

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

ÉVILA DE CASTRO COSTA

Influência da estrutura populacional e do estágio de desenvolvimento no controle biológico de *Mononychellus tanajoa* (Bondar) por ácaros predadores (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae)

São Luís - MA

2011

ÉVILA DE CASTRO COSTA

Engenheira Agrônoma

Influência da estrutura populacional e do estágio de desenvolvimento no controle biológico de *Mononychellus tanajoa* (Bondar) por ácaros predadores (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae)

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

Orientador: Prof. Dr. Adenir Vieira Teodoro

São Luís - MA

2011

Costa, Évila de Castro.

Influência da estrutura populacional e do estágio de desenvolvimento no controle biológico de *Mononychellus tanajoa* (Bondar) por ácaros predadores (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae) / Évila de Castro Costa.– São Luís, 2011.

97f

Dissertação (Mestrado) – Curso de Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão, 2011.

Orientador: Prof. Dr. Adenir Vieira Teodoro

1.Controle biológico natural. 2.Densidade populacional. 3.Predação.
4.Oviposição. 5.Taxa de crescimento populacional. I.Título

CDU: 632.937.2:595.42

ÉVILA DE CASTRO COSTA

Influência da estrutura populacional e do estágio de desenvolvimento no controle biológico de *Mononychellus tanajoa* (Bondar) por ácaros predadores (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae)

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

Aprovado em: 10/06/2011

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Adenir Vieira Teodoro – UEMA

Prof. Dra. Ester Azevedo da Silva – UEMA

Prof. Dr. Renato de Almeida Sarmiento – UFT

São Luís - MA

2011

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me conceder a vida, por me ajudar me dando sabedoria para vencer as batalhas difíceis que encaramos no dia-a-dia, para fazer escolhas certas, pelos amigos que Ele me abençoou, pelas passagens da vida, e por muitas coisas boas que ainda hei de passar nessa vida e na vida eterna com Ele.

A minha mãe, Rosely Brito de Castro, e as minhas irmãs (Laysa Gabrielle, Bianca Geysel, Georgina e Ana Vitória) que me apoiaram, me ajudaram em tudo para alcançar o sucesso na minha vida, me ensinaram a andar no caminho certo, que me acompanharam nos momentos difíceis, que deram exemplos de vida com seu amor.

Ao Prof. Dr. Adenir Vieira Teodoro, pela orientação, por contribuir sem medir esforços para me ensinar, por me ajudar em meus trabalhos e projetos, e por sua amizade.

Ao professor Dr. Christoph Gehring pelas sugestões que foram de grande valia e por participar da banca do exame de qualificação.

Aos professores Dr. Renato de Almeida Sarmiento, Dra. Ester Azevedo da Silva pelas sugestões e por compor a banca de defesa desta dissertação.

As minhas amigas Tércia Cristina Reis, Edilaine Silva Marques e Kátia Pereira Coelho pela agradável convivência durante o curso, amizade e presença em minha vida.

Aos meus amigos de laboratório: Anilde G. S. Maciel e Adriano Soares Rêgo que me acompanharam durante as coletas de campo, experimento de laboratório e me forneceram além de agradável companhia, ajuda e várias risadas.

À Fundação de Amparo a Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) pelo financiamento do projeto.

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

A todos aqueles que contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Pág
RESUMO	10
ABSTRACT.....	11
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL	
ÁCAROS.....	13
MANDIOCA.....	17
CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO.....	18
ESBOÇO DOS CAPÍTULOS	19
REFERÊNCIAS	20
CAPÍTULO 2 - POPULATION STRUCTURE AND DYNAMICS OF THE CASSAVA GREEN MITE <i>Mononychellus tanajoa</i> (BONDAR) AND THE PREDATOR <i>Euseius ho</i> DeLEON (ACARI: TETRANYCHIDAE, PHYTOSEIIDAE)	
ABSTRACT.....	25
INTRODUCTION.....	27
MATERIAL AND METHODS	28
RESULTS.....	30
DISCUSSION.....	31
ACKNOWLEDGEMENTS.....	33
REFERENCES	34
FIGURE CAPTIONS.....	38
FIGURE 1.....	39

FIGURE 2.....	40
FIGURE 3.....	41
FIGURE 4.....	42
CAPÍTULO 3 – INFLUÊNCIA DO ESTÁDIO DE DESENVOLVIMENTO NO POTENCIAL DE CONTROLE DE <i>Mononychellus tanajoa</i> (BONDAR) POR <i>Euseius concordis</i> CHANT (ACARI: TETRANYCHIDAE, PHYTOSEIIDAE)	
RESUMO.....	45
ABSTRACT.....	47
INTRODUÇÃO.....	48
MATERIAL E MÉTODOS.....	49
RESULTADOS.....	53
DISCUSSÃO.....	55
AGRADECIMENTOS.....	59
REFERÊNCIAS.....	60
LEGENDA.....	64
FIGURA 1a.....	66
FIGURA 1b.....	67
FIGURA 2.....	68
FIGURA 3.....	69
FIGURA 4a.....	70
FIGURA 4b.....	71
FIGURA 4c.....	72
FIGURA 5a.....	73
FIGURA 5b.....	74

FIGURA 5c..... 75
FIGURA 6a..... 76
FIGURA 6b..... 77
FIGURA 6c..... 78
FIGURA 7..... 79

ANEXO – NORMAS DAS REVISTAS

Acarology (Capítulo 2)

Experimental and Applied Acarology (Capítulo 3)

RESUMO

O ataque do ácaro-verde *Mononychellus tanajoa* é a principal causa de redução da produtividade da cultura da mandioca no estado do Maranhão, Brasil. Ácaros predadores da família Phytoseiidae são os mais importantes inimigos naturais de ácaros-praga. Foi determinada a densidade dos estádios de desenvolvimento de *M. tanajoa* e de *E. ho* ao longo do ciclo de cultivo da mandioca. Adicionalmente, foi avaliada a eficiência dos estádios ativos (ninfas e fêmeas) do ácaro predador *Euseius concordis* encontrado em cultivos de mandioca sobre as fases de ovo, imaturo e fêmea do ácaro-verde da mandioca através de bioensaios de predação, oviposição e crescimento populacional. O estágio de larva do ácaro-verde *M. tanajoa* apresentou menores densidades populacionais em comparação com os demais estádios de desenvolvimento a partir do início da época seca do ano. Houve uma tendência de maiores densidades de ovo de *M. tanajoa* seguidas pelos estádios de adulto e ninfa. Não houve diferença na abundância dos diferentes estádios de desenvolvimento do ácaro predador *E. ho* ao longo do ciclo de cultivo da mandioca. Densidades de todos os estádios de desenvolvimento de *M. tanajoa* foram negativamente correlacionadas com a precipitação. Os estádios de ovo, ninfa e adulto de *M. tanajoa* foram correlacionados positivamente com a temperatura enquanto o estágio de larva foi correlacionado negativamente. Ademais, os estádios de desenvolvimento de *M. tanajoa* não foram correlacionados com a umidade relativa do ar. Densidades de todos os estádios de desenvolvimento do ácaro predador *E. ho* não foram correlacionadas com nenhuma variável ambiental. Os estádios de ovo e imaturo de *M. tanajoa* foram os mais predados por fêmeas e ninfas de *E. concordis*. Houve uma tendência de maior consumo de ovos do ácaro-verde tanto por fêmeas como ninfas do ácaro predador *E. concordis*. Adicionalmente, as taxas de oviposição e crescimento populacional de *E. concordis* foram maiores quando alimentado com ovos e imaturos do ácaro-verde em comparação as fêmeas. Conclui-se que é importante considerar a estrutura populacional em estudos de dinâmica populacional de artrópodes, pois cada estágio do desenvolvimento experimenta e responde o ambiente ao seu redor de forma única ao longo do tempo. Adicionalmente, o potencial de controle biológico de *E. concordis* depende de sua fase ativa de desenvolvimento (ninfas, fêmeas) bem como da fase do desenvolvimento (ovo, imaturo, fêmea) do ácaro-verde da mandioca.

Palavras-chave: Controle biológico natural. Densidade populacional. Predação. Oviposição. Taxa de crescimento populacional.

ABSTRACT

The attack of the cassava green mite *Mononychellus tanajoa* is the leading cause of cassava yield reduction in the state of Maranhão, Brazil. Predatory mites of the family Phytoseiidae are the most important natural enemies of pest mites. We determined the abundance of the developmental stages of *M. tanajoa* and *E. ho* during the cultivation cycle of cassava. Additionally, we evaluated the effectiveness of active stages (nymph and female) of the predatory mite *Euseius concordis*, found in cassava fields, on the stages of egg, immature and female of the cassava green mite by predation, oviposition and population growth bioassays. The larva stage of the cassava green mite *M. tanajoa* had lower population densities compared with the other developmental stages from the beginning of the dry season onwards. There was a tendency for higher egg densities of *M. tanajoa* followed by the stages of adult and nymph. There was no difference in the abundance of different developmental stages of the predatory mite *E. ho* throughout the cultivation cycle of cassava. Densities of all developmental stages of *M. tanajoa* were negatively correlated with precipitation. The stages of egg, nymph and adult of *M. tanajoa* were positively correlated with temperature while the stage of larva was negatively correlated. Furthermore, the developmental stages of *M. tanajoa* were not correlated with the relative humidity. Densities of all developmental stages of the predatory mite *E. ho* were not correlated with any environmental variable. Egg and immature stages of *M. tanajoa* were the most preyed on by females and nymphs of *E. concordis*. There was a trend towards greater consumption of eggs of the green spider mite by both females and nymphs of the predatory mite *E. concordis*. Additionally, the oviposition rates and population growth rates of *E. concordis* were higher when fed on eggs and immatures of *M. tanajoa* in comparison to females. We conclude that it is important to consider the population structure in studies of population dynamics of arthropods as each developmental stage experiences and responds uniquely to the local environment over time. Additionally, the potential for biological control of *E. concordis* depends on its active phase of development (nymph, female) as well as the stage of development (egg, immature, female) of the cassava green mite.

Key-words: Natural biological control. Population density. Predation. Oviposition. Population growth rate.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Ácaros

Os ácaros são artrópodes pertencentes à classe Arachnida e à sub-classe Acari (HICKMAN *et al.*, 2003) e distinguem-se dos insetos (Classe Insecta) pela ausência de segmentação, ausência de asas e antenas, e por apresentarem quatro pares de pernas, com exceção da família Eriophyidae, que apresenta apenas dois pares de pernas. Existem atualmente mais de 50.000 espécies de ácaros descritas (MORAES; FLECHTMANN, 2008), no entanto outras estimativas revelam que esse número pode atingir em torno de 500.000 espécies (ADIS, 2002). Os ácaros são encontrados em praticamente todos os ambientes terrestres, têm hábito alimentar diverso e apresentam importância tanto pelos danos que algumas espécies causam ao homem, animais e plantas, como pelos aspectos positivos que outras espécies apresentam, como predadores de pragas agrícolas e auxiliares no processo de decomposição de materiais orgânicos (ROGGIA, 2007).

Os principais grupos de ácaros de interesse agrícola são os fitófagos, pelo potencial de causarem danos às plantas, e os predadores, pela possibilidade de uso como agentes de controle biológico de ácaros-praga. Dentre as espécies de ácaros fitófagos encontradas na mandioca, destacam-se os pertencentes à família Tetranychidae (SANTOS, 2008). A família Tetranychidae tem sido referida na literatura nacional como “ácaros-de-teia” e, na literatura internacional, como “spider mites”, devido o comportamento de muitas das espécies de produzir quantidade variável de teia (MORAES; FLECHTMANN, 2008). Os ácaros tetraniquídeos alimentam-se através da inserção dos estiletos nos tecidos das folhas ocorrendo extravasamento do conteúdo celular.

No Brasil, o ácaro-verde *Mononychellus tanajoa* (Bondar) (Acari: Tetranychidae) é uma das principais pragas da cultura da mandioca, principalmente na região Nordeste do Brasil (ELLIOT *et al.*, 2008). O nome *tanajoa* é o termo utilizado pelos indígenas da região Nordeste aos danos causados pelo ácaro à mandioca. O ácaro-verde da mandioca *M. tanajoa* (Figura 1) possui ciclo de vida curto, tamanho pequeno, quatro estádios ativos (móveis): uma larva (com 6 pernas), dois estádios de ninfa (protoninfa e deutoninfa), e um estágio adulto. O ácaro-verde *M. tanajoa* possui, ainda, períodos de imobilidade (protocrisálida, deutocrisálida e teliocrisálida) de duração variável (MORAES; FLECHTMANN, 2008).

Mononychellus tanajoa é encontrado com frequência na face inferior das folhas de mandioca, principalmente em condições de temperatura elevada e umidade relativa baixa (ELLIOT *et al.*, 2008). O ataque do ácaro-verde à mandioca resulta em manchas cloróticas em torno das nervuras, com posterior amarelecimento generalizado e deformações do limbo, seguidos de bronzeamento e queda das folhas, a partir do ápice (Figura 2) (VEIGA, 1985).



Figura 1: Ácaro-verde *M. tanajoa* em folha de mandioca.

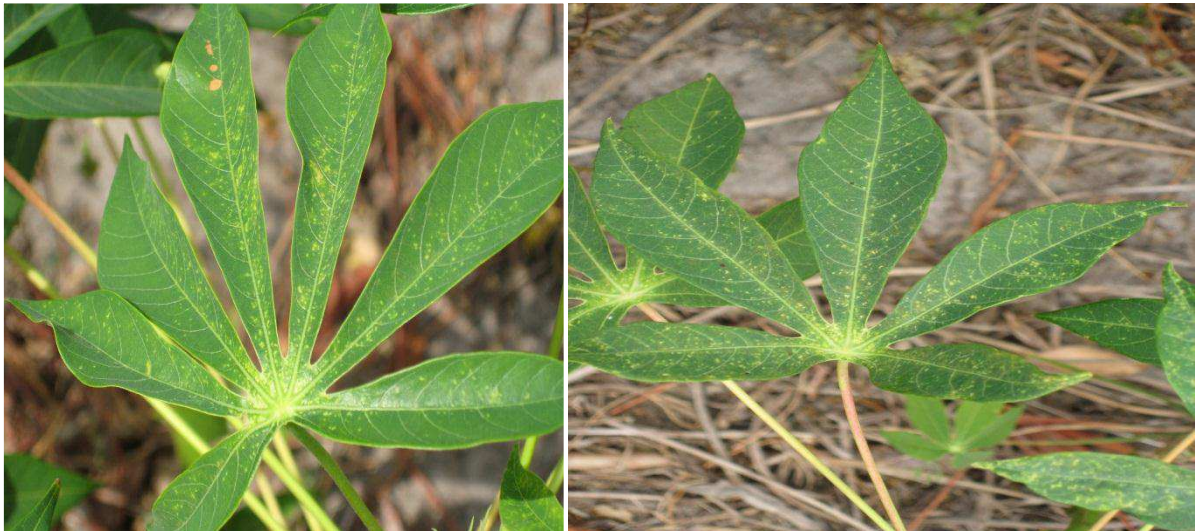


Figura 2: Folhas de mandioca com manchas cloróticas

Os ácaros predadores são considerados os inimigos naturais mais efetivos no controle natural dos ácaros fitófagos, sendo que as principais famílias de ácaros predadores são: Anystidae, Bdellidae, Cheyletidae, Cunaxidae, Phytoseiidae e Stigmaeidae (MORAES, 1991; YANINEK; MORAES, 1991). No mundo são conhecidas mais de 2250 espécies de ácaros

predadores das quais cerca de 140 são relatadas no Brasil. Os gêneros com maior número de espécies relatadas foram: *Amblyseius* (28 espécies), *Neoseiulus* (18), *Euseius* (12), *Typhlodromalus* (9), *Typhlodromips* (10), *Phytoseius* (8) e *Proprioseiopsis* (8) (MORAES *et al.*, 2004). Estes ácaros são comumente encontrados nas partes aéreas das plantas, onde desempenham papel importante no controle biológico natural de ácaros fitófagos (McMURTRY; CROFT, 1997).

Os fitoseídeos são predadores de movimentos rápidos, fototrópicos negativos, que buscam ativamente suas presas e que apresentam um aspecto brilhante vivo (MORAES, 2002). O ciclo de vida dos fitoseídeos é bastante curto, pois a maioria das espécies completa o período de ovo a adulto em cerca de uma semana (HOY, 1985). O período de incubação pode variar muito, dependendo dos fatores climáticos, tais como temperatura, umidade relativa do ar, o tipo de alimento e a espécie estudada (FURTADO; MORAES, 1998).

A alimentação dos fitoseídeos varia consoante as espécies, podendo ser predadores de outros ácaros, micetófagos, poliníferos, nematófagos, ou fitosuccíveros. Também podem apresentar hábitos alimentares polífagos (predadores generalistas) ou monófagos (predadores especializados) (McMURTRY; CROFT, 1997).

Em cultivos no campo, onde colônias de ácaros-pragas e de ácaros predadores coexistem, a atividade predatória do predador depende de sua fase ativa de desenvolvimento (larva, ninfa, macho, e fêmea) bem como da fase do desenvolvimento de sua presa (ovo, larva, ninfa, macho, e fêmea) (REIS *et al.*, 2000). Adicionalmente, a abundância de ácaros ao longo do tempo pode variar de acordo com a sua fase de desenvolvimento, pois cada fase do desenvolvimento experimenta o ambiente ao seu redor de forma única.

Dentre os ácaros fitoseídeos, os pertencentes ao gênero *Euseius* (Figura 3) se destacam pela grande riqueza de espécies (MORAES *et al.*, 2004). Embora pertença ao Grupo IV dos Phytoseiidae (McMURTRY; CROFT, 1997; CROFT *et al.*, 2004), onde estão inclusos espécies de ácaros predadores consideradas generalistas que preferem pólen como alimento, predadores desse gênero podem contribuir também para o controle biológico de ácaros fitófagos. O potencial predatório de espécies de *Euseius* sobre pragas foi verificado por diversos autores: *Euseius scutalis* sobre a mosca branca *Bemisia tabaci* (Homoptera, Aleyrodidae) (NOMIKOU *et al.*, 2001); *Euseius tularensis* sobre o tripses *Scirtothrips citri* (Thysanoptera, Thripidae) (CONGDON; McMURTRY, 1988); e *E. citrifolius* e *E. concordis* sobre o ácaro da leprose dos citros *Brevipalpus phoenicis* (KOMATSU; NAKANO, 1988; GRAVENA *et al.*, 1994).

As espécies pertencentes ao gênero *Euseius* constatadas no Brasil e citadas por Lofego (1998) e Moraes *et al.* (1986) são *E. alatus* (DeLeon), *E. brazilli* (El-Banhwy), *E. citrifolius*, *E. concordis*, *E. hibisci* (Chant), *E. ho* (DeLeon), *E. inouei* (Ehara & Moraes), *E. plaudus* (Denmark & Muma), *E. sakagami* (Ehara), *E. sibelius* (DeLeon), *E. unisetus* (Moraes & McMurtry) e *E. vivax* (Chant & Baker). O ácaro predador *Euseius ho* apresenta uma ampla distribuição geográfica no Brasil, com ocorrência nos estados da Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco e São Paulo. *Euseius ho* também ocorre em países como a Argentina, Colômbia, Peru, Equador, Jamaica, México e Porto Rico (MORAES *et al.*, 2004). Existem poucos estudos relacionados a *E. ho*, limitando-se a registros de ocorrência em diversos habitats.

Euseius concordis foi descrito a partir de espécimes coletados em *Citrus* sp., em Concórdia - SC, Entre Rios - SC e Argentina. Essa espécie também foi registrada no Brasil, Colômbia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Nicarágua, Portugal e Trinidad-Tobago (MORAES *et al.*, 1986). No Brasil, foi registrado no nordeste (Bahia, Ceará, Paraíba e Pernambuco), norte (Tocantins) sudeste (Minas Gerais e São Paulo) e sul (Rio Grande do Sul), sendo encontrada em cultivos de cafeeiro, citros, macieira, seringueira, mandioca, e em plantas invasoras (FERLA; MORAES, 1998; FERES, 2000; SARMENTO *et al.*, 2011). As características morfológicas, biológicas, compatibilidade reprodutiva de algumas populações (LOFEGO, 1998), taxa de predação e oviposição (SARMENTO *et al.*, 2011) de *E. concordis* foram avaliadas em algumas pesquisas. *Euseius concordis* apresenta um período médio de ovo a adulto de 5,5 dias, longevidade média de 35 dias e taxa de oviposição média de 1,6 ovo/fêmea/dia (KOMATSU; NOKANO, 1988; SATO, 2005). Alguns trabalhos têm demonstrado o potencial desse fitoseídeo como predador de ácaros fitófagos (MELO *et al.*, 2009). Durante sua vida, cada ácaro preda em média 351 ovos ou 302 formas jovens ou 20,5 adultos do ácaro-da-leprose (KOMATSU; NOKANO, 1988; SATO, 2005).

Estudos relacionados aos predadores do gênero *Euseius* são importantes para acessar os estádios de desenvolvimento de ácaros predadores mais importantes no controle biológico bem como os estádios de desenvolvimento de ácaros-praga mais consumidos pelo predador.



Figura 3: Ácaros predadores do gênero *Euseius*

1.2 Mandioca

A mandioca *Manihot esculenta* Crantz pertence à família Euphorbiaceae e é nativa da América Tropical; é uma planta rústica, com ampla adaptação às condições mais variadas de clima e solo (FREGENE *et al.*, 2000). Os principais elementos climáticos que afetam a mandiocultura são a temperatura do ar, a radiação solar, o fotoperíodo e o regime hídrico. As melhores condições térmicas para o desenvolvimento da planta situam-se entre 20°C e 27°C. Totais anuais de chuva entre 1000 mm e 1500 mm, bem distribuídos são ideais para o cultivo da mandioca, no entanto, a planta é frequentemente cultivada, em áreas tropicais semi-áridas, com pluviosidade anual de 400 mm a 700 mm (MAPA, 2009).

A cultura da mandioca é uma importante fonte de energia para mais de 500 milhões de pessoas em países da África, Ásia e Américas (SILVA, 2008). O Brasil é o segundo produtor mundial de mandioca, sendo a região Nordeste responsável pela maior parte da produção nacional (MAPA, 2009). As raízes da mandioca são eficientes na produção de carboidratos (ONWUEME, 2002; EL-SHARKAWY, 2003) e são tradicionalmente usadas na região Nordeste para a produção de farinha (CARDOSO; SOUZA, 1999). Além dos produtos que têm as raízes como matéria-prima básica, há produtos gerados a partir da parte aérea (constituída de folhas e hastes) que são usados na alimentação animal e humana. As folhas são ricas em proteínas, sais minerais e vitaminas, com excelentes qualidades nutricionais para o consumo animal e humano. Na alimentação animal as folhas e as hastes são usadas frescas ou na preparação de silagens e fenos. Na alimentação humana, as folhas, depois de

desidratadas, são usadas na forma de farinha ou, diretamente, na preparação de alimentos. As hastes são também fonte de material de plantio (manivas) para as novas lavouras de mandioca (BARROS, 2004). De acordo com o IBGE, a produção brasileira de mandioca em 2010 foi de 25,7 milhões de toneladas e a produtividade atingiu 14 t/ ha. No estado do Maranhão, a mandioca é cultivada em pequenas propriedades rurais nas quais os agricultores utilizam a agricultura de corte e queima para a sua produção. O cultivo da mandioca está relacionado à segurança alimentar de agricultores familiares do estado do Maranhão, onde é produzida de forma tradicional com baixo nível tecnológico.

1.3 Caracterização da região de estudo

Os experimentos de campo foram realizados no Assentamento Tico-Tico, localizado na zona rural do Município de Miranda do Norte (3°36'45" S, 44°34'08" O, elevação 44m, Figura 4), Maranhão, Brasil. A região de estudo apresenta temperatura média de aproximadamente 27°C e períodos chuvoso (janeiro a junho) e seco bem definidos (julho a dezembro).



Figura 4: Sítios de estudo em Miranda do Norte – MA. Fonte: Google Earth.

1.4 Esboço dos capítulos

No capítulo 2, foi determinada a densidade dos estádios de desenvolvimento do ácaro-verde *M. tanajoa* e do ácaro predador *E. ho* ao longo do ciclo de cultivo da mandioca. A hipótese testada foi: A dinâmica populacional de *M. tanajoa* e de *E. ho* depende do estágio de desenvolvimento de cada espécie.

No capítulo 3, foi avaliada a eficiência dos estádios ativos (ninfas e fêmeas) do ácaro predador *E. concordis* sobre as fases de ovo, imaturo (larva, protoninfa, deutoninfa) e fêmea do ácaro-verde *M. tanajoa* através de bioensaios de predação, oviposição e crescimento populacional. As hipóteses testadas foram: 1 - A atividade predatória de *E. concordis* sobre *M. tanajoa* é afetada pelo estágio de desenvolvimento tanto do predador quanto da presa. 2 - A oviposição e taxa de crescimento populacional do ácaro predador *E. concordis* são influenciadas pelo estágio de desenvolvimento do ácaro-verde.

REFERÊNCIAS

- ADIS, J. Taxonomical classification and biodiversity. In: ADIS, J. (Ed.). Amazonian arachnida and myriapoda. **Sofia**: Pensoft Publishers, p. 13-15, 2002.
- BARROS, G. S. de C (coord.). **Melhoria da competitividade da cadeia agroindustrial de mandioca no Estado de São Paulo**. São Paulo: SEBRAE; Piracicaba, SP: ESALQ: CEPEA, 2004. 347p.
- CARDOSO, C. E. L.; SOUZA, J. da S. **Aspectos agro-econômicos da cultura da mandioca**: potencialidades e limitações. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 1999. 27p.
- CONGDON, B. D.; McMURTRY, J. A. Prey selectivity in *Euseius tularensis* (Acari: Phytoseiidae). **Entomophaga**, p. 281-287, 1988.
- CROFT, B. A.; BLACKWOOD, J. S.; McMURTRY, J. A. Classifying life-style types of phytoseiid mites: diagnostic traits. **Experimental and Applied Acarology**, v. 33, p. 247-260, 2004.
- ELLIOT, S. L.; MORAES, G. J., MUMFORD, J. D. Failure of the mite-pathogenic fungus *Neozygites tanajoe* and the predatory mite *Neoseiulus idaeus* to control a population of the cassava green mite, *Mononychellus tanajoa*. **Experimental and Applied Acarology**, v. 46, p. 211-222, 2008.
- EL-SHARKAWY, M. Cassava biology and physiology. **Plant Molecular Biology**, v. 53, p. 621-641, 2003.
- FERES, R. J. F. Levantamento e observações naturalísticas da acarofauna (Acari, Arachnida) de seringueiras cultivadas (*Hevea* spp., Euphorbiaceae) no Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 17, p. 157-173, 2000.
- FERLA, N. J.; MORAES, G. J. Ácaros predadores em pomares de maçã no Rio Grande do Sul. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 27, p. 649-654, 1998.
- FREGENE, M.; BERNAL, A.; DUQUE, M.; DIXON, A.; TOHME, J. AFLP Analysis of African cassava (*Manihot esculenta* Crantz) germplasm resistant to the cassava mosaic disease (CMD). **Theoretical and Applied Genetics**, v. 100, p. 678-685, 2000.

FURTADO, L. P., MORAES, G. J. Biology of *Euseius citrifolius*, a candidate for the biological control of *Mononychellus tanajoa* (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae). **Systematic and Applied Acarology**, v. 3, p. 43-48, 1998.

GRAVENA, S.; BENETOLI, I.; MOREIRA, P. H. R.; YAMAMOTO, P. T. *Euseius citrifolius* Denmark & Muma predation on citrus leprosis mite *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes) (Acari: Phytoseiidae: Tenuipalpidae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 23, p. 209-218, 1994.

HICKMAN, Jr. C. P., ROBERTS, L. S., LARSON, A. **Princípios integrados de zoologia**. Décima primeira edição. Editora Guanabara Koogan S.A., Rio de Janeiro, 2003, 846p.

HOY, M. A. Recent advances in genetics and genetic improvement of the Phytoseiidae. **Annual Review of Entomology**, v. 20, p. 347-370, 1985.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2010. <http://www.ibge.gov.br> Acesso em 25 de fevereiro de 2011.

KOMATSU, S. S.; NAKANO, O. Estudos visando o manejo do ácaro da leprose em citros através do ácaro predador *Euseius concordis* (Acari: Phytoseiidae). **Laranja**, v. 9, p. 125-146, 1988.

LOFEGO, A. C. Caracterização morfológica e distribuição geográfica das espécies de *Amblyseiinae* (Acari: Phytoseiidae) no Brasil. São Paulo, 1998. 167 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo.

MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). 2009. <http://www.in.gov.br/autenticidade.html> Acesso em: 22 de fevereiro de 2011.

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.

MELO, J. W. S.; DOMINGOS, C. A.; GONDIM JUNIOR, M. G. C.; MORAES, G. J.; Pode *Euseius alatus* DeLeon (Acari: Phytoseiidae) preda *Aceria guerreronis* Keifer (Acari: Eriophyidae) em coqueiro? **Neotropical Entomology**, v. 38, p. 139-143, 2009.

MORAES, G. J.; McMURTRY, J. A.; DENMARK, H. A. **A catalog of the mite family**

Phytoseiidae: references to taxonomy, synonymy, distribution and habitat. Brasília: EMBRAPA-DDT, 1986. 353p.

MORAES, G. J.; MESA, N. C.; BRAUN, A. Some phytoseiidae mites of Latin America (Acari: Phytoseiidae). **International Journal of Acarology**, v.17, p.117-139, 1991.

MORAES, G. J. Controle biológico de ácaros fitófagos com ácaros predadores. In: PARRA, J. R. P.; BOTELHO, S.M.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; BENTO, J. M. S. (Ed.). **Controle biológico no Brasil:** parasitóides e predadores. São Paulo: Manole, 2002. p. 225-237.

MORAES, G. J.; McMURTRY, J. A.; DENMARK, H. A.; CAMPOS, C. A. A revised catalog of the mite family Phytoseiidae. **Zootaxa**, v. 434, p.1-494. 2004.

MORAES, G. J.; FLECHTMANN, C. W. H. **Manual de Acarologia:** acarologia básica e ácaros de plantas cultivadas no Brasil. Ribeirão Preto: Holos, 2008. 74p.

NOMIKOU, M.; JANSSEN, A.; SCHRAAG, R.; SABELIS, N. W. Phytoseiid predators as potential biological control agents for *Bemisia tabaci*. **Experimental and Applied Acarology**, v. 25 p. 271-291. 2001.

ONWUEME, I. C. Cassava in Asia and the Pacific. In: HILLOCKS, R. J.; TRESH, J. M.; BELLOTTI, A. C. (ed.). **Cassava:** biology, production and utilization. UK and New York, USA: CABI Publishing Oxon, 2002. p. 55-65.

REIS, P. R., TEODORO, A. V., PEDRO NETO, M. Predatory activity of phytoseiidae mites on the developmental stages of coffee ringspot mite (Acari: Phytoseiidae: Tenuipalpidae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 29, p. 547-553, 2000.

ROGGIA, S. Ácaros tetraníquídeos (Prostigmata: Tetranychidae) associados à soja no Rio Grande do Sul: Ocorrência, identificação de espécies e efeito de cultivares e de plantas daninhas. 2007. 113f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria – RS.

SANTOS, R. M. V. Diversidade de ácaros (Arachnida: Acari) Associados às flores tropicais na região litoral sul da Bahia e avaliação de produtos naturais para o controle *Tetranychus abacae* Baker & Pritchard (Acari: Tetranychidae). 96f. 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Santa Cruz.

SARMENTO, R. A.; RODRIGUES, D. M.; FARAJI, F.; ERASMO, E. A. L.; LEMOS, F.; TEODORO, A.V.; KIKUCHI, W.T.; SANTOS, G. R. dos; PALLINI, A. 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. Perspectivas do uso de ácaros predadores no controle biológico de ácaros-praga na citricultura. **Laranja**, v. 26, p. 291-306, 2005.

SILVA, A. M. Z. Breeding potencial of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in Mozambique. 2008. Tese (Doutorado) – University of the Free State Bloemfontein South Africa.

VEIGA, A. F. S. L. Aspectos bioecológicos e alternativas de controle do ácaro verde da mandioca *Mononychellus tanajoa* (Bondar, 1938) (Acarina: Tetranychidae) no Estado de Pernambuco. 1985. 137 f. Tese (Doutorado) - Esalq/USP, Piracicaba.

YANINEK, J. S.; MORAES, G. J. A synopsis of classical biological control of mites in agriculture. In: DUSBABECK, F.; BUKVA, V. (Ed.), **Modern acarology**. Prague: Academia, 1991. p.133-149.

CAPÍTULO 2

**POPULATION STRUCTURE AND DYNAMICS OF THE
CASSAVA GREEN MITE *Mononychellus tanajoa* (BONDAR)
AND THE PREDATOR *Euseius ho* DeLEON (ACARI:
TETRANYCHIDAE, PHYTOSEIIDAE)**

POPULATION STRUCTURE AND DYNAMICS OF THE CASSAVA GREEN MITE***Mononychellus tanajoa* (BONDAR) AND THE PREDATOR *Euseius ho* DeLEON****(ACARI: TETRANYCHIDAE, PHYTOSEIIDAE)**Évila C. COSTA¹, Adriano S. RÊGO¹, Anilde G.S. MACIEL¹, Renato A. SARMENTO²,Adenir V. TEODORO^{1,3}¹Graduate Programme in Agroecology, Maranhão State University, PO Box 09, São Luís, MA, Brazil²Graduate Programme in Plant Science, Federal University of Tocantins, PO Box 66, Gurupi, TO, Brazil³Embrapa Coastal Tablelands, Av. Beira-Mar 3250, Jardins, PO Box 44, Aracaju, SE, Brazil

ABSTRACT – Cassava is attacked by several pests, among which the cassava green mite *Mononychellus tanajoa*. Predatory mites of the family Phytoseiidae are major natural enemies of pest mites and are naturally found inhabiting cassava plants in the field. We evaluated the temporal variation of the developmental stages of *M. tanajoa* and the most abundant predatory mite in cassava fields in the study region, the phytoseiid *Euseius ho*. Densities of all developmental stages of *M. tanajoa* were low during the rainy season, increasing over the cultivation cycle of cassava and peaking in the dry season. Overall, the larval stage of *M. tanajoa* presented the lowest densities throughout time. Densities of all developmental stages of *E. ho* were low and remained constant throughout the cultivation cycle of cassava. The number of eggs, nymphs and adults of *M. tanajoa* was higher in comparison to the larval stage whereas there were no differences in densities of the stages of *E. ho*. Densities of all developmental stages of *M. tanajoa* were negatively correlated with precipitation. Densities of the stages of egg, nymph and adult of *M. tanajoa* were positively

related while the stage of larva was negatively related to temperature. We conclude that it is important to consider the population structure in studies of population dynamics of arthropods as each developmental stage experiences and responds uniquely to the local environment over time.

KEYWORDS: density; environmental factors; predatory mite; smallholders

INTRODUCTION

Cassava *Manihot esculenta* (Crantz) is attacked by several pests, among which the cassava green mite *Mononychellus tanajoa* (Bondar) (Acari: Tetranychidae) (Moraes and Flechtmann, 2008). *Mononychellus tanajoa* attacks mainly shoots and leaves of cassava reducing both photosynthetic rate and root dry matter (Moraes and Flechtmann, 2008). In the Brazilian Northeast, cassava is usually cultivated in low input agricultural systems by smallholders which normally lack the resources to control pests such as the cassava green mite. Therefore, the natural biological control is an important strategy to regulate pest populations in such small farms.

Predatory mites of the family Phytoseiidae are major natural enemies of pest mites (McMurtry and Croft, 1997; Reis *et al.*, 2000; Onzo *et al.*, 2005; Oliveira *et al.*, 2007; Sarmiento *et al.*, 2011) and are naturally found inhabiting cassava plants. Among the phytoseiids, species of the genus *Euseius* (Wainstein) are related as important natural enemies of pests in several crops (Reis and Alves, 1997; Melo *et al.*, 2009; Sarmiento *et al.*, 2011). Phytoseiids of the genus *Euseius* belong to the group IV of Phytoseiidae (McMurtry and Croft, 1997; Croft *et al.*, 2004), which includes generalist species that also feed on pollen besides preying on pest mites. The predatory mite *Euseius ho* (DeLeon) is the most abundant species associated with *M. tanajoa* in cassava plantations located in the region where this study was conducted (Rêgo, 2010).

Although there are several studies on population dynamics of arthropods, little is known about the variation of densities of different developmental stages of arthropods over time (Teodoro *et al.*, 2009a). Understanding the population structure of mites inhabiting cassava plants is key to assess the response of each developmental stage of such arthropods throughout time as some stages might be more sensible to environmental factors than others.

Environmental abiotic factors such as temperature, relative humidity and rainfall are important mechanisms mediating the population dynamics of arthropods in agroecosystems (Prischmann *et al.*, 2005; Barbar *et al.*, 2006; Teodoro *et al.*, 2008). Therefore, studying the relationship between environmental factors and arthropod populations should help to determine how such mechanisms affect population patterns of arthropods over time in crops.

Here we determined densities of all developmental stages of both the cassava green mite *M. tanajoa* and the predatory mite *E. ho* throughout the cultivation cycle of cassava. We hypothesized that patterns of population dynamics of both *M. tanajoa* and *E. ho* are influenced by the developmental stage of each species.

MATERIAL AND METHODS

Study region

The experiments were carried out in small-scale farms located around the city of Miranda do Norte (3°36'45" S, 44°34'08" W, 44 m above sea level), Maranhão State, Brazil. This region has an average temperature of 27°C and is characterized by marked rainy (January to June) and dry (July to December) seasons. We chose four small farms with a minimum distance of ca. 1 km between them. At each farm, 10 cassava plants located at least 10 m away from habitat boundaries were randomly selected to avoid border effects.

Densities of each developmental stage of both *M. tanajoa* and *E. ho* were monthly surveyed during the cultivation cycle of cassava (11 months) in six leaves per plant (2 leaves from top, 2 leaves from medium, 2 leaves from bottom) to achieve a random sample on the whole-plant scale, totaling 60 leaves per farm per month. The number of eggs, larvae, nymphs and adults of both *M. tanajoa* and *E. ho* was recorded using a binocular microscope (Stemi DV4, Zeiss, Germany). The stages of protochrysalid, deutochrysalid and teliochrysalid of *M.*

tanajoa were counted as nymphs. Rainfall data were obtained from the database of the National Institute for Space Research - INPE (<http://www6.cptec.inpe.br/protoclima/>). The environmental abiotic factors temperature (°C) and relative humidity (%) were monthly recorded over the cultivation cycle of cassava after placing a digital thermohygrometer (910.15 CHP, Alla, Brasil) on the ground for 10 minutes in each farm.

Densities of mites

Since cassava leaves vary in size and number of lobes over time, counts of all developmental stages of either *M. tanajoa* or *E. ho* on leaves were converted into number of mites per cm². Leaf area was estimated using the gravimetric method by randomly selecting 15 cassava leaves per farm per month and drawing their outlines on paper, cutting out and weighting. Pieces of paper of known area (1cm²) were weighted using an analytic scale (BL320H, Shimadzu, Brazil) to estimate the number of grams per cm². The area of the cut outs was calculated by dividing their weight by this value. Subsequently, the number of each developmental stage of either *M. tanajoa* or *E. ho* per leaf in each plant was divided by leaf area to estimate the number of mites per cm².

Statistical analyses

Analyses of Kruskal-Wallis were conducted to evaluate the population dynamics of *M. tanajoa* and *E. ho* within each month and densities of the different developmental stages of both mites. Pearson correlations were carried out between the environmental factors temperature, relative humidity and rainfall and densities of the different developmental stages of both the cassava green mite *M. tanajoa* and the predatory mite *E. ho*. To conduct Pearson correlations, densities of all developmental stages of *M. tanajoa* were Log (x+1) transformed

to achieve assumptions of a normal distribution. All analyses were carried out using the software Statistica 7.0 (StatSoft Inc., 1984 - 2004).

RESULTS

Densities of all developmental stages of *M. tanajoa* were low and remained constant during the rainy season (February to June), increasing over the cultivation cycle of cassava and reaching higher population levels in the dry season (July to December) (Figure 1). The stage of larva of *M. tanajoa* had lower densities in comparison to adults, nymphs and eggs from July onwards (Figure 1; Feb: $P= 0.796$; Mar: $P= 0.635$; Apr: $P= 0.876$; May: $P= 0.531$; Jun: $P= 0.163$; Jul: $P= 0.008$; Aug: $P= 0.004$ Sep: $P= 0.021$; Oct: $P= 0.000$; Nov: $P= 0.000$; Dec: $P= 0.000$). There was a trend of higher densities of eggs followed by the stages of adult and nymph over the cultivation cycle of cassava (Figure 1).

Densities of all developmental stages of *E. ho* were low and remained constant throughout the cultivation cycle of cassava with medians equal to zero. No differences were found in the number of eggs, larvae, nymphs and adults of *E. ho* within each month (Figure 2; Feb: $P= 0.559$; Mar: $P= 0.292$; Apr: $P= 0.107$; May: $P= 0.874$; Jun: $P= 0.195$; Jul: $P= 0.198$; Aug: $P= 0.188$; Sep: $P= 0.569$; Oct: $P= 0.109$; Nov: $P= 0.109$; Dec: $P= 0.569$).

The number of eggs, nymphs and adults of *M. tanajoa* was higher comparing with the number of larvae (Figure 3; $P= 0.000$) whereas there were no differences in densities of the developmental stages of *E. ho* (Figure 4; $P= 0.105$).

Densities of all developmental stages of *M. tanajoa* were negatively related to rainfall (egg: $r_p= -0.618$, $P= 0.043$; larva: $r_p= -0.672$, $P= 0.023$; nymph: $r_p= -0.679$, $P= 0.021$; adult: $r_p= -0.681$, $P= 0.021$). The stages of egg, nymph and adult of *M. tanajoa* were positively related whereas the stage of larva was negatively related to temperature (egg: $r_p= 0.939$, $P= 0.000$; larva: $r_p= -0.964$, $P= 0.000$; nymph: $r_p= 0.953$, $P= 0.000$; adult: $r_p= 0.993$, $P= 0.000$).

Moreover, the developmental stages of *M. tanajoa* were not related to relative humidity (egg: $r_p = -0.124$, $P = 0.716$; larva: $r_p = -0.214$, $P = 0.528$; nymph: $r_p = -0.188$, $P = 0.579$; adult: $r_p = -0.125$, $P = 0.713$). Similarly, densities of all developmental stages of the predatory mite *E. ho* were not related to any environmental factor: rainfall (egg: $r_p = -0.243$, $P = 0.472$; larva: $r_p = 0.227$, $P = 0.503$; nymph: $r_p = -0.011$, $P = 0.975$; adult: $r_p = -0.140$, $P = 0.681$), temperature (egg: $r_p = 0.281$, $P = 0.403$; larva: $r_p = 0.388$, $P = 0.238$; nymph: $r_p = 0.331$, $P = 0.320$; adult: $r_p = 0.221$, $P = 0.515$), relative humidity (egg: $r_p = -0.073$, $P = 0.831$; larva: $r_p = 0.013$, $P = 0.970$; nymph: $r_p = -0.037$, $P = 0.913$; adult: $r_p = 0.009$, $P = 0.979$).

DISCUSSION

The larval stage of the cassava green mite *M. tanajoa* had lower densities in comparison with the remaining stages from the beginning of the dry season onwards. No differences were found between densities of the developmental stages of the predatory mite *E. ho* over the cultivation cycle of cassava. Additionally, the developmental stages of *M. tanajoa* were related to rainfall and temperature (but not to relative humidity) whereas densities of *E. ho* were not related to any environmental factor.

Seasonal changes in diversity and density of arthropods in tropical regions have been related in several studies and have been attributed to temporal variation in local environmental factors such as temperature, rainfall and relative humidity (Klein *et al.*, 2002; Philpott *et al.*, 2006; Teodoro *et al.*, 2008). Spider mites are often positively influenced by temperature and negatively affected by rainfall (Bonato *et al.*, 1995; Gotoh *et al.*, 2004; Teodoro *et al.*, 2008). Indeed, we found a negative correlation between rainfall and the developmental stages of *M. tanajoa* indicating that the population of the cassava green mite decreases with increasing rainfall. Conversely, there was a positive correlation between temperature and densities of the developmental stages of egg, nymph and adult. The stage of larva, however, was negatively

related to temperature. Temperatures over 30°C are common during the dry season in this region and it is well known that spider mites such as *M. tanajoa* build up larger populations during the dry season, which is characterized by high temperatures and low rainfall. During the rainy season, however, spider mites are substantially reduced as a result of rainfall washing off mite colonies on leaves (Onzo *et al.*, 2005; Hanna *et al.*, 2005; Teodoro *et al.*, 2009a,b). Seasonal variations of environmental factors in tropical regions are generally extreme, which may affect the surviving ability of predatory mites (Zundel *et al.*, 2007), however the population densities of the developmental stages of *E. ho* were surprisingly not related to temperature, relative humidity and rainfall.

Overall, densities of eggs, adults and nymphs of *M. tanajoa* were higher than densities of larvae throughout the cultivation cycle of cassava, suggesting that each developmental stage of the cassava green mite experiences and respond uniquely to environmental factors operating at local scale (Teodoro *et al.*, 2009a). The high number of eggs of *M. tanajoa* is probably related to large densities of adults (Figure 1) and high oviposition rate of cassava green mite females during its life cycle [ca. 5.3 ± 0.19 (SD) eggs/female/day] (Rêgo, 2010). The larval stage of *M. tanajoa* had the lowest population density over the cultivation cycle of cassava probably due to its short developmental time (1.0 ± 0.02 (SD) days) (Rêgo, 2010). Additionally, unlike the other developmental stages, larvae of *M. tanajoa* were negatively affected by temperature, indicating a greater sensitivity towards this environmental factor. Densities of the stage of nymph of *M. tanajoa* varied similarly to the stages of adult and egg from July onwards (Figure 1).

Although all developmental stages of *E. ho* occurred at very low population levels throughout the cultivation cycle of cassava (Figure 2), laboratory studies showed that this generalist predatory mite can help to regulate populations of the cassava green mite. *Euseius*

ho feeds and completes its life cycle on *M. tanajoa* (Rêgo, 2010). Additionally, *E. ho* is considered a type VI predatory mite (McMurtry and Croft, 1997; Croft *et al.*, 2004), specialized on pollen from several plant species as food source. Therefore, populations of *E. ho* could be preserved and augmented through conservation biological control programmes by supplying predators with alternative food like pollen (Ramakers, 1990; Van Rijn and Sabelis, 1990). This alternative food may increase predator reproduction and promotes persistence of predators in the absence of prey (Van Rijn and Sabelis, 1990). For example, the addition of pollen greatly promoted the impact of the predatory mite *Iphiseius degenerans* (Berlese) (Acari: Phytoseiidae) on its prey, the western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) (Van Rijn *et al.*, 2002). This effect might also occur in the system studied here, however more studies are needed to elucidate the role of pollen-providing plants on the biological control potential of the predatory mite *E. ho*.

We conclude that it is important to consider the population structure in arthropod population dynamics studies as each developmental stage experiences and responds uniquely to the local environment over time.

ACKNOWLEDGEMENTS

Funding was provided by CAPES (PNPD0132080), CNPq (474994/2009-0) and FAPEMA (APP-00991/09). We thank Ester A. Silva for mite species identification.

REFERENCES

- Barbar Z., Tixier M.S., Cheval B., Kreiter S. 2006 — Effects of agroforestry on phytoseiid mite communities (Acari: Phytoseiidae) in vineyards in the South of France — Exp. Appl. Acarol., 40: 175-188.
- Bonato O., Mapangou-Divassa S., Gutierrez J. 1995 — Influence of relative humidity on life-history parameters of *Mononychellus progresivus* and *Oligonychus gossypii* (Acari: Tetranychidae) — Popul. Ecol., 24: 841-845.
- Croft B.A., Blackwood J.S., McMurtry J.A. 2004 — Classifying life-style types of phytoseiid mites: diagnostic traits — Exp. Appl. Acarol., 33: 247-260.
- Gotoh T., Suwa A., Kitashima Y., Rezek H.A. 2004 — Developmental and reproductive performance of *Tetranychus pueraricola* Ehara and Gotoh (Acari: Tetranychidae) at four constant temperatures — Appl. Entomol. Zool., 39: 675-682.
- Hanna R., Onzo A., Lingeman R., Sabelis M.W., Yaninek J.S. 2005 — Seasonal cycles and persistence of an acarine predator-prey system on cassava in Africa — Pop. Ecol., 47: 107-117.
- Klein A.M., Stefan-Dewenter I., Buchori D., Tschamntke T. 2002 — Effects of land-use intensity in tropical agroforestry systems on coffee flower visiting and trap-nesting bees and wasps — Conserv. Biol., 16: 1003–1014.
- McMurtry J.A., Croft B.A. 1997 — Life styles of Phytoseiidae mites and their roles in biological control — Annu. Rev. Entomol., 42: 291-321.
- Melo J.W.S., Domingos C.A., Gavão A.S., Godim Junior M.G.C., Moraes G.J. 2009 — Biologia do ácaro predador *Euseius alatus* DeLeon (Acari: Phytoseiidae) em diferentes temperaturas — Acta Sci., Agronomy Maringá 31: 391-396.

- Moraes G.J., Flechtmann C.H.W. 2008 — Manual de Acarologia: acarologia básica e ácaros de plantas cultivadas no Brasil — Ribeirão Preto, Brazil: Holos. p. 308.
- Oliveira H., Janssen A., Pallini A., Venzon M., Fadini M., Duarte V. 2007 — A phytoseiid predator from the tropics as potential biological control agent for the spider mite *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) — Biol. Control., 42:105-109.
- Onzo A., Hanna R., Sabelis M.W., Yaninek J.S. 2005 — Temporal and spatial dynamics of an exotic predatory mite and its herbivorous mite prey on cassava in Benin, West Africa — Environ. Entomol., 34: 866-874.
- Philpott S., Perfecto I., Vandermeer J., 2006 — Effects of management intensity and season on arboreal ant diversity and abundance in coffee agroecosystems — Biodivers. Conserv., 15: 139-155.
- Prischman D.A., James D.G., Snyder W.E. 2005 — Impact of management intensity on mites (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae) in Southcentral Washington wine grapes — Int. J. Acarol., 31: 277-288.
- Ramakers P.M.J. 1990 — Manipulation of phytoseiid thrips predators in the absence of thrips — IOBC/WPRS Bull., 13: 169-172.
- Reis P.R., Alves E.B. 1997 — Biologia do ácaro predador *Euseius alatus* DeLeon (Acari: Phytoseiidae) — An. Soc. Entomol. Bras., 26: 359-361.
- Reis P.R., Teodoro A.V., Pedro Neto M. 2000 — Predatory activity of phytoseiidae mites on the developmental stages of coffee ringspot mite (Acari: Phytoseiidae: Tenuipalpidae) — An. Soc. Entomol. Bras., 29: 547-553.
- Rêgo A.S. 2010 — Biologia comparada e mecanismos responsáveis pelas densidades populacionais de *Mononychellus tanajoa* (Bondar) e *Euseius ho* (DeLeon) (Acari:

- Tetranychidae: Phytoseiidae (Master thesis) —Maranhão State University, São Luís, MA, Brazil. p. 120.
- Sarmiento R.A., Rodrigues D.M., Faraji F., Erasmo E.A.L., Lemos F., Teodoro A.V., Kikuchi W., Santos G.R., Pallini A. 2011 — Suitability of the predatory mites *Iphiseiodes zuluagai* and *Euseius concordis* in controlling *Polyphagotarsonemus latus* and *Tetranychus bastosi* on *Jatropha curcas* plants in Brazil — Exp. Appl. Acarol., 53: 203-214.
- StatSoft Inc. 1984-2004 — Statistica for Windows (Software-system for data-analyses) — Version 7.0. Tulsa, USA.
- Teodoro A.V., Klein A.M., Tschardtke T. 2008 — Environmentally mediated coffee pest densities in relation to agroforestry management, using hierarchical partitioning analyses — Agric. Ecosyst. Environ., 125: 120-126.
- Teodoro A., Klein A.M., Reis P.R. Tschardtke T. 2009a — Agroforestry management affects coffee pests contingent on season and developmental stage — Agric. For. Entomol., 11: 295-300.
- Teodoro A.V., Klein A.M., Tschardtke T. 2009b — Temporally mediated responses of the diversity of coffee mites to agroforestry management — J. Appl. Entomol., 133: 659-665.
- Van Rijn P.C.J., van Houten Y.M., Sabelis M.W. 2002 — How plants benefit from providing food to predators even when it is also edible to herbivores — Ecology, 83: 2664-2679.
- Van Rijn P.C.J., Sabelis, M.W. 1990 — Pollen availability and its effect on the maintenance of populations of *Amblyseius cucumeris*, a predator of thrips — Med. Fac. Landbouw. Rijksuniv. Gent, 55: 335–341.

Zundel C., Hanna R., Scheidegger U., Nagel P (2007) — Living at the threshold: Where does the neotropical phytoseiid mite *Typhlodromalus aripo* survive the dry season? — Exp. Appl. Acarol., 41:11-26.

FIGURE CAPTIONS

FIGURE 1: Seasonal changes in densities of the developmental stages of adult, nymph, larva and egg of the cassava green mite *M. tanajoa* over the cultivation cycle of cassava. Medians are shown. Different letters within each month represent significant differences between developmental stages based on Kruskal-Wallis analyses ($P < 0.05$).

FIGURE 2: Seasonal changes in densities of the developmental stages of adult, nymph, larva and egg of the predatory mite *E. ho* throughout the cultivation cycle of cassava. Medians are given. (Kruskal-Wallis, $P > 0.05$ for all months).

FIGURE 3: Densities of the developmental stages of adult, nymph, larva and egg of the cassava green mite *M. tanajoa*. Medians, 25 and 75 percentiles are shown. Different letters denote significant differences between developmental stages based on Kruskal-Wallis analyses ($P = 0.000$).

FIGURE 4: Densities of the developmental stages of adult, nymph, larva and egg of the predatory mite *E. ho*. Medians, 25 and 75 percentiles are shown (Kruskal-Wallis, $P = 0.105$).

Fig. 1

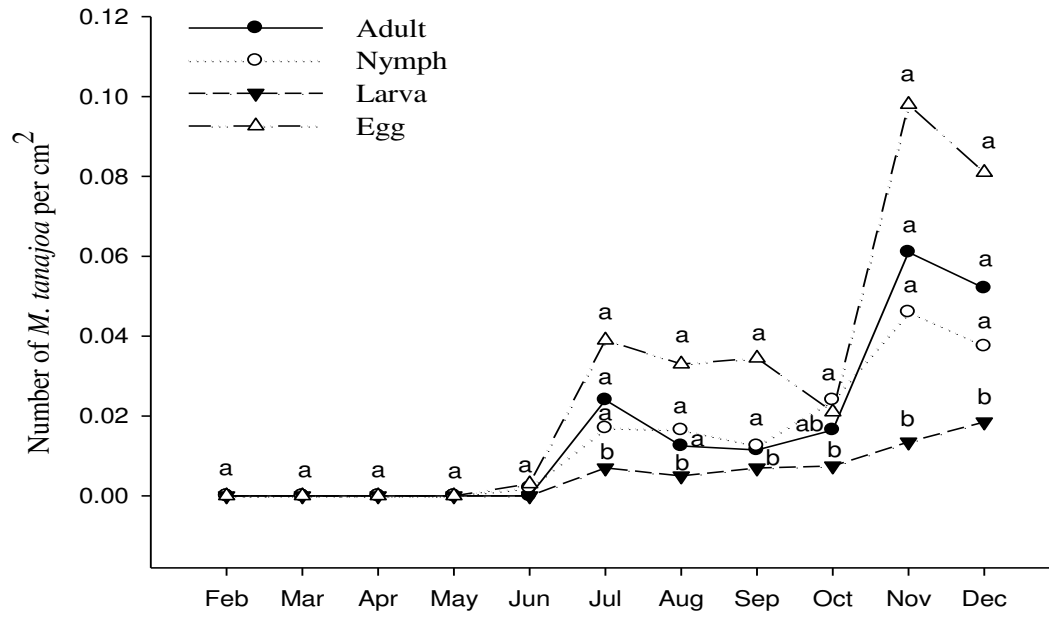


Fig. 2

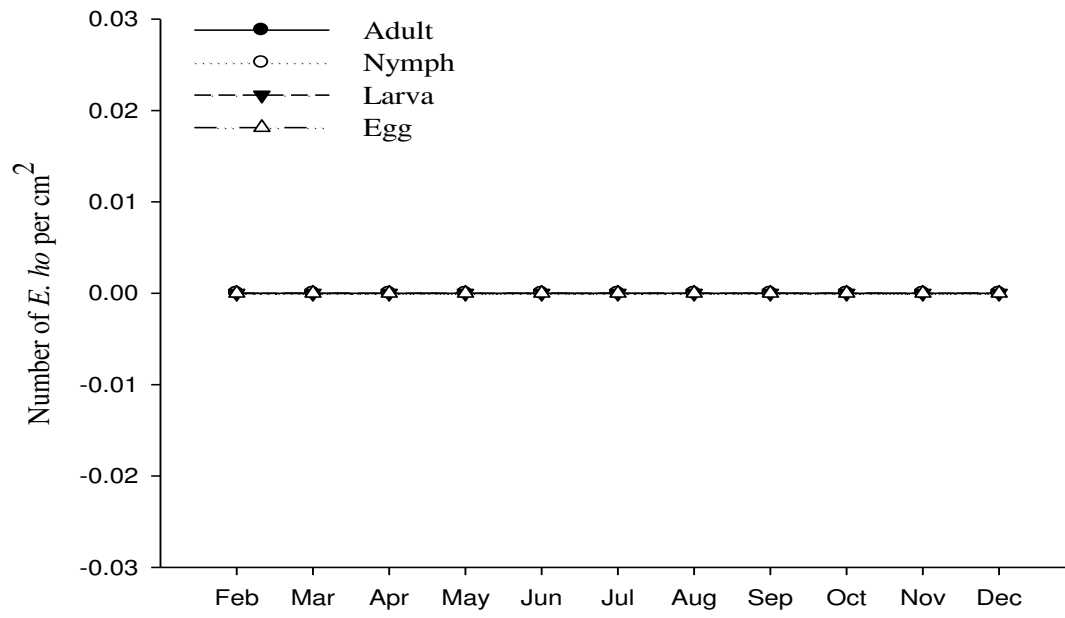


Fig. 3

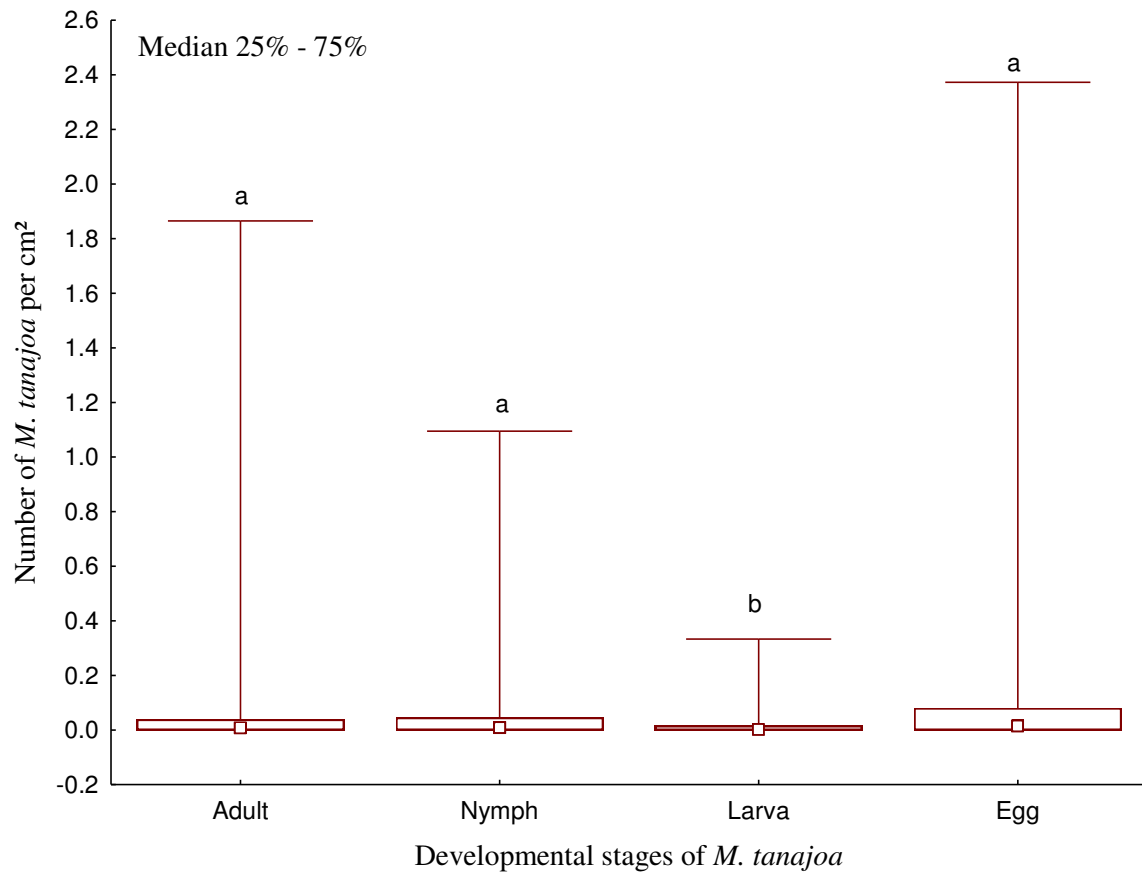
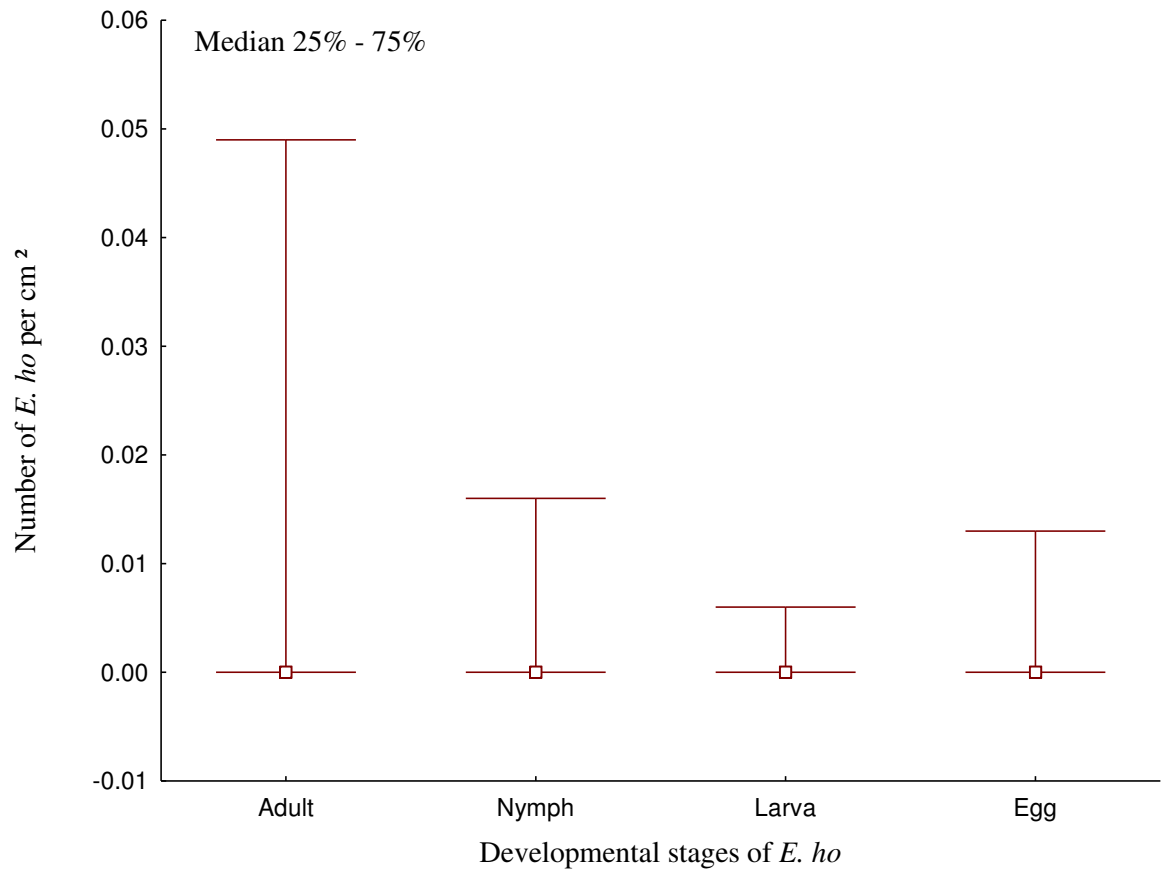


Fig. 4

CAPÍTULO 3

**INFLUÊNCIA DO ESTÁDIO DE DESENVOLVIMENTO NO
POTENCIAL DE CONTROLE DE *Mononychellus tanajoa*
(BONDAR) POR *Euseius concordis* CHANT (ACARI:
TETRANYCHIDAE, PHYTOSEIIDAE)**

Influência do estágio de desenvolvimento no potencial de controle de *Mononychellus tanajoa* (Bondar) por *Euseius concordis* Chant (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae)

Évila de Castro Costa¹, Anilde G. S. Maciel¹, Adriano S. Rêgo¹, Ester A. Silva², Adenir V. Teodoro^{1,3}

¹Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Caixa Postal 3004, São Luís, MA, Brasil

²Departamento de Fitotecnia e Fitossanidade, Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Caixa Postal 09, São Luís, MA, Brasil

³Embrapa Tabuleiros Costeiros, Av. Beira-Mar 3250, Jardins, Caixa Postal 44, Aracaju, SE, Brasil

Resumo - Dentre os artrópodes que atacam a mandioca (*Manihot esculenta*), o ácaro-verde *Mononychellus tanajoa* (Acari: Tetranychidae) pode causar perdas na produção e qualidade de raízes. Estudos biológicos e ecológicos comprovam que os ácaros da família Phytoseiidae são os mais eficientes agentes de controle biológico de ácaros-praga. No presente estudo, avaliou-se o potencial de predação dos estádios de ninfa e fêmea do ácaro predador *Euseius concordis* (Acari: Phytoseiidae) sobre as fases de ovo, imaturo (larva, protoninfa, deutoninfa) e fêmea do ácaro-verde da mandioca. Adicionalmente, estudou-se a oviposição e o crescimento populacional de *E. concordis* alimentado com diferentes estádios do ácaro-verde da mandioca. Houve um aumento do número de *M. tanajoa* predado por fêmea de *E. concordis* independentemente da fase de desenvolvimento da presa. O número de *M. tanajoa* predado por ninfa de *E. concordis* aumentou em função do número de ovos e imaturos de ácaro-verde oferecidos ao predador. Houve um aumento do número de ovos postos por fêmeas de *E. concordis* quando alimentadas com densidades crescentes dos estádios de ovo e imaturo de *M. tanajoa*. A predação do estágio de fêmea de *E. concordis* atingiu o ponto de saturação na densidade 20 para ovos, 15 para imaturos e 5 para fêmeas de *M. tanajoa*. O ponto de saturação de predação para o estágio de ninfa de *E. concordis* foi atingido a partir das densidades de 20 para ovo, 15 para imaturo e 3 para adulto de *M. tanajoa*. A saturação do número de ovos postos por *E. concordis* foi atingido na densidade 20 tanto para o estágio de ovo quanto imaturo e na densidade 3 para o estágio de fêmea de *M. tanajoa*. A taxa de crescimento do ácaro predador foi maior sobre os estádios de ovo e imaturo de *M. tanajoa* em comparação com fêmea. Em conclusão, o potencial de controle biológico de *E. concordis* depende de sua fase ativa de desenvolvimento bem como da fase do desenvolvimento do ácaro-verde da mandioca.

Palavras-chave: Controle biológico, ácaro predador, predação, oviposição, taxa de crescimento populacional

Abstract - Among the arthropodes that attack cassava (*Manihot esculenta*), the green mite *Mononychellus tanajoa* (Acari: Tetranychidae) may cause yield and quality losses in cassava roots. Biological and ecological studies show that mite species belonging to the family Phytoseiidae are the most effective biological control agents of pest mites. In this study, we evaluated the predatory activity of the stages of nymph and female of the predator *Euseius concordis* (Acari: Phytoseiidae) on the phases of egg, immature (larva, protonymph, deutonymph) and female of the cassava green mite. Additionally, we studied the oviposition and population growth of *E. concordis* on the cassava green mite. There was an increase in the number of *M. tanajoa* preyed upon by the stage of female of *E. concordis* whatever developmental stage of the prey. The number of *M. tanajoa* preyed upon by nymphs of *E. concordis* increased with the number of eggs and immatures of cassava green mite offered to the predator. The number of eggs laid by females of *E. concordis* increasing with increasing densities of eggs and immatures of its the prey *M. tanajoa*. Predation of the female stage of *E. concordis* reached the saturation point at the density of 20 for eggs, 15 for immatures and 5 for females of *M. tanajoa*. Predation for nymphs of *E. concordis* reached the saturation point at 20 for eggs, 15 for immatures and 3 for adults of *M. tanajoa*. The oviposition saturation point of *E. concordis* was achieved at the densities of 20 for both the egg and immature stages and 3 the female stage of *M. tanajoa*. The growth rate of the predatory mite was higher on eggs and immatures of *M. tanajoa* in comparison with females. In conclusion, the potential for biological control of *E. concordis* depends on its active phase of development as well as the stage of development of the cassava green mite.

Key-words: Biological control, predatory mites, predation, oviposition, population growth rate

Introdução

O ácaro-verde *Mononychellus tanajoa* (Bondar) (Acari: Tetranychidae) é uma das principais pragas da cultura da mandioca no Nordeste do Brasil (Moraes and Flechtmann, 2008) e atinge altas infestações em condições de temperaturas elevadas e baixa umidade relativa (Farias, 1991). As colônias do ácaro-verde são formadas pelos estádios de ovo, larva, ninfas e adulto vivendo, principalmente, na face abaxial das folhas. O ácaro-verde ataca as brotações, gemas e folhas novas das plantas de mandioca reduzindo a taxa fotossintética e a matéria seca das raízes (Moraes and Flechtmann, 2008).

Várias medidas de controle são adotadas para ácaros-praga, dentre as quais o controle químico. O uso contínuo de pesticidas químicos pode favorecer surtos populacionais de pragas, o aparecimento de populações resistentes, impacto ao meio ambiente, à saúde de pessoas e não leva em consideração o efeito negativo sobre inimigos naturais (Reis et al 1998; Teodoro et al 2009) portanto, há uma demanda crescente por métodos de controle alternativos como o controle biológico natural. O controle biológico conduzido por ácaros predadores que ocorrem naturalmente no campo é fundamental na regulação de ácaros fitófagos.

Ácaros predadores se alimentam de todas as fases de desenvolvimento de ácaros fitófagos. Em agroecossistemas, onde colônias de ácaros-pragas e de ácaros predadores fitoseídeos coexistem, a atividade predatória do fitoseídeo é afetada tanto pela sua fase ativa de desenvolvimento bem como pelo estágio de desenvolvimento de sua presa (Reis et al 2000).

Dentre os ácaros fitoseídeos, destacam-se as espécies do gênero *Euseius*, o qual compreende aproximadamente 150 espécies (Moraes et al 2004). *Euseius concordis* pertence ao Grupo IV dos Phytoseiidae (McMurtry and Croft, 1997; Croft et al 2004), o qual inclui

espécies de ácaros predadores considerados generalistas que se alimentam de pólen, néctar, ácaros e insetos. No entanto, ácaros predadores generalistas como *E. concordis* podem contribuir também para o controle biológico de ácaros fitófagos. Contudo, não existem estudos sobre o potencial de controle biológico de estádios ativos de ácaros predadores generalistas sobre diferentes fases de desenvolvimento do ácaro-verde da mandioca.

Parâmetros como o número de presas mortas e ovos postos por ácaros predadores em função do aumento da densidade de presas e a taxa de crescimento devem ser considerados para a determinação da importância e eficiência de ácaros predadores no controle biológico de ácaros fitófagos. Neste estudo, foi avaliada a eficiência dos estádios ativos (ninfas e fêmeas) do ácaro predador *Euseius concordis* (Chant) (Acari: Phytoseiidae) encontrado em cultivos de mandioca sobre as fases de ovo, imaturo (larva, protoninfa, deutoninfa) e fêmea do ácaro-verde da mandioca através de bioensaios de predação, oviposição e crescimento populacional.

Foram testadas as seguintes hipóteses:

H1: A atividade predatória do fitoseídeo *E. concordis* sobre *M. tanajoa* é afetada pelo estágio de desenvolvimento tanto do predador quanto da presa.

H2: A oviposição e taxa de crescimento populacional do ácaro predador *E. concordis* são influenciadas pelo estágio de desenvolvimento do ácaro-verde.

Material e Métodos

Criação de manutenção de E. concordis e M. tanajoa

A criação do ácaro predador *E. concordis* e do ácaro-verde *M. tanajoa* foi iniciada com ácaros coletados em plantações de mandioca localizadas no Campus da Universidade Estadual do

Maranhão, São Luís - MA. O ácaro-verde foi criado em plantas de mandioca cultivadas em vasos (5 kg) em casa de vegetação enquanto *E. concordis* foi criado em laboratório alimentado com colônias do ácaro-verde, mel e pólen de mamona (*Ricinus communis* L.).

A metodologia de criação do ácaro predador *E. concordis* foi semelhante à utilizada por Reis et al (1998), na qual os ácaros foram criados em arenas feitas de material plástico flexível (5 cm de diâmetro). As arenas foram colocadas para flutuar sobre água destilada em placas de Petri sem tampa (10 cm de diâmetro por 1,5 cm de profundidade). Cada arena continha um orifício central para a passagem de um alfinete entomológico. Os alfinetes foram fixados com a cabeça voltada para o fundo da placa com auxílio de cola a base de silicone (Brascoved, Brascola Ltda, Joinville, Brasil). Em cada arena foi colocado um pedaço de lamínula de microscopia sobre fios de algodão para abrigo e local de postura do ácaro predador.

Atividade predatória de E. concordis sobre M. tanajoa

A atividade predatória foi medida pelo número de presas mortas pelos estádios de ninfa e fêmea de *E. concordis* sobre densidades crescentes das fases de ovo, imaturo (larva, protoninfa, deutoninfa) e fêmea do ácaro-verde da mandioca.

Ninfas e fêmeas do ácaro predador *E. concordis* foram confinadas separadamente em arenas confeccionadas com folhas de mandioca de 5 cm de diâmetro (colocadas para flutuar sobre água destilada em placas de Petri sem tampa) contendo as densidades de 3, 5, 10, 15, 20, 30 e 40 ovos, imaturos ou fêmeas do ácaro-verde da mandioca. Para cada estágio de *E. concordis* (ninfa, fêmea), foram realizadas 36 repetições (arenas) para as densidades de 3, 5, e 10; e 24 repetições para as densidades de 15, 20, 30 e 40 de *M. tanajoa*.

O número de ovos, imaturos e fêmeas de *M. tanajoa* predados em cada disco foliar em função da densidade foi avaliado diariamente durante três dias para o estágio de ninfa e quatro dias para a fase de fêmea de *E. concordis*. Após cada avaliação, os ácaros predadores foram transferidos para novas arenas previamente preparadas com densidades iniciais de *M. tanajoa*.

O ponto de saturação para a predação foi obtido por meio do número de ovos, imaturos e fêmeas de *M. tanajoa* predado por fêmeas e ninfas do ácaro predador *E. concordis* em função da densidade de presas.

Oviposição de E. concordis alimentado com M. tanajoa

A fecundidade do ácaro predador foi estimada por meio da avaliação do número de ovos postos por fêmeas de *E. concordis* alimentados com diferentes densidades das fases de ovo, imaturo (larva, protoninfa, deutoninfa) e fêmea de *M. tanajoa*.

Fêmeas do ácaro predador *E. concordis* foram confinadas individualmente em arenas confeccionadas com folhas de mandioca de 5 cm de diâmetro (colocadas para flutuar sobre água destilada em placas de Petri sem tampa) contendo as densidades de 3, 5, 10, 15, 20, 30 e 40 ovos, imaturos ou fêmeas do ácaro-verde da mandioca. Foram realizadas 36 repetições (arenas) para as densidades de 3, 5, e 10; e 24 repetições para as densidades de 15, 20, 30 e 40 de *M. tanajoa*. Foi adicionado um macho de *E. concordis* a cada arena para fertilização contínua da fêmea.

O número de ovos postos por *E. concordis* quando alimentado com diferentes densidades dos estádios de ovo, imaturo e fêmea de *M. tanajoa* foi avaliado diariamente durante quatro dias. Após cada avaliação, os ácaros predadores foram transferidos para novas arenas previamente preparadas com densidades iniciais de *M. tanajoa*.

O ponto de saturação para a oviposição foi obtido por meio do número de ovos postos por fêmeas do predador *E. concordis* em função das densidades de ovos, imaturos e fêmeas de *M. tanajoa* oferecidas.

Taxa de crescimento de E. concordis alimentado com M. tanajoa

A taxa instantânea de crescimento (r_i) foi utilizada para estimar o crescimento populacional do ácaro predador *E. concordis* alimentado com os estádios de ovo, imaturo (larva, protoninfa, deutoninfa) e fêmea de *M. tanajoa*. O r_i foi calculado utilizando a seguinte fórmula: $r_i = \ln(N_f / N_0) / \Delta t$; onde, N_f é o número final de indivíduos, N_0 é o número inicial de indivíduos, Δt é a duração do experimento (Stark et al 1997; Teodoro et al 2005). Um valor de $r_i > 0$ significa que a população está em crescimento, $r_i = 0$ indica que a população está estável, e $r_i < 0$ quer dizer que a população está em declínio (Walthall and Stark, 1997).

A taxa instantânea de crescimento foi calculada a partir de dados de oviposição e sobrevivência de fêmeas de *E. concordis*. Quatro fêmeas e um macho de *E. concordis* foram colocados por seis dias em arenas de folha de mandioca de 5 cm diâmetro (colocadas para flutuar sobre água destilada em placas de Petri sem tampa) contendo os estádios de ovo, imaturo ou fêmea de *M. tanajoa* em abundância. Foram realizadas 20 repetições (arenas) para os estádios de ovo, imaturo e fêmea de *M. tanajoa*.

Análise estatística

Análises de variância seguidas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade foram usadas para a avaliação da atividade predatória, oviposição, pontos de saturação e taxa de crescimento de *E. concordis* sobre os estádios de ovo, imaturo e fêmea de *M. tanajoa*. Os números de *M.*

tanajoa predados por ninfa e fêmea de *E. concordis* e o número de ovos postos por *E. concordis* foram transformados por meio de $\text{Log}(x)$, \sqrt{x} e $\text{Log}(x+1)$, respectivamente, visando a obtenção de distribuição normal. As análises foram conduzidas com o programa Statistica 7.0 (StatSoft Inc.1984 – 2004).

Resultados

Atividade predatória de E. concordis sobre M. tanajoa

Houve um aumento do número de *M. tanajoa* predado pelo estágio de fêmea de *E. concordis* independentemente da fase de desenvolvimento da presa (ovo, imaturo e fêmea) (Figura 1a). O estágio de fêmea adulta de *M. tanajoa* foi menos predado em comparação com ovos e imaturos a partir da densidade 5 (Figura 1a; 3: $F_{2,105} = 5,070$, $P = 0,008$; 5: $F_{2,103} = 30,474$, $P = 0,000$; 10: $F_{2,104} = 191,404$, $P = 0,000$; 15: $F_{2,69} = 247,403$, $P = 0,000$; 20: $F_{2,69} = 446,627$, $P = 0,000$; 30: $F_{2,69} = 335,242$, $P = 0,000$; 40: $F_{2,69} = 172,130$, $P = 0,000$). Comparando-se apenas os estádios de ovo e imaturo de *M. tanajoa*, houve uma maior predação de ovos por fêmeas de *E. concordis* a partir da densidade 20. O número de *M. tanajoa* predado pelo estágio de ninfa de *E. concordis* aumentou em função do número de ovos e imaturos de ácaro-verde oferecidos ao predador (Figura 1b; 3: $F_{2,78} = 5,215$, $P = 0,007$; 5: $F_{2,78} = 33,874$, $P = 0,000$; 10: $F_{2,78} = 199,820$, $P = 0,000$; 15: $F_{2,51} = 174,340$, $P = 0,000$; 20: $F_{2,51} = 310,690$, $P = 0,000$; 30: $F_{2,51} = 229,200$, $P = 0,000$; 40: $F_{2,51} = 214,290$, $P = 0,000$). O estágio de fêmea de *M. tanajoa* foi o menos predado por ninfas de *E. concordis* em comparação com os estádios de ovo e imaturo do ácaro-verde a partir da densidade 5 (Figura 1b). Houve uma maior predação de ovos de *M. tanajoa* por ninfas de *E. concordis* a partir da densidade de 15 quando se compara apenas os estádios de ovo e imaturo.

Tanto as fêmeas como as ninfas de *E. concordis* predaram mais ovos seguidos de imaturos de *M. tanajoa* em comparação ao estágio de fêmea. Fêmeas do ácaro predador *E. concordis* foram mais eficientes que ninfas apenas para o estágio de fêmeas de *M. tanajoa* (Figura 2; Ovo: $F_{1,355} = 0,198$, $P = 0,656$; Imaturo: $F_{1,355} = 3,069$, $P = 0,081$; Fêmea: $F_{1,355} = 18,015$, $P = 0,000$).

Oviposição de E. concordis alimentado com M. tanajoa

Houve um aumento do número de ovos postos por fêmeas de *E. concordis* quando alimentadas com densidades crescentes dos estádios de ovo e imaturo de *M. tanajoa*. A taxa de oviposição de *E. concordis* foi maior quando alimentado pelos estádios de ovo e imaturo de *M. tanajoa* em comparação com o estágio de fêmea com excessão da densidade 3 (Figura 3; 3: $F_{2,105} = 0,092$, $P = 0,912$; 5: $F_{2,105} = 13,909$, $P = 0,000$; 10: $F_{2,105} = 13,711$, $P = 0,000$; 15: $F_{2,69} = 15,296$, $P = 0,000$; 20: $F_{2,69} = 87,783$, $P = 0,000$; 30: $F_{2,69} = 36,405$, $P = 0,000$; 40: $F_{2,69} = 44,339$, $P = 0,000$). Comparando-se apenas os estádios de ovo e imaturo de *M. tanajoa*, houve maior oviposição de *E. concordis* quando alimentado com ovos da presa somente a partir da densidade 20.

Pontos de saturação para predação e oviposição de E. concordis

A fêmea de *E. concordis* atingiu o ponto de saturação de predação a partir da densidade 20 para o estágio de ovo (Figura 4a; $F_{6,197} = 702,400$, $P = 0,000$), da densidade 15 para o estágio imaturo (Figura 4b; $F_{6,197} = 491,500$, $P = 0,000$), e da densidade 5 para o estágio de fêmea (Figura 4c; $F_{6,194} = 18,949$, $P = 0,000$) de *M. tanajoa*. Para ninfa de *E. concordis*, o ponto de

saturação de predação foi atingido a partir da densidade 20 para ovo (Figura 5a; $F_{6,146}=845,160$, $P=0,000$), da densidade 15 para imaturo (Figura 5b; $F_{6,146}=135,280$, $P=0,000$), e da densidade 3 para adulto (Figura 5c; $F_{6,146}=1,397$, $P=0,219$) de *M. tanajoa*. A saturação do número de ovos postos por *E. concordis* foi atingido na densidade 20 tanto para o estágio de ovo (Figura 6a; $F_{6,197}=32,997$, $P=0,000$) quanto de imaturo (Figura 6b; $F_{6,197}=20,665$, $P=0,000$) e na densidade 3 para o estágio de fêmea (Figura 6c; $F_{6,197}=2,637$, $P=0,175$) de *M. tanajoa*.

Taxa de crescimento populacional

A taxa instantânea de crescimento (r_i) do ácaro predador *E. concordis* foi maior quando alimentado com os estádios de ovo e imaturo em comparação com o estágio de fêmea de *M. tanajoa* (Figura 7; $F_{2,57}=17,324$, $P=0,000$). O r_i do ácaro predador *E. concordis* foi positivo para todas as fases de desenvolvimento de *M. tanajoa*, indicando que houve crescimento da população do ácaro predador *E. concordis* quando alimentado com esta presa.

Discussão

Os estádios de ovo e imaturo de *M. tanajoa* foram os mais predados por fêmeas e ninfas de *E. concordis*. Houve uma tendência de maior consumo de ovos do ácaro-verde tanto por fêmeas como ninfas do ácaro predador *E. concordis*. Adicionalmente, as taxas de oviposição e crescimento populacional de *E. concordis* foram maiores quando o predador foi alimentado com ovos e imaturos do ácaro-verde em comparação fêmeas.

O ácaro predador *E. concordis* vem sendo estudado para o controle biológico de ácaros fitófagos (Melo et al 2009; Sarmiento et al 2011). No presente estudo, *E. concordis* demonstrou ser uma espécie adequada como agente de controle biológico de *M. tanajoa* devido a sua capacidade predatória, e pelo fato desta espécie poder se alimentar e reproduzir sobre o ácaro-verde. Ademais, foi observado que tanto fêmeas como ninfas de *E. concordis* predam mais ovos do ácaro-verde em comparação com imaturos e fêmeas (Figuras 1a e 1b). A maior taxa de predação sobre o estágio de ovo de *M. tanajoa* pode ter sido devido à imobilidade dos ovos (Franco et al 2007) bem como o menor tamanho em comparação com os estádios de imaturo e fêmea. Uma maior atividade predatória de fêmeas de ácaros predadores sobre ovos de ácaros fitófagos também foi observada para o fitoseídeo *Phytoseiulus macropilis* sobre o ácaro rajado *Tetranychus urticae* (Oliveira et al 2007). Outro fator que poderia explicar o maior consumo de ovos de *M. tanajoa* por *E. concordis* pode estar relacionado à diferença na biomassa dos diferentes estádios de desenvolvimento do ácaro fitófago, ou seja, um maior número de ovos do ácaro-verde precisaria ser consumido devido à menor biomassa para saciar o ácaro predador em comparação com estádios de imaturo e fêmea. De fato, fêmeas de *E. concordis* atingiram o ponto de saturação de predação de *M. tanajoa* na densidade de 30 ovos (Figura 4a) enquanto para imaturos e fêmeas de *M. tanajoa* os pontos de saturação foram atingidos na densidade de 15 e 5, respectivamente (Figuras 4b e 4c).

A capacidade de *E. concordis* de controlar *M. tanajoa* é evidenciada pela maior atividade predatória nas densidades mais elevadas de ovos e imaturos do ácaro-verde. Em altas densidades, o predador tem maior facilidade de encontrar sua presa e passa menos tempo para consumi-la. O "estímulo-interferência", componente já relatado por vários autores (Mori and Chant, 1966; Sandness and McMurtry, 1970), pode ser responsável pela maior porcentagem de predação observado nas altas densidades de ácaro-verde avaliadas no

presente estudo, ou seja, os predadores que tiveram contato com suas presas foram estimulados a atacar os demais fitófagos (Reis et al 2003).

Ninfas e fêmeas de *E. concordis* apresentaram menor taxa de predação quando alimentadas com fêmeas de *M. tanajoa* (Figuras 1a e 1b). Da mesma forma, fêmeas do fitoseídeo *Euseius hibisci* consumiram menos fêmeas de *T. urticae* em comparação com ovos, larvas e protoninfas do tetraniquídeo (Badii et al 2004). O reduzido consumo no número de fêmeas de *M. tanajoa* por *E. concordis* pode estar relacionado aos maiores tamanho e mobilidade de fêmeas de *M. tanajoa* em comparação com os demais estádios da presa. Adultos do ácaro-vermelho do café *Oligonychus ilicis* foram pouco consumidos, possivelmente por serem maiores em relação às demais fases (ovos e imaturos) e/ou pela dificuldade de serem dominados pelas espécies de fitoseídeos estudadas (*Iphiseiodes zuluagai*, *Euseius citrifolius* e *Amblyseius herbicolus*) (Franco et al 2007). Similarmente, estudo da atividade predatória de *E. concordis* revelou que o maior tamanho do ácaro fitófago *Tetranychus bastosi* quando comparado com *Polyphagotarsonemus latus*, pode ter influenciado a menor predação de *T. bastosi* pelo fitoseídeo (Sarmiento et al 2011), pois quanto maior o tamanho da presa, menos indivíduos precisam ser consumidos pelo predador.

O número de ovos postos por *E. concordis* aumentou com o aumento da densidade de ovos e imaturos de *M. tanajoa* (Figura 3). A maior taxa de oviposição do ácaro predador *E. concordis* observada nas maiores densidades do ácaro-verde sugere que quando expostos a essas condições, o fitoseídeo adquire mais energia que poderá ser utilizada na reprodução. O fato da maior taxa de oviposição ser apresentada quando o predador consumiu ovos de *M. tanajoa*, pode ser explicado, devido à fase de ovo ser a mais nutritiva e, portanto favorece o desenvolvimento e reprodução de *E. concordis*. Trabalhos anteriores sobre o valor nutricional relativo de ovos e ninfas de *T. urticae* demonstram que a fase de ovo possui maior qualidade

nutritiva a algumas espécies de fitoseídeos (Croft and McMurtry, 1972; McMurtry and Rodriguez, 1987).

Os estádios de ovo, imaturo e fêmea do ácaro-verde *M. tanajoa* contribuíram para o crescimento populacional do ácaro predador *E. concordis* (Figura 7), indicando que o ácaro-verde é uma presa apropriada para o desenvolvimento de *E. concordis*. De fato, a taxa instantânea de crescimento (r_i) calculada foi maior que zero em todos os tratamentos estudados. Parâmetros demográficos como a taxa instantânea de crescimento populacional (r_i) permitem avaliar os efeitos de diferentes estádios de desenvolvimento de ácaros fitófagos sobre populações de ácaros predadores. A abundância bem como os diferentes estádios de desenvolvimento de presas atacadas e consumidas determinam o desenvolvimento, sobrevivência e reprodução de predadores (Oaten and Murdoch, 1975), haja vista que ovos, larvas, ninfas e adultos de pragas variam em sua qualidade nutricional (Cuellar et al 2001). O maior crescimento populacional de *E. concordis* quando alimentado pelos estádios de ovo e imaturo de *M. tanajoa* pode estar relacionado à melhor qualidade nutritiva desses estádios de desenvolvimento e devido sua menor capacidade de escape em relação a fêmea de *M. tanajoa*.

Em conclusão, o potencial de controle biológico de *E. concordis* depende de sua fase ativa de desenvolvimento (ninfa, fêmea) bem como da fase do desenvolvimento (ovo, imaturo, fêmea) do ácaro-verde da mandioca *M. tanajoa*. Adicionalmente, embora o ácaro predador *E. concordis* seja considerado generalista, pode contribuir para o controle biológico natural de *M. tanajoa*.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo. Esta pesquisa foi apoiada pelos projetos: PNPd/CAPES (PNPD0132080), CNPq (474994/2009-0) e FAPEMA (APP-00991/09).

Referências

- Badii MH, Hernández-Ortiz E, Flores AE, Landeros J (2004) Prey stage preference and functional response of *Euseius hibisci* to *Tetranychus urticae* (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae). *Exp Appl Acarol* 34: 263–273
- Croft BA, McMurtry JA (1972) Comparative studies on four strains of *Typhlodromus occidentalis* Nesbitt (Acari: Phytoseiidae). IV. Life history studies. *Acarologia* 13: 460–470
- Croft BA, Blackwood JS, McMurtry JA (2004) Classifying life-style types of phytoseiid mites: diagnostic traits. *Exp Appl Acarol* 33: 247–260
- Cuellar ME, Calatayud PA, Melo EL, Smith L, Bellotti AC (2001) Consumption and oviposition rates of six phytoseiid species feeding on eggs of the cassava green mite *Mononychellus tanajoa* (ACARI: TETRANYCHIDAE). *Florida Entomol* 84:602-607
- Farias ARN (1991) Insetos e ácaros associados à cultura da mandioca no Brasil e meios de controle. Cruz das Almas, EMBRAPA-CNPMPF, 47p., (Circular Técnica- EMBRAPA-CNPMPF, 14)
- Franco RA, Reis PR, Zacarias MS, Altoé BF (2007) Pontencial de predação de três espécies de fitoseídeos sobre *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Acari: Tetranychidae). *Coffee Sci* 2: 175-182
- McMurtry JA, Rodriguez JG (1987) Nutritional ecology of phytoseiidae mites. In: Slansky, F., Rodriguez, J.G. (Eds.), *Nutritional Ecology of Insects, Mites, Spiders, and Related Invertebrates*. Wiley, NY, pp 609–644

- McMurtry JA, Croft BA (1997) Life styles of Phytoseiidae mites and their roles in biological control. *Annu Rev Entomol* 42: 291-321
- Melo JWS, Domingos CA, Gondim Junior MGC, Moraes GJ (2009) Pode *Euseius alatus* DeLeon (Acari: Phytoseiidae) preda *Aceria guerreronis* Keifer (Acari: Eriophyidae) em coqueiro? *Neotrop Entomol* 38: 139-143
- Moraes GJ, Flechtmann CHW (2008) Manual de Acarologia: acarologia básica e ácaros de plantas cultivadas no Brasil. Holos, Ribeirão Preto, Brazil, p74
- Moraes GJ, McMurtry JA, Denmark HA, Campos CB (2004) A revised catalog of the mite family Phytoseiidae. *Zootaxa* 434: 1-494
- Mori H, Chant DA (1966) The influence of prey density, relative humidity and starvation on the predacious behavior of *Phytoseiulus permisilis* Athias-Henriot (Acarina: Phytoseiidae). *Can J Zool* 44: 483-491
- Oaten A, Murdoch WW (1975) Functional response and stability in predator-prey systems. *Am Nat* 109: 289-298
- Oliveira H, Janssen A, Pallini A, Venzon M, Fadini M, Duarte V (2007) A phytoseiidae predator from the tropics as potential biological control agent for the spider mite *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Biol Control* 42:105–109
- Reis PR, Chiavegato LG, Alves EB (1998) Biologia de *Iphiseiodes zuluagai* Denmark & Muma (Acari: Phytoseiidae). *An Soc Entomol Bras* 27: 185-191

- Reis PR, Teodoro AV, Pedro Neto M (2000) Predatory activity of phytoseiidae mites on the developmental stages of coffee ringspot mite (Acari: Phytoseiidae: Tenuipalpidae). *An Soc Entomol Bras* 29: 547-553
- Reis PR, Sousa EO, Teodoro AV, Neto MP (2003) Effect of prey density on the functional and numerical responses of two species of predaceous mites (Acari: Phytoseiidae). *Neotrop Entomol* 32: 461-467
- Sandness JN, McMurtry JA (1970) Functional response of three species of Phytoseiidae (Acarina) to prey density. *Can Entomol* 102: 692-704
- Sarmento RA, Rodrigues DM, Faraji F, Erasmo EAL, Lemos F, Teodoro AV, Kikuchi WT, Santos GR dos, Pallini A (2011) Suitability of the predatory mites *Iphiseiodes zuluagai* and *Euseius concordis* in controlling *Polyphagotarsonemus latus* and *Tetranychus bastosi* on *Jatropha curcas* plants in Brazil. *Exp Appl Acarol* 53:203–214
- Stark JD, Tanigoshi L, Bounfour M, Antonelli A (1997) Reproductive potential: its influence on the susceptibility of a species to pesticides. *Ecotoxicol Environ Saf* 37: 273-279
- StatSoft Inc. (1984–2004) Statistica for Windows (Software-system for data-analyses), Version 7.0. Tulsa, USA
- Teodoro AV, Fadini MAM, Lemos WP, Guedes RNC, Pallini A (2005) Lethal and sub-lethal selectivity of fenbutatin oxide and sulfur to the predator *Iphiseiodes zuluagai* (Acari: Phytoseiidae) and its prey, *Oligonychus ilicis* (Acari: Tetranychidae), in Brazilian coffee plantations. *Exp Appl Acarol* 36: 61-70
- Teodoro A, Klein AM, Reis PR, Tschardt T (2009) Agroforestry management affects coffee pests contingent on season and developmental stage. *Agric For Entomol* 11: 295-300

Walthall WK, Stark JD (1997) Comparison of two population – level ecotoxicological endpoints: the intrinsic (r_m) and instantaneous (r_i) rates of increase. Environ Toxicol Chem 16: 1068-1073

Legendas

Figura 1. Atividade predatória dos estádios de (a) fêmea e (b) ninfa de *E. concordis* sobre densidades crescentes das fases de ovo, imaturo e fêmea do ácaro-verde da mandioca *M. tanajoa*. Médias \pm Erro padrão são apresentados. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Figura 2. Taxa de predação dos estádios de fêmea e ninfa do ácaro predador *E. concordis* sobre as fases de ovo, imaturo e fêmea do ácaro-verde da mandioca *M. tanajoa*. Médias \pm Erro padrão são apresentados. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Figura 3. Oviposição de *E. concordis* sobre densidades crescentes das fases de ovo, imaturo e fêmea do ácaro-verde da mandioca *M. tanajoa*. Médias \pm Erro padrão são apresentados. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Figura 4. Ponto de saturação de predação de fêmeas do ácaro predador *E. concordis* sobre ovos (a) imaturos (b) e fêmeas (c) do ácaro-verde da mandioca *M. tanajoa*. Médias \pm Erro padrão são apresentados. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Figura 5. Ponto de saturação de predação de ninfas do ácaro predador *E. concordis* sobre ovos (a) imaturos (b) e fêmeas (c) do ácaro-verde da mandioca *M. tanajoa*. Médias \pm Erro padrão são apresentados. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Figura 6. Ponto de saturação do número de ovos postos por fêmeas do ácaro predador *E. concordis* alimentadas com ovos (a) imaturos (b) e fêmeas (c) do ácaro-verde da mandioca *M.*

tanajoa. Médias \pm Erro padrão são apresentados. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Figura 7. Taxa instantânea de crescimento do ácaro predador *E. concordis* em função do estágio de desenvolvimento do ácaro-verde da mandioca *M. tanajoa*. Médias \pm Erro padrão da média são apresentados. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Figura 1a

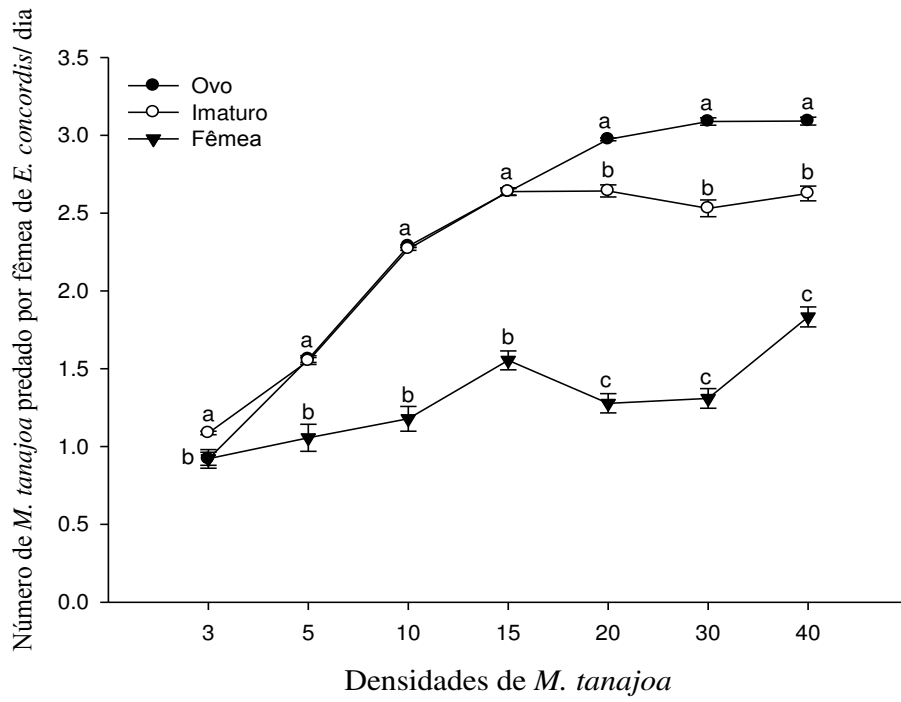


Figura 1b

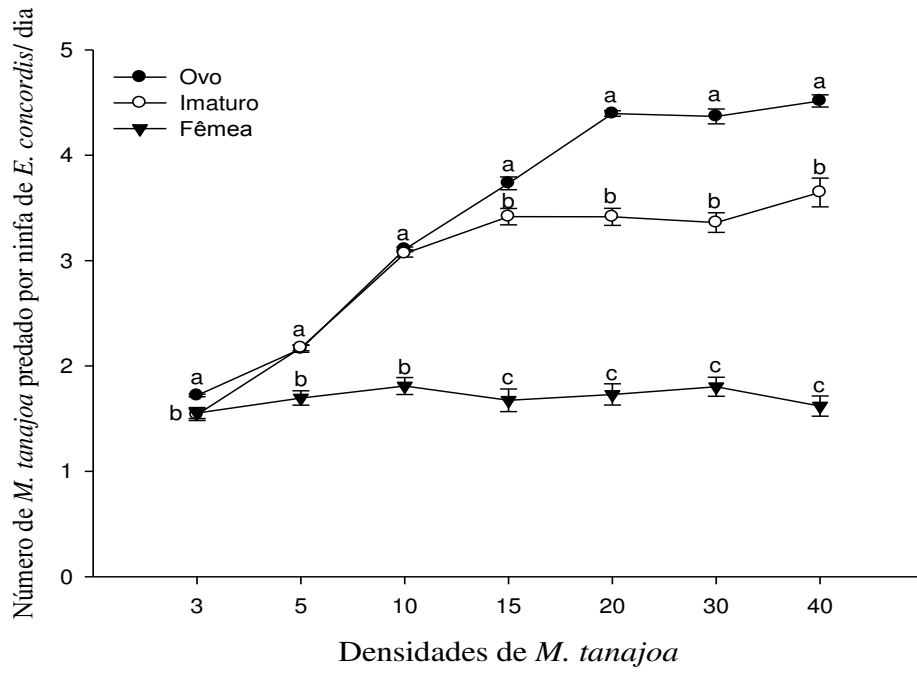


Figura 2

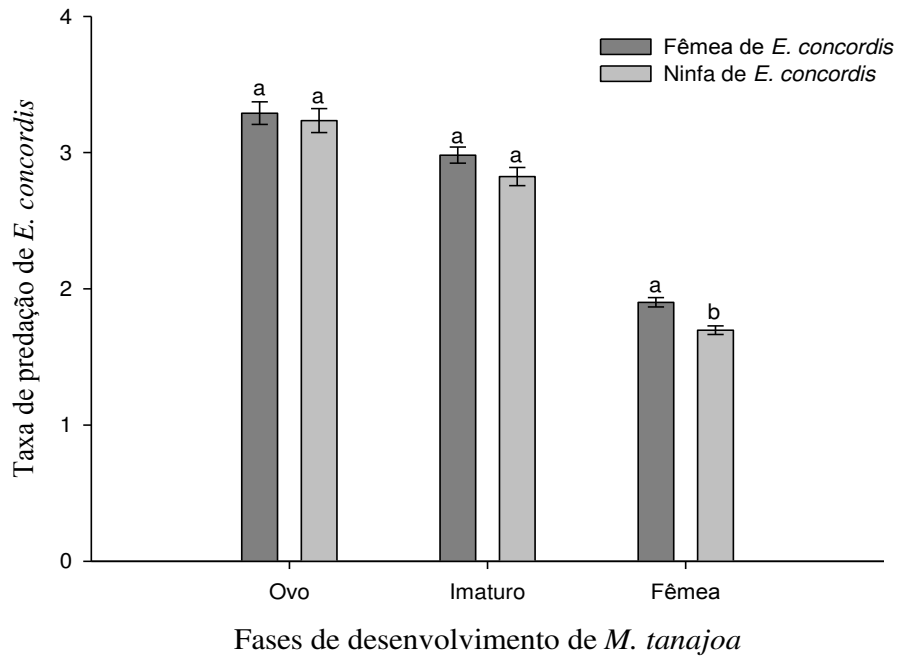


Figura 3

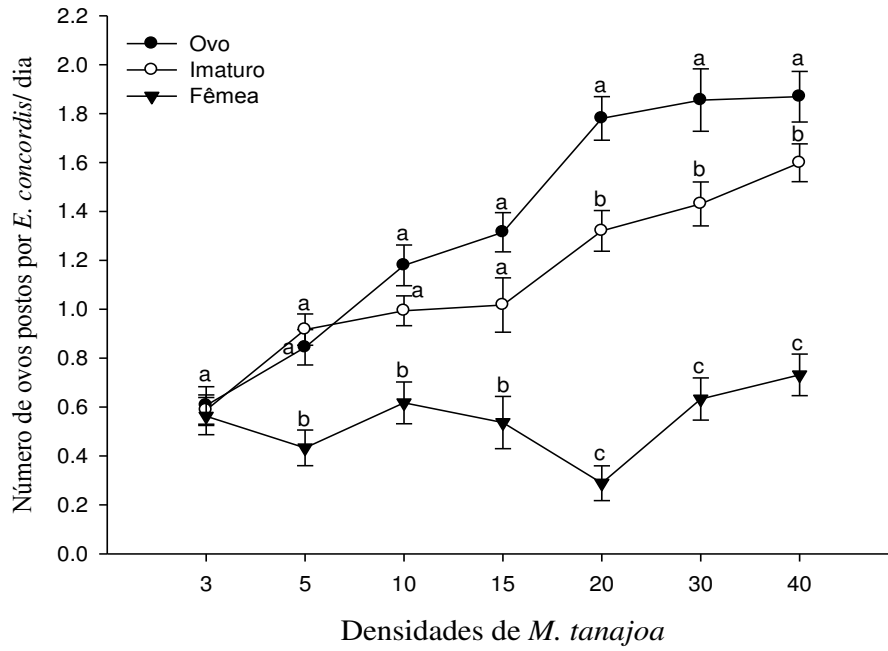


Figura 4a

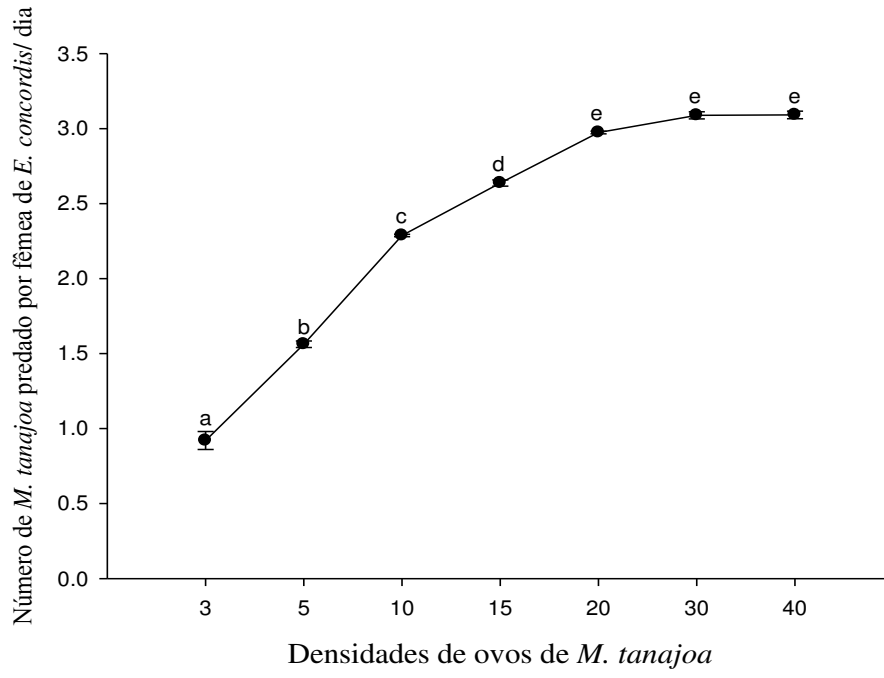


Figura 4b

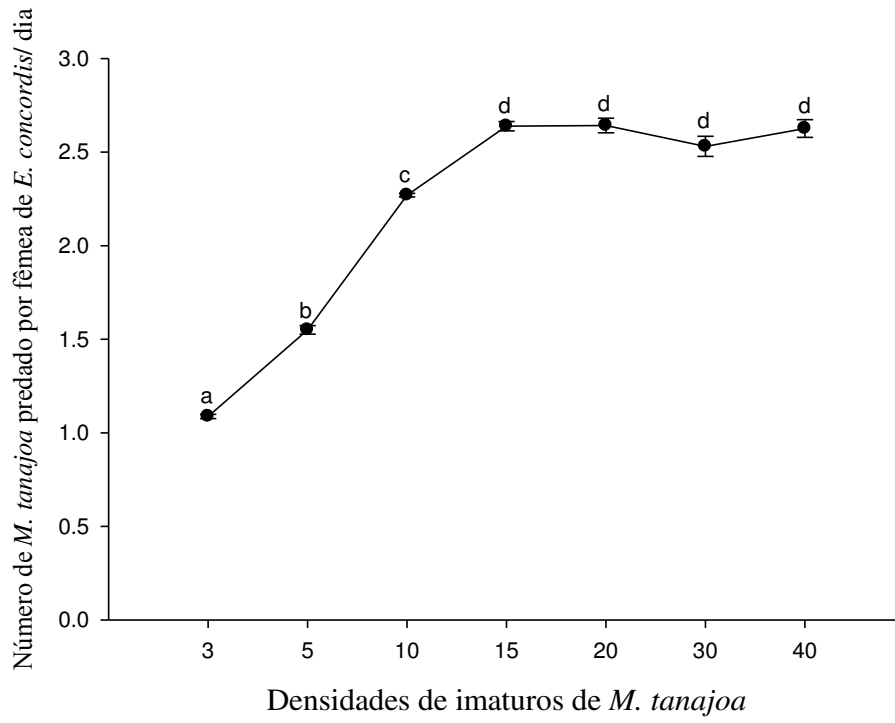


Figura 4c

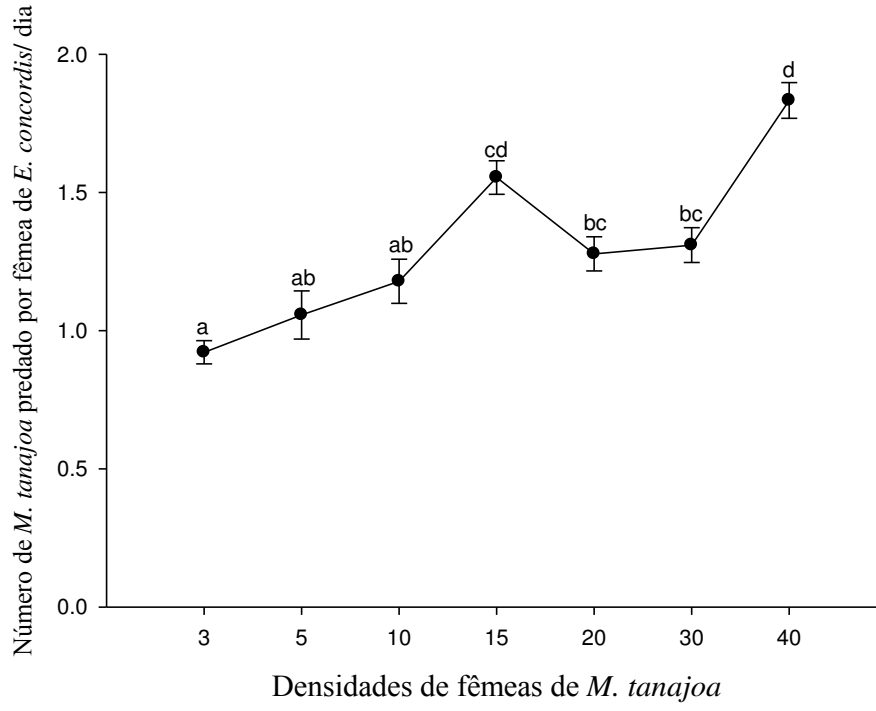


Figura 5a

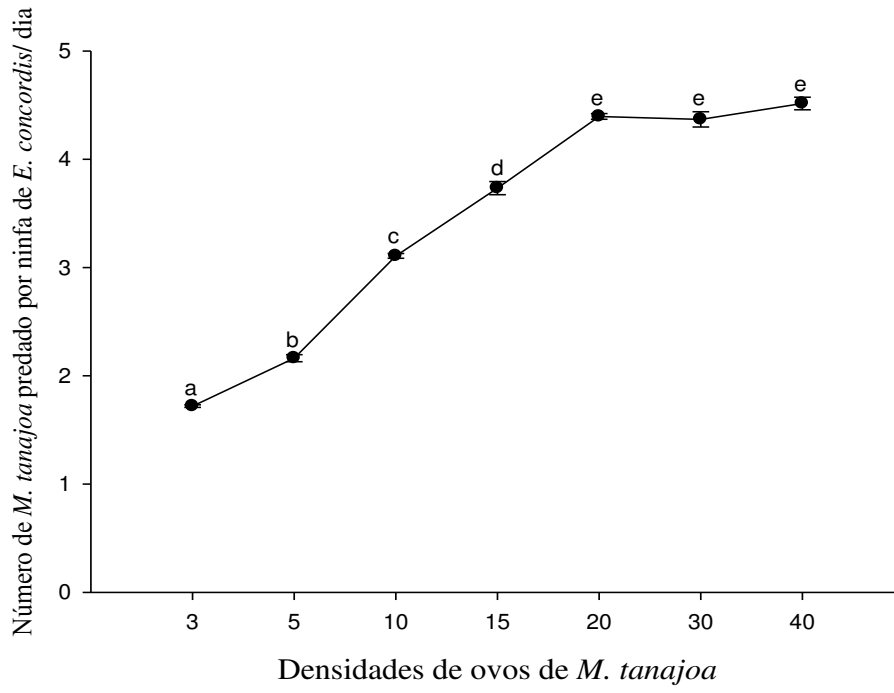


Figura 5b

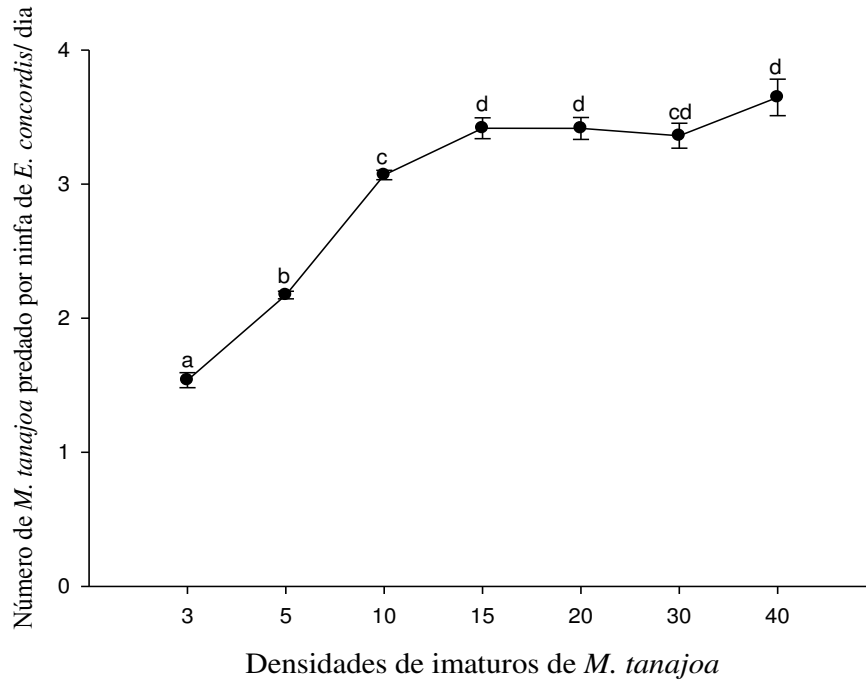


Figura 5c

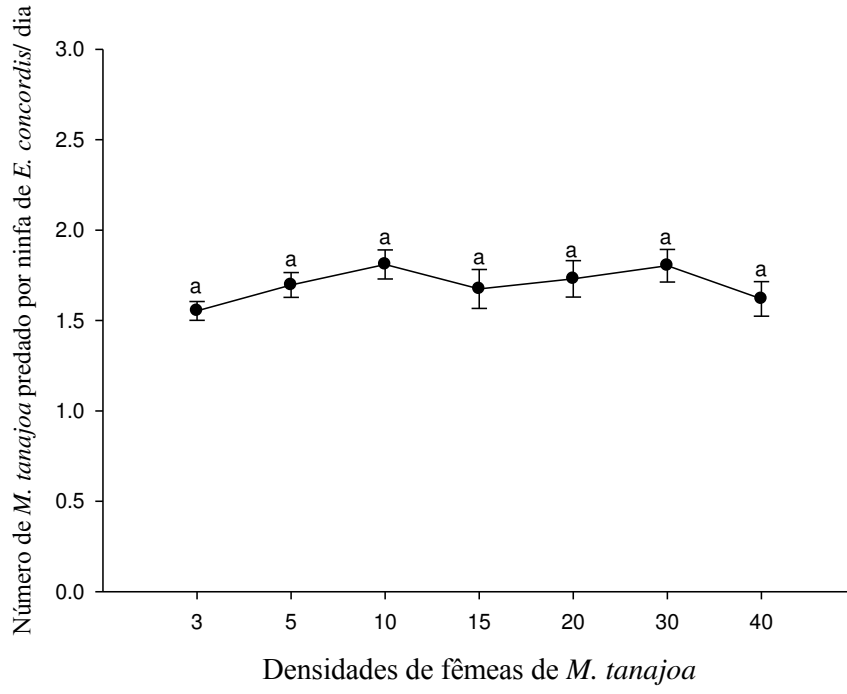


Figura 6a

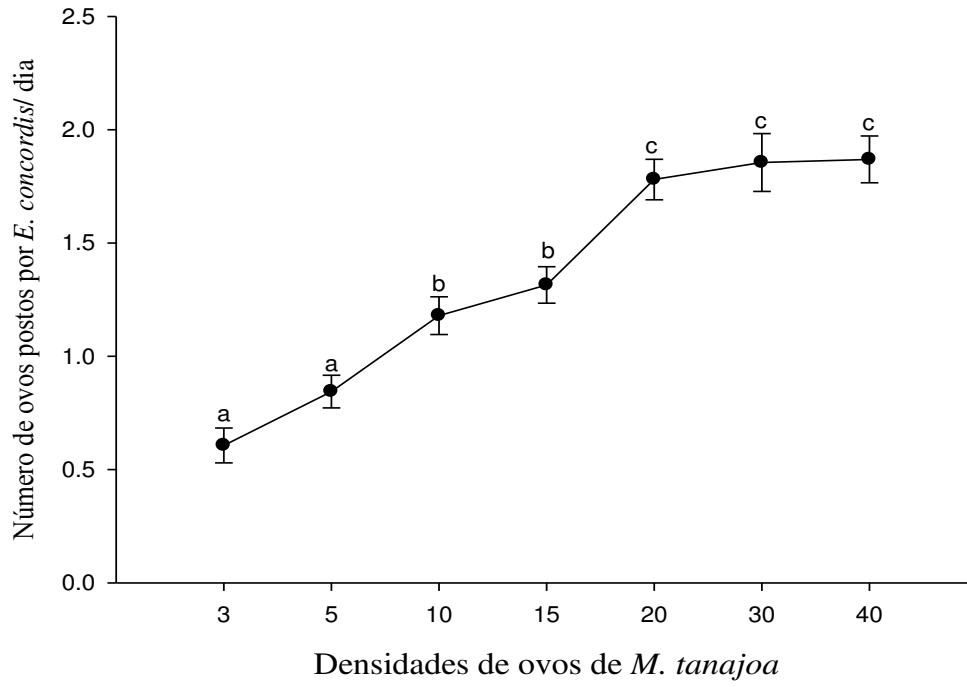


Figura 6b

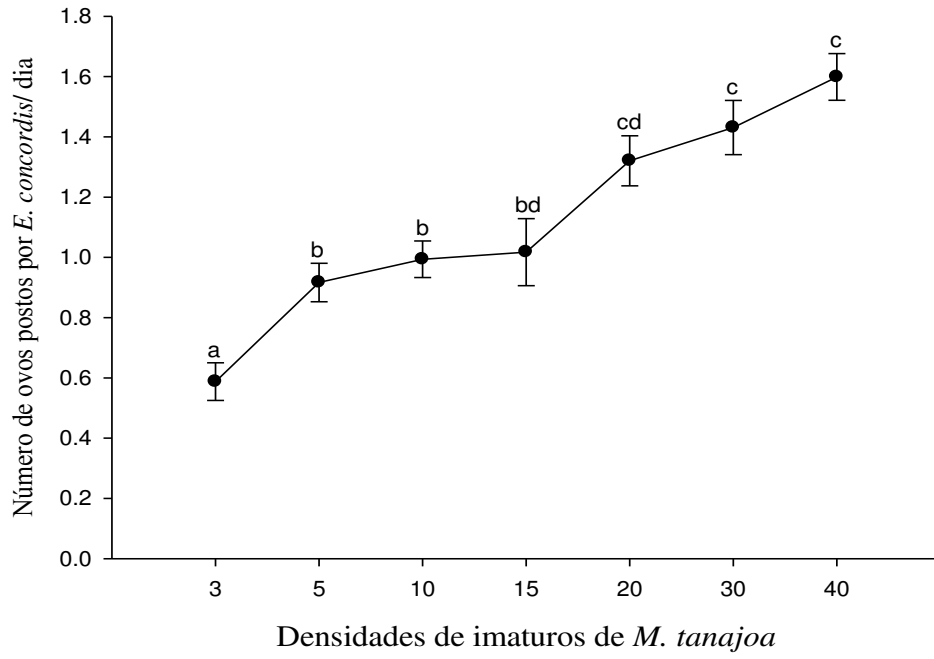


Figura 6c

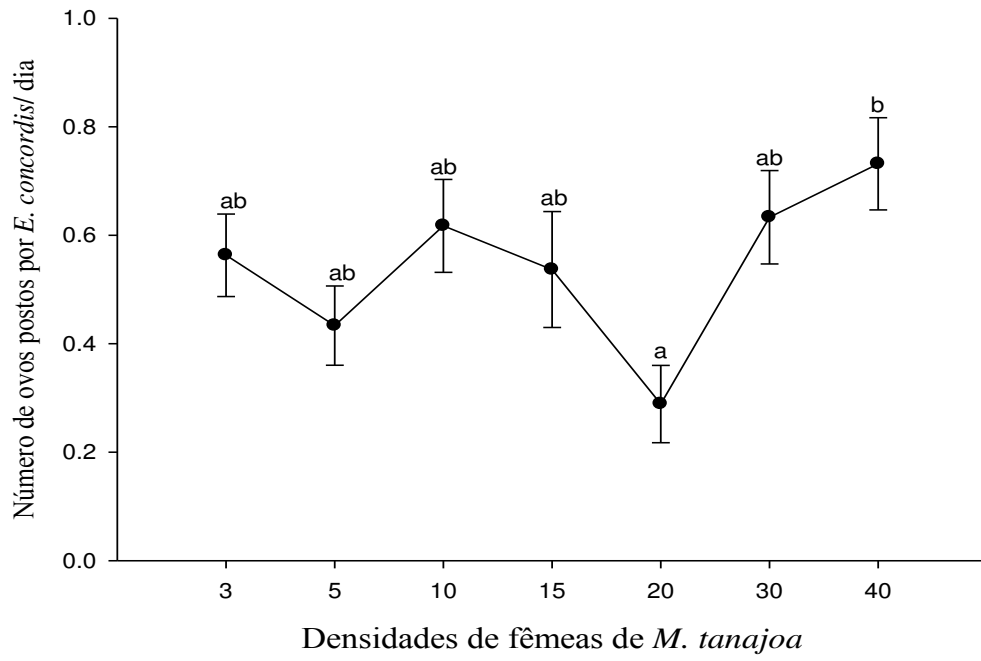
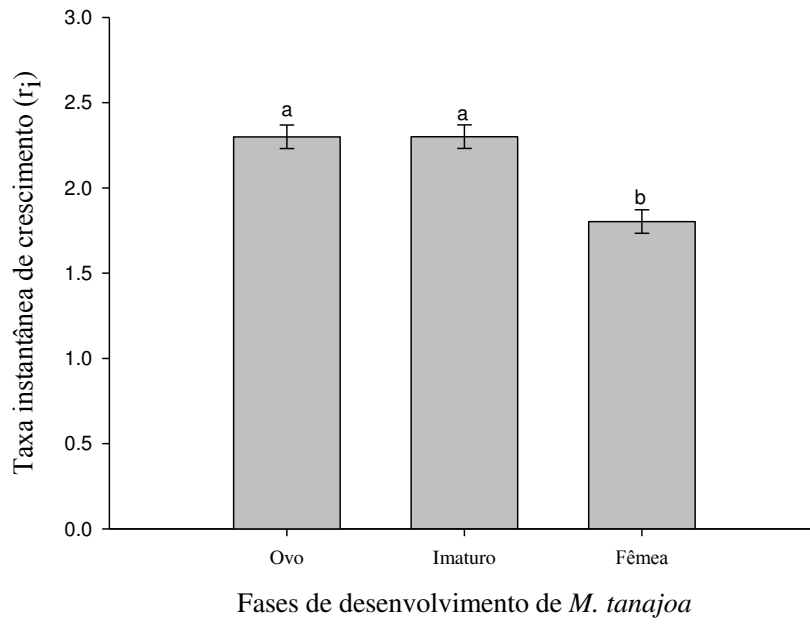


Figura 7

ANEXOS

NORMAS DAS REVISTAS

ACAROLOGY

INSTRUCTIONS TO AUTHORS

Manuscripts and related correspondence should be addressed to: acarologia@supagro.inra.fr
Acarologia is a free open-access journal. Please help us by submitting manuscripts in accordance with following instructions.

All manuscripts which do not conform to the instructions will be returned to authors without the benefit of review.

Acarologia publishes the results of original research on all aspects of Acarology. Review articles will also be considered. Acceptance of papers is at the discretion of the managing editors, advised by an international editorial board.

Presentation of manuscripts

Manuscripts should be typed using a normal font, double-spaced throughout. Lines and pages must be numbered. Manuscripts should not exceed 10,000 words (additional pages can be considered). Articles must be written in English. The standard of English must be high and non-native English speaking authors are encouraged to have their manuscript read by a native English speaker before submission.

Please spell check and proofread your manuscript and carefully, including a crosscheck of citations and references.

Arrange the manuscript in the following sequence:

First page: Title, Author(s), Address(es), Abstract, Keywords

Text pages: Introduction, Materials and methods, Results, Discussion, Acknowledgements, References

Captions: Tables captions, Figures captions.

All titles, subtitles and headers, and personal names must be in lower case.

Tables and figures must be cited in the text: (Figure 1) (Figures 2 and 3), (Table 1)...

Footnotes are not allowed. Descriptions and diagnoses of taxa should be written using the common taxonomic description format.

The abstract should be concise and not exceed 400 words. Keywords should be separated by semicolons. Metric (SI) units should be used throughout. The number of decimal points must be consistent and significant (e.g. 65-78 μm , not 64.93-78.2 μm). Dates should be in the form 22 Jan. 1975 (not 22.1.75). Be economical with tables: data given in graphs rarely need to be repeated in tabular form.

All publications cited in the text should be included in the reference section. Papers 'in press' can only be cited if they have been accepted for publication; do not cite manuscripts 'in preparation' or 'submitted'.

Authors are encouraged to provide a list of 2-3 potential reviewers.

References

References are to be set-up using the following format:

Journal article

Kreiter S., Tixier M.-S. 1900 --- A nice publication --- *Acarologia*, 1: 3-15.

Kreiter S., Tixier M.-S. 1900 --- A publication --- *Exp. Appl. Acarol.*, 1: 3-15.

Electronic article

Migeon A., Auger P., Navajas M. 2000 --- An other nice publication --- *Periodical*

Title [Internet]. 99(99): 3-12. Available

from: <http://www1/montpellier.inra.fr/CBGP/acarologia>

Book

Bertrand M. 2025 --- An encyclopedia of acarology --- Montpellier: Publisher. pp. 1224.

Electronic book

Vial L. 2025 --- Ticks of the world [Internet] --- Publisher. Available

from: <http://www1/montpellier.inra.fr/CBGP/acarologia>

Book section - Edited book

McCoy K.D. 2025 --- Birds ticks --- In: Kreiter S., McCoy K.D. (Eds). Birds of the world. Montpellier: Publisher. p. 600-700.

Thesis

Roy L. 2010 --- Ecologie evolutive d'un genre d'acariens hematophages [Phd Thesis] --- Lyon: Ecole Nationale Veterinaire. pp. 297.

Conference Proceedings

Migeon A., Dorkeld F. 2008 --- Spider Mites Web a comprehensive database --- In: Bertrand M., Kreiter K., McCoy K.D. (Eds). Integrative acarology; Montpellier: Euraac. p. 208-215.

Report

Denmark H.A. 1973 --- *Tetranychus evansi* Baker and Pritchard in Florida --- Miami: Florida Department of Agriculture. Division of Plant Industry. No. 99.

Electronic source

Migeon A., Dorkeld F. --- Spider Mites Web: a comprehensive database for the Tetranychidae [Internet] --- [15 June 2009]. Montpellier: INRA/CBGP; [25 Sept 2009]. Available from: <http://www1.montpellier.inra.fr/CBGP/spmweb/>

Journal titles should be abbreviated according to the List of serial title word Abbreviations (ISO 4). Consult www.issn.org/2-22661-LTWA-online.php

We prefer manuscript references constructed using Endnote.

Taxonomy

All papers with a taxonomic content must follow the provisions of the latest edition of the International Code of Zoological Nomenclature. Types of new species or subspecies should be deposited in a responsible scientific institution, specified in the text. The first mention of a species or genus-group name should include the full citation with the author (e.g. *Opilioacarus segmentatus* With, 1903), and abbreviated thereafter (e.g. *O. segmentatus*).

Authorities for taxon names should only be cited in the references if they are listed in a synonymy.

Sequences

DNA sequences must be deposited in a public database (e.g., Genbank) and accession numbers should be provided in the final version of the manuscript.

Tables

Table files must be typed separately using Microsoft Excel or OpenOffice and should be ready for printing. Use Times Roman fonts. Use only top, column title and bottom lines as table borders.

Figures

Colour illustrations will be published online. The paper edition will be in black and white only. Illustrations must be ready for printing and should be electronically submitted. Electronic drawings and scanned figures should be in tiff format and must have a 600 dpi resolution according to final size (one column 7.4cm -3 inches-, two columns 16.6cm -6.6 inches-, horizontal page 21.5x15cm -8.5 inches-).

Photos should be in jpg or png formats with low or no compression and must have a 300 dpi resolution. Inadequate artwork will not be accepted. All figures (including photographs and maps) must be labelled in successive order, using Arabic numerals. Sub-figures should be labelled (a), (b), etc. Magnifications should be indicated by scale bars on figures. Please use lower resolutions (300 and 150 dpi) and jpeg compression (80%) for manuscript submission.

Page proofs and reprints

One set of page proofs will be sent to the corresponding author and should be corrected and returned by e-mail. Excessive alterations will be charged to the authors. Pdfs will be available and paper reprints can be ordered.

In submitting a manuscript, authors accept all terms of copyright.

Acarologia is under free license

The open-access articles are distributed under the terms of the Creative Commons-BY-NC-ND which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr/deed.en_GB

You are free: to copy and distribute the work.

Attribution: you must give the original author credit.

Non-Commercial: you may not use this work for commercial purposes.

No Derivative Works: you may not alter or transform this work.

For any reuse or distribution, you must make clear to others the licence terms of this work.

Any of these conditions can be waived if you get permission from the copyright holder.

Nothing in this license impairs or restricts the author's moral rights.

EXPERIMENTAL AND APPLIED ACAROLOGY

Authors - Manuscript Guidelines Journals | Instructions for Authors

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

MANUSCRIPT SUBMISSION

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.

- 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: If you use Word 2007, do not create the equations with the default equation editor but use the Microsoft equation editor or MathType instead.

Save your file in doc format. Do not submit docx files.

Word template

Manuscripts with mathematical content can also be submitted in LaTeX.

LaTeX macro package

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. 1993).

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* 341:325–329
- *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

www.issn.org/2-22661-LTWA-online.php

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

EndNote style

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

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

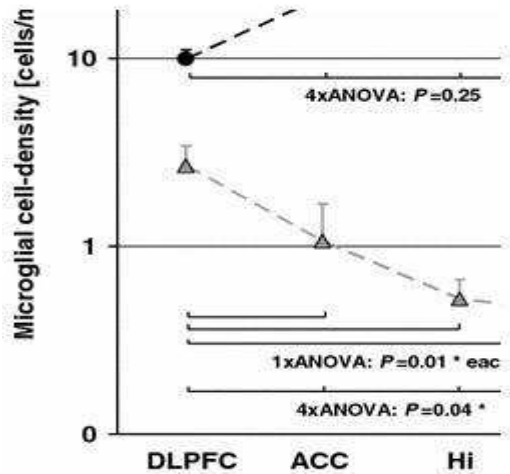
Supply all figures electronically.

Indicate what graphics program was used to create the artwork.

For vector graphics, the preferred format is EPS; for halftones, please use TIFF format. MS Office 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



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.

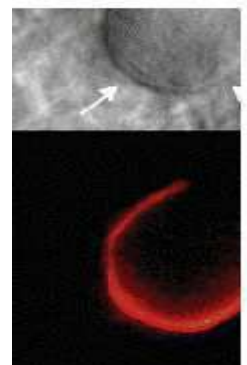
All lines should be at least 0.1 mm (0.3pt) wide.

Scanned line drawings and line drawings in bitmap format should have a minimum resolution of 1200 dpi.

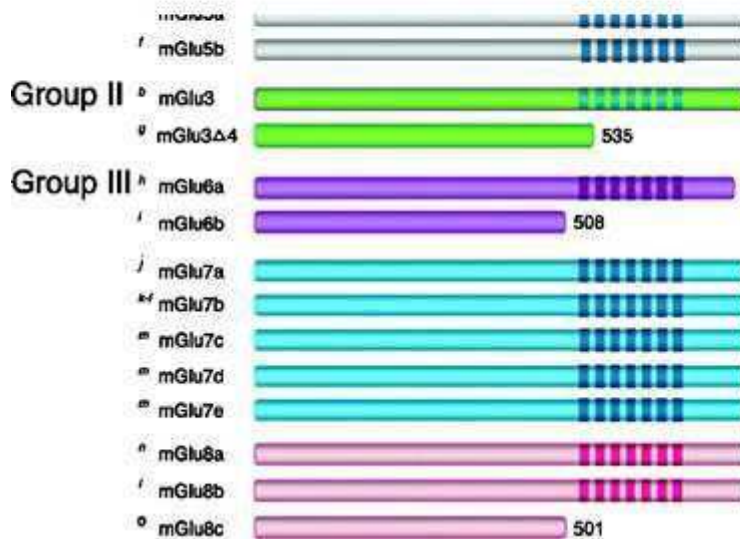
Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.

Halftone Art

- 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



- 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.

Accessibility

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your figures, please make sure that

- All figures have descriptive captions (blind users could then use a text-to-speech software or a text-to-Braille hardware)
- Patterns are used instead of or in addition to colors for conveying information (color-blind users would then be able to distinguish the visual elements)
- Any figure lettering has a contrast ratio of at least 4.5:1

ELECTRONIC SUPPLEMENTARY MATERIAL

Springer accepts electronic multimedia files (animations, movies, audio, etc.) and other supplementary files to be published online along with an article or a book chapter. This feature can add dimension to the author's article, as certain information cannot be printed or is more convenient in electronic form.

Submission

- Supply all supplementary material in standard file formats.
- Please include in each file the following information: article title, journal name, author names; affiliation and e-mail address of the corresponding author.

To accommodate user downloads, please keep in mind that larger-sized files may require very long download times and that some users may experience other problems during downloading.

Audio, Video, and Animations

- Always use MPEG-1 (.mpg) format.

Text and Presentations

- Submit your material in PDF format; .doc or .ppt files are not suitable for long-term viability.
- A collection of figures may also be combined in a PDF file.

Spreadsheets

- Spreadsheets should be converted to PDF if no interaction with the data is intended.
- If the readers should be encouraged to make their own calculations, spreadsheets should be submitted as .xls files (MS Excel).

Specialized Formats

- Specialized format such as .pdb (chemical), .wrl (VRML), .nb (Mathematica notebook), and .tex can also be supplied.

Collecting Multiple Files

- It is possible to collect multiple files in a .zip or .gz file.

Numbering

- If supplying any supplementary material, the text must make specific mention of the material as a citation, similar to that of figures and tables.
- Refer to the supplementary files as “Online Resource”, e.g., "... as shown in the animation (Online Resource 3)", "... additional data are given in Online Resource 4”.
- Name the files consecutively, e.g. “ESM_3.mpg”, “ESM_4.pdf”.

Captions

- For each supplementary material, please supply a concise caption describing the content of the file.

Processing of supplementary files

- Electronic supplementary material will be published as received from the author without any conversion, editing, or reformatting.

Accessibility

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your supplementary files, please make sure that

- The manuscript contains a descriptive caption for each supplementary material
- Video files do not contain anything that flashes more than three times per second (so that users prone to seizures caused by such effects are not put at risk)

AFTER ACCEPTANCE

Upon acceptance of your article you will receive a link to the special Author Query Application at Springer's web page where you can sign the Copyright Transfer Statement online and indicate whether you wish to order OpenChoice, offprints, or printing of figures in color.

Once the Author Query Application has been completed, your article will be processed and you will receive the proofs.

Open Choice

In addition to the normal publication process (whereby an article is submitted to the journal and access to that article is granted to customers who have purchased a subscription), Springer provides an alternative publishing option: Springer Open Choice. A Springer Open Choice article receives all the benefits of a regular subscription-based article, but in addition is made available publicly through Springer's online platform SpringerLink. We regret that Springer Open Choice cannot be ordered for published articles.

Springer Open Choice**Copyright transfer**

Authors will be asked to transfer copyright of the article to the Publisher (or grant the Publisher exclusive publication and dissemination rights). This will ensure the widest possible protection and dissemination of information under copyright laws.

Open Choice articles do not require transfer of copyright as the copyright remains with the author. In opting for open access, they agree to the Springer Open Choice Licence.

Offprints

Offprints can be ordered by the corresponding author.

Color illustrations

Online publication of color illustrations is free of charge. For color in the print version, authors will be expected to make a contribution towards the extra costs.

Proof reading

The purpose of the proof is to check for typesetting or conversion errors and the completeness and accuracy of the text, tables and figures. Substantial changes in content, e.g., new results, corrected values, title and authorship, are not allowed without the approval of the Editor.

After online publication, further changes can only be made in the form of an Erratum, which will be hyperlinked to the article.

Online First

The article will be published online after receipt of the corrected proofs. This is the official first publication citable with the DOI. After release of the printed version, the paper can also be cited by issue and page numbers.

© Springer is part of Springer Science+Business Media