contendo dieta artificial, retirando-se amostras da população para realização dos bioensaios.

3.2.3 Obtenção dos óleos essenciais

Os óleos essenciais foram cedidos pela AGROPAULO Agroindustrial S/A, Jaguaruana-CE, Brasil, sendo extraídos em laboratório, empregando-se a técnica de hidrodestilação por ‘arraste a vapor’ (KOKETSU; GONÇALVES, 1991).

3.2.4 Delineamento experimental

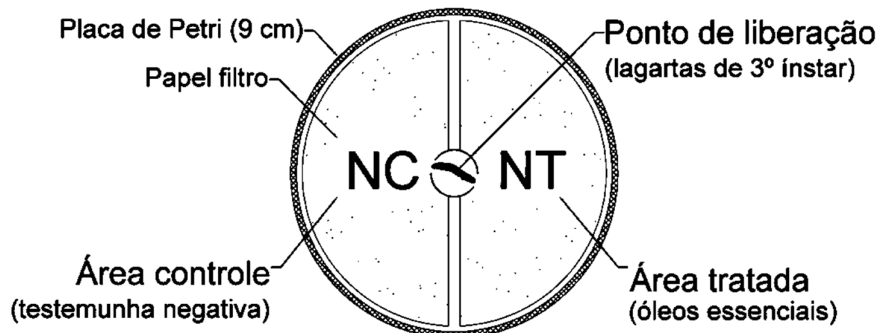
Os bioensaios foram implantados em delineamento inteiramente casualizado (DIC), esquema fatorial 3 x 5, para avaliar a atividade dos óleos essenciais de alecrim-pimenta (*L. origanoides*), citronela (*C. winterianus*) e capim-santo (*C. citratus*), nas dosagens de 0,1; 0,5; 1,0; 2,5 e 5,0% de óleo por litro de água, determinadas por meio de testes preliminares de dose/mortalidade, previamente dissolvido com detergente neutro (1:1). Foram instaladas 10 repetições, sendo a parcela útil composta por cinco lagartas de 3º instar, identificadas de acordo com a largura da cápsula cefálica.

A testemunha negativa consistiu de solução de detergente neutro à 5,0%.

3.2.5 Bioensaio de repelência

A atividade repelente dos óleos essenciais foi determinada conforme proposto por Talukder & Howse (1994), utilizando discos de papel filtro com 85 mm de diâmetro divididos em duas partes iguais (Figura 11). A primeira metade de papel, chamada de área tratada (NT), recebeu a aplicação de 0,4 mL das soluções de óleos essenciais, enquanto aplicou-se 0,4 mL de detergente neutro à 5,0% (testemunha negativa) na outra metade, identificada como área controle (NC). As duas metades permaneceram em repouso por 30 minutos e, após secagem, foram colocadas em placas de Petri (90 x 15 mm), liberando-se cinco lagartas de *S. frugiperda* e fechando-se as placas com filme plástico PVC®.

Figura 11 - Bioensaio de repelência



Fonte: elaborada pelo autor.

O número de lagartas presentes na metade do controle (NC) e na metade tratada (NT), foi registrado após 4 horas, convertendo-se os valores para expressar a repelência percentual (RP), conforme descrito (OUKO et al., 2017):

$$RP(\%) = (NC - 50) \times 2 \quad (1)$$

Onde: RP= Repelência percentual; NC= Lagartas presentes na área controle.

Os resultados foram classificados utilizando uma adaptação da escala proposta por Viglianco et al. (2008), descrita a seguir: Classe 0 - $0,01 < PR \leq 0,1\%$ (pouca ou nenhuma); Classe 1 - $0,1 < PR \leq 20\%$ (muito baixa); Classe 2 - $20,1 \leq PR \leq 40\%$ (baixa); Classe 3 - $40,1 \leq PR \leq 60\%$ (média); Classe 4 - $60,1 \leq PR \leq 80\%$ (alta); Classe 5 - $80,1 \leq PR \leq 100\%$ (muito alta). Valores positivos (+) significam repelência e valores negativos (-) significam atratividade.

Registraram-se as mortalidades, possivelmente, ocasionadas pelo contato das lagartas com as superfícies tratadas, considerando mortas lagartas com ausência de resposta a um estímulo mecânico, realizado com pincel de pêlos finos, paralização ou alteração da coloração larval para tonalidades de preto (MAGRINI et al., 2015; SILVA et al., 2017).

Posteriormente, as mortalidades foram corrigidas em relação à testemunha, utilizando as fórmulas descritas por Abbott (1925):

$$\%M = \frac{NIMT}{NTIT} \times 100 \quad (2)$$

Onde: %M= Porcentagem de mortalidade; NIMT= Número de lagartas mortas no tratamento; NTIT= Número total de lagartas no tratamento.

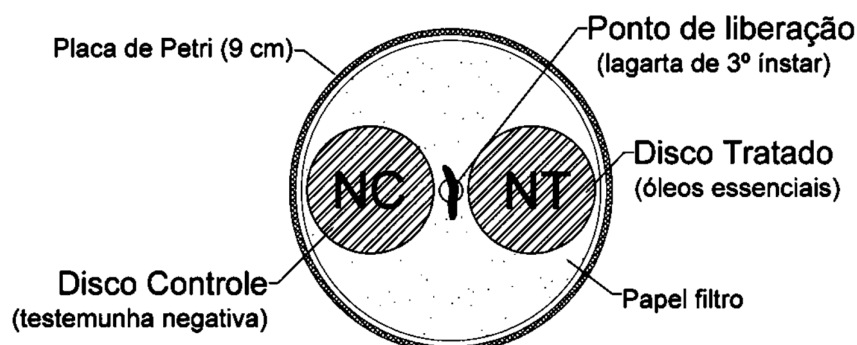
$$MC(\%) = \frac{\%Mo - \%Mt}{100 - \%Mt} \times 100 \quad (3)$$

Onde: MC= Mortalidade corrigida; Mo= Mortalidade observada; Mt= Mortalidade da testemunha negativa.

3.2.6 Bioensaio de não-preferência alimentar com chance de escolha

O bioensaio de não-preferência alimentar com chance de escolha foi realizado utilizando dois discos foliares com 4 cm de diâmetro (LING et al., 2008; NAPAL et al., 2009; BARBOSA et al., 2018; GAO et al., 2018), coletados de plantas de milho (*Zea mays* L.) (Poaceae) com cerca de 30 dias de idade. O primeiro disco, ou disco tratado (NT), foi imerso por 5 segundos na respectiva solução do óleo essencial, enquanto o segundo, ou disco controle (NC), foi imerso em solução de detergente neutro à 5,0% (testemunha negativa), permanecendo em posterior repouso por 30 minutos. Após secagem, os discos foram colocados de forma equidistante em placas de Petri (90 x 15 mm) contendo papel filtro, e liberou-se entre os discos uma lagarta de *S. frugiperda* (Figura 12), fechando-as com filme plástico PVC® (OLIVERO-VERBEL et al., 2010; ZULETA-CASTRO et al., 2017).

Figura 12 - Bioensaio de não-preferência alimentar com chance de escolha



Fonte: elaborada pelo autor.

Os discos tratados (NT) e controles (NC) foram trocados a cada 24 horas por três dias consecutivos, repetindo-se o procedimento de imersão e secagem (BORTOLI et al., 2011; ZULETA-CASTRO et al., 2017; OUKO et al., 2017). Os discos retirados foram colados em folhas de papel sulfite branco e digitalizados em 300 dpi (escala 1:1) utilizando scanner digital (SCHUH et al., 2018), determinando-se o consumo foliar diário e acumulado (cm²) com auxílio do software ENVI® (v.5.1).

Os valores obtidos foram utilizados no cálculo do índice de preferência alimentar (IP), conforme descrito por Kogan (1972):

$$IP = \frac{(2 \times T)}{(C + T)} \quad (4)$$

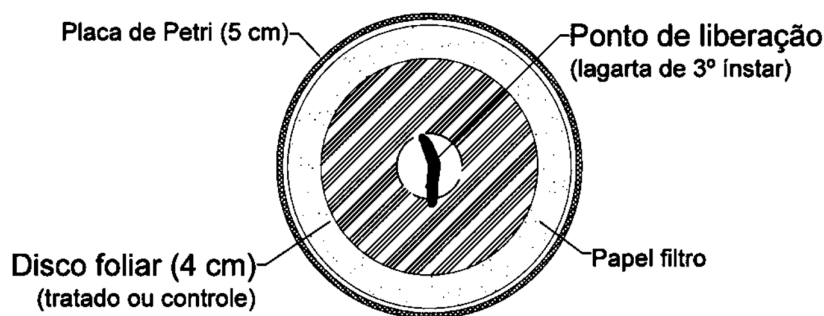
Onde: IP= Índice de preferência alimentar; C= Área consumida no disco controle

(testemunha negativa); T= Área consumida no disco tratado. Valores de $IP > 1$ indicam preferência pelo disco tratado (fagoestimulante), enquanto valores de $IP < 1$ indicam preferência pelo disco controle (antifedante), e valores onde $IP = 1$, indicam neutralidade, quando não existem distinções entre hospedeiros.

3.2.7 Bioensaio de não-preferência alimentar sem chance de escolha

Os bioensaios sem chance de escolha foram realizados utilizando-se discos foliares com 4 cm de diâmetro, coletados de plantas de milho (*Z. mays*) com aproximadamente 30 dias de idade e imersos por 5 segundos nas respectivas soluções de óleos essenciais, ou detergente neutro à 5,0% (testemunha negativa), deixados em repouso por 30 minutos. Após secagem, os discos foram colocados em placas de Petri (50 x 15 mm), contendo papel filtro de mesmo diâmetro e, liberou-se uma lagarta de *S. frugiperda* no centro do disco foliar, fechando-se as placas com filme plástico PVC® (Figura 13) (BASKAR et al., 2014, 2017a, 2017b; SELINRANI et al., 2016).

Figura 13 - Bioensaio de não-preferência alimentar sem chance de escolha



Fonte: elaborada pelo autor.

Os discos foliares foram trocados a cada 24 horas por três dias consecutivos, retirando-se os discos foliares e digitalizando-os para análise do consumo foliar diário e acumulado (cm^2) (SCHUH et al., 2018), utilizando o software ENVI® (v.5.1).

Os valores obtidos foram utilizados no cálculo da atividade antifedante das soluções de óleos essenciais, conforme (ZHANG et al., 2017):

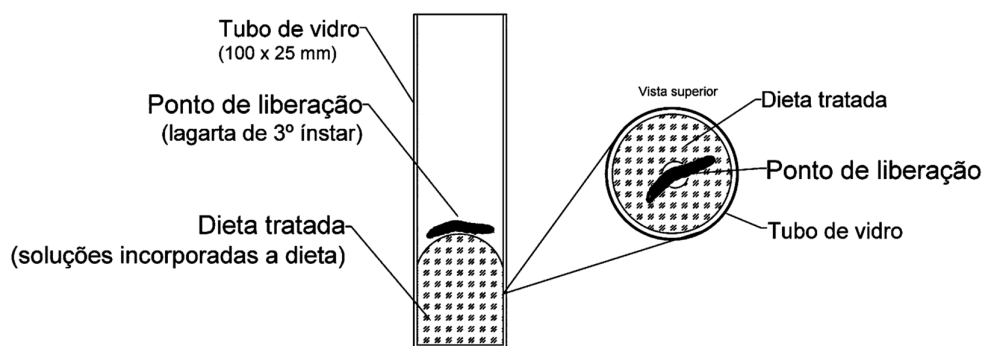
$$PA(\%) = \frac{(C-T)}{C} \times 100 \quad (5)$$

Onde: PA= Percentual de atividade antifedante; C= Área consumida no disco de controle (testemunha negativa); T= Área consumida no disco tratado.

3.2.8 Bioensaio de antibiose

A antibiose foi avaliada incorporando-se as soluções de óleos essenciais, ou testemunha, à dieta artificial proposta por Greene et al. (1976), na proporção de 5 mL de solução para 300 g de dieta (ANSANTE et al., 2015; SOUZA et al., 2016). As dietas tratadas foram colocadas em tubos de vidro (100 x 25 mm), liberando-se uma lagarta de *S. frugiperda* (Figura 14), tamponando-os com algodão hidrófobo e organizando-os em estantes na posição vertical (ALVES et al., 2018).

Figura 14 - Bioensaio de antibiose



Fonte: elaborada pelo autor.

Registrou-se diariamente a mortalidade até a fase de pupa, considerando mortas lagartas com ausência de resposta a um estímulo mecânico, realizado com pincel de pêlos finos, paralização ou alteração da coloração larval para tonalidades de preto (MAGRINI et al., 2015; SILVA et al., 2017). Posteriormente, as taxas de mortalidades foram corrigidas em relação à testemunha, utilizando as fórmulas descritas por Abbott (1925). As lagartas que atingiram a fase de pupa, foram pesadas e transferidas para tubos de vidro (100 x 25 mm), registrando-se a emergência e a razão sexual dos adultos (OLIVERO-VERBEL et al., 2010).

3.2.9 Análise estatística

Os valores médios de mortalidade corrigida (M_c) foram submetidos a análise de 'Próbit' (FINNEY, 2009), e por meio das curvas de dose-mortalidade foram geradas estimativas das dosagens letais (DL_{50}) para mortalidade de 50% das populações de *S. frugiperda*. Os dados quantitativos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), comparando-se as médias em casos de diferença significativa por meio do Teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq$

0,05), com auxílio dos softwares estatísticos SISVAR[®] (FERREIRA, 2014) e SIGMAPLOT[®] (SIGMAPLOT, 2011).

3.3 Resultados

Houveram diferenças entre os óleos essenciais quanto à repelência (RP) ($p < 0,01$), índice de preferência alimentar (IP) ($p < 0,01$) e atividade antifedante (PA) ($p < 0,01$), apesar de não diferirem quanto a mortalidade corrigida (Mc) por antibiose. Para as dosagens, observou-se diferenças quanto aos IP, PA e MC ($p < 0,01$) (Tabela 4). Constatando-se, em alguns casos, relação direta entre o aumento das dosagens e a repelência percentual (RP), ou a mortalidade (MC) por antibiose. Em outros casos, constatou-se relação inversa, como o consumo foliar (cm^2) das lagartas de *S. frugiperda*, ou a emergência de adultos.

Tabela 4 - Análise de variância (ANOVA) para repelência percentual (RP), índice de preferência alimentar (IP), percentual de atividade antifedante (PA) e mortalidade corrigida (Mc) por antibiose sobre *S. frugiperda*

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		RP (%)	IP (%)	PA (%)	MC (%)
Óleos essenciais	2	5619,00**	0,7253**	5089,82**	634,57 ^{ns}
Doses	4	200,33 ^{ns}	0,3191**	9647,48**	4001,60**
Óleos x Doses	8	235,33 ^{ns}	0,0899**	671,36**	502,20 ^{ns}
Resíduo	135	500,16	0,0261	69,30	295,51
C.V. (%)		43,34	32,07	13,76	29,36

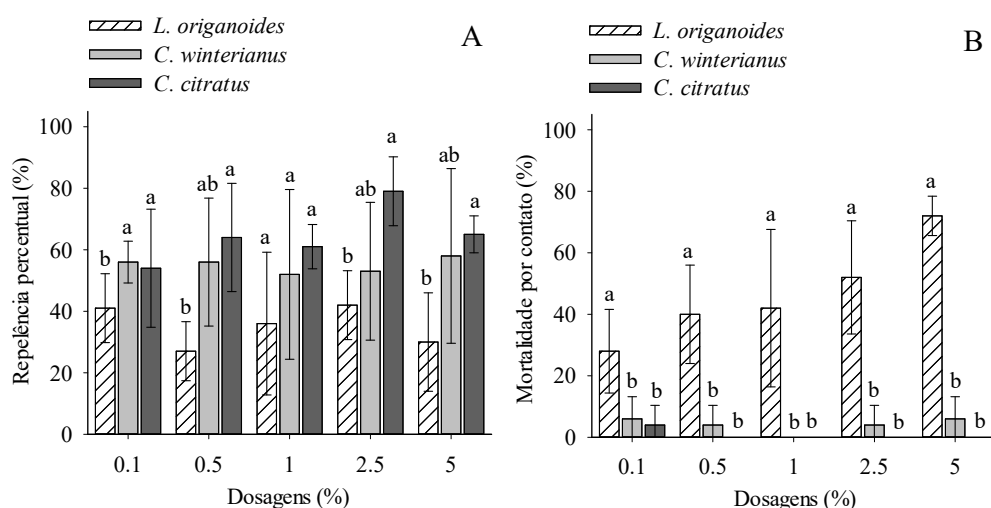
**significativo ao nível de 1% de probabilidade.

^{ns} não significativo.

O óleo essencial de capim-santo (*C. citratus*) expressou maior atividade repelente [64,6% de repelência percentual (RP) (Classe 4)], enquanto o óleo de citronela (*C. winterianus*) expressou média de 55,0% (Classe 3), e o de alecrim-pimenta (*L. origanoides*), os menores valores, com apenas 35,2% de RP (Classe 2) (Figura 15). As cinco dosagens com óleo essencial de alecrim-pimenta causaram significativas taxas de mortalidade (MC) de lagartas, variando de 28% quando expostas à solução de 0,1% à 72% de mortalidade quando à 5,0%, indicando que as lagartas de *S. frugiperda* que tiveram contato com a superfície tratada morreram em até 4 horas, mesmo existindo área controle (tratada apenas com detergente neutro à 5,0%) na placa

de Petri (Figura 15).

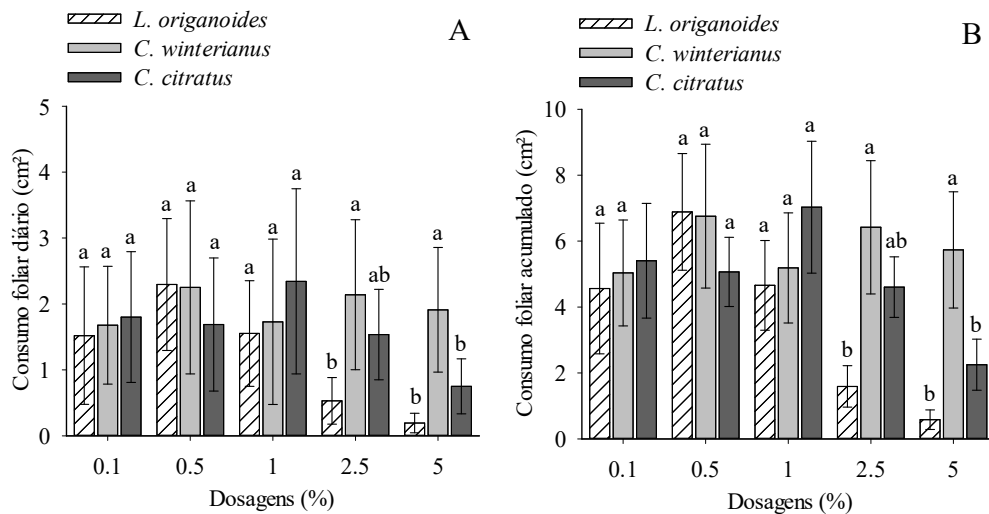
Figura 15 - Atividade repelente (RP) dos óleos essenciais, e mortalidade corrigida (Mc) de lagartas de *S. frugiperda*, em porcentagem (%), no teste de preferência de área. Fortaleza - CE, Brasil



Fonte: elaborada pelo autor.

A imersão nas soluções com óleos essenciais, no bioensaio com chance de escolha, inferiu não-preferência alimentar (antixenose) de *S. frugiperda* aos discos foliares, destacando-se as soluções com óleo de alecrim-pimenta à 2,5 e 5,0%, além da solução com óleo essencial de capim-santo à 5,0%, que permitiram consumos foliares acumulados de apenas 1,6, 0,6 e 2,2 cm², respectivamente, após três dias. Já as soluções com óleo essencial de citronela, permitiram até 5,8 cm² de consumo acumulado no mesmo período, não diferindo entre as dosagens (Figura 16). Na testemunha negativa registrou-se 13,4 cm² de consumo acumulado, equivalente à 4,5 cm² de área consumida dia⁻¹, evidenciando que as lagartas, utilizando a ‘chance de escolha’ (seleção hospedeira), alimentaram-se dos discos que apresentavam menor risco aparente, por alguma atividade repelente ou antifedante, inferida aos discos pela aplicação das soluções com óleos essenciais.

Figura 16 - Consumo foliar diário e acumulado de *S. frugiperda*, em área (cm²), utilizando discos tratados com soluções de óleos essenciais, no bioensaio de não-preferência com chance de escolha. Fortaleza - CE, Brasil



Fonte: elaborada pelo autor.

Os três óleos essenciais obtiveram índices de preferência alimentar (IP) menores que 1 ($IP < 1$), indicando atividade antifedante sobre lagartas de *S. frugiperda*, nas cinco dosagens avaliadas. As soluções contendo óleo essencial de alecrim-pimenta à 2,5 e 5,0%, e a solução com óleo de capim-santo também à 5,0%, obtiveram os menores índices, com 0,25, 0,14 e 0,29, respectivamente. A solução com óleo essencial de citronela à 5,0%, obteve IP de 0,62. Já as demais soluções com óleo essencial de capim-santo apresentaram valores de IP superiores à 0,48 (2,5%), igualando-se aos obtidos com óleo essencial de citronela, que não registrou diferença significativa entre as cinco dosagens (Tabela 5).

Tabela 5 - Índice de preferência alimentar (IP) de *S. frugiperda*, após imersão dos discos foliares em soluções de óleos essenciais, no bioensaio de não-preferência com chance de escolha. Fortaleza - CE, Brasil

Óleos essenciais	Doses (%)				
	0,1	0,5	1,0	2,5	5,0
Alecrim-pimenta	0,500 aA	0,563 aA	0,445 bAB	0,251 bB	0,143 bC
Citronela	0,624 aA	0,666 aA	0,586 abA	0,614 aA	0,617 aA
Capim-Santo	0,554 aA	0,589 aA	0,628 aA	0,486 aAB	0,290 bB
C. V. (%)	28,46	22,30	24,79	33,75	58,56
Valor F	1,448 ^{ns}	1,101 ^{ns}	3,533*	12,963**	22,481**
Valor- <i>p</i>	0,2387	0,3356	0,0320	0,0000	0,0000

As médias seguidas pela mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

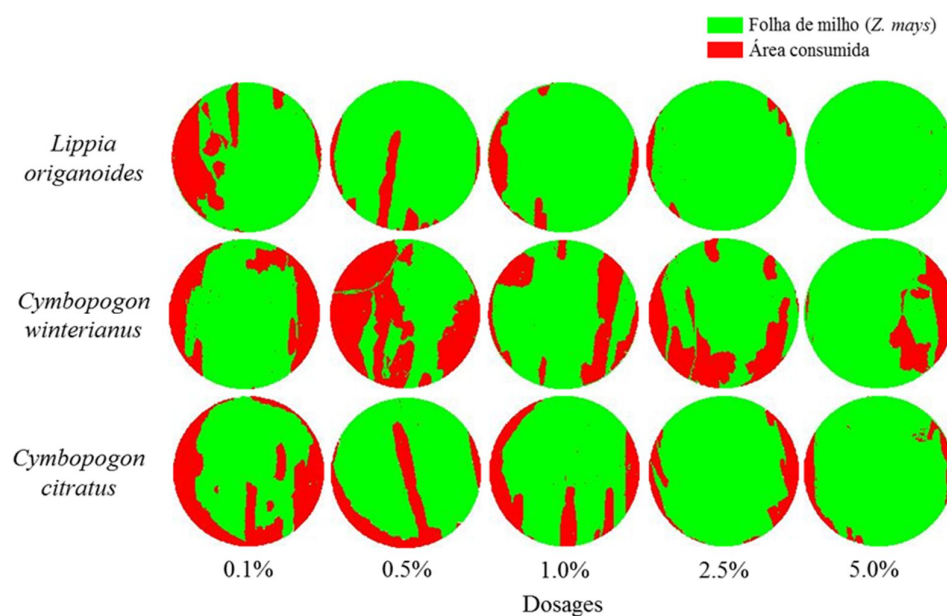
**significativo ao nível de 1% de probabilidade.

*significativo ao nível de 5% de probabilidade.

^{ns} não significativo.

A imersão dos discos foliares nas soluções com óleos essenciais, resultou em dissuasão alimentar no bioensaio sem chance de escolha (Figura 17). Constatando-se menor preferência em discos tratados com óleo essencial de alecrim-pimenta e, verificando-se queda no consumo à medida que se elevou a dosagem (Figura 17). Quando ocorreu alimentação, observou-se que esta foi fracionada e nas regiões periféricas da folha, possivelmente devido a alguma atividade deterrente. Características similares foram observadas nos discos tratados com óleo essencial de capim-santo, enquanto os discos tratados com óleo essencial de citronela registraram consumo foliar superior, indicando antifedância moderada, com poucas variações entre dosagens (Figura 17).

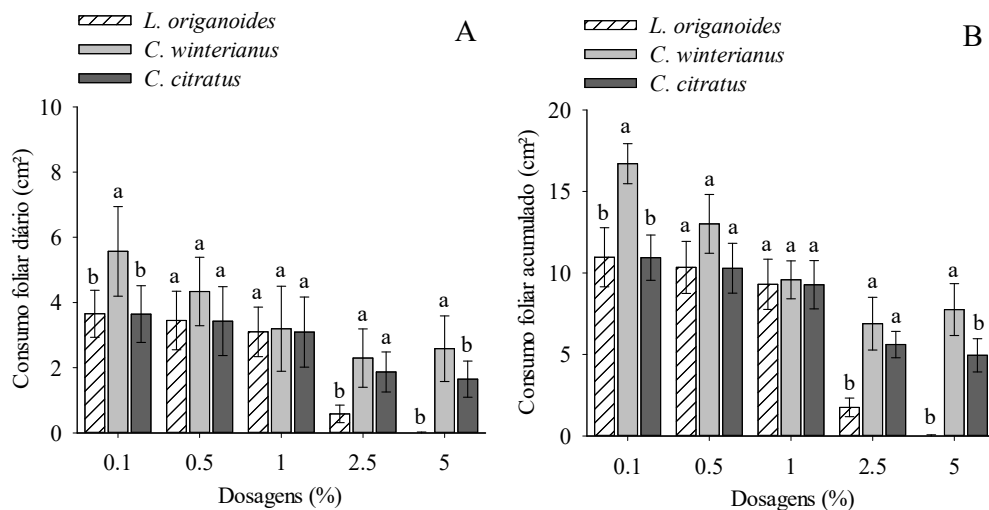
Figura 17 - Consumo foliar de *S. frugiperda* em discos foliares tratados com soluções de óleos essenciais, no bioensaio de não-preferência com chance de escolha. Fortaleza - CE, Brasil



Fonte: elaborada pelo autor.

O consumo foliar diário e acumulado no bioensaio sem chance de escolha, apresentou comportamento homogêneo e preciso quando comparado ao obtido no bioensaio com chance de escolha (Figura 18). Constatou-se queda no consumo foliar à medida que se elevou as dosagens dos três óleos essenciais, como observa-se nos discos tratados com óleo essencial de alecrim-pimenta à 0,1 e 5,0%, sendo o primeiro com 11,0 cm² e o segundo com 0,03 cm² de consumo foliar acumulado após três dias (Figura 18). Em alguns casos, registrou-se também queda no consumo ao longo dos três dias de avaliação, como nos discos tratados com óleo essencial de citronela à 0,5%, que apresentaram 6,7 cm² de área consumida no primeiro dia, e apenas 2,5 cm² no terceiro dia de avaliação (decréscimo de 62%) (Figura 18).

Figura 18 - Consumo foliar diário e acumulado de *S. frugiperda*, em área (cm²), utilizando discos tratados com soluções de óleos essenciais no bioensaio de não-preferência sem chance de escolha. Fortaleza - CE, Brasil



Fonte: elaborada pelo autor.

Os três óleos essenciais expressaram atividade antifedante, apesar de diferenças significativas entre os óleos, assim como, entre dosagens. As soluções com óleo essencial de alecrim-pimenta à 2,5 e 5,0% apresentaram valores de potencial antifedante (PA) próximos à 100,0%, diferindo das soluções com óleos essenciais de citronela e capim-santo à 5,0%, que obtiveram valores de 63,9 e 77,0%, respectivamente (Figura 19). No entanto, ao considerar a menor dosagem dos três óleos essenciais, constatou-se que os óleos de capim-santo e alecrim-pimenta não diferiram, com 49,1 e 49,0% de PA, respectivamente (Tabela 6).

Tabela 6 - Atividade antifedante (PA) das soluções de óleos essenciais, em porcentagem (%), no bioensaio de não-preferência sem chance de escolha. Fortaleza - CE, Brasil

Óleos essenciais	Doses (%)				
	0,1	0,5	1,0	2,5	5,0
Alecrim-pimenta	48,99 aB	51,88 aB	56,72 aB	91,85 aA	99,84 aA
Citronela	22,27 bD	39,45 bC	55,42 aB	67,95 bA	63,93 cAB
Capim-Santo	49,12 aB	52,12 aB	56,82 aB	73,90 bA	76,99 bA
C. V. (%)	32,47	18,62	11,64	12,77	17,23
Valor F	34,498**	7,582**	0,088 ^{ns}	22,335**	47,683**
Valor-p	0,0000	0,0008	0,9160	0,0000	0,0000

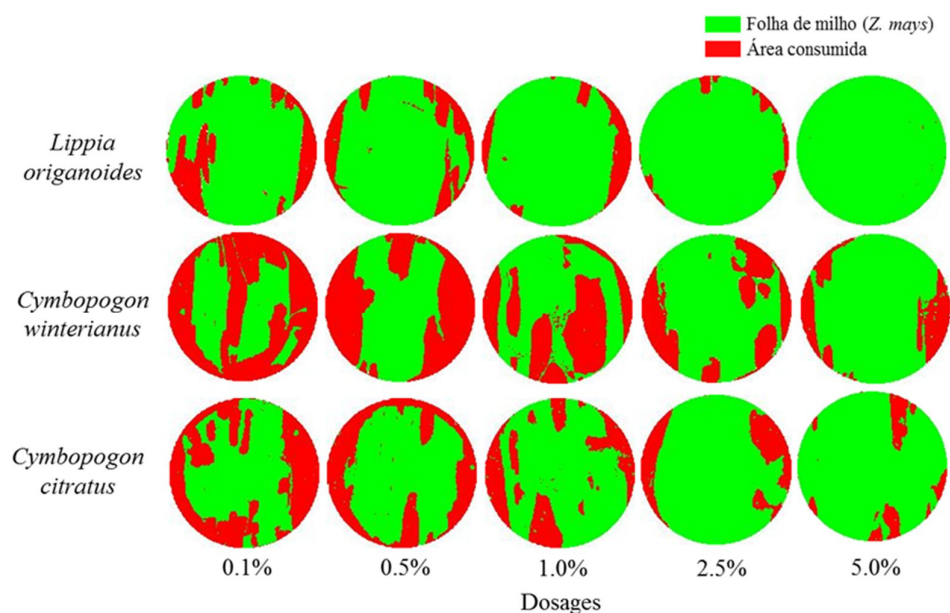
As médias seguidas pela mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

**significativo ao nível de 1% de probabilidade.

^{ns} não significativo.

Constatou-se que os discos tratados com óleo de alecrim-pimenta, no bioensaio sem chance de escolha, mantiveram-se mais preservados que os tratados com os demais óleos devido às diferenças entre as áreas consumidas nos discos tratados com soluções à 0,1% (Figura 19).

Figura 19 - Consumo foliar de *S. frugiperda* em discos foliares tratados com soluções de óleos essenciais, no bioensaio de não-preferência sem chance de escolha. Fortaleza - CE, Brasil



Fonte: elaborada pelo autor.

Os discos tratados com óleo essencial de citronela foram mais consumidos, porém não houve padrão na alimentação e, em alguns casos, aproximou-se dos valores obtidos na testemunha (Figura 19). Assim, constatou-se na menor dosagem (0,1%), que o consumo acumulado foi 16,7 cm² após três dias, e PA de 22,3%, diferindo dos demais óleos, e aproximando-se dos 21,5 cm² de área consumida nos discos controles (testemunha) (Figura 19).

A incorporação dos óleos essenciais nas dietas artificiais provocou efeitos pós-ingestão (antibiose) nas lagartas de *S. frugiperda*, ocasionando 58,5% de mortalidade (Tabela 7). Entre dosagens, constatou-se diferença significativa apenas na menor, com 52,2% de mortalidade corrigida (Mc) quando as lagartas se alimentaram de dietas contendo óleo de alecrim-pimenta (0,1%), e de 31,3% quando incorporado óleo de citronela (Tabela 7). A relação entre as dosagens e as taxas de mortalidade (Mc) foi diretamente proporcional, constatando-se 37,3% de mortalidade de lagartas quando incorporado óleo essencial de capim-santo à 0,1%, e 70,1% quando incorporado à 5,0%, representando acréscimo de 87% (Tabela 7).

Tabela 7 - Mortalidade corrigida (Mc), em porcentagem (%), de lagartas de *S. frugiperda* alimentadas com dieta artificial (GREENE et al., 1976), contendo soluções de três óleos essenciais. Fortaleza - CE, Brasil

Óleos essenciais	Doses (%)				
	0,1	0,5	1,0	2,5	5,0
Alecrim-pimenta	52,23 aB	55,22 aB	55,22 aB	70,14 aAB	80,13 aA
Citronela	31,34 bB	55,22 aA	59,19 aA	60,70 aA	67,83 aA
Capim-Santo	37,31 abB	58,20 aAB	61,19 aA	64,17 aA	70,14 aA
C. V. (%)	37,26	25,73	24,70	20,78	14,14
Valor F	5,227**	0,101 ^{ns}	1,217 ^{ns}	0,956 ^{ns}	1,445 ^{ns}
Valor-p	0,0065	0,9044	0,2993	0,3869	0,2394

As médias seguidas pela mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

**significativo ao nível de 1% de probabilidade.

^{ns} não significativo.

A sobreposição dos intervalos de confiança (IC_{95%}) não evidenciou diferenças significativas entre as dosagens letais (DL₅₀) (Tabela 8). Calculando-se diluições de 0,15% do óleo essencial de alecrim-pimenta, 0,52% do óleo de citronela, e 0,32% de capim-santo, para ocasionar mortalidade de 50% das populações de lagartas de *S. frugiperda*, quando

incorporados a dieta artificial (antibiose) (Tabela 8).

Tabela 8 - Dosagens letais (DL₅₀), em porcentagem (%), para ocasionar 50% de mortalidade por antibiose em lagartas de *S. frugiperda*, incorporando-se as soluções de óleos essenciais à dieta artificial (GREENE et al., 1976). Fortaleza - CE, Brasil

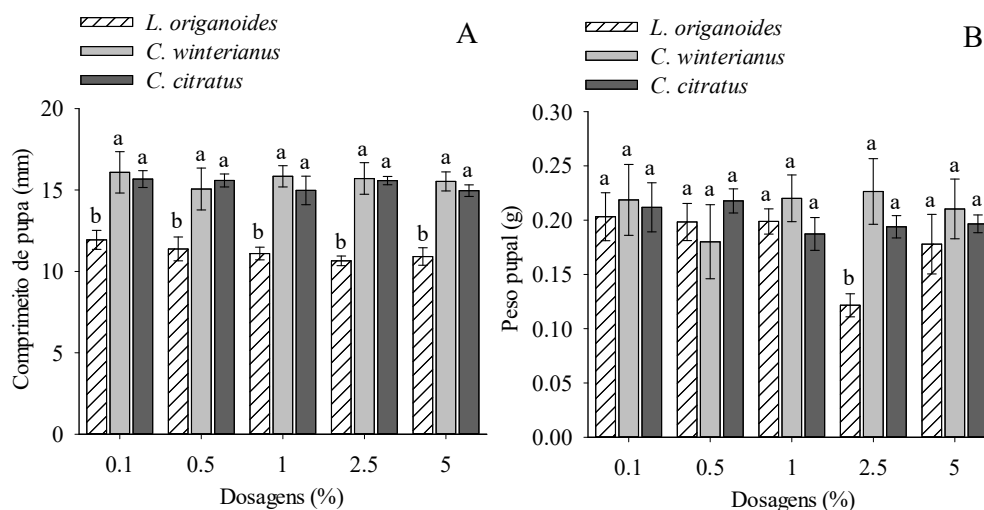
Óleos essenciais	DL ₅₀ ^a	IC _{95%} ^b
Alecrim-pimenta	0,151	0,030 - 0,318
Citronela	0,523	0,268 - 0,860
Capim-Santo	0,323	0,123 - 0,573

^aDosagem letal.

^bIntervalos de confiança (IC 95%).

A incorporação dos óleos essenciais também ocasionou alterações significativas nas pupas formadas e, interferiu na continuidade do ciclo de *S. frugiperda*. As lagartas que se alimentaram de dietas contendo óleo de alecrim-pimenta, nas cinco dosagens, originaram pupas com menor comprimento (média de 11,19 mm), enquanto as pupas advindas de lagartas onde foram incorporados os óleos de citronela e capim-santo, apresentavam médias de 15,7 e 15,6 mm, não diferindo entre si (Figura 20).

Figura 20 - Comprimento, em milímetros (mm), e peso de pupas de *S. frugiperda*, em gramas (g), após alimentação das lagartas com dietas artificiais contendo soluções de óleos essenciais, no bioensaio de antibiose. Fortaleza - CE, Brasil

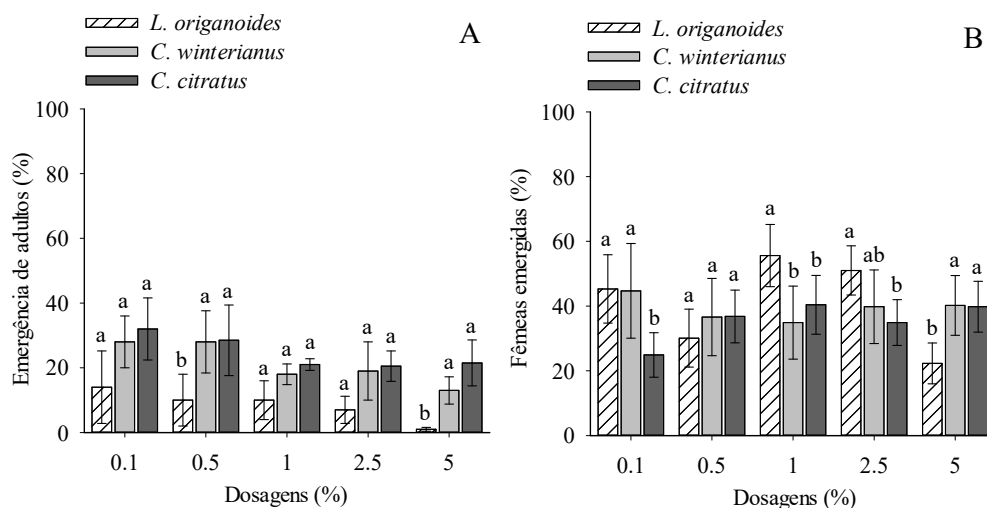


Fonte: elaborada pelo autor.

Apenas a solução com óleo essencial de alecrim-pimenta à 2,5% reduziu significativamente o peso das pupas (média de 0,194 g), enquanto nos óleos de citronela e capim-santo à 2,5% registrou-se pupas com peso médio de 0,226 e 0,203 g, respectivamente (Figura 20).

Os efeitos pós-ingestão dos óleos essenciais refletiram diretamente na taxa de emergência de adultos, constatando-se relação inversa à medida que se elevou as dosagens dos óleos essenciais (Figura 21). Na solução de alecrim-pimenta à 0,1%, registrou-se 14,0% de adultos emergidos, e na solução à 5,0% apenas 1%, sendo 22,3% fêmeas. A razão sexual, na maioria das dosagens, aproximou-se de 0,42 (valor registrado quando à dieta cotinha solução de detergente neutro à 5,0% - testemunha negativa) (Figura 21).

Figura 21 - Emergência e razão sexual de adultos de *S. frugiperda*, em porcentagem (%), após alimentação das lagartas com dietas artificiais contendo soluções de óleos essenciais, no bioensaio de antibiose. Fortaleza - CE, Brasil



Fonte: elaborada pelo autor.

3.4 Discussão

Os óleos essenciais de alecrim-pimenta (*L. origanoides*), de citronela (*C. winterianus*) e de capim-santo (*C. citratus*) expressaram atividade repelente, antifedante e inseticida por antibiose, corroborando a literatura e fornecendo dados que podem ser usados no manejo integrado da lagarta-do-cartucho, *S. frugiperda* (SILVA et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2017, 2018; CAMPOS et al., 2018). As diferenças entre os três óleos essenciais, são atribuídas,

principalmente, aos mecanismos de ação dos compostos majoritários, que repeliram e ocasionaram efeitos letais e subletais por contato e antibiose, reduziram o desenvolvimento larval e a sobrevivência pupal, além de dificultarem a seleção hospedeira e inibirem a alimentação nos bioensaios com chance e sem chance de escolha (NERIO et al., 2010; REGNAULT-ROGER et al., 2012; ISMAN, 2016).

Os óleos essenciais de capim-santo e citronela expressaram maior atividade repelente sobre lagartas de *S. frugiperda*, quando comparados ao óleo essencial de alecrim-pimenta, principalmente, devido à ação do citral (capim-santo) e geraniol (citronela) (KNAAK et al., 2013; SILVA et al., 2014; TAK et al., 2015), que já tiveram repelência constatada sobre o mosquito *Anopheles gambiae* Giles (Diptera: Culicidae) (NERIO et al., 2010); a mosca-doméstica *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae) (CHAUHAN et al., 2018); o besouro-castanho (*T. castaneum*); o gorgulho-do-milho *Sitophilus zeamais* Motsch (Coleoptera: Curculionidae) (PEIXOTO et al., 2015) e a mosca-branca *Bemisia tabaci* (Genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae) (DELETRE et al., 2015). Enquanto o óleo de alecrim-pimenta (*L. origanoides*) expressou repelência média de 35%, Classe 2 (baixa repelência) (VIGLIANCO et al., 2008), corroborando estudos que evidenciaram a repelência de compostos de plantas do gênero *Lippia*, como o carvacrol e o timol, sobre o besouro-do-fumo *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae) e, o besouro-da-batata *Leptinotarsa decemlineata* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae) (PAVELA, 2011); o mosquito-da-dengue *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae) (NESTERKINA et al., 2018) e algumas lagartas do algodão *Spodoptera littoralis* (Boisd.) (Lepidoptera: Noctuidae), além de ácaros, como o ácaro-rajado (*T. urticae* Koch) (CAVALCANTI et al., 2010). A repelência induzida pelos óleos essenciais possivelmente foi conferida pela reação entre os compostos voláteis e os receptores olfativos dos insetos, que induziram uma resposta neurológica, resultando em não-preferência ou fuga da fonte de emissão (NERIO et al., 2010; DELETRE et al., 2015).

A baixa repelência expressada pelo óleo essencial de alecrim-pimenta permitiu a expressão de alta atividade inseticida, uma vez que as lagartas não se afugentavam e buscavam a superfície tratada, ou mesmo alimentavam-se dos discos e dieta contendo esse óleo essencial, ocasionando 47,0% de mortalidade por contato e 63,0% por antibiose. Esta atividade pode ser atribuída aos mecanismos de ação do carvacrol (30,37%), e a sua interação com compostos como α -himachalene (10,38%), terpinolene (7,96%), α -pinene (5,08%) e β -myrcene (3,90%). O carvacrol pode atuar por diferentes mecanismos de ação (REGNAULT-ROGER et al., 2012; DOS SANTOS et al., 2016), como por exemplo, pela inibição competitiva dos receptores nicotínicos de acetilcolina (nAChR), inibição da acetilcolinesterase (AChE) (EL-WAKEIL,

2013; CAMPOS et al., 2018), assim como, através do bloqueio dos receptores da octopamina (KHANIKOR et al., 2013; MELO et al. 2018), ou dos receptores de tiramina (TyrR), que é um precursor da octopamina em células da mosca-do-vinagre *Drosophila melanogaster* Meigen (Diptera: Drosophilidae) (CAMPOS et al., 2018). Justificando a capacidade do compostos presentes nos óleos essenciais de *Thymus vulgaris* L. (Lamiaceae), *Satureja hortensis* L. (Lamiaceae) e *Origanum compactum* L. (Lamiaceae), de atuar por antibiose e provocar a mortalidade de larvas de *Culex quinquefasciatus* Say (Diptera: Culicidae) e *S. littoralis*, além de adultos de *M. domestica* e *Leptinotarsa decemlineata* Say (Coleoptera: Chrysomelidae) (PAVELA, 2011). Indicando que os infoquímicos contidos nos óleos essenciais, ao serem ingeridos, puderam reagir com enzimas digestivas e desintoxicantes, inibindo a alimentação (antifedância), a digestibilidade e a conversão dos discos foliares e das dietas artificiais (antibiose), e provocaram alterações comportamentais, biológicas e fisiológicas das lagartas de *S. frugiperda*, que resultou em taxas variáveis de mortalidade, pupas menores e malformadas, que consequentemente, tiveram dificuldades de progredir no instar e finalmente emergir como adultos, reduzindo o potencial biótico do lepidóptero-praga (NERIO et al., 2010; CAMPOS et al., 2018; KOUNDAL et al., 2018).

O uso de dosagens mais baixas, como à 0,1%, com planejamento e adequação à cada agroecossistema, pode permitir resultados próximos à média dos três óleos, ou seja, 50% de repelência percentual (RP), 40,1% de potencial antifedante (PA) e 40,3% de mortalidade (Mc) por antibiose, reduzindo significativamente o potencial biótico e os danos ocasionados pela lagarta-do-cartucho *S. frugiperda*.

3.5 Conclusões

Os três óleos essenciais [alecrim-pimenta (*L. origanoides*), citronela (*C. winterianus*) e capim-santo (*C. citratus*)] apresentaram atividade repelente, antifedante e antibiose sobre lagartas de 3º instar de *S. frugiperda*, destacando-se

O óleo de capim-santo apresentou maior repelência percentual e, o de alecrim-pimenta maior potencial antifedante, mortalidade por contato e por antibiose. Enquanto o óleo essencial de citronela necessitou de maiores dosagens para expressar repelência, antifedância e antibiose.

REFERÊNCIAS

ABBASZADEH, G.; SRIVASTAVA, C.; WALIA, S. Insecticidal and antifeedant activities of clerodane diterpenoids isolated from the Indian bhant tree, *Clerodendron infortunatum*, against the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*. **Journal of Insect Science**, v. 14, n. 1, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/jis/14.1.29>

ABBOTT, W. S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. **Journal of Economic Entomology**, v. 18, p. 265-266, 1925. DOI: <https://dx.doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>

ALVES, S. D.; CARVALHO, G. A.; OLIVEIRA, D. F.; CORRÊA, A. D. Screening of Brazilian plant extracts as candidates for the control of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Revista Colombiana de Entomología**, v. 44, n. 1, p. 32-38, 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.25100/socolen.v44i1.6539>

ANSANTE, T. F.; RIBEIRO, L. P.; BICALHO, K. U.; FERNANDES, J. B.; SILVA, M. F. G. F.; VIEIRA, P. C.; VENDRAMIM, J. D. Secondary metabolites from Neotropical Annonaceae: Screening, bioguided fractionation, and toxicity to *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Industrial Crops and Products**, v. 74, p. 969-976, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.05.058>

AYIL-GUTIÉRREZ, B. A.; SÁNCHEZ-TEYER, L. F.; VAZQUEZ-FLOTA, F.; MONFORTE-GONZÁLEZ, M.; TAMAYO-ORDÓÑEZ, Y.; TAMAYO-ORDÓÑEZ, M. C.; RIVERA, G. Biological effects of natural products against *Spodoptera* spp. **Crop Protection**, v. 114, p. 195-207, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.08.032>

BARBOSA, M. S.; DIAS, B. B.; GUERRA, M. S.; VIEIRA, G. H. C. Applying plant oils to control fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in corn. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 4, p. 557-562, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.21475/ajcs.18.12.04.pne822>

BASKAR, K.; ANANTHI, J.; IGNACIMUTHU, S. Toxic effects of *Solanum xanthocarpum* Sch & Wendle against *Helicoverpa armigera* (Hub.), *Culex quinquefasciatus* (Say.) and *Eisenia fetida* (Savigny, 1826). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 3, p. 2774-2782, 2017a. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-017-0655-1>

BASKAR, K.; DURAI PANDIYAN, V.; IGNACIMUTHU, S. Bioefficacy of the triterpenoid friedelin against *Helicoverpa armigera* (Hub.) and *Spodoptera litura* (Fab.) (Lepidoptera: Noctuidae). **Pest Management Science**, v. 70, n. 12, p. 1877-1883, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/ps.3742>

BASKAR, K.; MAHESWARAN, R.; PAVUNRAJ, M.; PACKIAM, S. M.; IGNACIMUTHU, S.; DURAI PANDIYAN, V.; BENELLI, G. Toxicity and antifeedant activity of *Caesalpinia bonduc* (L.) Roxb. (Caesalpiniaceae) extracts and fractions against the cotton bollworm *Helicoverpa armigera* Hub. (Lepidoptera: Noctuidae). **Physiological and Molecular Plant Pathology**, p.1-6. 2017b. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pmpp.2017.01.006>

BOHNER, T. O. L.; ARAÚJO, L. E. B.; NISHIJIMA, T. O impacto ambiental do uso de agrotóxicos no meio ambiente e na saúde dos trabalhadores rurais. **Revista Eletrônica do**

Curso de Direito da UFSM, v. 8, p. 329-341, 2013. DOI:
<http://dx.doi.org/10.5902/198136948280>

BOIÇA JÚNIOR, A. L.; CAMPOS, Z. R.; CAMPOS, A. R.; VALÉRIO FILHO, W. V.; CAMPOS, O. R. *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in cotton: vertical distribution of egg masses, effects of adult density and plant age on oviposition behavior. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 80, n. 4, p. 424-429. 2013. DOI:
<http://dx.doi.org/10.1590/S1808-16572013000400008>

BORTOLI, S. A.; VACARI, A. M.; GOULART, R. M.; SANTOS, R. F.; VOLPE, H. X.; FERRAUDO, A. S. Capacidade reprodutiva e preferência da traça-das-crucíferas para diferentes brassicáceas. **Horticultura Brasileira**, v.29, n. 2, p.187-192. 2011. DOI:
<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362011000200009>

CAMPOS, E. V.; PROENÇA, P. L.; OLIVEIRA, J. L.; BAKSHI, M.; ABHILASH, P. C.; FRACETO, L. F. Use of botanical insecticides for sustainable agriculture: Future perspectives. **Ecological Indicators**, p. 1-13. 2018. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.038>

CARVALHO, I. F.; ERDMANN, L. L.; MACHADO, L. L.; ROSA, A. P. S. A.; ZOTTI, M. J.; NEITZKE, C. G. Metabolic resistance in the fall armyworm: An overview. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 12, p. 426-436. 2018. DOI:
<https://dx.doi.org/10.5539/jas.v10n12p426>

CAVALCANTI, S. C. H.; NICULAU, E. S.; BLANK, A. F.; CÂMARA, C. A. G.; ARAÚJO, I. N.; ALVES, P. B. Composition and acaricidal activity of *Lippia sidoides* essential oil against two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch). **Bioresource Technology**, v. 101, p. 829-832, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.08.053>

CHAUHAN, N.; MALIK, A.; SHARMA, S. Repellency potential of essential oils against housefly, *Musca domestica* L. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 5, p. 4707-4714, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0363-x>

COSTA, A. V.; PINHEIRO, P. F.; QUEIROZ, V. T.; RONDELLI, V. M.; MARINS, A. K.; VALBON, W. R.; PRATISSOLI, D. Chemical composition of essential oil from *Eucalyptus citriodora* leaves and insecticidal activity against *Myzus persicae* and *Frankliniella schultzei*. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 18, n. 2, p. 374-381. 2015. DOI:
<http://dx.doi.org/10.1080/0972060X.2014.1001200>

DELETRE, E.; MALLENT, M.; MENUT, C.; CHANDRE, F.; MARTIN, T. Behavioral response of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) to 20 plant extracts. **Journal of Economic Entomology**, v. 108, n. 4, p. 1890-1901. 2015. DOI:
<https://doi.org/10.1093/jee/tov118>

DERMAUW, W.; PYM, A.; BASS, C.; VAN LEEUWEN, T.; FEYEREISEN, R. Does host plant adaptation lead to pesticide resistance in generalist herbivores?. **Current Opinion in Insect Science**, v. 26, n. 1, p. 25-33. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cois.2018.01.001>

DOS SANTOS, A. C. V.; FERNANDES, C. C.; LOPES, L.; SOUSA, A. H. D. Inseticidal oils from amazon plants in control of fall armyworm. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 3, p. 642-647.

2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252016v29n314rc>

EARLY, R.; GONZÁLEZ-MORENO, P.; MURPHY, S. T.; DAY, R. Forecasting the global extent of invasion of the cereal pest *Spodoptera frugiperda*, the fall armyworm. **BioRxiv**, e391847. 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.1101/391847>

EL-WAKEIL, N. E. Botanical pesticides and their mode of action. **Gesunde Pflanzen**, v. 65, n. 4, p. 125-149, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s10343-013-0308-3>

FERNANDES, F. O.; ABREU, J. A.; CHRIST, L. M.; ROSA, A. P. S. A. Efficacy of insecticides against *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797). **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 1, p. 494-503. 2019. DOI: <https://dx.doi.org/10.5539/jas.v11n1p494>

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>

FINNEY, D. J. '**Probit analysis**'. 4. ed. London: Cambridge University Press, 2009. 272 p.

GAHUKAR, R. T. Management of pests and diseases of important tropical/subtropical medicinal and aromatic plants: A review. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, v. 9, p. 1-18. 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jarmap.2018.03.002>

GAHUKAR, R. T. Use of plant-derived products to control household and structural arthropod pests. **International Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 6, n. 2, p. 22-28. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.14419/ijbas.v6i2.7483>

GAHUKAR, R. T. Plant-derived products in crop protection: Effects of various application methods on pests and diseases. **Phytoparasitica**, v. 44, n. 3, p. 379-391. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12600-016-0524-3>

GAO, Q.; SONG, L.; SUN, J.; CAO, H. Q.; WANG, L.; LIN, H.; TANG, F. Repellent action and contact toxicity mechanisms of the essential oil extracted from Chinese chive against *Plutella xylostella* larvae. **Archives of Insect Biochemistry and Physiology**, v.100, n.1, p. e21509. 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.1002/arch.21509>

GOERGEN, G.; KUMAR, P. L.; SANKUNG, S. B.; TOGOLA, A.; TAMÒ, M. 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**, v. 11, n. 10, p. e0165632. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0165632>

GORDY, J. W.; LEONARD, B. R.; BLOUIN, D.; DAVIS, J. A.; STOUT, M. J. Comparative effectiveness of potential elicitors of plant resistance against *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in four crop plants. **PLoS One**, v. 10, n. 9, e0136689. 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0136689>

GREENE, G. L.; LEPPLA, N. C.; DICKERSON, W. A. Velvetbean caterpillar: A rearing procedure and artificial medium. **Journal of Economic Entomology**, v. 69, n. 4, p.487-488, 1976. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/jee/69.4.487>

ISMAN, M. B. A renaissance for botanical insecticides?. **Pest Management Science**, v. 71, n. 12, p. 1587-1590, 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.1002/ps.4088>

ISMAN, M. B. Pesticides based on plant essential oils: Phytochemical and practical considerations. In: **Medicinal and Aromatic Crops: Production, Phytochemistry, and Utilization**. American Chemical Society, 2016. p. 13-26. DOI: <https://dx.doi.org/10.1021/bk-2016-1218.ch002>

KHANIKOR, B.; PARIDA, P.; YADAV, R. N. S.; BORA, D. Comparative mode of action of some terpene compounds against octopamine receptor and acetyl cholinesterase of mosquito and human system by the help of homology modeling and docking studies. **Journal of Applied Pharmaceutical Science**, v. 3, n. 2, p. 6-12. 2013. DOI: <https://doi.org/10.7324/japs.2013.30202>

KŁYŚ, M.; MALEJKY, N.; NOWAK-CHMURA, M. The repellent effect of plants and their active substances against the beetle storage pests. **Journal of Stored Products Research**, v. 74, p. 66-77, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2017.10.006>

KNAAK, N.; WIEST, S. L.; ANDREIS, T. F.; FIUZA, L. M. Toxicity of essential oils to the larvae of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Biopesticides**, v. 6, n. 1. 2013.

KOGAN, M. Feeding and nutrition of insects associated with soybeans. 2. Soybean resistance and host preferences of the Mexican bean beetle, *Epilachna varivestis*. **Annals of the Entomological Society of America**, v.65, n.3, p.675-683. 1972. DOI: <https://dx.doi.org/10.1093/aesa/65.3.675>

KOKETSU, M.; GONÇALVES, S. L. **Óleos essenciais e sua extração por arraste de vapor**. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa, CTAA, 1991. 24 p. (Documentos, 8).

KOUNDAL, R.; DOLMA, S. K.; CHAND, G.; AGNIHOTRI, V. K.; REDDY, S. E. Chemical composition and insecticidal properties of essential oils against diamondback moth (*Plutella xylostella* L.). **Toxin Reviews**, p. 1-11, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/15569543.2018.1536668>

LIMA, R. K.; CARDOSO, M. G.; MORAES, J. C.; VIEIRA, S. S.; MELO, B. A. FILGUEIRAS, C. C. Composição dos Óleos Essenciais de Anis-estrelado *Illicium verum* L. e de Capim-limão *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf: Avaliação do Efeito Repelente sobre *Brevicoryne brassicae* (L.) (Hemiptera: Aphididae). **BioAssay**, v.3, n.1, p.1-6, 2008. DOI: <https://dx.doi.org/10.14295/BA.v3.0.56>

LING, B.; WANG, G. C.; JI, Y. A.; ZHANG, M. X.; LIANG, G. W. Antifeedant activity and active ingredients against *Plutella xylostella* from *Momordica charantia* leaves. **Agricultural Sciences in China**, v. 7, n. 12, p. 1466-1473, 2008. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S1671-2927\(08\)60404-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1671-2927(08)60404-6)

MAGRINI, F. E.; SPECHT, A.; GAIO, J.; GIRELLI, C. P.; MIGUES, I.; HEINZEN, H.; SALDAÑA, J.; SARTORI, V. C.; CESIO, V. Antifeedant activity and effects of fruits and seeds extracts of *Cabralea canjerana canjerana* (Vell.) Mart. (Meliaceae) on the immature

stages of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae).

Industrial Crops and Products, v. 65, p. 150-158, 2015. DOI:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.11.032>

MELO, C. R.; PICANÇO, M. C.; SANTOS, A. A.; SANTOS, I. B.; PIMENTEL, M. F.; SANTOS, A. C.; BLANK, A. F.; ARAÚJO, A. P. A.; CRISTALDO, P. F.; BACCI, L. Toxicity of essential oils of *Lippia gracilis* chemotypes and their major compounds on *Diaphania hyalinata* and non-target species. **Crop Protection**, v. 104, p. 47-51. 2018. DOI:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2017.10.013>

MONTEZANO, D. G.; SPECHT, A.; SOSA-GÓMEZ, D. R.; ROQUE-SPECHT, V. F.; SOUSA-SILVA, J. C.; PAULA-MORAES, S. V. D.; PETERSON, J. A.; HUNT, T. E. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. **African Entomology**, v. 26, n. 2, p. 286-300. 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.4001/003.026.0286>

NAGOSHI, R. N.; GOERGEN, G.; TOUNOU, K. A.; AGBOKA, K.; KOFFI, D.; MEAGHER, R. L. Analysis of strain distribution, migratory potential, and invasion history of fall armyworm populations in northern Sub-Saharan Africa. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 3710. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21954-1>

NAPAL, G. N. D.; CARPINELLA, M. C.; PALACIOS, S. M. Antifeedant activity of ethanolic extract from *Flourensia oolepis* and isolation of pinocembrin as its active principle compound. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 14, p. 3669-3673, 2009. DOI:

NERIO, L. S.; OLIVERO-VERBEL, J.; STASHENKO, E. Repellent activity of essential oils: a review. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 1, p. 372-378, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.07.048>

NESTERKINA, M.; BERNIER, U. R.; TABANCA, N.; KRAVCHENKO, I. Repellent activity of monoterpenoid esters with neurotransmitter amino acids against yellow fever mosquito, *Aedes aegypti*. **Open Chemistry**, v.16, n.1, p.95-98. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1515/chem-2018-0015>

OLIVEIRA, A. R. M. F.; OLIVEIRA, L. M.; CARNEIRO, J. S.; SILVA, T. R. S.; COSTA, L. C. B. Essential oil of *Lippia sidoides* and its major compound thymol: Toxicity and walking response of populations of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Crop Protection**, v. 112, p. 33-38, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.05.011>

OLIVEIRA, A. P.; SANTANA, A. S.; SANTANA, E. D.; LIMA, A. P. S.; FARO, R. R.; NUNES, R. S.; LIMA, A. D.; BLANK, A. F.; ARAÚJO, A. P. A.; CRISTALDO, P. F.; BACCI, L. Nanoformulation prototype of the essential oil of *Lippia sidoides* and thymol to population management of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Industrial Crops and Products**, v. 107, p. 198-205, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.05.046>

OLIVERO-VERBEL, J.; NERIO, L. S.; STASHENKO, E. E. Bioactivity against *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) of *Cymbopogon citratus* and *Eucalyptus citriodora* essential oils grown in Colombia. **Pest Management Science**, v. 66, n. 6, p.664-668. 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/ps.1927>

OUKO, R. O.; KOECH, S. C.; ARIKA, W. M.; NJAGI, S. M.; ODUOR, R. O. Bioefficacy of

Organic Extracts of *Ocimum basilicum* against *Sitophilus zeamais*. **Entomol Ornithol Herpetol**, v. 6, v. 1, p.2161-0983. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.4172/2161-0983.1000190>

PAVELA, R. Antifeedant and larvicidal effects of some phenolic components of essential oils lasp lines of introduction against *Spodoptera littoralis* (Boisd.). **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 14, n. 3, p. 266-273, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1080/0972060X.2011.10643932>

PEIXOTO, M. G.; BACCI, L.; BLANK, A. F.; ARAÚJO, A. P. A.; ALVES, P. B.; SILVA, J. H. S.; SANTOS, A. A.; OLIVEIRA, A. P.; COSTA, A. S.; ARRIGONI-BLANK, M. Toxicity and repellency of essential oils of *Lippia alba* chemotypes and their major monoterpenes against stored grain insects. **Industrial Crops and Products**, v. 71, p. 31-36, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.084>

PINHEIRO, P. F.; QUEIROZ, V. T. D.; RONDELLI, V. M.; COSTA, A. V.; MARCELINO, T. D. P.; PRATISSOLI, D. Insecticidal activity of citronella grass essential oil on *Frankliniella schultzei* and *Myzus persicae*. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 37, n. 2, p. 138-144, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542013000200004>

PRIMAVESI, A. **Manejo Ecológico de Pragas e Doenças**. São Paulo: Expressão Popular, 2017. 144p.

REGNAULT-ROGER, C.; VINCENT, C.; ARNASON, J. T. Essential oil in insect control: Low risk products in a high-state world. **Annual Review Entomology**, v. 57, p. 405-424, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120710-100554>

SELIN-RANI, S.; SENTHIL-NATHAN, S.; THANIGAIVEL, A.; VASANTHA-SRINIVASAN, P.; EDWIN, E. S.; PONSANKAR, A.; LIJA-ESCALINE, J.; KALAIVANI, K.; ABDEL-MEGEED, A.; HUNTER, W. D.; ALESSANDRO, R. T. Toxicity and physiological effect of quercetin on generalist herbivore, *Spodoptera litura* Fab. and a non-target earthworm *Eisenia fetida* Savigny. **Chemosphere**, v.165, p.257-267. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.08.136>

SCHUH, M. K.; BAHLAI, C. A.; MALMSTROM, C. M.; LANDIS, D. A. Effect of Switchgrass Ecotype and Cultivar on Establishment, Feeding, and Development of Fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic Entomology**, p. 1-10, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/jee/toy292>

SIGMAPLOT. **Statistical Package for the Social Sciences - SigmaPlot for Windows**. v.12. Chicago, IL, USA. 2018.

SILVA, C. T. S; WANDERLEY-TEIXEIRA, V.; CUNHA, F. M.; OLIVEIRA, J. V.; ANDRADE DUTRA, K.; NAVARRO, D. M. A. F.; TEIXEIRA, Á. A. C. Biochemical parameters of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) treated with citronella oil (*Cymbopogon winterianus* Jowitt ex Bor) and its influence on reproduction. **Acta Histochemica**, v. 118, n. 4, p. 347-352, 2016. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.acthis.2016.03.004>

SILVA, F. M.; BERTINI, L. M.; ALVES, L. A.; MOURA, L. F.; BARBOSA, P. T.; FERNANDES, A. B. D. Análise da composição química do óleo essencial de capim santo (*Cymbopogon citratus*) obtido através de extrator por arraste com vapor d'água construído

com materiais de fácil aquisição e baixo custo. **Holos**, v. 30, n. 4, p.144-152. 2014. <https://doi.org/10.15628/holos.2014.1762>

SILVA, S. M.; CUNHA, J. P. A. R.; CARVALHO, S. M.; ZANDONADI, C. H. S.; MARTINS, R. C.; CHANG, R. *Ocimum basilicum* essential oil combined with deltamethrin to improve the management of *Spodoptera frugiperda*. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 6, p. 665-675, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1413-70542017416016317>

SOUZA, C. M.; BALDIN, E. L.; RIBEIRO, L. P.; SILVA, I. F.; MORANDO, R.; BICALHO, K. U.; VENDRAMIM, J. D.; FERNANDES, J. B. Lethal and growth inhibitory activities of Neotropical Annonaceae-derived extracts, commercial formulation, and an isolated acetogenin against *Helicoverpa armigera*. **Journal of Pest Science**, v. 90, n. 2, p. 701-709, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10340-016-0817-9>

SUWANSIRISILP, K.; VISETSON, S.; PRABARIPAI, A.; TANASINCHAYAKUL, S.; GRIECO, J. P.; BANGS, M. J; CHAREONVIRIYAPHAP, T. Behavioral responses of *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae) to four essential oils in Thailand. **Journal of Pest Science**, v. 86, n. 2, p. 309-320, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s10340-012-0464-8>

TAK, J. H.; JOVEL, E.; ISMAN, M. B. Contact, fumigant, and cytotoxic activities of thyme and lemongrass essential oils against larvae and an ovarian cell line of the cabbage looper, *Trichoplusia ni*. **Journal of Pest Science**, v. 89, p. 183-193. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10340-015-0655-1>

TAK, J.; JOVEL, E.; ISMAN, M. B. Synergistic interactions among the major constituents of lemongrass essential oil against larvae and an ovarian cell line of the cabbage looper, *Trichoplusia ni*. **Journal of Pest Science**, v. 90, n. 2, p. 735-744, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10340-016-0827-7>

TALUKDER, F. A.; HOWSE, P. E. Laboratory evaluation of toxic and repellent properties of the pithraj tree, *Aphanamixis polystachya* Wall & Parker, against *Sitophilus oryzae* (L.). **International Journal of Pest Management**, v. 40, n. 3, p. 274-279, 1994. DOI: <https://dx.doi.org/10.1080/09670879409371897>

VÉLEZ, A. M.; VELLICHIRAMMAL, N. N.; JURAT-FUENTES, J. L.; SIEGFRIED, B. D. Cry1F resistance among lepidopteran pests: A model for improved resistance management?. **Current Opinion in Insect Science**, v. 15, p. 116-124. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cois.2016.04.010>

VENZON, M.; PAULA JÚNIOR, T. J.; PALLINI, A. **Controle alternativo de pragas e doenças**. Viçosa: EPAMIG/ CTZM/ UFV. 2005. 362p.

VICENTINI, V. B.; PRATISSOLI, D.; QUEIROZ, V. T. D.; COSTA, A. V.; PINHEIRO, P. F.; ZINGER, F. D.; RONDELLI, V. M. Ethanol extract of *Cymbopogon winterianus* on mortality and number of eggs of *Tetranychus urticae*. **Ciência Rural**, v. 45, n. 7, p. 1154-1159, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20140175>

VIGLIANCO, A.; NOVO, R.; CRAGNOLINI, C.; NASSETTA, M.; CAVALLO, A. Antifeedant and repellent effects of extracts of three plants from Córdoba (Argentina) against

Sitophilus oryzae (L.) (Coleoptera: Curculionidae). **BioAssay**, v. 3, n. 4, p.1-6. 2008. DOI: <https://dx.doi.org/10.14295/BA.v3.0.55>

VITE-VALLEJO, O.; BARAJAS-FERNÁNDEZ, M. G.; SAAVEDRA-AGUILAR, M.; CARDOSO-TAKETA, A. Insecticidal Effects of Ethanolic Extracts of *Chenopodium ambrosioides*, *Piper nigrum*, *Thymus vulgaris*, and *Origanum vulgare* against *Bemisia tabaci*¹. **Southwestern Entomologist**, v. 43, n. 2, p. 383-394, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3958/059.043.0209>

XIAO, Y.; WU, K. Recent progress on the interaction between insects and *Bacillus thuringiensis* crops. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 374, n. 1767, p. 20180316, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0316>

ZHANG, Y. N.; HE, P.; XUE, J. P.; GUO, Q.; ZHU, X. Y.; FANG, L. P.; LI, J. B. Insecticidal activities and biochemical properties of *Pinellia ternata* extracts against the beet armyworm *Spodoptera exigua*. **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 20, n. 2, p.469-476. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aspen.2017.03.003>

ZHU, Y. C.; BLANCO, C. A.; PORTILLA, M.; ADAMCZYK, J.; LUTTRELL, R.; HUANG, F. Evidence of multiple/cross resistance to *Bt* and organophosphate insecticides in Puerto Rico population of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 122, v. 1, p. 15-21. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2015.01.007>

ZHU, Y. C.; NIU, Y.; ZHOU, Y.; GUO, J.; HEAD, G. P.; PRICE, P. A.; WEN, X.; HUANG, F. Survival and effective dominance level of a Cry1A. 105/Cry2Ab2-dual gene resistant population of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) on common pyramided Bt corn traits. **Crop Protection**, v. 115, p. 84-91. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.09.008>

ZULETA-CASTRO, C.; RIOS, D.; HOYOS, R.; OROZCO-SÁNCHEZ, F. First formulation of a botanical active substance extracted from neem cell culture for controlling the armyworm. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 37, n. 5, p. 40, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s13593-017-0448-4>

4 SELETIVIDADE DE TRÊS ÓLEOS ESSENCIAIS SOBRE *Trichogramma pretiosum* RILEY (HYMENOPTERA: TRICHOGRAMMATIDAE)

RESUMO

A diversidade de artrópodes-praga que atacam uma única cultura tem exigido a integração de diferentes métodos de controle. Assim, pulverizações de óleos essenciais com atividade inseticida, repelente ou fago-inibidora e liberações de inimigos naturais podem potencializar o manejo integrado, desde que apresentem seletividade. O trabalho teve por objetivo avaliar a seletividade dos óleos de alecrim-pimenta *Lippia origanoides* Kunth (Verbenaceae), citronela *Cymbopogon winterianus* Jowitt. (Poaceae) e capim-santo *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf. (Poaceae), sobre adultos de *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae), comparando-se cinco dosagens (0,01; 0,05; 0,1; 0,5 e 1,0%), além da testemunha (detergente neutro à 1,0%). Avaliou-se a toxicidade residual por meio da mortalidade de adultos, calculando-se dosagens letais (DL₅₀), além das reduções sobre parasitismo em ovos de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) e seletividade aos ovos parasitados. Os três óleos exibiram seletividade aos adultos de *T. pretiosum*, ocasionando mortalidades entre 17,2 (alecrim-pimenta) e 32,2% (capim-santo), na menor dosagem. Destacando-se o óleo essencial de alecrim-pimenta com DL₅₀ de 0,43%, 22% de redução do parasitismo (Classe 1 - Inócuo) e 88% de emergência quando à 0,01%. Enquanto a DL₅₀ do óleo de capim-santo foi 0,15%, com 34% de redução do parasitismo (Classe 2 - Levemente nocivo) e 74% de adultos emergidos. Já o óleo de citronela obteve DL₅₀ de 0,12%, 46% de redução (Classe 2 - Levemente nocivo) e emergência de 62%. A seletividade dos óleos essenciais pode viabilizar liberações de *T. pretiosum*, integrando controle biológico e alternativo, e potencializando o manejo integrado da lagarta-do-cartucho, à medida que ovos não pulverizados, ou resistentes aos óleos, sejam parasitados por fêmeas de *T. pretiosum*.

Palavras-chave: Controle alternativo, controle biológico, manejo integrado de pragas.

ABSTRACT

The diversity of pest arthropods that attack a single crop has required the integration of different control methods. Thus, spraying of essential oils with insecticidal activity, repellent or phage-inhibiting and releases of natural enemies can enhance the integrated management, as long as

they are selective. The objective this work was evaluate the selectivity of essential oils the pepper-rosemary *Lippia origanoides* Kunth (Verbenaceae), citronella *Cymbopogon winterianus* Jowitt. (Poaceae) and lemongrass *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf. (Poaceae), on adults of *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) parasitizing *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) eggs, comparing five dosages (0.01, 0.05, 0.1, 0.5 and 1.0%), besides the control (neutral detergent to 1.0%). Residual toxicity was evaluated by means of adult mortality, calculating lethal dosages (LD₅₀), in addition to reductions on parasitism and selectivity to parasitized eggs. The three oils showed selectivity to *T. pretiosum* adults, causing mortalities between 17.2 (rosemary pepper) and 32.2% (holy grass), at the lowest dosage. The essential oil of pepper-rosemary with LD₅₀ of 0.43%, 22% of parasitism reduction (Class 1 - Innocuous) and 88% of emergence when 0.01%. While the LD₅₀ of the lemongrass oil was 0.15%, with a 34% reduction in parasitism (Class 2 - Slightly Harmful) and 74% of emerged adults. The citronella oil obtained LD₅₀ of 0.12%, 46% reduction (Class 2 - Slightly Harmful) and 62% emergence. The selectivity of the essential oils can enable the release of *T. pretiosum*, integrating biological and alternative control, and enhancing the integrated management of the fall armyworm, as eggs that are not pulverized or resistant to the oils are parasitized by *T. pretiosum* females.

Keywords: Alternative control, biological control, integrated pest management.

4.1 Introdução

Trichogramma pretiosum Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) destaca-se como o parasitoide mais comercializado e utilizado em programas de controle biológico de pragas no mundo, parasitando ovos de cerca de 240 espécies de lepidópteros (QUERINO et al., 2016, 2017). Os adultos medem entre 0,5 a 1 mm de comprimento, tem coloração amarelo-castanho e abdômen escuro, apresentam olhos avermelhados e antenas curtas, plumosas nos machos e clavadas nas fêmeas (CÔNSOLI et al., 2010). As larvas, logo que emergem, passam a alimentar-se da massa vitelínica e/ou do embrião do ovo hospedeiro, levando-o à morte (CARVALHO et al., 2017; LAURENTIS et al., 2019).

A eficiência no parasitismo por *T. pretiosum* é fundamental para o sucesso do programa de controle biológico de lepidópteros-praga (LAURENTIS et al., 2019), como em *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), *Pseudoplusia includens* Walker (Lepidoptera: Noctuidae), *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae) e,

Neoleucinodes elegantalis (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae) onde o parasitoide atingiu 95, 30, 40,2 e 19,% de parasitismo, respectivamente (MAGALHÃES et al., 2012; MASSAROLI et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2020), promovendo acréscimos de até 19,4% sobre a produtividade, que pode resultar em aumentos de até 700 kg na produtividade do milho, *Zea mays* L. (Poaceae), elevando os ganhos por hectare em US\$ 96,5 (FIGUEIREDO et al., 2015). No entanto, alguns programas de controle biológico têm apresentado baixa eficiência devido à problemas de planejamento, como número insuficiente de parasitoides liberados; dificuldades ou ausência de tecnologia de aplicação; competição ou predação por outros inimigos naturais e/ou ausência de inseticidas seletivos (PARRA; ZUCCHI, 1997; FIGUEIREDO et al., 2015).

A integração entre controle biológico e controle alternativo, por meio de liberações de *T. pretiosum* e pulverizações foliares com óleos essenciais de plantas aromáticas pode potencializar o manejo integrado de pragas (MIP) (ERCAN et al., 2013; PRIMAVESI, 2017). Os óleos essenciais possuem uma variedade de infoquímicos, como alcaloides, fenólicos e terpenos (GAHUKAR et al., 2017, 2018), que podem atuar sobre múltiplos sítios de ação e expressar características biocidas (VITE-VALLEJO et al., 2018), repelentes (GAO et al., 2018) e/ou antifedantes sobre artrópodes-praga (BASKAR et al., 2017), reduzindo o percentual de indivíduos resistentes em uma população e, possivelmente, apresentado certa seletividade a organismos não-alvo, como parasitoides (REGNAULT-ROGER et al., 2012; ISMAN; GRIENEISEN, 2014).

O óleo essencial de *Leptospermum petersonii* Bailey (Myrtaceae), composto principalmente por citronelal (3,7-dimetiloct-6-en-1-al) e citral (3,7-dimethyl-2,6-octadienal), demonstrou seletividade à adultos de *T. pretiosum*, além de atividade inseticida moderada, atividade antifedante e efeitos pós-ingestão (antibiose) sobre a traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), reduzindo a sobrevivência e crescimento larval, e a oviposição das mariposas (HEATHER; HASSAN, 2012). Já os óleos essenciais de *Origanum vulgare* L. (Lamiaceae) e *Thymus vulgaris* L. (Lamiaceae), foram seletivos às fêmeas de *Trissolcus basalis* Wollaston (Hymenoptera: Scelionidae) (GONZÁLEZ et al., 2013), não afetando o comportamento do parasitoide em testes de contato e fumigação. No entanto, alguns óleos essenciais não são seletivos, ou têm menor seletividade, como o óleo essencial de *Prangos ferulacea* L. (Umbelliferae), nocivo a diferentes estágios de vida de *Trichogramma embryophagum* Htg. (Hymenoptera: Trichogrammatidae) (ERCAN et al., 2013).

O conhecimento da existência, ou inexistência, de efeitos nocivos (seletividade) de diferentes óleos essenciais com potencial inseticida, repelente ou fago-inibidor, sobre a eficiência de parasitismo e adultos de *T. pretiosum*, pode viabilizar a integração entre controle

biológico e alternativo, e orientar liberações e pulverizações sistemáticas, melhorando o manejo integrado de importantes lepidópteros-praga (MAGALHÃES et al., 2012; MASSAROLI et al., 2014; LAURENTIS et al., 2019).

Diante disto, o trabalho teve por objetivo avaliar a seletividade dos óleos essenciais de alecrim-pimenta *Lippia organoides* Kunth (Verbenaceae), de citronela *Cymbopogon winterianus* Jowitt. (Poaceae) e de capim-santo *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf (Poaceae) sobre ovos de *S. frugiperda* e adultos de *T. pretiosum*.

4.2 Material e métodos

4.2.1 Local de estudo

O trabalho foi desenvolvido em salas climatizadas ($25 \pm 3^\circ\text{C}$, $70 \pm 10\%$ de UR e fotofase de 12 h) no Laboratório de Entomologia Aplicada (LEA) da Universidade Federal do Ceará (UFC) (Fortaleza-CE, Brasil).

4.2.2 Criação de *S. frugiperda*

A criação foi estabelecida a partir de lagartas coletadas em áreas de cultivo de milho comercial, nos municípios de Quixeré e Limoeiro do Norte (CE, Brasil) e, mantidas utilizando dieta artificial, proposta por Greene et al. (1976), até a formação de pupas. As pupas foram retiradas do resíduo da dieta e colocadas em tubos de vidro (100 x 25 mm), até a emergência dos adultos. Após emergirem, os adultos foram transferidos para gaiolas cilíndricas de policloreto de polivinila (PVC) (10 x 25 cm), contendo solução de mel à 10% (alimentação), revestidas com papel toalha (oviposição) e fechadas nas extremidades com tecido tipo ‘voil’. A cada dois dias trocou-se o papel toalha e a solução, recortando-se as massas de ovos e colocando-as em placas de Petri (90 x 15 mm). Após três dias, as lagartas recém-emergidas foram transferidas, com auxílio de um pincel de pêlos finos, para tubos de vidro (100 x 25 mm) contendo dieta artificial, retirando-se amostras da população para realização dos bioensaios.

4.2.3 Criação de *T. pretiosum*

A linhagem “Ubajara” de *T. pretiosum* foi obtida na criação do Laboratório de Entomologia Aplicada (LEA) (OLIVEIRA et al., 2020). Os adultos foram mantidos em tubos

de vidro (100 x 25 mm) e alimentados com mel pincelado na parede interna do tubo com auxílio de pincel de pêlos finos. Utilizou-se ovos de *Anagasta kuehniella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) como hospedeiro alternativo. Os ovos foram previamente colados em cartelas de cartolina azul celeste (4,0 x 2,0 cm), utilizando diluição de goma arábica à 20% e, inviabilizados por exposição à luz germicida ultravioleta. As cartelas contendo ovos inviabilizados foram fornecidas às fêmeas de *T. pretiosum*, fechando-se os tubos com filme plástico PVC® e permitindo o parasitismo por 24 horas. Após o parasitismo, as cartelas foram retiradas e individualizadas em tubos de vidro (100 x 25 mm) até a emergência de adultos. As progênes de *T. pretiosum* linhagem “Ubajara” foram utilizadas nos bioensaios.

4.2.4 Obtenção dos óleos essenciais

Os óleos essenciais foram cedidos pela AGROPAULO Agroindustrial S/A Jaguaruana-CE, Brasil e, extraídos em laboratório, empregando-se a técnica de hidrodestilação por ‘arraste a vapor’ (KOKETSU; GONÇALVES, 1991).

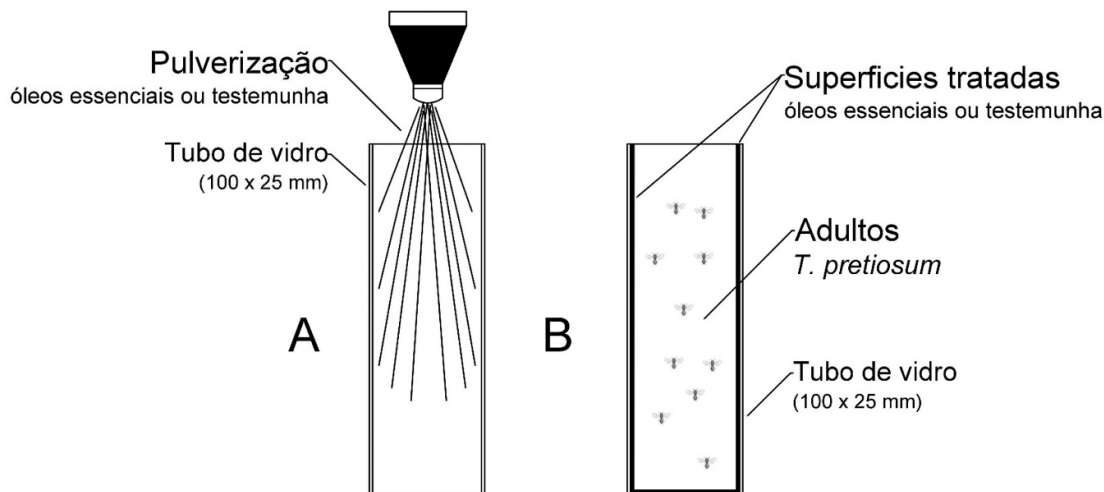
4.2.5 Delineamento experimental

Os bioensaios foram implantados em delineamento inteiramente casualizado (DIC), esquema fatorial 3 x 5, para avaliar a seletividade dos óleos essenciais de alecrim-pimenta (*L. organoides*), de citronela (*C. winterianus*) e de capim-santo (*C. citratus*) sobre a eficiência de parasitismo em ovos de *S. frugiperda* e sobre adultos de *T. pretiosum*, nas dosagens de 0,01; 0,05; 0,1; 0,5 e 1,0% de óleo por litro de água, previamente dissolvidos com detergente neutro (1:1). Foram instaladas cinco repetições, utilizando 10 ovos de *S. frugiperda* como parcela útil. A testemunha negativa consistiu de solução de detergente neutro à 1,0%.

4.2.6 Bioensaio de seletividade aos adultos

A seletividade aos adultos foi avaliada por meio da toxicidade residual em superfície tratada, pulverizando-se 100 ± 20 µL das soluções de óleos essenciais, ou testemunha, internamente em tubos de vidro (100 x 25 mm), com auxílio de pulverizador manual (Figura 22A). Em média 15 adultos de *T. pretiosum* foram liberados nos tubos tratados após 24 horas (Figura 22B). Os adultos não foram alimentados. Os tubos foram fechados com filme plástico PVC® e organizados em estantes na posição vertical.

Figura 22 - Bioensaio de toxicidade por contato. Pulverização dos tubos de vidro (A) e liberação de adultos de *T. pretiosum* linhagem “Ubajara” (B) após 24 horas



Fonte: elaborada pelo autor.

As taxas de mortalidade foram registradas 24 horas após as liberações, considerando mortos os insetos que não apresentavam resposta observável a um estímulo mecânico, realizado com um pincel de pêlos finos. As mortalidades foram corrigidas em relação à testemunha, utilizando-se as fórmulas propostas por Abbott (1925):

$$\%M = \frac{NIMT}{NTIT} \times 100 \quad (1)$$

Onde: %M= Porcentagem de mortalidade; NIMT= Número de insetos mortos no tratamento; NTIT= Número total de insetos no tratamento.

$$Mc(\%) = \frac{\%Mo - \%Mt}{100 - \%Mt} \times 100 \quad (2)$$

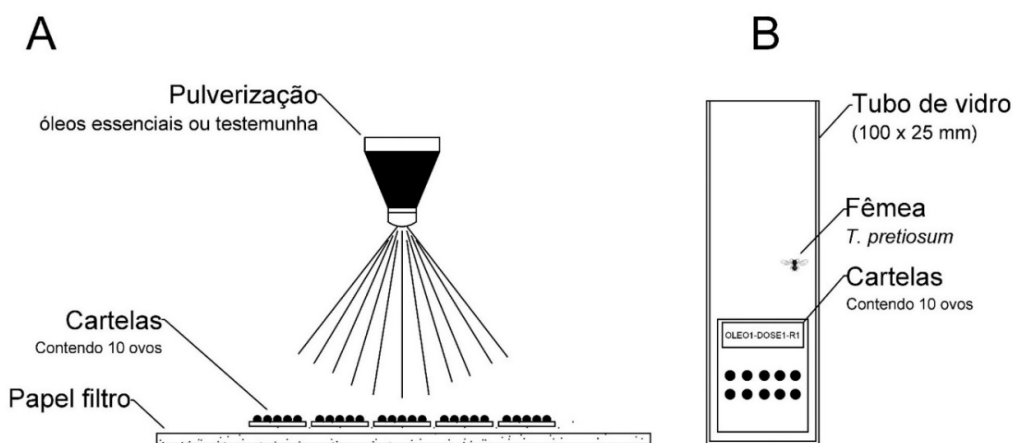
Onde: Mc= Mortalidade corrigida; Mo= Mortalidade observada; Mt= Mortalidade da testemunha negativa.

4.2.7 Bioensaio de seletividade ao parasitismo

A seletividade sobre a eficiência de parasitismo de *T. pretiosum* linhagem “Ubajara” foi avaliada utilizando ovos de *S. frugiperda*, coletados na criação e colados de forma equidistante em cartelas de cartolina azul celeste (2,0 x 2,0 cm), utilizando solução de goma arábica à 20%, com auxílio de microscópio estereoscópico e pincel de pêlos finos. As cartelas contendo 10 ovos foram colocadas sobre papel filtro e pulverizadas com $100 \pm 20 \mu\text{L}$ das

soluções de óleos essenciais, ou testemunha, utilizando pulverizador manual (Figura 23A). Após 30 minutos, as cartelas foram fornecidas a uma fêmea acasalada de *T. pretiosum* linhagem “Ubajara” (Figura 23B), com até 24 horas de idade, previamente individualizadas em tubos de vidro (100 x 25 mm), fechando-os com filme plástico PVC® e permitindo o parasitismo por 48 horas.

Figura 23 - Bioensaio de seletividade. Pulverização das cartelas contendo ovos (A) e Exposição das cartelas contendo ovos ao parasitismo por fêmeas de *T. pretiosum* linhagem “Ubajara” (B)



Fonte: elaborada pelo autor.

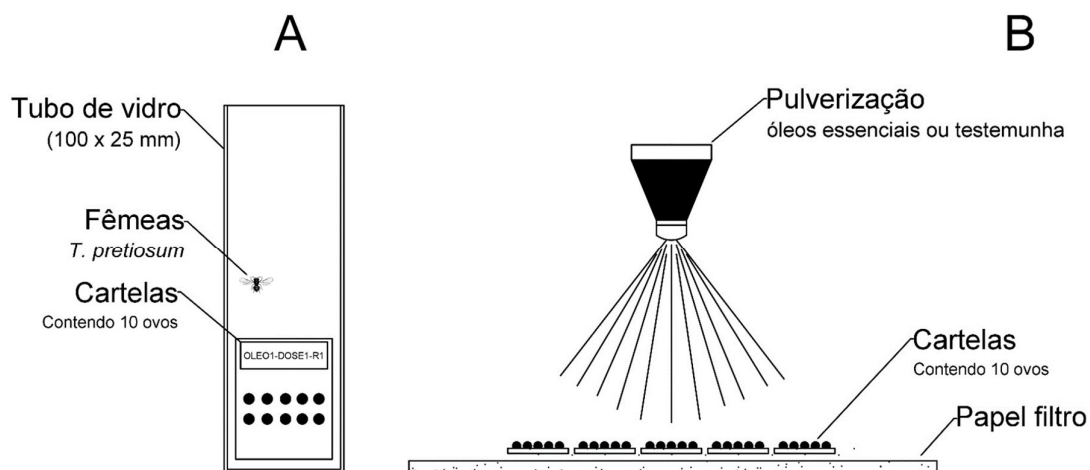
Após 48 horas, as fêmeas foram eliminadas com auxílio de um pincel de pêlos finos, e as cartelas avaliadas após cerca de 12 dias, registrando-se o número de ovos parasitados (com e sem orifício de emergência) e a emergência de adultos, calculando-se as possíveis reduções das taxas de parasitismo (RP), e corrigindo-as em relação a testemunha negativa (detergente neutro à 5,0%) (AHMAD et al., 2015; 2017).

As reduções nas taxas de parasitismo (RP) foram classificadas de acordo com as classes de toxicidade de produtos fitossanitários estabelecida pela ‘*International Organization for Biological and Integrated Control of Noxious Animals and Plants/West Palearctic Regional Section (IOBC/WPRS)*’: Classe 1, toxicidade menor que 30%= inócuo; Classe 2, toxicidade entre 30 e 79%= levemente nocivo; Classe 3, toxicidade entre 80 e 99%= moderadamente nocivo; e Classe 4, toxicidade maior que 99%= nocivo (HASSAN; ABDELGADER, 2001; PASINI et al., 2017).

4.2.8 Bioensaio de susceptibilidade de ovos parasitados

A seletividade sobre ovos de *T. pretiosum* foi avaliada utilizando ovos de *S. frugiperda*, coletados na criação e colados em cartelas de cartolina azul celeste (2,0 x 2,0 cm), utilizando solução de goma arábica à 20%. As cartelas contendo 10 ovos foram expostas ao parasitismo por 24 horas, em tubos de vidro (100 x 25 mm) contendo fêmeas acasaladas de *T. pretiosum* linhagem “Ubajara” (Figura 24A). Após o parasitismo, as cartelas foram retiradas e colocadas sobre papel filtro, e receberam a pulverização de $100 \pm 20 \mu\text{L}$ das soluções de óleos essenciais, ou testemunha, utilizando pulverizador manual (Figura 24B), e permaneceram em repouso por 30 minutos. As cartelas tratadas foram individualizadas em tubos de vidro (100 x 25 mm), fechados com filme plástico PVC[®] e, organizados em estantes na posição vertical (ASMA et al., 2018; RASHIDI et al., 2018).

Figura 24 - Bioensaio de susceptibilidade. Exposição das cartelas ao parasitismo por fêmeas de *T. pretiosum* linhagem “Ubajara” (A) e pulverização das cartelas com óleos essenciais, ou testemunha (B)



Fonte: elaborada pelo autor.

As cartelas foram avaliadas após cerca de 12 dias, registrando-se a porcentagem de adultos emergidos e a razão sexual (AHMAD et al., 2015; 2017; PARREIRA et al., 2018).

4.2.9 Análise estatística

Os valores médios de mortalidade corrigida (Mc) foram submetidos a análise de ‘Próbit’ (FINNEY, 2009), e por meio das curvas de dose-mortalidade foram geradas estimativas

das dosagens letais (DL_{50}) para mortalidade de 50% dos adultos de *T. pretiosum* linhagem “Ubajara”. Os dados quantitativos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), comparando-se as médias, em caso de diferença significativa, por meio do Teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$), com auxílio dos softwares estatísticos SISVAR[®] (FERREIRA, 2014) e SIGMAPLOT[®] (SIGMAPLOT, 2011).

4.3 Resultados

Houveram diferenças entre os três óleos essenciais quanto à mortalidade corrigida (Mc) ($p < 0,01$), redução do parasitismo (RP) ($p < 0,01$) e emergência de adultos (EM) ($p < 0,01$) de *T. pretiosum* linhagem “Ubajara” (Tabela 9). As dosagens também diferiram ($p < 0,01$) (Tabela 9), constatando-se relação direta entre a toxicidade residual aos adultos, redução do parasitismo ou toxicidade aos ovos parasitados por *T. pretiosum* e o aumento das dosagens dos óleos essenciais ($p < 0,01$) (Figuras 25 e 26).

Tabela 9 - Análise de variância (ANOVA) para mortalidade corrigida (MC), redução do parasitismo (RP) e emergência (EM) de adultos de *T. pretiosum* linhagem “Ubajara”, submetidos a soluções de óleos essenciais

Fonte de variação	GL	Quadrados médios		
		MC (%)	RP (%)	EM (%)
Óleos essenciais	2	1910,01**	1576,64**	4837,00**
Doses	4	1765,81**	2161,10**	3190,33**
Óleos x Doses	8	102,36 ^{ns}	593,90**	237,83 ^{ns}
Resíduo	60	177,36	118,13	321,33
C. V. (%)		34,67	17,71	31,23

**significativo ao nível de 1% de probabilidade.

^{ns} não significativo.

Os três óleos essenciais exibiram certo grau de seletividade aos adultos de *T. pretiosum* nas menores dosagens, constatando-se mortalidades (Mc) entre 17,2 (alecrim-pimenta) e 32,2% (capim-santo) (Tabela 10). O óleo essencial de citronela diferiu à 0,1% e ocasionou 26,8% de Mc após 24 horas de exposição, seguido do óleo essencial de alecrim-pimenta com 36,2% de Mc e, do óleo essencial de capim-santo com 47,2% (Tabela 10). O óleo de alecrim-pimenta, aparentemente, não alterou o comportamento dos parasitoides sobreviventes. Enquanto o óleo essencial de capim-santo destacou-se por provocar letargia, e

até paralisia em adultos de *T. pretiosum*, causando até 61,2% de mortalidade na maior dosagem (1,0%) (Tabela 10).

Tabela 10 - Mortalidade corrigida (Mc), em porcentagem (%), de adultos de *T. pretiosum* linhagem “Ubajara”, expostos por 24 horas a superfícies tratadas com soluções de óleos essenciais. Fortaleza - CE, Brasil

Óleos essenciais	Doses (%)				
	0,01	0,05	0,1	0,5	1,0
Alecrim-pimenta	17,20 aB	29,60 aAB	36,20 abAB	37,60 aAB	43,00 aA
Citronela	23,00 aB	26,60 aB	26,80 bB	38,00 aAB	55,40 aA
Capim-Santo	32,20 aB	46,60 aAB	47,20 aAB	55,60 aAB	61,20 aA
C. V. (%)	42,85	35,44	32,64	27,61	26,08
Valor F	1,613 ^{ns}	2,939 ^{ns}	3,279*	2,978 ^{ns}	2,437 ^{ns}
Valor-p	0,2078	0,0606	0,0445	0,0584	0,0961

As médias seguidas pela mesma letra, minúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

*significativo ao nível de 5% de probabilidade.

^{ns} não significativo.

As dosagens letais (DL₅₀) permitiram observar seletividade dos três óleos essenciais aos adultos de *T. pretiosum* (Tabela 11), destacando-se a menor toxicidade do óleo de alecrim-pimenta, que obteve DL₅₀ calculada de 0,43%, enquanto os óleos de citronela e capim-santo obtiveram 0,12 e 0,15%, respectivamente. No entanto, a sobreposição dos intervalos de confiança (IC_{95%}) não evidenciaram diferenças entre as dosagens letais (DL₅₀).

Tabela 11 - Dosagens letais (DL₅₀), em porcentagem (%), para ocasionar 50% de mortalidade em adultos de *T. pretiosum* linhagem “Ubajara”, após 24 horas de exposição. Fortaleza - CE, Brasil

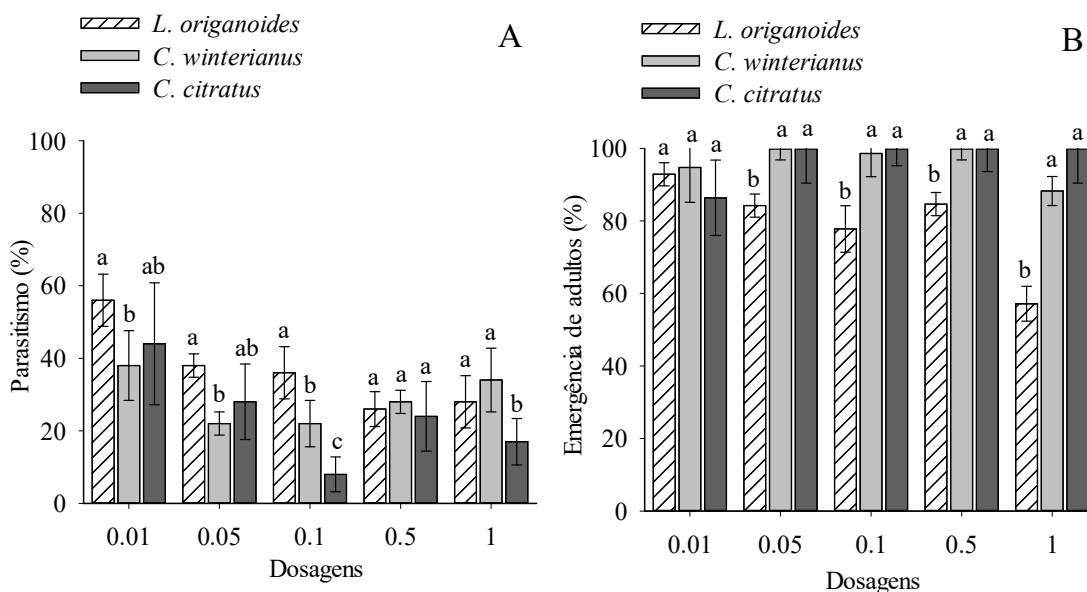
Óleos essenciais	DL ₅₀ ^a	IC _{95%} ^b
Alecrim-pimenta	0,4381	0,0716 - 1,7445
Citronela	0,1209	0,0111 - 1,3366
Capim-Santo	0,1519	0,0691 - 0,3441

^aDosagem letal;

^bIntervalos de confiança (IC 95%).

A pulverização dos ovos de *S. frugiperda* reduziu as taxas de parasitismo e a emergência de adultos de *T. pretiosum* linhagem “Ubajara”, destacando-se os ovos tratados com óleo essencial de alecrim-pimenta (0,01%), com 56% de parasitismo e emergência de 92,9% (Figura 25). A diferença entre os óleos essenciais se acentuou na dosagem à 0,1%, onde a pulverização dos ovos de *S. frugiperda* com óleo essencial de capim-santo resultou em apenas 8% de parasitismo, apesar de 100% de emergência de adultos (Figura 25). Enquanto o óleo essencial de citronela registrou 28,8% de parasitismo, com 98,6% de emergência; e o óleo de alecrim-pimenta 36% de parasitismo e 77,8% de emergência (Figura 25). A relação entre as dosagens (0,01 - 1,0%) e as taxas de parasitismos foi inversamente proporcional, como constata-se no decréscimo do parasitismo de 56% (0,01%) para 28% (1,0%), entre a menor e a maior dosagem do óleo essencial de alecrim-pimenta. Aplicações, principalmente com óleo essencial de alecrim-pimenta, alteraram a composição dos ovos, que ao serem parasitados, em alguns casos, inibiram ou dificultaram o desenvolvimento das larvas, reduzindo a emergência de adultos de *T. pretiosum* (Figura 25).

Figura 25 - Parasitismo (%) e emergência (%) de adultos de *T. pretiosum* linhagem “Ubajara”, em ovos previamente pulverizados com óleos essenciais. Fortaleza-CE, Brasil



Fonte: elaborada pelo autor.

Apenas a dosagem à 0,01% do óleo de alecrim-pimenta foi considerada seletiva às fêmeas de *T. pretiosum* linhagem “Ubajara”, reduzindo o parasitismo em 22% (Classe 1 - Inócuo), quando comparada a testemunha (Tabela 12). O óleo essencial de capim-santo (0,1%)

inibiu o parasitismo em 70% dos ovos pulverizados (Classe 2 - Levemente nocivo), equiparando-se ao óleo essencial de citronela, que reduziu o parasitismo em 53% em média (Classe 2 - Levemente nocivo) (Tabela 12).

Tabela 12 - Reduções na taxa de parasitismo (RP), em porcentagem (%), inferidas por três óleos essenciais sobre adultos de *T. pretiosum* linhagem “Ubajara”. Fortaleza-CE, Brasil

Óleos essenciais	Doses (%)				
	0,01	0,05	0,1	0,5	1,0
Alecrim-pimenta	22,0 cD	40,0 bC	42,0 cBC	51,2 aAB	53,2 aA
Citronela	46,0 aA	53,0 aA	56,0 bA	56,0 aA	57,4 aA
Capim-Santo	34,0 bC	50,0 aB	70,0 aA	54,0 aB	50,0 aB
C. V. (%)	40,00	12,82	18,57	15,87	14,65
Valor F	19,806**	6,373**	26,958**	0,277 ^{ns}	0,946 ^{ns}
Valor-p	0,0000	0,0023	0,0000	0,7585	0,3907

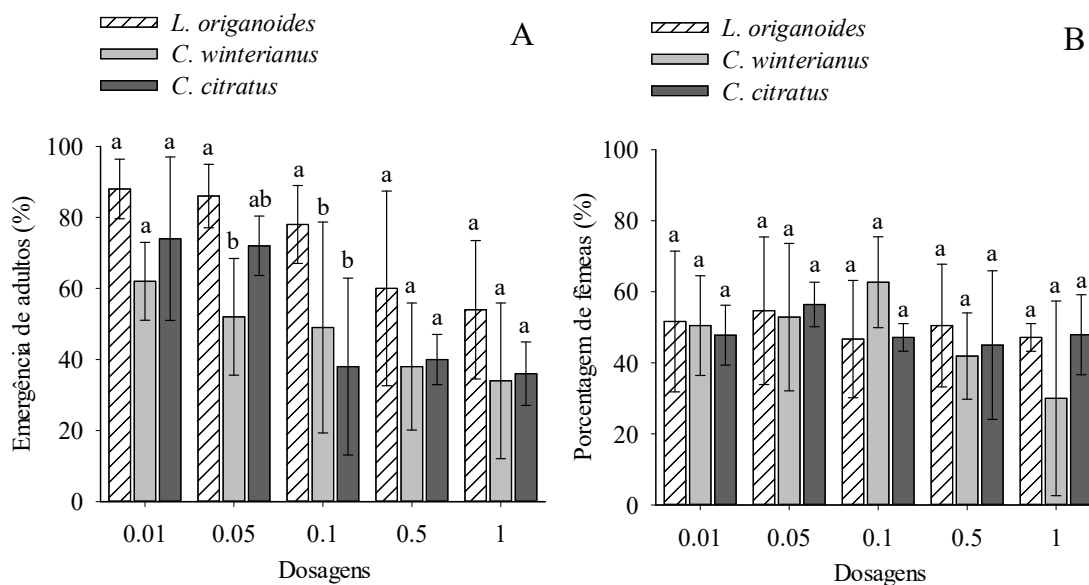
As médias seguidas pela mesma letra, minúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

**significativo ao nível de 1% de probabilidade.

^{ns} não significativo.

Quando as pulverizações aconteceram após o parasitismo dos ovos de *S. frugiperda*, os três óleos essenciais também expressaram certo grau de seletividade à *T. pretiosum*. Constatando-se relação inversa entre as dosagens e a emergência de adultos, como o óleo essencial de alecrim-pimenta à 0,01% que permitiu 88% de emergência com 51,4% de fêmeas, equiparando-se aos resultados obtidos com óleo essencial de citronela (62% de emergência e 50,5% de fêmeas) e capim-santo (74% e 47,8%) (Figura 26).

Figura 26 - Emergência (%) e razão sexual de adultos de *T. pretiosum* linhagem “Ubajara”, após pulverização dos ovos parasitados com óleos essenciais. Fortaleza-CE, Brasil



Fonte: elaborada pelo autor.

Os três óleos essenciais não interferiram na razão sexual do parasitoide quando os ovos foram pulverizados, indicando que as possíveis alterações, quando houveram, não incidiram sobre a razão sexual dos adultos de *T. pretiosum*.

4.4 Discussão

Os óleos essenciais de alecrim-pimenta (*L. origanoides*), de citronela (*C. winterianus*) e de capim-santo (*C. citratus*) apresentaram certo grau de seletividade sobre o parasitismo em ovos de *S. frugiperda* e adultos de *T. pretiosum* linhagem “Ubajara”, corroborando com a literatura, e fornecendo dados sobre a interação entre os dois métodos de controle de lepidópteros-praga (VIANNA et al., 2009; PARREIRA et al., 2019). As principais diferenças entre os três óleos essenciais, devem-se, principalmente, aos mecanismos de ação dos compostos majoritários, que induziram baixa toxicidade nas menores dosagens, alterando a seleção hospedeira e a emergência de *T. pretiosum*, após pulverização dos ovos de *S. frugiperda* (EL-WAKEIL, 2013; PINTO-ZEVALLOS et al., 2013; CAMPOS et al., 2018).

A seletividade dos óleos essenciais, pode ser atribuída à fatores como o desenvolvimento de rotas metabólicas desintoxicantes e a excreção de compostos tóxicos pelos parasitoides (KOUL; DHALIWAL, 2004); além do baixo poder residual dos óleos essenciais,

devido a rápida degradação de compostos com potencial inseticida (PINTO-ZEVALLOS et al., 2013; SAXENA et al., 2018). O baixo poder residual pode reduzir o tempo de ação dos óleos essenciais em campo, no entanto, a alta atividade inseticida de alguns compostos, pode ocasionar mortalidade significativa poucas horas após a aplicação e, permitir a integração temporal, por meio de liberações de *T. pretiosum* antes ou após as pulverizações (ISMAN et al., 2011; MIRESMAILLI; ISMAN, 2014; MONSREAL-CEBALLOS et al., 2017).

O óleo essencial de alecrim-pimenta apresentou maior seletividade à *T. pretiosum*, com menor toxicidade aos adultos e menor redução do parasitismo, o que se deve principalmente ao mecanismos de ação do timol (2-isopropil-5-metil-fenol) e do carvacrol (2-metil-5-(1-metiletil)-fenol) (EL-WAKEIL, 2013). Os dois monoterpenos voláteis, que agem na modulação dos receptores de ácido γ -aminobutírico (GABA), presentes no sistema nervoso periférico dos insetos, e na competição pelos receptores nicotínicos de acetilcolina (nAChR), respectivamente (EL-WAKEIL, 2013; CAMPOS et al., 2018). No entanto, devido a volatilização, os dois compostos apresentam baixo poder residual, agindo com menor intensidade 24 horas após a pulverização, e com isso, mostrando-se seletivo aos adultos do parasitoide (CAMPOS et al., 2018; SAXENA et al., 2018).

As reduções do parasitismo atribuídas aos óleos essenciais de citronela e capim-santo, devem-se principalmente aos compostos majoritários, citral (3,7-dimethyl-2,6-octadienal), citronelal (3,7-dimetiloct-6-en-1-al) e geraniol [(E)3,7-dimetil-octa-2,6-dieno-1-ol), respectivamente (KNAAK et al., 2013; SILVA et al., 2014). Os compostos são voláteis com ação repelente que, possivelmente, foram detectados pelos receptores das antenas ou tarsos das fêmeas de *T. pretiosum* linhagem “Ubajara”, gerando não-preferência para oviposição. Os compostos já tiveram sua repelência constatada sobre hemípteros como *Brevicoryne brassicae* L. (Hemiptera: Aphididae) (RICCI et al., 2002) e *Bemisia tabaci* (Genn.) (Hemiptera: Aleyrodidae) (DELETRE et al., 2015); coleópteros, como *Tribolium castaneum* (Herbst.) (Coleoptera: Tenebrionidae) (OLIVERO-VERBEL et al., 2010) e *Sitophilus zeamais* Motsch (Coleoptera: Curculionidae) (PEIXOTO et al., 2015); além dos dípteros, *Anopheles gambiae* Giles (Diptera: Culicidae) (NERIO et al., 2010) e *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae) (CHAUHAN et al., 2018).

As reduções na taxa de emergência dos adultos de *T. pretiosum*, após a pulverização dos ovos parasitados (contendo ovos do parasitoide) com soluções de óleos essenciais, devem-se possivelmente a capacidade que alguns compostos possuem de se difundir através do córion do hospedeiro e interromper o desenvolvimento embrionário do parasitoide (PARREIRA et al., 2018, 2019). O carvacrol presente no óleo essencial de alecrim-pimenta pode ter se difundido

pelo córion e agido no sistema nervoso, ocasionando a inibição da acetilcolinesterase, como constatado quando foram utilizados os óleos essenciais de *O. vulgare* e *T. vulgaris* sobre estágios imaturos de *Trissolcus basalus* Wollaston (Hymenoptera: Scelionidae) (EL-WAKEIL, 2013; GONZÁLEZ et al. 2013).

A ausência de diferenças entre as razões sexuais, evidenciou que as pulverizações (contato) dos três óleos essenciais, não alteraram as composições dos ovos de *S. frugiperda* como fonte de alimento (PARREIRA et al., 2019). Uma vez que mudanças na razão sexual, geralmente, está associada à redução da qualidade dos recursos nutricionais do hospedeiro (VIANNA et al., 2009; CORREIA et al., 2013).

A seletividade pode ainda, ser classificada em ecológica e fisiológica, constatando-se que os resultados obtidos com os três óleos essenciais se adequam às duas definições. A seletividade ecológica considera o uso seletivo, ou seja, minimizar a exposição dos parasitoides aos óleos essenciais, adequando e intercalando pulverizações de óleos essenciais e liberações de adultos de *T. pretiosum*. Enquanto a seletividade fisiológica prevê o emprego de inseticidas com baixa toxicidade, ou àqueles mais tóxicos ao lepidóptero-praga que aos inimigos naturais, como constatou-se nos três óleos essenciais, que apresentaram baixa toxicidade ao parasitoide, com dosagens letais superiores às calculadas para lagartas de *S. frugiperda* (GONZÁLEZ et al. 2013; PARREIRA et al., 2017, 2018, 2019). Os resultados contribuem com a integração dos dois métodos, no entanto requerem validação a nível de campo, podendo elevar a eficiência à medida que ovos não pulverizados possam ser parasitados pelas fêmeas de *T. pretiosum* (ERCAN et al., 2013; MIRESMAILLI; ISMAN, 2014).

4.5 Conclusões

Os três óleos essenciais [alecrim-pimenta (*L. organoides*), citronela (*C. winterianus*) e capim-santo (*C. citratus*)] apresentaram certa seletividade sobre adultos de *T. pretiosum*.

O óleo essencial de alecrim-pimenta destacou-se como mais seletivo, considerado inócuo, ou levemente nocivo, em dosagens inferiores a 0,01%. Os óleos essenciais de citronela e capim-santo apresentaram menor seletividade que o de alecrim-pimenta, no entanto foram classificados como levemente nocivos.

REFERÊNCIAS

- ABBOTT, W. S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. **Journal of Economic Entomology**, v. 18, p. 265-266, 1925. DOI: <https://dx.doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>
- AHMAD, S.; ANSARI, M. S.; MUSLIM, M. Toxic effects of Neem based insecticides on the fitness of *Helicoverpa armigera* (Hübner). **Crop Protection**, v. 68, p.72-78. 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2014.11.003>
- AHMAD, S.; ANSARI, M. S.; KHAN, N.; HASAN, F. Toxic effects of insecticides on the life table and development of *Earias vittella* (Lepidoptera: Noctuidae) on okra. **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 37, n. 1, p. 30-40. 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.1017/S1742758416000230>
- ASMA, C.; ONS, I.; SABRINE, B. A.; KAOUTHAR, L. G. Life-stage-dependent side effects of selected insecticides on *Trichogramma cacoeciae* (Marchal) (Hymenoptera: Trichogrammatidae) under laboratory conditions. **Phytoparasitica**, v. 46, n. 1, p. 105-113, 2018. <https://doi.org/10.1007/s12600-018-0638-x>
- BASKAR, K.; ANANTHI, J.; IGNACIMUTHU, S. Toxic effects of *Solanum xanthocarpum* Sch & Wendle against *Helicoverpa armigera* (Hub.), *Culex quinquefasciatus* (Say.) and *Eisenia fetida* (Savigny, 1826). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 3, p. 2774-2782, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-017-0655-1>
- CAMPOS, E. V.; PROENÇA, P. L.; OLIVEIRA, J. L.; BAKSHI, M.; ABHILASH, P. C.; FRACETO, L. F. Use of botanical insecticides for sustainable agriculture: Future perspectives. **Ecological Indicators**, p. 1-13. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.038>
- CARVALHO, G. S.; SILVA, L. B.; REIS, S. S.; VERAS, M. S.; CARNEIRO, E.; ALMEIDA, M. L. S.; DA SILVA, A. F.; LOPES, G. N. Biological parameters and thermal requirements of *Trichogramma pretiosum* reared on *Helicoverpa armigera* eggs. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 11, p. 961-968, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2017001100001>
- CHAUHAN, N.; MALIK, A.; SHARMA, S. Repellency potential of essential oils against housefly, *Musca domestica* L. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 5, p. 4707-4714, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0363-x>
- CÔNSOLI, F. L.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A. (Eds.). **Egg Parasitoids in Agroecosystems with Emphasis on *Trichogramma***. Dordrecht: Springer Science & Business Media, 2010. 481p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9110-0>
- CORREIA, A. A.; WANDERLEY-TEIXEIRA, V.; TEIXEIRA, A. A. C.; OLIVEIRA, J. V.; GONÇALVES, G. G.; CAVALCANTI, M. G.; BRAYNER, F. A.; ALVES, L. C. Microscopic analysis of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) embryonic development before and after treatment with azadirachtin, lufenuron, and deltamethrin. **Journal of Economic Entomology**, v. 106, n. 2, p. 747-755, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1603/EC12158>

- DELETRE, E.; MALLENT, M.; MENUT, C.; CHANDRE, F.; MARTIN, T. Behavioral response of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) to 20 plant extracts. **Journal of Economic Entomology**, v. 108, n. 4, p. 1890-1901. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/tov118>
- ERCAN, F.; BAŞ, H.; KOÇ, M.; PANDIR, D.; ÖZTEMİZ, S. Insecticidal activity of essential oil of *Prangos ferulacea* (Umbelliferae) against *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae) and *Trichogramma embryophagum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v.37, n. 6, p.719-725. 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.3906/tar-1211-15>
- EL-WAKEIL, N. E. Botanical pesticides and their mode of action. **Gesunde Pflanzen**, v. 65, n. 4, p. 125-149, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s10343-013-0308-3>
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>
- FIGUEIREDO, M. L. C.; CRUZ, I.; SILVA, R. B.; FOSTER, J. E. Biological control with *Trichogramma pretiosum* increases organic maize productivity by 19.4%. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, n. 3, p.1175-1183. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0312-3>
- FINNEY, D. J. **‘Probit analysis’**. 4. ed. London: Cambridge University Press, 2009. 272 p.
- GAHUKAR, R. T. Management of pests and diseases of important tropical/subtropical medicinal and aromatic plants: A review. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, v. 9, p. 1-18. 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jarmap.2018.03.002>
- GAHUKAR, R. T. Use of plant-derived products to control household and structural arthropod pests. **International Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 6, n. 2, p. 22-28. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.14419/ijbas.v6i2.7483>
- GAO, Q.; SONG, L.; SUN, J.; CAO, H. Q.; WANG, L.; LIN, H.; TANG, F. Repellent action and contact toxicity mechanisms of the essential oil extracted from Chinese chive against *Plutella xylostella* larvae. **Archives of insect biochemistry and physiology**, v.100, n.1, p. e21509. 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.1002/arch.21509>
- GONZÁLEZ, J. O. W.; LAUMANN, R. A.; SILVEIRA, S.; MORAES, M. C. B.; BORGES, M.; FERRERO, A. A. Lethal and sublethal effects of four essential oils on the egg parasitoids *Trissolcus basalis*. **Chemosphere**, v. 92, n. 5, p.608-615. 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.03.066>
- GREENE, G. L.; LEPPLA, N. C.; DICKERSON, W. A. Velvetbean caterpillar: a rearing procedure and artificial medium. **Journal of Economic Entomology**, v. 69, n. 4, p.487-488, 1976. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/jee/69.4.487>
- HEATHER, N.; HASSAN, E. Efficacy of *Leptospermum petersonii* oil, on *Plutella xylostella*, and its parasitoid, *Trichogramma pretiosum*. **Journal of economic entomology**, v. 105, n. 4,

p. 1379-1384, 2012. DOI: <https://dx.doi.org/10.1603/EC11382>

HASSAN, S. A.; ABDELGADER, H. A. Sequential testing program to assess the side effects of pesticides on *Trichogramma cacoeciae* Marchal (Hym., Trichogrammatidae). **IOBC/WPRS Bulletin**, v.24, n. 4, p.71-81, 2001.

ISMAN, M. B.; GRIENEISEN, M. L. Botanical insecticide research: many publications, limited useful data. **Trends in plant science**, v. 19, n. 3, p. 140-145, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.11.005>

ISMAN, M. B.; MIRESMALLI, S.; MACHIAL, C. Commercial opportunities for pesticides based on plant essential oils in agriculture, industry and consumer products. **Phytochemistry Reviews**, v. 10, n. 2, p. 197-204, 2011. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s11101-010-9170-4>

KNAAK, N.; WIEST, S. L.; ANDREIS, T. F.; FIUZA, L. M. Toxicity of essential oils to the larvae of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Biopesticides**, v. 6, n. 1. 2013.

KOKETSU, M.; GONÇALVES, S. L. **Óleos essenciais e sua extração por arraste de vapor**. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa, CTAA, 1991. 24 p. (Documentos, 8).

KOUL, O.; DHALIWAL, G. S. **Predators and parasitoids**. New York, NY: Taylor & Francis e-Library, 2004. 20p

LAURENTIS, V. L.; RAMALHO, D. G.; SANTOS, N. A.; CARVALHO, V. F. P.; VACARI, A. M.; BORTOLI, S. A.; VENEZIANI, R. C. S.; INÁCIO, G. C.; DAMI, B. G. Performance of *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) on eggs of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1156, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37797-9>

MAGALHÃES, G. O.; GOULART, R. M.; VACARI, A. M.; BORTOLI, S. A. Parasitismo de *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) em diferentes hospedeiros e cores de cartelas. **Arquivos do Instituto Biológico**, v.79, n.1, p.55-60. 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1808-16572012000100008>

MASSAROLI, A.; BUTNARIU, A. R.; DOETZER, A. K. Occurrence of *Trichogramma* Parasitoids in Eggs of Soybean Lepidopteran Pests in Mato Grosso, Brazil. **International Journal of Biology**, v. 6, n. 2, p. 97, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.5539/ijb.v6n2p97>

MIRESMALLI, S.; ISMAN, M. B. Botanical insecticides inspired by plant-herbivore chemical interactions. **Trends in Plant Science**, v. 19, p.29-35. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.10.002>

MONSREAL-CEBALLOS, R. J.; RUÍZ-SÁNCHEZ, E.; SÁNCHEZ BORJA, M.; BALLINA-GÓMEZ, H. S.; GONZÁLEZ-MORENO, A.; REYES-RAMÍREZ, A. Efectos de insecticidas botánicos comerciales en *Tamarixia radiata*, un ectoparasitoide de *Diaphorina citri*. **Ecosistemas y Recursos Agropecuarios**, v. 4, n. 12, p. 589-596, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.19136/era.a4n12.1223>

NERIO, L. S.; OLIVERO-VERBEL, J.; STASHENKO, E. Repellent activity of essential oils:

a review. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 1, p. 372-378, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.07.048>

OLIVEIRA, R.C.M.; PASTORI, P.L.; COUTINHO, C.R.; JUVENAL, S.O.; AGUIAR, C.V. S. Natural parasitism of *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in *Neoleucinodes elegantalis* (Lepidoptera: Crambidae) eggs on tomato (Solanales: Solanaceae) in the Northeast region, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, v.80, *in press*. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.206676>

OLIVERO-VERBEL, J.; NERIO, L. S.; STASHENKO, E. E. Bioactivity against *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) of *Cymbopogon citratus* and *Eucalyptus citriodora* essential oils grown in Colombia. **Pest Management Science**, v. 66, n. 6, p.664-668. 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/ps.1927>

PASINI, R. A.; GRÜTZMACHER, A. D.; SPAGNOL, D.; DE ARMAS, F. D. S.; NORMBERG, A. V.; CARVALHO, H. J. S. Ação residual de agrotóxicos pulverizados em plantas de milho sobre *Trichogramma pretiosum*. **Ceres**, v. 64, n. 3, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201764030004>

PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A. **Trichogramma e o controle biológico aplicado**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 324p.

PARREIRA, D. S.; LA CRUZ, R. A.; ZANUNCIO, J. C.; LEMES, P. G.; ROLIM, G. S.; BARBOSA, L. R.; SERRÃO, J. E. Essential oils cause detrimental effects on biological parameters of *Trichogramma galloi* immatures. **Journal of pest science**, v. 91, n. 2, p. 887-895, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10340-017-0945-x>

PARREIRA, D. S.; LA CRUZ, R. A.; LEITE, G. L. D.; RAMALHO, F. S.; ZANUNCIO, J. C.; SERRÃO, J. E. Quantifying the harmful potential of ten essential oils on immature *Trichogramma pretiosum* stages. **Chemosphere**, v. 199, p. 670–675. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.02.083>

PARREIRA, D. S.; LA CRUZ, R. A.; DIMATÉ, F. A. R.; BATISTA, L. D.; RIBEIRO, R. C.; FERREIRA, G. A. R.; ZANUNCIO, J. C. Bioactivity of ten essential oils on the biological parameters of *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) adults. **Industrial Crops and Products**, v. 127, p. 11-15, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.10.063>

PEIXOTO, M. G.; BACCI, L.; BLANK, A. F.; ARAÚJO, A. P. A.; ALVES, P. B.; SILVA, J. H. S.; SANTOS, A. A.; OLIVEIRA, A. P.; COSTA, A. S.; ARRIGONI-BLANK, M. Toxicity and repellency of essential oils of *Lippia alba* chemotypes and their major monoterpenes against stored grain insects. **Industrial Crops and Products**, v. 71, p. 31-36, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.084>

PINTO-ZEVALLOS, D. M.; MARTINS, C. B.; PELLEGRINO, A. C.; ZARBIN, P. H. Compostos orgânicos voláteis na defesa induzida das plantas contra insetos herbívoros. **Química Nova**, v. 36, n. 9, p. 1395-1405, 2013.

PRIMAVESI, A. **Manejo Ecológico de Pragas e Doenças**. São Paulo: Expressão Popular, 2017. 144p.

QUERINO, R. B.; SILVA, N. N. P.; ZUCCHI, R. A. Natural parasitism by *Trichogramma* spp. in agroecosystems of the Mid-North, Brazil. **Ciência Rural**, v. 46, n. 9, p.1521-1523. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20151352>

QUERINO, R. B.; MENDES, J. V.; COSTA, V. A.; ZUCCHI, R. A. New species, notes and new records of *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in Brazil. **Zootaxa**, v. 4232, n.1, p.137-143. 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.4232.1.11>

RASHIDI, F.; NOURI-GANBALANI, G.; IMANI, S. Sublethal Effects of Some Insecticides on Functional Response of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) When Reared on Two Lepidopteran Hosts. **Journal of Economic Entomology**, v. 111, n. 3, p. 1104-1111, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/toy069>

REGNAULT-ROGER, C.; VINCENT, C.; ARNASON, J. T. Essential oil in insect control: Low risk products in a high-state world. **Anual Review Entomology**, v. 57, p. 405-424, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120710-100554>

RICCI, E. M.; PADÍN, S. B.; KAHAN, A.; RÉ, S. Efecto repelente de los aceites esenciales de laurel y lemongrass sobre *Brevicoryne brassicae* L. (Homoptera: Aphididae) en repollo. **Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas**, v. 28, n. 2, p. 207-212, 2002

SAXENA, S.; AGARWAL, D.; JOHN, S.; DUBEY, P.; LAL, G. Analysis of fennel (*Foeniculum vulgare*) essential oil extracted from green leaves, seeds and dry straw. **International Journal Seed Spices**, v. 8, n. 1, p. 60-64, 2018.

SIGMAPLOT. **Statistical Package for the Social Sciences - SigmaPlot for Windows**. v.12. Chicago, IL, USA. 2018.

SILVA, F. M.; BERTINI, L. M.; ALVES, L. A.; MOURA, L. F.; BARBOSA, P. T.; FERNANDES, A. B. D. Análise da composição química do óleo essencial de capim santo (*Cymbopogon citratus*) obtido através de extrator por arraste com vapor d' água construído com materiais de fácil aquisição e baixo custo. **Holos**, v. 30, n. 4, p.144-152. 2014. <https://doi.org/10.15628/holos.2014.1762>

VIANNA, U. R.; PRATISSOLI, D.; ZANUNCIO, J. C.; LIMA, E. R.; BRUNNER, J.; PEREIRA, F. F.; SERRÃO, J. E. Insecticide toxicity to *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) females and effect on descendant generation. **Ecotoxicology**, v. 18, n. 2, p. 180-186, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-008-0270-5>

VITE-VALLEJO, O.; BARAJAS-FERNÁNDEZ, M. G.; SAAVEDRA-AGUILAR, M.; CARDOSO-TAKETA, A. Insecticidal effects of ethanolic extracts of *Chenopodium ambrosioides*, *Piper nigrum*, *Thymus vulgaris*, and *Origanum vulgare* against *Bemisia tabaci*. **Southwestern Entomologist**, v. 43, n. 2, p. 383-394, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3958/059.043.0209>

5 CONCLUSÕES FINAIS

Os óleos essenciais [alecrim-pimenta (*L. origanoides*), citronela (*C. winterianus*) e capim-santo (*C. citratus*)] apresentaram atividade inseticida sobre ovos, larvas e pupas de *S. frugiperda*, destacando-se a rápida ação e as altas taxas de mortalidade ocasionadas pelo óleo essencial de alecrim-pimenta.

Os óleos essenciais de capim-santo e citronela necessitaram de maiores períodos para atuar e ocasionar mortalidade significativa sobre ovos, larvas e pupas de *S. frugiperda*.

O óleo de citronela provocou alterações comportamentais nas lagartas de *S. frugiperda*, que refletiram em fuga e agressividade.

Os três óleos essenciais [alecrim-pimenta (*L. origanoides*), citronela (*C. winterianus*) e capim-santo (*C. citratus*)] apresentaram atividade repelente, antifedante e antibiose sobre lagartas de 3º instar de *S. frugiperda*, destacando-se

O óleo de capim-santo apresentou maior repelência percentual e, o de alecrim-pimenta maior potencial antifedante, mortalidade por contato e por antibiose. Enquanto o óleo essencial de citronela necessitou de maiores dosagens para expressar repelência, antifedância e antibiose.

Os três óleos essenciais [alecrim-pimenta (*L. origanoides*), citronela (*C. winterianus*) e capim-santo (*C. citratus*)] apresentaram certa seletividade sobre adultos de *T. pretiosum*.

O óleo essencial de alecrim-pimenta destacou-se como mais seletivo, considerado inócuo, ou levemente nocivo, em dosagens inferiores a 0,01%. Os óleos essenciais de citronela e capim-santo apresentaram menor seletividade que o de alecrim-pimenta, no entanto foram classificados como levemente nocivos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A integração entre controle biológico e o controle alternativo, por meio de liberações inoculativas, ou inundativas, de inimigos naturais e pulverizações sistemáticas de óleos essenciais com atividade inseticida, repelente ou fago-inibidora, pode potencializar os resultados satisfatórios dos dois métodos, reduzir os custos e elevar a produtividade das culturas, reduzindo a necessidade de uso inseticidas sintéticos e os riscos inerentes. Sendo essa uma alternativa para pequenos e médios agricultores familiares do semiárido, que poderão extrair ou produzir óleos e extratos vegetais a partir das plantas aromáticas avaliadas, e conseqüentemente reduzir os riscos inerentes ao uso indiscriminado de produtos sintéticos, melhorando os aspectos sociais, produtivos e ambientais inerentes a produção vegetal, além de fornecer alimentos saudáveis ao mercado consumidor.

No entanto, a integração deve-se amparar na compatibilidade/seletividade, seja ecológica ou fisiológica, dos óleos essenciais aos inimigos naturais. Uma vez que alguns compostos, apesar de serem substâncias naturais, não necessariamente são seguros ou inócuos ao homem, como por exemplo, a nicotina e a rotenona, tóxicos à peixes e mamíferos (incluindo o homem), além de insetos benéficos, como polinizadores e inimigos naturais.

REFERÊNCIAS

ABBASZADEH, G.; SRIVASTAVA, C.; WALIA, S. Insecticidal and antifeedant activities of clerodane diterpenoids isolated from the Indian bhant tree, *Clerodendron infortunatum*, against the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*. **Journal of Insect Science**, v. 14, n. 1, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/jis/14.1.29>

ABBOTT, W. S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. **Journal of Economic Entomology**, v. 18, p. 265-266, 1925. DOI: <https://dx.doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>

AHMAD, S.; ANSARI, M. S.; MUSLIM, M. Toxic effects of Neem based insecticides on the fitness of *Helicoverpa armigera* (Hübner). **Crop Protection**, v. 68, p.72-78. 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2014.11.003>

AHMAD, S.; ANSARI, M. S.; KHAN, N.; HASAN, F. Toxic effects of insecticides on the life table and development of *Earias vittella* (Lepidoptera: Noctuidae) on okra. **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 37, n. 1, p. 30-40. 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.1017/S1742758416000230>

ALVES, S. D.; CARVALHO, G. A.; OLIVEIRA, D. F.; CORRÊA, A. D. Screening of Brazilian plant extracts as candidates for the control of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Revista Colombiana de Entomología**, v. 44, n. 1, p. 32-38, 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.25100/socolen.v44i1.6539>

ALMEIDA, W. A.; SILVA, I. H. L.; SANTOS, A. C. V.; BARROS JÚNIOR, A. P.; SOUSA, A. H. Potentiation of copaíba oil-resin with synthetic insecticides to control of fall armyworm. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 4, p. 1059-1066. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252017v30n427rc>

AMRI, I.; HAMROUNI, L.; HANANA, M.; JAMOSSI, B.; LEBDI, K. Essential oils as biological alternatives to protect date palm (*Phoenix dactylifera* L.) against *Ectomyelois ceratoniae* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae). **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 74, p.273-279. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392014000300004>

ANSANTE, T. F.; RIBEIRO, L. P.; BICALHO, K. U.; FERNANDES, J. B.; SILVA, M. F. G. F.; VIEIRA, P. C.; VENDRAMIM, J. D. Secondary metabolites from Neotropical Annonaceae: Screening, bioguided fractionation, and toxicity to *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Industrial Crops and Products**, v. 74, p. 969-976, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.05.058>

ASMA, C.; ONS, I.; SABRINE, B. A.; KAOUTHAR, L. G. Life-stage-dependent side effects of selected insecticides on *Trichogramma cacoeciae* (Marchal) (Hymenoptera: Trichogrammatidae) under laboratory conditions. **Phytoparasitica**, v. 46, n. 1, p. 105-113, 2018. <https://doi.org/10.1007/s12600-018-0638-x>

AYIL-GUTIÉRREZ, B. A.; SÁNCHEZ-TEYER, L. F.; VAZQUEZ-FLOTA, F.; MONFORTE-GONZÁLEZ, M.; TAMAYO-ORDÓÑEZ, Y.; TAMAYO-ORDÓÑEZ, M. C.; RIVERA, G. Biological effects of natural products against *Spodoptera* spp. **Crop Protection**, v. 114, p. 195-207, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.08.032>

BAKER, B. P.; GRANT, J. A.; MALAKAR-KUENEN, R. **Citronella & Citronella Oil Profile**. New York: NYS Integrated Pest Management Program Publications, 2018. 15p.

BALBUENA, M. S.; MOLINAS, J.; FARINA, W. M. Honeybee recruitment to scented food sources: correlations between in-hive social interactions and foraging decisions. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 66, n. 3, p. 445-452, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00265-011-1290-3>

BARBOSA, M. S.; DIAS, B. B.; GUERRA, M. S.; VIEIRA, G. H. C. Applying plant oils to control fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in corn. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 4, p. 557-562, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.21475/ajcs.18.12.04.pne822>

BASKAR, K.; ANANTHI, J.; IGNACIMUTHU, S. Toxic effects of *Solanum xanthocarpum* Sch & Wendle against *Helicoverpa armigera* (Hub.), *Culex quinquefasciatus* (Say.) and *Eisenia fetida* (Savigny, 1826). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 3, p. 2774-2782, 2017a. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-017-0655-1>

BASKAR, K.; DURAI PANDIYAN, V.; IGNACIMUTHU, S. Bioefficacy of the triterpenoid friedelin against *Helicoverpa armigera* (Hub.) and *Spodoptera litura* (Fab.) (Lepidoptera: Noctuidae). **Pest Management Science**, v. 70, n. 12, p. 1877-1883, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/ps.3742>

BASKAR, K.; KINGSLEY, S.; VENDAN, S. E.; PAULRAJ, M. G.; DURAI PANDIYAN, V.; IGNACIMUTHU, S. Antifeedant, larvicidal and pupicidal activities of *Atalantia monophylla* (L) Correa against *Helicoverpa armigera* Hubner (Lepidoptera: Noctuidae). **Chemosphere**, v. 75, n. 3, p. 355-359, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.12.034>

BASKAR, K.; MAHESWARAN, R.; PAVUNRAJ, M.; PACKIAM, S. M.; IGNACIMUTHU, S.; DURAI PANDIYAN, V.; BENELLI, G. Toxicity and antifeedant activity of *Caesalpinia bonduc* (L.) Roxb. (Caesalpiniaceae) extracts and fractions against the cotton bollworm *Helicoverpa armigera* Hub. (Lepidoptera: Noctuidae). **Physiological and Molecular Plant Pathology**, p.1-6. 2017b. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pmpp.2017.01.006>

BENELLI, G.; CANALE, A.; TONIOLO, C.; HIGUCHI, A.; MURUGAN, K.; PAVELA, R.; NICOLETTI, M. Neem (*Azadirachta indica*): towards the ideal insecticide?. **Natural Product Research**, v. 31, n. 4, p. 369-386, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/14786419.2016.1214834>

BESTETE, L. R.; PRATISSOLI, D.; QUEIROZ, V. T. D.; CELESTINO, F. N.; MACHADO, L. C. Toxicity of Castor bean oil on *Helicoverpa zea* and *Trichogramma pretiosum*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 8, p.791-797. 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011000800002>

BOHNER, T. O. L.; ARAÚJO, L. E. B.; NISHIJIMA, T. O impacto ambiental do uso de agrotóxicos no meio ambiente e na saúde dos trabalhadores rurais. **Revista Eletrônica do Curso de Direito da UFSM**, v. 8, p. 329-341, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/198136948280>

BOIÇA JÚNIOR, A. L.; CAMPOS, Z. R.; CAMPOS, A. R.; VALÉRIO FILHO, W. V.;

CAMPOS, O. R. *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in cotton: vertical distribution of egg masses, effects of adult density and plant age on oviposition behavior. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 80, n. 4, p. 424-429. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1808-16572013000400008>

BORGES, A. R.; ALBUQUERQUE AIRES, J. R.; HIGINO, T. M. M.; MEDEIROS, M. D. G. F.; CITÓ, A. M. G. L.; LOPES, J. A.; FIGUEIREDO, R. C. B. Q. Trypanocidal and cytotoxic activities of essential oils from medicinal plants of Northeast of Brazil. **Experimental Parasitology**, v. 132, n. 2, p.123-128. 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.exppara.2012.06.003>

BORTOLI, S. A.; VACARI, A. M.; GOULART, R. M.; SANTOS, R. F.; VOLPE, H. X.; FERRAUDO, A. S. Capacidade reprodutiva e preferência da traça-das-crucíferas para diferentes brassicáceas. **Horticultura Brasileira**, v.29, n. 2, p.187-192. 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362011000200009>

BRÉVAULT, T.; NDIAYE, A.; BADIANE, D.; BAL, A. B.; SEMBÈNE, M.; SILVIE, P.; HARAN, J. First records of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), in Senegal. **Entomologia Generalis**, v. 37, n. 2, p.127-142. 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.1127/entomologia/2018/0553>

CAMPOS, E. V.; PROENÇA, P. L.; OLIVEIRA, J. L.; BAKSHI, M.; ABHILASH, P. C.; FRACETO, L. F. Use of botanical insecticides for sustainable agriculture: Future perspectives. **Ecological Indicators**, p. 1-13. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.038>

CARVALHO, G. S.; SILVA, L. B.; REIS, S. S.; VERAS, M. S.; CARNEIRO, E.; ALMEIDA, M. L. S.; DA SILVA, A. F.; LOPES, G. N. Biological parameters and thermal requirements of *Trichogramma pretiosum* reared on *Helicoverpa armigera* eggs. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 11, p. 961-968, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2017001100001>

CARVALHO, I. F.; ERDMANN, L. L.; MACHADO, L. L.; ROSA, A. P. S. A.; ZOTTI, M. J.; NEITZKE, C. G. Metabolic resistance in the Fall Armyworm: an overview. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 12, p. 426-436. 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.5539/jas.v10n12p426>

CAVALCANTI, S. C. H.; NICULAU, E. S.; BLANK, A. F.; CÂMARA, C. A. G.; ARAÚJO, I. N.; ALVES, P. B. Composition and acaricidal activity of *Lippia sidoides* essential oil against two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch). **Bioresource Technology**, v. 101, p. 829-832, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.08.053>

CHAUHAN, N.; MALIK, A.; SHARMA, S.. Repellency potential of essential oils against housefly, *Musca domestica* L. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 5, p. 4707-4714, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0363-x>

CÔNSOLI, F. L.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A. (Eds.). **Egg Parasitoids in Agroecosystems with Emphasis on *Trichogramma***. Dordrecht: Springer Science & Business Media, 2010. 481p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9110-0>

CORREIA, A. A.; WANDERLEY-TEIXEIRA, V.; TEIXEIRA, A. A. C.; OLIVEIRA, J. V.; GONÇALVES, G. G.; CAVALCANTI, M. G.; BRAYNER, F. A.; ALVES, L. C. Microscopic analysis of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) embryonic development before and after treatment with azadirachtin, lufenuron, and deltamethrin. **Journal of Economic Entomology**, v. 106, n. 2, p. 747-755, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1603/EC12158>

COSTA, A. V.; PINHEIRO, P. F.; QUEIROZ, V. T.; RONDELLI, V. M.; MARINS, A. K.; VALBON, W. R.; PRATISSOLI, D. Chemical composition of essential oil from *Eucalyptus citriodora* leaves and insecticidal activity against *Myzus persicae* and *Frankliniella schultzei*. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 18, n. 2, p. 374-381. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/0972060X.2014.1001200>

DAY, R.; ABRAHAMS, P.; BATEMAN, M.; BEALE, T.; CLOTTEY, V.; COCK, M.; COLMENAREZ, Y.; CORNIANI, N.; EARLY, R.; GODWIN, J.; GOMEZ, J.; MORENO, P. G.; MURPHY, S. T.; OPPONG-MENSAH, B.; PHIRI, N.; PRATT, C.; SILVESTRI, S.; WITT, A. Fall armyworm: impacts and implications for Africa. **Outlooks on Pest Management**, v. 28, n. 5, p. 196-201, 2017. DOI: https://doi.org/10.1564/v28_oct_02

DELETRE, E.; MARTIN, T.; CAMPAGNE, P.; BOURGUET, D.; CADIN, A.; MENUT, C.; BONAFOS, R.; CHANDRE, F. Repellent, irritant and toxic effects of 20 plant extracts on adults of the malaria vector *Anopheles gambiae* mosquito. **PLoS One**, v. 8, n. 12, p. e82103, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082103>

DELETRE, E.; CHANDRE, F.; BARKMAN, B.; MENUT, C.; MARTIN, T. Naturally occurring bioactive compounds from four repellent essential oils against *Bemisia tabaci* whiteflies. **Pest Management Science**, v. 72, n. 1, p. 179-189, 2015a. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.3987>

DELETRE, E.; MALLENT, M.; MENUT, C.; CHANDRE, F.; MARTIN, T. Behavioral response of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) to 20 plant extracts. **Journal of Economic Entomology**, v. 108, n. 4, p. 1890-1901. 2015b. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/tov118>

DERMAUW, W.; PYM, A.; BASS, C.; VAN LEEUWEN, T.; FEYEREISEN, R. Does host plant adaptation lead to pesticide resistance in generalist herbivores?. **Current Opinion in Insect Science**, v. 26, n. 1, p. 25-33. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cois.2018.01.001>

DICKENS, J. C.; BOHBOT, J. D. Mini review: Mode of action of mosquito repellents. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 106, n. 3, p. 149-155, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pestbp.2013.02.006>

DOS SANTOS, A. C. V.; FERNANDES, C. C.; LOPES, L.; SOUSA, A. H. D. Insecticidal oils from amazon plants in control of fall armyworm. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 3, p. 642-647. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252016v29n314rc>

DURAIANDIYAN, V.; MUTHU, C.; BASKAR, K.; AL-DHABI, N. A.; IGNACIMUTHU, S. Evaluation of fractions and 5, 7-dihydroxy-4', 6-dimethoxy-flavone from *Clerodendrum phlomidis* Linn. F. against *Helicoverpa armigera* Hub. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 58, n. 2, p. 216-221, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-8913201400128>

EARLY, R.; GONZÁLEZ-MORENO, P.; MURPHY, S. T.; DAY, R. Forecasting the global extent of invasion of the cereal pest *Spodoptera frugiperda*, the fall armyworm. **BioRxiv**, e391847. 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.1101/391847>

EL-WAKEIL, N. E. Botanical pesticides and their mode of action. **Gesunde Pflanzen**, v. 65, n. 4, p. 125-149, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s10343-013-0308-3>

ERCAN, F.; BAŞ, H.; KOÇ, M.; PANDIR, D.; ÖZTEMİZ, S. Insecticidal activity of essential oil of *Prangos ferulacea* (Umbelliferae) against *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae) and *Trichogramma embryophagum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v.37, n. 6, p.719-725. 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.3906/tar-1211-15>

FELDMANN, F.; RIECKMANN, U.; WINTER, S. The spread of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in Africa - What should be done next?. **Journal of Plant Diseases and Protection**, p. 1-5. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41348-019-00204-0>

FERNANDES, F. O.; ABREU, J. A.; CHRISTI, L. M.; RODRIGUES-FILHO, J. A.; MARTINS, A.; ROSA, A. P. S. A. **Desenvolvimento de *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) em cultivares de milho em laboratório**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2017. 35p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 264).

FERNANDES, F. O.; ABREU, J. A.; CHRISTI, L. M.; ROSA, A. P. S. A. Efficacy of insecticides against *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797). **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 1, p. 494-503. 2019. DOI: <https://dx.doi.org/10.5539/jas.v11n1p494>

FERREIRA, D. F. Sisvar: A Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>

FIGUEIREDO, M. L. C.; CRUZ, I.; SILVA, R. B.; FOSTER, J. E. Biological control with *Trichogramma pretiosum* increases organic maize productivity by 19.4%. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, n. 3, p.1175-1183. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0312-3>

FINNEY, D. J. **‘Probit analysis’**. 4. ed. London: Cambridge University Press, 2009. 272 p.

GAHUKAR, R. T. Management of pests and diseases of important tropical/subtropical medicinal and aromatic plants: A review. **Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants**, v. 9, p. 1–18. 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jarmap.2018.03.002>

GAHUKAR, R. T. Use of plant-derived products to control household and structural arthropod pests. **International Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 6, n. 2, p. 22-28. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.14419/ijbas.v6i2.7483>

GAHUKAR, R. T. Plant-derived products in crop protection: effects of various application methods on pests and diseases. **Phytoparasitica**, v. 44, n. 3, p. 379–391. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12600-016-0524-3>

GAO, Q.; SONG, L.; SUN, J.; CAO, H. Q.; WANG, L.; LIN, H.; TANG, F. Repellent action and contact toxicity mechanisms of the essential oil extracted from Chinese chive against *Plutella xylostella* larvae. **Archives of Insect Biochemistry and Physiology**, v.100, n.1, p. e21509. 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.1002/arch.21509>

GOERGEN, G.; KUMAR, P. L.; SANKUNG, S. B.; TOGOLA, A.; TAMÒ, M. 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**, v. 11, n. 10, p. e0165632. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0165632>

GONZÁLEZ, J. O. W.; LAUMANN, R. A.; SILVEIRA, S.; MORAES, M. C. B.; BORGES, M.; FERRERO, A. A. Lethal and sublethal effects of four essential oils on the egg parasitoid *Trissolcus basalis*. **Chemosphere**, v. 92, n. 5, p.608-615. 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.03.066>

GORDY, J. W.; LEONARD, B. R.; BLOUIN, D.; DAVIS, J. A.; STOUT, M. J. Comparative effectiveness of potential elicitors of plant resistance against *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in four crop plants. **PLoS One**, v. 10, n. 9, e0136689. 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0136689>

GREENE, G. L.; LEPPLA, N. C.; DICKERSON, W. A. Velvetbean caterpillar: a rearing procedure and artificial medium. **Journal of Economic Entomology**, v. 69, n. 4, p.487-488, 1976. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/jee/69.4.487>

HASSAN, S. A.; ABDELGADER, H. A sequential testing program to assess the side effects of pesticides on *Trichogramma cacoeciae* Marchal (Hym., Trichogrammatidae). **IOBC/WPRS Bulletin**, v.24, n. 4, p.71-81, 2001.

HEATHER, N.; HASSAN, E. Efficacy of *Leptospermum petersonii* oil, on *Plutella xylostella*, and its parasitoid, *Trichogramma pretiosum*. **Journal of Economic Entomology**, v. 105, n. 4, p. 1379-1384, 2012. DOI: <https://dx.doi.org/10.1603/EC11382>

ISMAN, M. B. A renaissance for botanical insecticides?. **Pest Management Science**, v. 71, n. 12, p. 1587-1590, 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.1002/ps.4088>

ISMAN, M. B. Pesticides based on plant essential oils: Phytochemical and practical considerations. In: **Medicinal and Aromatic Crops: Production, Phytochemistry, and Utilization**. American Chemical Society, 2016. p. 13-26. DOI: <https://dx.doi.org/10.1021/bk-2016-1218.ch002>

ISMAN, M. B.; GRIENEISEN, M. L. Botanical insecticide research: many publications, limited useful data. **Trends in Plant Science**, v. 19, n. 3, p. 140-145, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.11.005>

ISMAN, M. B.; MIRESMALLI, S.; MACHIAL, C. Commercial opportunities for pesticides based on plant essential oils in agriculture, industry and consumer products. **Phytochemistry Reviews**, v. 10, n. 2, p. 197-204, 2011. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s11101-010-9170-4>

JAVIER, A. M. V., OCAMPO, V. R., CEBALLO, F. A., & JAVIER, P. A. Insecticidal activities of the essential oils from different plants against cabbage worm, *Crociodolomia*

pavonana Fabricius (Lepidoptera: Crambidae). **Philippine Agricultural Scientist**, v. 101, n. 2, p. 158-166. 2018.

JIANG, Z. L.; AKHTAR, Y.; ZHANG, X.; BRADBURY, R.; ISMAN, M. B. Insecticidal and feeding deterrent activities of essential oils in the cabbage looper, *Trichoplusia ni* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Applied Entomology**, v. 136, n. 3, p. 191-202, 2012.

KABERA, J.; GASOGO, A.; UWAMARIYA, A.; UGIRINSHUTI, V.; NYETERA, P. Insecticidal effects of essential oils of *Pelargonium graveolens* and *Cymbopogon citratus* on *Sitophilus zeamais* (Motsch.). **African Journal of Food Science**, v. 5, n. 6, p. 366-375. 2011.

KALLESHWARASWAMY, C. M.; ASOKAN, R.; SWAMY, H. M. M.; MARUTHI, M. S.; PAVITHRA, H. B.; KAVITA, H.; GOERGEN, G. First report of the Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), an alien invasive pest on maize in India. **Pest Management in Horticultural Ecosystems**, v. 24, n. 1, p. 23-29, 2018.

KHANIKOR, B.; PARIDA, P.; YADAV, R. N. S.; BORA, D. Comparative mode of action of some terpene compounds against octopamine receptor and acetyl cholinesterase of mosquito and human system by the help of homology modeling and docking studies. **Journal of Applied Pharmaceutical Science**, v. 3, n. 2, p. 6-12. 2013. DOI: <https://doi.org/10.7324/japs.2013.30202>

KŁYŚ, M.; MALEJKY, N.; NOWAK-CHMURA, M. The repellent effect of plants and their active substances against the beetle storage pests. **Journal of Stored Products Research**, v. 74, p. 66-77, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2017.10.006>

KNAAK, N.; WIEST, S. L.; ANDREIS, T. F.; FIUZA, L. M. Toxicity of essential oils to the larvae of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Biopesticides**, v. 6, n. 1. 2013.

KOGAN, M. Feeding and nutrition of insects associated with soybeans. 2. Soybean resistance and host preferences of the Mexican bean beetle, *Epilachna varivestis*. **Annals of the Entomological Society of America**, v.65, n.3, p.675-683. 1972. DOI: <https://dx.doi.org/10.1093/aesa/65.3.675>

KOKETSU, M.; GONÇALVES, S. L. **Óleos essenciais e sua extração por arraste de vapor**. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa, CTAA, 1991. 24 p. (Documentos, 8).

KOUL, O.; DHALIWAL, G. S. **Predators and Parasitoids**. New York, NY: Taylor & Francis e-Library, 2004. 20p

KOUL, O.; SINGH, R.; KAUR, B.; KANDA, D. Comparative study on the behavioral response and acute toxicity of some essential oil compounds and their binary mixtures to larvae of *Helicoverpa armigera*, *Spodoptera litura* and *Chilo partellus*. **Industrial Crops and Products**, v. 49, p. 428-436, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.05.032>

KOUNDAL, R.; DOLMA, S. K.; CHAND, G.; AGNIHOTRI, V. K.; REDDY, S. E. Chemical composition and insecticidal properties of essential oils against diamondback moth (*Plutella xylostella* L.). **Toxin Reviews**, p. 1-11, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/15569543.2018.1536668>

LAURENTIS, V. L.; RAMALHO, D. G.; SANTOS, N. A.; CARVALHO, V. F. P.; VACARI, A. M.; BORTOLI, S. A.; VENEZIANI, R. C. S.; INÁCIO, G. C.; DAMI, B. G. Performance of *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) on eggs of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1156, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37797-9>

LIMA, R. K.; CARDOSO, M. G.; MORAES, J. C.; VIEIRA, S. S.; MELO, B. A. FILGUEIRAS, C. C. Composição dos Óleos Essenciais de Anis-estrelado *Illicium verum* L. e de Capim-limão *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf: Avaliação do Efeito Repelente sobre *Brevicoryne brassicae* (L.) (Hemiptera: Aphididae). **BioAssay**, v.3, n.1, p.1-6, 2008. DOI: <https://dx.doi.org/10.14295/BA.v3.0.56>

LING, B.; WANG, G. C.; JI, Y. A.; ZHANG, M. X.; LIANG, G. W. Antifeedant activity and active ingredients against *Plutella xylostella* from *Momordica charantia* leaves. **Agricultural Sciences in China**, v. 7, n. 12, p. 1466-1473, 2008. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S1671-2927\(08\)60404-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1671-2927(08)60404-6)

MAGALHÃES, G. O.; GOULART, R. M.; VACARI, A. M.; BORTOLI, S. A. Parasitismo de *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) em diferentes hospedeiros e cores de cartelas. **Arquivos do Instituto Biológico**, v.79, n.1, p.55-60. 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1808-16572012000100008>

MAGRINI, F. E.; SPECHT, A.; GAIO, J.; GIRELLI, C. P.; MIGUES, I.; HEINZEN, H.; SALDAÑA, J.; SARTORI, V. C.; CESIO, V. Antifeedant activity and effects of fruits and seeds extracts of *Cabralea canjerana canjerana* (Vell.) Mart. (Meliaceae) on the immature stages of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Industrial Crops and Products**, v. 65, p. 150-158, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.11.032>

MARTINS, G. M.; TOSCAN, L. C.; TOMQUELSKI, G. V.; MARUYAMA, W. I. Inseticidas químicos e microbianos no controle da lagarta-do-cartucho na fase inicial da cultura do milho. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 2, p. 170-174, 2009.

MASSAROLI, A.; BUTNARIU, A. R.; DOETZER, A. K. Occurrence of *Trichograma* Parasitoids in Eggs of Soybean Lepidopteran Pests in Mato Grosso, Brazil. **International Journal of Biology**, v. 6, n. 2, p. 97, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.5539/ijb.v6n2p97>

MELO, C. R.; PICANÇO, M. C.; SANTOS, A. A.; SANTOS, I. B.; PIMENTEL, M. F.; SANTOS, A. C.; BLANK, A. F.; ARAÚJO, A. P. A.; CRISTALDO, P. F.; BACCI, L. Toxicity of essential oils of *Lippia gracilis* chemotypes and their major compounds on *Diaphania hyalinata* and non-target species. **Crop Protection**, v. 104, p. 47-51. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2017.10.013>

MICHELOTTO, M. D.; CROSARIOL-NETO, J.; PIROTTA, M. Z.; DUARTE, A. P.; FEITAS, R. S.; FINOTO, E. L. Eficácia de milho transgênico tratado com inseticida no controle da lagarta-do-cartucho no milho safrinha no estado de São Paulo, Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 2, p. 128-138, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-70542017412020816>

MIRESMAILLI, S.; ISMAN, M. B. Botanical insecticides inspired by plant-herbivore chemical interactions. **Trends in Plant Science**, v. 19, p.29-35. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.10.002>

MONSREAL-CEBALLOS, R. J.; RUÍZ-SÁNCHEZ, E.; SÁNCHEZ BORJA, M.; BALLINA-GÓMEZ, H. S.; GONZÁLEZ-MORENO, A.; REYES-RAMÍREZ, A. Efectos de insecticidas botánicos comerciales en *Tamarixia radiata*, un ectoparásitoide de *Diaphorina citri*. **Ecosistemas y Recursos Agropecuarios**, v. 4, n. 12, p. 589-596, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.19136/era.a4n12.1223>

MONTEZANO, D. G.; SPECHT, A.; SOSA-GÓMEZ, D. R.; ROQUE-SPECHT, V. F.; SOUSA-SILVA, J. C.; PAULA-MORAES, S. V. D.; PETERSON, J. A.; HUNT, T. E. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. **African Entomology**, v. 26, n. 2, p. 286-300. 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.4001/003.026.0286>

MURCIA-MESEGUER, A.; ALVES, T. J.; BUDIA, F.; ORTIZ, A.; MEDINA, P. Insecticidal toxicity of thirteen commercial plant essential oils against *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). **Phytoparasitica**, v. 46, n. 2, p. 233-245. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12600-018-0655-9>

MURÚA, M. G.; NAGOSHI, R. N.; DOS SANTOS, D. A.; HAY-ROE, M. M.; MEAGHER, R. L.; VILARDI, J. C. Demonstration using field collections that Argentina fall armyworm populations exhibit strain-specific host plant preferences. **Journal of Economic Entomology**, v. 108, n. 5, p. 2305-2315. 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.1093/jee/tov203>

NAGOSHI, R. N.; GOERGEN, G.; TOUNOU, K. A.; AGBOKA, K.; KOFFI, D.; MEAGHER, R. L. Analysis of strain distribution, migratory potential, and invasion history of fall armyworm populations in northern Sub-Saharan Africa. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 3710. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21954-1>

NAPAL, G. N. D.; CARPINELLA, M. C.; PALACIOS, S. M. Antifeedant activity of ethanolic extract from *Flourensia oolepis* and isolation of pinocembrin as its active principle compound. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 14, p. 3669-3673, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.02.050>

NESTERKINA, M.; BERNIER, U. R.; TABANCA, N.; KRAVCHENKO, I. Repellent activity of monoterpene esters with neurotransmitter amino acids against yellow fever mosquito, *Aedes aegypti*. **Open Chemistry**, v.16, n.1, p.95-98. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1515/chem-2018-0015>

NERIO, L. S.; OLIVERO-VERBEL, J.; STASHENKO, E. Repellent activity of essential oils: a review. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 1, p. 372-378, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.07.048>

OLIVEIRA, A. R. M. F.; OLIVEIRA, L. M.; CARNEIRO, J. S.; SILVA, T. R. S.; COSTA, L. C. B. Essential oil of *Lippia sidoides* and its major compound thymol: Toxicity and walking response of populations of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Crop Protection**, v. 112, p. 33-38, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.05.011>

OLIVEIRA, A. P.; SANTANA, A. S.; SANTANA, E. D.; LIMA, A. P. S.; FARO, R. R.;

NUNES, R. S.; LIMA, A. D.; BLANK, A. F.; ARAÚJO, A. P. A.; CRISTALDO, P. F.; BACCI, L. Nanoformulation prototype of the essential oil of *Lippia sidoides* and thymol to population management of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Industrial Crops and Products**, v. 107, p. 198-205, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.05.046>

OLIVERO-VERBEL, J.; NERIO, L. S.; STASHENKO, E. E. Bioactivity against *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) of *Cymbopogon citratus* and *Eucalyptus citriodora* essential oils grown in Colombia. **Pest Management Science**, v. 66, n. 6, p.664-668. 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/ps.1927>

OTIM, M. H.; TAY, W. T.; WALSH, T. K.; KANYESIGYE, D.; ADUMO, S.; ABONGOSI, J.; OCHEN, S.; SSERUMAGA, J.; ALIBU, S.; ABALO, G.; ASEA, G.; AGONA, A. Detection of sister-species in invasive populations of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) from Uganda. **PLoS One**, v. 13, n. 4, e0194571. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194571>

OUKO, R. O.; KOECH, S. C.; ARIKA, W. M.; NJAGI, S. M.; ODUOR, R. O. Bioefficacy of Organic Extracts of *Ocimum basilicum* against *Sitophilus zeamais*. **Entomol Ornithol Herpetol**, v. 6, v. 1, p.2161-0983. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.4172/2161-0983.1000190>

PARREIRA, D. S.; LA CRUZ, R. A.; ZANUNCIO, J. C.; LEMES, P. G.; ROLIM, G. S.; BARBOSA, L. R.; SERRÃO, J. E. Essential oils cause detrimental effects on biological parameters of *Trichogramma galloi* immatures. **Journal of Pest Science**, v. 91, n. 2, p. 887-895, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10340-017-0945-x>

PARREIRA, D. S.; LA CRUZ, R. A.; LEITE, G. L. D.; RAMALHO, F. S.; ZANUNCIO, J. C.; SERRÃO, J. E. Quantifying the harmful potential of ten essential oils on immature *Trichogramma pretiosum* stages. **Chemosphere**, v. 199, p. 670–675. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.02.083>

PARREIRA, D. S.; LA CRUZ, R. A.; DIMATÉ, F. A. R.; BATISTA, L. D.; RIBEIRO, R. C.; FERREIRA, G. A. R.; ZANUNCIO, J. C. Bioactivity of ten essential oils on the biological parameters of *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) adults. **Industrial Crops and Products**, v. 127, p. 11-15, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.10.063>

PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A. **Trichogramma e o controle biológico aplicado**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 324p.

PASINI, R. A.; GRÜTZMACHER, A. D.; SPAGNOL, D.; DE ARMAS, F. D. S.; NORMBERG, A. V.; CARVALHO, H. J. S. Ação residual de agrotóxicos pulverizados em plantas de milho sobre *Trichogramma pretiosum*. **Ceres**, v. 64, n. 3, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201764030004>

PAVELA, R. Antifeedant and larvicidal effects of some phenolic components of essential oils lasp lines of introduction against *Spodoptera littoralis* (Boisd.). **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 14, n. 3, p. 266-273, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1080/0972060X.2011.10643932>

PAVELA, R.; BENELLI, G. Essential oils as ecofriendly biopesticides? Challenges and

constraints. **Trends in Plant Science**, v. 21, n. 12, p. 1000-1007, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.10.005>

PINHEIRO, P. F.; QUEIROZ, V. T. D.; RONDELLI, V. M.; COSTA, A. V.; MARCELINO, T. D. P.; PRATISSOLI, D. Insecticidal activity of citronella grass essential oil on *Frankliniella schultzei* and *Myzus persicae*. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 37, n. 2, p. 138-144, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542013000200004>

PINTO-ZEVALLOS, D. M.; MARTINS, C. B.; PELLEGRINO, A. C.; ZARBIN, P. H. Compostos orgânicos voláteis na defesa induzida das plantas contra insetos herbívoros. **Química Nova**, v. 36, n. 9, p. 1395-1405, 2013.

PEIXOTO, M. G.; BACCI, L.; BLANK, A. F.; ARAÚJO, A. P. A.; ALVES, P. B.; SILVA, J. H. S.; SANTOS, A. A.; OLIVEIRA, A. P.; COSTA, A. S.; ARRIGONI-BLANK, M. Toxicity and repellency of essential oils of *Lippia alba* chemotypes and their major monoterpenes against stored grain insects. **Industrial Crops and Products**, v. 71, p. 31-36, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.084>

PÉREZ-CORDERO, A.; CHAMORRO-ANAYA, L.; VITOLA-ROMERO, D.; HERNÁNDEZ-GÓMEZ, J. Antifungal activity of *Cymbopogon citratus* against *Colletotrichum gloesporioides*. **Agromía Mesoamericana**, v. 28, n. 2, p. 465-475, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/ma.v28i2.23647>

PRIMAVESI, A. **Manejo Ecológico de Pragas e Doenças**. São Paulo: Expressão Popular, 2017. 144p.

QUERINO, R. B.; SILVA, N. N. P.; ZUCCHI, R. A. Natural parasitism by *Trichogramma* spp. in agroecosystems of the Mid-North, Brazil. **Ciência Rural**, v. 46, n. 9, p.1521-1523. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20151352>

QUERINO, R. B.; MENDES, J. V.; COSTA, V. A.; ZUCCHI, R. A. New species, notes and new records of *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in Brazil. **Zootaxa**, v. 4232, n.1, p.137-143. 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.4232.1.11>

RASHIDI, F.; NOURI-GANBALANI, G.; IMANI, S. Sublethal Effects of Some Insecticides on Functional Response of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) When Reared on Two Lepidopteran Hosts. **Journal of Economic Entomology**, v. 111, n. 3, p. 1104-1111, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/toy069>

RATTAN, R. S. Mechanism of action of insecticidal secondary metabolites of plant origin. **Crop Protection**, v. 29, n. 9, p. 913-920. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.05.008>

REGNAULT-ROGER, C.; VINCENT, C.; ARNASON, J. T. Essential oil in insect control: Low risk products in a high-state world. **Anual Review Entomology**, v. 57, p. 405-424, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120710-100554>

RICCI, E. M.; PADÍN, S. B.; KAHAN, A.; RÉ, S. Efecto repelente de los aceites esenciales de laurel y lemongrass sobre *Brevicoryne brassicae* L. (Homoptera: Aphididae) en repollo. **Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas**, v. 28, n. 2, p. 207-212, 2002.

SAID-AL AHL, H. A. H.; SABRA, A. S.; ALATAWAY, A.; ASTATKIE, T.; MAHMOUD, A. A.; BLOEM, E. Biomass production and essential oil composition of *Thymus vulgaris* in response to water stress and harvest time. **Journal of Essential Oil Research**, v. 31, n. 1, p. 63-68, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/10412905.2018.1518794>

SANGHA, J. S.; ASTATKIE, T.; CUTLER, G. C. Ovicidal, larvicidal, and behavioural effects of some plant essential oils on diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). **The Canadian Entomologist**, v. 149, n. 5, p. 639-648, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.4039/tce.2017.13>

SAXENA, S.; AGARWAL, D.; JOHN, S.; DUBEY, P.; LAL, G. Analysis of fennel (*Foeniculum vulgare*) essential oil extracted from green leaves, seeds and dry straw. **International J. Seed Spices**, v. 8, n. 1, p. 60-64, 2018.

SELIN-RANI, S.; SENTHIL-NATHAN, S.; THANIGAIVEL, A.; VASANTHA-SRINIVASAN, P.; EDWIN, E. S.; PONSANKAR, A.; LIJA-ESCALINE, J.; KALAIVANI, K.; ABDEL-MEGEED, A.; HUNTER, W. D.; ALESSANDRO, R. T. Toxicity and physiological effect of quercetin on generalist herbivore, *Spodoptera litura* Fab. and a non-target earthworm *Eisenia fetida* Savigny. **Chemosphere**, v.165, p.257-267. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.08.136>

SCHUH, M. K.; BAHLAI, C. A.; MALMSTROM, C. M.; LANDIS, D. A. Effect of Switchgrass Ecotype and Cultivar on Establishment, Feeding, and Development of Fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic Entomology**, p. 1-10, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/jee/toy292>

SIGMAPLOT. **Statistical Package for the Social Sciences - SigmaPlot for Windows**. v.12. Chicago, IL, USA. 2011.

SILVA, C. T. S.; WANDERLEY-TEIXEIRA, V.; CUNHA, F. M.; OLIVEIRA, J. V.; ANDRADE DUTRA, K.; NAVARRO, D. M. A. F.; TEIXEIRA, Á. A. C. Biochemical parameters of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) treated with citronella oil (*Cymbopogon winterianus* Jowitt ex Bor) and its influence on reproduction. **Acta Histochemica**, v. 118, n. 4, p. 347-352, 2016. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.acthis.2016.03.004>

SILVA, F. M.; BERTINI, L. M.; ALVES, L. A.; MOURA, L. F.; BARBOSA, P. T.; FERNANDES, A. B. D. Análise da composição química do óleo essencial de capim santo (*Cymbopogon citratus*) obtido através de extrator por arraste com vapor d' água construído com materiais de fácil aquisição e baixo custo. **Holos**, v. 30, n. 4, p.144-152. 2014. <https://doi.org/10.15628/holos.2014.1762>

SILVA, S. M.; CUNHA, J. P. A. R.; CARVALHO, S. M.; ZANDONADI, C. H. S.; MARTINS, R. C.; CHANG, R. *Ocimum basilicum* essential oil combined with deltamethrin to improve the management of *Spodoptera frugiperda*. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 6, p. 665-675, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1413-70542017416016317>

SINGH, N. K.; VEMU, B.; NANDI, A.; SINGH, H.; KUMAR, R.; DUMKA, V. K. Acaricidal activity of *Cymbopogon winterianus*, *Vitex negundo* and *Withania somnifera* against synthetic pyrethroid resistant *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. **Parasitology Research**, v. 113, n. 1, p. 341-350, 2014a. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00436-013-3660-4>

SINGH, N. K.; VEMU, B.; NANDI, A.; SINGH, H.; KUMAR, R.; DUMKA, V. K. Laboratory assessment of acaricidal activity of *Cymbopogon winterianus*, *Vitex negundo* and *Withania somnifera* extracts against deltamethrin resistant *Hyalomma anatolicum*.

Experimental and Applied Acarology, v. 63, n. 3, p. 423-430, 2014b. DOI:

<http://dx.doi.org/10.1007/s10493-014-9791-1>

SOLIMAN, W. S.; SALAHELDIN, S.; AMER, H. Chemical Composition Evaluation of Egyptian Lemongrass, *Cymbopogon citratus*, Essential Oil. **International Journal of Scientific & Engineering Research**, v. 8, n. 1, p. 630-634. 2017.

SOUZA, C. M.; BALDIN, E. L.; RIBEIRO, L. P.; SILVA, I. F.; MORANDO, R.; BICALHO, K. U.; VENDRAMIM, J. D.; FERNANDES, J. B. Lethal and growth inhibitory activities of Neotropical Annonaceae-derived extracts, commercial formulation, and an isolated acetogenin against *Helicoverpa armigera*. **Journal of Pest Science**, v. 90, n. 2, p. 701-709, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10340-016-0817-9>

STEFANAZZI, N.; STADLER, T.; FERRERO, A. Composition and toxic, repellent and feeding deterrent activity of essential oils against the stored-grain pests *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) and *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). **Pest Management Science**, v. 67, n. 6, p. 639-646, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.2102>

SUWANSIRISILP, K.; VISETSON, S.; PRABARIPAI, A.; TANASINCHAYAKUL, S.; GRIECO, J. P.; BANGS, M. J.; CHAREONVIRIYAPHAP, T. Behavioral responses of *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae) to four essential oils in Thailand. **Journal of Pest Science**, v. 86, n. 2, p. 309-320, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s10340-012-0464-8>

TAK, J. H.; JOVEL, E.; ISMAN, M. B. Contact, fumigant, and cytotoxic activities of thyme and lemongrass essential oils against larvae and an ovarian cell line of the cabbage looper, *Trichoplusia ni*. **Journal of Pest Science**, v. 89, p. 183-193. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10340-015-0655-1>

TAK, J.; JOVEL, E.; ISMAN, M. B. Synergistic interactions among the major constituents of lemongrass essential oil against larvae and an ovarian cell line of the cabbage looper, *Trichoplusia ni*. **Journal of pest science**, v. 90, n. 2, p. 735-744, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10340-016-0827-7>

TALUKDER, F. A.; HOWSE, P. E. Laboratory evaluation of toxic and repellent properties of the pithraj tree, *Aphanamixis polystachya* Wall & Parker, against *Sitophilus oryzae* (L.). **International Journal of Pest Management**, v. 40, n. 3, p. 274-279, 1994. DOI: <https://dx.doi.org/10.1080/09670879409371897>

TAVARES, W. S.; CRUZ, I.; FONSECA, F. G.; GOUVEIRA, N. L.; SERRÃO, J. E.; ZANUNCIO, J. C. Deleterious activity of natural products on postures of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Pyralidae). **Zeitschrift für Naturforschung C**, v. 65, n. 5/6, p. 412-418, 2010. DOI: <https://dx.doi.org/10.1515/znc-2010-5-615>

TAVARES, W. S.; CRUZ, I.; PETACCI, F.; ASSIS JÚNIOR, S. L.; FREITAS, S. S.;

ZANUNCIO, J. C.; SERRÃO, J. E. Potential use of Asteraceae extracts to control *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and selectivity to their parasitoids *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) and *Telenomus remus* (Hymenoptera: Scelionidae). **Industrial Crops and Products**, v. 30, n. 3, p. 384-388. 2009. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.07.007>

TINDO, M.; TAGNE, A.; TIGUI, A.; KENNGI, F.; ATANGA, J.; BILA, S.; DOUMTSOP, A.; ABEGA, R. First report of the fall army worm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera, Noctuidae) in Cameroon. **Cameroon Journal of Biological and Biochemical Sciences**, v. 25, p. 30-32. 2017.

VÉLEZ, A. M.; VELLICHIRAMMAL, N. N.; JURAT-FUENTES, J. L.; SIEGFRIED, B. D. Cry1F resistance among lepidopteran pests: A model for improved resistance management?. **Current Opinion in Insect Science**, v. 15, p. 116-124. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cois.2016.04.010>

VENZON, M.; PAULA JÚNIOR, T. J.; PALLINI, A. **Controle alternativo de pragas e doenças**. Viçosa: EPAMIG/ CTZM/ UFV. 2005. 362p.

VIANNA, U. R.; PRATISSOLI, D.; ZANUNCIO, J. C.; LIMA, E. R.; BRUNNER, J.; PEREIRA, F. F.; SERRÃO, J. E. Insecticide toxicity to *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) females and effect on descendant generation. **Ecotoxicology**, v. 18, n. 2, p. 180-186, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-008-0270-5>

VICENTINI, V. B.; PRATISSOLI, D.; QUEIROZ, V. T. D.; COSTA, A. V.; PINHEIRO, P. F.; ZINGER, F. D.; RONDELLI, V. M. Ethanol extract of *Cymbopogon winterianus* on mortality and number of eggs of *Tetranychus urticae*. **Ciência Rural**, v. 45, n. 7, p. 1154-1159, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20140175>

VIGLIANCO, A.; NOVO, R.; CRAGNOLINI, C.; NASSETTA, M.; CAVALLO, A. Antifeedant and repellent effects of extracts of three plants from Córdoba (Argentina) against *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). **BioAssay**, v. 3, n. 4, p.1-6. 2008. DOI: <https://dx.doi.org/10.14295/BA.v3.0.55>

VITE-VALLEJO, O.; BARAJAS-FERNÁNDEZ, M. G.; SAAVEDRA-AGUILAR, M.; CARDOSO-TAKETA, A. Insecticidal Effects of Ethanolic Extracts of *Chenopodium ambrosioides*, *Piper nigrum*, *Thymus vulgaris*, and *Origanum vulgare* against *Bemisia tabaci*¹. **Southwestern Entomologist**, v. 43, n. 2, p. 383-394, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3958/059.043.0209>

XIAO, Y.; WU, K. Recent progress on the interaction between insects and *Bacillus thuringiensis* crops. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 374, n. 1767, p. 20180316, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0316>

ZHANG, Y. N.; HE, P.; XUE, J. P.; GUO, Q.; ZHU, X. Y.; FANG, L. P.; LI, J. B. Insecticidal activities and biochemical properties of *Pinellia ternata* extracts against the beet armyworm *Spodoptera exigua*. **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 20, n. 2, p.469-476. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aspen.2017.03.003>

ZHU, Y. C.; BLANCO, C. A.; PORTILLA, M.; ADAMCZYK, J.; LUTTRELL, R.; HUANG, F. Evidence of multiple/cross resistance to Bt and organophosphate insecticides in Puerto Rico population of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 122, v. 1, p. 15-21. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2015.01.007>

ZHU, Y. C.; NIU, Y.; ZHOU, Y.; GUO, J.; HEAD, G. P.; PRICE, P. A.; WEN, X.; HUANG, F. Survival and effective dominance level of a Cry1A. 105/Cry2Ab2-dual gene resistant population of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) on common pyramided Bt corn traits. **Crop Protection**, v. 115, p. 84-91. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.09.008>

ZIAEE, M.; MOHARRAMIPOUR, S.; MOHSENIFAR, A. Toxicity of *Carum copticum* essential oil-loaded nanogel against *Sitophilus granarius* and *Tribolium confusum*. **Journal of Applied Entomology**, v. 138, n. 10, p. 763-771, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/jen.12133>

ZULETA-CASTRO, C.; RIOS, D.; HOYOS, R.; OROZCO-SÁNCHEZ, F. First formulation of a botanical active substance extracted from neem cell culture for controlling the armyworm. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 37, n. 5, p. 40, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s13593-017-0448-4>