

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM AGROECOLOGIA

**CONTROLES ALTERNATIVO E BIOLÓGICO DO ÁCARO-DA-NECROSE-DO-
COQUEIRO *Aceria guerreronis* KEIFER (ACARI: ERIOPHYIDAE)**

MARIA DE JESUS DE SOUSA SILVA

São Luís

2014

MARIA DE JESUS DE SOUSA SILVA

Engenheira Agrônoma

CONTROLES ALTERNATIVO E BIOLÓGICO DO ÁCARO-DA-NECROSE-DO-COQUEIRO *Aceria guerreronis* Keifer (ACARI: ERIOPHYIDAE)

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão, para obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Adenir Vieira Teodoro

São Luís

2014

Silva, Maria de Jesus de Sousa.

Controles alternativo e biológico do ácaro-da-necrose do coqueiro *Aceria guerreronis* (Acari: Eriophyidae) / Maria de Jesus de Sousa Silva.– São Luís, 2014.

74 f

Dissertação (Mestrado) – Curso de Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão, 2014.

Orientador: Prof. Dr. Adenir Vieira Teodoro

1.Ácaro predador. 2. Agrotóxico. 3.*Cocos nucifera*. 4.Controle biológico. 5.Óleo bruto de algodão. 6. Praga. I.Título

CDU: 632.951

MARIA DE JESUS DE SOUSA SILVA

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão, para obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Adenir Vieira Teodoro

Aprovada em 26/09/2014

Comissão Julgadora:

Dr. Adenir Vieira Teodoro – Embrapa Tabuleiros Costeiros

Dra. Andréia Serra Galvão - Instituto Federal do Maranhão/IFMA

Dr. Eugênio Eduardo de Oliveira - Universidade Federal de Viçosa/UFV

São Luís

2014

DEDICO

À minha querida mãe, Domingas de Sousa Silva, que mesmo distante me oferece a mais bela forma de amor todos os dias de minha vida.

Ao meu irmão Márcio Brito de Sousa que apesar das dificuldades, proporcionou as condições necessárias para garantir a conclusão das minhas atividades acadêmicas.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por me conceder a cada novo dia força, esperança e fé. Obrigada por guiar meu caminho.

Aos meus pais Leodoro Gomes da Silva (*in memoriam*) e Domingas de Sousa Silva pelo amor e pelos esforços para garantir meus estudos.

Ao meu irmão Márcio Brito de Souza, por me dar a oportunidade de estudar além do esperado. Aos meus irmãos Suely Brito de Souza, Francisco de Sousa Silva e Marinalva de Sousa Silva, que nos momentos mais difíceis, mesmo distantes, estavam ao meu lado. Muito obrigado por todo o apoio e paciência, principalmente, nesse último ano.

A meu namorado e eterno companheiro dos momentos de felicidades e aflições, Rafael Rocha da Silva. Obrigada pela dedicação, paciência e disposição em ajudar. Muito obrigada pela ajuda com as leituras e correções deste trabalho, sem você seria mais difícil.

Ao Prof. Dr. Adenir Vieira Teodoro pela dedicação em orientar, paciência, conhecimentos adquiridos e pelo apoio durante minha estadia em Aracaju-SE.

Aos bolsistas e estagiários do laboratório de Entomologia e Controle Biológico da Embrapa Tabuleiros Costeiros: Jéssica Vasconcelos e Samuel Farias vocês foram fundamentais nesse trabalho, obrigada pela dedicação aos inúmeros experimentos realizados. A Maria Clézia Santos, Elidiany Carmelo, Iedo Cruz, Priscila Mello e Renata Simões, obrigada pela ajuda nos experimentos e principalmente pela acolhida, amizade e companheirismo durante minha estadia em Aracaju-SE.

A Profa. Ester Azevedo do Amaral pela amizade, ensinamentos, estímulo e confiança que tem por mim. Obrigado por estarsempre presente e pela preocupação com minha formação pessoal e profissional.

A Profa. Andréia Serra Galvão pela “co-orientação”, ensinamentos, auxílio com análises e pelas valiosas sugestões deste trabalho.

Ao Prof. Eugênio Eduardo de Oliveira pelo auxílio com a análise de dados e pela participação na banca de defesa deste trabalho.

Aos professores do programa de Pós-Graduação em Agroecologia da UEMA pelos ensinamentos.

A secretária do Mestrado em Agroecologia, Rayanne Cristine, sempre responsável e dedicada nas resoluções de problemas. Muito obrigada.

Aos amigos do laboratório de Entomologia da UEMA Elizabeth Costa, Giselle de Freitas, Keneson Klay, Nathália Nicolle, Rodrigo Aguiar e Suelen Rayane obrigada pela ajuda nos experimentos de laboratório e nas coletas em campo, obrigada também pela amizade, companheirismo e pelas belas risadas. À jovem Albéryca Stephany e a todos os demais agregados, estagiários e bolsistas do laboratório de entomologia/UEMA, obrigada pela companhia, amizade, boas conversas e risadas.

Aos funcionários da Fazenda Escola São Luís/UEMA pelo auxílio nas coletas em campo.

A todos da turma 12AGE do mestrado em Agroecologia, pela convivência durante esses dois anos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

A todos os amigos e familiares que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

Capítulo 1	04
1 INTRODUÇÃO GERAL	05
1.1 Manejo Integrado de Pragas.....	05
1.2 Controle alternativo de pragas com produtos botânicos.....	05
1.3 Controle biológico de ácaros pragas.....	06
1.4 Ácaros estudados.....	07
1.5 Perspectivas para o controle do ácaro-da-necroseem coqueiro.....	10
REFERÊNCIAS	12
Capítulo 2: Toxicidade e repelência diferenciais do óleo bruto de algodão bruto aos ácaros <i>Aceria guerreronis</i> e <i>Typhlodromus ornatus</i>(Acari: Eriophyidae, Phytoseiidae)	18
Resumo.....	19
Abstract.....	20
Introdução.....	21
Material e Métodos.....	22
Resultados.....	26
Discussão.....	27
Referências.....	31
Tabelas.....	34
Figuras	35
3 CAPÍTULO 3: Resposta funcional e taxa de oviposição de <i>Typhlodromus ornatus</i> ao ácaro-da-necrose-do-coqueiro <i>Aceria guerreronis</i> (Acari: Phytoseiidae, Eriophyidae)	38
Resumo.....	39
Abstract.....	40
Introdução.....	41
Material e métodos.....	42
Resultados.....	45
Discussão.....	46

Referencias.....	49
Tabelas.....	52
Figuras	54
4 CONCLUSÃO GERAL.....	57
ANEXOS A: Normas da Revista Experimental and Applied	
Acarology.....	58

RESUMO

O ácaro-da-necrose *Aceria guerreronis* Keifer (Acari: Eriophyidae) é a principal praga do coqueiro no Brasil, sobretudo na região Nordeste. O óleobruto de algodão tem sido recomendado para o controle alternativo do ácaro-da-necrose, no entanto são necessários estudos de toxicidade relativa e seletividade comparativa a ácaros predadores da família Phytoseiidae, seus principais inimigos naturais. O ácaro predador fitoseídeo *Typhlodromus* (*Anthoseius*) *ornatus* Denmark & Muma (Acari: Phytoseiidae) é encontrado em frutos de coqueiro da região nordeste do Brasil e está possivelmente associado ao controle biológico do ácaro-da-necrose. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a toxicidade e repelência relativa do óleo bruto de algodão ao ácaro-da-necrose e ao ácaro predador *T. ornatus* bem como avaliar o potencial do predador como agente de controle biológico do ácaro-praga. Bioensaios de concentração-mortalidade e testes de repelência foram utilizados para avaliar a toxicidade e repelência relativa do óleo bruto de algodão a ambos os ácaros. A repelência e a toxicidade do óleo bruto de algodão a ambos os ácaros foi avaliada comparativamente com os acaricidas abamectina, azadiractina, espiroclorfenol e fenpiroximato, os quais são registrados no Brasil para o controle do ácaro-da-necrose. As concentrações letais (CLs) estimadas indicaram que o ácaro predador é cerca de 8 vezes mais tolerante ao óleo bruto de algodão que o ácaro-da-necrose. Os acaricidas azadiractina, espiroclorfenol, fenpiroximato e o óleo bruto de algodão foram repelentes ao ácaro-da-necrose e ao ácaro predador. No entanto, o óleo bruto de algodão é menos repelente ao predador que ao ácaro praga. Adicionalmente, o ácaro predador apresentou resposta funcional do tipo II mostrando que é um importante agente de controle biológico do ácaro-da-necrose. O óleo bruto de algodão é uma alternativa para o controle do ácaro-da-necrose em coqueiro por ser tóxico a essa praga além de ser compatível com o ácaro predador *T. ornatus*.

Palavras-chave: Ácaro predador, Agrotóxico, *Cocos nucifera*, Controle biológico, Óleo bruto de algodão, Praga.

ABSTRACT

The coconut mite *Aceria guerreronis* Keifer, 1865 (Acari: Eriophyidae) is one of the most important pests of coconut in Brazil, especially in the Northeast. Crude cottonseed oil has been recommended as an alternative to control the coconut mite, however studies are needed for a comparative toxicity and repellency to predatory mites of the family Phytoseiidae, their main natural enemies. The phytoseiid predatory mite *Typhlodromus (Anthoseius) ornatus* Denmark & Muma (Acari: Phytoseiidae) is found on coconut fruits from northeastern Brazil and is possibly associated with the biological control of coconut mite. The aim of this study was to evaluate the toxicity and repellency of crude cotton seed oil to both the coconut mite and the predatory mite as well as to determine the potential of this predator as a biological control agent of the pest mite. Concentration-mortality bioassays and repellency tests were used to evaluate the toxicity and repellency of crude cottonseed oil to both mites. Toxicity and repellency were comparatively evaluated with the acaricides abamectin, azadirachtin, spiroticlofen and fenpyroximate, which are registered in Brazil to control the coconut mite. Lethal concentrations (LC) indicated that the predatory mite is about 8 times more tolerant to crude cottonseed oil than the coconut mite. Repellency tests showed that azadirachtin acaricides, spiroticlofen, fenpyroximate and the crude cottonseed oil were repellents to coconut mite and to the predatory mite. However crude cottonseed oil was less repellent to the predator mite. Additionally, the predatory mite showed the type II functional response showing that it is an important biological control agent of the coconut mite. The crude cotton seed oil is an alternative for the control of the coconut mite as it is toxic to this pest besides being compatible with the predatory mite, an important natural enemy of the pest mite.

Keywords: Predatory mite, Pesticide, *Cocos nucifera*, Crude cotton seed oil, pest.

Capítulo 1

INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Manejo Integrado de Pragas

O Manejo Integrado de Pragas (MIP) propõe o uso, em conjunto, de técnicas incluindo os controles biológico e químico, razão pela qual a compatibilidade de agrotóxicos e inimigos naturais se torna essencial (GRADISH et al., 2010; ABRAHAM et al., 2012). O controle químico é uma importante ferramenta para a redução de populações de pragas (GRADISH et al., 2010; LIMA et al., 2013) entretanto, o uso contínuo de agrotóxicos, sobretudo os de amplo espectro, pode causar, além dos problemas ambientais e à saúde humana, surtos de pragas primárias e secundárias, seleção de populações resistentes e mortalidade de inimigos naturais de pragas (REIS et al., 1998; TEODORO et al., 2009; GEIGER et al., 2011).

Agrotóxicos alternativos são uma opção para o manejo de pragas por sua eficiência e geralmente, baixa toxicidade a inimigos naturais (MARCIC, 2012; RIBEIRO et al., 2014) ao ambiente e à saúde humana (ISMAN, 2008; MARCIC, 2012). No entanto, alguns agrotóxicos alternativos causam mortalidade e/ou repelência a inimigos naturais de pragas, como aos ácaros predadores (CASTAGNOLI et al., 2002; CHOI et al., 2004; DESNEUX et al., 2007; ESTEVES FILHO et al., 2013).

1.2 Controle alternativo de pragas com produtos botânicos

As substâncias de origem vegetal podem ser uma fonte alternativa de produtos naturais para o controle de pragas, pois as plantas defendem-se quimicamente contra a ação de artrópodes herbívoros por meio da síntese de compostos secundários com propriedades inseticidas capazes de provocarem, dentre outros efeitos, a morte ou repelência em insetos e ácaros (ISMAN, 2008; MITHÖFER & BOLAND, 2012; EL-WAKEIL, 2013).

O óleo extraído das sementes de algodão *Gossypium spp.*, é um exemplo desse tipo de produto e pode causar mortalidade e interferência no comportamento de artrópodes (WILSON

& SMITH, 1976). O óleo bruto de algodão vem sendo indicado no controle alternativo do ácaro-da-necrose *Aceria guerreronis* Keifer (Acari: Eriophyidae) em coqueiro (FERREIRA et al., 2002; CHAGAS et al., 2005). No entanto, há carência de estudos científicos que comprovem a eficiência desse óleo no controle dessa praga bem como sua toxicidade e/ou repelência a inimigos naturais como os ácaros predadores.

A toxicidade de agrotóxicos a artrópodes vem sendo tradicionalmente avaliada por meio de medidas letais como a concentração letal (CL) (STARK & BANKS, 2003; DESNEUX et al., 2007). A CL_{50} é definida como a concentração que mata 50% da população do organismo em estudo (DESNEUX et al., 2007), portanto, uma estimativa da toxicidade de agrotóxicos a artrópodes.

No entanto, artrópodes evitam a ação prejudicial de agrotóxicos por meio, por exemplo, da mudança do comportamento como forma de evitar o contato com o agrotóxico (LOCKWOOD et al., 1984; HOY et al., 1998). O organismo pode se comportar de forma preventiva a exposição à substância tóxica, sem que tenha ocorrido um contato prévio com o agrotóxico. Este comportamento caracteriza a resistência comportamental estímulo-independente (repelência) (LOCKWOOD et al., 1984; CORDEIRO et al., 2010).

Outra forma de escape da ação prejudicial dos agrotóxicos está ligada ao aumento da habilidade do artrópode em detectar a substância tóxica que promove o efeito irritante, estimulando assim uma resposta de fuga após a percepção do produto. Este comportamento caracteriza a resistência comportamental estímulo-dependente (irritabilidade) (LOCKWOOD et al., 1984; CORDEIRO et al., 2010).

1.3 Controle biológico de ácaros-praga

Os ácaros predadores da família Phytoseiidae são importantes na regulação de populações de ácaros fitófagos em diversas culturas (MORAES, 2002; MCMURTRY

&CROFT, 1997; SARMENTO et al., 2011). O controle biológico realizado por ácaros predadores que ocorrem naturalmente em agroecossistemas é essencial para manter populações de pragas em baixas densidades (MCMURTRY, 1992; MCMURTRY E CROFT 1997; SARMENTO et al., 2011). Uma das características vantajosas dos fitoseídeos é seu rápido desenvolvimento (SAWAR et al., 2011), alta habilidade de forrageamento, persistência em plantas com baixa infestação de presas (FERLA et al., 2011) e a capacidade de sobrevivência em substratos alternativos que possuem outras opções de alimento, como pólen e néctar (MORAES, 2002).

Os fitoseídeos generalistas podem desempenhar um papel importante no controle do ácaro-da-necrose em coqueiro, o qual pode oferecer diversos alimentos alternativos para esses predadores como, por exemplo, pólen, fungos, substâncias açucaradas de insetos sugadores e pequenos artrópodes (MCMURTRY & CROFT, 1997; NÁVIA et al., 2013). Os ácaros predadores podem se alimentar de todas as fases do desenvolvimento (ovos, larvas, ninfas, adultos) de ácaros pragas e são influenciados pela densidade dos mesmos (KREBS et al., 1977; COSTA et al., 2014). A resposta funcional reflete a relação entre taxa de predação e densidades crescentes da presa, fornecendo parâmetros comportamentais que permitem realizar estimativas, indicando assim o potencial do inimigo natural sob avaliação (HOLLING, 1959, 1961; HASSELL, 1978; CASAS et al., 1993).

1.4 Ácaros estudados

O ácaro-da-necrose *A. guerreronis* é considerado atualmente a praga mais prejudicial aos frutos do coqueiro e encontra-se distribuído em todas as regiões produtoras do mundo (NÁVIA et al., 2013). As colônias deste eriofídeo desenvolvem-se no tecido meristemático sobre o perianto do fruto coberto pelas brácteas (figura 1).

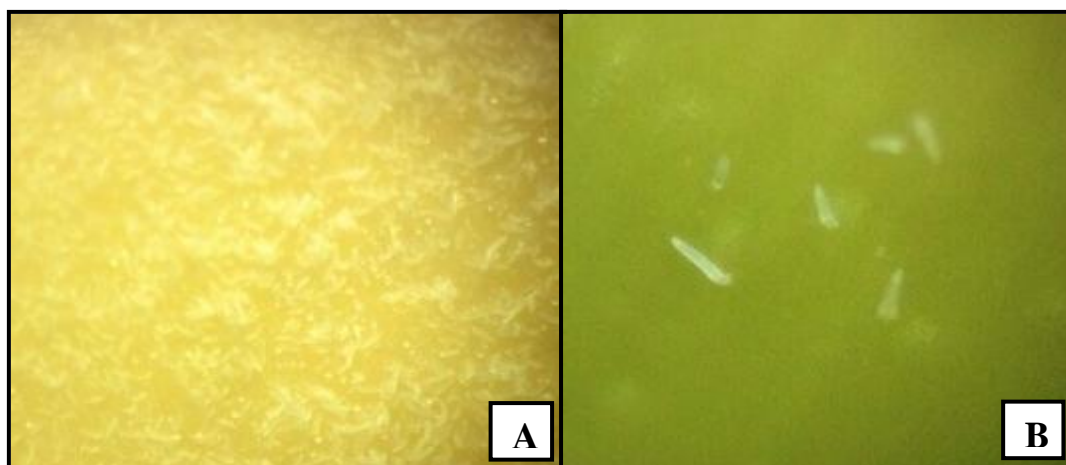


Figura 1. (A) Colônia e (B) adultodo ácaro-da-necrose *Aceria guerreronis*. Foto: Silva, M.J.S.

A alimentação do ácaro nessa região do fruto provoca danos mecânicos e assim, nos frutos infestados desenvolvem, inicialmente, faixas brancas de formato triangular na epiderme que evoluem com o crescimento dos mesmos. Posteriormente essas manchas se expandem e tornam a área necrosada aparecendo assim, rachaduras longitudinais de aspecto coriáceo na epiderme dos frutos (HAQ et al., 2002). Essas rachaduras evoluem para profundas fissuras na parede dos frutos, distorção e consequente diminuição da produção de copra (figura 2).



Figura 2. Sintomas de ataque do ácaro-da-necrose *A. guerreronis* em frutos de coqueiro. Foto:Silva, M.J.S.

Graves infestações deste ácaro causam redução no tamanho dos frutos, no número de frutos por planta, no peso (fresco e seco), malformação, além de queda prematura de frutos

(HAQ et al., 2002; RAMARAJU et al., 2005; NEGLOH et al., 2011). Por apresentar uma rápida expansão e estabelecimento, por conta de sua alta taxa reprodutiva e rápido desenvolvimento (HAQ et al., 2002), pode causar perdas de até 60% na produção (HAQ, 2011).

À medida que o fruto cresce, a densidade populacional do ácaro-da-necrose aumenta e conseqüentemente a competição intraespecífica também, reduzindo a quantidade e a qualidade dos alimentos e aumentando a probabilidade de colonização pelos predadores, levando os ácaros a migrarem para diferentes órgãos vegetais, devido à superpopulação, competição e presença desses inimigos naturais (HUFFAKER et al., 1969; HOWARD et al., 1990; LAWSON-BALAGBO et al., 2007; GALVÃO et al., 2011; LIMA et al., 2012), além do aumento no teor de lignina nos frutos (GALVÃO et al., 2011) uma vez que os eriofídeos requerem tecidos de plantas jovens para alimentação (BOCZECK & SCHEVCHENKO, 1996).

Nessas condições, o ácaro-da-necrose tende a se dispersar ocupando a superfície de diferentes órgãos vegetais (MOORE et al., 1989, GALVÃO et al., 2011), expondo-se ao ataque dos predadores. Dentre outros fatores, as características biológicas e comportamentais do ácaro-da-necrose contribuem para que esta seja uma praga de difícil controle nos coqueirais. No entanto, diversos ácaros predadores têm sido relatados associados a essa praga em várias partes do mundo, sendo a maioria deles da família Phytoseiidae (NÁVIA et al., 2013).

Os primeiros ácaros predadores em associação direta com o ácaro-da-necrose foram relatados por Návía et al. (2005) e dentre eles o fitoseídeo *Typhlodromus (Anthoseius) ornatus* (Denmark e Muma) (Figura 3), que também foi citado por Reis et al. (2008) ocorrendo em associação com essa praga em coqueiro. Outras espécies de ácaros predadores, como *Amblyseius largoensis*, *Neoseiulus paspalivorus* e *Neoseiulus baraki* foram encontrados em

frutos atacados por *A. guerreronis* nas regiões norte e nordeste do Brasil (LAWSON-BALAGBO et al., 2008; SILVA et al., 2010), no Sri Lanka (MORAES et al., 2004) e estudos realizados na África e Índia relataram muitos predadores dentre eles *A. largoensis* e *N. paspalivorus* (RAMARAJU et al., 2005; BANERJEE & GUPTA, 2011, NEGLOH et al., 2011).

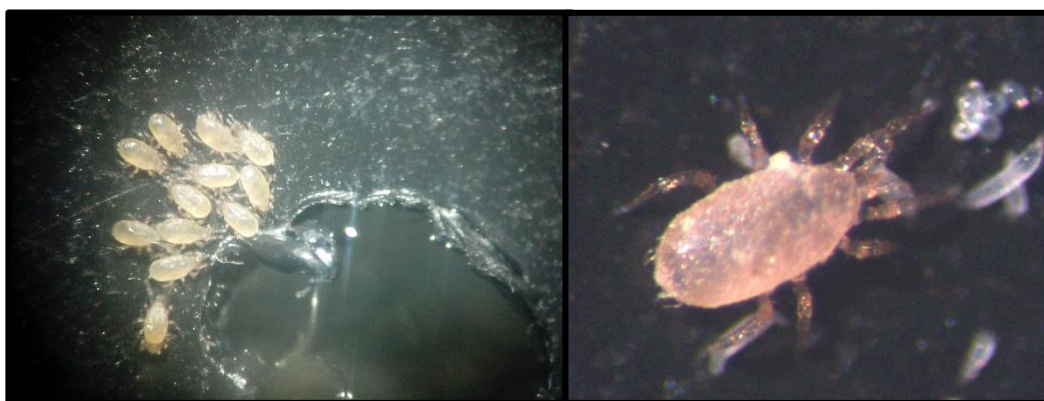


Figura 3. Ácaro predador *Typhlodromus ornatus*. Foto:Silva, M.J.S.

1.5 Perspectivas para o controle do ácaro-da-necroseem coqueiro

Grandes avanços no conhecimento sobre o controle do ácaro-do-coqueiro foram alcançados, especialmente na última década, após a sua entrada na Ásia, onde o coqueiro é uma importante cultura (NÁVIA et al., 2013). Alguns métodos de controle foram estudados para minimizar os danos causados pelo ácaro-da-necrose, e dentre eles o controle químico (MOORE et al., 1989; MOREIRA & NASCIMENTO, 2002; RAMARETHINAM et al., 2003) e o controle biológico com ácaros predadores (LAWSON-BALAGBO et al. 2007, 2008; FERNANDO et al., 2010; DOMINGOS et al., 2010; LIMA et al., 2012).

No entanto, atualmente, o controle químico é o mais utilizado para controlar a praga, sendo realizado com aplicações frequentes de acaricidas (FERREIRA, 2009; NÁVIA et al., 2013), apesar da difícil implementação, devido ao porte da cultura e ao custo elevado desta

prática para pequenos agricultores (HERNANDEZ, 1977; RAMARAJU et al., 2002). O habitat desta praga é protegido por brácteas, dificultando o contato dos acaricidas com os ácaros no perianto (HERNANDEZ, 1977; MONTEIRO et al., 2012) e são realizadas aplicações frequentes e em intervalos curtos de tempo (FERNANDO et al., 2002) o que torna necessário pesquisas para o desenvolvimento de técnicas sustentáveis de controle (NÁVIA et al., 2013).

Atualmente, cinco acaricidas são registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para o controle do ácaro-da-necrose em coqueiro (AGROFIT, 2014). No entanto, pouco se sabe sobre os efeitos deletérios desses produtos sobre as populações de ácaros predadores associados ao ácaro-da-necrose. Agrotóxicos seletivos auxiliam na conservação dos inimigos naturais (GRADISH et al., 2010; SATO et al., 2002) como ácaros predadores.

Nesse contexto, tem-se buscado produtos botânicos como uma alternativa aos acaricidas convencionais, uma vez que alguns produtos de origem vegetal podem ser tão eficazes quanto acaricidas sintéticos no controle de pragas (COPPING & MENN, 2000; CHANDLER et al., 2011). É importante destacar que o uso de produtos seletivos a ácaros predadores podem auxiliar na manutenção da população desses inimigos naturais e, portanto contribuir para o controle dessa praga em coqueirais (FERNANDO et al., 2010; HAQ, 2011; NÁVIA et al., 2013).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a toxicidade do óleo bruto de algodão ao ácaro-da-necrose *A. guerreronis* e ao ácaro predador *T. ornatus* bem como avaliar o potencial deste predador como agente de controle biológico dessa praga na cultura do coqueiro.

REFERÊNCIAS

ABRAHAM, C. M. et al. Pesticide compatibility with natural enemies for pest management in greenhouse Gerbera daisies. **Journal of Economic Entomology**, v. 106, n.4, p. 1590-1601, 2012.

AGROFIT- Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Coordenação-Geral de Agrotóxicos e Afins/DFIA/SDA. Disponível em: http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 12 mar. 2014.

BANERJEE, D.; GUPTA, S. K. Incidence and seasonal occurrence of mites on coconut in West Bengal. **India Zoosymposia**, v. 6, p. 82–85, 2011.

BOCZECK, J.; SCHEVCHENKO, V.G. Ancient associations: Eriophyoid mites on gymnosperms, p. 217-225. In E. E. Lindquist, M.W. Sabelis & J. Bruin (eds.), *Eriophyoid mites: their biology, natural enemies and control*. Amsterdam, Elsevier, 1996, 790p.

CASAS, J. et al. A probabilistic model for the functional response of a parasitoid at the behavioural time-scale. **Journal of Animal Ecology**, v. 62, p. 194-202, 1993.

CHAGAS, M. C. M. et al. Utilização de produtos alternativos aos químicos no controle de pragas associadas à queda de frutos do coqueiro. Natal: **Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte**, 2005.

CHANDLER, D. et al. The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 366, p. 1987–1998, 2011.

CASTAGNOLI, M. et al. Side effects of botanical insecticides on predatory mite *Amblyseius andersoni* (Chant). **Journal of Pest Science**, v.75, p.122-127, 2002.

CHOI, W. I. et al. Toxicity of plant oils to *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 97, p. 553-558, 2004.

COPPING, L. G.; MENN, J. J. Biopesticides: a review of their action, applications and efficacy. **Pest Management Science**, v. 56, p. 651–676, 2000.

CORDEIRO, E. M. G. et al. Insecticide survival and behavioural avoidance in the lacewings *Chrysoperla externa* and *Ceraeochrysa cubana*. **Chemosphere** v.81, p. 1352-1357, 2010.

COSTA, E. C. et al. Functional response of *Euseius concordis* to densities of different developmental stages of the cassava green mite. **Experimental and Applied Acarology**, 2014. DOI: 10.1007/s10493-014-9823-x.

DESNEUX, N.; DECOURTYE, A.; DELPUECH, J. M. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. **Annual Review of Entomology**, v. 52, p. 81-106, 2007.

DOMINGOS, C. A. et al. Diet-dependent life history, feeding preference and thermal requirements of the predatory mite *Neoseiulus baraki* (Acari: Phytoseiidae). **Experimental and Applied Acarology**, v. 50, p. 201-215, 2010.

EL-WAKEIL, N. E. Botanical pesticides and their mode of action. **Gesunde Pflanzen**, v. 65, p. 125-149, 2013.

ESTEVEZ FILHO, A. B. et al. Toxicidade de espiromesifeno e acaricidas naturais para *Tetranychus urticae* Koch e compatibilidade com *Phytoseiulus macropilis* (Banks). **Semina**, v. 34, p. 2675-2686, 2013.

FERLA, N. J. et al. Functional response of *Phytoseiulus macropilis* under different *Tetranychus urticae* (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae) population density in laboratory. **Zoologia**, v. 28, p. 17-22, 2011.

FERNANDO, L. C. P.; WICKRAMANANDA, I. R.; ARATCHIGE, N. S. Status of coconut mite, *Aceria guerreronis* in Sri Lanka. In: FERNANDO, L. C. P.; MORAES, G. J.; WICKRAMANANDA, I. R. (eds.), **Proceedings of the International Workshop on Coconut Mite (*Aceria guerreronis*)**. Sri Lanka, Coconut Research Institute, 2002, p. 1-8.

FERNANDO, L. C. P. et al. Evidence for suppressing coconut mite, *Aceria guerreronis* by inundative release of the predatory mite, *Neoseiulus baraki*. **Biological Control**, v 53, p. 108-111, 2010.

FERREIRA, J. M. S. Pragas e métodos de controle ajustados à baixa capacidade de investimentos dos pequenos produtores rurais. In: CINTRA, F. L. D.; FONTES, H. R.; PASSOS, E. E. M.; FERREIRA, M. S. (eds.), **Fundamentos tecnológicos para a revitalização das áreas cultivadas com coqueiro gigante no Nordeste do Brasil**. Aracaju, Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009, p. 191-218.

FERREIRA, J. M. S.; MICHEREFF FILHO, M.; LINS, P. M. P. Pragas do coqueiro: Características, amostragem, nível de ação e principais métodos de controle. In FERREIRA,

J. M. S.; MICHEREFF FILHO, M. (eds.), **Produção integrada de coco: Práticas fitossanitárias**. Aracajú, Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2002, p. 37-57.

GALVÃO, A. S. et al. Distribution of *Aceria guerreronis* and *Neoseiulus baraki* among and within coconut bunches in northeast Brazil. **Experimental and Applied Acarology**, v. 54, p. 373-38, 2011.

GEIGER, F. et al. Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. **Basic and Applied Ecology**, v. 11, p. 97-105, 2011.

GRADISH, A. E. et al. Effect of reduced risk pesticides on greenhouse vegetable arthropod biological control agents. **Pest Management Science**, v. 67, p. 82–86, 2010.

HAQ, M. A.; SUMANGALA, K.; RAMANI, N. Coconut mite invasion, injury and distribution. In.: FERNANDO, L C. P.; MORAES, G. J.; WICKRAMANANDA, I. R (eds.). **Proceedings of the International Workshop on Coconut Mite (*Aceria guerreronis*)**. Sri Lanka, Coconut Research Institute, 2002, p. 41-49.

HAQ, M. A. Coconut destiny alter the invasion of *Aceria guerreronis* in India. In.: MORAES, G. J.; Proctor, H. (eds). *Acarology XIII: proceedings of the international congress. Zoosymposia* v. 6, p. 160–169, 2011.

HASSELL, M.P. The dynamics of arthropod predator-prey systems. United States: Princeton University Press, **Princeton**, 1978.

HERNANDEZ, R. F. Combate químico del eriófido del cocotero *Aceria (Eriophyes) guerreronis* (K.) en la Costa de Guerrero. **Agricultura Técnica en México**, v. 4, p. 23–38, 1977.

HOLLING, C. S. Some characteristics of simple types of predation and parasitism. **Canadian Entomologist**, v. 91, p. 85-398, 1959.

HOLLING, C. S. Principles of insect predation. **Annual Review of Entomology**, v. 6, p. 163-182, 1961.

HOWARD, F.W.; ABREU-RODRIGUES, E.; DENMARK, H.A. Geographical and seasonal distribution of the coconut mite, *Aceria guerreronis* (Acari: Eriophyidae) in Puerto Rico and Florida, USA. **Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico**, v. 74, p. 237-251, 1990.

HOY, C. W.; HEAD, G. P.; HALL, F. R. Spatial heterogeneity and insect adaptation to toxins. **Annual Review of Entomology**, v. 43, p. 571-594, 1998.

HUFFAKER, C. B.; VAN DE VRIE, M.; MCMURTRY, J. A. The ecology of tetranychid mites and their natural control. **Annual Review of Entomology**, v. 14, p. 125-174, 1969.

ISMAN, M. B. Perspective botanical insecticides: for richer, for poorer. **Pest Management Science**, v. 64, p. 8-11, 2008.

KREBS, J. R. et al. Optimal prey selection in the great tit (*Parus major*). **Animal Behaviour**, v. 25, p. 30-38, 1977.

LAWSON-BALAGBO, L. M. et al. Life history of the predatory mites *Neoseiulus paspalivorus* e *Proctolaelaps bickleyi*, candidates for control biological *Aceria guerreronis*. **Experimental and Applied Acarology**, v. 43, p. 49-51, 2007.

LAWSON-BALAGBO, L. M. et al. Exploration of the acarine fauna on coconut palm in Brazil with emphasis on *Aceria guerreronis* (Acari: Eriophyidae) and its natural enemies. **Bulletin of Entomological Research**, v. 98, p. 83-96, 2008.

LIMA, D. B. et al. Limitations of *Neoseiulus baraki* and *Proctolaelaps bickleyi* as control agents of *Aceria guerreronis* Keifer. **Experimental and Applied Acarology**, v. 56, p. 233-246, 2012.

LIMA, D. B. et al. Acaricide toxicity and synergism of fenpyroximate to the coconut mite predator *Neoseiulus baraki*. **Biological Control**, v. 58, p. 595-605, 2013.

LOCKWOOD, J. A.; SPARKS T. C.; STORY, R. N. Evolution of insect resistance to insecticides: a reevaluation of the roles of physiology and behaviour. **Bulletin of the Entomological Society of America**, v. 30, p. 41-51, 1984.

MARCIC, D. Acaricides in modern management of plant-feeding mites. **Journal of Pest Science**, v. 85, n. 4, p. 395-408, 2012.

MCMURTRY, J. A. Dynamics and potential impact of 'generalist' phytoseiids in agroecosystems and possibilities for establishment of exotic species. **Experimental & Applied Acarology**, v.14, p. 371-382, 1992.

MCMURTRY, J. A.; Croft, B.A. Life-styles of phytoseiid mites and their roles in biological control. **Annual Review of Entomology**, v.42, p. 291-321, 1997.

MITHÖFER, A.; BOLAND, W. Plant defense against herbivores: Chemical aspects. **Annual Review of Plant Biology**, v. 63, p. 431-450, 2012.

MONTEIRO, V. B. et al. Residual bioassay to assess the toxicity of acaricides against *Aceria guerreronis* (Acari: Eriophyidae) under laboratory conditions. **Journal of Economic Entomology**, v.105, p. 1419-142, 2012.

MOORE D, ALEXANDER L, HALL R. A. The coconut mite, *Eriophyes guerreronis* Keifer in St. Lucia: yield losses and attempt to control it with acaricide, polybutene and *Hirsutella* fungus. **Tropical Pest Management**, v. 35, p. 83-89, 1989.

MORAES, G. J. Controle biológico de ácaros fitófagos com predadores. In: PARRA J. R. P.; BOTELHO, P. S. M.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; BENTO, J. M. S (eds.). **Controle biológico: parasitóides e predadores**. São Paulo, Manole, v. 4, 2002, p 225-237.

MORAES, G. J. et al. A revised catalog of the mite family Phytoseiidae. **Zootaxa**, v. 434, p. 1-494, 2004.

MOREIRA J. O. T.; NASCIMENTO, A. R. P. Avaliação da eficiência de acaricidas isolados e em mistura no controle do ácaro-da-necrose-do-coqueiro *Aceria guerreronis* Keifer, 1965 (Prostigmata: Eriophyidae) no Vale do São Francisco. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, p.72-76, 2002.

NÁVIA, D. et al. Acarofauna associada a frutos de coqueiro (*Cocos nucifera* L.) de algumas localidades das Américas. **Neotropical Entomology**, v.34, p. 349-354, 2005.

NÁVIA, D. et al. A review of the status of the coconut mite, *Aceria guerreronis* (Acari: Eriophyidae), a major tropical mite pest. **Experimental and Applied Acarology**, v.59, p. 67-94, 2013.

NEGLOH, K.; HANNA, R.; SCHAUSBERGER, P. The coconut mite, *Aceria guerreronis*, in Benin and Tanzania: occurrence, damage and associated acarine fauna. **Experimental and Applied Acarology**, v. 55, p. 174-361, 2011.

RAMARAJU K. et al. Impact of coconut eriophyid mite, *Aceria guerreronis* K. (Acari: Eriophyidae) on the yield parameters of coconut. **Indian Coconut Journal**, v. 25, p. 12-15, 2005.

RAMARETHINAM, S.; MURUNGESAN, N. V.; MARIMUTHU, S. Studies on the effect of biologicals in the control of coconut mite *Aceria guerreronis* (Keifer) (Eriophyes). **Pestology**, v. 23, p. 11-16, 2003.

REIS, A. C. et al. Population dynamics of *Aceria guerreronis* Keifer (Acari: Eriophyidae) and associated predators on coconut fruits in Northeastern Brazil. **Neotropical Entomology**, v. 37, p. 457-462, 2008.

REIS, P. R. et al. Seletividade de agroquímicos ao ácaro predador *Iphiseiodes zuluagai* Denmark & Muma (Acari: Phytoseiidae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 27, p. 265-274, 1998.

RIBEIRO, L. P. et al. Comparative toxicity of an acetogenin-based extract and commercial pesticides against citrus red mite. **Experimental and Applied Acarology**, v. 64, p. 87-98, 2014.

SARMENTO, R. A. et al. Suitability of the predatory mites *Iphiseiodes zuluagai* and *Euseius concordis* in controlling *Polyphagotarsonemus latus* and *Tetranychus bastosi* on *Jatropha curcas* plants in Brazil. **Experimental and Applied Acarology**, v. 53, p. 203- 214, 2011.

SATO, M.E. et al. Toxicidade diferencial de agroquímicos a *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae) e *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) em morangueiro. **Neotropical Entomology**, v.31, p. 449-456, 2002.

SARWAR, M. et al. The potential of four mite species (Acari: Phytoseiidae) as predators of sucking pests on protected cucumber (*Cucumis sativus* L.) crop. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 1, p. 73-78, 2011.

SILVA F. R. et al. The search for natural enemies of the coconut mite (*Aceria guerreronis* Keifer) in Latin America. In: MORAES, G. J.; CASTILLO, R. C.; FLECHTMANN, C. H. (eds). XIII International Congress of Acarology. **Abstracts Book**. Recife, p. 249, 2010.

STARK, J. D. BANKS, J. E. Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. **Annual Review of Entomology**, v. 48, p. 505-51, 2003.

TEODORO, A V.; PALLINI, A.; OLIVEIRA, C. Sub-lethal effects of fenbutatin oxide on prey location by the predatory mite *Iphiseiodes zuluagai* (Acari: Phytoseiidae). **Experimental and Applied Acarology**, v. 47, p. 293- 299, 2009

WILSON, F. D.; SMITH, J. N. Some genetic relationship between gland density and gossypol content in *G. hirsutum*. **Crop Science**, v. 16, p. 830-832, 1976.

CAPÍTULO 2

Toxicidade e repelência diferenciada do óleo bruto de algodão aos ácaros *Aceria guerreronis* e *Typhlodromus ornatus* (Acari: Eriophyidae, Phytoseiidae)

Artigo escrito de acordo com as normas da revista “*Experimental and Applied Acarology*”

Resumo – O ácaro-da-necrose *Aceria guerreronis* Keifer (Acari: Eriophyidae) é a principal praga do coqueiro no Brasil, sobretudo na região Nordeste. O óleo bruto de algodão tem sido recomendado para o controle alternativo do ácaro-da-necrose, no entanto são necessários estudos de toxicidade e repelência a essa praga e a ácaros predadores, seus principais inimigos naturais. O objetivo deste trabalho foi determinar a toxicidade e repelência relativas do óleo bruto de algodão e de acaricidas comerciais tanto ao ácaro-praga quanto ao ácaro predador *Typhlodromus ornatus* (Acari: Phytoseiidae), encontrado naturalmente em plantas de coqueiro. Bioensaios de concentração-mortalidade foram realizados para se estimar as concentrações letais (CLs) do óleo bruto de algodão a ambos os ácaros. A repelência e toxicidade do óleo bruto de algodão, a ambos os ácaros, foram avaliadas comparativamente com quatro agrotóxicos registrados para o controle do ácaro-da-necrose no Brasil. Resultados de concentrações letais (CLs) indicaram que o ácaro predador é cerca de 8 vezes mais tolerante ao óleo bruto de algodão que o ácaro-da-necrose ($CL_{50A.guerreronis} = 0,646 \mu\text{L}/\text{cm}^2$; $CL_{50T.ornatus} = 5,114 \mu\text{L}/\text{cm}^2$). O óleo bruto de algodão é tão tóxico ao ácaro-da-necrose quanto os acaricidas azadiractina e fenpiroximato. Azadiractina, espiroclorfenol, fenpiroximato e o óleo bruto de algodão foram repelentes tanto ao ácaro-da-necrose quanto ao ácaro predador *T. ornatus*. Conclui-se que o óleo bruto de algodão pode ser usado no controle alternativo do ácaro-da-necrose por ser altamente tóxico e repelente a essa praga e menos tóxico ao ácaro predador *T. ornatus*.

Palavras-chave: Ácaro predador, Agrotóxico, *Cocos nucifera*, Controle biológico, Praga, Predatory mite

Abstract – The coconut mite *Aceria guerreronis* Keifer (Eriophyidae) is the most important coconutpest in Brazil, especially in the Northeast. The crude cotton seed oil has been recommended as an alternative for the control of the coconut mite, however comparative studies are needed to assess its toxicity and repellency to this pest and to predatory mites, their main natural enemies. The aim of this study was to determine the differential toxicity of crude cotton seed oil and commercial acaricides to both the coconut mite and the predatory mite *Typhlodromus ornatus* (Acari: Phytoseiidae), which is naturally found foraging on coconut plantations. Concentration–mortality bioassays were conducted to estimate the lethal concentration (LC) of crude cotton seed oil to both mites. The repellency and toxicity of crude cotton seed oil for both mites were comparatively evaluated with four registered pesticides for the control of coconut mite in Brazil. Results of lethal concentrations (LCs) indicated that the predatory mite is about 8 times more tolerant to crude cotton seed oil ($CL_{50A.guerreronis} = 0.646 \mu\text{L}/\text{cm}^2$; $CL_{50T.ornatus} = 5.114 \mu\text{L}/\text{cm}^2$). The crude cotton seed oil is as toxic to the coconut mite as the acaricides azadirachtin and fenpyroximate. Azadirachtin, spiroticlofen, fenpyroximate and cottonseed oil were repellent to the coconut mite and to the predatory mite *T. ornatus*. We conclude that the crude cotton seed oil can be used for alternative control of the coconut mite as it is highly toxic and repellent to this pest besides being less toxic to the predatory mite *T. ornatus*.

Keywords: Predatory mite, Pesticide, *Cocos nucifera*, Biological control, Pest

Introdução

O ácaro-da-necrose *Aceria guerreronis* Keifer (Eriophyidae) é a principal praga do coqueiro *Cocos nucifera* L. no Brasil e pode causar perdas de produção superiores a 50% (Lawson-Balagbo et al. 2008; Oliveira et al. 2012; Návia et al. 2013). As colônias do ácaro-da-necrose desenvolvem-se protegidas sob o perianto dos frutos, dificultando seu controle (Hernandez 1977; Monteiro et al. 2012).

Atualmente, o controle químico é o método mais usado no manejo do ácaro-da-necrose no Brasil. Cinco agrotóxicos (abamectina, azadiractina, espiroclorfenol, fenpiroximato, hexitiazoxi) estão registrados para o controle do ácaro-da-necrose na cultura do coqueiro (Agrofit 2014). O óleo bruto de algodão, extraído das sementes de algodão (*Gossypium* spp.), vem sendo usado com sucesso no controle alternativo do ácaro-da-necrose (Ferreira e Michereff Filho 2002; Chagas et al. 2005).

Ácaros predadores da família Phytoseiidae ocorrem naturalmente em plantas de coqueiro e são os principais inimigos naturais do ácaro-da-necrose (Lawson-Balagbo et al. 2008; Negloh et al. 2011; Návia et al. 2013). O ácaro predador *Typhlodromus* (*Anthoseius*) *ornatus* Denmark & Muma (Acari: Phytoseiidae) é encontrado em frutos de coqueiro em plantios no nordeste do Brasil (Návia et al. 2005; Reis et al. 2008) e está possivelmente associado ao controle biológico do ácaro-da-necrose. Este predador é considerado generalista do tipo III que além de pequenos artrópodes se alimenta de recursos alternativos como pólen e néctar (McMurtry e Croft 1997). Por ser uma planta perene, o coqueiro oferece alimentos alternativos como, por exemplo, pólen, fungos, substâncias açucaradas de insetos sugadores e pequenos artrópodes, o que pode favorecer a sobrevivência de inimigos naturais generalistas como o ácaro predador *T. ornatus*.

Por estarem expostos na superfície de frutos, populações de ácaros predadores podem ser negativamente afetadas por pulverizações tanto de agrotóxicos como de produtos

alternativos como o óleo bruto de algodão. Nesse contexto, é importante a avaliação da seletividade de agrotóxicos e do óleo bruto de algodão a *T. ornatus*, pois produtos incompatíveis poderiam prejudicar o controle biológico exercido por esse predador.

Estudos de toxicidade e repelência são importantes na avaliação da eficiência de agrotóxicos e produtos alternativos sobre pragas bem como sua seletividade a inimigos naturais como ácaros predadores (Castagnoli et al. 2002; Choi et al. 2004; Desneux et al. 2007; Esteves Filho 2012; Esteves Filho et al. 2013). A concentração letal (CL) é um parâmetro comumente usado na avaliação da toxicidade de produtos tanto a pragas quanto a inimigos naturais (Desneux et al. 2007). A resistência comportamental estímulo-independente, ou repelência, é uma mudança comportamental exibida por artrópodes para evitar o contato com agrotóxicos (Lockwood et al. 1984; Hoy et al. 1998; Cordeiro et al. 2010). Portanto, o objetivo deste trabalho foi determinar a toxicidade e repelência diferencial do óleo bruto de algodão ao ácaro-da-necrose e ao ácaro predador *T. ornatus* comparativamente com quatro acaricidas registrados para o controle dessa praga.

Material e Métodos

Criação do ácaro predador Typhlodromus ornatus

A criação do ácaro predador *T. ornatus* foi estabelecida com indivíduos coletados em frutos de coqueiro oriundos do campus da Universidade Estadual do Maranhão em São Luís – MA (02°35'03,46''S, 44°12'32,14''O).

Colônias de *T. ornatus* foram mantidas em laboratório (temperatura $27,0 \pm 3,0^{\circ}\text{C}$, umidade relativa $70 \pm 10\%$ e fotoperíodo natural) em discos de PVC (5 cm de diâmetro) flutuando em placas de Petri sem tampa (9 cm de diâmetro por 1,5 cm de profundidade) contendo água destilada para evitar a fuga dos ácaros (Reis et al. 1998). No centro de cada

arena foi feito um pequeno orifício para passagem de um alfinete colado no fundo da placa de Petri com cola de silicone.

Fios de algodão recobertos com uma lamínula (18 x 18 mm) foram colocados sobre as arenas para servir de abrigo e local de oviposição. Os ácaros foram alimentados com pólen de mamona (*Ricinus communis* L.) (Reis & Alves 1997).

Toxicidade do óleo bruto de algodão e de acaricidas a *A. guerreronis* e *T. ornatus*

Experimentos de concentração-mortalidade foram realizados para determinar as concentrações letais do óleo bruto de algodão a adultos do ácaro-da-necrose e do ácaro predador *T. ornatus*. O óleo bruto de algodão foi pulverizado através de uma torre de Potter (Burkard, Rickmansworth, Reino Unido) a uma pressão de 5 psi/pol² e um volume de calda de 1,7 mL, o que corresponde a um depósito de $1,8 \pm 0,1$ mg/cm² o qual está de acordo com a recomendação da IOBC/WPRS (International Organization for Biological Control of Noxious Animals and Plants/West Palearctic Regional Section) (Hassan et al. 1994).

Após a pulverização, as arenas foram expostas ao ambiente por 30 minutos para secagem e em seguida foi realizada a transferência dos ácaros para as mesmas. Os produtos foram pulverizados sobre arenas de 1,0 cm de diâmetro (unidade experimental) preparadas com o perianto de frutos novos de coqueiro para o ácaro-da-necrose enquanto arenas de 5 cm de diâmetro confeccionadas com plástico do tipo PVC foram utilizadas para o ácaro predador (Fig. 1).

Arenas do tratamento controle foram pulverizadas com água destilada. As concentrações do óleo bruto de algodão utilizadas foram: 0,2; 0,6; 2; 5; 7; 10; 13 e 15 µL/mL de água destilada para *A. guerreronis* e 15; 25; 30; 40; 55; 85; 100 e 110 µL/mL de água destilada para *T. ornatus*. Para cada concentração, 10µL de detergente neutro foi utilizado como adjuvante. As concentrações testadas foram selecionadas por meio de bioensaios

iniciais, situando-se entre os limites inferior (0%) e o superior (100%) de mortalidade ao ácaro-da-necrose e ao ácaro predador.

Para o ácaro-da-necrose, 20 adultos foram transferidos para cada arena pulverizada enquanto que para *T. ornatus*, cinco fêmeas adultas, no início do período reprodutivo (6-7 dias de idade), foram transferidas para cada arena. Foram realizadas cinco repetições para cada concentração do óleo bruto de algodão testada. A mortalidade dos ácaros foi avaliada após 48 horas por meio de um microscópio estereoscópico (Stemi DV4, Zeiss, Alemanha).

Os ácaros foram considerados mortos quando não se moviam quando tocados com pincel (Stark et al. 1997). Os ácaros predadores foram alimentados com pólen de mamona colocado sobre pedaços de PVC transparente de 0,5 cm² para evitar o contato do pólen com o produto.

Para avaliar comparativamente a toxicidade do óleo bruto de algodão, estudos adicionais de mortalidade dos acaricidas abamectina, azadiractina, espiroclifeno e fenpiroximato a *A. guerreronis* e a *T. ornatus* foram conduzidos haja vista que esses produtos são registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para o controle do ácaro-da-necrose em coqueiro (Agrofit, 2014).

Os acaricidas foram testados em suas respectivas dosagens recomendadas para o controle do ácaro-da-necrose do coqueiro, ou seja, abamectina (Vertimec 18 EC[®], 18g de i.a./L, dosagem de 75 mL/100L), azadiractina (Azamax[®], 12g de i.a./L, dosagem de 250 mL/100L), espiroclifeno (Envidor[®], 240g de i.a./L, dosagem de 30 mL/100L) e fenpiroximato (Ortus 50 SC[®], 50g de i.a./L, dosagem de 200 mL/100L). Os acaricidas foram pulverizados usando uma torre de Potter e seguindo a mesma metodologia descrita acima com a diferença de que foram realizadas 15 repetições para o ácaro-da-necrose e 10 para o ácaro predador *T. ornatus*.

Repelência do óleo bruto de algodão e de acaricidas a *A. guerreronise* *T. ornatus*

Foram conduzidos experimentos comparativos da repelência do óleo bruto de algodão e de acaricidas ao ácaro-da-necrose e ao ácaro predador *T. ornatus*. O óleo bruto de algodão foi utilizado na dosagem de 150 mL + 100 mL de detergente neutro para cada 10 litros de água (Ferreira e Michereff Filho 2002; Chagas et al. 2005). Os mesmos acaricidas (abamectina, azadiractina, espiroclorfenol, fenpiroximato) descritos anteriormente foram utilizados nos experimentos de repelência em suas respectivas dosagens recomendadas.

O óleo bruto de algodão e os acaricidas foram pulverizados através de uma torre de Potter conforme descrição anterior nos bioensaios de toxicidade. As arenas foram preparadas conforme descrição anterior com a diferença de que cada arena teve uma metade tratada e a outra não tratada com os produtos, metodologia adaptada de Teodoro et al. (2009). A área não tratada foi coberta com duas camadas de fita adesiva durante a pulverização dos produtos.

Após 30 minutos da pulverização das arenas, adultos do ácaro-da-necrose e de *T. ornatus* foram transferidos individualmente para o centro das arenas constituídas com pedaços de frutos (sobre um ponto de cola branca seca de 1,00 x 1,00 x 0,5 mm) e de PVC (sobre um pequeno pedaço de PVC transparente de 3,00 x 1,00 mm), respectivamente.

As avaliações foram realizadas após 1 e 24 horas por meio do registro da posição dos ácaros no lado tratado ou não tratado das arenas. Foram realizadas 3 repetições para cada agrotóxico testado. Cada repetição foi constituída por um conjunto de 20 ácaros testados individualmente.

Análises estatísticas

As concentrações letais do óleo bruto de algodão ao ácaro-da-necrose e ao ácaro predador foram estimadas através de análises de Probit utilizando o programa software SAS

(SAS Institute 2002). O teste binomial, a 5% de probabilidade, foi utilizado para analisar as diferenças das frações de ácaros que escolheram a área tratada e não tratada com os produtos.

Resultados

Toxicidade do óleo bruto de algodão e de acaricidas a *A. guerreronis* e *T. ornatus*

A concentração do óleo bruto de algodão que causa 50% de mortalidade (CL_{50}) a adultos do ácaro-da-necrose foi menor ($0,646 \mu\text{l}/\text{cm}^2$) do que a CL_{50} estimada para adultos do ácaro predador *T. ornatus* ($5,114 \mu\text{l}/\text{cm}^2$) (Tabela 1), indicando que o ácaro-praga é cerca de 8 vezes mais suscetível ao esse produto do que o predador. A dosagem recomendada do óleo bruto de algodão para o controle do ácaro-da-necrose ($150 \text{ mL} + 100 \text{ mL}/10 \text{ L}$ de água) corresponde à CL_{99} para essa praga e se situa entre a CL_{10} e a CL_{15} para o ácaro predador *T. ornatus*.

Os acaricidas abamectina e fenpiroximato causaram 100% de mortalidade ao ácaro-da-necrose e 48% e 36% de mortalidade ao ácaro predador *T. ornatus*, respectivamente, nas dosagens recomendadas de ambos os produtos após 48 horas da aplicação. Espirodiclofeno matou 96% de adultos do ácaro-da-necrose e apenas 14% dos ácaros predadores. A azadiractina causou o menor percentual de mortalidade tanto ao ácaro-da-necrose quanto ao ácaro predador *T. ornatus*, matando 88% e 10% dos ácaros, respectivamente.

Repelência do óleo bruto de algodão e de acaricidas a *A. guerreronis* e *T. ornatus*

Para o ácaro-da-necrose, fenpiroximato foi o agrotóxico que causou o maior percentual de repelência após 1 hora de exposição ao produto haja vista que 85% dos ácaros preferiram a área não tratada e após 24 horas esse percentual diminuiu para 70%. O óleo bruto de algodão foi o segundo produto mais repelente ao ácaro-da-necrose, pois repeliu após 1 hora 72% de adultos do ácaro e ainda mais após 24 horas. A azadiractina repeliu 67% de adultos

do ácaro-da-necrose após 1 hora e ligeiramente menos após 24 horas. O espiroclorfenol causou o mesmo percentual de repelência após 1 e 24 horas de exposição dos ácaros ao produto (65%). Para a abamectina, 67% dos ácaros preferiram a área não tratada após 1 hora, no entanto não houve repelência após 24 horas de exposição (Fig. 2).

Para o ácaro predador *T. ornatus*, a abamectina foi o agrotóxico que causou o maior percentual de repelência, pois 85% dos ácaros preferiram a área não tratada após 1 hora e 83% após 24 horas de exposição ao agrotóxico. O fenpiroximato foi o segundo produto mais repelente ao ácaro predador haja vista que repeliu após 1 hora 84% dos ácaros e 82% após 24 horas. Para a primeira hora de exposição do ácaro predador ao óleo bruto de algodão foi observado 80% dos ácaros na área não tratada e com 24 horas de exposição observou-se que 83% optaram pela área sem o produto. O espiroclorfenol causou 72% de repelência ao ácaro predador na primeira hora e 77% após 24 horas. A azadiractina repeliu 62% dos ácaros testados após 1 hora e após 24 horas não apresentou efeito repelente sobre o ácaro predador (Fig. 3).

Discussão

O óleo de algodão apresentou maior letalidade ao ácaro-da-necrose que ao ácaro predador *T. ornatus*, portanto uma menor quantidade do produto é necessária para matar o ácaro-praga em comparação com o ácaro predador. A toxicidade diferencial indica que o predador é cerca de 8 vezes mais tolerante ao óleo bruto de algodão que o ácaro-da-necrose. Essa diferença de tolerância aumenta com o aumento do valor das concentrações letais. Na maior concentração letal, *T. ornatus* é cerca de 30 vezes mais tolerante ao óleo bruto de algodão que *A. guerreronis*. A dosagem recomendada do óleo bruto de algodão (150 mL + 100 mL/10 L de água) correspondeu à CL₉₉ para essa praga e se situou entre a CL₁₀ e a CL₁₅ para o ácaro predador *T. ornatus*.

A diferença de tolerância entre as espécies pode ser devido às características fisiológicas do ácaro predador (Cloyd et al. 2006), sugerindo uma seletividade fisiológica de *T. ornatus* ao óleo bruto de algodão. Essa seletividade pode ser devida à redução da absorção do produto através do tegumento, pelo aumento da degradação da substância tóxica pelo sistema enzimático do ácaro predador e também pela diferença de tamanho, entre predador e praga, que pode contribuir para a maior tolerância a uma determinada substância química (Degrande et al. 2002; Foerster 2002; Lima 2012).

O óleo bruto de algodão apresentou o mesmo percentual de mortalidade para o ácaro-da-necrose que os acaricidas fenpiroximato e abamectina e maior percentual que os acaricidas espiroclifeno e azadiractina. Além disso, o óleo bruto de algodão foi o produto menos tóxico ao ácaro predador *T. ornatus* quando comparado aos acaricidas avaliados. Estes resultados são, portanto, um indicativo da eficiência do óleo bruto de algodão para o controle do ácaro-da-necrose.

Adicionalmente, todos os produtos testados foram considerados repelentes ao ácaro-da-necrose, indicando que os ácaros foram capazes de detectar as substâncias tóxicas e se afastarem da área tratada ou ocasionaram irritabilidade quando os ácaros entraram em contato direto com a área tratada, levando-os a se afastarem da mesma (Lockwood et al. 1984; Cordeiro et al. 2010). O comportamento dos ácaros foi alterado com o tempo, provavelmente porque as substâncias tóxicas sofrem degradação temporal (Araújo et al. 2012; Fenner et al. 2013). A degradação dessas substâncias pode ter causado diminuição da repelência sobre o ácaro-da-necrose para azadiractina, abamectina e fenpiroximato ou aumentando este efeito, no caso do óleo bruto de algodão bruto, que foi mais repelente após 24 horas.

O efeito repelente, combinado com a mortalidade, é uma propriedade importante a ser considerada na escolha de um agrotóxico para o controle de pragas (Esteves Filho 2012). No caso do ácaro-da-necrose, o efeito repelente torna-se de importância fundamental, tendo em

vista que suas colônias são protegidas pelas brácteas, o que dificulta a ação dos acaricidas. Portanto, resíduos de acaricidas podem afetar os adultos do ácaro-da-necrose, quando estes deixam a proteção do perianto para dispersão, causando repelência e diminuindo a infestação em novos frutos (Monteiro et al. 2012; Melo et al. 2012).

Todos os produtos avaliados tiveram alto efeito repelente ao ácaro-da-necrose. Entretanto, a abamectina foi o agrotóxico que menos repeliu o ácaro-da-necrose quando comparada aos demais produtos após 24 horas de exposição. Além disso, a abamectina foi a substância que mais repeliu o ácaro predador *T. ornatus* quando comparada aos demais agrotóxicos. Portanto, no contexto do manejo integrado de pragas o uso da abamectina deveria ser restringido no manejo do ácaro-da-necrose. Resultados contrastantes demonstram que a abamectina (Kraft 36 CE[®]) não foi repelente ao fitoseídeo *Neoseiulus baraki* após 24 horas de exposição (Lima et al. 2013).

Adicionalmente à abamectina, o óleo bruto de algodão, fenpiroximato e espiroclifeno também foram considerados repelentes ao ácaro predador *T. ornatus*. Entretanto a azadiractina foi repelente ao ácaro predador apenas na primeira hora de exposição. A azadiractina pode ter sofrido alteração nesse intervalo de tempo, pois é uma substância de rápida degradação (Isman 2006). Portanto o efeito de repelência ao ácaro predador *T. ornatus* foi reduzido com o tempo provavelmente devido a alterações na substância. Ao contrário do encontrado neste estudo, a exposição de *N. baraki* a azadiractina (Azamax[®]) após 24 horas causou repelência e irritabilidade neste ácaro predador (Lima et al. 2013). A repelência de produtos a *T. ornatus*, sobretudo a abamectina, pode causar a dispersão desse inimigo natural, diminuir o forrageamento nos frutos e conseqüentemente o controle biológico do ácaro-da-necrose em condições de campo.

Os resultados encontrados demonstraram que o óleo bruto de algodão bruto e os acaricidas azadiractina, espiroclifeno e fenpiroximato são muito repelentes ao ácaro-da-

necrose. O óleo bruto de algodão, além da mortalidade, também apresentou maior efeito repelente sobre o ácaro-da-necrose com o passar do tempo, quando comparado aos demais produtos, portanto é uma alternativa aos agrotóxicos para o controle dessa praga em coqueiro. Apesar do efeito repelente também sobre o ácaro predador *T. ornatus*, o óleo bruto de algodão tem como vantagem a menor toxicidade a este inimigo natural.

Estudos adicionais são necessários para avaliar a eficiência desses produtos em condições de campo bem como efeitos subletais sobre o ácaro-da-necrose e ácaros predadores. Com base em estudos de toxicidade e repelência, conclui-se que o óleo bruto de algodão causa mortalidade e repelência ao ácaro-da-necrose e ao ácaro predador *T. ornatus*, no entanto esse produto é menos tóxico ao predador.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

Referências

AGROFIT- Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Coordenação-Geral de Agrotóxicos e Afins/DFIA/SDA. Disponível em: http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 12 mar. 2014.

Araújo MJC, Câmara CAG, Born FS, Moraes MM, Badji CA (2012) Acaricidal activity and repellency of essential oil from *Piper aduncum* and its components against *Tetranychus urticae*. *Exp Appl Acarol* 57:139-155.

Castagnoli M, Angeli G, Liguori M, Forti D, Simoni S (2002) Side effects of botanical insecticides on predatory mite *Amblyseius andersoni* (Chant). *J Pest Sci* 75:122-127.

Chagas MCM, Barreto MFP, Sobrinho JFS, Espínola Sobrinho E (2005) Utilização de produtos alternativos aos químicos no controle de pragas associadas à queda de frutos do coqueiro. Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte, Natal.

Choi WI, Lee SG, Park HM, Ahn YJ (2004) Toxicity of plant oils to *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae). *J Econ Entomol* 97:553-558.

Cloyd RA, Galle CL, Keith SR (2006) Compatibility of three miticides with the predatory mites *Neoseiulus californicus* McGregor and *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae). *HortScience* 44:476-480.

Cordeiro EMG, Correia AS, Venzon M, Guedes RNC (2010). Insecticide survival and behavioral avoidance in the lacewings *Chrysoperla externa* and *Ceraeochrysa cubana*. *Chemosphere* 81:1352-1357.

Degrande PE, REIS PR, Carvalho GA, Belarmino LC (2002) Metodologia para avaliar o impacto de agrotóxico sobre inimigos naturais. In: Parra JRP, Botelho PSM, Correia-Ferreira BS, Bento JMS. Controle biológico no Brasil: Parasitóides e predadores. Manole, São Paulo, 635 p.

Desneux N, Decourtye A, Delpuch JM (2007) The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annu Rev Entomol* 52: 81-106.

Esteves Filho AB (2012) Toxicidade, efeito residual e repelência de acaricidas sintéticos e produtos naturais sobre *Tetranychus urticae* Koch e *Phytoseiulus macropilis* (Banks), em algodoeiro. Tese, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil.

Esteves Filho AB, Oliveira JV, Torres JB, Matos CHC (2013) Toxicidade de espiromesifeno e acaricidas naturais para *Tetranychus urticae* Koch e compatibilidade com *Phytoseiulus macropilis* (Banks). *Semina* 34: 2675-2686.

Fenner K, Canonica S, Wackett LP, Elsne M (2013) Evaluating pesticide degradation in the environment: blind spots and emerging opportunities. *Science* 341:752-758.

Ferreira JMS, Michereff Filho M. (Eds.) Produção integrada do coco: práticas fitossanitárias. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2002, 107p.

Foerster LA (2002) Seletividade de inseticidas a predadores e parasitóides, p. 95-114. In: Parra JRP, Botelho PSM, Correia-Ferreira BS, Bento JMS. (eds.). Controle biológico no Brasil: Parasitóides e predadores. São Paulo, Manole, 609p.

Hassan SA, Bigler F, Bogenschütz H, Boller E, Brun J, Calis JNM, Coremans-Pelseneer J, Duso C, Grove A, Heimbach U, Helyer N, Hokkanen H, Lewis GB, Mansour F, Moreth L, Polgar L, Samsøe-Petersen L, Sauphanor B, Stäubli A, Sterk G, Vainio A, Veire MV, Viggiani G, Vogt H (1994) Results of the sixth joint pesticide testing programme of the IOBC/WPRS. *Entomophaga*, 39:107-119

Hernandez RF (1977) Combate químico del eriofiídeo del cocotero *Aceria (Eriophyes) guerreronis* (K) en la costa de Guerrero. *Agric Téc Méx* 4:23-28.

Hoy CW, Head GP, Hall FR (1998) Spatial heterogeneity and insect adaptation to toxins. *Annu Rev Entomol* 43:571-594.

Isman MB (2006) Botanical insecticides, deterrents and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annu Rev Entomol* 51:45–66.

Lawson-Balagbo LM, Gondim Jr MGC, De Moraes GJ, Hanna R, Schausberger P (2008) Exploration of the acarine fauna on coconut palm in Brazil with emphasis on *Aceria guerreronis* (Acari: Eriophyidae) and its natural enemies. *Bull Entomol Res* 98:83-96.

Lima DB, Melo JWS, Guedes RNC, Siqueira HAA, Pallini A, Gondim Jr MGC (2013) Survival and behavioral response to acaricides of the coconut mite predator *Neoseiulus baraki*. *Exp Appl Acarol* 60:381-393.

Lima DB (2012) Seletividade e resposta comportamental a acaricidas em *Neoseiulus baraki* (Athias-Henriot) (Acari: Phytoseiidae). Dissertação, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil.

Lockwood JA, Sparks TC, Story RN (1984) Evolution of insect resistance to insecticides: a reevaluation of the roles of physiology and behaviour. *Bull Entomol Soc Am*, 30:41-51.

McMurtry JA, Croft BA (1997) Life-styles of phytoseiid mites and their roles in biological control. *Annu Rev Entomol*, 42:291-321.

Melo JWS, Domingos CA, Pallini A, Oliveira JEM, Gondim MGC Jr (2012) Removal of bunches or spikelets is not effective for the control of *Aceria guerreronis*. *HortScience* 47:626–630

Monteiro VB, Lima DB, Gondim MGC Jr, Siqueira HAA (2012) Residual bioassay to assess the toxicity of acaricides against *Aceria guerreronis* (Acari: Eriophyidae) under laboratory conditions. *J Econ Entomol* 105:1419-1425.

Návia D, Gondim Jr. MGC, Aratchige NS, Moraes GJ (2013) A review of the status of the coconut mite, *Aceria guerreronis* (Acari: Eriophyidae), a major tropical mite pest. *Exp Appl Acarol* 59:67-94.

Návia DS, De Moraes GJ, Lofego AC, Flechtmann CHW (2005) Acarofauna associada a frutos de coqueiro (*Cocos nucifera* L.) de algumas localidades das Américas. *Neotrop Entomol* 34(2):349-354.

Negloh K, Hanna R, Schausberger P (2011) The coconut mite, *Aceria guerreronis*, in Benin and Tanzania: occurrence, damage and associated acarine fauna. *Exp Appl Acarol* 55:174-361.

Oliveira DC, Moraes GJ, Dias CTS (2012) Status of *Aceria guerreronis* Keifer (Acari: Eriophyidae) as a pest of coconut in the state of São Paulo, Southeastern Brazil. *Neotrop Entomol* 41:315-323.

Reis PR, Alves EB (1997) Biologia de *Euseius alatus* Deleon (Acari: Phytoseiidae). *An Soc Entomol Brasil* 26:359-363.

Reis PR, Chiavegato LG, Alves EB (1998) Biologia de *Iphiseiodes zuluagai* Denmark & Muma (Acari: Phytoseiidae). *An Soc Entomol Brasil* 27(2):185-191.

Reis AC, Gondim JR, MGC, De Moraes GJ, Rachid H, Chausberger P, Lawson-Balagbo LE, Barros R (2008) Population dynamics of *Aceria guerreronis* Keifer (Acari: Eriophyidae) and associated predators on coconut fruits in northeastern Brazil. *Neotrop Entomol* 37(4): 457-462.

SAS Institute (2002) SAS/STAT User's guide, version 8.02, TS level 2 MO. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina.

Stark JD, Tanigoshi L, Bounfour M, Antonelli A (1997) Reproductive: its influence on the susceptibility of a species to pesticides. *Ecotoxicol Environ Saf* 37:273-279.

Teodoro AV, Tschardt T, Klein AM (2009) From the laboratory to the field: contrasting effects of multi-trophic interactions and agroforestry management on coffee pest densities. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 131:121-129.

Tabela 1 Concentrações letais (CL_s) (µl/cm²) do óleo bruto de algodão ao ácaro-da-necrose *Aceria guerreronis* ($\chi^2 = 9,394$, $P = 0,094$) e ao ácaro predador *Typhlodromus ornatus* ($\chi^2 = 3,3224$, $P = 0,6504$) estimadas com base em bioensaios de concentração-mortalidade usando análises de Probit. IC = Intervalo de Confiança.

Espécie	CL ₅ (95% IC)	CL ₁₀ (95% IC)	CL ₂₅ (95% IC)	CL ₅₀ (95% IC)	CL ₉₅ (95% IC)	CL ₉₉ (95% IC)
<i>A. guerreronis</i>	0,340 (0,188 - 0,444)	0,392 (0,237 - 0,494)	0,496 (0,348 - 0,592)	0,646 (0,521 - 0,738)	1,226 (1,037 - 1,704)	1,599 (1,274 - 2,609)
<i>T. ornatus</i>	1,013 (0,475 - 1,496)	1,449 (0,810 - 1,977)	2,633 (1,912 - 3,251)	5,114 (4,184 - 6,697)	25,805 (15,483 - 71,265)	50,459 (25,695 - 196,689)

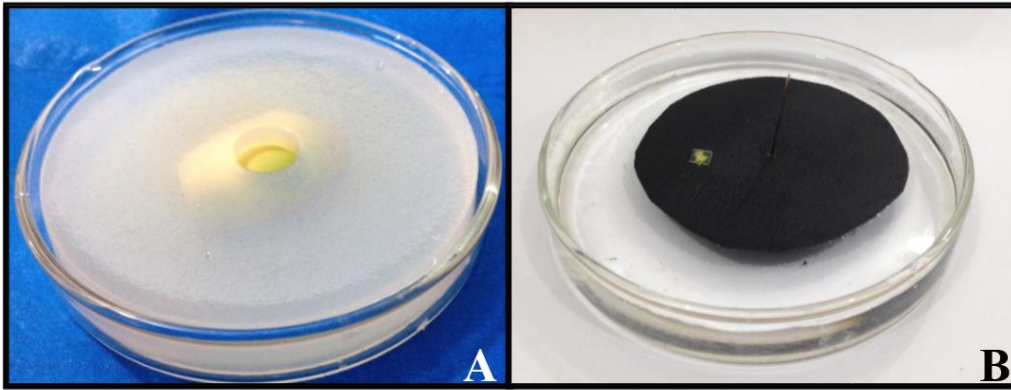


Figura 1 Arenas utilizadas nos bioensaios de toxicidade com o ácaro-da-necrose (A) e com o ácaro predador (B).

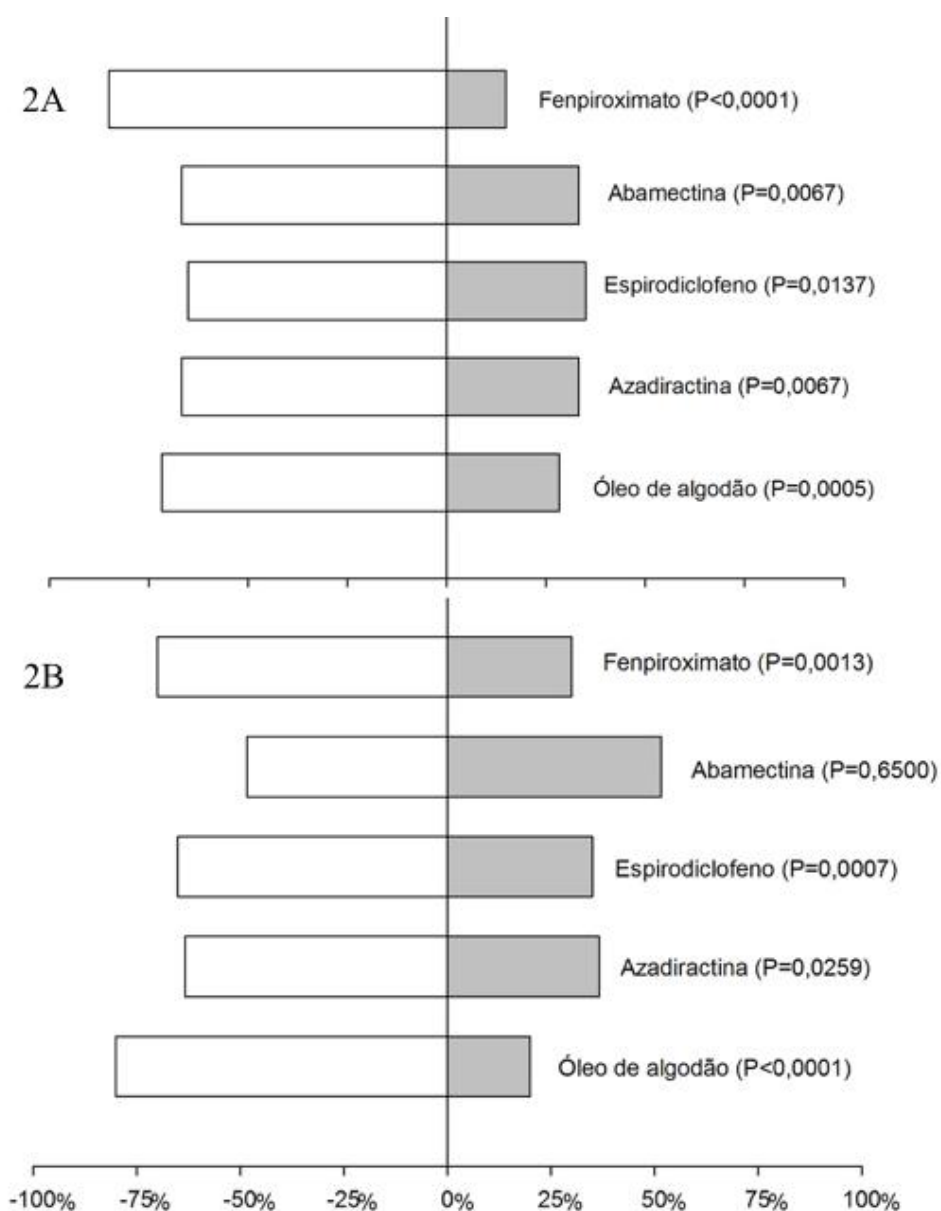


Figura 2 Repelência comparativa do óleo bruto de algodão e de acaricidas ao ácaro-da-necrose *A. guerreronis*. Arenas com metade tratada (cinza) e não tratada (controle; branca) com os produtos após 1 (Fig. 2A) e 24 (Fig. 2B) de horas de exposição. Cada barra corresponde a uma média de três repetições ($n = 60$ ácaros).

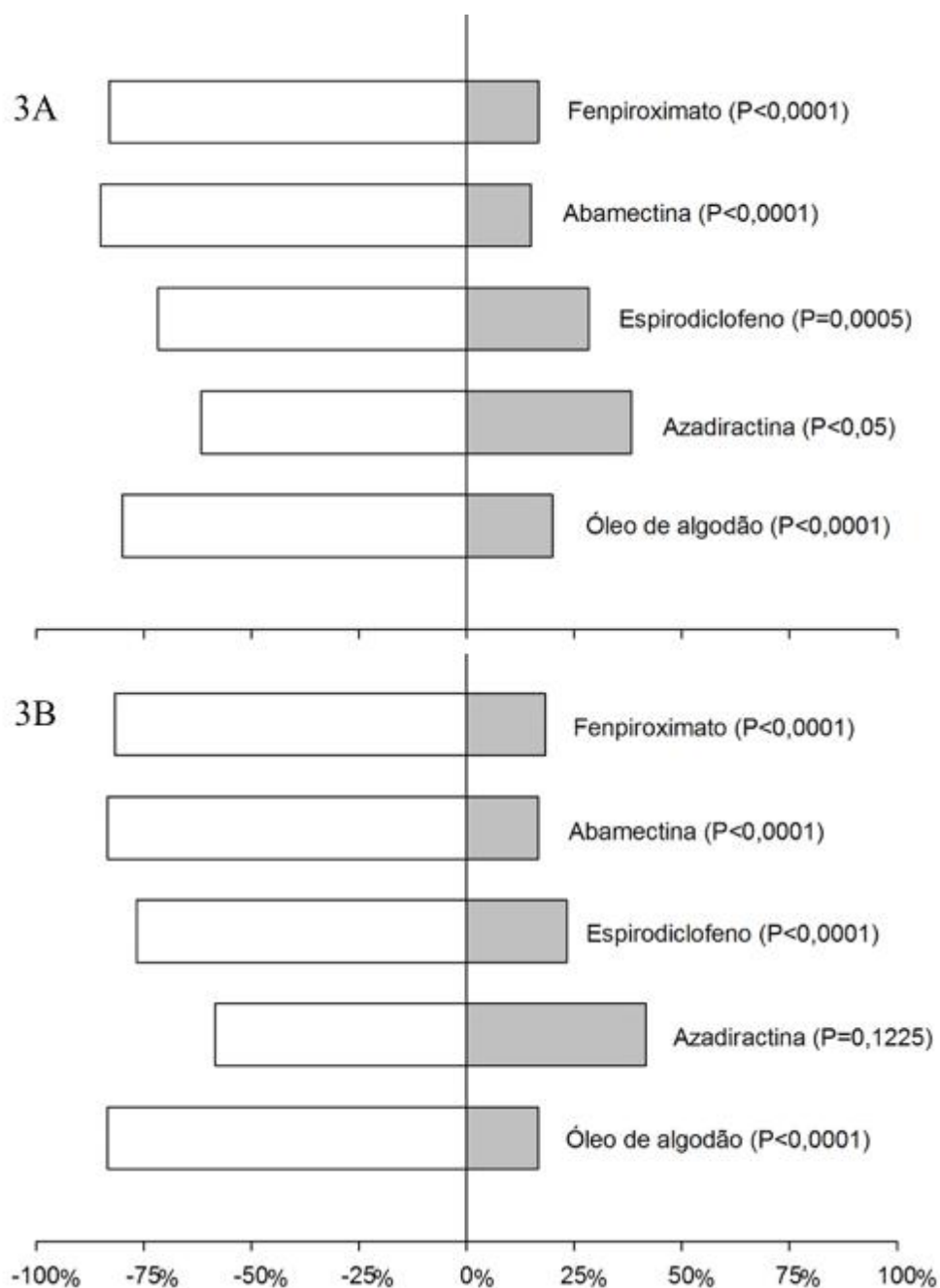


Figura 3. Repelência comparativa do óleo bruto de algodão e de acaricidas ao ácaro predador *T. ornatus*. Arenas com metade tratada (cinza) e não tratada (controle; branca) com os produtos pós 1 (Fig. 3A) e 24 (Fig. 3B) de horas de exposição. Cada barra corresponde a uma média de três repetições ($n = 60$ ácaros).

CAPÍTULO 3

Resposta funcional e taxa de oviposição de *Typhlodromus ornatus* alimentado com o ácaro-da-necrose do coqueiro *Aceria guerreronis* (Acari: Phytoseiidae, Eriophyidae)

Artigo escrito de acordo com as normas da revista “*Experimental and Applied Acarology*”

Resumo – O ácaro-da-necrose *Aceria guerreronis* Keifer (Eriophyidae) é considerado a principal praga do coqueiro no Brasil e os ácaros predadores da família Phytoseiidae são considerados seus principais inimigos naturais. O ácaro predador *Typhlodromus (Anthoseius) ornatus* (Denmark & Muma) ocorre naturalmente em plantas de coqueiro na região Nordeste do Brasil e está possivelmente associado ao controle biológico do ácaro-da-necrose. O presente estudo objetivou avaliar o potencial de predação e reprodução de *T.ornatus* sobre o ácaro-da-necrose. Densidades crescentes de adultos do ácaro-da-necrose (10, 30, 50, 80, 110 e 150) foram oferecidas a fêmeas adultas de *T. ornatus*. O número de presas consumidas e o número de ovos postos pelo ácaro predador foram avaliados após 24 horas. O tipo da curva de resposta funcional foi determinado por meio de regressão logística da proporção de presas consumidas em função das densidades de presas oferecidas, usando o Proc CATMOD do programa SAS. O ácaro predador *T. ornatus* apresentou resposta funcional do tipo II, na qual a proporção de presas consumidas declinou com o aumento da densidade de presas, tendendo a se estabilizar. O predador consumiu em 110,11 adultos de *A. guerreronis* por dia na densidade máxima da presa oferecida. A oviposição, no entanto, não foi relacionada com a densidade de presas. Os resultados mostram que o ácaro predador *T. ornatus* é um importante agente de controle biológico do ácaro-da-necrose pois mesmo em altas densidades da praga, consegue consumir uma grande proporção dessas presas.

Palavras-chave: *Cocos nucifera*, Controle biológico, Predação, Reprodução

ABSTRACT – The coconut mite *Aceria guerreronis* Keifer (Eriophyidae) is considered the most important coconut pest in Brazil and predatory mites of the family Phytoseiidae are considered its main natural enemy. The predatory mite *Typhlodromus (Anthoseius) ornatus* (Denmark & Muma) occurs naturally in coconut palms in northeastern Brazil and it is possibly associated with the biological control of coconut mite. This study aimed at evaluating the predation potential and reproduction of *T. ornatus* when fed on the coconut mite. Increasing densities of coconut mite adults (10, 30, 50, 80, 110 and 150) were offered to adult females of *T. ornatus*. The number of prey consumed and the number eggs laid by the predatory mite were evaluated after 24 hours. The type of functional response curve was determined by logistic regression of the proportion of prey consumed in relation to prey densities, using the Proc CATMOD of SAS program. The predatory mite *T. ornatus* showed a type II functional response, in which the proportion of prey consumed declined with prey density, tending to stabilize. The predator reached an average of 110.11 adults of *A. guerreronis* consumed per day at maximum prey density offered. Oviposition, however was not related to prey density. Our results show that the predatory mite *T. ornatus* is an important biological control agent of coconut mite because even at high densities of prey, it consumes a large proportion of them.

Keywords: *Cocos nucifera*, biological control, predation, reproduction

Introdução

O ácaro-da-necrose *Aceria guerreronis* Keifer (Acari: Eriophyidae) é a mais importante praga do coqueiro no Brasil, sobretudo na região Nordeste e pode causar perdas de produção superiores a 50% (Lawson-Balagbo et al. 2008; Oliveira et al. 2012; Návia et al. 2013). As colônias do ácaro-da-necrose desenvolvem-se protegidas sob o perianto dos frutos, mas os ácaros podem migrar quando há escassez de alimento e espaço devido à superpopulação (Huffaker et al. 1969; Howard et al. 1990; Sabelis e Bruin 1996; Galvão et al. 2011), presença de inimigos naturais (Lesna et al 2004) e redução da qualidade das plantas hospedeiras (Boczeck & Schevchenko 1996).

Ácaros predadores da família Phytoseiidae estão entre os principais inimigos naturais do ácaro-da-necrose (Lawson-Balagbo et al. 2007; Domingos et al. 2009) que podem predá-los principalmente quando a praga deixa a proteção do perianto ou antes da colonização de frutos novos, durante o processo de dispersão da praga. O ácaro-da-necrose é uma presa adequada para alguns ácaros predadores fitoseídeos de acordo com estudos de desenvolvimento e reprodução (Lawson-Balagbo et al. 2007; Domingos et al. 2009; Lima et al. 2012).

Entre os ácaros predadores, *Typhlodromus (Anthoseius) ornatus* Denmark & Muma (Acari: Phytoseiidae) é encontrado em frutos de coqueiro da região nordeste do Brasil (Návia et al. 2005; Reis et al. 2008) e está possivelmente associado ao controle biológico do ácaro-da-necrose. O ácaro *T. ornatus* é considerado um predador generalista do tipo III que além de pequenos artrópodes se alimenta de recursos alternativos como pólen e néctar (McMurtry & Croft 1997). Neste contexto, é importante avaliar o potencial desse predador como agente de controle biológico do ácaro-da-necrose em coqueiro.

Atualmente, uma alternativa cogitada para o controle de *A. guerreronis* é o uso de ácaro predadores (Fernando et al. 2010). A resposta funcional mensura a taxa de predação em função da densidade das presas e fornece parâmetros comportamentais que permitem avaliar o potencial de candidatos a agentes de controle biológico (Wiedenmann e Smith 1997; Kasap e Atlihan 2011).

A taxa de predação em relação à densidade de presas pode originar três tipos de resposta (Holling 1959). A resposta funcional do tipo I ocorre quando o número de presas consumidas aumenta de forma linear com o número de presas oferecidas. A resposta funcional do tipo II se caracteriza pelo aumento no número de presas consumidas em função de uma maior disponibilidade de presas até uma determinada densidade a partir da qual, a intensidade do ataque diminui, tendendo a estabilizar. Nesse tipo de resposta, o predador causa o máximo de mortalidade em baixas densidades da presa, portanto, apresentam grande potencial de controle em baixas populações de suas presas por matarem quase a sua totalidade. A resposta funcional do tipo III ocorre quando o consumo de presas aumenta em função do aumento da disponibilidade de presas (Holling 1959).

Adicionalmente à resposta funcional, a taxa de oviposição em relação à densidade de presas oferecidas pode ser utilizada na avaliação do potencial de agentes de controle biológico (Solomon 1949; Holling 1959). Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar a resposta funcional e reprodutiva do ácaro predador *T. ornatus* alimentado com o ácaro-da-necrose *A. guerreronis*.

Material e Métodos

Criação do predador *Typhlodromus ornatus*

A criação do ácaro predador *T. ornatus* foi estabelecida com indivíduos coletados em frutos de coqueiro *Cocos nucifera* L. oriundos do campus da Universidade Estadual do Maranhão em São Luís – MA (02°35'03,46"S, 44°12'32,14"O).

Colônias de *T. ornatus* foram mantidas em laboratório (temperatura de $27,0 \pm 3,0^\circ\text{C}$, umidade relativa de $70 \pm 10\%$ e fotoperíodo natural) em arenas constituídas de discos de PVC (5 cm de diâmetro) flutuando em placas de Petri sem tampa (9 cm de diâmetro por 1,5 cm de profundidade) contendo água destilada para evitar a fuga dos ácaros (Reis et al. 1998). No centro de cada arena foi feito um pequeno orifício para passagem de um alfinete colado no fundo da placa de Petri com cola de silicone.

Fios de algodão recobertos com uma lamínula (18 x 18 mm) foram colocados sobre as arenas para servir de abrigo para os ácaros predadores e local de oviposição. Os ácaros predadores foram alimentados com pólen de mamona (*Ricinus communis* L.) (Reis e Alves 1997).

Resposta funcional e oviposição de *T. ornatus*

O experimento foi conduzido em condições padronizadas de temperatura ($27,0 \pm 1,0^\circ\text{C}$), umidade relativa ($70 \pm 10\%$) e fotoperíodo (12 h). Discos de PVC (7 cm de diâmetro) foram colocados em placas de Petri (9 cm de diâmetro e 1,5 cm de profundidade) e cobertos por uma mistura composta por 5% de ágar (ágar bacteriológico puro), 0,3% de metil parabeno (Nipagim[®]) como fungicida e água destilada (Fig. 1).

Depois do resfriamento da mistura, a área de 5 cm de diâmetro foi aberta com o auxílio de um molde de igual diâmetro expondo assim a área do disco plástico que serviu como unidade experimental delimitada pela barreira de ágar (1,5 cm de altura), a qual serviu para evitar a fuga tanto do predador como de sua presa (ácaro-da-necrose).

Uma barreira adicional de algodão hidrófilo umedecido em água foi colocada sobre as bordas do ágar, para evitar a fuga do ácaro predador (fig 1).

O tipo da curva de resposta funcional foi determinado por meio de regressão logística da proporção de presas consumidas em função das densidades de presas oferecidas, usando o Proc CATMOD do programa SAS (SAS Institute 2002).

Inicialmente, foi testado o modelo cúbico devido à capacidade de capturar todas as possíveis variações das curvas de resposta funcional (Juliano 1993). Em seguida, fizeram-se as reduções dos termos da equação até a obtenção de significância desses. O sinal do termo linear da equação gerada a partir da proporção de presas consumidas/mortas em relação à densidade original de presas foi utilizado para determinar o tipo de resposta funcional (Holling 1959).

O termo linear, quando não significativo, indica resposta funcional do tipo I; quando significativo e apresentar um sinal negativo indica resposta funcional do tipo II; e quando significativo e apresentar o sinal positivo indica resposta funcional do tipo III.

A resposta funcional está fundamentada nos parâmetros tempo de manipulação da presa (T_h), que envolve o encontro, a morte e ingestão da presa; e a taxa de ataque (a'), que representa a eficiência de procura da presa (Holling 1959, 1961; Hassell 1978; Casas et al. 1993; Fan e Pettitt 1994). Estes parâmetros foram estimados na segunda etapa por regressão não linear empregando o método dos quadrados mínimos (PROC NLIN do SAS) de acordo com a metodologia descrita por Juliano (1993).

A taxa de oviposição de *T. ornatus* em função da densidade de *A. guerreronis* no período de 24 horas foi analisada através de análise de regressão do número de ovos em função da densidade de presas oferecidas, utilizando o Proc REG do programa SAS (SAS Institute 2002).

Resultados

A análise de regressão utilizada para determinar o tipo de resposta funcional para o ácaro predador gerou um coeficiente linear com sinal negativo e significativo ($P < 0,0001$) indicando que *T. ornatus* apresentou resposta funcional do tipo II (Tabela 1). O número médio de adultos de *A. guerreronis* consumidos (médias \pm EP) pelo predador foi de $9,83 \pm 0,09$; $29,73 \pm 0,16$; $45,25 \pm 1,23$; $60,55 \pm 3,53$; $93,11 \pm 2,17$ e $110,11 \pm 4,59$, nas densidades de 10; 30; 50; 80; 110 e 150, respectivamente (Fig 2).

As proporções de presas consumidas (médias \pm EP) pelo predador foram: $0,98 \pm 0,04$; $0,99 \pm 0,22$; $0,90 \pm 0,09$; $0,75 \pm 0,13$; $0,84 \pm 0,06$ e $0,73 \pm 0,09$ para as densidades de presas de 10; 30; 50; 80; 110 e 150 respectivamente (Fig 2). Estes resultados indicam que o número de *A. guerreronis* atacados pelo predador aumenta rapidamente devido a uma maior disponibilidade de presas e, conseqüente maior facilidade de encontro, sofrendo redução gradativa até atingir certa estabilidade. A proporção de presas consumidas declina com o aumento da densidade de presas. Na densidade de 80 adultos de *A. guerreronis* a proporção de presas consumidas foi 0,75, mostrando uma redução na proporção de presas consumidas em relação às baixas densidades do ácaro-da-necrose em que essa proporção foi próxima de 1. Na densidade mais alta do ácaro-da-necrose (150), a proporção de presas consumidas diminuiu, o que indica uma tendência para se estabilizar e representa o esperado para predadores que apresentam resposta funcional do tipo II (Fig 2).

Não houve relação entre a oviposição por fêmeas de *T. ornatus* e a densidade de presas ($P > 0,05$). A taxa de oviposição foi baixa em todas as densidades de presas oferecidas. O número de ovos postos (médias \pm EP) por *T. ornatus* foi $0,25 \pm 0,09$; $0,44 \pm 0,12$; $0,5 \pm 0,15$; $0,55 \pm 0,24$; $0,22 \pm 0,14$ e $0,44 \pm 0,24$ nas densidades de 10; 30; 50; 80; 110 e 150 presas, respectivamente, após um período de 24 horas (Fig 3).

Discussão

O ácaro predador *T. ornatus* apresentou resposta funcional do tipo II quando densidades crescentes de adultos do ácaro-da-necrose foram oferecidos como presa. Portanto, a proporção do ácaro-da-necrose predados diminuiu com o aumento da densidade de presas, tendendo a se estabilizar (Holling 1959; Omkar 2005) (Fig 2).

Nesse tipo de resposta funcional, há uma tendência do predador causar o máximo de mortalidade nas baixas densidades de presas (Ali et al. 2011; Khanamani et al. 2014). Essa tendência foi observada para as densidades de até 30 presas oferecidas, o que indica que este predador apresenta maior potencial de controle em baixas densidades do ácaro-da-necrose.

O tempo que o predador permanece manipulando a presa (Th) envolve o encontro, a morte e ingestão da presa (Holling 1959, 1961; Hassell 1978; Casas et al. 1993; Fan e Petitt 1994). Portanto, quanto maior o tempo de manipulação, menor será o tempo de procura do predador pela presa. O valor da taxa de procura de *T. ornatus* pela presa foi considerado menor que o tempo de manipulação da presa (Tabela 2). Apesar de *T. ornatus* gastar mais tempo manipulando a presa, esse comportamento provavelmente não afetará sua atuação como agente de controle do ácaro-da-necrose, quando em processo de dispersão, pois quando as presas se movimentam aumenta a chance de encontro com o predador (Sandness e McMurtry, 1970).

Ao contrário do observado para a taxa de predação, a taxa de oviposição de *T. ornatus* não foi influenciada pela densidade de presas. Por ser considerado um ácaro predador generalista do tipo III, *T. ornatus* se alimenta não apenas do ácaro-da-necrose, mas também de pequenos artrópodes, pólen e substâncias açucaradas que podem ser encontradas em coqueiro (McMurtry & Croft 1997; Galvão et al. 2007; Návia et al.

2013), o que pode beneficiar seu desenvolvimento e reprodução em condições de campo (McMurtry 1992). Em condições de campo, presa e predador coexistem e várias espécies tanto de presas como predadores podem aparecer simultaneamente no mesmo habitat, logo a resposta em campo em relação à taxa de oviposição pode ser diferente das encontradas em laboratório, pelo fato de o predador ter fontes alternativas de alimento.

Os resultados indicam que o ácaro predador *T. ornatus* é um importante agente de controle biológico natural do ácaro-da-necrose por consumir altas proporções e mesmo em altas densidades dessa praga. Por contribuir para o controle biológico do ácaro-da-necrose, é importante a conservação de *T. ornatus* por meio da adoção de práticas culturais de manejo e o uso de agrotóxicos seletivos. Conjuntamente com outros ácaros predadores como *N. baraki*, que causa maior mortalidade em altas densidades (Lima et al. 2012), *T. ornatus* pode auxiliar no controle biológico do ácaro-da-necrose.

Referências

- Ali MP, Naif AA, Huang D (2011) Prey consumption and functional response of a phytoseiid predator, *Neoseiulus womersleyi*, feeding on spider mite, *Tetranychus macfarlanei*. *Journal of Insect Science* 11:167.
- Boczeck J, Schevchenko VG (1996) Ancient associations: Eriophyoid mites on gymnosperms. In: Lindquist EE, Sabelis MW, Bruin J (eds.) *Eriophyoid mites: their biology, natural enemies and control*. Amsterdam, Elsevier.
- Casas J, Gurney WSC, Nisbet R, Roux O (1993) A probabilistic model for the functional response of a parasitoid at the behavioural time-scale. *J Anim Ecol* 62:194-202.
- Domingos CA, Melo JW da S, Gondim Jr MGC, De Moraes GJ, Hanna R, Lawson-Balagbo LM, Schausberger P (2009) Diet-dependent life history, feeding preference and thermal requirements of the predatory mite *Neoseiulus baraki* (Acari: Phytoseiidae). *Exp Appl Acarol* 50:201-215.

Fan Y, Pettitt FL (1994) Parameter estimation of the functional response. *Environ Entomol* 23:785-794.

Fernando LCP, Waidyarathne KP, Perera KFG, De Silva PPHR (2010) Evidence for suppressing coconut mite, *Aceria guerreronis* by inundative release of the predatory mite, *Neoseiulus baraki*. *Biol Control* 53:108-111.

Galvão AS, Gondim Jr MGC, De Moraes GJ, Oliveira JV (2007) Biologia de *Amblyseius largoensis* (Muma) (Acari: Phytoseiidae), um potencial predador de *Aceria guerreronis* Keifer (Acari: Eriophyidae) em Coqueiro. *Neotrop Entomol* 36(3):465-470.

Galvão AS, Gondim JR MGC, De Moraes GJ, Melo, JWS (2011) Distribution of *Aceria guerreronis* and *Neoseiulus baraki* among and within coconut bunches in northeast Brazil. *Exp Appl Acarol* 54:373-384.

Hassell MP (1978) The dynamics of arthropod predator-prey systems. United States: Princeton University Press, Princeton.

Khanamani M, Fathipour Y, Hajiqaanbar H, Sedaratian A (2014) Two-spotted spider mite reared on resistant eggplant affects consumption rate and life table parameters of its predator, *Typhlodromus bagdasarjani* (Acari: Phytoseiidae). *Exp Appl Acarol* 63:241-252.

Lawson-Balagbo LM, Gondim Jr MGC, De Moraes GJ, Hana R, Schausberger P (2007) Life history of the predatory mites *Neoseiulus paspalivorus* e *Proctolaelaps bickleyi*, candidates for control biological *Aceria guerreronis*. *Exp Appl Acarol* 43:49-51.

Lawson-Balagbo LM, Gondim Jr MGC, De Moraes GJ, Hanna R, Schausberger P (2008) Exploration of the acarine fauna on coconut palm in Brazil with emphasis on *Aceria guerreronis* (Acari: Eriophyidae) and its natural enemies. *Bull Entomol Res* 98:83-96.

Lesna I, Conjim CGM, Sabelis SW (2004) From biological control biological insight; rust-mite induced change in bulb morphology, a new mode of indirect plant defence?. *Phytophaga* 14:285-291.

Mori H, Chant DA (1966) The influence of prey density, relative humidity, and starvation on the predaceous behaviour of *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acarina: Phytoseiidae). *Can J Zool* 44:483-491.

Návia D, Gondim Jr. MGC, Aratchige NS, De Moraes GJ (2013) A review of the status of the coconut mite, *Aceria guerreronis* (Acari: Eriophyidae), a major tropical mite pest. *Exp Appl Acarol* 59:67-94.

Návia D, De Moraes GJ, Lofego AC, Flechtmann CHW (2005) Acarofauna associada a frutos de coqueiro (*Cocos nucifera* L.) de algumas localidades das Américas. *Neotrop Entomol* 34(2):349-354.

Oliveira DC, Moraes GJ, Dias CTS (2012) Status of *Aceria guerreronis* Keifer (Acari: Eriophyidae) as a pest of coconut in the state of Sao Paulo, southeastern Brazil. *Biol*

Control 41:315-323.

Omkar AP (2005) Functional response of coccinellid predators: an illustration of a logistic approach. *J Insect Sci* 5:1-5.

Reis AC, Gondim JR. MGC, DE Moraes GJ, Rachid H, Chausberger P, Lawson-Balagbo LE, Barros R (2008) Population dynamics of *Aceria guerreronis* Keifer (Acari: Eriophyidae) and associated predators on coconut fruits in northeastern Brazil. *Neotrop Entomol*,37(4): 457-462.

Reis PR, Alves EB (1997) Criação do ácaro predador *Iphiseiodes zuluagai* Denmark & Muma (Acari: Phytoseiidae) em laboratório. *An Soc Entomol Brasil* 26:565-568.

Reis PR, Chiavegato LG, Alves EB (1998) Biologia de *Iphiseiodes zuluagai* Denmark & Muma (Acari: Phytoseiidae). *An Soc EntomolBrasil* 27(2): 185-191.

Sabelis MW, Bruin J (1996) Evolutionary ecology; life history patterns, food plant choice and dispersal. In Lindquist EE, Sabelis MW, Bruin J (eds.) *Eriophyoid mites: their biology, natural enemies and control*. Amsterdam, Elsevier.

Sandness JN, McMurtry JA (1970) Functional response of three species of Phytoseiidae (Acarina) to prey density. *Can Entomol* 102:692-704.

SAS Institute (2002) SAS/STAT User's guide, version 8.02, TS level 2 MO. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina.

Solomon ME (1949) The natural control of animal populations. *J Anim Ecol* 18:1-35
Wiedenmann RN, Smith JW (1997) Attributes of the natural enemies in ephemeral crop habitats. *Biol Control* 10:16-22.

Tabela 1 Parâmetros estimados da regressão logística da proporção de adultos do ácaro-da-necrose *Aceria guerreronis* consumidos pelo ácaro predador *T. ornatus*.

Espécie	Parâmetros	Valor (\pm EP)	df	χ^2	P
<i>T. ornatus</i>	Intercepto	10,0670 \pm 1,0137	1	98,63	<0,0001
	Linear	-0,2779 \pm 0,0369	1	56,88	<0,0001
	Quadrática	0,00287 \pm 0,000409	1	49,33	<0,0001
	Cúbica	-94 x 10 ⁻⁷ \pm 13 x 10 ⁻⁷	1	46,11	<0,0001

Tabela 2 Estimativas médias (\pm EP) e intervalo de confiança para os parâmetros taxa de procura (a') e ao tempo de manipulação (Th) de fêmeas do ácaro predador *Typhlodromus ornatus* alimentadas com adultos do ácaro-da-necrose *Aceria guerreronis* durante 24 horas.

Espécie	Parâmetros	Estimativa (\pm EP)	IC (95%)
<i>T. ornatus</i>	bhat (a')	0,003 \pm 0,001	(0,002 – 0,004)
	Tthat (Th)	0,197 \pm 0,07	(0,182 – 0,212)

4 CONCLUSÃO GERAL

O óleo bruto de algodão, assim como os acaricidas avaliados, causa mortalidade e repelência ao ácaro-da-necrose, sendo, portanto uma alternativa para o controle desta praga em coqueiro. Adicionalmente, o óleo bruto de algodão é pouco tóxico ao ácaro predador *T. ornatus*, que é um importante agente de controle biológico natural do ácaro-da-necrose por consumir altas proporções e mesmo em altas densidades dessa praga.

ANEXO A: NORMAS DA REVISTA
EXPERIMENTAL AND APPLIED ACAROLOGY

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

MANUSCRIPT SUBMISSION

Submission of a manuscript implies

That the work described has not been published before; that it is not under consideration for publication anywhere else; that its publication has been approved by all co-authors, if any, as well as by the responsible authorities – tacitly or explicitly – at the institute where the work has been carried out. The publisher will not be held legally responsible should there be any claims for compensation.

Permissions

Authors wishing to include figures, tables, or text passages that have already been published elsewhere are required to obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format and to include evidence that such permission has been granted when submitting their papers. Any material received without such evidence will be assumed to originate from the authors.

Online Submission

Authors should submit their manuscripts online. Electronic submission substantially reduces the editorial processing and reviewing times and shortens overall publication times. Please follow the hyperlink “Submit online” on the right and upload all of your manuscript files following the instructions given on the screen.

TITLE PAGE

Title Page

The title page should include:

- The name(s) of the author(s)
- A concise and informative title
- The affiliation(s) and address(es) of the author(s)
- The e-mail address, telephone and fax numbers of the corresponding author

Abstract

Please provide an abstract of 150 to 250 words. The abstract should not contain any undefined abbreviations or unspecified references.

Keywords

Please provide 4 to 6 keywords which can be used for indexing purposes.

TEXT

Text Formatting

Manuscripts should be submitted in Word.

- The text of a research paper should be divided into Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion, Acknowledgements, Conflict of Interest, and References.
- Materials and Methods must include statement of Human and Animal Rights.
- Use a normal, plain font (e.g., 10-point Times Roman) for text.
- Use italics for emphasis.
- Use the automatic page numbering function to number the pages.
- Do not use field functions.

- Use tab stops or other commands for indents, not the space bar.
- Use the table function, not spreadsheets, to make tables.
- Use the equation editor or MathType for equations.

Note: Save your file in docx format (Word 2007 or higher) or doc format (older Word versions). Manuscripts with mathematical content can also be submitted in LaTeX.

LaTeX macro package (zip, 182 kB)

Headings

Please use no more than three levels of displayed headings.

Abbreviations

Abbreviations should be defined at first mention and used consistently thereafter.

Footnotes

Footnotes can be used to give additional information, which may include the citation of a reference included in the reference list. They should not consist solely of a reference citation, and they should never include the bibliographic details of a reference. They should also not contain any figures or tables.

Footnotes to the text are numbered consecutively; those to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data). Footnotes to the title or the authors of the article are not given reference symbols.

Always use footnotes instead of endnotes.

Acknowledgments

Acknowledgments of people, grants, funds, etc. should be placed in a separate section before the reference list. The names of funding organizations should be written in full.

SCIENTIFIC STYLE

Please always use internationally accepted signs and symbols for units (SI units).

SCIENTIFIC STYLE

Genus and species names should be in italics.

SCIENTIFIC STYLE

Please use the standard mathematical notation for formulae, symbols etc.:

- Italic for single letters that denote mathematical constants, variables, and unknown quantities
- Roman/upright for numerals, operators, and punctuation, and commonly defined functions or abbreviations, e.g., cos, det, e or exp, lim, log, max, min, sin, tan, d (for derivative)
- Bold for vectors, tensors, and matrices.

REFERENCES

Citation

Cite references in the text by name and year in parentheses. Some examples:

- Negotiation research spans many disciplines (Thompson 1990).
- This result was later contradicted by Becker and Seligman (1996).
- This effect has been widely studied (Abbott 1991; Barakat et al. 1995; Kelso and Smith 1998; Medvec et al. 1999).

Reference list

The list of references should only include works that are cited in the text and that have been published or accepted for publication. Personal communications and unpublished works should only be mentioned in the text. Do not use footnotes or endnotes as a substitute for a reference list.

Reference list entries should be alphabetized by the last names of the first author of each work.

Journal article

- Gamelin FX, Baquet G, Berthoin S, Thevenet D, Nourry C, Nottin S, Bosquet L (2009) Effect of high intensity intermittent training on heart rate variability in prepubescent children. *Eur J Appl Physiol* 105:731-738. doi: 10.1007/s00421-008-0955-8
- Ideally, the names of all authors should be provided, but the usage of “et al” in long author lists will also be accepted: Smith J, Jones M Jr, Houghton L et al (1999) Future of health insurance. *N Engl J Med* 965:325–329
- *Article by DOI*

- Slifka MK, Whitton JL (2000) Clinical implications of dysregulated cytokine production. *J Mol Med.* doi:10.1007/s001090000086
- *Book*
- South J, Blass B (2001) *The future of modern genomics.* Blackwell, London
- *Book chapter*
- Brown B, Aaron M (2001) The politics of nature. In: Smith J (ed) *The rise of modern genomics, 3rd edn.* Wiley, New York, pp 230-257
- *Online document*
- Cartwright J (2007) Big stars have weather too. IOP Publishing PhysicsWeb. <http://physicsweb.org/articles/news/11/6/16/1>. Accessed 26 June 2007
- *Dissertation*
- Trent JW (1975) Experimental acute renal failure. Dissertation, University of California

Always use the standard abbreviation of a journal's name according to the ISSN List of Title Word Abbreviations, see ISSN.org LTWA

For authors using EndNote, Springer provides an output style that supports the formatting of in-text citations and reference list.

EndNote style (zip, 2 kB)

TABLES

- All tables are to be numbered using Arabic numerals.
- Tables should always be cited in text in consecutive numerical order.
- For each table, please supply a table caption (title) explaining the components of the table.
- Identify any previously published material by giving the original source in the form of a reference at the end of the table caption.
- Footnotes to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data) and included beneath the table body.

ARTWORK AND ILLUSTRATIONS GUIDELINES

For the best quality final product, it is highly recommended that you submit all of your artwork –photographs, line drawings, etc. – in an electronic format. Your art will then

be produced to the highest standards with the greatest accuracy to detail. The published work will directly reflect the quality of the artwork provided.

Electronic Figure Submission

- Supply all figures electronically.
- Indicate what graphics program was used to create the artwork.
- For vector graphics, the preferred format is EPS; for halftones, please use TIFF format. MSOffice files are also acceptable.
- Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.
- Name your figure files with "Fig" and the figure number, e.g., Fig1.eps.

Line Art

line-bw

- Definition: Black and white graphic with no shading.
- Do not use faint lines and/or lettering and check that all lines and lettering within the figures are legible at final size.
- All lines should be at least 0.1 mm (0.3 pt) wide.
- Scanned line drawings and line drawings in bitmap format should have a minimum resolution of 1200 dpi.
- Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.

Halftone Art

halftone-gray-color

- Definition: Photographs, drawings, or paintings with fine shading, etc.
- If any magnification is used in the photographs, indicate this by using scale bars within the figures themselves.
- Halftones should have a minimum resolution of 300 dpi.

Combination Art

combined

- Definition: a combination of halftone and line art, e.g., halftones containing line drawing, extensive lettering, color diagrams, etc.
- Combination artwork should have a minimum resolution of 600 dpi.

Color Art

- Color art is free of charge for online publication.
- If black and white will be shown in the print version, make sure that the main information will still be visible. Many colors are not distinguishable from one another when converted to black and white. A simple way to check this is to make a xerographic copy to see if the necessary distinctions between the different colors are still apparent.
- If the figures will be printed in black and white, do not refer to color in the captions.
- Color illustrations should be submitted as RGB (8 bits per channel).

Figure Lettering

- To add lettering, it is best to use Helvetica or Arial (sans serif fonts).
- Keep lettering consistently sized throughout your final-sized artwork, usually about 2–3 mm (8–12 pt).
- Variance of type size within an illustration should be minimal, e.g., do not use 8-pt type on an axis and 20-pt type for the axis label.
- Avoid effects such as shading, outline letters, etc.
- Do not include titles or captions within your illustrations.

Figure Numbering

- All figures are to be numbered using Arabic numerals.
- Figures should always be cited in text in consecutive numerical order.
- Figure parts should be denoted by lowercase letters (a, b, c, etc.).
- If an appendix appears in your article and it contains one or more figures, continue the consecutive numbering of the main text. Do not number the appendix figures, "A1, A2, A3, etc." Figures in online appendices (Electronic Supplementary Material) should, however, be numbered separately.

Figure Captions

- Each figure should have a concise caption describing accurately what the figure depicts. Include the captions in the text file of the manuscript, not in the figure file.
- Figure captions begin with the term Fig. in bold type, followed by the figure number, also in bold type.
- No punctuation is to be included after the number, nor is any punctuation to be placed at the end of the caption.
- Identify all elements found in the figure in the figure caption; and use boxes, circles, etc., as coordinate points in graphs.
- Identify previously published material by giving the original source in the form of a reference citation at the end of the figure caption.

Figure Placement and Size

- When preparing your figures, size figures to fit in the column width.
- For most journals the figures should be 39 mm, 84 mm, 129 mm, or 174 mm wide and not higher than 234 mm.
- For books and book-sized journals, the figures should be 80 mm or 122 mm wide and not higher than 198 mm.

Permissions

If you include figures that have already been published elsewhere, you must obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format. Please be aware that some publishers do not grant electronic rights for free and that Springer will not be able to refund any costs that may have occurred to receive these permissions. In such cases, material from other sources should be used.