

RAFAEL COELHO RIBEIRO

**DA COZINHA PARA O CAMPO: POTENCIAL DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE
CONDIMENTOS PARA O CONTROLE DE LEPIDÓPTEROS E A
SELETIVIDADE SOBRE O SEU PREDADOR**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2014**

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

Ribeiro, Rafael Coelho, 1985-

R484d
2014

Da cozinha para o campo : potencial de óleos essenciais de condimentos para o controle de lepidópteros e a seletividade sobre o seu predador / Rafael Coelho Ribeiro. – Viçosa, MG, 2014.

xii, 87f. : il. ; 29 cm.

Orientador: José Cola Zanúncio.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Lepidoptera - Controle biológico. 2. Controle alternativo. 3. Proteção de plantas. 4. Óleos essenciais. 5. Manejo Integrado de Pragas. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Biologia Animal. Programa de Pós-graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 595.78

RAFAEL COELHO RIBEIRO

**DA COZINHA PARA O CAMPO: POTENCIAL DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE
CONDIMENTOS PARA O CONTROLE DE LEPIDÓPTEROS E A
SELETIVIDADE SOBRE O SEU PREDADOR**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 17 de fevereiro de 2014

Genesio Tamara Ribeiro

Ita de Oliveira e Silva

Jackson Victor de Araújo

José Lino Neto

José Cola Zanuncio
(Orientador)

“É muito melhor arriscar coisas grandiosas, alcançar triunfos e glórias, mesmo expondo-se a derrota, do que formar fila com os pobres de espírito que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem nessa penumbra cinzenta que não conhece vitória nem derrota”.

Theodore Roosevelt

“Gênio: 1% de inspiração e 99% de transpiração”

Thomas Alva Edison

Agradeço

A Deus, fonte da vida e da sabedoria, por ter-me concedido gratuitamente e na medida certa, ambas.

Dedico

Vozinha, Marcelina Baia (in memoriam)

Mãe, Socorro Baia

Tia, Ruth Baia

Tio, Antonio, a quem tanto amo.

Ofereço

A minha filha, Agatha Vitoria, Luz da minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que se fez presente em todos os momentos e por ter me concedido força, luz, humildade e sabedoria nas minhas tomadas de decisão.

À Universidade Federal de Viçosa, ao Departamento de Fitotecnia e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela oportunidade de realização desta pesquisa e pela concessão as bolsa de estudos.

Ao Professor Ph.D. José Cola Zanuncio, a quem admiro e respeito, pelos valiosos ensinamentos durante o curso de pós-graduação, exemplo de profissionalismo e eficiência na orientação desta pesquisa.

Ao Pesq. Dr. Walkymário de Paulo Lemos, a quem devo a oportunidade única do egresso na pesquisa e formação profissional, eterna gratidão pela orientação na graduação, amizade, estímulo, confiança, respeito e ensinamentos permanentes.

Ao Professor Dr. José Eduardo Serrão e à Dra. Leda Rita D'antonino Faroni, pelas valiosas sugestões e amizade.

Aos colegas do Laboratório de Controle Biológico de Insetos: Ana Flavia, Ancidérton, Alexandre (Caju), Alexandre Igor, Germano, Isabel, Douglas, Francisco, Rafael Guanabens, Robson Peluzio, Rodolfo, Rosenilson, Tiago, Julio Poderosa pelo estímulo e companheirismo.

Aos funcionários do Laboratório de Controle Biológico de Insetos e do Insetário da UFV, em especial ao Srs. Moacir e Antonio pela amizade.

Aos funcionários do Departamento de Fitotecnia, em especial as Sras. Tatiane Gouvêa e Rafaela pelos serviços prestados com eficiência.

À minha vó, Marcelina Baia (*in memoriam*) pelo exemplo de carinho e dedicação prestado a mim e minha família.

A todos os membros da minha família, em especial aos meus queridos tios

(Ruth, Antonio e Vanda) por sempre estarem ao meu lado apesar da distância.

A minha esposa Isabela O. Carvalho pelo apoio, amor e força necessária para lutar nas horas mais difíceis.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

RAFAEL COELHO RIBEIRO, filho de Maria Perlucia do Socorro Baia Coelho, nasceu na cidade de Belém, Pará, Brasil, no dia 08 de fevereiro de 1985.

Em fevereiro de 2003, ingressou no Curso de Agronomia na Universidade Federal Rural de Amazônia (UFRA) em Belém, Pará, concluindo-o em setembro de 2007.

Entre março 2004 e julho de 2007, durante a graduação, foi estagiário e bolsista de Iniciação Científica do Laboratório de Entomologia da Embrapa Amazônia Oriental (CPATU) em Belém, Pará.

Em agosto de 2008, iniciou o Curso de Mestrado em Entomologia no Departamento de Biologia Animal da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, Minas Gerais, defendendo a dissertação em julho de 2010.

Em agosto de 2010, iniciou o Curso de Doutorado em Fitotecnia no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, Minas Gerais, submetendo-se a defesa de tese em fevereiro de 2014.

SUMÁRIO

RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
INTRODUÇÃO GERAL	1
OBJETIVOS	5
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	6

1º ARTIGO

PROPRIEDADES INSETICIDAS DE DEZ ÓLEOS ESSENCIAIS SOBRE OVOS, LAGARTAS E PUPAS DE <i>Anticarsia gemmatalis</i> E <i>Spodoptera frugiperda</i> (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE).....	11
RESUMO.	12
INTRODUÇÃO	13
MATERIAL E MÉTODOS	14
RESULTADOS	18
DISCUSSÃO	19
AGRADECIMENTOS	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

2º ARTIGO

TOXICIDADE E ÍNDICES DE SELETIVIDADE DE ÓLEOS ESSENCIAIS ENTRE A LAGARTA-DA-SOJA E A LAGARTA-DO-CARTUCHO-DO-MILHO E SEU PERCEVEJO PREDADOR	40
RESUMO.	41
INTRODUÇÃO	42

MATERIAL E MÉTODOS	43
RESULTADOS	47
DISCUSSÃO	50
AGRADECIMENTOS.....	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

3º ARTIGO

REPELÊNCIA DE OVIPOSIÇÃO E ALIMENTAR DE CONCENTRAÇÕES SUBLETAIS DE DEZ ÓLEOS ESSENCIAIS DE CONDIMENTOS EM <i>Anticarsia gemmatalis</i>	65
RESUMO	66
INTRODUÇÃO	67
MATERIAL E MÉTODOS	68
RESULTADOS	72
DISCUSSÃO	72
AGRADECIMENTOS.....	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
CONCLUSÕES GERAIS	87

RESUMO

RIBEIRO, Rafael Coelho, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Fevereiro, 2014. **Da cozinha para o campo: potencial de óleos essenciais de condimentos para o controle de lepidópteros e a seletividade sobre o seu predador**. Orientador: José Cola Zanuncio. Coorientadores: José Eduardo Serrão, Leda Rita D'antonino Faroni, Teresinha Vinha Zanuncio e Walkymário de Paulo Lemos.

Anticarsia gemmatalis Hubner e *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae), insetos polípagos, que danificam plantas de importância econômica no Brasil são controladas por uma ampla variedade de inseticidas químicos. O objetivo desse estudo foi verificar a eficiência de controle de produtos alternativos sobre ovos, imaturos, pupas e adultos de *A. gemmatalis* e *S. frugiperda* e o efeito letal sobre seu percevejo predador, *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae). Os experimentos foram realizados no Laboratório de Controle Biológico (LCBI) e em casa-de-vegetação do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV) em Viçosa, Minas Gerais. Indivíduos das espécies-praga, *A. gemmatalis* e *S. frugiperda* e do percevejo predador, *P. nigrispinus* foram obtidos da criação massal do LCBI da UFRV. Ovos, lagartas de terceiro estágio e pupas de *A. gemmatalis* e *S. frugiperda* foram expostos aos concentrados de 1, 5, 10, 15 e 20% (v/v) dos óleos essenciais e produtos comerciais para se obter os valores de CL_{50} e CL_{90} , necessários para os índices de toxicidade relativa ($T_{XR_{50}}$) e tolerância relativa ($T_{LR_{50}}$). A toxicidade aguda (72 horas) de ninfas e adultos (machos e fêmeas) de *P. nigrispinus*, expostos aos mesmos concentrados dos tratamentos (óleos essenciais e produtos comerciais), nas mesmas condições (aplicação tópica e contato) que os bioensaios com as espécies-praga foram mensuradas e utilizadas nos índices de $T_{XR_{90}}$, $T_{LR_{90}}$ e de susceptibilidade relativa ($S_{LR_{90}}$) entre as espécies-praga e o predador. Plantas pulverizadas e discos foliares de soja *Glycine max* (L.) (Fabaceae) imersos em caldas da CL_{25} dos tratamentos (obtidas

no ensaio de toxicidade), para avaliar a repelência de oviposição de fêmeas e a deterrência alimentar para lagartas de *A. gemmatalis*, respectivamente. Os óleos essenciais de tomilho e de menta foram mais tóxicos para ovos de *S. frugiperda*, o óleo de alho e o emulsionável de nim foram tóxicos para ovos de ambas as espécies-praga. A maior eficiência de controle foi observada com os óleos essenciais de alho, canela, cravo e orégano, com alimento contaminado em lagartas de terceiro estágio de *A. gemmatalis* (lagarta-da-soja) e de *S. frugiperda* (lagarta-do-cartucho-do-milho). A maioria dos óleos essenciais proporcionou mortalidade semelhante em pupas desses lepidópteros. Os óleos essenciais de alho, orégano e o emulsionável de nim foram mais eficientes para as lagarta-da-soja e a lagarta-do-cartucho-do-milho nos métodos de exposição tópico e contato, com valores menores de toxicidade relativa ($T_{XR_{90}}$) em relação ao produto químico sintético. O inseticida químico de deltametrina e os óleos de tomilho, gengibre e o nim, apresentaram maior periculosidade ao percevejo, especialmente as ninfas e machos desse predador. Em concentrações subletais (CL_{25}) os óleos essenciais de canela, cravo, gengibre, menta e tomilho exibiram alta atividade repelente de oviposição ($IDO > 80\%$) de *A. gemmatalis*. Os efeitos de deterrência alimentar moderado ($IDA > 50\%$) da lagarta-da-soja foram atribuídos aos óleos essenciais de alho, canela, menta e tomilho. Assim, o óleo essencial de alho foi o mais eficiente contra as espécies-praga *A. gemmatalis* e *S. frugiperda* e altamente seletivo para *P. nigrispinus*; em concentrações subletais reduzem a alimentação de lagartas e a oviposição de fêmeas de *A. gemmatalis* e, por isso, tem potencial para serem utilizados no Manejo Integrado ou Ecológico de Pragas.

ABSTRACT

RIBEIRO, Rafael Coelho, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2014. **From the kitchen to the field: the potential of essential oils from spices to control lepidopteran and selectivity on its predator.** Adviser: José Cola Zanuncio. Co-Advisers: José Eduardo Serrão, Leda Rita D'antonino Faroni, Teresinha Vinha Zanuncio and Walkymário de Paulo Lemos.

Anticarsia gemmatalis Hubner and *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), polyphagous insects that damage plants of economic importance in Brazil and are controlled by a wide variety of chemical insecticides. The aim of this study was to verify the effectiveness of alternative control on eggs, immatures, pupae and adults of *A. gemmatalis* and *S. frugiperda*, and lethal effect on the stink bug predator *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae). The experiments were carried out in the Laboratory of Biological Control of Insects (LBCI) and greenhouse of Department of Plant Science of the Federal University of Viçosa (UFV) in Viçosa, Minas Gerais. Individuals of *A. gemmatalis*, *S. frugiperda* and adult the predator, were obtained from the mass rearing of LCBI of UFV. Eggs, larvae (third instar) and pupae of *S. frugiperda* and *A. gemmatalis* were exposed to concentrations to 1, 5, 10, 15 and 20% (v/v) essential oils and commercial products to obtain the values LC_{50} and LC_{90} needed for indices of relative toxicity (T_XR_{50}) and relative tolerance (T_LR_{50}). Acute toxicity (72 hours) of nymphs and adults (males and females) of the predator *P. nigrispinus* were exposed on the same treatments (essential oils and commercial products), under the same conditions (contact and topical application) described above for pest species, were measured and used the indices of T_XR_{90} , T_LR_{90} and relative susceptibility (S_LR_{90}) between predator and pest species. Soybean *Glycine max* (L.) (Fabaceae) plants were treated, and the leaf discs were immersed in the LC_{25} treatments (obtained in toxicity test) to evaluate the repellency of egg laying and deterrence food for caterpillars of *A.*

gemmatalis respectively. The essential oils of thyme and mint were more toxic to eggs of *S. frugiperda*, garlic oil and neem emulsible were toxic for eggs of both species. The higher control efficiency was observed with the essential oils of garlic, cinnamon, clove and oregano with contaminated food in third instar larvae of *A. gemmatalis* (velvetbean moth) and *S. frugiperda*. (fall armyworm). Most of the essential oils had a similar mortality in pupae of lepidopterans evaluated. The essential oils of garlic, oregano and emulsible neem were more efficient for the velvetbean moth and fall armyworm in the methods of topical and contact exposure with lower relative toxicity values ($T_{XR_{90}}$) compared to synthetic chemical. The chemical insecticide deltamethrin and oils of thyme, ginger and neem had greater danger to the males and nymphs of the stink bug. Sublethal concentrations (CL_{25}) essential oils of cinnamon, clove, ginger, mint and thyme exhibited high repellency of egg laying ($ODI > 80\%$) of *A. gemmatalis*. The effects of moderate feed deterrence ($ADI > 50\%$) of the velvetbean moth were attributed to essential oils of garlic, cinnamon, mint and thyme. Thus, the essential oil of garlic was the most effective against the pest species *A. gemmatalis* and *S. frugiperda* and highly selective for the predator; at sublethal concentrations reduce feeding caterpillars and egg laying of females of *A. gemmatalis* and therefore has potential for use in Integrated Pest Management and Ecological.

INTRODUÇÃO GERAL

Metabólitos secundários podem inibir o desenvolvimento de insetos (Chariandy et al., 1999), ser repelentes (Akhtar et al., 2012), atrair alguns insetos que oferecem defesa à planta e favorecerem a dispersão de pólen e sementes (Azuma & Toyota, 2012). A utilização de metabólitos de plantas é uma perspectiva limpa para o controle de insetos-praga nos mais diferentes ambientes (Lenardis et al., 2011; Zoubiri & Baaliouamer, 2011).

Inseticidas botânicos estão sendo incorporados no Manejo Integrado e no Manejo Ecológico de Pragas, sendo considerados mais seguros à saúde do homem e ao ambiente, que inseticidas químicos sintéticos. Esses compostos, geralmente contêm mistura de várias dezenas de substâncias bioativas que podem reduzir o potencial de resistência a pragas (Isman, 2006; Pavela, 2007). Além disso, representam uma alternativa de controle para a agricultura orgânica. No entanto, o volume de vendas limitado e o aumento de interesse nestes produtos mostram que novas substâncias devem ser investigadas para proteção de plantas (Isman et al., 2011; Pavela, 2011).

Especiarias são produtos de raízes, rizomas, bulbos, cascas, folhas, flores, frutos, sementes, talos de plantas, utilizadas para agregar sabor ou aroma aos alimentos e bebidas (ANVISA, 2005). Óleos essenciais (OE) podem ser de especiarias aromáticas usadas na indústria alimentícia, em fragrâncias na indústria de perfume e cosméticos. Essas substâncias são responsáveis pelo odor ou gosto característico de uma planta (Retta et al., 2012). Esses compostos são obtidos por hidro-destilação ou por arraste de vapor e o primeiro óleo essencial foi desenvolvido na Idade Média pelos árabes (Abad et al., 2007). A técnica de destilação para a obtenção de óleos essenciais foi usada pela primeira vez no Oriente (Egito, Índia e Pérsia) há mais de 2.000 anos e melhorada no século nove pelos árabes, sendo o primeiro relato escrito da destilação de um óleo essencial atribuída a Villanova (1235-1311) por um médico catalão (Clevenger et al.,

1928).

Óleos essenciais são misturas de compostos lipossolúveis, voláteis (baixo peso molecular), como monoterpenos, sesquiterpenos e fenilpropanóides, e com densidades geralmente menores do que pela a água (Rubiolo et al., 2010), facilmente se difundem através da membrana celular, o que facilita sua penetração e as interações com seu sítio de ação (Yegen et al., 1998). Além disso, a atividade de óleos essenciais favorecem interações sinérgicas entre seus componentes (Akhtar et al., 2012).

Óleos essenciais podem ser sintetizados por toda a planta, como, em brotos, flores, folhas, caules, galhos, sementes, frutos, raízes, madeira ou cascas, e, armazenados em células secretoras, cavidades, canais, células da epiderme ou em tricomas glandulares (Betts, 2001). Esses componentes majoritários, geralmente, determinam as propriedades biológicas desses produtos naturais (Pichersky et al., 2006). Os componentes dos óleos essenciais são de dois grupos de origem biossintética, o principal grupo de terpenos e terpenóides e o outro de constituintes aromáticos e alifáticos, caracterizados por baixo peso molecular (Pichersky et al., 2006), constituídos tanto por misturas complexas (hidrocarbonetos oxigenados ou mono e sesquiterpenos alifáticos, aromáticos, etc) quanto por substâncias simples como 1,8-cineol (alecrim, eucalipto), mentol (menta), carvacol (orégano), timol (tomilho), eugenol (cravo), etc. A maioria desses compostos vem, principalmente, de plantas de Lamiaceae (manjeriço, tomilho, etc.), Myrtaceae (murta, cravo, etc.), Piperaceae (pimenta-preta), Rutaceae (limão, laranja, etc.), Zingiberaceae (gengibre) sendo que as espécies conhecidas como especiarias aromáticas e são também conhecidas pelo uso comestível e medicinal (Pavela, 2005).

Óleos vegetais essenciais (ou seus constituintes) podem ter amplo espectro de ação e efeitos como deterrência alimentar, de oviposição, toxicidade e podendo atrair inimigos naturais (Isman et al., 2011; Akhtar et al., 2012), interagirem no sistema

nervoso de insetos, inibidorem a acetilcolinesterase e ou serem antagonista dos receptores de octopamina (Enan, 2001). Eles podem ser utilizados para proteção de cultivos (insetos e ácaros), na pós-colheita (pragas de produtos armazenados), como repelente de mosquitos e ácaros e no controle de pragas domésticas (baratas, formigas, pulgas, etc) (Nghoh et al., 1998; Isman, 2006; Paes et al., 2012).

Métodos de controle menos daninhos ao ambiente incluem inseticidas botânicos (Kumar et al., 2005; Pavela, 2011) e agentes de controle biológico (Pereira et al., 2010; Ribeiro et al., 2010). No entanto, pesticidas naturais pulverizados sobre plantas ou insetos-praga podem afetar o terceiro nível trófico em cultivos agrícolas ou florestais (Tavares et al., 2009, 2010). O controle inadequado de pragas pode reduzir a ação de inimigos naturais (Hidayani et al., 2005; Vianna et al., 2009; Crampton et al., 2010), os quais devem ser conservados em Programas de Manejo Integrado de Pragas (MIP), pela manipulação do ambiente e/ou uso de inseticidas seletivos (Duso et al., 2008). Estes inseticidas seletivos que devem ser mais tóxicos às pragas que aos inimigos naturais, descrita como seletividade fisiológica (O'Brien, 1960) ou minimizando a exposição do inimigo natural ao inseticida, seletividade ecológica (Ripper et al., 1951).

Os óleos essenciais na presente pesquisa são considerados eficazes para o controle de organismos-praga, que competem por recursos ou trazem malefícios ao bem estar do ser humano, como nematóides, bactérias, leveduras, fungos, mosquitos, pragas de grãos armazenados, insetos sugadores de seiva e outras espécies Lepidoptera (Chaiyasit et al., 2006; Souza et al., 2007; Castro et al., 2008; Jiang et al., 2009, 2012; González et al., 2010; Oliveira et al., 2011; Paes et al., 2012), são utilizados como condimentos na dieta humana e ou como fármacos e, por isso, considerados menos nocivos para humanos que a maioria dos inseticidas convencionais (Tunc et al., 2000). Além disso, esses produtos são facilmente biodegradáveis (Phillips & Throne, 2010). Mas, podem impor riscos organismos não-alvo, especialmente aos agentes de controle

biológico (Tavares et al., 2009; Kimbaris et al., 2010).

OBJETIVOS

Verificar o potencial de utilização de óleos essenciais de plantas utilizadas como condimentos na dieta humana para o controle de ovos, imaturos e pupas de *Anticarsia gemmatalis* Hubner e *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae).

Avaliar o impacto letal dos óleos essenciais ao predador, *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae), inimigo natural da lagarta-da-soja e da lagarta-do-cartucho-do-milho para estabelecer os índices de seletividade ($S_{LR_{90}}$) e de tolerância relativa ($T_{LR_{90}}$) entre o predador e suas presas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad M, Ansuategui M, Bermejo, P. 2007. Active antifungal substances from natural sources. *Arkivoc* 7:116–145.
- Akhtar YL, Pages E, Stevens A, Bradbury R, Camara CAG, Isman MB. 2012. Effect of chemical complexity of essential oils on feeding deterrence in larvae of the cabbage looper. *Physiol Entomol* 37:81–91.
- ANVISA. 2005. Regulamento técnico para especiarias, temperos e molhos. Resolução RDC nº 276. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasil, 04pp.
- Azuma H, Toyota M. 2012. Floral scent emission and new scent volatiles from *Acorus* (Acoraceae). *Biochem Syst Ecol* 41:55–61.
- Betts TJ. 2001. Chemical characterisation of the different types of volatile oil constituents by various solute retention ratios with the use of conventional and novel commercial gas chromatographic stationary phases. *J Chromatogr* 936:33–46.
- Castro MJP, Silva PHS, Pádua LEM. 2008. *Piper tuberculatum* Jacq. (Piperaceae) extract activity on *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). *Rev Ciênc Agron* 39:437–447.
- Chaiyasit D, Choochote W, Rattanachanpichai E, Chaithong U, Chaiwong P, Jitpakdi A, Tippawangkosol P, Riyong D, Pitasawat B. 2006. Essential oils as potential adulticides against two populations of *Aedes aegypti*, the laboratory and natural field strains, in Chiang Mai province, northern Thailand. *Parasitol Res* 99:715–721.
- Chariandy CM, Seaforth CE, Phelps RH, Pollard GV, Khambay BP. 1999. Screening of medicinal plants from Trinidad and Tobago for antimicrobial and insecticidal properties. *J Ethnopharmacol* 64:265–270.
- Clevenger JF. 1928. Apparatus for the determination of volatile oil. *J Am Pharm Assoc* 17:346–349

- Crampton LA, Loeb GM, Hoelmer KA, Hoffmann MP 2010. Effect of insecticide regimens on biological control of the tarnished plant bug, *Lygus lineolaris*, by *Peristenus* spp. in New York State apple orchards. *J Insect Sci* 10:1–13.
- Duso C, Malagnini V, Pozzebon A, Castagnoli M, Liguori M, Simoni S. 2008. Comparative toxicity of botanical and reduced-risk insecticides to Mediterranean populations of *Tetranychus urticae* and *Phytoseiulus persimilis* (Acari Tetranychidae, Phytoseiidae). *Biol Control* 47:16–21.
- Enan E. 2001. Insecticidal activity of essential oils: octopaminergic sites of action. *Comp Biochem Phys C* 130:325–337.
- González JOW, Gutiérrez MM, Murray AP, Ferrero AA. 2011. Composition and biological activity of essential oils from Labiatae against *Nezara viridula* (Hemiptera: Pentatomidae) soybean pest. *Pest Manag Sci* 67:948–955.
- Hidrayani P, Rauf A, Ridland PM, Hoffmann AA. 2005. Pesticide applications on Java potato fields are ineffective in controlling leafminers, and have antagonistic effects on natural enemies of leafminers. *Inter J Pest Manage* 51:181–187.
- Isman MB. 2006. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annu Rev Entomol* 51:45–66.
- Isman MB, Miresmailli S, Machial C. 2011. Commercial opportunities for pesticides based on plant essential oils in agriculture, industry and consumer products. *Phytochem Rev* 10:197–204.
- Jiang Z, Akhtar Y, Bradbury R, Zhang X, Isman MB 2009. Comparative toxicity of essential oils of *Litsea pungens* and *Litsea cubeba* and blends of their major constituents against the cabbage looper, *Trichoplusia ni*. *Journal of Agricultural and Food Chem* 57:4833–4837.

- Jiang ZL, Akhtar Y, Zhang X, Bradbury R, Isman MB. 2012. Insecticidal and feeding deterrent activities of essential oils in the cabbage looper, *Trichoplusia ni* (Lepidoptera: Noctuidae). *J Appl Entomol* 136:191–202.
- Kimbaris AC, Papachristos DP, Michaelakis A, Martinou AF, Polissiou MG. 2010. Toxicity of plant essential oil vapours to aphid pests and their coccinellid predators. *Biocontrol Sci Techn* 20:411–422.
- Kumar P, Poehling HM, Borgemeister C. 2005. Effects of different application methods of azadirachtin against sweetpotato whitefly *Bemisia tabaci* Gennadius (Hom., Aleyrodidae) on tomato plants. *J Appl Entomol* 129:489–497.
- Lenardis AE, Morvillo CM, Gil A, Fuente EB. 2011. Arthropod communities related to different mixtures of oil (*Glycine max* L. Merr.) and essential oil (*Artemisia annua* L.) crops. *Ind Crop Prod* 34:1340–1347.
- Ngoh SP, Hoo L, Pang FY, Huang Y, Kini MR, Ho SH. 1998. Insecticidal and repellent properties of nine volatile constituents of essential oils against the American cockroach, *Periplaneta americana* (L.). *Pestic Sci* 54:261–268.
- O'Brien RD. 1960. Toxic phosphorus esters. New York, Academic, 434pp.
- Oliveira RDL, Dhingra OD, Lima AO, Jham GN, Berhow MA, Holloway RK, Vaughn SF. 2011. Glucosinolate content and nematocidal activity of Brazilian wild mustard tissues against *Meloidogyne incognita* in tomato. *Plant Soil* 341:155–164.
- Paes JL, Faroni LR.D'A, Dhingra OD, Cecon PR, Silva TA. 2012. Insecticidal fumigant action of mustard essential oil against *Sitophilus zeamais* in maize grains. *Crop Prot* 34:56–58.
- Pavela R. 2005. Insecticidal activity of some essential oils against larva of *Spodoptera littoralis*. *Fitoterapia* 76:691–696.
- Pavela R. 2007. Possibilities of botanical insecticide exploitation in plant protection. *Pest Tech* 1:47–52.

- Pavela R. 2011. Insecticidal and repellent activity of selected essential oils against of the pollen beetle, *Meligethes aeneus* (Fabricius) adults. *Ind Crop Prod* 34:888–892.
- Pereira FF, Zanuncio JC, Serrão JE, Zanuncio TV, Pratisoli D, Pastori PL. 2010. The density of females of *Palmistichus elaeisis* Delvare and LaSalle (Hymenoptera: Eulophidae) affects their reproductive performance on pupae of *Bombyx mori* L. (Lepidoptera: Bombycidae). *An Acad Bras Ciênc* 82:323–231.
- Phillips TW, Throne JE. 2010. Biorational approaches to managing stored-product insects. *Annu Rev Entomol* 55:375–397.
- Pichersky E, Noel JP, Dudareva N. 2006. Biosynthesis of plant volatiles: nature's diversity and ingenuity. *Science* 311:808–811.
- Retta D, Dellacassa E, Villamil J, Suárez SA, Bandoni AL. 2012. Marcela, a promising medicinal and aromatic plant from Latin America: A review. *Ind Crop Prod* 38:27–38.
- Ribeiro RC, Lemos WP, Bernardino AS, Buecke J, Müller AA. 2010. Primeira ocorrência de *Alcaeorrhynchus grandis* (Dallas) (Hemiptera: Pentatomidae) predando lagartas desfolhadoras do dendezeiro no Estado do Pará. *Neotrop Entomol* 39:131–132.
- Ripper WE, Greenslade RM, Hartley GS. 1951. Selective insecticides and biological control. *J Econ Entomol* 44:448–449.
- Rubiolo P, Gorbini B, Liberto SE, Cordero C, Bicchi C. 2010. Essential oils and volatiles: sample preparation and analysis. A review. *Flavour Frag J* 25:282–290.
- Souza EL, Stamford TLM, Lima EO, Trajano VN. 2007. Effectiveness of *Origanum vulgare* L. essential oil to inhibit the growth of food spoiling yeasts. *Food Control* 18:409–413.
- Tavares WS, Cruz I, Petacci F, Assis Júnior SL, Freitas SS, Zanuncio JC, Serrão JE. 2009. 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). *Ind Crop Prod* 30:384–388.
- Tavares WS, Cruz I, Fonseca FG, Gouveia NL, Serrão JE, Zanuncio JC. 2010. Deleterious activity of natural products on postures of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Z Naturforsch C* 65:412–418.
- Tunc I, Berger BM, Erler F, Dagli F. 2000. Ovicidal activity of essential oils from five plants against two stored-product insects. *J Stored Prod Res* 36:161–168.
- Vianna UR, Pratisoli D, Zanuncio JC, Lima ER, Brunner J, Pereira FF, Serrão JE. 2009. Insecticide toxicity to *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) females and effect on descendant generation. *Ecotoxicology* 18:180–186.
- Yegen O, Unlu A, Berger BM. 1998. Einsatz und Nebenwirkungen auf bodenmikrobielle Aktivitäten des ätherischen Ols aus *Thymbra spicata* bei der Bekämpfung der Wurzelhalskrankheit an Paprika *Phytophthora capsici*. *Z Pflanzen Pflanzensch* 105:602–610.
- Zoubiri S, Baaliouamer A. 2011. Chemical composition and insecticidal properties of some aromatic herbs essential oils from Algeria. *Food Chem* 129:179–182.

1º ARTIGO

**PROPRIEDADES INSETICIDAS DE DEZ ÓLEOS ESSENCIAIS SOBRE
OVOS, LAGARTAS E PUPAS DE *Anticarsia gemmatalis* E *Spodoptera frugiperda*
(LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)**

Propriedades inseticidas de dez óleos essenciais sobre ovos, lagartas e pupas de *Anticarsia gemmatalis* e *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)

RESUMO Biopesticidas podem ser utilizados no controle de pragas, especialmente, devido ao baixo nível de poluição e menor risco para humanos comparado aos produtos químicos sintéticos. O objetivo foi avaliar o efeito inseticida de óleos essenciais de dez plantas condimentares sobre ovos, lagartas e pupas de dois importantes lepidópteros desfolhadores, *Anticarsia gemmatalis* Hüebner e *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Anticarsia gemmatalis* foi mais sensível aos óleos essenciais que *S. frugiperda*. Os óleos essenciais de tomilho ($CL_{90}= 0,23$) e o de menta ($CL_{90} = 1,36$) foram mais tóxicos aos ovos de *S. frugiperda* e o óleo essencial de alho para *A. gemmatalis* ($CL_{90}= 1,35$) e de *S. frugiperda*, ($CL_{90} = 1,13$) e o emulsionável de nim para *A. gemmatalis* ($CL_{90}= 1,98$) e de *S. frugiperda* ($CL_{90}= 0,92$) foram tóxicos aos ovos de ambas as espécies de Lepidoptera. Os menores valores de CL_{90} para lagartas de terceiro estágio de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda* foram obtidos com os óleos essenciais de alho ($CL_{90}= 11,24$ e $CL_{90}= 17,36$), canela ($CL_{90}= 15,19$ e $CL_{90}= 46,19$), cravo ($CL_{90}= 45,19$ e $CL_{90}= 74,92$) e orégano ($CL_{90}= 20,59$ e $CL_{90}= 112,24$) (respectivamente). A susceptibilidade de pupas desses lepidópteros foi semelhante entre óleos essenciais de alho, canela, gengibre, laranja, mostarda, menta, orégano e tomilho. A toxicidade relativa (T_{XR50}) mostra que os óleos essenciais de alho (*Allium sativum*), canela (*Cinnamomum zeylanicum*) e tomilho (*Thymus vulgaris*) tem potencial como inseticidas botânicos combinados ou utilizados em sequencia para o controle dos indivíduos das diversas fases de desenvolvimento de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda*.

PALAVRAS-CHAVE Controle alternativo, lagarta-da-soja, lagarta-do-cartucho-do-milho, Manejo Integrado de Pragas, monoterpenos, óleo emulsionável de nim

INTRODUÇÃO

Anticarsia gemmatalis Hubner e *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), duas das principais desfolhadoras em cultivos de oleaginosas e cereais nas Américas (Pitta et al., 2010), podem causar desfolhas extremas (Walker et al., 2000) e apresentam ampla distribuição geográfica, da região central dos Estados Unidos à Argentina e em algumas ilhas da Índia (Riffel et al., 2012). No Brasil, essas espécies-praga ocorrem durante todo o ano, especialmente, nas fases de desenvolvimento vegetativo das culturas, tornando muitas vezes necessárias aplicações, de inseticidas sintéticos (Navickiene et al., 2007; Panizzi, 2013). O uso exagerado de inseticidas sintéticos implica em riscos ecológicos, toxicológicos e eleva os custos de produção (Youssef et al., 2004; Hegazi et al., 2007) e, por isso, controles alternativos tem sido estudados (De Nardo et al., 2001).

Inseticidas botânicos estão sendo incorporados ao Manejo Integrado e ao Manejo Ecológico de Pragas, considerados mais seguros à saúde do homem e ao ambiente do que os inseticidas químicos sintéticos (Isman, 2006; Chiffelle et al., 2013). Esses compostos geralmente contêm mistura de várias dezenas de substâncias bioativas que podem reduzir o potencial de resistência de pragas (Isman, 2006; Pavela, 2007). O interesse nestes produtos tem aumentado a busca por substâncias naturais para proteção de plantas (Isman et al., 2011). Além disso, a utilização de produtos naturais representa a única alternativa de controle curativo para os agricultores orgânicos (Pavela, 2011).

O uso e o interesse por compostos alternativos para o controle de pragas destacam substâncias do metabolismo secundário, conhecidos como óleos essenciais, capazes de matar ou repelir insetos (Huerta et al., 2010). Esses óleos são constituídos por misturas complexas (hidrocarbonetos oxigenados ou mono e sesquiterpenos alifáticos, aromáticos, etc) de compostos majoritários como 1,8-cineol (alecrim, eucalipto), mentol (menta), carvacol (orégano), timol (tomilho), eugenol (cravo e

canela), etc. (Pavela, 2007). Geralmente, seus componentes majoritários atuam em sinergismo com outras substâncias em menores quantidades e são determinantes para se definir as propriedades biológicas dos óleos essenciais (Bakkali et al., 2008).

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o potencial de óleos essenciais de plantas condimentares para o controle de ovos, lagartas e pupas de *A. gemmatalis* e *S. frugiperda* e comparar a toxicidade dos mesmos, com aqueles de dois produtos comerciais utilizados na agricultura.

MATERIAL E MÉTODOS

Local de condução dos experimentos

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Controle Biológico de Insetos (LCBI) do Instituto de Biotecnologia Aplicada à Agropecuária (BIOAGRO) da Universidade Federal de Viçosa (UFV) em Viçosa, Estado de Minas Gerais, Brasil.

Criação das espécies-praga

Indivíduos de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda* foram provenientes da criação massal do LCBI onde, na fase adulta, foram mantidos em gaiolas de madeira (30 x 30 x 30 cm) com as laterais teladas, recobertas com papel e com tampa de vidro em sala climatizada (temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$, $70 \pm 10\%$ de UR e 12 horas de fotofase), as lagartas foram alimentadas com solução nutritiva embebida em algodão no fundo das gaiolas. A cada dois dias, os papéis contendo posturas de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda* foram retirados, cortados em tiras (2,5 x 10 cm), transferidos para potes plásticos de 1000 mL com dieta artificial (Greene et al., 1976) em cubos de 15 x 15 x 15 cm para as lagartas recém-eclodidas. Um dia após mudar para o terceiro estágio imaturo, as lagartas de *S. frugiperda* foram individualizadas em potes transparentes de 50 mL com dieta “*ad libitum*”, até a pupação. Grupos de vinte lagartas de *A. gemmatalis*

foram acondicionados em potes plásticos até a pupação e a quantidade de dieta artificial oferecida por pote às lagartas aumentou, proporcionalmente, com o desenvolvimento das mesmas. A reposição desse alimento e a assepsia dos potes foram realizadas a cada 48 horas.

Obtenção dos óleos botânicos

Os óleos essenciais de alho, canela, cravo, gengibre, laranja, menta, orégano, pimenta-do-reino e tomilho foram adquiridos das empresas Viessence Comércio de Produtos Naturais Ltda (Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil) e Ferquima Indústria e Comércio Ltda (Vargem Grande Paulista – São Paulo, Brasil), extraídos em escala industrial por hidrodestilação e arraste de vapor de água (Dapkevicius et al., 1998; Santos et al., 2004). O óleo essencial sintético de mostarda, de uso na indústria alimentícia, foi fornecido pela empresa Marie Química Fina (Itaquaquecetuba, São Paulo, Brasil).

Bioensaios

Ovos

Ovos de *A. gemmatilis* e de *S. frugiperda* com até 48 horas de idade foram aderidos em pedaços de papel (15 x 5 cm) em forma de cartela e acondicionados em placas de Petri (12 x 1,5 cm). Cinquenta microlitros de cada produto (Tabela 1) nas concentrações de 1, 5, 10, 15 e 20% (v/v) (testadas até a mortalidade de 100% dos indivíduos) e o controle (etanol) foram aplicados com micropipeta de precisão sobre as cartelas, em um total de cinco cartelas, com 20 ovos de *A. gemmatilis* e 20 de *S. frugiperda* por repetição (cartelas). As cartelas tratadas com óleos ou não foram deixadas secar em papel toalha ao ar livre por 10 minutos, para evaporação do solvente e mantidos em câmaras tipo B.O.D. (temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$, $70 \pm 10\%$ de UR e 12

horas de fotofase). A eclosão das lagartas ou a mortalidade dos ovos foram avaliadas diariamente por cinco dias (Tavares et al., 2010).

Lagartas

Folhas de soja, *Glycine max* (L.) Merrill (Fabaceae) e de milho *Zea mays* L. (Poaceae) foram coletadas no campo experimental da Universidade Federal de Viçosa (UFV), das quais discos com 10,25 cm² foram retirados, e imersos por cinco segundos, em cinco mililitros de caldas contendo os produtos (Tabela 1) nas concentrações de 1, 5, 10, 15 e 20% (v/v) (testadas até a mortalidade de 100% dos indivíduos) e no controle (etanol), deixados secar em papel toalha ao ar livre por 10 minutos, e oferecidos às lagartas de terceiro estágio de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda* (criados até essa fase em dieta artificial) e mantidos em B.O.D. (temperatura de 25 ± 1°C, 70 ± 10% de UR e 12 horas de fotofase). Esses discos foram trocados por novos contaminados para os indivíduos sobreviventes após 24 horas do início dos experimentos. Cada concentração foi repetida por quatro vezes, com dez lagartas da lagarta-da-soja e da lagarta-do-cartucho-do-milho. A mortalidade das lagartas foi registrada após 48 horas do início dos experimentos (Uçkan & Sak, 2010).

Pupas

Pupas de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda*, com até 48 horas de idade, foram imersas por cinco segundos em cinco mL das caldas com concentrações de 1, 5, 10, 15 e 20% (v/v) dos produtos (Tabela 1) ou etanol (controle) (concentrações testadas até a mortalidade de 100% dos indivíduos), deixadas secar em papel toalha ao ar livre por 10 minutos e colocadas em B.O.D. (temperatura de 25 ± 1 °C, 70 ± 10 % de UR e 12 horas de fotofase). Cada concentração foi repetida por três vezes, num total de 30 pupas contaminadas por concentração, perfazendo o mínimo de 150 pupas por óleo essencial. A emergência dos adultos foi avaliada, diariamente, por 15 dias (Pineda et al., 2004;

Ruiz-Sánchez et al., 2010).

O controle negativo foi analisado pela exposição ao solvente (98% de etanol) e o controle positivo com dois inseticidas comerciais utilizados na agricultura, o óleo emulsionável de nim (Azamax[®]) e o químico sintético deltametrina (Keshet 25 CE[®]). As diluições desses produtos foram baseadas em doses recomendadas para o controle em campo do minador-dos-citros, [*Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae)] e da lagarta-da-soja (*A. gemmatalis*).

Toxicidade e tolerância relativa

Os índices de toxicidade relativa ($T_xR_{50} = CL_{50}$ do tratamento de interesse/ CL_{50} do produto químico sintético) e tolerância relativa ($T_LR_{50} = CL_{50}$ da espécie-praga mais tolerante/ CL_{50} espécie-praga mais susceptível) entre lagartas de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda* foram calculados para se mensurar a toxicidade do produto químico sintético (deltametrina) em relação aos óleos essenciais e verificar a suscetibilidade entre as espécies-praga, respectivamente (Moura et al., 2000; Bacci et al., 2001).

Análise estatística

Os experimentos foram realizados em delineamento de blocos casualizados, com 13 tratamentos [dez óleos essenciais, dois produtos comerciais e etanol (testemunha)]. A mortalidade de ovos, lagartas e pupas de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda* foram corrigidas pelo método de Abbott (Abbott, 1925). Os valores de CL_{50} e CL_{90} e os intervalos de confiança com 95% de probabilidade foram calculados com a análise de Probit (Finney, 1971), utilizando-se o Proc Probit do SAS (SAS Institute, 1997). A toxicidade entre os tratamentos e a susceptibilidade entre as espécies-praga foram considerados diferentes quando não houve sobreposição nos intervalos de confiança dos valores de CL_{90} .

RESULTADOS

A mortalidade de ovos, lagartas e pupas de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda* aumentou com a concentração dos dez óleos essenciais de condimentos. Indivíduos nos diversos estágios de *S. frugiperda* foram mais tolerantes às concentrações dos óleos do que os de *A. gemmatalis*, como demonstrado pelos dos valores de tolerância relativa ($T_{LR_{50}}$) (Tabelas 2-4).

O óleo essencial de tomilho com $CL_{50}= 0,05$ (0,04 - 0,06) e $CL_{90}= 0,23$ (0,18 - 0,34) apresentou o maior impacto sobre ovos de *S. frugiperda*, sendo 2,20 vezes mais tóxico que o produto químico sintético deltametrina (Tabela 2). O óleo essencial de alho para *A. gemmatalis* apresentou $CL_{50}= 0,06$ (0,03 - 0,16) e $CL_{90}= 1,35$ (0,86 - 2,26) e em *S. frugiperda* obteve $CL_{50}= 0,13$ (0,10 - 0,17) e $CL_{90}= 1,13$ (0,82 - 1,72) e o emulsionável de *Azadirachta indica* em *A. gemmatalis* apresentou $CL_{50}= 0,17$ (0,07 - 0,80) e $CL_{90}= 1,98$ (1,02 - 4,74) e em *S. frugiperda* [$CL_{50}= 0,21$ (0,17 - 0,27) e $CL_{90}= 0,92$ (0,67 - 1,41)], essas substâncias naturais foram mais tóxicas para posturas de ambas as espécies de Lepidoptera. Porém, o óleo essencial de menta se mostrou tóxico somente aos ovos de *S. frugiperda* com $CL_{50}= 0,06$ (0,03 - 0,10) e $CL_{90}= 1,36$ (0,80 - 3,03). Esses produtos naturais mostraram valores de CL_{90} semelhantes ao da deltametrina (Tabela 2).

Lagartas e pupas de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda* à deltametrina com valores de $T_{xR_{50}}$ de 5,40 a 14.570,00 vezes mais tóxico que os de óleos essenciais. O óleo emulsionável de nim foi o produto natural mais tóxico para lagartas de *A. gemmatalis* com $CL_{50}= 0,12$ (0,07 - 0,29) e $CL_{90}= 1,11$ (0,88 - 1,38) e de *S. frugiperda* com $CL_{50}= 0,27$ (0,16 - 0,39) e $CL_{90}= 3,25$ (1,75 - 11,35), e pupas de *A. gemmatalis* com $CL_{50}= 0,08$ (0,058 - 0,11) e $CL_{90}= 0,27$ (0,20 - 0,45) e *S. frugiperda* com $CL_{50}= 0,11$ (0,07 - 0,15) e $CL_{90}= 0,54$ (0,37 - 1,02) (Tabelas 3 e 4).

Os óleos essenciais de alho para *A. gemmatalis* ($CL_{50}= 4,13$ (1,05 - 5,59) e

CL₉₀= 11,24 (8,20 - 19,61) e *S. frugiperda* CL₅₀= 4,58 (3,39 - 6,02) e CL₉₀= 17,36 (11,78 - 34,79), de canela para *A. gemmatalis* CL₅₀= 5,33 (0,92 - 11,65) e CL₉₀= 15,19 (12,98 - 21,22) e *S. frugiperda* com CL₅₀= 11,75 (8,82 - 15,31) e CL₉₀= 46,19 (32,60 - 78,38), de cravo para *A. gemmatalis* com CL₅₀= 14,50 (11,42 - 18,61) e CL₉₀= 45,19 (31,09 - 75,08) e para *S. frugiperda* com CL₅₀= 24,44 (19,63 - 29,66) e CL₉₀= 74,92 (59,21 - 103,06) e de orégano para *A. gemmatalis* para CL₅₀= 5,44 (3,99- 8,96) e CL₉₀=20,59 (12,45 - 39,43) e *S. frugiperda* com CL₅₀= 25,62 (17,87 - 33,77) e CL₉₀= 112,24 (84,04 - 167,29) foram os inseticidas botânicos mais tóxicos em lagartas desses lepidópteros (Tabela 3).

Pupas de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda* apresentaram susceptibilidades semelhantes aos óleos essenciais de alho, canela, gengibre, laranja, mostarda, menta, orégano e tomilho, porém esses óleos essenciais foram menos tóxicos que a deltametrina (Tabela 4).

DISCUSSÃO

A atividade tóxica dos dez óleos essenciais contra os lepidópteros desfolhadores, *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda*, variou com as fases de desenvolvimento e a susceptibilidade de cada espécie. Ovos, lagartas e pupas de *S. frugiperda*, na maioria dos tratamentos, foram mais tolerantes que aqueles de *A. gemmatalis*, possivelmente devido a diferenças no tamanho, taxa de percepção de vapores tóxicos ou por mecanismos de desintoxicação entre essas espécies (Kimbaris et al., 2010).

A maior eficiência do óleo essencial de alho para ovos, lagartas e pupas de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda* entre os produtos naturais, com toxicidade semelhante a da deltametrina aos ovos dessas pragas, destaca a atividade inseticida desse óleo essencial, como descritos em relatos de toxicidade de extratos de alho para fêmeas de *Tetranychus urticae* Koch, (Acari: Tetranychidae), com CL₅₀ e CL₉₀ de 7,49 e 13,5

mg/L, respectivamente (Attia et al., 2012). Isto tem sido atribuído presença de sulfetos desse óleo (Liu et al., 1998), mas sua atividade inseticida está relacionada, também, a compostos derivados (Lawson et al., 1991), com o metil alil dissulfeto (4%) e metil alil trissulfeto (10%). Imaturos e adultos de *Delia radicum* (L.) (Diptera: Anthomyiidae) e *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae) foram susceptíveis a esses compostos, os quais inibem a acetilcolinesterase (Prowse et al., 2006), enzima chave na transmissão de impulsos nervosos (Bahatnagar-Thomas & Pal, 1974). A atividade toxicológica do extrato e do óleo essencial de alho está, também, relacionada à presença dos grupos de dialil ($\text{CH}_2\text{-CHCH}_2$), como o dialil dissulfeto (40%), dialil trissulfeto (30%) e dialil sulfeto (8%), componentes majoritários do óleo utilizado (Casella et al., 2013) que apresentam um gradiente de atividade biológica na ordem de dialil-tetrassulfeto > dialil-trissulfeto > dialil-dissulfeto > dialil-sulfeto (Shyh-Ming & Mei-Chin, 2001). A ausência desse grupo dialil na estrutura de sulfuretos implica na falta de atividade antimicrobiana deste contra as bactérias *Pseudomonas aeruginosa* (Pseudomonadaceae), *Staphylococcus aureus* (Staphylococcaceae) e *Escherichia coli* (Enterobacteriaceae) (Casella et al., 2013).

A maior toxicidade dos óleos essenciais de orégano e tomilho contra ovos e lagartas de terceiro estágio de *A. gemmatilis* e de *S. frugiperda*, reforça o fato deste último óleo ter sido, também, o mais eficiente contra lagartas de terceiro estágio de *Trichoplusia ni* (Lepidoptera: Noctuidae) com $\text{LC}_{50} = 4,8 \text{ mg/mL}$ (4,5 - 5,2) (Jiang et al., 2012), tóxico as larvas e adultos de *M. domestica* por contato com $\text{DL}_{50} = 18 \text{ } \mu\text{g/mosca}$ e com ação fumegante com $\text{DL}_{50} = 8,5 \text{ } \mu\text{g /cm}^2$ (Pavela, 2008). O timol (50%) e o carvacrol (70%) componentes majoritários dos óleos essenciais de tomilho e orégano, são monoterpenos metabolizados a partir de γ -terpineno e p-cimeno, normalmente, compostos minoritários. O timol e o carvacrol, purificados e utilizados a 2 % (v/v), causaram mortalidade de 85,0 a 97,5% de larvas de *Alphitobius diaperinus* Panzer

(Coleoptera: Tenebrionidae) e apresentaram elevada ação sobre ovos, ninfas e fêmeas de *Amblyomma cajennense* (Fabricius) e *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Canestrini) (Acari: Ixodidae) (Rozman et al., 2007; Mendes et al., 2011; Cruz et al., 2013). O carvacol é um isômero de posição do tomilho, com diferenças apenas nas posições no grupo hidroxila inserido no anel aromático (Tasdemir et al., 2006), sendo que, essas substâncias de posições diferentes afetaram de forma semelhante lagartas e pupas com dois dias de idade de *A. gemmatalis* e *S. frugiperda*. De modo semelhante, esses compostos mostraram atividade inseticida semelhante contra larvas de *Ochlerotatus caspius* e *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae) (Traboulsi et al., 2002; Knio et al., 2008). No entanto, o efeito dessas substâncias sobre insetos pode variar (Carvalho et al., 2003), pois o óleo essencial de tomilho foi mais tóxico aos ovos de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda* que o de orégano. Esses óleos essenciais (tomilho e orégano) apresentam efeito antimicrobiano a partir do monoterpeneo, p-cimeno, com efeito sinérgico entre os demais componentes (Paster et al., 1995). Esses compostos podem provocar interações sinérgicas, aditivas ou antagônicas (Chorianopoulos et al., 2004), como o p-cimeno sem efeito antibacteriano quando sozinho e apresentando sinergismo entre os dois e/ou os três quando combinado com o carvacrol ou timol (Silva et al., 2008), como observado para a menor sobrevivência de adultos de *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae) após exposição ao carvacrol, timol e p-cimeno, simultaneamente (Regnault-Roger & Hamraoui, 1995).

A alta toxicidade de óleos de canela e cravo para lagartas e pupas de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda* está, provavelmente, relacionada ao eugenol, um composto fenólico altamente volátil, abundante em ambos os óleos essenciais e com grande potencial inseticida, deterrente alimentar e repelente de oviposição (Jayaprakasha & Rao, 2011; Akhtar et al., 2012). Os óleos essenciais dessas plantas apresentaram elevada atividade inseticida contra lagartas de *Spodoptera litura* (Fab.)

(Lepidoptera: Noctuidae) (Birah et al., 2010) e *T. ni* (Akhtar et al., 2012). Os compostos minoritários dos óleos essenciais de cravo e canela como o cariofileno e seus derivados (β -cariofileno) estão entre as substâncias mais abundantes do óleo essencial de *Psoralea corylifolia* L. (Fabaceae), o qual se mostrou potente contra larvas ($LC_{90} = 99,02 \pm 16,63$ ppm) e adultos ($LC_{90} = 0,109 \pm 0,014$ mg/cm²) de *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae) (Dua et al., 2013). β -cariofileno, segundo componente dos óleos essenciais de *S. aromaticum* (cravo) e de *Pistacia lentiscus* (Anacardiaceae), foi eficiente contra lagartas e pupas de *A. gemmatalis* e *S. frugiperda* e apresentou forte efeito fumegante contra adultos de *Ectomyelois ceratoniae* Zeller com $CL_{95} = 323.63$ μ L/L ar (155,90 - 849,77) e de *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae), com $CL_{95} = 114,09$ μ L/L ar (69,20 - 442,04) (Bachrouch et al., 2010), respectivamente, além de ser responsável pelo efeito larvicida contra *Aedes aegypti*, *Anopheles stephensi* e *Cx. quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae) (Dharmagadda et al., 2005). Misturas de compostos químicos majoritários e minoritários com atividade biológica nos óleos essenciais ou extratos botânicos podem ser mais eficazes que um único composto ativo, devido à sinergia, que reduz as chances das pragas desenvolverem resistência (Maurya et al., 2007).

A maior eficiência do óleo emulsionável de nim, especialmente contra ovos e pupas de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda*, foi demonstrada pelo efeito tóxico semelhante aos ovos dessas pragas tratadas com o produto químico sintético de deltametrina. Por isto, podem ser recomendados para o controle em campo dessas pragas, o que ratifica o potencial inseticida dos produtos com azadirachtina contra desfolhadoras como *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), *T. ni*, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) e *Streblote panda* Hübner (Lepidoptera: Lasiocampidae) (Calvo & Molina, 2003; Charleston et al., 2006; Montes-Molina et al., 2008; Brunherotto et al., 2010, Ahmad et

al., 2012). O tetraterpenóide, azadirachtina, componente com maior atividade biológica em produtos a base de nim tem efeito primário de regulador de crescimento de insetos (Isman, 1997; Sidhu et al., 2004), o que pode ter impossibilitado a eclosão de lagartas e a emergência de adultos de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda*.

A atividade ovicida dos óleos essenciais de alho, tomilho, menta e do emulsiónavel de nim se deve a compostos como sulfetos e seus derivados, timol, mentol e a azadiractina, capazes de interromper o desenvolvimento do embrião e reduzir a sobrevivência e a eclosão de lagartas (Santos et al., 2012). Além disso, foram os mais eficientes contra ovos de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda* pela maior facilidade de difusão através da quitina, o que se deve ao maior contato com o sitio de ação e bloqueando o processo de incubação e ruptura do córion dos ovos (Moreira et al., 2007). Ovos de *S. frugiperda* apresentaram susceptibilidade semelhantes ao óleo essencial de menta e ao produto químico sintético de deltametrina, confirmando a ação inseticida desse óleo, como relatado para insetos vetores (Kumar et al., 2011), devido a presença de monoterpenos, mentol (55%), mentona (25%) e acetato de mentilo (10%). O composto majoritário (mentol) está registrado nos EUA para o controle de *Acarapis woodi* (Rennie) (Acari: Tarsonemidae), que obstrui a traquéia das abelhas (Ellis & Baxendale, 1997) e também causa mortalidade de, pelo menos, 65% dos ovos de *Tribolium confusum* Jacquelin du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) e *E. kuehniella* na concentração de 184,8 mg/L ar (Erler, 2005), além de ter reduzido a viabilidade dos ovos de *Triatoma infestans* (Klug) (Hemiptera: Reduviidae) (Sainz et al., 2013).

Os óleos essenciais de alho, canela, gengibre, laranja, mostarda, orégano e tomilho foram mais tóxicos para pupas das espécies-praga, semelhante ao efeito pupicida do óleo essencial de menta (*M. piperita*) que, após seis dias de exposição por contato com 2,01 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$, inibiu em 54 a 100% a formação de pupas de *M. domestica* e em 100% por fumigação em várias concentrações (Kumar et al., 2012). A mortalidade

das pupas de *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) foi de 95% após 38,70 horas ou da exposição ao óleo essencial de mostarda na concentração de 1,25 mL/L⁻¹ (Paes et al., 2012). Esse óleo apresenta o isotiocianato alilo (ITCA) como componente majoritário, altamente volátil e com densidade de vapor 3,4 vezes superior a do ar (Demirel et al., 2009). A exposição de pupas de *S. zeamais* ao ITCA causou alta mortalidade e malformação dos adultos sobreviventes, sugerindo que mono-isotiocianatos possam, também, afetar o crescimento e desenvolvimento de insetos (Santos et al., 2011), semelhante ao encontrado com pupas de *A. gemmatalis* e *S. frugiperda*. Componentes do óleo essencial de mostarda e de outras plantas mostram efeito inibidor do crescimento (Regnault-Roger et al., 2004; Malik et al., 2007), incluindo o aumento nos estágios larval e pupal, inibição da muda, anormalidades morfológicas em pupas e mortalidade, especialmente, durante a muda (Kumar et al., 2011; Santos et al., 2011).

A toxicidade dos óleos essenciais de alho, canela, cravo, gengibre, laranja, menta, mostarda, orégano, tomilho e o óleo emulsionável de nim a, pelo menos, um dos estágios de vida de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda* confirma a toxicidade de óleos essenciais de plantas aromáticas para diferentes fases de diferentes espécies da vida de Lepidoptera (Ayvaz et al., 2009, 2010; Karaborklu et al., 2011). O óleo essencial de manjeto controlou adultos de *E. kuehniella*, mas teve efeito ovicida incipiente comparado à eficiência do óleo essencial de laranja (Ayvaz et al., 2009). Lagartas de *E. kuehniella* foram mais tolerantes que ovos desse Lepidoptera aos óleos essenciais com até 96 horas ou da exposição (Erler, 2005). Assim, os óleos essenciais podem ser usados combinados ou sequencialmente, com outros mais tóxicos em determinada fase de vida do inseto (Negahban et al., 2007).

A atividade inseticida dos óleos essenciais pode ser devida, também, a presença de monoterpenos, mesmo em menores concentrações (Isman, 2006; Bakkaliet al.,

2008). Entretanto, o modo de ação primária de muitos monoterpenos é pouco conhecido, embora possam ter efeitos neurotóxicos contra pragas, como inibidores competitivos da acetilcolinesterase, colinesterase, receptores de octopamina, tiramina e redutores de níveis de Ca^{2+} (Enan, 2001, 2005,a,b; Kostyukovsky et al., 2002). A insensibilidade de acetilcolinesterase é uma das principais causas de resistência aos inseticidas em lepidópteros, especialmente para a lagarta-da-soja e da lagarta-do-cartucho-do-milho (Ahmad & Arif, 2010), além de a desintoxicação metabólica por monooxigenases dependentes do citocromo P450, esterases ou glutatona S-transferases e / ou sitio de ação alterado (Kranthi et al., 2001).

Os óleos essenciais de alho, canela e tomilho apresentam potencial de serem em cultivos agroecológicos, para o controle em conjunto de ovos, lagartas e pupas de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda*.

AGRADECIMENTOS

Ao “Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)”, “Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)” e “Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG)”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbott WS. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J Econ Entomol* 18:265–2267.
- Ahmad N, Ansari MS, Hasan F. 2012. Effects of neem based insecticides on *Plutella xylostella* (Linn.). *Crop Prot* 34:18–24.
- Ahmad M, Arif MI. 2010. Resistance of beet armyworm *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) to endosulfan, organophosphorus and pyrethroid insecticides in Pakistan. *Crop Prot* 29:1428–1433.
- Akhtar YL, Pages E, Stevens A, Bradbury R, Camara CAG, Isman MB. 2012. Effect of chemical complexity of essential oils on feeding deterrence in larvae of the cabbage looper. *Physiol Entomol* 37:81–91.
- Attia S, Grissa KL, Mailleux AC, Lognay G, Heuskin S, Mayoufi S, Hance T. 2012. Effective concentrations of garlic distillate (*Allium sativum*) for the control of *Tetranychus urticae* (Tetranychidae). *J Appl Entomol* 136:302–312.
- Ayvaz A, Karaborklu S, Sagdic O. 2009. Fumigant toxicity of five essential oils against the eggs of *Ephestia kuehniella* Zeller and *Plodia interpunctella* (Hubner) (Lepidoptera: Pyralidae). *Asian J Chem* 21:596–604.
- Ayvaz A, Sagdic O, Karaborklu S, Ozturk I. 2010. Insecticidal activity of the essential oils from different plants against three stored product insects. *J Insect Sci* 10:1-13.
- Bacci L, Picanço MC, Gusmão MR, Crespo ALB, Pereira EJG. 2001. Seletividade de Inseticidas a *Brevicoryne brassicae* (L.) (Hemiptera: Aphididae) e ao predador *Doru luteipes* (Scudder) (Dermaptera: Forficulidae). *Neotrop Entomol* 30:707–713.
- Bachrouch O, Jemâa JMB, Wissem AW, Talou T, Marzouk B, Abderraba M. 2010. Composition and insecticidal activity of essential oil from *Pistacia lentiscus* L. against *Ectomyelois ceratoniae* Zeller and *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae). *J Stored Prod* 46:242–247.

- Bahatnagar-Thomasm PL, Pal AK. 1974. Studies on the insecticidal activity of garlic oil. Mode of action of the oil as pesticide in *Musca domestica* nebulosa Fabr and *Trogoderma granarium* Everts. J Food Sci Technol 11:153–158.
- Bakkali F, Averbeck S, Averbeck D, Idaomar M. 2008. Biological effects of essential oils--a review. Food Chem Toxicol 46:446–75.
- Birah A, Sharma TVRS, Singh S, Srivastava RC. 2010. Effect of aqueous leaf extract of cloves (*Syzygium aromaticum*) on growth and development of tobacco caterpillar (*Spodoptera litura*). Indian J Agr Sci 80:534–537.
- Brunherotto R, Vendramim JD, Goriani MA. 2010. Efeito de genótipos de tomateiro e de extratos aquosos de folhas de *Melia azedarach* e de sementes de *Azadirachta indica* sobre *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). Neotrop Entomol 39:784–791.
- Calvo D, Molina JM. 2003. Effects of a commercial neem (*Azadirachta indica*) extract on *Streblote panda* larvae. Phytoparasitica 31:365–370.
- Carvalho AFU, Melo VMM, Craveiro AA, Machado MIL, Bantim MB, Rabelo EF. 2003. Larvacidal activity of the essential oil from *Lippia sidoides* cham. against *Aedes aegypti* L. Mem I Oswaldo Cruz 98:569–571.
- Casella S, Leonardi M, Melai B, Fratini F, Pistelli L. 2013. The role of diallyl sulfides and dipropyl sulfides in the in vitro antimicrobial activity of the essential oil of garlic, *Allium sativum* L., and leek, *Allium porrum* L. Phytother Res 27:380–383.
- Charleston DS, Kfir R, Dicke M, Vet LEM. 2006. Impact of botanical extracts derived from *Melia azedarach* and *Azadirachta indica* on populations of *Plutella xylostella* and its natural enemies: A field test of laboratory findings. Biol Control 39:105–114.

- Chiffelle I, Huerta A, Celis M, Arayac JE. 2013. Proximal analysis and insecticidal effects of extracts from pepper tree (*Schinus molle*) leaves on elm leaf beetle (*Xanthogaleruca luteola*) larvae. *Ind Crops Prod* 43:523–528.
- Chorianopoulos N, Kalpoutzakis E, Aligiannis N, Mitaku S, Nychas GJ, Haroutounian SA. 2004. Essential oils of satureja, origanum, and thymus species: chemical composition and antibacterial activities against foodborne pathogens. *J Agr Food Chem* 52:8261–8267.
- Cruz EM, Costa-Junior LM, Pinto JA, Santos DD, Araujo SA, Arrigoni-Blank MD, Bacci L, Alves PB, Cavalcanti SC, Blank AF. 2013. Acaricidal activity of *Lippia gracilis* essential oil and its major constituents on the tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *Vet Parasitol* 47:246–250.
- Dapkevicius A, Venskutonis R, Van Beek TA, Linssen JPH. 1998. Antioxidant activity of extracts obtained by different isolation procedures from some aromatic herbs grown in Lithuania. *J Sci Food Agric* 77:140–146.
- De Nardo EAB, Maia AHN, Watanabe MA. 2001. Effect of a formulation of *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae) nuclear polyhedrosis virus on the predator *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae: Asopinae), using the fertility life table parameters. *Environ Entomol* 30:1164–1173.
- Demirel N, Kurt S, Gunes U, Uluc FT, Cabuk F. 2009. Toxicological responses of confused flour beetle, *Tribolium confusum* du Val (Coleoptera: Tenebrionoidea) to various isothiocyanate compounds. *Asian J Chem* 21:6411–6414.
- Dharmagadda VSS, Naik SN, Mittal PK, Vasudevan P. 2005. Larvicidal activity of *Tagetes patula* essential oil against three mosquito species. *Bioresource Technol* 96:1235–1240.

- Dua VK, Kumar A, Pandey AC, Kumar S. 2013. Insecticidal and genotoxic activity of *Psoralea corylifolia* Linn. (Fabaceae) against *Culex quinquefasciatus* Say, 1823. *Parasite Vector* 6:30.
- Ellis MD, Baxendale FP. 1997. Toxicity of seven monoterpenoids to tracheal mites (Acari: Tarsonemidae) and their honey bee (Hymenoptera: Apidae) hosts when applied as fumigants. *J Econ Entomol* 90:1087–1091.
- Enan EE. 2001. Insecticidal activity of essential oils: octopaminergic sites of action. *Comp Biochem Physiol C* 130:325–337.
- Enan EE. 2005a. Molecular and pharmacological analysis of an octopamine receptor from American cockroach and fruit fly in response to plant essential oils. *Arch Inst Biochem Physiol* 59:161–171.
- Enan EE. 2005b. Molecular response of *Drosophila melanogaster* tyramine receptor cascade to plant essential oils. *Insect Biochem. Mol Biol* 35:309–321.
- Erler F. 2005. Fumigant activity of six monoterpenoids from aromatic plants in Turkey against the two stored-product pests confused flour beetle, *Tribolium confusum*, and Mediterranean flour moth, *Ephesia kuehniella*. *J Plant Dis Protect* 112:602–611.
- Finney DJ. 1971. *Probit Analysis*. Cambridge University Press, London.
- Greene GL, Leppla NC, Dickerson WA. 1976. Velvetbean caterpillar: a rearing procedure and artificial medium. *J Econ Entomol* 69:487–488.
- Hegazi E, Herz A, Hassan SA, Khafagi WE, Agamy E, Zaitun A, El-Aziz GA, Showeil S, El-Said S, Khamis N. 2007. Field efficiency of indigenous egg parasitoids (Hymenoptera, Trichogrammatidae) to control the olive moth (*Prays oleae*, Lepidoptera, Yponomeutidae) and the jasmine moth (*Palpita unionalis*, Lepidoptera, Pyralidae) in an olive plantation in Egypt. *Biol Control* 43:171–187.

- Huerta A, Chiffelle I, Puga K, Azúa F, Araya JE. 2010. Toxicity and repellence of aqueous and ethanolic extracts from *Schinus molle* on elm leaf beetle *Xanthogaleruca luteola*. *Crop Prot* 29:1118–1123.
- Isman MB. 1997. Neem and other botanical insecticides: barriers to commercialization. *Phytoparasitica* 25:339–344.
- Isman MB. 2006. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annu Rev Entomol* 51:45–66.
- Isman MB, Miresmailli S, Machial C. 2011. Commercial opportunities for pesticides based on plant essential oils in agriculture, industry and consumer products. *Phytochem Rev* 10:197–204.
- Jayaprakasha GK, Rao LJM. 2011. Chemistry, biogenesis, and biological activities of *Cinnamomum zeylanicum*. *Crit Rev Food Sci* 5:1547–562.
- Karaborklu S, Ayvaz A, Yilmaz S, Akbulut M. 2011. Chemical composition and fumigant toxicity of some essential oils against *Ephestia kuehniella*. *J Econ Entomol* 104:1212-1219.
- Kimbaris AC, Papachristos DP, Michaelakis A, Martinou AF, Polissiou MG. 2010. Toxicity of plant essential oil vapours to aphid pests and their coccinellid predators. *Biocontrol Sci Tech*, 20:411–422.
- Knio KM, Usta J, Dagher S, Zournajian H, Kreydiyyeh S. 2008. Larvacidal activity of essential oils extracted from commonly used herbs in Lebanon against the seaside mosquito, *Ochlerotatus caspius*. *Bioresource Technol* 99:763–768.
- Kostyukovsky M, Rafaeli A, Gileadi C, Demchenko N, Shaaya E. 2002. Activation of octopaminergic receptors by essential oil constituents isolated from aromatic plants: possible mode of action against insect pests. *Pest Manag Sci* 58:1101–1106.

- Kranthi KR, Jadhav D, Wanjari R, Kranthi S, Russell D. 2001. Pyrethroid resistance and mechanisms of resistance in field strains of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *J Econ Entomol* 94:253–263.
- Kumar P, Mishra S, Malik A, Satya S. 2011. Insecticidal properties of *Mentha* species: a review. *Ind Crops Prod* 34:802–817.
- Kumar P, Mishra S, Malik A, Satya S. 2012. Efficacy of *Mentha* × *piperita* and *Mentha citrata* essential oils against housefly, *Musca domestica* L. *Ind Crops Prod* 39:106–112.
- Lawson LD, Wang ZJ, Hughes BG. 1991. Identification and HPLC quantification of the sulphides and dialk(en)y thiosulfinates in commercial garlic products. *Planta Med* 57:363–370.
- Liu CT, Chen HW, Sheen LY, Kung YL, Chen PCH, Lii CK. 1998. Analytical methods-effect of garlic oil on hepatic arachidonic acid content and immune response in rats. *J Agric Food Chem* 46:4642–4647.
- Malik A, Singh N, Satya S. 2007. Housefly (*Musca domestica*): a review of control strategies for a challenging pest. *J Environ Sci Health Part B* 42:453–469.
- Maurya P, Mohan L, Sharma P, Batabyal L, Srivastava CN. 2007. Larvicidal efficacy of *Aloe barbadensis* and *Cannabis sativa* against the malaria vector *Anopheles stephensi* (Diptera: Culicidae). *Entomol Res* 37:153–156.
- Mendes AS, Daemon E, Monteiro CMO, Maturano R, Brito FC, Massoni T. 2011. Acaricidal activity of thymol on larvae and nymphs of *Amblyomma cajennense* (Acari: Ixodidae). *Vet Parasitol* 183:136–139.
- Montes-Molina JA, Luna-Guido ML, Espinoza-Paz N, Govaerts B, Gutierrez-Miceli FA, Dendooven, L., 2008. Are extracts of neem (*Aradirachta indica* A. Juss. (L.)) and *Gliricidia sepium* (Jacquin) an alternative to control pests on maize (*Zea mays* L.)? *Crop Prot* 27:763–774.

- Moreira MF, Dos Santos AS, Marotta HR, Mansur JF, Ramos IB, Machado EA, Souza GH, Eberlin MN, Kaiser CR, Kramer KJ, Muthukrishnan S, Vasconcellos AM. 2007. A chitin-like component in *Aedes aegypti* eggshells, eggs and ovaries. *Insect Biochem. Mol Biol* 37:1249–1261.
- Moura MF, Picanço M, Gonring AR, Bruckner CH. 2000. Seletividade de três Vespidae predadores de *Dione juno juno* (Lepidoptera: Heliconidae). *Pesqui Agropecu Bras* 35:251–257.
- Navickiene HMD, Miranda JE, Bortoli SA, Kato MJ, Bolzani VS, Furlan M. 2007. Toxicity of extracts and isobutyl amides from *Piper tuberculatum*: potent compounds with potential for the control of the velvetbean caterpillar, *Anticarsia gemmatalis*. *Pest Manag Sci* 63:399–403.
- Negahban M, Moharramipour S, Sefidkon F. 2007. Insecticidal activity of essential oil from *Artemisia sieberi* Beser against three stored-product insects. *J Stored Prod Res* 43:123–128.
- Paes JL, Faroni LRD'A, Dhingra OD, Cecon PR, Silva TA. 2012. Insecticidal fumigant action of mustard essential oil against *Sitophilus zeamais* in maize grains. *Crop Prot* 34:56–58.
- Panizzi AR. 2013. History and Contemporary Perspectives of the Integrated Pest Management of Soybean in Brazil. *Neotrop Entomol* 42:119–127.
- Paster N, Menasherov M, Ravid U, Juven B. 1995. Antifungal activity of oregano and thyme essential oils applied as fumigants against fungi attacking stored grain. *J Food Protect* 58:81–85.
- Pavela R. 2008. Insecticidal properties of several essential oils on the house fly (*Musca domestica* L.). *Phytother Res* 22:274–278.
- Pavela R. 2007. Possibilities of botanical insecticide exploitation in plant protection. *Pest Technol* 1:47–52.

- Pavela R. 2011. Insecticidal and repellent activity of selected essential oils against of the pollen beetle, *Meligethes aeneus* (Fabricius) adults. *Ind Crops Prod* 34:888–892.
- Pineda S, Budia F, Schneider MI, Gobbi A, Vinuela E, Valle J, Del Estal P. 2004. Effects of two biorational insecticides, spinosad and methoxyfenozide, on *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae) under laboratory conditions. *J Econ Entomol* 97:1906–1911.
- Pitta RM, Boiça Júnior AL, Jesus FG, Tagliari SR. 2010. Seleção de genótipos resistentes de amendoimzeiro a *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae) com base em análise multivariadas. *Neotrop Entomol* 39:260–265.
- Prowse GM, Galloway TS, Foggo A. 2006. Insecticidal activity of garlic juice in two dipteran pests. *Agric For Entomol* 8:1–6.
- Regnault-Roger C, Hamraoui A. 1995. Fumigant toxic activity and reproductive inhibition induced by monoterpenes on *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera) a bruchid of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *J Stored Prod Res* 31:291–299.
- Regnault-Roger C, Ribodeau M, Hamraoui A, Bareau I, Blanchar P, Gil-Munoz MI, Barberan FT. 2004. Polyphenolic compounds of Mediterranean Lamiaceae and investigation of orientational effects on *Acanthoscelides obtectus* (Say). *J Stored Prod Res* 40:395–408.
- Riffel CT, Garcia MS, Santi AL, Basso CJ, Della Flora LP, Cherubin MR, Eitelwein MT. 2012. Densidade amostral aplicada ao monitoramento georreferenciado de lagartas desfolhadoras na cultura da soja. *Cienc Rural* 42:2112–2119.
- Rozman V, Kalinovic I, Korunic Z. 2007. Toxicity of naturally occurring compounds of Lamiaceae and Lauraceae to three stored-product insects. *J Stored Prod Res* 43:349–355.

- Ruiz-Sánchez E, Caamal-Eb L, Cristóbal-Alejo J, Munguía-Rosales R, Pérez-Gutiérrez, A. 2010. Survivorship and development of immature *Harmonia axyridis* Pallas (Coleoptera: Coccinellidae) exposed to diflubenzuron. *Agrociencia* 44:373–379.
- Sainz P, Sanz J, Burillo J, Coloma AG, Bailén M, Martínez- Díaz RA. 2013. Essential oils for the control of reduviid insects. *Phytochem Rev* 11:361–369.
- Santos BR, Paiva R, Castro EM, Cardoso MG, Rezende RKS, Paiva PDO. 2004. Aspectos da anatomia e do óleo essencial em folhas de pindaíba (*Xylopia brasiliensis* Spreng.). *Ciênc Agrotec* 28:345–349.
- Santos JC, Faroni LRD'A, Sousa AH, Guedes RNC. 2011. Fumigant toxicity of allyl isothiocyanate to populations of the red flour beetle *Tribolium castaneum*. *J. Stored Prod Res* 47:238–243.
- Santos NDL, Moura KS, Napoleão TH, Santos GKN, Coelho LCBB, Navarro DMAF, Paiva PMG. 2012. Oviposition-stimulant and ovicidal activities of *Moringa oleifera* lectin on *Aedes aegypti*. *PLoS ONE* 7:44840.
- SAS Institute. 1997. User's guide: statistics. SAS Institute Cary, NC, USA.
- Shyh-Ming T, Mei-Chin Y. 2001. In-vitro antimicrobial activity of four diallyl sulphides occurring naturally in garlic and Chinese leek oils. *J Med Microbiol* 50:646–649.
- Sidhu OP, Kumar V, Behl HM. 2004. Variability in triterpenoids (nimbin and salanin) composition of neem among different provenances of India. *Ind Crops Prod* 19:69–75.
- Silva WJ, Doria GAA, Maia RT, Nunes RS, Carvalho GA, Blank AF, Alves PB, Marcal RM, Cavalcanti SCH. 2008. Effects of essential oils on *Aedes aegypti* larvae: alternatives to environmentally safe insecticides. *Bioresour Technol* 99:3251–3255.

- Tasdemir D, Kaiser M, Demirci F, Baser KHC. 2006. Essential oil of Turkish *Origanum onites* L. and its main components, carvacrol and thymol show potent antiprotozoal activity without cytotoxicity. *Planta Med* 72:1006.
- Tavares WS, Cruz I, Fonseca FG, Gouveia NL, Serrão JE, Zanuncio JC. 2010. Deleterious activity of natural products on postures of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Z Naturforsch C* 65:412–418.
- Traboulsi AF, Taoubi K, El-Haj S, Bessiere JM, Rammal S. 2002. Insecticidal properties of essential plant oils against the mosquito *Culex pipiens molestus* (Diptera: Culicidae). *Pest Manag Sci* 58:491–495.
- Uçkan F, Sak O. 2010. Cytotoxic effect of cypermethrin on *Pimpla turionellae* (Hymenoptera: Ichneumonidae) larval hemocytes. *Ekoloji* 19:20–26.
- Walker DR, All JN, McPherson RM, Boerma HR, Parrott WA. 2000. Field evaluation of soybean engineered with a synthetic *CryIac* transgene for resistance to corn earworm, soybean looper, velvetbean caterpillar (Lepidoptera: Noctuidae), and lesser cornstalk borer (Lepidoptera: Pyralidae). *J Econ Entomol* 93: 613–622.
- Youssef AI, Nasr FN, Stefanos SS, Elkhair SSA, Shehata WA, Agamy E, Herz A, Hassan SA. 2004. The side-effects of plant protection products used in olive cultivation on the hymenopterous egg parasitoid *Trichogramma cacoeciae* Marchal. *J Appl Entomol* 128:593–599.

Tabela 1. Nome comum (Nom. com.) dos óleos essenciais, produtos sintéticos, nome científico (família) e seus componentes majoritários, utilizados contra ovos, lagartas e pupas de *Anticarsia gemmatalis* e *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae).

Nom. com.	Nome científico (família) ou comercial (grupo químico)	Componente(s) majoritário(s) (porcentagem) ¹
Alho	<i>Allium sativum</i> (Liliaceae)	Dialil dissulfeto (40%), Dialil trissulfeto (30%), dialil sulfeto (8%), metil alil dissulfeto (4%) e metil alil trissulfeto (10%)
Canela	<i>Cinnamomum zeylanicum</i> (Lauraceae)	Eugenol (75%), cariofileno (8%), cinamal (8%), γ -terpineno (3%)
Cravo	<i>Syzygium aromaticum</i> (Myrtaceae)	Eugenol (92,3%) e β -cariofileno (5,50%)
Gengibre	<i>Zingiber officinale</i> (Zingiberaceae)	Zingibereno (33%), beta-sesquifelandreno (12%), β -bisaboleno (10%), canfeno (8%), mirceno (7%)
Menta	<i>Mentha piperita</i> (Labiatae)	Mentol (55%), mentona (25%), acetato de metilo (10%)
Laranja	<i>Citrus sinensis</i> (Rutaceae)	Limoneno (95,48%), mirceno (2,10%)
Orégano	<i>Origanum vulgare</i> (Lamiaceae)	Carvacrol (70%), p-cimeno (15%), timol (4,3%)
Pimenta-do-reino	<i>Piper nigrum</i> (Piperaceae)	α - Pineno (30%), cariofileno (30%), limoneno (10%), e-nerolidol (6%)
Tomilho	<i>Thymus vulgaris</i> (Lamiaceae)	Timol (50%), p-cimeno (40%), linalool (6,0%)
Óleo essencial sintético		
Mostarda	<i>Brassica juncea</i> (Brassicaceae)	Isotiocianato alilo (ITCA) (90%)
Produtos comerciais		
Nim	<i>Azadiractina indica</i> (Meliaceae)/Azamax [®]	Azadiractina (1,2%)
Deltametrina	Keshet 25 CE [®] (piretróide)	Piretróide (0,025%)

¹Obtidos dos fornecedores.

Tabela 2. Atividade ovicida de óleos essenciais de plantas condimentares em posturas de *Anticarsia gemmatalis* e *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)

		CL ₅₀ (µL/mL)	CL ₉₀ (µL/mL)	n ¹	X ²	Inclinação	P	T _X R ₅₀ ²	T _L R ₅₀ ³
Alho	<i>A. gemmatalis</i>	0,06 (0,03 - 0,16)	1,35 (0,86 - 2,26)	600	12,23	0,98 ± 0,21	0,83	(1,50)	
	<i>S. frugiperda</i>	0,13 (0,10 - 0,17)	1,13 (0,82 - 1,72)	600	24,24	1,40 ± 0,12	0,39	(1,18)	2,16
Canela	<i>A. gemmatalis</i>	1,44 (0,89 - 4,90)	40,76 (21,55 - 240,11)	600	30,47	0,79 ± 0,17	0,14	16,00	
	<i>S. frugiperda</i>	1,77 (0,32 - 3,81)	104,28 (33,65 - 561,33)	600	31,88	0,58 ± 0,14	0,05	16,09	1,22
Cravo	<i>A. gemmatalis</i>	1,88 (0,36 - 4,44)	41,45 (19,89 - 216,07)	500	27,85	0,94 ± 0,16	0,22	20,88	
	<i>S. frugiperda</i>	1,72 (0,70 - 2,94)	47,81 (23,06 - 250,84)	600	30,50	0,88 ± 0,15	0,05	15,63	(1,09)
Gengibre	<i>A. gemmatalis</i>	54,79 (39,21 - 80,33)	354,46 (207,73 - 910,15)	500	22,28	1,89 ± 0,37	0,06	608,77	
	<i>S. frugiperda</i>	13,34 (6,72 - 21,79)	186,67 (87,60 - 957,88)	600	13,63	0,58 ± 0,12	0,75	121,27	(4,10)
Laranja	<i>A. gemmatalis</i>	14,91 (12,14 - 17,9)	290,43 (67,22 - 700,30)	600	22,62	2,46 ± 0,22	0,48	165,66	
	<i>S. frugiperda</i>	16,47 (10,66 - 20,96)	390,89 (225,21 - 902,17)	700	14,09	0,91 ± 0,10	0,92	149,72	1,10
Menta	<i>A. gemmatalis</i>	4,18 (2,05 - 5,70)	12,36 (9,08 - 24,98)	600	2,51	1,60 ± 0,42	0,99	46,44	
	<i>S. frugiperda</i>	0,06 (0,03 - 0,10)	1,36 (0,80 - 3,03)	600	33,79	0,98 ± 0,12	0,06	(1,83)	(69,66)
Mostarda	<i>A. gemmatalis</i>	16,32 (13,9 - 19,0)	160,82 (51,91 - 401,96)	500	21,69	3,25 ± 0,29	0,54	181,33	
	<i>S. frugiperda</i>	22,44 (15,34 - 31,27)	455,01 (245,05 - 922,45)	700	10,65	0,79 ± 0,10	0,98	204,00	1,37
Orégano	<i>A. gemmatalis</i>	16,54 (13,52 - 20,09)	37,11 (28,57 - 60,45)	600	21,67	3,65 ± 0,60	0,57	183,77	
	<i>S. frugiperda</i>	19,77 (13,79 - 26,93)	311,14 (184,51 - 691,46)	700	15,81	0,86 ± 0,10	0,86	179,72	1,19
Pimenta-preta	<i>A. gemmatalis</i>	40,21 (32,85 - 64,75)	209,43 (149,70 - 371,39)	600	27,56	2,30 ± 0,36	0,05	446,77	
	<i>S. frugiperda</i>	8,30 (3,47 - 14,18)	233,71 (128,20 - 653,01)	800	41,21	0,71 ± 0,11	0,05	75,45	(4,84)
Tomilho	<i>A. gemmatalis</i>	2,05 (0,27 - 3,27)	6,49 (4,99 - 8,96)	500	4,79	2,56 ± 0,84	0,97	22,77	
	<i>S. frugiperda</i>	0,05 (0,04 - 0,06)	0,23 (0,18 - 0,34)	500	13,00	2,03 ± 0,24	0,79	(2,20)	(41,00)
Nim	<i>A. gemmatalis</i>	0,17 (0,07 - 0,80)	1,98 (1,02 - 4,74)	600	18,79	7,15 ± 0,77	0,71	1,88	
	<i>S. frugiperda</i>	0,21 (0,17 - 0,27)	0,92 (0,67 - 1,41)	600	24,97	1,20 ± 0,12	0,62	1,90	1,23
Deltametrina	<i>A. gemmatalis</i>	0,09 (0,06 - 0,12)	0,84 (0,54 - 2,07)	600	26,65	1,40 ± 0,16	0,27	1,00	
	<i>S. frugiperda</i>	0,11 (0,08 - 0,14)	0,99 (0,68 - 1,73)	600	29,37	1,16 ± 0,12	0,39	1,00	1,22

¹Número de ovos utilizados para gerar as curvas de concentração-mortalidade. ²Toxicidade relativa (T_XR₅₀= CL₅₀ dos demais tratamentos/CL₅₀ do produto químico sintético) e ³Tolerância relativa (T_LR₅₀= CL₅₀ da espécie-praga mais tolerante/CL₅₀ espécie-praga mais susceptível).

Tabela 3. Toxicidade (CL_{50} e CL_{90}), relativa (T_XR_{50}) e tolerância relativa (T_LR_{50}) de óleos essenciais de plantas condimentares, após de 48 horas de exposição ao alimento contaminado das lagartas de terceiro estágio de *Anticarsia gemmatalis* e *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)

		CL_{50} ($\mu\text{L/mL}$)	CL_{90} ($\mu\text{L/mL}$)	n^1	X^2	Inclinação	P	$T_XR_{50}^2$	$T_LR_{50}^3$
Alho	<i>A. gemmatalis</i>	4,13 (1,05 - 5,59)	11,24 (8,20 - 19,61)	240	11,45	$2,94 \pm 0,59$	0,98	413,00	
	<i>S. frugiperda</i>	4,58 (3,39 - 6,02)	17,36 (11,78 - 34,79)	200	4,59	$1,99 \pm 0,33$	0,99	91,60	1,10
Canela	<i>A. gemmatalis</i>	5,33 (0,92 - 11,65)	15,19 (12,98 - 21,22)	240	7,52	$1,04 \pm 0,23$	0,98	533,00	
	<i>S. frugiperda</i>	11,75 (8,82 - 15,31)	46,19 (32,60 - 78,38)	240	8,82	$2,15 \pm 0,28$	0,84	235,00	2,20
Cravo	<i>A. gemmatalis</i>	14,50 (11,42 - 18,61)	45,19 (31,09 - 75,08)	240	8,80	$3,72 \pm 0,24$	0,96	1.450,00	
	<i>S. frugiperda</i>	24,44 (19,63 - 29,66)	74,92(59,21 - 103,06)	200	20,09	$2,63 \pm 0,28$	0,57	488,80	1,68
Gengibre	<i>A. gemmatalis</i>	9,17 (3,37 - 16,63)	60,07 (30,93 - 265,10)	280	27,04	$1,57 \pm 0,36$	0,05	917,00	
	<i>S. frugiperda</i>	65,83 (46,77 - 97,64)	611,25 (326,37 - 972,82)	240	8,56	$1,32 \pm 0,18$	0,96	1.316,60	7,17
Laranja	<i>A. gemmatalis</i>	145,70 (111,7 - 211,46)	301,44 (231,00 - 498,76)	280	15,09	$1,71 \pm 0,31$	0,65	14.570,0	
	<i>S. frugiperda</i>	49,55 (37,40 - 65,98)	267,79 (177,15 - 494,18)	280	9,20	$1,74 \pm 0,20$	0,95	991,00	(2,94)
Menta	<i>A. gemmatalis</i>	15,66 (10,87 - 21,42)	107,36 (70,91 - 197,82)	280	11,09	$1,53 \pm 0,19$	0,89	1.566,00	
	<i>S. frugiperda</i>	48,99 (36,89 - 65,58)	272,63 (178,76 - 509,59)	280	12,06	$1,71 \pm 0,20$	0,84	979,80	3,13
Mostarda	<i>A. gemmatalis</i>	46,33 (33,57 - 59,70)	70,45 (60,56 - 99,80)	280	27,80	$2,90 \pm 0,42$	0,07	4.633,00	
	<i>S. frugiperda</i>	292,51 (198,77 - 438,80)	514,81 (398,60 - 949,00)	320	20,89	$1,00 \pm 0,18$	0,74	5.850,20	6,31
Orégano	<i>A. gemmatalis</i>	5,44 (3,99 - 8,96)	20,59 (12,45 - 39,43)	240	11,73	$1,65 \pm 0,34$	0,30	544,00	
	<i>S. frugiperda</i>	25,62 (17,87 - 33,77)	112,24 (84,04 - 167,29)	240	16,69	$1,99 \pm 0,25$	0,54	512,40	4,70
Pimenta-preta	<i>A. gemmatalis</i>	21,75 (13,51 - 30,76)	102,07 (68,92 - 191,34)	280	5,06	$1,90 \pm 0,31$	0,88	2.175,00	
	<i>S. frugiperda</i>	303,35 (289,89 - 449,39)	638,72 (482,93 - 927,11)	280	19,61	$0,96 \pm 0,20$	0,60	6.067,00	13,94
Tomilho	<i>A. gemmatalis</i>	10,25 (7,04 - 13,97)	56,98 (37,66 - 110,91)	280	8,51	$1,72 \pm 0,25$	0,86	1.025,00	
	<i>S. frugiperda</i>	15,82 (9,30 - 23,87)	244,54 (131,36 - 609,50)	240	8,98	$1,08 \pm 0,16$	0,96	316,4	1,54
Nim	<i>A. gemmatalis</i>	0,12 (0,07 - 0,29)	1,11 (0,88 - 1,38)	240	20,23	$1,76 \pm 0,24$	0,32	12,00	
	<i>S. frugiperda</i>	0,27 (0,16 - 0,39)	3,25 (1,75 - 11,35)	240	11,51	$1,20 \pm 0,22$	0,87	5,40	2,25
Deltametrina	<i>A. gemmatalis</i>	0,010 (0,007-0,018)	0,82 (0,11 - 1,61)	280	13,24	$1,39 \pm 0,24$	0,78	1,00	
	<i>S. frugiperda</i>	0,05 (0,03 - 0,07)	0,31 (0,22 - 0,49)	280	15,06	$1,77 \pm 0,25$	0,85	1,00	5,00

¹Número de lagartas das espécies-praga utilizadas para gerar as curvas de concentração-mortalidade. ²Toxicidade relativa ($T_XR_{50} = CL_{50}$ dos demais tratamentos/ CL_{50} do produto químico sintético) e ³Tolerância relativa ($T_LR_{50} = CL_{50}$ da espécie-praga mais tolerante/ CL_{50} espécie-praga mais susceptível).

Tabela 4. Efeito de óleos essenciais de plantas condimentares em pupas de *Anticarsia gemmatalis* e *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)

		CL ₅₀ (µL/mL)	CL ₉₀ (µL/mL)	n ¹	X ²	Inclinação	P	T _X R ₅₀ ²	T _L R ₅₀ ³
Alho	<i>A. gemmatalis</i>	8,82 (5,48 - 12,63)	50,60 (34,05 - 90,52)	210	11,16	1,68 ± 0,24	0,79	441,00	
	<i>S. frugiperda</i>	15,58 (10,17 - 22,28)	104,07 (65,53 - 214,16)	180	4,45	1,15 ± 0,22	0,98	389,50	1,76
Canela	<i>A. gemmatalis</i>	1,56 (0,0016 - 7,57)	123,37 (43,67 - 590,15)	210	10,40	0,44 ± 0,16	0,84	78,00	
	<i>S. frugiperda</i>	4,60 (2,14 - 7,74)	91,31 (47,39 - 283,19)	210	8,61	0,98 ± 0,16	0,92	115,00	2,94
Cravo	<i>A. gemmatalis</i>	7,36 (1,41 - 15,74)	483,11 (180,20 - 939,98)	210	10,92	0,70 ± 0,16	0,81	368,00	
	<i>S. frugiperda</i>	19,28 (7,49 - 34,66)	656,06 (353,53 - 967,89)	210	5,42	0,75 ± 0,16	0,99	482,00	2,61
Gengibre	<i>A. gemmatalis</i>	4,59 (1,42 - 8,71)	77,72 (44,74 - 192,42)	210	13,57	1,04 ± 0,19	0,63	229,50	
	<i>S. frugiperda</i>	9,46 (4,47 - 15,42)	129,87 (75,88 - 312,65)	180	7,11	1,12 ± 0,18	0,97	236,50	2,06
Laranja	<i>A. gemmatalis</i>	7,25 (3,39-11,80)	79,51 (48,90 - 169,46)	210	8,59	1,23 ± 0,20	0,92	362,50	
	<i>S. frugiperda</i>	15,29 (8,30 - 23,72)	212,04 (119,10 - 559,14)	210	10,28	1,12 ± 0,17	0,85	382,25	2,10
Menta	<i>A. gemmatalis</i>	10,43 (4,69 - 17,36)	177,72 (97,98 - 497,24)	210	14,09	1,04 ± 0,17	0,59	521,50	
	<i>S. frugiperda</i>	34,54 (15,04 - 67,53)	283,57 (132,05 - 831,40)	210	14,27	0,66 ± 0,15	0,57	863,50	3,31
Mostarda	<i>A. gemmatalis</i>	11,32 (5,82 - 17,82)	144,01 (84,15 - 348,97)	210	23,05	1,16 ± 0,18	0,11	566,00	
	<i>S. frugiperda</i>	25,90 (13,64 - 45,09)	219,60 (105,74 - 901,88)	210	12,26	0,90 ± 0,19	0,50	647,50	2,28
Orégano	<i>A. gemmatalis</i>	23,06 (8,82 - 43,51)	73,43 (35,59 - 313,76)	210	14,14	0,68 ± 0,16	0,58	1.153,00	
	<i>S. frugiperda</i>	3,25 (1,54 - 5,09)	31,10 (16,67 - 126,13)	180	5,24	1,30 ± 0,29	0,87	81,25	(7,09)
Pimenta-preta	<i>A. gemmatalis</i>	70,02 (17,48 - 165,31)	321,60 (91,23 - 975,41)	210	12,01	0,37 ± 0,16	0,74	3.501,00	
	<i>S. frugiperda</i>	34,54 (15,40 - 67,53)	283,57 (132,05 - 831,40)	210	14,27	0,66 ± 0,15	0,57	863,5	2,02
Tomilho	<i>A. gemmatalis</i>	10,63 (3,84 - 19,17)	169,55 (89,01 - 561,15)	210	13,51	0,86 ± 0,17	0,63	531,50	
	<i>S. frugiperda</i>	17,62 (10,45 - 26,78)	142,73 (83,94 - 338,73)	210	12,80	1,19 ± 0,18	0,68	440,50	1,65
Nim	<i>A. gemmatalis</i>	0,08 (0,058 - 0,11)	0,27 (0,20 - 0,45)	180	11,91	2,50 ± 0,44	0,53	4,00	
	<i>S. frugiperda</i>	0,11 (0,07 - 0,15)	0,54 (0,37 - 1,02)	180	8,49	1,89 ± 0,32	0,81	2,75	1,37
Deltametrina	<i>A. gemmatalis</i>	0,02 (0,16 - 0,32)	0,07 (0,05 - 0,13)	210	7,20	2,60 ± 0,47	0,99	1,00	
	<i>S. frugiperda</i>	0,04 (0,02 - 0,05)	0,13 (0,09 - 0,21)	240	9,76	2,05 ± 0,32	0,95	1,00	2,00

¹Número de pupas utilizadas para gerar as curvas de concentração-mortalidade. ²Toxicidade relativa (T_XR₅₀= CL₅₀ dos demais tratamentos/CL₅₀ do produto químico sintético) e ³Tolerância relativa (T_LR₅₀= CL₅₀ da espécie-praga mais tolerante/CL₅₀ espécie-praga mais susceptível).

2º ARTIGO

TOXICIDADE E ÍNDICES DE SELETIVIDADE DE ÓLEOS ESSENCIAIS ENTRE A LAGARTA-DA-SOJA E A LAGARTA-DO-CARTUCHO-DO-MILHO E SEU PERCEVEJO PREDADOR

Toxicidade e índices de seletividade de óleos essenciais entre a lagarta-da-soja e a lagarta-do-cartucho-do-milho e seu percevejo predador

RESUMO Inseticidas de fontes naturais e agentes de controle biológico são cada vez mais utilizados para substituir inseticidas sintéticos no controle de insetos-praga. Os percevejos predadores são inimigos naturais importantes e vulneráveis a tóxicos sintéticos e naturais. O presente trabalho visa investigar a toxicidade de óleos essenciais de dez plantas condimentares para lagartas de *Anticarsia gemmatalis* Hübner e *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) e o impacto dos mesmos sobre o percevejo predador, *Podisus nigrispinus* Dallas (Hemiptera: Pentatomidae), em duas vias de exposição. A toxicidade, tolerância e seletividade relativa foram calculadas pela relação dos valores de CL_{90} para se determinar a eficiência dos tratamentos no controle de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda* e a susceptibilidade de ninfas (terceiro estágio) e adultos (machos e fêmeas) do percevejo predador, após 72 horas da exposição por contato e aplicação tópica. A toxicidade dos produtos foi semelhante em exposição tópica e contato para lagartas de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda*. O óleo essencial de tomilho foi mais tóxico, topicamente, ao predador. Os óleos essenciais de alho, orégano e o emulsionável de nim foram mais eficientes e com menor toxicidade relativa ($T_{XR_{90}}$) para as lagarta-da-soja e a lagarta-do-cartucho-do-milho em ambos os métodos de exposição. Indivíduos de *P. nigrispinus* foram mais susceptíveis a deltametrina e aos óleos essenciais de tomilho, gengibre e nim, especialmente as ninfas e machos desse predador. O óleo essencial de alho foi mais eficiente contra as espécies-praga e altamente seletivo para *P. nigrispinus*, sugerindo que possa ser utilizado para o controle de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda* em cultivos orgânicos.

PALAVRAS-CHAVE Controle alternativo, controle biológico, Manejo Integrado de Pragas, monoterpenos, seletividade

INTRODUÇÃO

Problemas ambientais causados pelo uso de 2,5 milhões de toneladas de pesticidas, por ano, na agricultura mundial são preocupantes, os danos por agrotóxicos chegam à US\$ 100 bilhões (US-EPA, 2011) devido a toxicidade, propriedades não biodegradáveis, resíduos no solo e na água e efeitos deletérios à saúde pública (Fantke et al., 2012). Isto torna necessária a busca de pesticidas mais seletivos e biodegradáveis incluindo “pesticidas verdes” para reduzir o uso de químicos sintéticos na agricultura (Isman, 2000, Moreno et al., 2012).

Os "pesticidas verdes" incluem aqueles de vegetais com capacidade para reduzir populações de pragas e proporcionarem aumento da produção de alimentos, normalmente, com menores danos ao ambiente e a saúde humana que os pesticidas sintéticos (Koul et al., 2008). Esses inseticidas estão sendo incorporados no Manejo Integrado e no Manejo Ecológico de Pragas, principalmente, por agricultores orgânicos. O volume limitado de vendas e o aumento de interesse nestes produtos mostra que novas substâncias devem ser investigadas para proteção de plantas (Isman et al., 2011; Pavela, 2011).

Agentes de controle biológico incluem insetos e ácaros parasitas, parasitoides e predadores (Ribeiro et al., 2010). Esses organismos benéficos podem ser mais susceptíveis a inseticidas sintéticos que seu hospedeiro ou presa (Mahdian et al., 2007), devido a fatores como comportamento extensivo de forrageio, menor capacidade de desintoxicação, menor variação genética e limitação de alimentos (Michaud & Vargas, 2010). Percevejos predadores, como *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae) predam várias lagartas desfolhadoras como *Anticarsia gemmatalis* Hübner e *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) (Ferreira et al., 2008; Zanuncio et al., 2008).

A manipulação do habitat e/ou utilização de inseticidas seletivos são importantes na conservação de inimigos naturais em programas de manejo integrado de pragas (Galvan et al., 2005). A seletividade desses produtos pode ser ecológica e fisiológica; a ecológica está relacionada às formas de aplicação dos produtos fitossanitários para minimizar a exposição de inimigos naturais ao inseticida e a fisiológica baseada em inseticidas mais tóxicos para a praga-alvo que a seus inimigos naturais (Ripper et al., 1951).

Curvas de concentração-mortalidade podem mostrar a toxicidade de um produto a determinada espécie ou população, comparado aos efeitos tóxicos em outra espécie, e podem indicar se os pesticidas e/ou concentrações são inócuas ou seletivas aos inimigos naturais e eficientes contra insetos-praga (Bacci et al., 2012). O objetivo do trabalho foi avaliar a toxicidade de óleos essenciais às lagartas de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda* e ao predador *P. nigrispinus* e determinar os índices de toxicidade, tolerância e susceptibilidade relativa entre as espécies-praga e esse percevejo predador com curvas de concentração-mortalidade.

MATERIAL E MÉTODOS

Local de condução dos experimentos

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Controle Biológico de Insetos (LCBI) do Instituto de Biotecnologia Aplicada à Agropecuária (BIOAGRO) da Universidade Federal de Viçosa (UFV) em Viçosa, estado de Minas Gerais, Brasil.

Criação das espécies-praga

Indivíduos de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda* foram provenientes da criação massal do Laboratório de Controle Biológico de Insetos cujos adultos são mantidos em gaiolas de madeira (30 x 30 x 30 cm) com as laterais teladas, recobertas com papel e

com uma tampa de vidro em sala climatizada (temperatura de $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$, $70 \pm 10\%$ de UR e 12 horas de fotofase) alimentados com solução nutritiva embebida em algodão no fundo das gaiolas. A cada dois dias, os papéis contendo posturas de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda* foram retirados, cortados em tiras (2,5 x 10 cm), transferidos para potes plásticos de 1000 mL com dieta artificial (Greene et al., 1976) em cubos de 15 x 15 x 15 cm para as lagartas recém-eclodidas. Um dia após a passagem para o terceiro estágio, as lagartas de *S. frugiperda* foram individualizadas em potes transparentes de 50 mL com dieta “*ad libitum*” até a pupação. Grupos de vinte lagartas de *A. gemmatalis* foram acondicionados por pote plástico até a pupação e a quantidade de dieta artificial oferecida por pote às lagartas aumentou, proporcionalmente, ao desenvolvimento das mesmas. A reposição desse alimento e a assepsia dos potes foram realizadas a cada 48 horas.

Criação de *Podisus nigrispinus*

Indivíduos de *P. nigrispinus* foram obtidos da criação massal do Laboratório de Controle Biológico de Insetos (LCBI) do BIOAGRO, onde esse predador foi criado em sala climatizada a temperatura de $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$, $70 \pm 10\%$ de UR e 12 horas de fotofase. Massas com ovos de *P. nigrispinus* foram colocados por placa de Petri (12 x 1,5 cm) com um chumaço de algodão umedecido com água. Ninfas desse predador foram colocadas em potes plásticos transparentes de 250 mL com um tubo de 2,5 mL na parte superior interna das tampas para manter a umidade e fornecer água às mesmas. Na fase adulta, esse predador foi criado em gaiolas de madeira (30 x 30 x 30 cm) com as laterais teladas com tecido tipo organza, ramos de *Eucalyptus* sp. (Myrtaceae) e pupas do hospedeiro alternativo *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Curculionidae) e água “*ad libitum*” (Zanuncio et al., 2000).

Obtenção dos óleos botânicos

Os óleos essenciais de alho, canela, cravo, gengibre, laranja, menta, orégano, pimenta-do-reino e tomilho foram adquiridos das empresas Viessence Comércio de Produtos Naturais Ltda. (Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil) e Ferquima Indústria e Comércio Ltda. (Vargem Grande Paulista - São Paulo, Brasil), extraídos em escala industrial por hidrodestilação e arraste por vapor de água (Dapkevicius et al., 1998; Santos et al., 2004). O óleo essencial sintético de mostarda, de uso na indústria alimentícia, foi fornecido pela empresa Marie Química Fina (Itaquaquecetuba, São Paulo, Brasil).

Bioensaios

Susceptibilidade do predador

Ninfas de terceiro estágio e machos e fêmeas de *P. nigrispinus* foram colocadas em grupos de cinco por placa de Petri (9 cm de diâmetro por 2 cm de altura) e contaminados por aplicação tópica e superfície contaminada com as concentrações de 1, 5, 10, 15 e 20% (v/v) dos tratamentos (Tabela 1) ou etanol (controle) (concentrações testadas até a mortalidade de 100% dos indivíduos).

Um ou 100 µL dos óleos essenciais (Tabela 1) ou etanol (testemunha) foram aplicadas com uma micropipeta de precisão no escutelo de cada indivíduo (ninfas ou adultos) de *P. nigrispinus* (aplicação tópica) ou sobre folhas de papel filtro (9 cm de diâmetro) (superfície contaminada), respectivamente. A toxicidade aguda a *P. nigrispinus*, exposto aos óleos essenciais e produtos comerciais, foi obtida para as duas vias de exposição, a avaliação da mortalidade ocorreu após 72 horas do início dos experimentos (Picanço et al., 1997; Mahdian et al., 2007; Pereira et al., 2009). O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco repetições, cada uma

com grupo de cinco ninfas (terceiro estágio), machos ou fêmeas desse predador por concentração [1, 5, 10, 15 e 20% (v/v)] dos produtos (Tabela 1).

Susceptibilidade das espécies-praga

Lagartas de terceiro estágio de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda* (da criação massal citada) foram expostas as concentrações [1, 5, 10, 15 e 20% (v/v)] dos produtos (Tabela 1) ou etanol (controle) via tópica (1 µL) ou superfície tratada (100 µL), por 72 horas (concentrações testadas até a mortalidade de 100% dos indivíduos), nas mesmas condições dos ensaio com percevejos predadores. As curvas de concentração-mortalidade foram determinadas por modo de exposição (Kostic et al., 2013).

As lagartas e os predadores não foram alimentados durante os experimentos para eliminar a possibilidade de ingestão de alimento contaminado (exceto nos experimentos com *S. frugiperda*, necessário para evitar o canibalismo nessa espécie) (Tillman & Mullin, 2004).

Índices de toxicidade, tolerância e susceptibilidade relativa entre as espécies-praga e o predador

Curvas de concentração-mortalidade para os óleos essenciais e produtos comerciais sobre lagartas de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda* e ninfas de terceiro estágio, machos e fêmeas do percevejo predador em duas vias de contaminação (aplicação tópica e superfície contaminada), foram determinadas por análise de Probit. A probabilidade de aceitação da hipótese de nulidade (dados possuem distribuição de Probit) foi analisada pelo teste χ^2 em que os valores de *P* fossem maiores que 5% de probabilidade. Essas curvas permitiram estimar os valores de CL₅₀ e CL₉₀ dos tratamentos (Finney, 1971), para as espécies-praga e para ninfas e adultos do percevejo predador. Esses resultados foram utilizados para se calcular os índices de tolerância

relativa ($T_L R_{90} = CL_{90}$ da espécie-praga mais tolerante/ CL_{90} da espécie-praga mais susceptível) para verificar a suscetibilidade e a toxicidade relativa dos produtos entre espécies-praga ($T_X R_{90} = CL_{90}$ dos demais tratamentos/ CL_{90} do produto químico sintético, para se obter o risco (inimigo natural) ou eficiência (espécies-praga) de um determinado tratamento em relação ao produto químico sintético (deltametrina) para cada espécie e a seletividade diferencial ($S_L R_{90} = CL_{90}$ do tratamento por estágio do predador/ CL_{90} do tratamento para praga). Isto permite se demonstrar variações de susceptibilidade fisiológica entre as lagartas desfolhadoras e o predador nas condições experimentais (Bacci et al., 2009, 2012; Kimbaris et al., 2010).

Análise estatística

O experimento foi desenvolvido em delineamento em blocos casualizados com 13 tratamentos [dez óleos essenciais, dois produtos comerciais e o etanol (testemunha)]. A mortalidade das espécies-praga (*A. gemmatalis* ou de *S. frugiperda*) e do inimigo natural (ninfas e adultos) foi corrigida (Abbott, 1925). Os valores de CL_{50} e CL_{90} foram calculados com a análise de Probit (Finney, 1971) utilizando-se o Proc Probit do SAS (SAS Institute, 1997). Os índices de toxicidade, tolerância e seletividade relativa entre tratamentos foram considerados significativos quando não houve sobreposição nos intervalos de confiança da CL_{90} .

RESULTADOS

Contato

Os óleos essenciais de alho [$CL_{90} = 9,10 \mu\text{L}/\text{mL}^{-1}$ (5,55 - 25,74)] e de orégano [$CL_{90} = 16,83 \mu\text{L}/\text{mL}^{-1}$ (8,64 - 65,12)] mostraram eficiência semelhante à dos produtos comerciais à base de nim [$CL_{90} = 3,23 \mu\text{L}/\text{mL}^{-1}$ (1,58 - 18,27)] e ao químico sintético [$CL_{90} = 2,32 \mu\text{L}/\text{mL}^{-1}$ (0,84 - 11,78)] contra larvas da lagarta-da-soja (Figura 1A). Os

produtos naturais mais tóxicos à lagarta-do-cartucho do milho foram o óleo emulsionável de nim [$CL_{90} = 10,22 \mu\text{L}/\text{mL}^{-1}$ (4,32 - 36,02)] e os essenciais de alho [$CL_{90} = 24,03 \mu\text{L}/\text{mL}^{-1}$ (15,55 - 75,28)] e de orégano [$CL_{90} = 19,72 \mu\text{L}/\text{mL}^{-1}$ (13,33 - 62,20)], após 72 horas de exposição (Figura 1C).

Ninfas de terceiro estágio de *P. nigrispinus* foram mais susceptíveis a deltametrina [$CL_{90} = 2,32 \mu\text{L}/\text{mL}^{-1}$ (0,84 - 11,78)] (Figura 2A) Adultos (machos e fêmeas), desse predador foram sensíveis ao produto químico sintético [$CL_{90} = 2,84 \mu\text{L}/\text{mL}^{-1}$ (1,17 - 19,35) e $CL_{90} = 31,22 \mu\text{L}/\text{mL}^{-1}$ (4,38 - 70,18)] e aos óleos de nim [$CL_{90} = 41,63 \mu\text{L}/\text{mL}^{-1}$ (14,06 - 171,28) e $CL_{90} = 61,90 \mu\text{L}/\text{mL}^{-1}$ (10,52 - 235,32)] e essencial de tomilho [$CL_{90} = 14,98 \mu\text{L}/\text{mL}^{-1}$ (10,81 - 45,09) e $CL_{90} = 61,90 \mu\text{L}/\text{mL}^{-1}$ (10,52 - 235,32)] (Figura 2C e E).

Aplicação tópica

Imaturos de terceiro estágio de *A. gemmatalis* foram menos tolerantes ao óleo essencial de alho [$CL_{90} = 17,48 \mu\text{L}/\text{mL}^{-1}$ (10,00 - 40,88)] e ao emulsionável de nim [$CL_{90} = 38,51 \mu\text{L}/\text{mL}^{-1}$ (8,48 - 53,04)] em aplicação tópica (Figura 1B). Os óleos essenciais de alho e orégano foram eficientes contra lagartas de *S. frugiperda* com menores valores de CL_{90} de $73,32 \mu\text{L}/\text{mL}^{-1}$ (48,10 - 138,16) e $92,33 \mu\text{L}/\text{mL}$ (51,78 - 266,73), respectivamente, com toxicidade semelhante ao produto comercial à base nim [$CL_{90} = 19,59 \mu\text{L}/\text{mL}^{-1}$ (7,18 - 54,75)] (Figura 1D).

A toxicidade do óleo essencial de gengibre [$CL_{90} = 67,13 \mu\text{L}/\text{mL}^{-1}$ (42,23 - 168,20)] e o do emulsionável de nim [$CL_{90} = 36,80 \mu\text{L}/\text{mL}^{-1}$ (15,42 - 117,96)] para ninfas de *P. nigrispinus* foi semelhante à da deltametrina [$CL_{90} = 26,78 \mu\text{L}/\text{mL}^{-1}$ (4,13 - 98,76)] (Figura 2B).

Machos e fêmeas de *P. nigrispinus* foram altamente susceptíveis à deltametrina por exposição tópica e contato (Figuras 2 C - E). No entanto, a toxicidade dos produtos

naturais para esses adultos variou como demonstrado pelas CL_{90} e seus limites de confiança a 95% de probabilidade, após 72 horas da aplicação tópica e contato com os mesmos (Figuras 2 C - E).

A toxicidade mostrada pelos valores de CL_{90} entre exposição tópica e contato as lagartas de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda* foi semelhante entre todos os produtos (Figura 1). No entanto, o óleo essencial de tomilho foi mais tóxico, topicamente, a ninfas e machos e fêmeas de *P. nigrispinus* que por contato (Figura 2).

Índices de toxicidade relativa e susceptibilidade diferencial

A deltameterina foi o produto mais potente no controle das lagartas de terceiro estágio de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda* em aplicação tópica e por contato (Figura 1). O óleo emulsionável de nim e os essenciais de alho e orégano, por contato e topicamente, mostraram menores toxicidade relativa (T_XR_{90}) para ambas às lagartas desfolhadoras. No entanto, a deltametrina foi altamente perigosa para *P. nigrispinus*, por contato e tópica, com nível de perigo máximo de 602,53 e 1.174,83, de acordo com valores de T_XR_{90} , respectivamente, em relação aos produtos naturais (Tabela 2).

Indivíduos do terceiro estágio de *S. frugiperda* foram mais tolerantes que os de *A. gemmatalis*, após exposição tópica e de contato, aos produtos como demonstrada pela maioria dos valores de tolerância relativa (T_LR_{90}) (Tabela 2). O óleo essencial de alho foi mais seletivo ao predador *P. nigrispinus* com menores valores de CL_{90} para as lagartas de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda* por contato e tópicamente, comparados aos maiores valores para ninfas, machos e fêmeas de *P. nigrispinus*, refletido no índice de seletividade relativa (S_LR_{90}). Os óleos essenciais de gengibre e tomilho foram tóxicos, especialmente para ninfas de terceiro estágio e machos de *P. nigrispinus* (Tabela 3).

DISCUSSÃO

Alguns óleos essenciais foram eficientes contra as lagartas de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda*, mas a alta toxicidade desses produtos ao percevejo predador, *P. nisgrispinus* pode limitar seu uso.

A maior eficiência dos óleos essenciais de alho, orégano e o emulsionável de nim contras espécies-praga, por aplicação tópica e contato pode estar relacionada aos compostos inseticidas das mesmas. A eficiência do óleo essencial de alho pode estar relacionada às elevadas concentrações de componentes organosulfurados (Chung et al., 2012) como o dialil-dissulfeto (40%), dialil-trissulfeto (30%), dialil-sulfeto (8%), metil-alil-trissulfeto (10%) e metil-alil-dissulfeto (4%). Alguns desses compostos reduziram populações de ácaros-praga e danos por agentes fitopatogênicos (Singh et al., 2001; Prischmann et al., 2005). *Sitophilus zeamais* (Motsch.) (Coleoptera: Curculionidae) e *Tribolium castaneum* (Herbst.) (Coleoptera: Tenebrionidae), pragas importantes de produtos armazenados, foram susceptíveis aos dialil-dissulfeto, dialil-trissulfeto e ao metil-alil-trissulfeto, dependendo dos seus estágios de vida (Huang et al., 2000). O óleo essencial de orégano pode controlar, por contato, o percevejo fitófago, *Nezara viridula* L. (Hemiptera: Pentatomidae) com CL_{50} 1,7 e 169,2 $\mu\text{g}/\text{cm}^{-2}$ para ninfas e adultos desse inseto, respectivamente (González et al., 2011). O carvacrol, composto majoritário do óleo de orégano, na concentração de 5 $\mu\text{L}/\text{mL}^{-1}$ causou mortalidade de 65% de *Thaumetopoea wilkinsoni* Tams (Lepidoptera: Thaumetopoeidae) (Kanat & Alma, 2004).

A resistência de populações de *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda* à inseticidas sintéticos (Ahmad & Arif, 2010) pode ser reduzida por óleos essenciais de alho, orégano e do emulsionável de nim, cujos compostos majoritários, como os sulfetos, carvacrol e azadiractina, têm diferentes sítios de ação e apresentam sinergia com outros compostos ativos em menor quantidade (Maurya et al., 2007; Pavela, 2007).

A toxicidade do óleo essencial de tomilho, por aplicação tópica ao predador, *P. nigrispinus* evidencia que efeitos diretos dos produtos naturais e sintéticos podem variar com o método de exposição (Matter et al., 2002; González et al., 2011). A toxicidade do óleo essencial de tomilho, contra *Choristoneura rosaceana* (Harris) (Lepidoptera: Tortricidae) variou com o método de aplicação e o de tomilho foi mais eficiente com acetona. Isto pode ser explicado pela maior penetração desse óleo através da cutícula, especialmente por aplicação tópica em larvas de *C. rosaceana* (Machial et al., 2010). O óleo essencial do tomilho foi, também, o mais eficiente, contra *Culex quinquefasciatus* Say (Diptera, Culicidae) (Pavela, 2009) e *Thaumetopoea pityocampa* Schiff (Lepidoptera: Thaumetopoeidae) (Kanat & Alma, 2004). Por outro lado, o óleo de nim, em diferentes métodos de aplicação não afetou a sobrevivência do inimigo natural *Encarsia formosa* (Gahan) (Hymenoptera: Aphelinidae) (Chiasson et al., 2004).

A toxicidade dos óleos essenciais de gengibre, tomilho e do emulsionável de nim para *P. nigrispinus* indica que não devam ser usados no controle de lagartas de Lepidoptera, com a liberação de ninfas e machos desse predador. Vapores dos óleos essenciais de poejo, hortelã, manjerição e laranja foram eficientes contra afídeos-praga e, mas tóxicos para os predadores *Adalia bipunctata* (L.) e *Coccinella septempunctata* (L.) (Coleoptera: Coccinellidae) em casa-de-vegetação (Kimbaris et al., 2010). Por outro lado, os óleos essenciais de poejo e manjerição mostraram seletividade relativa de 8,2 e 22,1 ao predador *Orius strigicollis* (Poppius) (Heteroptera: Anthocoridae) em relação ao tripes, *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera: Thripidae), respectivamente (Yi et al., 2006), sugerindo que a seletividade relativa de óleos essenciais à inimigos depende da susceptibilidade da espécie-praga (Kimbaris et al., 2010). Extratos das sementes de nim a 0,25 e 0,50% foram eficientes contra ninfas e adultos de *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) mas reduziram a sobrevivência de imaturos, pupas e adultos do *Eriopis connexa* (Germar) (Coleoptera: Coccinellidae) (Venzon et al., 2007). Os

produtos comerciais de azadiractina (Azamax[®], Organic neem[®], Natuneem[®]) foram inócuos a adultos de *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera, Coccinellidae) (Efrom et al., 2011) e ao parasitoide de ovos, *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) (Almeida et al., 2010). O efeito de óleos essenciais no campo deve ser menor, pois a alta mobilidade de imaturos e adultos de *P. nigrispinus* e à existência de refúgios, poderiam reduzir os efeitos dos óleos essenciais e inseticidas comerciais sobre os predadores comparado-os ao uso de placas de Petri em laboratório, as quais mantem esse predador em uma área limitada (Venzon et al., 2007).

A maior tolerância relativa (T_{LR90}) de indivíduos de *S. frugiperda* que os de *A. gemmatalis* a maioria dos óleos essenciais por exposição tópica e contato podem ser atribuídas a diferenças no tamanho, a taxa de percepção de vapores tóxicos e mecanismos de desintoxicação entre essas espécies (Kimbaris et al., 2010).

A maior seletividade do óleo essencial de alho e a maior toxicidade daqueles de tomilho e gengibre ao predador e o menor impacto sobre as espécies-praga discorda da alta toxicidade do óleo essencial de alho a organismos não alvo como relatado para *Artemia salina* L. (Anostraca Artemiidae) e *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae) (George et al., 2010). Isto sugere variações interespecíficas na susceptibilidade de organismos benéficos aos óleos essenciais de plantas, sendo a tolerância e susceptibilidade dependentes ou relacionadas com as fases de vida de cada espécie (Ranger et al., 2013). Componentes dos óleos essenciais podem agir em receptores sinápticos do sistema nervoso central, especificamente na octopamina, como observado em *Periplaneta americana* (L.) (Blattodea: Blattidae) (Enan, 2005). No entanto, vertebrados tem baixa susceptibilidade à esses compostos devido ao fato de não possuírem o sistema octopaminérgico (Isman et al., 2011), o que confirma uma certa segurança dos óleos essenciais aos mamíferos, quando comparados a maioria dos inseticidas químicos sintéticos.

A maior toxicidade da deltametrina para ninfas e adultos de *P. nigrispinus* difere de relatos de que percevejos e ácaros predadores sejam tolerantes a inseticidas sintéticos piretróides (fenpropratrina, deltametrina, permetrina, etc.) (Picanço et al., 1997; Sato et al., 2011; Zanuncio et al., 2013). No entanto, esses trabalhos compararam esse inseticida com outros mais tóxicos, enquanto isto foi feito na presente pesquisa com óleos essenciais, menos tóxicos. Por isto, esse produto sintético (deltametrina) foi o tratamento mais perigoso para ninfas e machos do percevejo predador, exceto aos óleos essenciais de tomilho e gengibre por exposição tópica e contato, uma vez que sensibilidade desse inimigo natural depende do tipo de exposição e da fase do organismo exposto.

A toxicidade seletiva de inseticidas naturais ou sintéticos é importante para programas de Manejo Integrado de Pragas por considerar efeitos diretos no nível trófico superior (Moscardini et al., 2008). O óleo essencial de alho foi eficiente contra as lagartas desfolhadoras, *A. gemmatalis* e de *S. frugiperda* e seletivo para ninfas e adultos do percevejo predador *P. nigrispinus* e, por isso, com potencial para o Manejo Integrado e Ecológico de Pragas.

AGRADECIMENTOS

Ao “Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)”, “Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)” e “Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG)”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbott WS. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J Econ Entomol* 18:265–2267.
- Almeida GD, Zanuncio JC, Pratisoli D, Andrade GS, Cecon PR, Serrão JE. 2010. Effect of azadirachtin on the control of *Anticarsia gemmatalis* and its impact on *Trichogramma pretiosum*. *Phytoparasitica* 38:413–419.
- Ahmad M, Arif MI. 2010. Resistance of beet armyworm *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) to endosulfan, organophosphorus and pyrethroid insecticides in Pakistan. *Crop Prot* 29:1428–1433.
- Bacci L, Picanço MC, Silva EM, Martin JC, Chediak M, Sena ME. 2009a. Seletividade fisiológica de inseticidas aos inimigos naturais de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) em brássicas. *Ciênc Agrotec* 33:2045–2051.
- Bacci L, Rosado JF, Picanço MC, Pereira EJG, Silva GA, Martins JC. 2012. Concentration-mortality responses of *Myzus persicae* and natural enemies to selected insecticides. *J Environ Sci Heal A* 47:1930–1937.
- Chiasson H, Bostanian N, Vincent C. 2004. Acaricidal properties of a Chenopodium-based botanical. *J Econ Entomol* 97:1373–1377.
- Chung RJ, Horng RL, Chung YC, Soong YK. 2012. Effect of allyl sulfides from garlic essential oil on intracellular Ca^{2+} levels in renal tubular cells *J Nat Prod* 75:2101–2107.
- Dapkevicius A, Venskutonis R, Van Beek TA, Linszen JPH. 1998. Antioxidant activity of extracts obtained by different isolation procedures from some aromatic herbs grown in Lithuania. *J Sci Food Agric* 77:140–146.
- Efrom CFS, Redaelli LR, Meirelles RN, Ourique CB. 2011. Selectivity of phytosanitary products used in organic farming on adult of *Cryptolaemus montrouzieri*

- (Coleoptera, Coccinellidae) under laboratory conditions. *Semin-Cienc Agrar* 32:1429–1438.
- Enan EE, 2005. Molecular and pharmacological analysis of an octopamine receptor from American cockroach and fruit fly in response to plant essential oils. *Arch Inst Biochem Physiol* 59:161–171.
- Fantke P, Friedrich R, Jolliet O. 2012. Health impact and damage cost assessment of pesticides in Europe. *Environ Int* 49:9–17.
- Ferreira J, Zanuncio JC, Torres JB, Molina-Rugama A. 2008. Predatory behaviour of *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae) on different densities of *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. *Biocontrol Sci Tech* 18:711–719.
- Finney DJ. 1971. *Probit Analysis*. Cambridge University Press, London.
- Galvan TL, Koch RL, Hutchison WD. 2005. Toxicity of commonly used insecticides in sweet corn and soybean to multicolored Asian lady beetle (Coleoptera: Coccinellidae). *J Econ Entomol* 98:780–789.
- George DR, Sparagano OAE, Port G, Okello E, Shiel RS, Guy JH. 2010. Toxicity of plant essential oils to different life stages of the poultry red mite, *Dermanyssus gallinae*, and non-target invertebrates. *Med Vet Entomol* 24:9–15.
- González JOW, Gutiérrez MM, Murray AP, Ferrero AA. 2011. Composition and biological activity of essential oils from Labiatae against *Nezara viridula* (Hemiptera: Pentatomidae) soybean pest. *Pest Manag Sci* 67:948–955.
- Greene GL, Leppla NC, Dickerson WA. 1976. Velvetbean caterpillar: a rearing procedure and artificial medium. *J Econ Entomol* 69:487–488.
- Huang Y, Chen SX, Ho SH. 2000. Bioactivities of methyl allyl disulfide and diallyl trisulfide from essential oil of garlic to two species of stored product pests, *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) and *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *J Econ Entomol* 93:537–543.

- Isman MB. 2000. Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Prot* 19:603–608.
- Isman MB, Miresmailli S, Machial C. 2011. Commercial opportunities for pesticides based on plant essential oils in agriculture, industry and consumer products. *Phytochem Rev* 10:197–204.
- Kanat M, Alma MH. 2004. Insecticidal effects of essential oils from various plants against larvae of pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff) (Lepidoptera: Thaumetopoeidae). *Pest Manag Sci* 60:173–177.
- Kimbaris AC, Papachristos DP, Michaelakis A, Martinou AF, Polissiou MG. 2010. Toxicity of plant essential oil vapours to aphid pests and their coccinellid predators. *Biocontrol Sci Tech* 20:411–422.
- Kostic I, Petrovic O, Milanovic S, Popovic Z, Stankovic S, Todorovic G, Kostic M. 2013. Biological activity of essential oils of *Athamanta haynaldii* and *Myristica fragrans* to gypsy moth larvae. *Ind Crops Prod* 41:17–20.
- Koul O, Walia S, Dhaliwal GS. 2008. Essential oils as green pesticides: potential and constraints. *Biopestic Int* 4:63–84.
- Machial CM, Shikano I, Smirle M, Bradbury R, Isman MB. 2010. Evaluation of the toxicity of 17 essential oils against *Choristoneura rosaceana* (Lepidoptera: Tortricidae) and *Trichoplusia ni* (Lepidoptera: Noctuidae). *Pest Manag Sci* 66:1116–1121.
- Mahdian K, Leeuwen TV, Tirry L, Clercq P. 2007. Susceptibility of the predatory stinkbug *Picromerus bidens* to selected insecticides. *BioControl* 52:765–774.
- Matter MM, Gesrah MA, Ahmed AAI, Farag NA. 2002. Impact of neem and chinaberry fruit extracts on the pest/parasitoid (*Pieris rapae*/*Hyposoter ebeninus*) interactions. *J Pest Sci* 75:13–18.

- Maurya P, Mohan L, Sharma P, Batabyal L, Srivastava CN. 2007. Larvicidal efficacy of *Aloe barbadensis* and *Cannabis sativa* against the malaria vector *Anopheles stephensi* (Diptera: Culicidae). *Entomol Res* 37:153–156.
- Michaud JP, Vargas G. 2010. Relative toxicity of three wheat herbicides to two species of Coccinellidae. *Insect Sci* 17:434–438.
- Moreno SC, Carvalho GA, Picanço MC, Morais EGF, Pereira RM. 2012. Bioactivity of compounds from *Acmella oleracea* against *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) and selectivity to two non-target species. *Pest Manag Sci* 68:386–393.
- Moscardini VF, Moura AP, Carvalho GA, Lasmar O. 2008. Residual effect of synthetic insecticides on *Trichogramma pretiosum* Riley (Hym.: Trichogrammatidae) in different generations. *Acta Sci-Agron* 30:177–182.
- Pavela R. 2007. Possibilities of botanical insecticide exploitation in plant protection. *Pest Technol* 1:47–52.
- Pavela R. 2009. Larvicidal property of essential oils against *Culex quinquefasciatus* Say (Diptera: Culicidae). *Ind Crops Prod* 30:311–315.
- Pavela R. 2011. Insecticidal and repellent activity of selected essential oils against of the pollen beetle, *Meligethes aeneus* (Fabricius) adults. *Ind Crops Prod* 34: 888–892.
- Pereira AIA, Ramalho FD, Bandeira CD, Malaquias JB, Zanuncio JC. 2009. Age-dependent fecundity of *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae) with sublethal doses of gammacyhalothrin. *Braz Arch Biol Tech* 52:1157–1166.
- Picanço MC, Ribeiro LJ, Leite GLD, Zanuncio JC. 1997. Seletividade dos inseticidas a *Podisus nigrispinus* predador de *Ascia monuste orseis*. *Pesqui Agropecu Bras* 32:369–372.
- Prischamann DA, James DG, Wright LC, Teneyck RD, Snyder WE. 2005. Effects of chlopyrifos and sulphur on spider mites (Acari: Tetranychidae) and their natural enemies. *Biol Control* 33:324–334.

- Ranger CM, Reding ME, Oliver JB, Moyseenko JJ, Youssef N, Krause CR. 2013. Acute toxicity of plant essential oils to scarab larvae (Coleoptera: Scarabaeidae) and their analysis by gas chromatography-mass spectrometry. *J Econ Entomol* 106:159–167.
- Ribeiro RC, Lemos WP, Bernardino AS, Buecke J, Muller AA. 2010. Primeira ocorrência de *Alcaeorrhynchus grandis* (Dallas) (Hemiptera: Pentatomidae) predando lagartas desfolhadoras do dendezeiro no Estado do Pará. *Neotrop Entomol* 39:131–132.
- Ripper WE, Greenslade RM, Hartley GS. 1951. Selective insecticides and biological control. *J Econ Entomol* 44:448–459.
- Santos BR, Paiva R, Castro EM, Cardoso MG, Rezende RKS, Paiva PDO. 2004. Aspectos da anatomia e do óleo essencial em folhas de pindaíba (*Xylopiã brasiliensis* Spreng.). *Ciênc Agrotec* 28:345–349.
- SAS Institute. 1997. User`s guide: statistics. SAS Institute Cary, NC, USA.
- Sato ME, Silva MZ, Raga A, Cangani KG, Veronez B, Nicastro RL. 2011. Spiromesifen toxicity to the spider mite *Tetranychus urticae* and selectivity to the predator *Neoseiulus californicus*. *Phytoparasitica* 39:437–445.
- Singh UP, Prithiviraj B, Sarma BK, Singh M, Ray AB. 2001. Role of garlic (*Allium sativum* L.) in human and plant diseases. *Indian J Exp Biol* 39:310–322.
- Tillman PG, Mullinix BG. 2004. Comparison of susceptibility of pest *Euschistus servus* and predator *Podisus maculiventris* (Heteroptera: Pentatomidae) to selected insecticides. *J Econ Entomol* 97:800–806.
- US-EPA, 2011. Pesticide industry sales and usage reports. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency. Available from: <http://www.epa.gov/opp00001/pestsales/>.

- Venzon M, Rosado MC, Pallini A, Fialho A, Pereira CJ. 2007. Toxicidade letal e subletal do nim sobre o pulgão-verde e seu predador *Eriopis conexa*. *Pesqui Agropecu Bras* 42:627–631.
- Yi C-G, Choi B-R, Park H-M, Park C-G, Ahn Y-J. 2006. Fumigant toxicity of plant essential oils to *Thrips palmi* (Thysanoptera: Thripidae) and *Orius strigicollis* (Heteroptera: Anthocoridae). *J Econ Entomol* 99:1733–1738.
- Zanuncio JC, Zanuncio TV, Guedes RNC, Ramalho FS. 2000. Effect of feeding on three Eucalyptus species on the development of *Brontocoris tabidus* (Het.: Pentatomidae) fed with *Tenebrio molitor* (Col.: Tenebrionidae). *Biocontrol Sci Tech* 10:443–450.
- Zanuncio JC, Silva CAD, Lima ER, Pereira FF, Ramalho FS, Serrão JE. 2008. Predation rate of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae with and without defense by *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). *Braz Arch Biol Tech* 51:121–125.
- Zanuncio JC, Jusselino-Filho P, Ribeiro RC, Castro AA, Zanuncio TV, Serrão JE. 2013. Fertility and life expectancy of a predatory stinkbug to sublethal doses of a pyrethroid. *Bull Environ Contam Toxicol* 90:39–45.

Tabela 1. Nome comum (Nom. com.), nome científico/família (Nom. cient./fam.) ou comercial/grupo químico (Com./gru. quím.) dos óleos essenciais, produtos sintéticos, nome científico (família) e seus componentes majoritários, utilizados contra ovos, lagartas e pupas de *Anticarsia gemmatalis* e *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae).

Nom. com.	Nom. Cient. (fam.) ou com./gru. quím.	Componente(s) majoritário(s) (porcentagem) ¹
Alho	<i>Allium sativum</i> (Liliaceae)	Dialil dissulfeto (40%), Dialil trissulfeto (30%), dialil sulfeto (8%), metil alil dissulfeto (4%) e metil alil trissulfeto (10%)
Canela	<i>Cinnamomum zeylanicum</i> (Lauraceae)	Eugenol (75%), cariofileno (8%), cinamal (8%), γ -terpineno (3%)
Cravo	<i>Syzygium aromaticum</i> (Myrtaceae)	Eugenol (92,3%) e β -cariofileno (5,50%)
Gengibre	<i>Zingiber officinale</i> (Zingiberaceae)	Zingibereno (33%), beta-sesquifelandreno (12%), β -bisaboleno (10%), canfeno (8%), mirceno (7%)
Menta	<i>Mentha piperita</i> (Labiatae)	Mentol (55%), mentona (25%), acetato de metilo (10%)
Laranja	<i>Citrus sinensis</i> (Rutaceae)	Limoneno (95,48%), mirceno (2,10%)
Orégano	<i>Origanum vulgare</i> (Lamiaceae)	Carvacrol (70%), p-cimeno (15%), timol (4,3%)
Pimenta-do-reino	<i>Piper nigrum</i> (Piperaceae)	α - Pineno (30%), cariofileno (30%), limoneno (10%), e-nerolidol (6%)
Tomilho	<i>Thymus vulgaris</i> (Lamiaceae)	Timol (50%), p-cimeno (40%), linalool (6,0%)
Óleo essencial sintético		
Mostarda	<i>Brassica juncea</i> (Brassicaceae)	Isotiocianato alilo (ITCA) (90%)
Produtos comerciais		
Nim	<i>Azadiractina indica</i> (Meliaceae)/Azamax [®]	Azadiractina (1,2%)
Deltametrin	Keshet 25 CE [®] (piretróide)	Piretróide (0,025%)

a

¹Obtidos dos fornecedores

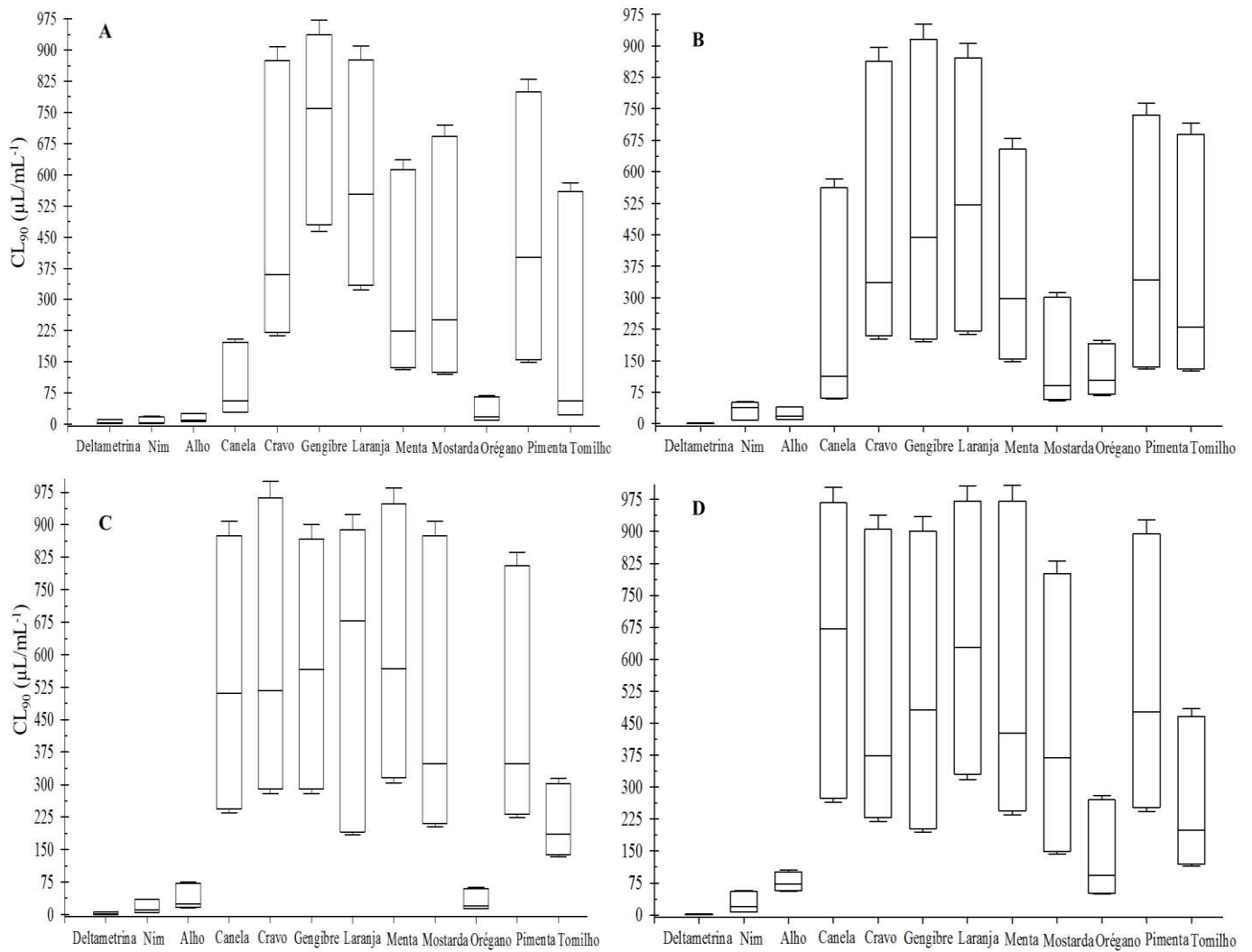


Figura 1. Toxicidade de lagartas de *Anticarsia gemmatalis* após exposição de contato (A) e tópica (B) e de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) por exposição de contato (C) e tópica (D), aos óleos essenciais e produtos comerciais. Barras com traços (-) dos valores médios da CL₉₀ dos óleos essenciais e produtos comerciais e o seus respectivos intervalos de confiança a 95% de probabilidade.

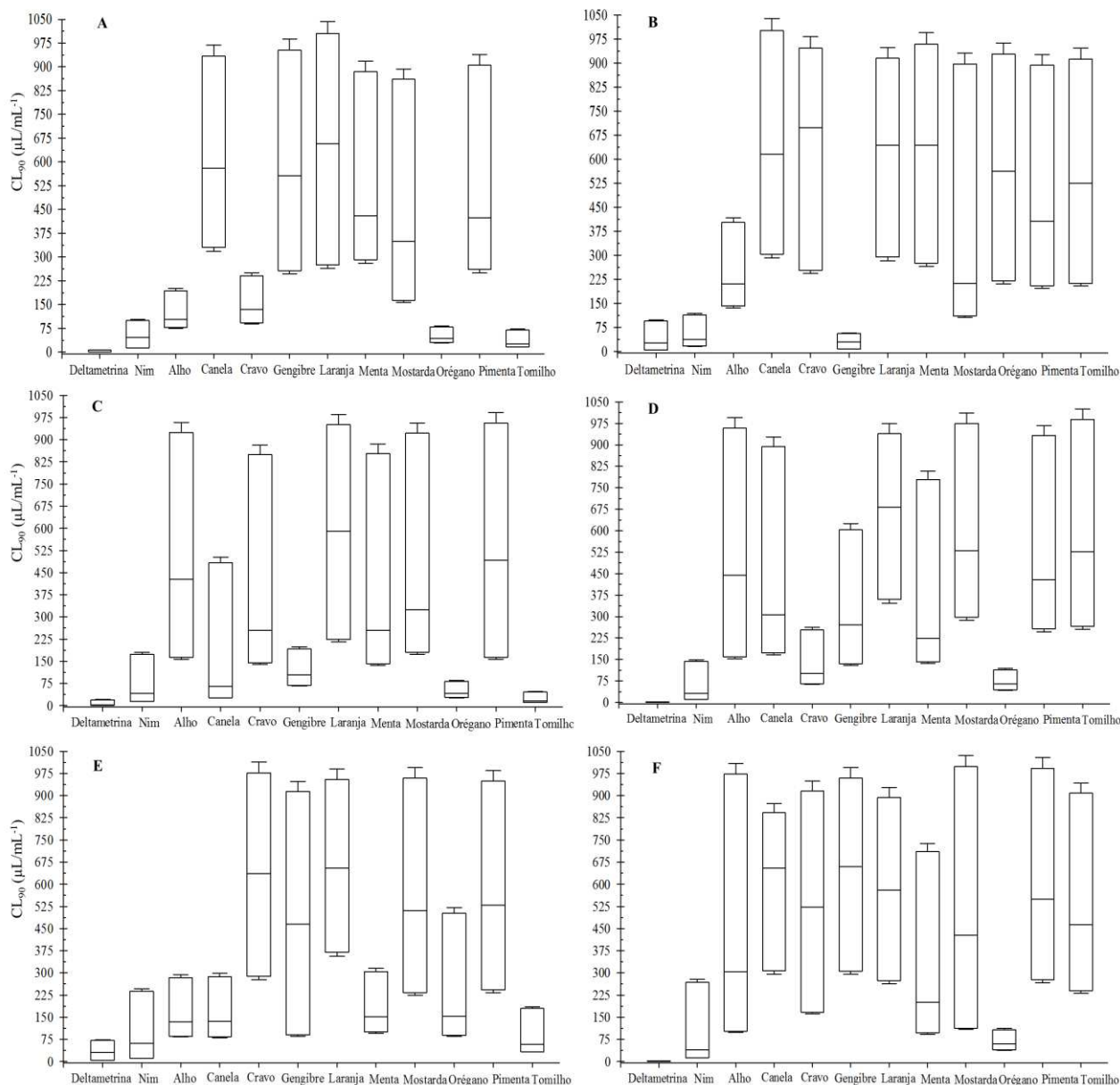


Figura 2. Susceptibilidade de ninfas (A e B), machos (C e D) e fêmeas (E e F) de *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae), após 72 horas de exposição de contato (A, C e E) e tópica (B, D e F), aos óleos essenciais e produtos comerciais.. Barras com traços (-) dos valores médios da CL₉₀ dos óleos essenciais e produtos comerciais e o seus respectivos intervalos de confiança a 95% de probabilidade.

Tabela 2. Toxicidade relativa ($T_{XR_{90}}$) de *Anticarsia gemmatalis* e *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) e para ninfas de terceiro estágio (ter. estád.) e adultos (machos e fêmeas) de *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae) em dois métodos de exposição (contato e tópico), após 72 horas

	<i>A. gemmatalis</i> ¹	<i>S. frugiperda</i> ¹	<i>P. nigrispinus</i> ¹		
			Ter. estád. ¹	Machos ¹	Fêmeas ¹
Contato					
Alho	3,92	22,25	93,96	150,44	4,29
Canela	23,93	473,32	532,57	22,92	4,37
Cravo	155,21	479,22	122,73	89,78	20,36
Gengibre	327,43	523,68	510,70	36,54	14,87
Laranja	238,50	628,53	602,53	208,08	20,99
Menta	96,32	526,39	394,50	89,82	4,84
Mostarda	108,30	322,90	320,74	113,93	16,36
Orégano	7,25	18,26	39,98	14,25	4,92
Pimenta-preta	172,90	321,92	388,88	173,17	16,97
Tomilho	23,74	171,96	23,28	5,27	1,89
Nim	1,39	9,46	42,64	14,66	1,98
Deltametrina	1	1	1	1	1
Tópico					
Alho	19,64	135,78	7,89	766,48	292,81
Canela	127,40	1.242,76	22,99	529,31	629,36
Cravo	378,49	691,48	26,09	176,48	502,23
Gengibre	498,16	891,33	1,10	468,60	633,81
Laranja	586,03	1.161,15	24,07	1.174,83	557,74
Menta	335,13	788,89	24,06	385,03	192,43
Mostarda	102,49	683,98	7,92	913,17	411,07
Orégano	116,64	170,98	20,98	111,78	56,94
Pimenta-preta	385,30	882,89	15,15	908,34	528,83
Tomilho	259,39	369,06	19,62	739,81	445,72
Nim	43,27	36,28	1,37	55,41	37,35
Deltametrina	1	1	1	1	1

¹Toxicidade relativa, $T_{XR_{90}} = LC_{90}$ do tratamento/ LC_{90} do produto químico sintético por espécie de inseto.

Tabela 3. Seletividade (S_{LR90}) e tolerância relativa (T_{LR90}) entre as lagartas de *Anticarsia gemmatalis*, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) e ninfas de terceiro estágio (Ter. est.), machos (Mac.) e fêmeas (Fêm.) do predador, *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae) aos óleos essenciais e dois produtos comerciais, em duas vias de contaminação, após 72 horas.

	<i>A. gemmatalis</i>			<i>S. frugiperda</i>			<i>S. frugiperda/A. gemmatalis</i> ²
	Ter. Est. ¹	Mac. ¹	Fêm. ¹	Ter. Est. ¹	Mac. ¹	Fêm. ¹	
Contato							
Alho	11,25*	46,95*	14,71*	4,26*	17,78*	5,57*	2,64
Canela	10,46*	1,17	2,46	1,14	(7,85)	(3,74)	9,21*
Cravo	(2,69)	(1,41)	1,77	(3,87)*	(2,03)	1,23	1,44
Gengibre	(1,36)	(7,32)*	(1,64)	(1,02)	(5,45)*	(1,22)	(1,34)
Laranja	1,19	1,07	1,18	(1,03)	(1,15)	(1,04)	1,23
Menta	1,92	1,14	(1,48)	(1,32)	(2,23)	(3,76)*	2,54
Mostarda	1,39	1,29	2,03	1,00	(1,08)	1,46	1,39
Orégano	2,59	2,41	9,13*	2,21	2,05	7,79	1,17
Pimenta-preta	1,06	1,23	1,32	1,22	1,41	1,52	(1,15)
Tomilho	(2,17)	(3,68)*	1,07	(7,32)*	(12,40)*	(3,15)	3,37
Nim	14,39	12,89	19,16	4,55	4,07	6,06	3,16
Deltametrina	(2,13)	1,22	13,46	1,01	2,63	28,91*	(2,15)
Tópico							
Alho	12,09*	25,43*	17,42*	2,88*	6,06*	4,15*	4,19*
Canela	5,43	2,71	5,77	(1,09)	(2,19)	(1,03)	5,92
Cravo	2,07	(3,29)	1,55	1,87	(3,65)	1,40	1,11
Gengibre	(22,63)*	(1,63)	1,49	(24,57)*	(1,77)	1,37	1,09
Laranja	1,24	1,31	1,11	1,03	1,09	(1,08)	1,20
Menta	2,16	(1,34)	(1,49)	1,51	(1,9)1	(2,13)	1,43
Mostarda	2,32	5,81	4,69	(1,74)	1,43	1,16	4,05
Orégano	5,41*	(1,60)	(1,75)	6,08	(1,42)	(1,56)	(1,12)
Pimenta-preta	1,18	1,54	1,60	(1,18)	1,11	1,15	1,39
Tomilho	2,28	1,86	2,01	2,64	2,15	2,33	(1,16)
Nim	(1,05)	(1,20)	1,01	1,88	1,64	1,98	(1,97)
Deltametrina	30,09*	(1,53)	1,17	49,59*	1,07	1,93	(1,65)

¹Índice de seletividade relativa ($S_{LR90} = CL_{90}$ do tratamento por estágio do predador/ CL_{90} do tratamento para a praga). Valores sem parêntesis indicam quantas vezes o tratamento foi mais tóxico para as espécies-praga e com parêntesis quantas vezes foi mais potente ao predador.

²Índice de tolerância relativa [$T_{LR90} = CL_{90}$ da espécie-praga mais tolerante (*S. frugiperda*)/ CL_{90} espécie-praga mais susceptível (*A. gemmatalis*)]. Valores sem parêntesis indicam quantas vezes o tratamento foi mais tóxico para *A. gemmatalis* e com parêntesis quantas vezes foi mais tóxico a lagartas de *S. frugiperda*.

*Significância, quando não houver sobreposição nos intervalos de confiança.

3º ARTIGO

**REPELÊNCIA DE OVIPOSIÇÃO E ALIMENTAR DE CONCENTRAÇÕES
SUBLETAIS DE DEZ ÓLEOS ESSENCIAIS DE CONDIMENTOS EM *Anticarsia
gemmatalis***

Repelência de oviposição e alimentar de concentrações subletais de dez óleos essenciais de condimentos em *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae)

RESUMO O crescente problema de resistência, impactos negativos sobre organismos não-alvo e resíduos em alimentos pelo uso exagerado dos inseticidas sintéticos tornaram necessários o desenvolvimento de produtos ecologicamente seguros. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a redução da alimentação e oviposição de *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae) por concentrações subletais de óleos essenciais de dez plantas condimentares, do óleo emulsionável de nim (Azamax[®]) e do piretróide (Keshet 25 CE[®]). Os bioensaios foram conduzidos em laboratório e em casa-de-vegetação, com discos foliares (10,25 cm²) e plantas de soja no estágio vegetativo V₃, em testes com e sem chance de escolha. Os índices de deterrência alimentar (IDA) e de oviposição (IDO) foram calculados após 24 e 48 horas de exposição de *A. gemmatalis* aos tratamentos, respectivamente. Os óleos essenciais de canela, cravo, gengibre, menta e tomilho exibiram alta atividade repelente de oviposição com IDO > 80%. Os maiores efeitos antialimentar moderado foram observados pelos óleos essenciais de alho, canela, menta e tomilho, com IDA > 50%. O óleo sintético de mostarda foi o único atrativo as lagartas *A. gemmatalis*. Os óleos essenciais de alho, canela, cravo, gengibre, menta e tomilho foram mais eficazes para reduzir a alimentação de lagartas e a oviposição de fêmeas de *A. gemmatalis* e, por isso, com potencial para o Manejo Integrado de Pragas.

PALAVRAS-CHAVE Controle comportamental, índices de deterrência, Manejo Integrado de Pragas, pesticidas naturais, proteção de plantas

INTRODUÇÃO

A utilização indiscriminada de pesticidas sintéticos causa acúmulo de substâncias potencialmente tóxicas no solo, água e alimentos (Pestana et al., 2009), o que tem levado à busca de métodos alternativos ecologicamente corretos e de menor custo que esses produtos (Pimentel et al., 2010). Óleos essenciais (OE) representam um método alternativo e eficiente de controle de pragas (Machial et al., 2010), com a vantagem de ter baixo peso molecular e alta pressão de vapor facilita a difusão destes compostos no ambiente (Bakkali et al., 2008).

Óleos essenciais apresentam vantagens para o controle de insetos-praga, como menores custos, contaminação ambiental e dos alimentos, impacto em organismos benéficos e seleção de pragas resistentes comparado aos inseticidas sintéticos, o que ajuda a tornar a agricultura mais sustentável (Kéita et al., 2001; Isman, 2006).

A manipulação do comportamento de insetos com semioquímicos é uma das mais promissoras estratégias de controle de pragas (Pickett et al., 1997). Isto pode ser feito com compostos repelentes para a oviposição e a alimentação, características que diminuem a possibilidade de danos econômicos por insetos nas culturas (Akhtar & Isman, 2004).

Óleos essenciais de plantas podem apresentar propriedades inseticidas como repelência, deterrência alimentar e efeitos negativos no desenvolvimento e reprodução dos insetos (Ketoh et al., 2005; Isman, 2006; Souza et al., 2007), embora, pouco utilizado como inseticidas, herbicidas ou repelentes (Isman et al., 2011). Por exemplo, o timol, monoterpene majoritário do óleo essencial de tomilho (*Thymus vulgaris*) foi registrado na Europa para o controle de dois importantes ácaros parasitas de *Apis mellífera* L. (Hymenoptera: Apidae) (Rice et al. 2002). O eugenol, composto fenólico, componente principal do óleo essencial de canela e cravo, é um repelente de largo espectro [Garden Insect Killer (64 oz)] (Wilson & Isman, 2006). Óleos essenciais de

tomilho, cravo e canela são reconhecidos como “seguros” pela Agência de Proteção Ambiental e, por isso, isentos de dados de toxicidade pela Food and Drug Administration dos EUA (EPA, 2004).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de repelência de oviposição e atividade antialimentar de concentrações subletais dos óleos essenciais de dez plantas condimentares e produtos comerciais a lagartas e adultos de *Anticarsia gemmatalis* Hubner (Lepidoptera: Noctuidae) em laboratório e casa-de-vegetação.

MATERIAL E MÉTODOS

As pesquisas foram realizadas no Laboratório de Controle Biológico de Insetos (LCBI) do Instituto de Biotecnologia Aplicada à Agropecuária (BIOAGRO) e em casa-de-vegetação do Departamento de Fitotecnia (DFT) da Universidade Federal de Viçosa (UFV) em Viçosa, Estado de Minas Gerais, Brasil.

Criação da espécie-praga

Lagartas e adultos de *A. gemmatalis* foram provenientes da criação massal do LCBI cujos adultos foram criados em gaiolas de madeira (30 x 30 x 30 cm) com as laterais teladas e recobertas com papel e com tampa de vidro em sala climatizada (temperatura de 25 ± 1 °C, 70 ± 10 % de UR e 12 horas de fotofase) e alimentadas com solução nutritiva embebida em algodão no fundo das gaiolas. A cada dois dias, os papéis com posturas de *A. gemmatalis* foram retirados das gaiolas, cortados em tiras (2,5 x 10 cm), e transferidas para potes plásticos de 1000 mL com dieta artificial (Greene et al., 1976) em cubos de 15 x 15 x 15 cm para as lagartas recém-eclodidas. Grupos de vinte lagartas de *A. gemmatalis* foram acondicionados em potes plásticos até a pupação e a quantidade de dieta artificial por pote aumentou, proporcionalmente, com

o desenvolvimento das mesmas. A reposição do alimento e a assepsia dos potes foram realizadas a cada 48 horas.

Obtenção dos óleos botânicos

Os óleos essenciais de alho, canela, cravo, gengibre, laranja, menta, orégano, pimenta-negra e tomilho foram adquiridos das empresas Viessence Comércio de Produtos Naturais Ltda. (Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil) e Ferquima Indústria e Comércio Ltda. (Vargem Grande Paulista – São Paulo, Brasil), extraídos em escala industrial por hidrodestilação e arraste de vapor de água (Dapkevicius et al., 1998; Santos et al., 2004). O óleo essencial sintético de mostarda, de uso na indústria alimentícia, fornecido pela empresa Marie Química Fina (Itaquaquecetuba, São Paulo, Brasil).

Repelência de oviposição

Sementes de soja do cultivar BRS Pintado, obtidas do Laboratório de Pesquisa de Sementes do Departamento de Fitotecnia da UFV, foram semeadas em potes plásticos (10 cm de diâmetro de boca, 15 cm de altura x 8 cm de diâmetro de base) com meio litro de terra e composto orgânico (3:1) e furos na sua base. As plantas foram irrigadas diariamente e, utilizadas no estágio vegetativo V₃ (duas folhas trifolioladas completamente desenvolvidas) (Fehr & Caviness, 1977), com uma planta usada nos testes sem e duas nos testes com chance escolha.

Pupas da lagarta-da-soja, da população mantida no Laboratório de Controle Biológico de Insetos (LBCI), foram sexadas e transportadas para gaiolas de acasalamento de PVC (20 cm de altura x 10 cm de diâmetro). Dois casais de *A. gemmatalis* foram transferidos, após 48 horas de emergência, para gaiolas de madeira (30 cm x 30 cm x 30 cm) com as laterais recobertas com tecido tipo organza em casa-

de-vegetação, com uma (sem chance) ou duas plantas de soja (com chance de escolha) tratadas ou não, para se avaliar o comportamento de oviposição de *A. gemmatalis*. As plantas foram expostas às concentrações subletais (CL₂₅) dos óleos essenciais ou produtos comerciais contendo o detergente não iônico Triton X-100 (0,01%) na calda (Tabela 1) (Milano et al., 2008). O período de avaliação de 48 horas foi adotado, pois a cópula e oviposição de *A. gemmatalis*, sob condições semelhantes de setembro a novembro de 2012, período de realização dos experimentos, ocorre a partir dos dois primeiros dias após a emergência das fêmeas (Lima et al., 1998).

Esse experimento foi conduzido em blocos casualizados, com cinco repetições, tendo uma gaiola com dois casais de *A. gemmatalis* e uma ou duas plantas tratadas ou não com os óleos essenciais ou o produto comercial. Cada planta de soja foi pulverizada com 20 mL da dosagem de CL₂₅ dos tratamentos (Tabela 1) e as posturas de *A. gemmatalis* contadas sobre folhas e ramos das plantas tratadas ou não com os produtos naturais ou comerciais, após 48 horas do início dos experimentos (Akhtar et al., 2010). Os índices de deterrência de oviposição (IDO) foram calculados com a fórmula: $(IDO) = [(C-T)/(C+T)] \times 100$, onde C e T são os números de ovos em plantas não ou tratadas com os óleos ou produtos comerciais (Akhtar et al., 2007).

Deterrência Alimentar

Discos de 10,25 cm² foram retirados de folhas de soja, *Glycine max* (L.) Merrill (Fabaceae) coletadas no campo experimental da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e imersos em cinco mL das caldas da CL₂₅ concentração subletal de 25% de mortalidade para lagartas de *A. gemmatalis*, de cada produto obtido em ensaios de preliminares (Tabela 1) ou em etanol (controle) por cinco segundos, deixados secar em papel toalha ao ar livre por 10 minutos. Esses discos foram oferecidos às lagartas de terceiro estágio

de *A. gemmatalis* (criadas em dieta artificial) sem de alimento por 24 horas (Uçkan & Sak, 2010).

As propriedades fagoinibidoras dos óleos essenciais foram avaliadas com bioensaios com chance de escolha (n= 20 por tratamento) com dois discos de folhas dispostos de maneira oposta em uma placa Petri (12 x 1,5 cm). Um disco foi tratado com um óleo essencial e o outro com etanol (uma das faces desse disco foi pintada com tinta branca para diferenciação) (Zapata et al., 2009). Nos testes sem escolha, um disco tratado ou não foi oferecido a cada vez para a lagarta-da-soja no centro da arena (n= 20 por tratamento). Após 24 horas, os restos dos discos foliares foram recolhidos e secos a 70 °C até peso constante, em grupos de cinco, correspondendo a uma repetição. O alimento consumido foi calculado pela diferença do peso fresco inicial e final dos discos foliares tratados ou não com os óleos essenciais (Pavela et al., 2008). O índice de deterrência alimentar foi calculado com: $IDA = (C-T)/(C+T) \times 100$; onde C e T foram os pesos das folhas do controle e tratadas consumidas pelo inseto com chance ou não de escolha em laboratório, respectivamente (Sadek, 2003).

Análise estatística

As porcentagens de IDA (índice de alimentação) e IDO (índice de oviposição) foram transformados em arco seno $\sqrt{x/100}$, submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Student Newman Keuls (SNK) ($P \leq 0,05$) com o software estatístico SAS (SAS Institute, 1997). O efeito dissuasor de alimentação e oviposição foi classificado em classes de atividade biológica com valores de IDA ou IDO < 0= preferência alimentar, IDA ou IDO= 0,1 - 30% efeito neutro, IDA ou IDO= 30,1 - 80% repelência moderada e IDA ou IDO= 80,1 - 100% repelência forte (González et al., 2011).

RESULTADOS

Repelência de oviposição

A atividade repelente de oviposição de concentrações subletais dos óleos essenciais foi neutra, moderada ou alta, reduzindo o número de ovos em plantas tratadas, com e sem chance de escolha por fêmeas de *A. gemmatalis*. Os óleos essenciais de canela, cravo, gengibre, menta e tomilho exibiram índices repelência de oviposição (IDO) > 80%, especialmente, em testes com chance de escolha e mostraram efeito repelente semelhante (Student-Newman-Keuls, $P \leq 0,05$) ao produto químico sintético de deltametrina (Tabela 2).

Deterrência alimentar

Os óleos essenciais de alho, canela, menta e tomilho proporcionaram repelência alimentar (IDA) > 50% contra lagartas de terceiro estágio de *A. gemmatalis*, e por isto, com moderado efeito antialimentar. O produto químico sintético teve nos ensaios o menor efeito fagoinibidor (Student-Newman-Keuls, $P \leq 0,05$), com e sem chance de escolha. Já, o óleo sintético de mostarda mostrou efeito de preferencia alimentar, com valores de IDA negativos (Tabela 3).

DISCUSSÃO

Óleos essenciais em concentrações subletais mostraram de moderada a forte redução da oviposição e da alimentação de fêmeas e lagartas de terceiro estágio de *A. gemmatalis*, respectivamente, devem-se a compostos orgânicos voláteis que podem modificar o comportamento do inseto, com diferenças qualitativas e quantitativas de composição química dos óleos essenciais e produtos comerciais testados (Akhtar et al., 2003). Essa composição pode variar com quimiotipos das plantas, o local e tempo de colheita (Hudaib et al., 2002; Formisano et al., 2013). Um produto repelente ou

deterrente contém uma substância ou mistura de substâncias, atuando na fase de vapor ou de contato, fazendo com que o inseto se movimente para longe ou evite a fonte do material (Isman et al., 2011).

A forte inibição de oviposição de *A. gemmatalis* pelos óleos essenciais de canela, cravo, gengibre, menta e tomilho concordam com a inibição de 100 % da oviposição verificada em *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae) com os dois primeiros óleos essenciais, mas o de gengibre não afetou a biologia desse besouro (Devi & Devi, 2013). *Spodoptera littoralis* não ovipositou em papel tratado com os óleos essenciais de *S. brevibracteata* e *S. hastifolia* (Lamiaceae), devido à receptores olfativos nas antenas desse lepidóptero adaptados para a detecção de compostos afim de evitar locais potencialmente nocivos para sua progênie (Formisano et al., 2013). Antenas das fêmeas de *Aedes aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae) foram sensíveis ao óleo essencial de alho e seus componentes (Campbell et al., 2011) semelhante ao que pode ter ocorrido para fêmeas de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), repelidas por voláteis de *Chrysanthemum morifolium* Ramat. (Asteraceae) (Wang et al., 2008). Isto mostra que o controle cultural em agricultura orgânica pode ser feito com plantios intercalados com plantas aromáticas, como as de canela, cravo, gengibre, menta e tomilho, para a redução de insetos-praga. Os produtos químicos voláteis destas culturas que podem evitar a oviposição em plantas hospedeiras, como observado em vários sistemas agrícolas (Hall et al, 2008; Tang et al., 2013).

A maior redução da alimentação de larvas de *A. gemmatalis* pelos óleos essenciais de alho, canela, menta e tomilho e pela atividade neutra dos demais óleos essenciais e produtos comerciais, exceto pelo óleo sintético de mostarda, se devem aos compostos presentes, no óleo essencial de canela foram identificados o eugenol (75%), cariofileno (8%), cinamal (8%), α -terpineno (3%) e outros (6%), dos quais o eugenol é um composto fenólico com atividade biológica diversa (Huang et al., 2002).

Provavelmente, não foi o principal responsável pelo efeito moderado na repelência alimentar (IDA > 50) desse óleo essencial, pois o óleo de cravo mostrou efeito fagoinibitório neutro (IDA > 30) e tem grande quantidade de eugenol (92,3%) na sua composição. O efeito fagoinibidor moderado do óleo essencial de canela e, provavelmente, dos demais óleos (alho, menta e tomilho) se deve aos vários componentes com efeito sinérgico entre os constituintes ativos e inativos (Jiang et al., 2009). A deterrência alimentar pode ser causada por componentes menores de óleos essenciais, como indicado pela menor atividade antialimentar de óleos essenciais após a remoção dos terpenos borneol ou β -cariofileno da mistura completa do óleo essencial de *Lavandula latifolia* (L.), do geraniol ou β -cariofileno retirado do óleo essencial de *Lavandula angustifolia* L. e a ausência de acetato de metilo ou citronelal no óleo essencial de *Mentha arvensis* L. (Lamiaceae) (Akhtar et al., 2012). O cariofileno do óleo de canela e ausente no de cravo tem efeito antialimentar (Rodilla et al., 2008) e, devido à esse composto, o óleo essencial de *Scutellaria hastifolia* (Lamiaceae) mostrou efeito antialimentar para lagartas de *Spodoptera littoralis* (Boisduval) (Lepidoptera: Noctuidae) (Formisano et al., 2013).

A deterrência alimentar e repelência de oviposição moderada de *A. gemmatilis* do óleo essencial de alho são provocados por seus componentes, derivados de sulfetos (Lawson et al., 1991). Plantas da família Liliaceae produzem compostos de enxofre que repelem artrópodes (Dugravot et al., 2004, 2005) como o dialil-dissulfeto e dialil-trissulfeto do óleo de alho que na concentração de 30 a 40%, são os componentes com maior efeito de repelência desse óleo essencial (Mann et al., 2011). Esses compostos, aplicados sobre a epiderme humana, conferiram maior proteção para adultos de *Ae. aegypti* que o óleo mineral de parafina (Campbell et al., 2011) e repelem adultos de *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae) e *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) (Rahman & Motoyama, 2000). Outros

componentes químicos de *Allium sativum* (L.) tem efeito antialimentar para *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae) (Landolt et al., 1999), *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) (Assis et al., 2007) e *Delia radicum* L. (Diptera: Anthomyiidae) (Prowse et al., 2006).

O forte efeito repelente de oviposição e moderada deterrência alimentar do óleo essencial de tomilho, em concentração subletal, para *A. gemmatalis*, concorda com a concentração de $10 \mu\text{g cm}^{-2}$ que obteve moderada a alta atividade repelente para ninfas e adultos de *Nezara viridula* (L.) (Hemiptera: Pentatomidae) (González et al., 2011). O óleo essencial de tomilho foi, também, eficiente para repelir mosquitos (Choi et al., 2002; Yang et al., 2005) e outros insetos e ácaros (Tunc et al., 2003; Novelino et al., 2007). Além disso, esse óleo essencial repeliu adultos de *Culicoides imicola* Kieffer (Diptera: Ceratopogonidae), *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) e *T. castaneum* (Padin et al., 2000).

O efeito alimentar estimulante do óleo sintético de mostarda em testes com e sem chance de escolha, se deve ao isotiocianato alilo (ITCA), componente majoritário (90%) desse óleo e altamente volátil com densidade de vapor de 3,4 vezes superior a do ar (Demirel et al., 2009). Esse composto apresenta rápido efeito fumegante contra pragas de grãos armazenados (Wu et al., 2009; Santos et al., 2011) e nematoides (Oliveira et al., 2011) e sua alta volatilidade e rápida decomposição pode ter impacto na preferência alimentar com 24 horas de exposição as lagartas de *A. gemmatalis*.

Os óleos essenciais de alho, canela, cravo, gengibre, menta e tomilho desencadearam comportamento antialimentar ou de repelência de oviposição de *A. gemmatalis* devido à atividade de fumigação dos mesmos com perspectivas de utilização em plantas em casa-de-vegetação ou em produtos armazenados, que dependem de produtos químicos sintéticos para o controle de insetos-praga (Jiang et al.,

2012). Outros estudos têm sugerido o uso de óleos essenciais como alternativas aos fumegantes sintéticos (Yi et al. 2007; Santos et al., 2010).

O maior efeito antialimentar dos óleos essenciais de alho, canela, menta e tomilho, com IDA (índice de deterrência alimentar) acima de 50% por lagartas de *A. gemmatalis*, foram melhores que os IDA do inseticida botânico comercial (nim) ou do produto químico sintético (deltamentrina). Assim como, os extratos botânicos de *Azadirachta indica*, *A. excelsa*, *Melia volkensii*, *M. azedarach* e *Trichilia americana* (Meliaceae) foram mais eficientes contra alimentação de lagartas de terceiro estágio de *Trichoplusia ni* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), que os produtos comerciais de piretro e rotenoma (Akhtar et al., 2008). A deltametrina, em concentração subletal (CL_{25}), mostrou baixos índices de deterrência alimentar (IDA < 30) e altos índices de repelência de oviposição (IDO > 80), com valores semelhantes (oviposição) ou menores (alimentar) que o de óleos essenciais de alho, canela, cravo, gengibre, menta e tomilho. Por isto, esses óleos tem potencial para programas de Manejo Integrado de Pragas (Jiang et al., 2012).

Os óleos essenciais de alho, canela, cravo, gengibre, menta e tomilho podem ser utilizados no Manejo Integrado de Pragas, por reduzirem alimentação e oviposição de *A. gemmatalis* em concentrações subletais para substituírem inseticidas sintéticos convencionais.

AGRADECIMENTOS

Ao “Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)”, “Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)” e “Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG)”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akhtar Y, Isman MB. 2004. Comparative growth inhibitory and antifeedant effects of plant extracts and pure allelochemicals on four phytophagous insect species. *J Appl Entomol* 128:32–38.
- Akhtar Y, Rankin CA, Isman MB. 2003. Decreased response to feeding deterrents following prolonged exposure in the larvae of a generalist herbivore, *Trichoplusia ni* (Lepidoptera: Noctuidae). *J Chem Ecol* 16:811–831.
- Akhtar Y, Yeoung YR, Isman MB. 2008. Comparative bioactivity of selected extracts from Meliaceae and some commercial botanical insecticides against two noctuid caterpillars, *Trichoplusia ni* and *Pseudaletia unipuncta*. *Phytochem Rev* 7:77–88.
- Akhtar Y, Yu Y, Isman MB, Plettner E. 2010. Dialkoxybenzene and dialkoxyallylbenzene feeding and oviposition deterrents against the cabbage looper, *Trichoplusia ni*: Potential insect behavior control agents. *J Agric Food Chem* 58:4983–4991.
- Akhtar Y, Isman MB, Pudaruru P.M, Nagabandi S, Nair R, Plettner E. 2007. Screening of dialkoxy benzenes and disubstituted cyclopentene derivatives against the cabbage looper, *Trichoplusia ni*, for the discovery of new feeding and oviposition deterrents. *J Agric Food Chem* 55:10323–10330.
- Akhtar YL, Pages E, Stevens A, Bradbury R, Camara CAG, Isman MB. 2012. Effect of chemical complexity of essential oils on feeding deterrence in larvae of the cabbage looper. *Physiol Entomol* 37:81–91.
- Assis FA, Moraes JC, Assis GA. 2007. Effect of the aqueous extract of garlic bulbs on the aphid *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) on potato. *Ecosistema* 3:63–66.
- Bakkali F, Averbeck S, Averbeck D, Idaomar M. 2008. Biological effects of essential oils--a review. *Food Chem Toxicol* 46:446–75.

- Campbell C, Gries R, Khaskin G, Gries G. 2011. Organosulphur constituents in garlic oil elicit antennal and behavioural responses from the yellow fever mosquito. *J Appl Entomol* 135:374–381.
- Choi WS, Park BS, Ku SK, Lee SK. 2002. Repellent activities of essential oils and monoterpenes against *Culex pipiens*. *J Am Mosq Control Assoc* 18:348–351.
- Dapkevicius A, Venskutonis R, Van Beek TA, Linssen JPH. 1998. Antioxidant activity of extracts obtained by different isolation procedures from some aromatic herbs grown in Lithuania. *J Sci Food Agric* 77:140–146.
- Demirel N, Kurt S, Gunes U, Uluc FT, Cabuk F. 2009. Toxicological responses of confused flour beetle, *Tribolium confusum* du Val (Coleoptera: Tenebrionoidea) to various isothiocyanate compounds. *Asian J Chem* 21:6411–6414.
- Devi K, Devi SS. 2013. Insecticidal and oviposition deterrent properties of some spices against coleopteran beetle, *Sitophilus oryzae*. *J Food Sci Technol* 50:600–604.
- Dugravot S, Thibout E, Abo-ghalia A, Huignard J. 2004. How a specialist and a nonspecialist insect cope with the dimethyl disulfide produced by *Allium porrum*. *Entomol Exp Appl* 113:173–179
- Dugravot S, Mondy N, Mandon N, Thibout E. 2005. Increased sulfur precursors and volatiles production by the leek *Allium porrum* in response to specialist insect attack. *J Chem Ecol* 31:1573–1561.
- EPA. 2004. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). Biopesticides-25b minimum risk pesticides. Disponivel em: URL http://www.epa.gov/oppbppd1/biopesticides/regtools/25b_list.htm.
- Fehr WR, Caviness CE. 1977. Stages of soybean development. Ames, Iowa State University, 21pp.

- Formisano C, Rigano D, Senatore F, Arnold NA, Simmonds MSJ, Rosselli S, Bruno M, Lozien K. 2013. Essential oils of three species of *Scutellaria* and their influence on *Spodoptera littoralis*. *Biochem Syst Ecol* 48:206–210.
- González JOW, Gutiérrez MM, Murray AP, Ferrero AA. 2011. Composition and biological activity of essential oils from Labiatae against *Nezara viridula* (Hemiptera: Pentatomidae) soybean pest. *Pest Manag Sci* 67:948–955.
- Greene GL, Leppla NC, Dickerson WA. 1976. Velvetbean caterpillar: a rearing procedure and artificial medium. *J Econ Entomol* 69:487–488.
- Hall DG, Gottwald TR, Nguyen NC, Ichinose K, Le QD, Beattie GAC, Stover E. 2008. Greenhouse investigations on the effect of guava on infestations of Asian citrus psyllid in grapefruit. *Proc Fla State Hort Soc* 121:104–109.
- Huang Y, Ho SH, Lee HC, Yap YL. 2002. Insecticidal properties of eugenol, isoeugenol and methyleugenol and their effects on nutrition of *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae) and *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *J Stored Prod Res* 38:403–412.
- Hudaib M, Speroni E, Di PAM, Cavrini V. 2002. GC/MS evaluation of thyme (*Thymus vulgaris* L.) oil composition and variations during the vegetative cycle. *J Pharm Biomed Anal* 29:691–700.
- Isman MB. 2006. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annu Rev Entomol* 51:45–66.
- Isman MB, Miresmailli S, Machial C. 2011. Commercial opportunities for pesticides based on plant essential oils in agriculture, industry and consumer products. *Phytochem Rev* 10:197–204.
- Jiang ZL, Akhtar Y, Bradbury R, Zhang X, Isman MB. 2009. Comparative toxicity of essential oils of *Litsea pungens* and *Litsea cubeba* and blends of their major

- constituents against the cabbage looper *Trichoplusia ni*. J Agr Food Chem 57:4833–4837.
- Jiang ZL, Akhtar Y, Zhang X, Bradbury R, Isman MB. 2012. Insecticidal and feeding deterrent activities of essential oils in the cabbage looper, *Trichoplusia ni* (Lepidoptera: Noctuidae). J Appl Entomol 136:191–202.
- Kéita SM, Vincent C, Schimit JP, Arnason JT, Bélanger A. 2001. Efficacy of essential oil of *Ocimum basilicum* L. and *O. gratissimum* L. applied as an insecticidal fumigant and powder to control *Callosobruchus maculatus* (Fab.) (Coleoptera: Bruchidae). J Stored Prod Res 37:339–349.
- Ketoh GK, Koumaglo HK, Glitho IA. 2005. Inhibition of *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae) development with essential oil extracted from *Cymbopogon schoenanthus* L. Spreng. (Poaceae), and the wasp *Dinarmus basalis* (Rondani) (Hymenoptera: Pteromalidae). J Stored Prod Res 41:363–371.
- Landolt PJ, Hofstetter RW, Biddick LL. 1999. Plant essential oils as arrestants and repellents for neonate larvae of the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). Environ Entomol 28:954–960
- Lawson LD, Wang ZJ, Hughes BG. 1991. Identification and HPLC quantification of the sulphides and dialk(en)y thiosulfinates in commercial garlic products. Planta Med 57:363–370.
- Lima ER, Vilela EF, Sanchez GR. 1998. Avaliação do comportamento reprodutivo e do feromônio sexual sintético de *Mocis latipes* (Guenée) (Lepidoptera: Noctuidae). An Soc Entomol Brasil 27:9–20.
- Machial CM, Shikano I, Smirle M, Bradbury R, Isman MB. 2010. Evaluation of the toxicity of 17 essential oils against *Choristoneura rosaceana* (Lepidoptera: Tortricidae) and *Trichoplusia ni* (Lepidoptera: Noctuidae). Pest Manag Sci 66:1116–1121.

- Mann RS, Rouseff RL, Smoot JM, Castle WS, Stelinski LL. 2011. Sulfur volatiles from *Allium* spp. affect Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae), response to citrus volatiles. *B Entomol Res* 101:89–97.
- Milano P, Berti Filho E, Parra JRP, Cônsoli FL. 2008. Influência da temperatura na frequência de cópula de *Anticarsia gemmatalis* Hübner e *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Neotrop Entomol* 37:528–535.
- Novelino AMS, Daemon E, Soares GLG. 2007. Avaliação da atividade repelente do timol, mentol, salicilato de metila e ácido salicílico sobre larvas de *Boophilus microplus* (Canestrini, 1887) (Acari: Ixodidae). *Arq Bras Med Vet Zootec* 59:700–704.
- Oliveira RDL, Dhingra OD, Lima AO, Jham GN, Berhow MA, Holloway RK, Vaughn SF. 2011. Glucosinolate content and nematicidal activity of Brazilian wild mustard tissues against *Meloidogyne incognita* in tomato. *Plant Soil* 341:155–164.
- Padin S, Ringuelet JA, Dal Bello G, Cerimele EL, Re MS, Henning CP. 2000. Toxicology and repellent activity of essential oils on *Sitophilus oryzae* L. and *Tribolium castaneum* Herbst. *J Herbs Spec Med Plants* 7:67–73.
- Pavela R, Vrchotová N, Šerá B. 2008. Growth inhibitory effect of extracts from *Reynoutria* sp. plants against *Spodoptera littoralis* larvae. *Agrociencia* 42:573–584.
- Pestana JLT, Loureiro S, Baird DJ, Soares AMVM. 2009. Fear and loathing in the benthos: responses of aquatic insect larvae to the pesticide imidacloprid in the presence of chemical signals of predation risk. *Aquat Toxicol* 93:138–149.
- Pickett JA, Wadhams LJ, Woodcock CM. 1997. Developing sustainable pest control from chemical ecology. *Agr Ecosyst Environ* 64:149-156.
- Pimentel MAG, Faroni LRD'A, Silva FH, Batista MD, Guedes RNC. 2010. Spread of phosphine resistance among Brazilian populations of three species of stored product insects. *Neotrop Entomol* 39:101–107.

- Prowse GM, Galloway TS, Foggo A. 2006. Insecticidal activity of garlic juice in two dipteran pests. *Agric For Entomol* 8:1–6.
- Rahman GKMM, Motoyama N. 2000. Repellent effect of garlic against stored product pests. *J Pestic Sci* 25:247–252.
- Rice ND, Winston ML, Whittington R, Higo HA. 2002. Comparison of release mechanisms for botanical oils to control *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) and *Acarapis woodi* (Acari: Tarsonemidae) in colonies of honey bees (Hymenoptera: Apidae). *J Econ Entomol* 95:221–226.
- Rodilla JM, Tinoco MT, Morais JC, Gimenez C, Cabrera R, Martin-benito D, Castillo L, Gonzalez-Coloma A. 2008. *Laurus novocanariensis* essential oil: seasonal variation and valorization. *Biochem Syst Ecol* 36:167–176.
- Sadek MM. 2003. Antifeedant and toxic activity of *Adhatoda vasica* leaf extract against *Spodoptera littoralis* (Lep., Noctuidae). *J Appl Entomol* 127:396-404.
- Santos BR, Paiva R, Castro EM, Cardoso MG, Rezende RKS, Paiva PDO. 2004. Aspectos da anatomia e do óleo essencial em folhas de pindaíba (*Xylopiã brasiliensis* Spreng.). *Ciênc Agrotec* 28:345–349.
- Santos JC, Faroni LRD'A, Sousa AH, Guedes RNC. 2011. Fumigant toxicity of allyl isothiocyanate to populations of the red flour beetle *Tribolium castaneum*. *J Stored Prod Res* 47:238–243.
- Santos SB, Martins MA, Faroni LRD'A, Junior Rodrigues V, Dhingra O. 2010. Quality of maize grains treated with allyl isothiocyanate stored in hermetic bags. *J Stored Prod Res* 46:111–117.
- SAS Institute. 1997. User`s guide: statistics. SAS Institute Cary, NC, USA.
- Souza EL, Stamford TLM, Lima EO, Trajano VN. 2007. Effectiveness of *Origanum vulgare* L. essential oil to inhibit the growth of food spoiling yeasts. *Food Control* 18:409–413.

- Tang GB, Song BZ, Zhao LL, Sang XS, Wan HH, Zhang J, Yao YC. 2013. Repellent and attractive effects of herbs on insects in pear orchards intercropped with aromatic plants. *Agroforest Syst* 87:273–285.
- Tunc I, Erler F. 2003. Repellency and repellent stability of essential oil constituents against *Tribolium confusum*. *Z Pflanzen Pflanzensch* 110:394–400.
- Uçkan F, Sak O. 2010. Cytotoxic effect of cypermethrin on *Pimpla turionellae* (Hymenoptera: Ichneumonidae) larval hemocytes. *Ekoloji* 19:20–26.
- Wang H, Guo WF, Zhang PJ, Wu ZY, Liu SS. 2008. Experience-induced habituation and preference towards non-host plant odors in ovipositing females of a moth. *J Chem Ecol* 34:330–33.
- Wilson JA, Isman MB. 2006. Influence of essential oils on toxicity and pharmacokinetics of the plant toxin thymol in the larvae of *Trichoplusia ni*. *Can Entomol* 138:578–589.
- Wu H, Zhang GA, Zeng S, Lin KC. 2009. Extraction of allyl isothiocyanate from horseradish (*Armoracia rusticana*) and its fumigant insecticidal activity on four stored-product pests of paddy. *Pest Manag Sci* 65:1003–1008.
- Yang P, Ma Y. 2005. Repellent effect of plant essential oils against *Aedes albopictus*. *J Vector Ecol* 30:231–234.
- Yi CGM, Hieu TT, Jang, YS, Ahn YJ. 2007. Fumigant toxicity of plant essential oils to *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) and *Cotesia glommerata* (Hymenoptera: Braconidae). *J Asia Pac Entomol* 10:157–163.
- Zapata N, Budia F, Vinuela E, Medina Pilar. 2009. Antifeedant and growth inhibitory effects of extracts and drimanes of *Drimys winteri* stem bark against *Spodoptera littoralis* (Lep., Noctuidae). *Ind Crops Prod* 30:119–125.

Tabela 1. Espécies vegetais ou nome comercial (Esp. Nom. Com.), nome comum ou técnico (Nom. Com. Tec.), concentrações subletais para lagartas de terceiro estágio obtidos em ensaios preliminares (CL_{25} , intervalo de confiança 95%, $\mu\text{L}/\text{mL}$)* e família botânica (Fam. bot.) dos óleos essenciais avaliados na escolha do alimento e oviposição de *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae)

Esp. Nom. Com.	Nom. Com. Tec.	CL_{25} *	Fam. bot.
<i>Allium sativum</i>	Alho	1,23 (0,16-3,91)	Liliaceae
<i>Brassica juncea</i>	Mostarda	27,1 (16,8-30,84)	Brassicaceae
<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	Cravo	9,6 (6,8-12,12)	Lauraceae
<i>Citrus sinensis</i>	Laranja	58,8 (38,04-77,82)	Rutaceae
<i>Mentha piperita</i>	Menta	5,68 (3,17-8,48)	Labiatae
<i>Origanum vulgare</i>	Orégano	1,34 (0,45-2,24)	Lamiaceae
<i>Piper aduncum</i>	Pimenta-negra	9,64 (4,45-15,10)	Piperaceae
<i>Syzygium aromaticum</i>	Canela	1,30 (0,07-3,9)	Myrtaceae
<i>Thymus vulgaris</i>	Tomilho	4,15 (2,21-6,18)	Lamiaceae
<i>Zingiber officinale</i>	Gengibre	3,41 (0,57-7,12)	Zingiberaceae
Azamax [®]	Nim	0,06 (0,02-0,14)	-
Keshet 25 CE [®]	Deltametrina	0,005 (0,001-0,009)	-

*Obtidos em ensaios preliminares.

Tabela 2. Índices de deterrência de oviposição (médias \pm erro padrão) de fêmeas de *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae), após 48 horas de exposição com concentrações subletais de óleos essenciais de dez plantas em casa-de-vegetação, com e sem chance de escolha

Tratamentos	Com escolha ¹	Sem escolha ¹	Atividade biológica ²
Alho	60,61 \pm 18,69B	68,63 \pm 3,92AB	Moderada
Canela	92,41 \pm 4,07A	80,91 \pm 9,13 ^a	Forte
Cravo	91,62 \pm 4,69A	83,95 \pm 4,5 ^a	Forte
Gengibre	83,08 \pm 7,71A	63,26 \pm 14,72AB	Forte
Laranja	52,14 \pm 15,27AB	26,25 \pm 12,4BC	Moderada
Menta	80,92 \pm 15,52A	40,74 \pm 2,49BC	Forte
Mostarda	64,52 \pm 14,72AB	9,88 \pm 7,92C	Moderada
Óregano	27,21 \pm 19,55C	7,31 \pm 2,75C	Neutra
Pimenta-negra	71,10 \pm 7,77AB	15,61 \pm 10,67C	Moderada
Tomilho	90,86 \pm 6,07A	84,30 \pm 4,34 ^a	Forte
Nim	43,30 \pm 16,88C	34,81 \pm 13,67BC	Moderada
Deltametrina	83,15 \pm 16,81A	13,32 \pm 5,63C	Forte

¹Valores positivos representam efeito de repelência e negativo de preferência para oviposição. Médias com letras diferentes na coluna diferem pelo teste Student Newman Keuls ($P \leq 0,05$).

²Classes de atividade biológica com valores de IDO < 0= preferência para oviposição, IDO= 0,1 - 30% efeito neutro, IDO= 30,1 - 80% repelência moderada e IDO= 80,1 - 100% repelência forte.

Tabela 3. Índices de deterrência alimentar (médias \pm erro padrão) sob o efeito concentrações subletais de dez óleos essenciais, aos imaturos de terceiro estágio de *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae) em laboratório, com e sem chance de escolha, após 48 horas de exposição

Tratamentos	Sem escolha ¹	Com escolha ¹	Atividade biológica ²
Alho	49,84 \pm 4,54A	53,49 \pm 3,10 ^a	Moderada
Canela	51,23 \pm 4,85A	59,69 \pm 3,59 ^a	Moderada
Cravo	25,82 \pm 6,81AB	-12,85 \pm 5,00D	Neutra
Gengibre	18,36 \pm 7,30B	-15,81 \pm 3,21D	Neutra
Laranja	28,67 \pm 5,38AB	-14,44 \pm 13,54D	Neutra
Menta	48,57 \pm 4,03A	-11,38 \pm 1,82D	Moderada
Mostarda	-12,43 \pm 10,15C	-43,88 \pm 2,97D	Preferência
Óregano	22,01 \pm 5,17AB	13,01 \pm 6,12C	Neutra
Pimenta-negra	27,27 \pm 5,59AB	13,91 \pm 6,03C	Neutra
Tomilho	47,91 \pm 3,98A	57,91 \pm 0,82A	Moderada
Nim	17,71 \pm 8,18B	17,82 \pm 1,78B	Neutra
Deltametrina	9,12 \pm 4,57BC	5,99 \pm 3,09C	Neutra

¹Valores positivos representam efeito de deterrência e negativo de preferência alimentar. Médias com mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Student Newman Keuls ($P \leq 0,05$).

²Classes de atividade biológica com valores de IDA < 0= preferência alimentar, IDA= 0,1 - 30% efeito neutro, IDA= 30,1 - 80% deterrência moderada e IDA= 80,1 - 100% deterrência alimentar forte.

CONCLUSÕES GERAIS

- Indivíduos de *S. frugiperda* foram mais tolerantes, que aqueles de *A. gemmatalis* aos óleos essenciais;
- Os óleos essenciais de tomilho e de menta foram mais tóxicos para ovos de *S. frugiperda*, e o de alho mais eficiente no controle dos ovos de ambos os lepidópteros (*A. gemmatalis* e *S. frugiperda*), que o inseticida químico sintético (deltametrina);
- Os óleos essenciais de alho, canela, cravo, orégano e o emulsionável de nim, foram mais eficientes para o controle da lagarta-da-soja e do cartulho-do-milho em três vias de exposição (alimentar, contato e tópico).
- O produto químico de deltametrina e os óleos de tomilho, gengibre e nim, apresentaram maior risco ao inimigo natural, principalmente, as ninfas e machos de *P. nigrispunus*. Assim, fêmeas desse predador são mais compatíveis com os óleos essenciais e os produtos comerciais;
- Concentrações subletais (CL₂₅) dos óleos essenciais de alho, canela, gengibre, cravo, menta e tomilho reduziram a alimentação de lagartas e a oviposição de *A. gemmatalis*, em laboratório e casa-de-vegetação, respectivamente;
- A alta toxicidade, repelência de oviposição, deterrência alimentar do óleo essencial de alho as espécies-praga e a seletividade ao percevejo predador mostra que é o mais indicado para programas de Manejo Integrado ou Ecológico de Pragas.