

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Dinâmica predador presa, relações funcionais e o potencial de
Heterópteros no manejo de pragas**

Juliana Alves Neves

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Ciências. Área de concentração:
Entomologia

**Piracicaba
2014**

Juliana Alves Neves
Bacharelado e Licenciatura em Ciências Biológicas

**Dinâmica predador presa, relações funcionais e o potencial de Heterópteros no
manejo de pragas**

Orientador:
Prof. Dr. **WESLEY AUGUSTO CONDE GODOY**

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Ciências. Área de concentração:
Entomologia

Piracicaba
2014

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Neves, Juliana Alves

Dinâmica predador presa, relações funcionais e o potencial de Heterópteros no manejo de pragas / Juliana Alves Neves. - - Piracicaba, 2014.
105 p: il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2014.

1. Controle biológico 2. Inimigo natural 3. Reduviidae 4. Pentatomidae I. Título

CDD 595.754
N518d

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte -O autor"

Dedico ao meu irmão, Matheus, que sempre acreditou em mim, mesmo quando eu tinha dúvidas; que sempre teve orgulho e nunca duvidou das minhas conquistas. E por quem terei eternas saudades.

AGRADECIMENTOS

Existe uma série de pessoas a quem preciso agradecer, pois sem elas este trabalho não poderia ser realizado.

Minha família, e em especial, minha mãe, por compreenderem minha ausência e, mesmo permanecendo longe por tanto tempo, ainda continuarem me apoiando nas minhas escolhas de vida.

Ao meu orientador, Professor Wesley, que não se restringe a ensinar apenas o conteúdo acadêmico, mas também lições de vida. Não poderia ter tido melhor Mestre para me apoiar a continuar na carreira científica. Por todas as coisas, muito obrigada.

Ao Centro de Tecnologia Canavieira de Piracicaba, pelo fornecimento de lagartas de *Diatraea saccharalis* nos estágios iniciais da criação dos insetos predadores. Foi de extrema ajuda, e por isso, serei sempre grata.

À Neide do laboratório de Biologia de Insetos, a todos do laboratório de Resistência de Artrópodes, especialmente a Eloisa, pelo fornecimento de material para manutenção da minha criação de insetos. Ao Dr. Negri por todo apoio prestado.

Aos incríveis e eficientes estagiários Victor Botteon e Juan Domini por terem me ajudado, durante dois anos, a lidar com esses insetos que parecem nunca estar satisfeitos. Por penarem comigo quando tudo parecia estar prestes a se auto destruir, pelas idas a campo e por toda a paciência. Por elevarem o termo “responsável” a outro patamar, e fazer jus a ele, pois sempre pude confiar nos dois para tudo. Por todas as risadas e momentos alegres que tive enquanto trabalhávamos, muito obrigada!

Aos novos estagiários, não menos importantes, Jéssica Guin e Lucas Wasques, por me ajudarem nessa reta final a manter tudo o que a duras penas foi construído em dois anos.

Aos grandes amigos que, longe ou perto, me apoiaram nos momentos difíceis e sempre me deram conselhos. A todos também com quem pude dividir momentos bons, e que mostraram que a vida vai além das paredes do laboratório. Com vocês eu descobri que o equilíbrio é a melhor forma de se continuar com a cabeça no lugar e fazer ciência.

“The sea’s only gifts are harsh blows, and occasionally the chance to feel strong. Now I don’t know much about the sea, but I do know that that’s the way it is here. And I also know how important it is in life not necessarily to be strong but to feel strong. To measure yourself at least once. To find yourself at least once in the most ancient of human conditions. Facing the blind deaf stone alone, with nothing to help you, but your hands and your own head”.

Christopher “Supertramp” McCandless

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	13
1 INTRODUÇÃO.....	15
1.2 Revisão.....	17
1.2.1 O potencial dos heterópteros convencionais e desconhecidos e as ferramentas para comparar o desempenho.....	17
1.2.2 Família Pentatomidae.....	18
1.2.3 Família Reduviidae.....	19
1.2.4 Ferramentas para análise de desempenho de predadores.....	22
Referências.....	24
2 MODELAGEM PREDADOR PRESA PARA A INTERAÇÃO <i>Podisus nigrispinus</i> E <i>Spodoptera frugiperda</i>	33
Resumo.....	33
Abstract.....	33
2.1 Introdução.....	34
2.2 Material e Métodos.....	36
2.3 Resultados.....	41
2.4 Discussão.....	50
2.5 Considerações Finais.....	52
Referências.....	53
3 RESPOSTA FUNCIONAL EM <i>Podisus nigrispinus</i> E <i>Graptocleptes</i> <i>bicolor</i> SOBRE <i>Spodoptera frugiperda</i>	55
Resumo.....	55
Abstract.....	55
3.1 Introdução.....	56
3.2 Material e Métodos.....	58
3.2.1 Coleta e obtenção dos insetos para experimentação.....	58
3.2.2 Resposta funcional.....	59
3.3 Resultados.....	59
3.3.1 <i>Podisus nigrispinus</i>	59
3.3.2 <i>Graptocleptes bicolor</i>	61

3.4	Discussão.....	63
3.5	Conclusão.....	67
	Referências.....	67
4	DINÂMICA POPULACIONAL E ESTRUTURA DE ESTÁGIOS DE VIDA EM <i>Graptocleptes bicolor</i> (REDUVIIDAE: HARPACTORINAE) COM DIFERENTES PRESAS.....	71
	Resumo.....	71
	Abstract.....	71
4.1	Introdução.....	71
4.2	Material e Métodos.....	74
4.2.1	Estimativa dos parâmetros em laboratório para utilização na modelagem.....	74
4.2.2	Fundamentação teórica para a matriz de Leslie.....	74
4.2.3	Matriz de Leslie.....	76
4.4	Resultados e Discussão.....	78
4.5	Conclusões.....	85
	Referências.....	85
5	NOVA SINONÍMIA DE <i>Graptocleptes bicolor</i> (BURMESTER) COM NOTAS TAXONÔMICAS (HEMIPTERA: HETEROPTERA: REDUVIIDAE: HARPACTORINAE: HAROACTORINI).....	89
	Resumo.....	89
	Abstract.....	89
5.1	Introdução.....	89
5.2	Material e Métodos.....	90
5.2.1	Taxonomia.....	91
5.3.2	Redescrição macho.....	91
5.3.3	Características da fêmea.....	97
5.3.4	Notas sobre ecologia.....	98
5.4	Discussão.....	99
	Referências.....	102
	APÊNDICE.....	105

RESUMO

Dinâmica predador presa, relações funcionais e o potencial de Heterópteros no manejo de pragas

Mediante as modificações ambientais realizadas por ações antrópicas, os sistemas ecológicos vêm sendo cada vez mais afetados pela perda de organismos, resultando em simplificações nas interações tróficas, que acarretam em desequilíbrio entre espécies, principalmente em sistemas agrícolas e florestais. Assim, compreender a atuação dos inimigos naturais é fundamental para sua implementação em programas de manejo integrado. Neste estudo, investigou-se as interações predador presa de duas espécies da subordem Heteroptera, *Podisus nigrispinus* e *Graptocleptes bicolor*, para compreender suas dinâmicas e respostas funcionais com algumas presas da ordem Lepidoptera.

Palavras-chave: Controle biológico; Inimigo natural; Reduviidae; Pentatomidae

ABSTRACT

Predator prey dynamics, functional relations and the potential of pest management of Heteropteran

Because of the environmental modifications made by anthropic actions, the ecological systems have been losing their organisms, resulting in simplification of trophic interactions, which bring out species instability, especially at agricultural and forest systems. Thus, to understand the performance of natural enemies it is primordial to their usage at integrated pest management programs. In this study, the predator prey interactions of two species from the suborder Heteroptera, *Podisus nigrispinus* and *Graptocleptes bicolor* were investigated, to understand their dynamics and functional responses, with some preys from the Lepidoptera order.

Keywords: Biological control; Natural enemies; Reduviidae; Pentatomidae

1 INTRODUÇÃO

As diversas mudanças no meio natural causadas pelo homem, seja para aumentar as áreas de cultivo, extrair recursos naturais ou expandir áreas urbanas, tem resultado em significativo declínio da biodiversidade de vários organismos, inclusive de diversas espécies de artrópodes (PIMENTEL et al., 1992). A fragmentação dos sistemas naturais influencia a estrutura de comunidades, causando impactos de diferentes níveis em suas espécies (TSCHARNTKE et al., 2002). É de se esperar que, com as mudanças realizadas transformando ecossistemas em ambientes agrícolas, a alta disponibilidade de recursos homogêneos e, conseqüentemente a diminuição da diversidade de espécies, favoreçam a explosão populacional de insetos herbívoros, causando perdas na produção. Por isso, as modernas práticas de controle biológico, aliadas às práticas de manejo integrado de pragas (MIP), devem buscar o equilíbrio entre predadores e presas, de forma que os níveis de dano econômico não sejam ultrapassados (GRAVENA, 1992).

A utilização de inimigos naturais é , portanto, um dos pontos importantes e que necessita de mais estudos para que se compreenda sua atuação no sistema. Há evidências de que o aumento na diversidade de inimigos naturais seja capaz de suprimir em 94% e 62% o número de afídeos em plantas de batata e couve-galega respectivamente (STRAUB; SNYDER, 2008). Assim, compreendendo o sistema e a forma como herbívoros e predadores se relacionam, se comportam e como são influenciados pelo meio é fundamental para o sucesso do controle biológico.

A natureza generalista de alguns predadores utilizados em controle de pragas tem sido discutida no tocante às vantagens e desvantagens no uso em programas de manejo integrado, porém, há situações em que a utilização das espécies torna possível o deslocamento destes insetos para outras áreas, sobretudo em ambientes com alta heterogeneidade ou em sistemas agrícolas diversificados (ALTIERI; SILVA. NICHOLLS, 2003). Há geralmente nos agroecossistemas, significativa variabilidade no que tange aos seus padrões ecológicos e agronômicos (ALTIERI; SILVA. NICHOLLS, 2003). Esta característica é geralmente expressa por graus de diversidade de espécies animais dependentes da heterogeneidade da vegetação dentro e no entorno de agroecossistemas, da intensidade de manejo e da extensão

do isolamento do sistema da vegetação natural (SOUTHWOOD; WAY, 1970). As variações na fisionomia do sistema podem determinar o grau de heterogeneidade espacial e temporal em regiões agrícolas, com consequências benéficas ou danosas para a proteção contra pragas (ALTIERI; SILVA. NICHOLLS, 2003).

A despeito da notável influência sobre a dinâmica populacional de determinados grupos taxonômicos de herbívoros em função da distribuição, abundância, dispersão dos cultivos, arranjo espacial e temporal das culturas e diversidade de plantas cultivadas (ALTIERI, 1991), pouco se sabe sobre a influência das policulturas sobre o desempenho de inimigos naturais, bem como sobre sua dinâmica populacional. É possível, que a dinâmica e até mesmo a estratégia de forrageio de inimigos naturais generalistas sofram alterações ao interagirem com presas ou hospedeiros de diferentes cultivares. Ainda que as presas ou hospedeiros sejam os mesmos nos diferentes sistemas agrícolas, a resposta funcional do inimigo natural pode ser alterada, como demonstrado por De Clerq et al. (2000). Neste sentido, a comparação do desempenho de predadores entre diferentes presas, sobretudo as que estão presentes em diferentes agroecossistemas, pode auxiliar as decisões sobre a escolha dos inimigos naturais adequados para distintos programas de controle de pragas (ALTIERI; SILVA. NICHOLLS, 2003).

A teoria do forrageio ótimo assume que predadores podem usar presas diferentes para maximizar o ganho energético (STEPHENS; KREBS, 1986). A detecção de presas, bem como a mobilidade e rapidez do predador para capturar sua presa podem influenciar definitivamente o sucesso na sua aquisição (MALCOM, 1992). Além disso, a seletividade no que diz respeito ao tamanho da presa, pode exercer papel preponderante sobre a determinação do impacto do inimigo natural sobre a praga (MICHELI, 1995; ROGER, CODERRE, BOIVIN, 2000). Geralmente os predadores escolhem suas presas com base no valor energético e no custo de captura (CHARNOV, 1976).

A decisão sobre a escolha de predadores com base nas diferentes estratégias alimentares, generalista ou especialista, deve seguir critérios científicos importantes para o seu sucesso. Symondson, Sunderland e Greenstone (2002) fazem importantes colocações sobre a necessidade de, primeiramente, entender o sistema no qual o organismo será inserido. Há casos em que locais com uma cadeia trófica simples podem suportar um predador especialista, enquanto que em sistemas com uma rede trófica mais complexa, uma guilda de predadores generalistas pode

trazer melhores resultados, com redução efetiva das pragas alvo (ALTIERI; SILVA. NICHOLLS, 2003).

Este estudo teve a finalidade de investigar isoladamente e comparativamente em laboratório, o potencial de duas espécies de insetos da subordem Heteroptera, *Podisus nigrispinus* (Pentatomidae, Asopinae) e *Graptocleptes bicolor* (Reduviidae, Harpactorinae), com vistas à utilização deles em programas de manejo integrado de pragas. Especificamente, o estudo combinou experimentação laboratorial, dados da literatura e ferramentas estatísticas para analisar e modelar matematicamente as relações funcionais entre as espécies, visando simular diferentes cenários interativos e assim, investigar a dinâmica de predação dos heterópteros sobre diferentes presas.

1.2 Revisão

1.2.1 O potencial dos heterópteros convencionais e desconhecidos e as ferramentas para comparar o desempenho

A escolha de predadores da ordem Hemiptera para avaliações do potencial das espécies para o manejo de pragas é usualmente ancorada no fato de que espécies de predadores generalistas que apresentam alimentação extra oral são capazes de explorar vários recursos, o que favorece a ocupação de diferentes nichos (COHEN, 1995). A saliva produzida por estes insetos contém enzimas digestivas e veneno que atuam sinergicamente para a liquefação dos órgãos internos da presa (SCHMIDT, 1982). Durante a alimentação, a saliva é inserida no corpo da presa diversas vezes, formando um fluxo contínuo de uso e reaproveitamento das enzimas digestivas (COHEN, 1995). Este hábito, quando observado em insetos predadores, favorece o consumo de presas com grande variabilidade de tamanho, podendo, não raramente, serem até mesmo de tamanhos maiores do que o predador (COGNI; FREITAS; AMARAL FILHO, 2002).

1.2.2 Família Pentatomidae

Dentre os pentatomídeos, o gênero *Podisus* é o mais estudado com relação ao potencial para implementações em programas de controle de pragas. No Brasil, o gênero *Podisus sp* (Pentatomidae: Asopinae) vem sendo estudado como agente de controle em culturas agrícolas (NEVES; TORRES, 2009) e tem sido apontado como espécie promissora no setor florestal, sobretudo para o controle de lagartas desfolhadoras (GONÇALVES; PAES BUENO; CARVALHO, 1990). Esta espécie já foi relatada em áreas com surto de lagartas desfolhadoras em eucalipto, nos estados de Minas Gerais e São Paulo (ZANUNCIO et al., 1994).

Há uma extensa literatura sobre estudos realizados com *Podisus nigrispinus*, na qual se determina seu comportamento de predação e taxas de desenvolvimento com diferentes tipos de presa, como: *Dione juno juno* (MOREIRA; ZANUNCIO; MOLINA-RUGAMA, 1998), *Tuta absoluta* (VIVAN et al., 2002), *Alabama argillacea* (OLIVEIRA et al., 2002), *Diatraea saccharalis* (VACARI; De BORTOLI, 2007), *Spodoptera frugiperda* e *Tenebrio molitor* (OLIVEIRA et al., 2007) e *Musca domestica* (PIRES et al., 2009).

De acordo com Oliveira et al. (2002) o ponto crítico para ocorrência de escassez alimentar é quando *P. nigrispinus* atinge o quarto ínstar, fazendo com que, caso não haja alimentação suficiente, haja geração de indivíduos pequenos. Essa constatação parece ser comum também em outros pentatomídeos. A escassez de presas para fêmeas de *Supputius cinctipes* (Pentatomidae) mostrou redução na quantidade de ovos à medida que o intervalo entre uma presa e outra era maior; no entanto, a longevidade das fêmeas foi maior, mostrando que pode haver “trade off” dependendo das condições em que os insetos são submetidos (MOURÃO et al., 2003). A origem alimentar da presa também foi apontada como fator importante na sobrevivência do predador, uma vez que a presa pode se utilizar de substâncias provenientes da planta hospedeira para aumentar suas defesas (HOLTZ et al., 2007).

Um fato interessante a ser considerado em *P. nigrispinus* é sua zoofitofagia que, de acordo com Oliveira et al. (2002), contribui para maior sobrevivência e rapidez no desenvolvimento do inseto, caso ele tenha disponível presas e plantas e que, dependendo da espécie de planta, incide em maior produção de ovos e ganho de peso nas fêmeas. Em estudo com plantas daninhas associadas ao cultivo de

algodão, o mesmo resultado foi encontrado, mas dependendo da espécie de planta em que *P. nigrispinus* tenha se alimentado, pode haver redução no peso dos machos e na quantidade de ovos produzidos por fêmeas (EVANGELISTA JÚNIOR et al., 2004).

A planta hospedeira, além de fornecer nutrientes favoráveis à sobrevivência, também interfere na mobilidade do predador via complexidade estrutural, fazendo com que ocorram mudanças no seu forrageio, que acabam se refletindo na sua dinâmica (YANG, 2000), mudando até mesmo sua resposta funcional (De CLERCQ et al., 2000). A presença de plantas durante o período de pré liberação dos predadores em campo ajuda a diminuir as taxas de canibalismo entre os indivíduos, além de melhorar seu desempenho predatório (PIRES; ZANUNCIO; SERRÃO, 2010). A ocorrência de canibalismo já foi registrada em ninfas de *P. nigrispinus* e *P. connexivus* sob privação de alimento (GONÇALVES; BUENO; DE CARVALHO, 1990).

Apesar dos estudos de biologia, ainda não há muitos estudos sobre interação entre *P. nigrispinus* e outros predadores ou em que locais sua liberação é feita de forma sistemática. Contudo, nos últimos 20 anos, o professor Patrick De Clerq (Universidade de Ghent, Bélgica) tem relatado a experiência diversificada do grupo, investigando aspectos da biologia, ecologia, criação massal, susceptibilidade a resíduos tóxicos e liberação em casa de vegetação de diferentes espécies do gênero *Podisus* (De CLERQ; DEGHEELE, 1992, 1993; De COCK et al., 1996 ; De CLERK et al., 2000, 2003, 2011; MAHDIAN; TIRRY; De CLERCQ, 2008).

1.2.3 Família Reduviidae

A família Reduviidae é encontrada em diversos locais do mundo, sendo distribuídos e abundantes em subfamílias, gêneros e espécies (LOUIS, 1974; FORRERO, 2006; AMBROSE; KRISHNAN; JEBASINGH, 2007). No Brasil, já há chaves de identificação de algumas subfamílias e gêneros (GIL-SANTANA et al., 2003; GIL-SANTANA; COSTA, 2003; GIL-SANTANA, COSTA; MARQUES, 2004), no entanto, ainda são escassas informações sobre biologia e comportamento de espécies desta família.

Os reduvídeos já vêm sendo relatados como bons controladores de pragas

em algumas culturas, com efetiva redução do número de insetos praga. Grundy e Maelzer (2000a) já relataram resultados desta natureza em cultura de algodão e soja, utilizando ninfas de *Pristhesancus plagipennis*. Sahayaraj e Martin (2003) também realizaram liberação de *Rhinocoris marginatus* em áreas de amendoim, obtendo redução de cinco espécies de pragas diferentes e aumento na produção devido à diminuição de danos causados na planta, sem que houvesse interação negativa entre *R. marginatus* com outros predadores presentes no local.

Em laboratório, as espécies utilizadas de Reduviidae obtiveram sucesso predando não somente pragas agrícolas da ordem Lepidoptera, mas também de outras ordens como descrito em estudos envolvendo as espécies: *Spartocera dentiventris* (Hemiptera: Coreidae) (ROCHA; REDAELLI; STEINER, 2002), *Nezara viridula* (Hemiptera: Pentomidae) (GRUNDY; MAELZER, 2000b), *Acalymma blomorum* (Coleoptera: Chrysomelidae) (GÁMEZ-VIRUÉS; EBEN, 2005). Há também registro de espécies, como o *Harpactor angulosus*, que podem servir como controle biológico de insetos de interesse de saúde pública, como no caso do gênero *Hylesia* spp. (Lepidoptera: Saturniidae), que possui aristas urticantes causadoras de queimaduras em humanos (PEREIRA et al., 2009).

Com relação a dados de comportamento e biologia, há trabalhos utilizando diferentes espécies que permitem uma compreensão sobre o comportamento destes insetos em nível de subfamília. Porém, é importante salientar que, mesmo fazendo parte do mesmo grupo, as espécies podem apresentar comportamentos distintos de forrageio. Os reduvídeos podem apresentar espécies gregárias como *Agriosphodrus dohrni* (INOUE, 1985), cuidado parental dos ovos (TALLAMY; WALSH; PECK, 2004) e espécies com estruturas morfológicas voltadas para fixação de camuflagem (WEIRAUCH, 2006).

Na subfamília Harpactorinae, do qual faz parte a espécie *Graptocleptes bicolor*, os predadores necessitam ser estimulados pela presa, geralmente por sua movimentação, para iniciarem sua alimentação; em seguida, seguram a presa utilizando as pernas dianteiras e depois as perfuram com o estilete, erguendo-as até que ocorra total imobilização; esse tipo de alimentação é descrito como do tipo “pin and jab” (HARIDASS; BALU; MORRISON, 1987). Há ocorrência de tanatose e canibalismo, principalmente nas fases ninfais (AMBROSE, 1987). A cópula é realizada na posição dorso-ventral e os ovos são dispostos em grupos, em formas geométricas, fixos no substrato com utilização de cimento (AMBROSE, 1987;

CLAVER; REEGAN, 2010). Nesta subfamília também foram registrados maior número de ovos por postura, maior taxa de viabilidade dos ovos e emergência de ninfas (AMBROSE, 1987), quando comparado com as taxas obtidas nas subfamílias Acanthaspidinae e Piratinae. As taxas de fertilidade e longevidade dos predadores é afetada pelo tipo de presa (EDWARD GEORGE, 2000), devido às ativações enzimáticas provocadas pela qualidade nutricional do alimento ingerido (SAHAYARAJ; SANKARALINKAM; BALASUBRAMANIAN, 2007).

Estes predadores também são capazes de se alimentar sobre diversas fases da presa, desde a fase imatura até a adulta (NISH et al., 2004). Apesar de serem generalistas, eles podem ter preferências por espécies de presas (SAHAYARAJ, 1999) e por estágios de desenvolvimento (SAHAYARAJ; KALIDAS; TOMSON, 2012). Os autores Haridass, Balu e Morrison (1987) afirmam que, dependendo da subfamília, os reduvídeos podem apresentar preferências alimentares de acordo com seu comportamento de predação. Cogni, Freitas e Amaral Filho (2000) relatam que *Zelus longipes* é capaz de atacar imaturos de diversos tamanhos de *Spodoptera frugiperda* mas, quando possível, prefere atacar presas de menor porte devido a maiores chances de sucesso, menor gasto energético e baixo risco de injúrias. No entanto, o custo energético e o tempo de jejum também faz com que haja ataque a presas maiores e faz com que o predador percorra maiores distâncias durante o forrageio (COGNI; FREITAS; AMARAL FILHO, 2000; CLAVER; AMBROSE, 2003).

No entanto, a aplicação sistemática destes insetos predadores em controle biológico não vem sendo realizada devido, provavelmente, a alguns fatores mal compreendidos e pouco estudados sobre biologia, comportamento e aplicação.

Um dos problemas é o eventual ataque destes predadores sobre espécies úteis, como observado por Coletto da Silva e Gil-Santana (2004), que relatam a ocorrência de predação de abelhas Meliponinae por indivíduos de *Apiomerus pilipes* em uma área experimental contendo apiários. Há poucas pesquisas voltadas a este aspecto interativo mas o trabalho desenvolvido por Symondson, Sunderland e Greenstone (2002) discute sobre a interação entre agentes de controle e outros insetos não alvo e aponta que tais interações sempre ocorrem em sistemas naturais e que, por causa disso, seria necessário cuidados específicos para minimizar os efeitos da interação não desejada.

A aplicação em campo do predador é outro ponto pouco estudado, e Grundy e

Maelzer (2002) mostram que é mais importante se avaliar o estágio de vida do predador antes da liberação do que sua quantidade. Porém, é importante se avaliar a presa alvo a ser controlada, já que foi descrito que uma quantidade mínima de ninfas (0,25 ninfas por m^{-1}) liberadas controlou a quantidade de *Helicoverpa* spp. (Lepidoptera) em culturas de algodão de 2 hectares, mas foram necessárias maior quantidade de ninfas (1,0 ninfas por m^{-1}) do predador *Pristhesancus plagipennis* para controlar *Creontiades* spp. (Hemiptera: Miridae) (GRUNDY, 2004).

A permanência do predador na área de interesse é outro ponto levantado, sugerindo a necessidade de presas alternativas. O fato do predador ser generalista possibilita que ele consuma outras espécies durante a ausência da presa principal, mas foi registrado que a espécie *Antopozelus opsimus* é capaz de se utilizar de fontes alternativas de alimento, como néctar extra floral (GUILLERMO-FERREIRA; CARDOSO-LEITE; GANDOLFO, 2012). Esta informação mostra que há vários elementos desconhecidos de como estes predadores utilizam o sistema em que estão presentes, principalmente em situações em que não há disponibilidade de alimento ideal.

Por isso são necessários maiores estudos sobre vários aspectos das espécies da família Reduviidae, para se entender melhor sua biologia, comportamento, dinâmica e interações com outros organismos para que sua aplicação visando o controle biológico seja efetiva.

1.2.4 Ferramentas analíticas para análise de desempenho de predadores

As ferramentas de análise mais comumente empregadas até o momento na avaliação do potencial de predadores são as convencionalmente usadas para estudos na dimensão predador presa, ou seja, modelos regressivos para resposta funcional, testes de comparação entre a variância dos dados obtidos em diferentes tratamentos, correlações entre espécies e fatores ambientais, distribuição de frequência, análise comportamental e ajuste de funções (SOUTHWOOD; HENDERSON, 2000; JULIANO, 2001; WANGERSKY; BERNSTEIN; van ALPHEN, 2007). Modelos matemáticos podem ser ferramentas importantes para avaliar o desempenho de inimigos naturais frente a diferentes presas e estruturas ambientais, como por exemplo, diferentes cultivares. Os modelos são geralmente construídos a partir de processos biológicos que ocorrem com frequência na natureza, mas

também são balizados por parâmetros obtidos em laboratório e/ou campo, permitindo assim melhor calibração e refinamento, o que reflete diretamente sobre a sua validação. Lima, Ferreira e Godoy (2009), discutem a importância da modelagem ecológica aplicada a programas de controle, valendo-se de conceitos já consagrados na teoria de manejo integrado e avaliam as perspectivas para futuras implementações em programas de manejo integrado de pragas. A modelagem ecológica pode valer-se de duas importantes ferramentas: a modelagem estatística, para investigar relações fisiológicas através das respostas funcional e numérica, e a modelagem matemática, cujo principal foco é sobre modelos com interação entre organismos. Contudo, o volume de pesquisas que empregam a teoria da resposta funcional é significativamente maior que o número de pesquisas envolvendo modelagem ecológica aplicada ao controle de pragas.

Um estudo feito por Fernández-Arhex e Corley (2003), focando sobre tipos de resposta funcional de parasitóides empregados em controle biológico indica que a maioria deles apresenta resposta do tipo II, mas que não há uma estreita relação entre o tipo de resposta funcional e o sucesso no controle biológico. No entanto, a resposta funcional é um parâmetro que pode ser usado para se medir a voracidade do predador, pois estima seu consumo de presas. Além disso, com esta informação, pode-se inferir o papel do predador dentro de um sistema e sua relação com a praga de interesse (HASSELL; ROGERS, 1972).

Os modelos de resposta funcional também permitem que se verifique a resposta do predador mediante diferentes distribuições espaciais da presa e sua agregação (REAL, 1979) e temperatura (MOHAGHEGH, De CLERCQ, TIRRY, 2001), e até mesmo sua eficiência de procura (HASSELL; ROGERS, 1972). Isso é possível porque grande parte dos modelos são baseados na teoria de Holling e seus experimentos com discos (HOLLING, 1961), no qual foram estabelecidos parâmetros base e inter-relacionados entre si, geralmente presentes nos modelos. Os parâmetros taxa de ataque, tempo de manuseio, tempo de procura, densidade da presa e do predador no sistema, governam o sistema interativo resultando em três formas de resposta funcional, tipo I, II ou III, respectivamente gerando os padrões: linear, assintótico e sigmoidal (HASSELL; ROGERS, 1972).

Nos modelos do tipo predador-presa pode-se investigar a relação interativa entre duas espécies, a partir de estimativas da força de interação. O formalismo

teórico mais conhecido sobre este sistema é o de Lotka-Volterra, que parte do princípio que a flutuação populacional dos predadores está atrelada à flutuação populacional da presa e, sendo assim, espera-se dinâmica oscilatória para ambas populações (WANGERSKY, 1978).

A utilização da modelagem ecológica, portanto, é essencial para se entender o comportamento das espécies de interesse dentro de um sistema e suas interações. Contudo, para que os modelos sejam construídos é necessária a obtenção de dados experimentais conduzidos em laboratório, em condições controladas, para que a partir destes resultados seja possível a extrapolação de outras circunstâncias dentro do modelo e, subsequentemente, estimar resultados de acordo com as condições de campo ou de difícil obtenção prática.

Referências

- ALTIERI, M.A. Ecology of tropical herbivores in polycultural agroecosystems. In: PRICE, P.W.; LEVINSON, T.M.; FERNANDEZ, G.W.; BENSON, W.W. (Ed.). **Plant-animal interactions: evolutionary ecology in tropical and temperate regions**. New York: John Wiley, 1991. p. 607-617.
- ALTIERI, M.A.; SILVA, E. N., NICHOLLS, C. I. **O papel da biodiversidade no manejo de pragas**. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2003. 226 p.
- AMBROSE, D.P. Biological, behavioral and morphological tools in the biosystematics of Reduviidae (Insecta – Heteroptera – Reduviidae). **Proceedings of the Indian Academy of Science (Animal Science)**, New York, v. 96, n. 5, p. 499-508, 1987.
- AMBROSE, D.P.; KRISHAN, S.S.; JEBASINGH, V. An annotated checklist of Indian Peiratinae (Hemiptera: Reduviidae) with ecological and morphological characteristics. **Biosystemica**, London, v. 1, n. 1, p. 45-57, 2007.
- CLAVER, M.A.; AMBROSE, D.P. Influence of hunger level and prey density on searching behaviour of the reduviid predator *Rhynocoris marginatus* (Fabricius) (Het., Reduviidae). **Journal of Applied Entomology**, Berlin, v. 127, p. 42-45, 2003.
- CLAVER, M.A.; AMBROSE, D.P.; REEGAN, A.D. Biology and mating behaviour of *Coranus spiniscutis* Reuter (Hemiptera: Reduviidae), a key predator of rice gandhi bug *Leptocoris vericornis* Fabricius. **Journal of Biopesticides**, Tirunelveli, v. 3, n. 2, p. 437–440, 2010.
- COGNI, R.; FREITAS, A.V.L.; AMARAL FILHO, B.F. Influence of prey size on predation success by *Zelus longipes* L. **Journal of Applied Entomology**, Berlin, v. 126, p. 74-78, 2002.
- COHEN, A.C. Extra-oral digestion in predaceous terrestrial arthropoda. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 40, p. 85-103, 1995.

COLETTO DA SILVA, A.L.C.O.; GIL-SANTANA, H.R. Predation of *Apiomerus pilipes* (Fabricius) (Hemiptera, Reduviidae, Harpactorinae, Apiomerini) over Meliponinae bees (Hymenoptera, Apidae), in the State of Amazonas, Brazil. **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, v. 21, n. 4, p. 769-774, 2004

CHARNOV, E.L. Optimal foraging: attack strategy of a mantid. **American Naturalist**, Chicago, v. 110, p. 141–151, 1976.

De CLERCQ, P. Quality of predatory bugs of the genus *Podisus* (Heteroptera: Pentatomidae) reared on natural and artificial diets. In: WORKSHOP OF THE IOBC GLOBAL WORKING GROUP 'QUALITY CONTROL OF MASS REARED ARTHROPODS', 7., 1993, Rimini. Proceedings... Zürich: IOBC, 1994. p. 129-142.

De CLERCQ, P.; DEGHEELE, D. Development and survival of *Podisus maculiventris* (Say) and *Podisus sagittalis* (Fab.) (Heteroptera: Pentatomidae) at various constant temperatures. **Canadian Entomologist**, Cambridge, v. 124, p. 125-133, 1992

De CLERCQ, P.; MOHAGHEG, J.; TIRRY, L. Effect of host plant on the functional response of the predator *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). **Biological Control**, San Francisco, v. 18, p. 65-70, 2000.

De CLERCQ, P.; PEETERS, I.; VERGAUWE, G.; O. THAS, O. Interaction between *Podisus maculiventris* and *Harmonia axyridis*, two predators used in augmentative biological control in greenhouse crops. **BioControl**, Sophia Antipolis Cedex, v. 48, p. 39-55, 2003.

De CLERCQ, P.; DEGHEELE, D.; De COCK, A.; TIRRY, I.; VIÑUELA, E.; DEGHEELE, D. Toxicity of diflubencuron and pyriproxyfen to the predator bug *Podisus maculiventris*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Malden, v. 4, n. 1, p. 17-22, Jan. 1995.

De COCK, A.; De CLERCQ, P.; TIRRY, L.; DEGHEELE, D. Toxicity of diafenthiuron and imidacloprid to the predatory bug *Podisus maculiventris* (Heteroptera: Pentatomidae). **Environmental Entomology**, Annapolis, v. 25, p. 476-480, 1996.

EDWARD GEORGE, P.J. Reproductive performance of a Harpactorinae reduviid *Rhynocoris fuscipes* (Fabricius) (Heteroptera: Reduviidae) on three lepidopteran insect pests. **Insect Science and its Application**, Cambridge, v. 20, n. 4, p. 269–273, 2000.

EVANGELISTA JÚNIOR, W.S.; GONDIM JÚNIOR, M.G.C.; TORRES, J.B. Fitofagia de *Podisus nigrispinus* em algodoeiro e plantas daninhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 5, p. 413-420, maio 2004.

FERNANDEZ-ARHEX; CORLEY, J.C. The functional response of parasitoids and its implications for biological control. **Biocontrol Science and Technology**, London, v. 13, n. 4, p. 403-413, 2003.

FORRERO, D. News records of Reduviidae (Hemiptera: Heteroptera) from Colombia and other neotropical countries. **Zootaxa**, Auckland, v. 1107, p.1- 47, 2006.

GÁMEZ-VIRUÉS, S.; EBEN, A. Predatory behaviour of *Repipta flavicans* Stål (Hemiptera: Reduviidae), a natural enemy of *diabroticina* (Coleoptera: Chrysomelidae). **Proceedings of the Entomological Society of Washington**. Washington, v. 107, n. 3, p. 642-651. 2005.

GIL-SANTANA, H.R.; COSTA, L.A.A. Um novo gênero e espécie de Peiratinae de Nova Friburgo, Rio de Janeiro, Brasil, (Hemiptera, Heteroptera, Reduviidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, v. 20, n. 1, p. 3-8, mar. 2003.

GIL-SANTANA, H.R.; COSTA, L.A.A.; MARQUES, O.M. *Brontostoma bahiensis* sp. nov. de Ectrichodiinae (Hemiptera, Heteroptera, Reduviidae) do Estado da Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, v. 21, n. 1, p. 127-130, mar. 2004.

GIL-SANTANA, H.R.; COSTA, L.A.A.; FOREIRO, D.; ZERAIK, S.O. Sinopse dos Apiomerini, com chave ilustrada para gêneros (Hemiptera –Heteroptera, Reduviidae, Harpactorinae). **Publicações Avulsas do Museu Nacional**, Rio de Janeiro, n. 97, p. 1-24, jun. 2003.

GONÇALVES, L.; PAES BUENO, V.H.; CARVALHO, C.F. de. Controle biológico em *Eucalyptus* spp.: 1. Etologia de ninfas e adultos de *Podisus nigrolimbatus* Spinola, 1832 e *Podisus connexivus* Bergroth, 1891 (Hemiptera: Pentatomidae: Asopinae). **IPEF**, Piracicaba, n. 43/44, p. 70-73, jan./dez. 1990.

GRAVENA, S. Controle biológico no manejo de pragas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, p. 281-299, 1992.

GRUNDY, P. Predation by assassin bug *Pristhesancus plagipennis* (Walker) (Hemiptera: Reduviidae) of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) and *Nezara viridula* (L.) (Hemiptera: Pentatomidae) in the laboratory. **Australian Journal of Entomology**, Hoboken, v. 39, p. 280-282, 2000.

_____. Factors affecting the establishment and dispersal of nymphs of *Pristhesancus plagipennis* Walker (Hemiptera: Reduviidae) when released onto soybean, cotton and sunflower crops. **Australian Journal of Entomology**, Hoboken, v. 41, p. 272, 278, 2002.

_____. Impact of low release rates of the assassin bug *Pristhesancus plagipennis* (Walker) (Hemiptera: Reduviidae) on *Helicoverpa* spp. (Lepidoptera: Noctuidae) and *Creontiades* spp. (Hemiptera: Miridae) in cotton. **Australian Journal of Entomology**, Hoboken, v. 43, p. 77-82, 2004.

GRUNDY, P.; MAELZER, D. Assessment of *Pristhesancus plagipennis* (Walker) (Hemiptera: Reduviidae) as an augment biological control in cotton and soybean crops. **Australian Journal of Entomology**, Hoboken, v. 39, p. 305-309, 2000.

GUILLERMO-FERREITA, R.; CARDOSO-LEITE, R.; GANDOLFO, R. First observation of alternative food usage (extrafloral nectar) by the assassin bug *Antopozelus opsimus* (Hemiptera, Reduviidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 56, n. 4, p. 489-491, dez. 2012.

HARIDASS, E.T.; BALU, A.; NOBLE MORRISON, M. Feeding and behavioral parameters and egg ultrastructure in the biosystematics of Reduviidae (Insecta – Heteroptera). **Proceedings of the Indian Academy of Science (Animal Science)**, Bangalore, v. 96, n.5, p. 485-497, Sept. 1987.

HASSELL, M.P.; ROGERS, D.J. Insect parasite responses in the development of population models. **Journal of Animal Ecology**, London, v. 41, n. 3, p. 661-676, 1972.

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

HOLTZ, A.M.; ZANUNCIO, J.C.; OLIVEIRA, C.L.; PRATISSOLI, D.; PALLINI, A.; MARINHO, J.S.; VIANNA, U.R. Potencial reprodutivo e de sobrevivência de *Podisus nigrispinus* Dallas (Heteroptera: Pentatomidae) sobre *Thyriniteina arnobia* Stoll (Lepidoptera: Geometridae) e *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae). **Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 1, p. 63-70, jan./abr. 2007.

INOUE, H. Group predatory behaviour by the assassin bug *Agriosphodrus dohrni* Signoret (Hemiptera: Reduviidae). **Researches on Population Ecology**, New York, v. 27, p. 255-264, 1985.

JULIANO, S.A. Non-linear curve fitting: predation and functional response curves. In: SCHEINER, S.M.; GUREVITCH, J. (Ed.). **Design and analysis of ecological experiments**. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 2001. p. 178-216.

LIMA, E.A.B.F.; FERREIRA, C.P.; GODOY, W.A.C. Ecological modeling and pest population management: a possible and necessary connection in a changing world. **Neotropical Entomology**. Londrina, v. 38, n. 6, p. 699-707, 2009.

LOUIS, D. Biology of Reduviidae of cocoa farms in Ghana. **American Midland Naturalist**, Notre Dame, v. 91, n. 1, p. 68-89, Jan. 1974.

MAHDIAN, K.; TIRRY, L.; De CLERCQ, P. Development of the predatory pentatonic *Picromerus bidens* (L.) at various constant temperatures. **Belgian Journal of Zoology**, Brussels, v. 138, n. 2, p. 135-139, 2008.

MALCOLM, S.B. Prey defense and predator foraging. In: CRAWLEY, M.J. **Natural enemies**. Oxford: Blackwell Science, 1992. p. 458–475.

MICHELI, F. Behavioural plasticity in prey-size selectivity of the blue crab *Callinectes sapidus* feeding on bivalve prey. **Journal of Animal Ecology**, London, v. 64, p. 63–74, 1995.

MOHAGHEGH, J.; DECLERCQ, P.; TIRRY, L. Functional response of the predators *Podisus maculiventris* (Say) and *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Het., Pentatomidae) to the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hubner) (Lep., Noctuidae): effect of temperature. **Journal of Applied Entomology**, Berlin, v. 125, p. 131-134, 2001.

MOREIRA, L.A.; ZANUNCIO, J.C.; MOLINA-RUGAMA, A.J. Dados biológicos de *Podisus nigrispinus* (Dallas) alimentado com lagarta do maracujazeiro *Dione juno juno* (Cramer). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, São Paulo, v. 27, n. 4, p. 645-647, dez. 1998.

MOURÃO, S.A.; ZANUNCIO, J.C.; MOLINA-RUGAMA, J.; VILELA, E.F.; LACERDA, M.C. Efeito da escassez de presa na sobrevivência e reprodução do predador *Supputius cinctipes* (Stål) (Heteroptera: Pentatomidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 32, n. 3, p. 469-473, 2003.

NEVES, R.C.S.; TORRES, J.B. Reproduction and dispersal of wing-clipped predatory stinkbugs, *Podisus nigrispinus* in cotton fields. **Biological Control**, Auckland, v. 59, p. 9-17, 2009.

NISH, A.; IMAMURA, T.; MIYANOSHITA, A.; MORIMOTO, S.; TAKAHASHI, K.; VISARATHANONTH, P.; KENGKAPANICH, R. SHAZALI, M.H.; SATO, K. Predatory abilities of *Amphibolus venator* (Klung) (Hemiptera: Reduviidae), a predator of stored-product insect pests. **Applied Entomology and Zoology**, New York, v. 39, n. 2, p. 321-326, 2004.

OLIVEIRA, H.N.; PRATISSOLI, D.; PEDRUZZI, E.P.; ESPÍNDULA, M.C. Desenvolvimento do predador *Podisus nigrispinus* alimentado com *Spodoptera frugiperda* e *Tenebrio molitor*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 10, p. 947-951, out. 2004.

OLIVEIRA, J.E.M.; TORRES, J.B.; CARRANO-MOREIRA, A.F.; BARROS, R. Efeito das plantas do algodoeiro e do tomateiro, como complemento alimentar, no desenvolvimento e na reprodução do predador *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 101-108, 2002.

PEREIRA, A.I.A.; ZANUNCIO, J.C.; GIL-SANTANA, H.R.; RAMALHO, F.S.; LEITE, G.L.D.; SERRÃO, J.E. *Harpactor angulosus* (Reduviidae: Harpactorinae), a predator of neotropical saturniids, *Hylesia* spp. in Brazil. **Entomological News**, Annapolis, v. 120, n. 2, p. 206-212, 2009.

PIMENTEL, D.; STACHOW, U.; TAKACS, D.A.; BRUBAKER, H.W.; DUMAS, A.R.; MEANEY, J.J.; O'NEIL, J.A.S.; ONSI, D.E.; CORZILIUS, D.B. Conserving biological diversity in agricultural / forestry systems. **BioScience**, Uberlândia, v. 42, n. 5, p. 354-362, May 1992.

PIRES, E.M.; ZANUNCIO, J.C.; SERRÃO, J.E. Cannibalism of *Brontocoris tabidus* and *Podisus nigrispinus* during periods of pre-release without food or fed with *Eucalyptus cloeziana* plantas. **Phytoparasitica**, New York, v. 31, p. 27-34. Nov. 2010.

- PIRES, E.M.; AZEVEDO, D.O.; LIMA, E.R.; PELÚZIO, R.J.; SERRÃO, J.E.; ZANUNCIO, J.C. Desenvolvimento, reprodução e performance predatória do percevejo zoofitófago *Podisus distinctus* (Hemiptera: Pentatomidae) alimentado com larvas de *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) imobilizadas ou soltas. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 280-284, 2009.
- REAL, L.A. Ecological determinants of functional response. **Ecology**, Ithaca, v. 60, n. 3, p. 481-485, 1979.
- ROCHA, L.; REDAELLI, L. R.; STEINER, M. Extração de alimento por *Cosmoclopius nigroannulatus* Stål (Hemiptera: Reduviidae) de ninfas de *Spartocera dentiventris* (Berg) (Hemiptera: Coreidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 601-607, 2002.
- ROGER, C.; CODERRE, D.; BOIVIN, G. Differential prey utilization by generalist predator *Coleomegilla maculata lengi* according to prey size and species. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Malden, v. 94, p. 3-13, 2000.
- ROSENHEIM, J.A.; GLIK, T.E.; GOERIZ, R.E.; RÄMERT, B. Linking a predator's foraging behaviour with its effects on herbivore population suppression. **Ecology**, Ithaca, v. 85, n. 12, p. 3362-3372, 2004.
- ROSENHEIM, J.A.; KAYA, H.K.; EHLER, L.E.; MAROIS, J.J.; JAFFEE, B. Intraguild predation among biological-control agents: theory and evidence. **Biological Control**, San Francisco, v. 5, p. 303-335, 1995.
- SAHAYARAJ, K. Effect of prey and their ages on the feeding preference of *Rhynocoris marginatus* (Fab.). **International Arachis Newsletter**, Hampshire, n. 19, p. 39-44, 1999.
- SAHAYARAJ, K.; MARTIN, P. Assessment of *Rhynocoris marginatus* (Fab.) (Hemiptera: Reduviidae) as augment control in groundnut pests. **Journal of Central European Agriculture**, Zagreb, v. 4, n. 2, p. 103-110, 2003.
- SAHAYARAJ, K.; KALIDAS, S.; TOMSON, M. Stage preference and functional response of *Rhynocoris longifrons* (Stål) (Hemiptera: Reduviidae) on three hemipteran cotton pests. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 50, n. 5, p. 233-740, 2012.
- SAHAYARAJ, K.; SANKARALINKAM, S.K.; BALAUBRAMANIAN, R. Prey influence on the salivary gland and gut enzyme qualitative profile of *Rhynocoris marginatus* (Fab.) and *Catantopus brevipennis* (Serville) (Heteroptera: Reduviidae). **Journal of Entomology**, New York, v. 4, n. 4, p. 331-336, 2007.
- SCHMIDT, J.O. Biochemistry of insect venoms. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 27, p. 339-368, 1982.
- SOUTHWOOD, T.R.E.; HENDERSON, P.A. **Ecological methods**. 3rd ed. Malden: Blackwell Science, 2000. 575 p.

SOUTHWOOD, T.R.E.; WAY, M. J. Ecological background to pest management. In: RABB, R.L.; GUTHRIE, F.E. (Ed.). **Concepts of pest management**. Raleigh: North Carolina State University, 1970. p. 6-28.

STEPHENS, D.W.; KREBS, J.R. **Foraging theory**. Princeton: Princeton University Press, 1986. 247 p.

STRAUB, C.S.; SNYDER, W. Increasing enemy biodiversity strengthens herbivore suppression on two plant species. **Ecology**, Ithaca, v. 89, n. 6, p. 1605-1615, 2008.

SYMONDSON, W.O.C.; SUNDERLAND, K.D.; GREENSTONE, M.H. Can generalist predators be effective biocontrol agents? **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 47, p. 561-594, 2002.

TALLAMY, D.W.; WALSH, E.; PECK, D. Revisiting paternal care in the assassin bug *Antopozelus pallens* (Heteroptera: Reduviidae). **Journal of Insect Behavior**, New York, v. 17, n.4, p. 431-436, July 2004.

TSCHARNTKE, T.; STEFFAN-DEWENTER, I.; KRUESS, A.; THIES, C. Characteristics of insect populations on habitat fragments: a mini review. **Ecological Research**, New York, v. 17, p. 229-239, 2002.

VACARI, A.M.; OTUKA, A.K.; DE BORTOLI, S.A. Desenvolvimento de *Podisus nigrispinus* (Dallas, 1851) (Hemiptera:Pentatomidae) alimentado com lagartas de *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera:Crambidae). **Arquivos do Instituto Biológico**, Rio de Janeiro, v. 74, n. 3, p. 259-265, 2007.

VIVIAN, L.M.; TORRES, J.B.; VEIGA, A.F.S.L.; ZANUNCIO, J.C. Comportamento de predação e conversão alimentar de *Podisus nigrispinus* sobre traça de tomateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 5, p. 581-587, 2002.

WAJNBERG, E.; BERNSTEIN, C.; van ALPHEN, J. **Behavioural ecology of insect parasitoides**: from theoretical approaches to field applications. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2007. 464 p.

WANGERSKY, P.J. Lotka-Volterra population models. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, Palo Alto, v. 9, p. 189-218, 1978.

WEIRAUCH, C. Anatomy of disguise: camouflaging structures in nymphs of some Reduviidae (Heteroptera). **American Museum Novitates**, New York, n. 3542, p. 1-18, 2006.

YANG, L.H. Effects of body size and plant structure on the movement ability of predaceous stinkbug *Podisus maculiventris* (Heteroptera: Pentatomidae). **Oecologia**, New York, v. 125, p. 85-90, 2000.

ZANUNCIO, J.C.; ALVES, J.B.; ZANUNCIO, T.V.; GARCIA, J.F. Hemipterous predators of eucalypt defoliator caterpillars. **Forest Ecology and Management**, New York, v. 65, p. 65-73, 1994.

2 MODELAGEM PREDADOR PRESA PARA A INTERAÇÃO *Podisus nigrispinus* E *Spodoptera frugiperda*

Resumo

As simplificações dos modelos matemáticos permitem desenvolver protótipos que tornam possíveis a identificação dos fatores fundamentais e suas relações entre si para se compreender um sistema complexo. Desta forma, é possível encontrar os padrões ecológicos e realizar projeções ou predições a respeito deles. Assim, aplicar tal conhecimento em sistemas agrícolas é possível compreender as relações tróficas entre as espécies, principalmente por se tratar de um sistema com baixa diversidade. Utilizando-se da resposta funcional adquirida em experimentos juntamente com dados da literatura, foram realizadas simulações matemáticas para investigar a relação predador-preda, seguindo a fundamentação teórica de Lotka e Volterra, com adição de retardo no tempo, através do método de integração numérica de Euler. Usou-se o software Stella (v. 6.01) para as simulações. Como resultado, o modelo se mostrou sensível aos parâmetros, como a taxa de crescimento de *Spodoptera frugiperda* que afeta diretamente a dinâmica de seu predador de *Podisus nigrispinus*, ocasionando na maioria dos cenários simulados a extinção de ambas as espécies. Porém, na última simulação, no qual se obteve uma oscilação cíclica e auto sustentável, o baixo tamanho na população de predadores não foi problema para sua manutenção no sistema. Por isso, a compreensão da dinâmica e as formas como os organismo interagem é importante, para que se possa aumentar a complexidade do sistema e observar os resultados dessa interação, de forma que tais simulações possam ser úteis para se compreender os sistemas agrícolas e quais medidas devem ser tomadas para manutenção dos inimigos naturais no sistema, de forma que sua população seja capaz de se diminuir o número da praga algo além de persistir no sistema.

Palavras-chave: Stella; Dinâmica populacional; Resposta funcional

Abstract

The mathematical model simplifications of the systems allow the development of prototypes that enable the identification of the fundamental factors and their connections to understand complex systems. Therefore, it is possible to find ecological patterns to make projections and predictions about them. Thus, to apply this knowledge at agricultural systems helps to understand the trophic relationship among species, especially because it is already a simplified system. The functional response, acquired in experiments, combined with data from literature, were used for mathematical simulations to investigate the predator – prey relation, following the Lotka e Volterra theoretical formalism, with addition of temporal lag, by the Euler numerical integration. The Stella software was used (v. 6.01) for the simulations. As for result, the model showed to be sensitive to the growth rate parameters of *Spodoptera frugiperda*, which affects its predator's dynamics, causing the extinction of both species. Nevertheless, at the last scenario simulation, a cyclic behavior self sustainable was observed. The low population size of *Podisus nigripinus* was not a

problem to its maintenance in the system. For that, the comprehension of the organisms' dynamics and their interactions are important, so it is possible to increase the system's complexity and observe the results. Thus, in a way, those simulations can be useful to understand agricultural systems and which actions must be done to maintain the natural enemies in the system, so that they can control the pest population and persist locally.

Keywords: Stella; Population dynamics; Functional response

2.1 Introdução

A história dos modelos matemáticos aplicados às pragas agrícolas se reporta aos primórdios da modelagem dinâmica, envolvendo conceitos básicos de crescimento populacional e utilizando a base teórica advinda da lei da ação das massas, com problemas da cinética química (EDELSTEIN-KESHET, 1988). Os postulados observados na cinética de enzimas, pela constatação dos processos de aproximação de partículas inspiraram os escritos de Lotka e Volterra com base na análise da chance de encontro entre populações de predadores e presas (CASE, 2000). A interpretação da linguagem ecológica para um contexto agrícola demanda a analogia entre predador e presa com inimigo natural e praga razão pela qual as equações de Nicholson e Bailey trouxeram a dimensão de controle biológico para dentro da teoria ecológica.

Os modelos ecológicos são e sempre serão simplificações de sistemas, assim como também são as monoculturas e os experimentos laboratoriais e em casa de vegetação. Contudo, as simplificações permitem desenvolver protótipos compatíveis com a necessidade de interpretação particularizada (GODOY, 2012). A modelagem inicialmente proposta por Lotka, Volterra, Nicholson e Bailey seguiu as premissas básicas para modelar sistemas interativos, obedecendo às regras de modelagem no que diz respeito à retenção dos componentes essenciais para gerar séries dinâmicas, governadas por forças interativas ou fatores exógenos (CASE, 2000; CASWELL; DESHARNAIS, 2005).

A interface entre experimentação laboratorial e modelagem ecológica tem sido encorajada por ecologistas com a visão de que combinar teoria com experimentos supre a ciência de forma equilibrada (KAREIVA, 1989; CASWELL; DESHARNAIS, 2005). O suprimento dessa demanda diz respeito à avaliação de padrões ecológicos existentes por traz dos dados e também no que tange à possibilidade de projeções

ou predições comportamentais em nível populacional ou trófico (CASWELL; DESHARNAIS; 2005).

O cenário agrícola brasileiro é repleto de sistemas ricos em interações tróficas, onde se pode observar desde interações notavelmente mais simples, envolvendo a participação de poucas espécies, até mesmo sistemas com complexas redes tróficas. As formulações matemáticas e os recursos computacionais disponíveis para investigar estes sistemas incluem o uso de recursos advindos do cálculo integral e diferencial, de onde se retira todo o ferramental, expresso geralmente pelo uso convencional de equações a diferenças finitas ou equações diferenciais (MURRAY; 2003). O recomendado para estudos de problemas que ainda não dispõe de informações consolidadas, tanto no que diz respeito à estimativa de parâmetros, como no tocante ao conhecimento biológico pleno do sistema, é a utilização de modelos que investiguem os sistemas de forma gradual e particionada (HASTINGS, 1997; CASWELL; DESHARNAIS, 2005). Sob esse aspecto, os experimentos realizados em laboratório podem contribuir muito com a estimativa de parâmetros em razão de serem obtidos sob condições controladas (KAREIVA, 1989; CASWELL; DESHARNAIS, 2005).

A busca de modelos adequados para descrever a dinâmica predador presa sob estas circunstâncias continua a ser um desafio para os ecologistas, visto que as formulações gerais podem não atender as necessidades de modelagem do sistema, razão pela qual, da mesma forma que a simplificação experimental é tolerada no meio acadêmico, a simplificação nos processos de modelagem é fator preponderante para o sucesso do uso de modelos como descritores de sistemas reais (HASTINGS, 1997, HASTINGS; GROSS 2012). Os motivos acima mencionados fundamentaram a decisão em escolher *Podisus nigrispinus* e *Spodoptera frugiperda* como modelos de estudos laboratoriais para este estudo de interface metodológica. As duas espécies são consideradas bem estudadas sob vários aspectos, principalmente no que diz respeito à biologia e ecologia, oferecendo condições para a obtenção de estimativas em laboratório em alguns casos e para outros o benefício da existência prévia de dados na literatura.

Esse estudo é assim iniciativa pioneira no cenário da entomologia agrícola e florestal, já que propõe usar a interface entre ferramentas analíticas da modelagem e experimentação em laboratório. O objetivo do estudo é combinar estimativas de

parâmetros populacionais obtidas em laboratório e na literatura específica, com modelagem ecológica desenvolvida em software de manipulação algébrica. Dessa forma, dados de resposta funcional estimados em laboratório para *P. nigrispinus* sobre *S. frugiperda* e estimativas de parâmetros demográficos disponíveis na literatura foram utilizados em modelo implementado em software de linguagem diagramática para modelar a dinâmica predador presa das duas espécies. O estudo visou avaliar diferentes cenários de distribuição de abundância do predador e da presa, favoráveis e desfavoráveis à obtenção de trajetórias populacionais sustentáveis para a manutenção das espécies, com vistas a aplicações futuras em criação massal e programas de manejo integrado de pragas.

2.2 Material e Métodos

O estudo foi realizado combinando dados de resposta funcional obtidos em laboratório (capítulo integrante deste trabalho), dados publicados na literatura específica (CHAPMAN et al., 1999, OLIVEIRA et al., 2004, VACARI; De BORTOLI, 2007, UNDERWOOD, 2010, RODRIGUEZ-DEL-BOSQUE et al., 2012, ROSA et al., 2012) e simulações numéricas geradas em software de manipulação algébrica. As simulações foram realizadas a partir de um modelo matemático adaptado para a relação predador presa (HANNON; RUTH, 1997), seguindo a fundamentação teórica das equações de Lotka e Volterra. As equações básicas descrevem um sistema com auto sustentação por tempo indeterminado desde que mecanismos reguladores estejam inseridos, gerando ciclos periódicos. Para viabilizar este processo outras pressuposições são necessárias, como por exemplo, a reprodução em tempo contínuo (COSTA; GODOY 2010). As equações (1) e (2) descrevem o processo de predação proposto por Lotka e Volterra.

$$\frac{dp}{dt} = rp - fpP \quad (1),$$

$$\frac{dP}{dt} = -mP + nfpP \quad (2).$$

Nas equações (1) e (2), a trajetória da população de presas (p) e de predadores (P) segue em tempo contínuo. A população de presas (eq. 1) depende da sua taxa intrínseca de crescimento (r) e do seu número inicial de indivíduos (p). A taxa de encontro entre p e P é governada por f , comumente denominada de resposta funcional do predador. Assume-se, uma variação linear de acordo com a abundância de presas. A equação 2 descreve o crescimento populacional pressupondo que m é a mortalidade da população de predadores na ausência da população de presas. A resposta numérica é dada por n , que mede a produção *per capita* de prole de predadores também como uma função da abundância de presas.

Com base nas equações (1) e (2), algumas adaptações foram feitas, sobretudo para inserir o retardo no tempo e as expressões foram a base das simulações. As simulações foram realizadas utilizando o método de integração numérica de Euler. Equações diferenciais ordinárias (EDO) são comumente empregadas para descrever fenômenos da natureza, como por exemplos as interações predador presa investigadas neste estudo (MURRAY, 2003). Há uma variedade de métodos que resolvem analiticamente uma EDO. Porém, nem sempre é possível obter uma solução analítica para a equação, razão pela qual recorre-se aos métodos numéricos, que geram soluções com boa aproximação.

Conceito geral do método de Euler

Para exemplificar o funcionamento da integração numérica pelo método de Euler nada melhor que mencionar o contexto físico para a movimentação de partículas, que é o ponto de partida para compreender a descrição de processos biológicos por meio de EDO. Partículas movem-se sobre a influência de forças cuja resultante é constante. Portanto, têm aceleração constante e assim é possível encontrar a velocidade e a posição delas a cada instante, a partir de fórmulas matemáticas (van BRUNT, 2004). Contudo, as partículas movem-se em espaço onde a aceleração depende da posição e da velocidade. A posição, a velocidade e a aceleração da partícula em dado instante determinam a posição e a velocidade no instante seguinte, que por sua vez, determina a aceleração naquele instante. Os três fatores acima agem sobre determinado corpo e variam continuamente no tempo (van BRUNT, 2004). Com uma aproximação pode-se substituir a variação contínua

de tempo por uma sequência de pequenos intervalos com duração Δt . A aproximação mais simples é a que supõe constante a aceleração durante cada intervalo de tempo, dando origem ao método de Euler (van BRUNT, 2004).

O modelo utilizado partiu da pressuposição que interações predador presa são eventos que ocorrem na natureza seguindo mecanismos interativos baseados em funções advindas da relação entre uma variável independente e outra dependente. Especificamente para o cenário envolvendo predador presa foram utilizadas funções que descrevem a relação entre taxa de crescimento e densidade da presa, consumo *per capita* pelo predador sobre a presa (resposta funcional), tempo de desenvolvimento em resposta ao consumo *per capita* de presas e crescimento do predador em função da densidade de presa no tempo anterior. As funções foram introduzidas em equações diferenciais descritoras da dinâmica predador presa, seguindo as premissas básicas das equações de Lotka Volterra, com soluções periódicas (MURRAY, 2003).

O software Stella, versão 6.01 foi utilizado para modelar a dinâmica predador presa no presente estudo. O software utiliza diagramas de fluxo, como o utilizado neste estudo (Figura 1) para estabelecer os pressupostos dos modelos interativos, introduzindo os componentes essenciais de cada sistema pela utilização de regras de fluxo (HANNON; RUTH, 1997).

A Figura 1 descreve com os retângulos as populações de presa e predador. As Figuras que agregam círculos e setas largas (azuis) dão a dimensão dos fluxos de entrada e saída para alimentar o sistema, de forma que as entradas determinam o recebimento os fatores de crescimento da população e as saídas os fatores que levam a população à mortalidade natural ou, para o caso específico de presas, a eliminação pelo predador. Os círculos isolados em relação ao fluxo representam as funções acima mencionadas e as setas estreitas (vermelhas), a relação das funções com os fluxos de entrada e saída para predadores e presas.

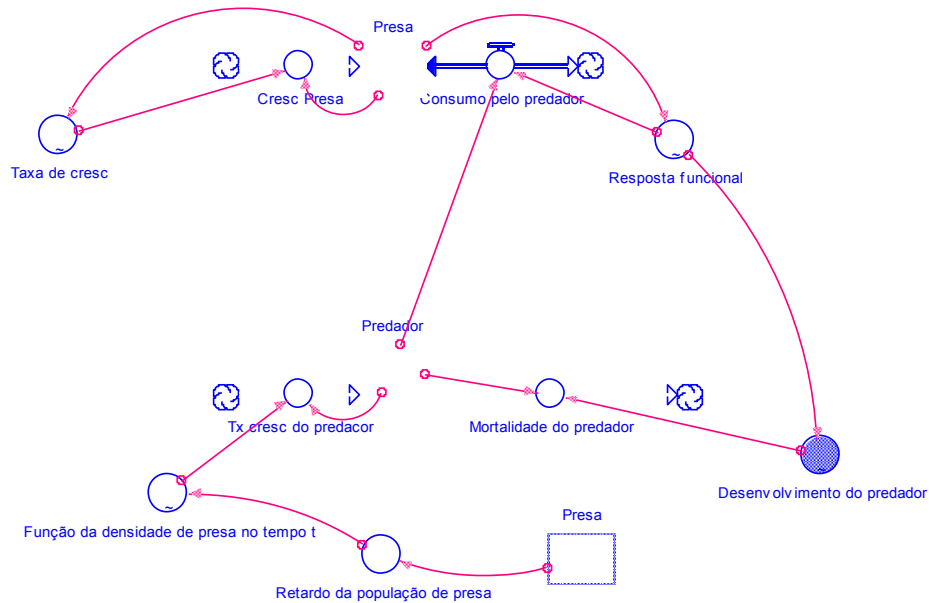


Figura 1 - Diagrama de fluxos e estoques descrevendo a interação predador presa no Stella

O modelo desenvolvido para descrever a dinâmica de predação de *P. nigrispinus* sobre *S. frugiperda* foi fundamentado em duas partes principais, uma com a variação populacional em função da densidade para a presa e outra para o predador. A seguir são apresentadas as condições iniciais para obtenção das simulações, admitindo o cenário 1, com resultado desfavorável para as duas espécies e cenários posteriores, em que se propõe tentativas para condições propícias a auto sustentação do sistema predador presa.

Adotando este procedimento foi possível fazer uma análise de sensibilidade dos parâmetros do modelo e das funções, visando o conhecimento dos padrões funcionais e espaço paramétrico determinantes do fracasso e posteriormente do sucesso da manutenção das populações de *P. nigrispinus* e *S. frugiperda* em laboratório. Assim, para este cenário, assumiu-se que a taxa de crescimento de *S. frugiperda* é influenciada por uma função decrescente em resposta à densidade de imaturos.

O gênero *Spodoptera* é composto por espécies sensíveis à densidade larval, seja pela possibilidade de competição interespecífica e, sobretudo pela reação canibal do inseto sob escassez alimentar (CHAMPMAN et al., 1999, 2000; UNDERWOOD, 2010; RODRIGUEZ-DEL-BOSQUE et al., 2012). O consumo de *S. frugiperda* por *P. nigrispinus* foi também modelado como função não linear dependente da densidade, contudo o formato predominante da curva foi do tipo

assintótico, expresso por uma função crescente com saturação a partir de determinada densidade, função esta denominada de resposta funcional. O ajuste da resposta funcional do tipo II foi utilizado como a função inserida no modelo, em razão dos resultados experimentalmente obtidos sobre resposta funcional. Para tanto, os valores preditos estimados pelo ajuste da função de Holling do tipo II aos dados obtidos em laboratório foram utilizados para inserir o padrão de resposta funcional no modelo predador presa empregado neste estudo. A taxa de crescimento em tempo prévio refletiu a função da densidade de *S. frugiperda* no tempo t , representando o retardo temporal por conta da passagem do estágio larval para o adulto, com implicações para a geração seguinte da população (tempo $t+1$).

A função seguiu o modelo sigmoidal, que se aproxima do padrão de evolução dos valores de viabilidade entre estágios de vida em *S. frugiperda* (ROSA et al., 2012). A função para o desenvolvimento e tempo de vida seguiu o padrão exponencial, levando em conta resultados já encontrados para o desenvolvimento de *P. nigrispinus* sobre *S. frugiperda* (OLIVEIRA et al., 2004). O diagrama presente na Figura 2 indica que a viabilidade da população da presa é mantida pela *entrada* (*input*), com a sua própria taxa de crescimento, advinda do consumo de substratos vegetais e tem a *saída* (*output*), pelo consumo advindo do predador. O predador é governado por seu crescimento populacional (*entrada*) advindo de uma função de retardo dada pela interação com a presa e a *saída* é refletida pela mortalidade da população, influenciada pela disponibilidade de presas e pelo seu desenvolvimento e tempo de vida.

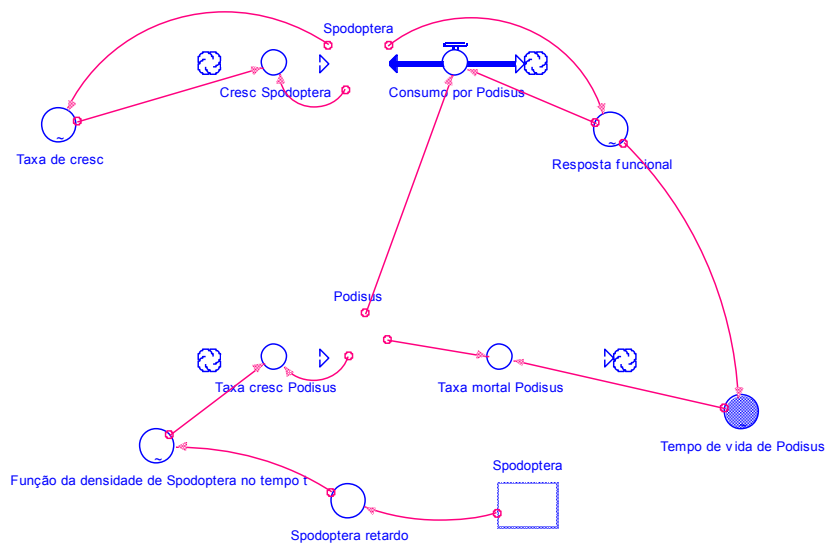


Figura 2 - Diagrama de fluxos e estoques descrevendo a interação predador presa para o sistema *Spodoptera frugiperda* e *Podisus nigrispinus*

2.3 Resultados

A simulação gerada para o primeiro cenário, ou seja, utilizando as condições iniciais de acordo com os pressupostos presentes em Material e Métodos, resultou na extinção das duas espécies em menos de quarenta dias (Figura 3a). Nota-se no diagrama da simulação realizada (Figura 3b) que nos retângulos representativos das duas espécies as setas laranja apontam para linhas pontilhadas na base deles, que determinam a baixa abundância e persistência das populações, confirmadas pela Figura 3a.

Neste cenário, a função que relaciona a taxa negativa de crescimento de *S. frugiperda* em resposta à sua densidade apresenta-se no formato original, de acordo com o padrão obtido por Underwood (2010), caracterizada por decréscimo suave da taxa de crescimento em densidades baixas e intermediárias, seguido de queda drástica nas densidades mais altas. O maior valor utilizado na simulação foi de 0,42 e o menor atingiu zero (UNDERWOOD, 2010).

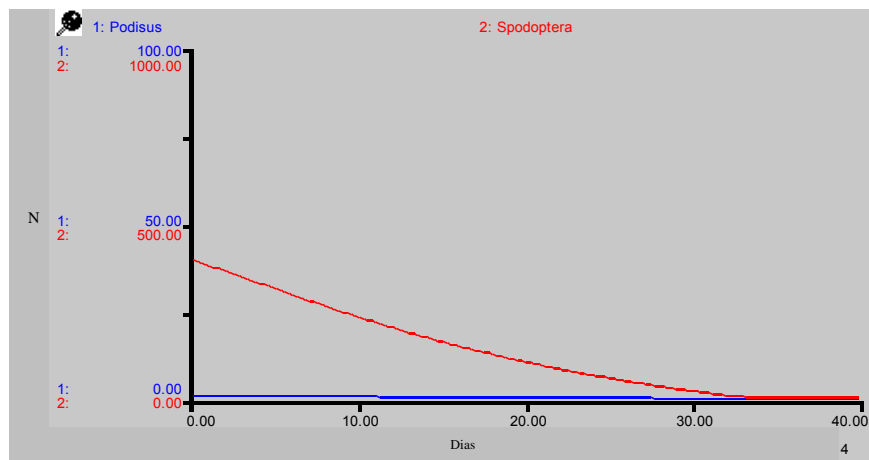


Figura 3a - Dinâmica populacional de *S. frugiperda* (linha vermelha) e *P. nigrispinus* (azul) para o cenário 1, desfavorável às duas espécies

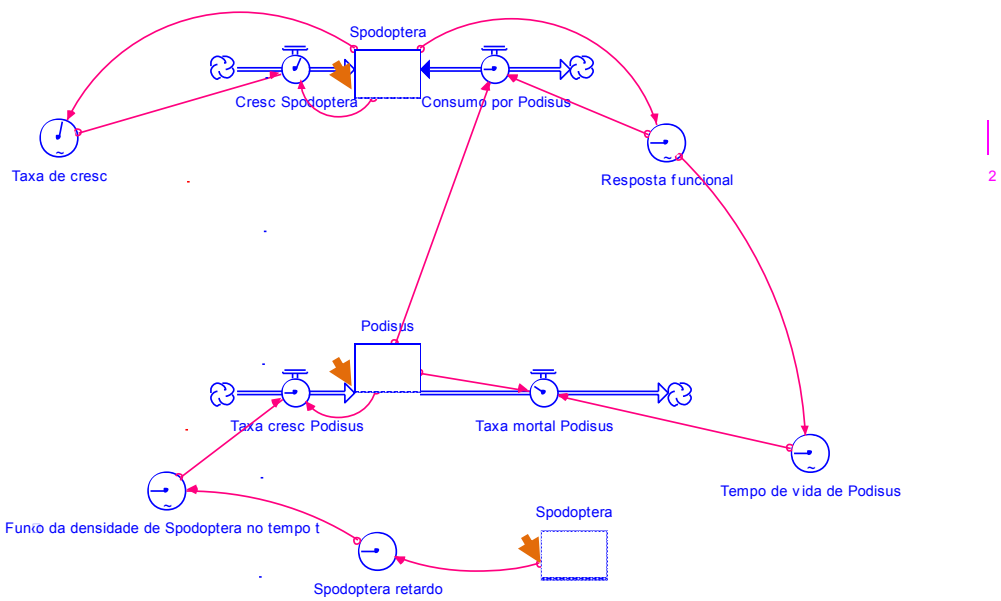


Figura 3b - Diagrama para a simulação de *S. frugiperda* (linha vermelha) e *P. nigrispinus* (azul) com o cenário 1, desfavorável às duas espécies

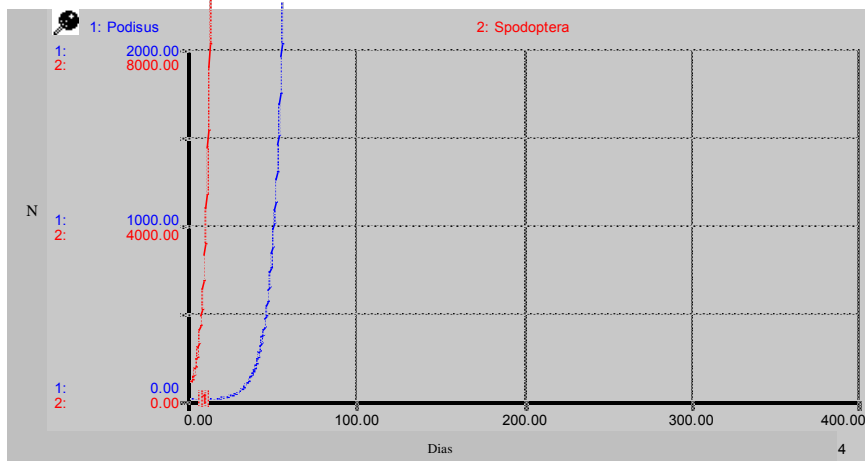


Figura 4a - Dinâmica populacional de *S. frugiperda* (linha vermelha) e *P. nigrispinus* (azul) para o cenário 2, explosão populacional para as duas espécies

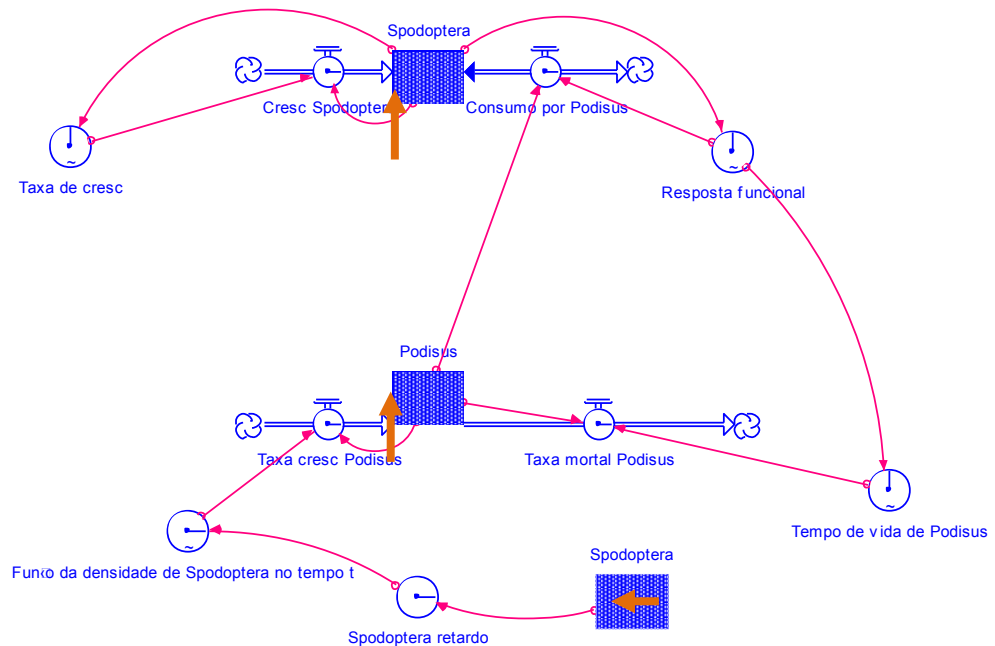


Figura 4b - Diagrama para a simulação de *S. frugiperda* (linha vermelha) e *P. nigrispinus* (azul) com o cenário 2, contenção da taxa de crescimento da presa

O cenário 2 também consistiu da análise de sensibilidade da taxa de crescimento de *S. frugiperda*. Porém, o decréscimo da taxa de crescimento de *S. frugiperda* foi contido, evitando que a trajetória da taxa em função da densidade chegasse à zero. A maior taxa utilizada foi de 0,42 e a menor 0,29. Essa alteração levou as populações de *S. frugiperda* e *P. nigrispinus* à explosão populacional (Figura 4a). Os retângulos do diagrama aparecem agora totalmente preenchidos em azul, conforme indicados pelas setas laranja, resultante das ações adotadas para simular as explosões populacionais. O cenário 3 reflete a tentativa de encontrar um valor que coloque em equilíbrio as populações de predador e presa, diminuindo o último valor da taxa de crescimento para 0,174.

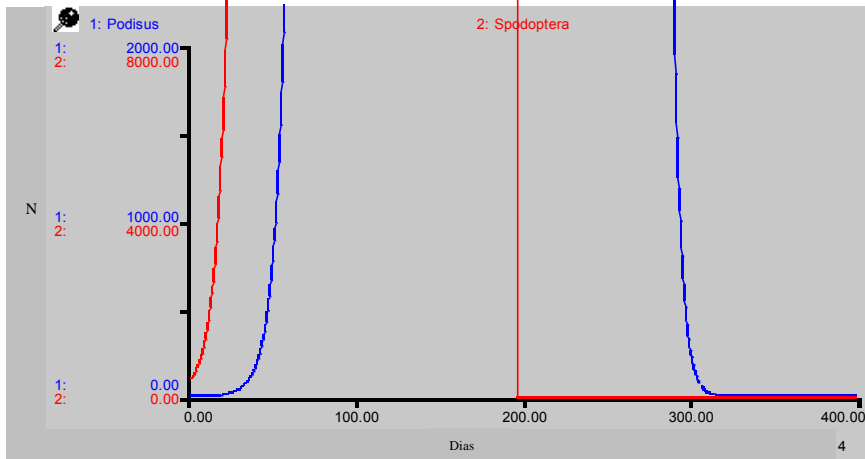


Figura 5a - Dinâmica populacional de *S. frugiperda* (linha vermelha) e *P. nigrispinus* (azul) para o cenário 3, busca do equilíbrio

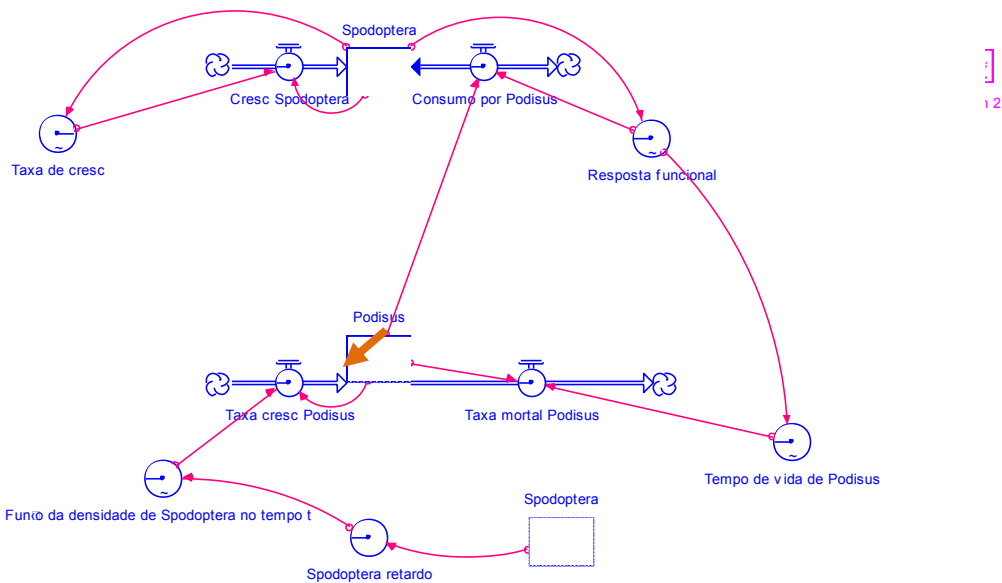


Figura 5b - Diagrama para a simulação de *S. frugiperda* (linha vermelha) e *P. nigrispinus* (azul) com o cenário 3, busca do equilíbrio

A Figura 5a descreve explosão populacional para as duas populações seguidas de extinção subsequente. Na Figura 5b, pode-se notar pela seta laranja que apenas *P. nigrispinus* persistiria, no entanto com valores muito próximos zero, levando a população à completa extinção em seguida. O aumento do valor da taxa de crescimento para 0,175 conduz as populações ao cenário 2, ou seja, explosão populacional novamente, o que sugere que o valor ideal estaria entre 0,174 e 0,175.

As limitações algébricas do software não permitiram a simulação com mais

casas decimais. Assim, o passo seguinte foi criar o cenário 4, analisando a sensibilidade de outra função. A função analisada em seguida foi a resposta funcional de *P. nigrispinus* sobre *S. frugiperda*. A análise do cenário 4 envolveu a redução do ponto de saturação da curva (assíntota) de 15,9 para 6,72, o que resultou no ressurgimento das populações para ambas as espécies (Figuras. 6a e 6b), contudo, sugerindo valores muito próximos à zero para *P. nigrispinus*, o que inviabilizaria a sua ação sobre *S. frugiperda*.

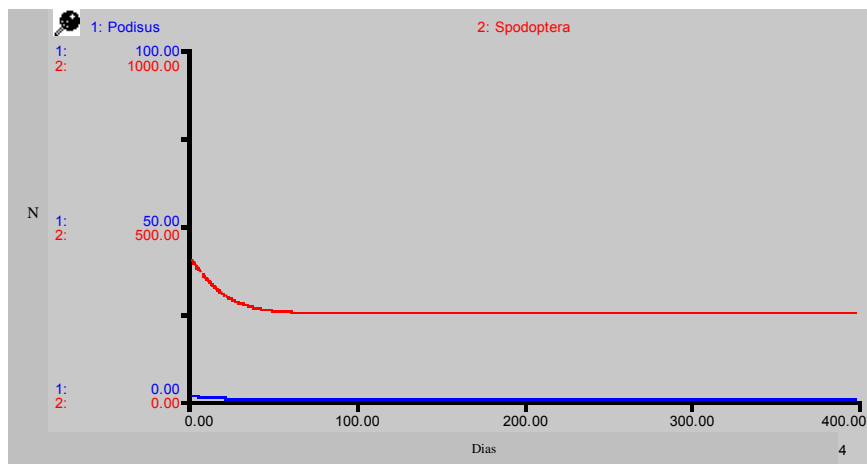


Figura 6a - Dinâmica populacional de *S. frugiperda* (linha vermelha) e *P. nigrispinus* (azul) para o cenário 4, análise da função de resposta funcional

A Figura 6b mostra as proporções para predador e presa indicadas pelas setas em laranja. Em simulação subsequente realizada com valor assintótico alterado para 4,8, a população de *P. nigrispinus* desaparece, conforme mencionado na apresentação do resultado da Figura 6a.

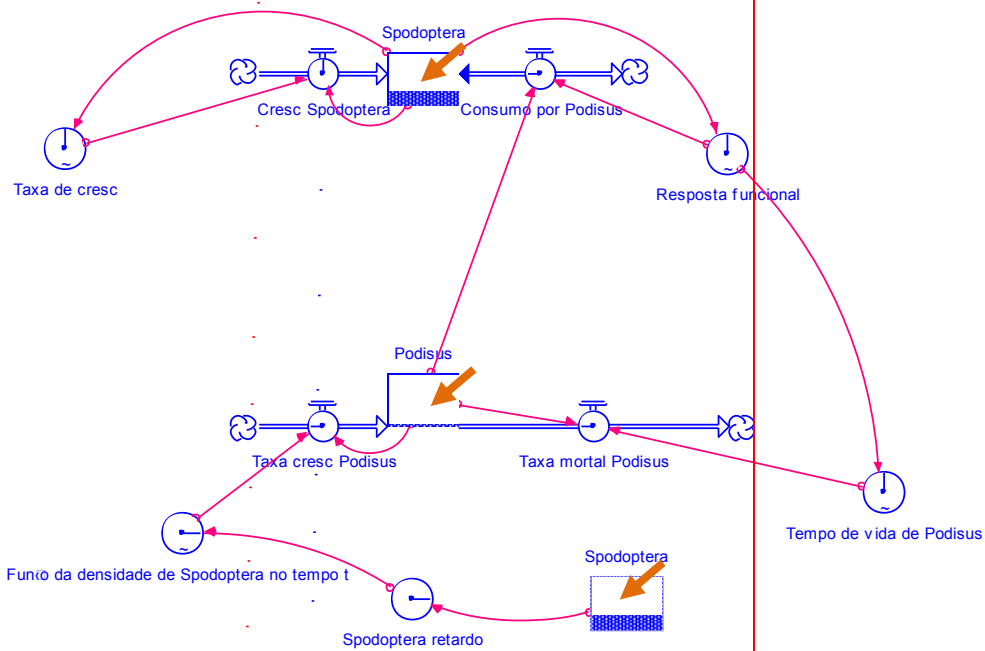


Figura 6b - Diagrama para a simulação de *S. frugiperda* (linha vermelha) e *P. nigrispinus* (azul) cenário 4, análise da função de resposta funcional

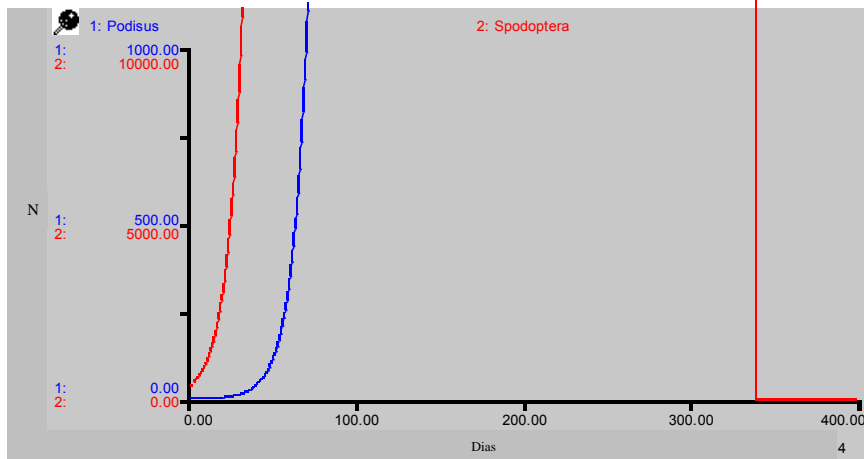


Figura 7a - Dinâmica populacional de *S. frugiperda* (linha vermelha) e *P. nigrispinus* (azul) para o cenário 5, sensibilidade da função de resposta funcional associada à taxa de crescimento de *S. frugiperda*

O quinto cenário envolveu a análise combinada da função de resposta funcional de *P. nigrispinus* com a taxa de crescimento de *S. frugiperda*, trazendo um resultado interessante, descrito pela explosão populacional das duas espécies, porém seguida da extinção somente de *S. frugiperda*. Entretanto, a população de *P. nigrispinus* manteve-se com crescimento ilimitado, o que implica em extinção

subsequente, já que em laboratório a população de *S. frugiperda* estaria extinta.

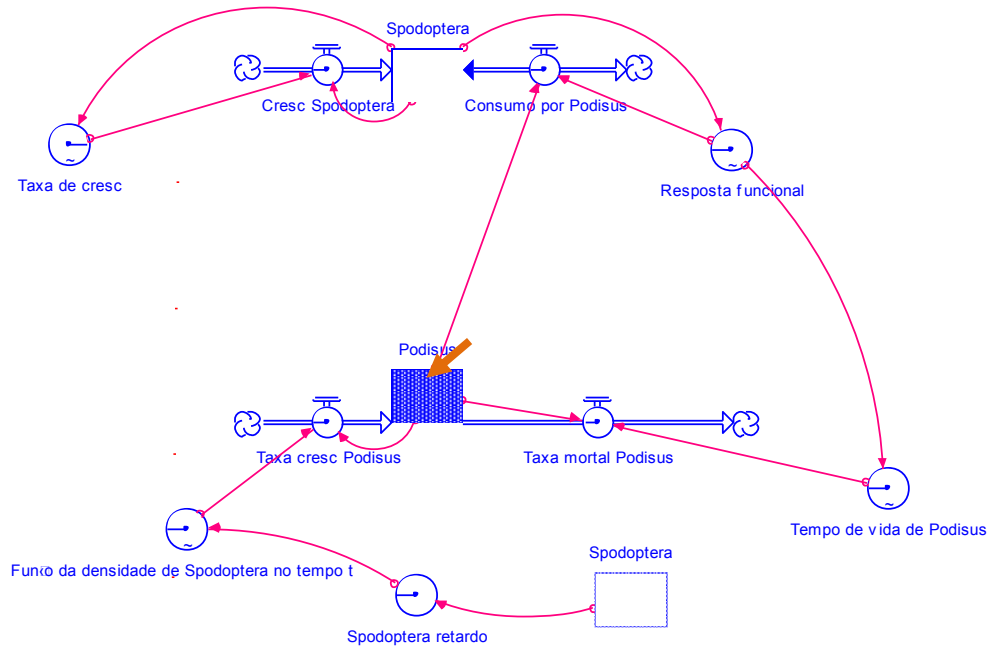


Figura 7b - Diagrama para a simulação de *S. frugiperda* (linha vermelha) e *P. nigrispinus* (azul) com o cenário 5, sensibilidade da função de resposta funcional associada à taxa de crescimento de *S. frugiperda*

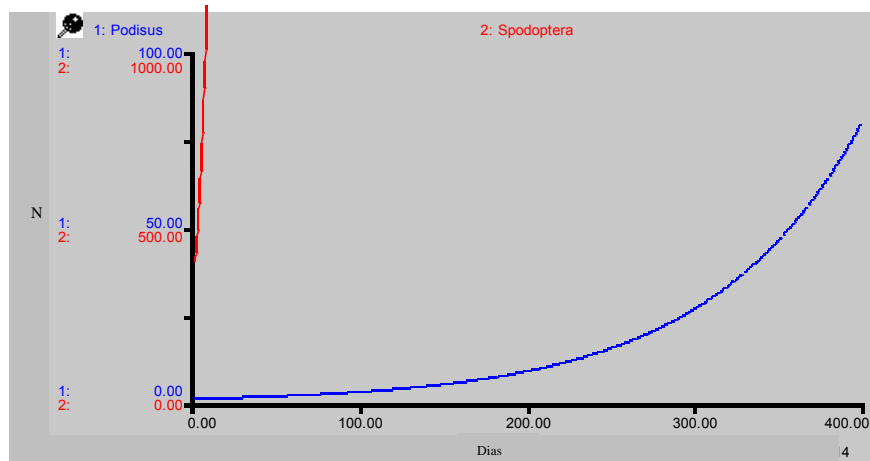


Figura 8a - Dinâmica populacional de *S. frugiperda* (linha vermelha) e *P. nigrispinus* (azul) para o cenário 5, sensibilidade da função de resposta funcional associada à taxa de crescimento nos tempos $t+1$ e t de *S. frugiperda*

O resultado que aparece nas Figuras 8a e 8b mostra uma importante relação entre a resposta funcional de *P. nigrispinus* e a taxa de crescimento de *S. frugiperda*,

especialmente no tempo t . É curioso notar como a diminuição da taxa de crescimento no tempo t de *S. frugiperda* (redução drástica para 0,06) afeta profundamente a população de *P. nigrispinus* conforme indicado pela seta laranja (Figura 8b). É importante notar esta relação, visto que o retângulo demonstrando o tamanho populacional de *S. frugiperda* no tempo $t + 1$ está totalmente preenchido, o que poderia indicar que há recursos suficientes para *P. nigrispinus*. Entretanto, quando a população de *S. frugiperda* é contida no tempo t , a influência sobre *P. nigrispinus* é bastante clara, decrescendo a sua abundância (Figuras. 8a, 8b).

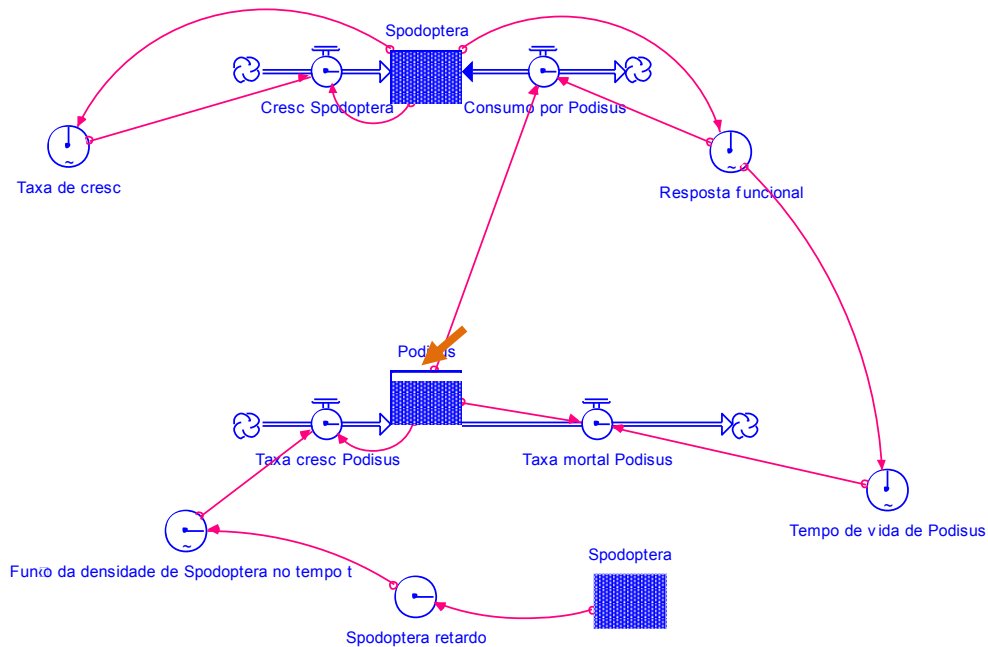


Figura 8b - Diagrama para a simulação de *S. frugiperda* (linha vermelha) e *P. nigrispinus* (azul) com o cenário 5, sensibilidade da função de resposta funcional associada à taxa de crescimento nos tempos $t+1$ e t de *S. frugiperda*

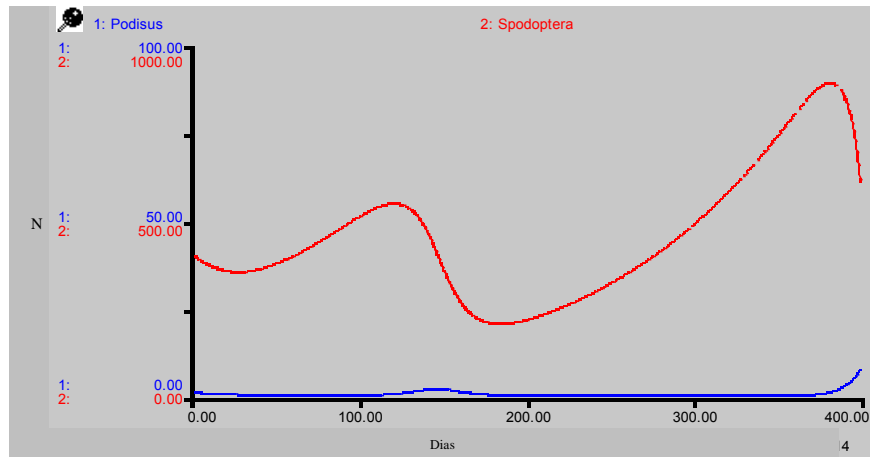


Figura 9a - Dinâmica populacional de *S. frugiperda* (linha vermelha) e *P. nigrispinus* (azul) para o cenário 6, sensibilidade da função de resposta funcional associada à taxa de crescimento no tempo $t+1$ com decréscimo da função da taxa em degraus

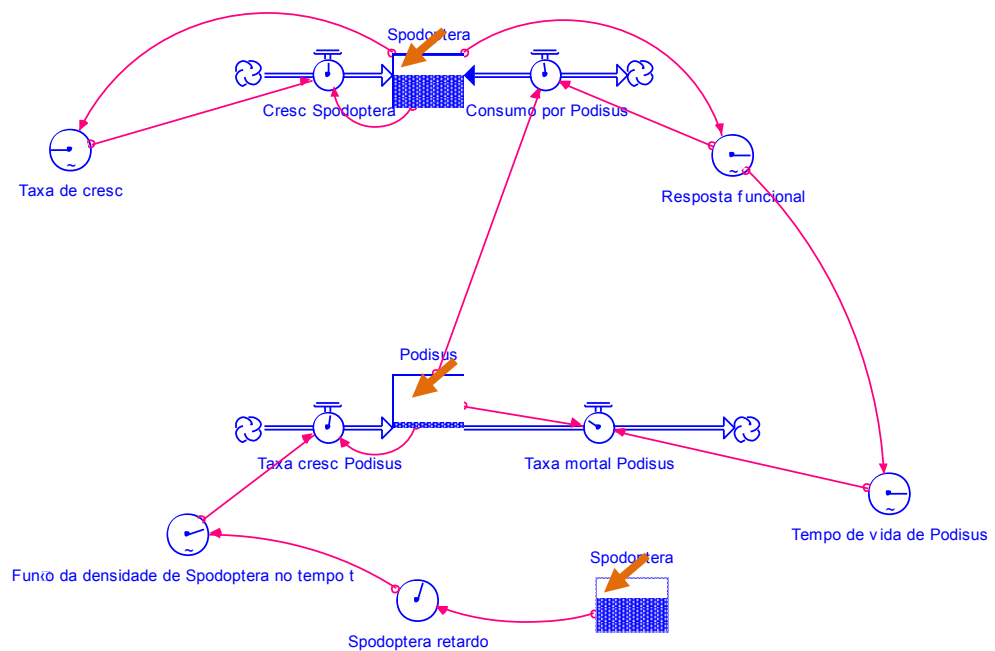


Figura 9b - Diagrama para a simulação de *S. frugiperda* (linha vermelha) e *P. nigrispinus* (azul) com o cenário 6, sensibilidade da função de resposta funcional associada à taxa de crescimento nos tempos $t+1$ e t de *S. frugiperda* com decréscimo da função da taxa em degraus

No último cenário investigado neste estudo (Figuras. 9a e 9b) obteve-se o melhor das simulações, ou seja, predador e presa aparecem de forma cíclica com auto sustentação em densidades baixas se comparadas às anteriormente encontradas e sem o surgimento de surtos. A Figura 9a mostra a persistência de *P.*

nigrispinus e *S. frugiperda* por pelo menos 400 dias, resultado que em laboratório seria altamente desejável. A Figura 9b confirma a proporção entre as abundâncias, pela comparação entre as setas em laranja.

2.4 Discussão

A utilização das condições iniciais para a simulação do primeiro cenário resultou na extinção de predador e da presa em poucas gerações. O modelo matemático utilizado tem como condição única de equilíbrio no sistema a combinação entre as forças de interação entre predador e presa. Não há neste modelo o auto controle da densidade da presa, como por exemplo ocorre no modelo logístico tendo a capacidade suporte inserida (CASE, 2000), por isso, não há mecanismos ecológicos capazes de evitar por antecipação o declínio da população.

Essa condição leva o sistema à extinção rapidamente, já que, em baixos tamanhos populacionais de presa e também do predador a taxa de encontro é geralmente muito baixa para gerar sustentabilidade às populações (SIH, 1987). Essa situação só pode ser revertida por meio do aumento da densidade da presa ou a menos que o predador disponha de mecanismos refinados de detecção da presa (HEIN; MCKINLEY, 2013).

No cenário 2 o decréscimo da taxa de crescimento de *S. frugiperda* foi contido, evitando que a trajetória da taxa em função da densidade chegasse à zero, o que ocasionou subsequentemente a explosão populacional da presa e do predador, com populações ilimitadas. Essa simulação revelou que a contenção da queda da taxa de crescimento pode agir como fator estimulador do crescimento em gerações subsequentes, visto que o balanço entre nascimentos e mortes torna-se desequilibrado, fazendo com que o sistema funcione como se não houvesse limites de crescimento para a presa e em consequência para o predador (BEGON; HARPER; TOWNSEND 1996).

Já o cenário 3, explosão seguida de declínio para presa e predador, reflete a tentativa de controle sobre a população, buscando o equilíbrio entre os integrantes. A manipulação da queda da mortalidade de *S. frugiperda* dependeu significativamente do número de casas decimais dos valores da função de decréscimo da taxa da presa e, por limitações algébricas do critério de convergência do parâmetro, o equilíbrio não foi encontrado, apesar de haver indicações do espaço paramétrico

adequado. O cenário 4 mostrou resultados aparentemente interessantes, com a contenção de *S. frugiperda* em valores estáveis e muito menores que os anteriormente obtidos. Contudo, os patamares em que *P. nigrispinus* se estabeleceu eram muito críticos pela proximidade com zero, impedindo que a espécie conseguisse restabelecer-se e alcançasse tamanho mínimo viável para se estabelecer.

Cabe lembrar que o modelo não pressupõe generalismo na predação, apesar de *P. nigrispinus* ser considerado predador generalista (HOLTZ *et al*, 2009). O fato é que o modelo se propõe a descrever um sistema predador presa em laboratório, e, portanto onde não há a disponibilidade de outros recursos que não sejam *S. frugiperda*. A existência de outra espécie poderia funcionar como um tipo de “refúgio” para o predador, fazendo com que suas populações aumentassem. Esse processo é comumente denominado de resposta à diversidade de presas (HIXON; MENGE, 1991).

O quinto cenário foi uma combinação de análise de sensibilidade entre a função de resposta funcional de *P. nigrispinus* com a taxa de crescimento de *S. frugiperda*. O resultado poderia ser descrito por explosão populacional das duas espécies, porém seguida da extinção somente de *S. frugiperda*. Apesar de ser aparentemente desejável, em laboratório a população de *P. nigrispinus* teria subsequente crescimento ilimitado, o que seria desfeito em pouco tempo pela indisponibilidade de presas alternativas. A combinação de funções poderia ser recomendável para sistemas em que se faz reposição de um dos integrantes da interação, no caso a reposição de *P. nigrispinus* a partir de criações estoque.

O cenário seguinte não é interessante, pois combina as funções de forma que a população de *P. nigrispinus* permanece em patamares altíssimos, porém sem nenhuma disponibilidade de presa. O último cenário é sem dúvida o melhor de todos (Figuras 9a e 9b). Nele nota-se redução significativa da população de *S. frugiperda*, sem o surgimento de picos e com tendência cíclica. A manutenção da população de *P. nigrispinus* em valores bem inferiores não parece resultar em problemas para o sistema pois a sua ligeira tendência cíclica restabelece os níveis populacionais, ainda que dentro do período de 400 dias. A simulação indica a persistência de ambas as espécies por pelo menos 400 dias, o que seria pouco mais que um ano em laboratório. A provável baixa taxa de ataque de *P. nigrispinus* poderia ser

“manipulada” conhecendo-se os padrões ideais de resposta funcional, que pela função investigada na simulação deveria ter assíntota rapidamente atingida. Já a função de decréscimo da taxa de crescimento de *S. frugiperda* precisaria seguir a tendência de queda gradual, no formato de “degraus”, conforme mencionado na legenda das Figuras 9a e 9b.

Pouco se sabe sobre o que realmente está por trás dos ciclos populacionais em insetos, contudo, os ciclos refletem certamente o grau de dependência entre fatores ambientais e espécies e também a sincronia entre integrantes de relações tróficas (BERRYMAN, 2002). Do ponto de vista de estabilidade o cenário desejável é aquele com a menor complexidade possível, já que populações que exibem ciclos, principalmente aqueles imprevisíveis, tornam-se de difícil manejo (CUSHING *et al.* 2003). As causas dos ciclos são então de análise complexa, contudo a combinação de experimentos em laboratório com a utilização de modelos populacionais pode, em profundidade, investigar por meio de manipulações algébricas, análise de funções e sensibilidade de parâmetros possíveis causas que geram ciclos e obter evidências para inferir sobre como controlar ciclos periódicos ou até mesmo caóticos (CUSHING *et al.*, 2003).

2.5 Considerações Finais

O modelo aqui testado tem caráter preliminar, mas trás resultados importantes para aplicações em novas proposições, sobretudo utilizando equações diferenciais, possivelmente incluindo funções estocásticas, ou seja, de caráter probabilístico, que permitam maior flexibilidade das funções para incluir as incertezas dos sistemas predador presa, dadas pelas variações individuais dos insetos, mesmo em laboratório. O passo seguinte seria incluir no modelo cenários com predadores alternativos e também presas alternativas, para investigar como o equilíbrio das populações de predadores e presas se comporta. Infelizmente não nos foi possível modelar o sistema utilizando o outro predador que aparece nos próximos capítulos, *G. bicolor*, por conta da inexistência completa de dados e funções parametrizadas para a espécie.

Referências

- BEGON, M.; HARPER, J.L.; TOWNSEND, C.R. **Ecology**: individuals, populations and communities. 3rd ed. Cambridge: Blackwell Scientific, 1996. 1068 p.
- BERRYMAN, A. **Population cycles**: the case for trophic interactions. Oxford: Oxford University Press, 2002. 208 p.
- CASE, T.J. **An illustrated guide to theoretical ecology**. Oxford USA Trade, Oxford: Oxford University Press, 2000. 449 p.
- CASWELL, H.; DESHARNAIS, R. A. **Population dynamics and laboratory ecology**. New York: Academic Press, 2005. 722 p.
- CHAPMAN, J.W.; WILLIAMS, T.; ESCRIBANOC, A.; CABALLERO, P.; CAVE, R.D.; GOULSONA, N. Fitness consequences of cannibalism in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. **Behavioral Ecology**, Oxford, v.10, n. 3, p. 298-303, 1999.
- CHAPMAN, J.W.; WILLIAMS, T.; MARTÍNEZ, A.M.; CISNEIROS, J.; CABALLERO, P.; CAVE, R.D.; GOULSON, D. Does cannibalism in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) reduce the risk of predation? **Behavioural Ecology and Sociobiology**, New York, v. 48, n. 4, p. 321-327, Sept. 2000.
- COSTA, M.I.S.; GODOY, W. A.C. **Fundamentos da ecologia teórica**. São Paulo: Minha Editora, 2010. 67 p.
- CUSHING, J.M.; CONSTANTINO, R.F.; DENNIS, B.; DESHARNAIS, R.; HENSON, S.M. **Chaos in ecology**: experimental nonlinear dynamics. New York: Academic Press, 2003. 225 p. (Theoretical Ecology Series, 1).
- EDELSTEIN-KESHET, L. **Mathematical models in biology**. Philadelphia: Ed. Siam, 1988. 586 p.
- GODOY, W.A.C. Padrões ecológicos e tamanhos populacionais críticos: sensores importantes em modelagem e controle. **Oecologia Australis**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 1, p. 32-42, mar. 2012
- HANNON, B.; RUTH, M. **Modeling dynamics biological systems**. New York: Springer, 1997. 399 p.
- HASTINGS, A. **Population biology**: concepts and models. New York: Springer, 1997. 220 p.
- HASTINGS, A.; GROSS, L. **Encyclopedia of theoretical ecology**. Berkeley: University of California Press, 2012. 823 p.
- HEIN, A.M.; MCKINLEY, S.A. Sensory information and encounter rates of interacting species. **Computational Biology**, New Rochelle, v. 9, n. 8, p. 1-11, Aug. 2013.

HIXON, M.A.; MENGE, B.A. Species diversity: prey refuges modify the interactive effects of predations and competition. **Theoretical Population Biology**, New York, v. 39, n. 2, p. 178-200, 1991.

HOLTZ, A.M.; ALMEIDA, G.D. de; FADINI, M.A.M.; ZANUNCIO-JUNIOR, J.S.; ZANUNCIO, T.V.Z.; ZANUNCIO, J.C. Survival and reproduction of *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae): effects of prey scarcity and plant feeding. **Chilean Journal of Agricultural Research**, Chillán, v. 69, n. 3, p. 468-472, Sept. 2009.

KAREIVA, P. Renewing the dialog between theory and experiments in population ecology. In: ROUGHGARDEN, J.R.; MAY, M.; LEVIN, S.A. (Ed.). **Perspectives in ecological theory**. Princeton: Princeton University Press, 1989. p. 68-88.

MURRAY, J.D. **Mathematical biology**. Berlin: Springer, 1993. 767 p.

OLIVEIRA, H.N.; PRATISSOLI, D.; PEDRUZZI, E.P.; ESPÍNDULA, M.C. Desenvolvimento do predador *Podisus nigrispinus* alimentado com *Spodoptera frugiperda* e *Tenebrio molitor*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 10, p. 947-951, out. 2004.

ROSA, A.P.A.; ROSA, C.O. da; TRECHA, A.C.; ALVES, L.; GARCIA, V.P. GONÇALVES. Biologia e tabela de vida de fertilidade de *Spodoptera frugiperda* (j.e. smith) em linhagens de milho. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 79, n. 1, p. 39-45, jan./mar. 2012

ROSA, G.S.; COSTA, M.I.S.; CORRENTE, J.E.; SILVEIRA, L.V.A.; GODOY, W.A.C. Population dynamics, life stage and ecological modeling in *Chrysomya albiceps* (Wiedemann) (Diptera: Calliphoridae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 40, n. 2, p. 181-189, mar. 2011.

RODRIGUEZ-DEL-BOSQUE, L.A. Larval competition between *Helicoverpa zea* and *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on corn ears in Northern Mexico. **Journal of Entomological Science**, Hoboken, v. 47, n. 2, p. 185-187, Nov. 2012

SIH, A. Prey refuges and predator-prey stability. **Theoretical Population Biology**, New York, v. 31, n. 1, p. 1-12, Feb. 1987.

UNDERWOOD, N. Density dependence in insect performance within individual plants: induced resistance to *Spodoptera exigua* in tomato. **Oiko**, Ghent, v. 119, n. 12, p. 1993-1999, May 2010.

VACARI, A.M.; OTUKA, A.K.; De BORTOLI, S.A. Desenvolvimento de *Podisus nigrispinus* (Dallas, 1851) (Hemiptera: Pentatomidae) alimentado com lagartas de *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae). **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 74, n. 3, p. 259-265, 2007.

van BRUNT, B. **The calculus of variations**. New York: Springer-Verlag, 2004. 290 p.

3 RESPOSTA FUNCIONAL EM *Podisus nigrispinus* E *Graptocleptes bicolor* SOBRE *Spodoptera frugiperda*

Resumo

As crescentes mudanças ambientais, ocasionadas principalmente pela necessidade de expansão de sistemas agrícolas e florestais na forma de monoculturas, fazem com que haja grande perda na diversidade de organismos a ela associados, incluindo insetos considerados inimigos naturais. Esse cenário também permite que explosões populacionais de pragas sejam frequentes. Isso tem levado à adoção de métodos de controle com utilização de defensivos químicos, que muitas vezes têm curta ação e podem contaminar tanto o ambiente como insetos e organismos não alvo. O manejo integrado de pragas (MIP) vem sendo a solução para reduzir as altas densidades de pragas a patamares abaixo do nível de dano econômico. A utilização de inimigos naturais em programas de manejo de praga deve ser precedida sempre pela análise de padrões de consumo de presas, como por exemplo a resposta funcional. No presente estudo, populações de *Podisus nigrispinus* e *Graptocleptes bicolor* (Reduviidae) foram utilizadas em experimentos de resposta funcional visando investigar o potencial de cada uma das espécies como predadoras. Ambas as espécies tiveram suas respostas funcionais obtidas nas temperaturas de 20°C e 26°C, predando lagartas de terceiro ínstar de *Spodoptera frugiperda*. Para *P. nigrispinus*, houve dois tipos de resposta funcional registrados, tipo II e III, enquanto que para *G. bicolor* houve apenas do tipo II. As taxas de ataque foram maiores para *P. nigrispinus*, que também apresentou menor tempo de manipulação de presas, se comparado à *G. bicolor*. Isto se deve, provavelmente, as diferentes formas de forrageio e interação entre predador e presa.

Palavras chave: Predação; Pentatomidae; Reduviidae; Controle biológico

Abstract

The environmental changes caused by the need of more agricultural and forest extraction areas have cost the loss of a large amount of organisms' diversity associated with the natural systems, including natural enemies. This scenario also favors pests' population outbreaks. The most frequent method adopted for control of pests have been the chemical control, that usually have low duration, can contaminate the soil and harm other organisms and non target insects. The Integrated Pest Management (IPM) has been an alternative solution to reduce the number of pests to an acceptable level of economic damage. The use of natural enemies at IPM must be preceded by analysis of the number of preys consumed by them, for instance, their functional response. At the present study, populations of *Podisus nigrispinus* and *Graptocleptes bicolor* (Reduviidae) were used in experiments of functional response, to investigate their potential as predacious species. Both were submitted to 20°C and 26°C to evaluate their functional response upon third instar caterpillars of *Spodoptera frugiperda*. For *P. nigrispinus*, there were two kinds of response registered, type II and III, while for *G. bicolor* showed only one kind of response, type II. The attack rate was bigger to *P. nigrispinus* if compared with

G. bicolor. It must be due to the differences among the foraging strategies and the interactions between predator and prey.

Keywords: Predation; Pentatomidae; Reduviidae; Biological control

3.1 Introdução

A crescente expansão de sistemas agrícolas e florestais no formato de monoculturas tem gerado grandes mudanças ambientais devido, principalmente, à retirada de vegetação nativa e conseqüente diminuição da diversidade de organismos a ela associados, incluindo insetos considerados inimigos naturais (ALTIERI; SILVA; NICHOLLS, 2003). Esta perda de diversidade também desencadeia explosões populacionais de grupos de insetos específicos, como os fitófagos, devido à abundância de alimento e o desequilíbrio ambiental (DeBACH; ROSEN, 1991). Este cenário tem conduzido à práticas de métodos de erradicação de pragas, sendo o mais frequentemente utilizado a aplicação de inseticidas, que, apesar de apresentar certo grau de eficiência, não apresentam efeitos duradouros e atingem organismos não alvo, deixando ainda resíduos com grande potencial de contaminação ambiental, animal e humana (DeBACH; ROSEN, 1991).

Uma das soluções alternativas para esse problema está no manejo integrado de pragas, atividade caracterizada pelo emprego de um conjunto de medidas, de forma a manter a população de pragas em limites abaixo dos níveis de dano econômico (HIGLEY; PEDIGO, 1996). As medidas incluem o uso de agentes biológicos (predadores, parasitóides e patógenos), cultivares geneticamente modificados, manejo e rotação de culturas, consórcios agrícolas e aplicação otimizada de produtos químicos quando o nível de dano é atingido (KOGAN; JEPSON, 2007; WERLING et al., 2012).

A utilização de insetos predadores e parasitóides são uma ferramenta útil e tem sido recomendada com base em relatos importantes sobre sua eficiência na diminuição da população de pragas tanto em casa de vegetação (VIEIRA; CORREA, 2001) como em campo (BOTELHO et al., 1999). A eficiência dos insetos predadores é um aspecto fundamental para que os programas de controle surtam resultados positivos. Os predadores são mais eficientes quando usados em locais cuja população de pragas se encontra em altas densidades e de forma agregada (PARRA

et al., 2002).

No Brasil, a ordem Hemiptera tem sido estudada devido ao seu potencial em aplicação de programas de controle, no qual se pode enfatizar as espécies do gênero *Podisus sp* (Pentatomidae: Asopinae), como potenciais agentes de controle em culturas agrícolas (NEVES; TORRES, 2009). As espécies têm sido reconhecidas como promissoras, sobretudo no setor florestal para o controle de lagartas desfolhadoras (GONÇALVES; PAES BUENO; CARVALHO, 1990; PERDIKIS; FANTINO; LYKOURESSIS, 2011; VACARI et al., 2013). Ainda que as espécies de hemípteros da família Reduviidae não sejam utilizadas em controle biológico, já existem estudos confirmando que algumas espécies demonstram bom potencial para implementação em programas de manejo (ARISTIZÁBAL et al., 2013) como por exemplo, *Apiomerus lanipes* (AMARAL FILHO et al., 1994), *Prishesancus plagipennis* (GRUNDY; MAELZER, 2000) e *Zelus sp* (LEÃO et al., 2009).

A resposta funcional se caracteriza pela estratégia de consumo de presas por um predador, sendo que o ataque é dependente da densidade de presas presentes no ambiente. Esta relação de consumo pode ser representada por uma função descrita por diferentes curvas, cujo formato será determinado pela interação funcional entre predador e presa, que pode ser do tipo I, II ou III. A diferença nas respostas reflete o potencial do predador em detectar, capturar e matar a presa (HOLLING, 1961), além de fornecer pistas importantes sobre a variação do comportamento de predação e, desta forma, como a relação predador presa responde às variações na densidade populacional e mudanças ambientais (REAL, 1979).

A diferença nos tipos de resposta funcional irá depender da taxa de ataque, da saciedade do predador, do tempo gasto manipulando a presa e da quantidade de presas disponível. No tipo I, o predador aumenta seu consumo em função do número de presas, de forma que o tempo de manipulação e o ponto de saciedade são praticamente nulos, resultando em um consumo ilimitado, em formato linear. Para o tipo II, o predador atinge um ponto de saciedade e para de se alimentar, mesmo com o aumento no número de presas, atingindo uma assíntota (GOTELLI, 1959). A resposta do tipo III apresenta padrão sigmoide, pois ocorre mudança na taxa de predação com o aumento de consumo, conforme há maior ocorrência de presas (GOTELLI, 1959). Desta forma, avaliar o tipo de resposta funcional e

investigar a sua variação em resposta à densidade de presas é extremamente importante para compreender a dinâmica de consumo de presas pelo predador e conseqüentemente o seu sucesso em programas de manejo de pragas. A eficiência de um predador depende diretamente do seu grau de saciedade (JULIANO, 2001).

No presente estudo, busca-se comparar o desempenho de duas espécies de predadores da subordem Heteroptera: *Podisus nigrispinus* (Pentatomidae: Asopinae) e *Graptocleptes bicolor* (Reduviidae: Harpactorinae) por meio da comparação das respostas funcionais. As hipóteses a serem testadas incluem diferentes possibilidades de resultados por parte de cada espécie, podendo ocorrer melhor desempenho de uma delas ou evidências de ação complementar. O objetivo proposto é avaliar a resposta funcional de *P. nigrispinus*, um predador já sistematicamente estudado, com a resposta de *G. bicolor*, espécie pouco estudada, em condições laboratoriais.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Coleta e obtenção dos insetos para experimentação

Os exemplares de *Podisus nigrispinus* utilizados foram adquiridos na EMBRAPA – Algodão, município de Campina Grande (PB) e na Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal. Os ovos, mantidos em placas de Petri 90x15 mm, eram aproximados de algodão úmido, até a eclosão das ninfas. As ninfas de segundo ínstar foram transferidas para tubos de PVC com capacidade aproximada de 1L, e alimentadas com lagartas de *Spodoptera frugiperda* e *Diatraea saccharalis*. Os insetos eram mantidos em PVC até a emergência dos adultos.

As coletas dos exemplares da família Reduviidae foram realizadas durante o primeiro semestre de 2012, na área experimental da Fazenda Areão da ESALQ/USP. Esta área possui um mosaico de culturas, com grandes extensões de milho, além de locais contendo eucalipto. Os insetos foram coletados no interior das linhas de milho plantado e em áreas de culturas adjacentes, de forma manual com a utilização de recipientes plásticos.

Os insetos foram individualizados em laboratório, sendo alimentados com lagartas de *Spodoptera frugiperda* três vezes por semana. Para a obtenção de ovos, casais eram mantidos juntos sem tempo determinado. As posturas eram separadas

e colocadas em recipientes plásticos de 250 mL, até a eclosão das ninfas que, em seguida, eram individualizadas em tubos de vidro até a emergência dos adultos. A espécie, *Graptocleptes bicolor* foi identificada pelo especialista Hécio R. Gil-Santana do Instituto Oswaldo Cruz, Departamento de Entomologia, Rio de Janeiro, RJ, através de exemplares adultos de ambos os sexos, obtidos na criação.

3.2.2 Resposta Funcional

Para realização dos experimentos de resposta funcional, houve individualização de adultos de *P. nigrispinus* e *G. bicolor* de ambos os sexos, que permaneceram em jejum durante 24 horas. Após este período, os predadores foram liberados em arenas circulares de PVC, nas quais haviam lagartas de terceiro ínstar de *Spodoptera frugiperda*, nas densidades de 3,6,12,18, 24 e 30. Utilizou-se 20 adultos de *P. nigrispinus* (10 fêmeas e 10 machos) e 10 adultos de *G. bicolor* (5 fêmeas e 5 machos) e por densidade de presa. A razão da diferença no número de adultos de cada espécie foi a disponibilidade de prole de cada população.

O experimento foi realizado em duas temperaturas, 20°C e 26°C, em sala controlada com 70% de umidade relativa e as avaliações da resposta funcional feitas após 24 e 48 horas. Os dados obtidos experimentalmente foram analisados com função logística polinomial, para avaliação do tipo de resposta funcional (JULIANO, 2001). As taxas de ataque (a) e tempo de manuseio (Th) também foram estimadas com os dados experimentalmente adquiridos, partindo das condições paramétricas iniciais utilizadas por Mohaghegh, De Clercq e Tirry (2001), em experimentação utilizando *P. nigrispinus* e sua resposta funcional sobre *S. exigua*. O critério de convergência utilizado foi o Quasi-Newton, assumindo que a função pode ser localmente aproximada por tendência quadrática ao redor de valores ótimos (DENNIS; SCHNABEL, 1983).

3.3 Resultados

3.3.1 *Podisus nigrispinus*

No experimento realizado à 20°C, obteve-se a resposta do tipo II, pois o parâmetro linear (B1) da regressão logística polinomial apresentou valores negativos

(Tabela 1). Já para o experimento realizado à 26°C, com exceção dos machos de *P. nigrispinus* que na avaliação de 24 horas apresentaram resposta do tipo III (Tabela 2), os outros casos também exibiram resposta do tipo II. Na avaliação do mesmo experimento, considerando 48 horas, a resposta também foi do tipo II (Tabela 2).

Tabela 1 - Valores obtidos dos coeficientes de regressão logística polinomial (RLP) e dos parâmetros de resposta funcional (RF) para machos e fêmeas de *P.nigrispinus* predando *S. frugiperda* a 20°C

	Coeficientes RLP				Parâmetros RF	
	B0	B1	B2	B3	A	Th
24 horas						
Fêmea	19,278	-1,1678	0,05233	-0,000693	1,170651	0,044104
Macho	32,28	-2,597	0,135	-0,00208	0,58811	0,02934
48 horas						
Fêmea	28,88042	-2,72589	0,202033	-0,00405	1,572566	0,037091
Macho	52,6	-5,3478	0,254	-0,00342	0,814282	0,005330

Tabela 2 - Valores obtidos dos coeficientes de regressão logística polinomial (RLP) e dos parâmetros de resposta funcional (RF) para machos e fêmeas de *P.nigrispinus* predando *S. frugiperda* a 26°C

	Coeficientes RLP				Parâmetros RF	
	B0	B1	B2	B3	A	Th
24 horas						
Fêmea	29,46	-2,256	0,129	-0,0021	1,019507	0,013690
Macho	2,192336	1,708999	-0,00174	-0,00153	0,095827	0,040119
48 horas						
Fêmea	22,1	-1,321	0,0628	-0,00089	1,013722	0,002124
Macho	21,06	-1,215	0,0612	-0,00091	0,770325	0,005769

3.3.2 *Graptocleptes bicolor*

Em ambas as temperaturas e para os dois sexos, obteve-se resposta funcional do tipo II. As diferenças encontradas estão nas taxas de ataque e no tempo de manipulação, que são maiores nas fêmeas quando comparadas aos resultados obtidos pelos machos (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3 - Valores obtidos dos coeficientes de regressão logística polinomial (RLP) e dos parâmetros de resposta funcional (RF) para machos e fêmeas de *G. bicolor* predando *S. frugiperda* a 20°C

	Coeficientes RLP				Parâmetros RF	
	B0	B1	B2	B3	A	Th
24 horas						
Fêmea	3.322500	-.342275	3.016625	.000525	0.16882	4.822836
Macho	3.820000	-.216500	3.141000	.130000	.009147	4.726138
48 horas						
Fêmea	3.322500	-.341575	3.016625	.005625	0.24589	4.940468
Macho	3.322500	-.0340875	3.016625	.005625	.0192244	4.763235

Tabela 4 - Valores obtidos dos coeficientes de regressão logística polinomial (RLP) e dos parâmetros de resposta funcional (RF) para machos e fêmeas de *G. bicolor* predando *S. frugiperda* a 26°C

	Coeficientes RLP				Parâmetros RF	
	B0	B1	B2	B3	A	Th
24 horas						
Fêmea	3.32291	-.34249	3.016820	-.000163	.024782	4.933842
Macho	3.340500	-.335875	3.016125	.005125	0.17091	4.840006
48 horas						
Fêmea	3.445000	-.335750	3.016250	.005250	0.32778	4.648992
Macho	3.44500	-.311150	3.041250	.031150	.271754	4.850985

3.4 Discussão

A ocorrência da resposta do tipo II em machos de *P. nigrispinus* analisados em 24h, com resultado alterado para tipo III após análise em 48h pode ser devida a alguns fatores como tempo de manipulação das presas e a temperatura. De acordo com Mohagheg, De Clercq e Tirry (2001), a resposta funcional de *P. maculiventris* e *P. nigrispinus* pode modificar-se de acordo com a temperatura a que os insetos estiverem expostos. Em experimento sobre resposta funcional com estes predadores, utilizando *Spodoptera exigua* como presa, os resultados indicam que *P. nigrispinus*, à 27°C, apresenta resposta do tipo III e resposta do tipo II nas temperaturas de 18°C a 23°C. *Podisus maculiventres* apresenta resposta do tipo II apenas a 18°C, e tipo III nas outras temperaturas mais elevadas. Com o aumento da temperatura, e assim, do metabolismo do inseto, aumentam as demandas energéticas dos predadores, aumentando as atividades de forrageio, resultando em alteração no tipo de resposta funcional. Contudo, apesar dos fatores acima mencionados deve-se levar em conta ainda outros aspectos biológicos determinados pela individualidade de cada integrante da população (De CLERQ; VANDEWALLE; TIRRY, 1998).

A mudança do tipo de resposta também foi relatada em estudo realizado por Zanuncio et al. (2008), utilizando fêmeas de *P. nigrispinus* predando lagartas de *S. frugiperda* com e sem capacidade defensiva. A mudança do tipo II para o tipo I ocorreu devido a mudanças nas condições defensivas da presa, mostrando que as relações funcionais são dinâmicas o suficiente para mudarem, mesmo com pequenas variações. Os autores discutem que o tamanho da presa também pode ser um fator capaz de alterar as respostas, levando a conjecturas de que não somente a eficiência do predador seja levada em conta, mas também as condições da presa e sua capacidade de escapar da predação.

Assim, a explicação mais plausível para a obtenção da resposta do tipo III no presente trabalho se deve a uma junção dos fatores do sistema, como a capacidade de defesa das presas e o tamanho dos predadores. A variação no tamanho dos predadores com relação a presa, pode fazer com que haja diferentes resultados na interação entre eles, mudando a forma de forrageio e as taxas de predação (RUDOLF, 2006).

A ocorrência da resposta do tipo II para todos os outros casos já era esperada

e, de acordo com Oliveira et al. (2001), *P. nigrispinus* apresentou os mesmos resultados tanto em experimento realizado em campo como em laboratório, no período de 24 horas. Os autores também observaram que quanto menor a densidade, maior o tempo gasto na procura de novas presas e menor taxa de consumo. A conclusão é que, quanto maior a taxa de encontro, maior a taxa de consumo. No entanto, o que se observou no presente estudo é que a taxa de consumo de *P. nigrispinus* já foi alta mesmo nas menores densidades ofertadas (6 presas por predador), havendo consumo quase que total nas primeiras 24 horas e total em 48 horas.

A temperatura também foi o principal fator na variação da taxa de ataque (a) e o tempo de manipulação das presas (Th) para *P. nigrispinus*, resultando em valores inferiores quando em temperaturas mais elevadas, corroborando a maior parte dos resultados encontrados para os machos (Tabelas 1 e 2). Já os resultados com fêmeas indicam maior taxa de ataque à 20°C e não a 26°C. O tempo de manipulação obtido para fêmeas foi menor na temperatura mais elevada, como também encontrado por Mohagheg; De Clercq e Tirry (2001). Contudo, os machos apresentaram menor tempo de manipulação à 20°C.

A análise dos dados de resposta funcional de *G. bicolor* também revelou respostas do tipo II nos dois tratamentos (à 20° e 26°C), pois todos os valores do parâmetro linear da regressão logística polinomial foram negativos. Entretanto, tanto o conjunto de dados obtidos para essa espécie, como a dispersão dos pontos em função do aumento das densidades, sugere que *G. bicolor* tem maior exigência na amplitude de densidades de consumo do que *P. nigrispinus*, apesar de ambos exibirem resposta funcional do tipo II, pelo menos na ampla maioria dos casos.

Experimentos de resposta funcional com espécies da família Reduviidae e diferentes presas também indicaram resposta funcional do tipo II (AMBROSE; CLAVER, 1997; NISH et al., 2004; ROCHA; REDAELLI, 2004; AMBROSE et al., 2009). As fêmeas também apresentaram taxa de ataque maior do que os machos no estudo realizado por Nishi et al. (2004) e Rocha e Redaelli (2004), assim como maior número de presas consumidas a medida que a densidade aumentava. Isto se deu, provavelmente pela necessidade energética requerida pelas fêmeas tanto para maturação das gônadas como para oviposição, uma vez que as fêmeas de *G. bicolor*

realizam inúmeras posturas, mesmo sem ocorrência de cópula (observação pessoal).

Comparando as taxas de ataque entre *P. nigrispinus* e *G. Bicolor*, fica evidente que os insetos se comportam de forma diferente. A taxa de ataque de *P. nigrispinus* é maior, enquanto que o tempo de manipulação de *G. bicolor* é mais elevado. O aumento na taxa de manipulação em espécies de reduvídeos foi constatado em outros estudos (AMBROSE; CLAVER, 1997; ROCHA; REDAELLI; STEINER, 2002; CLAVER; AMBROSE, 2003). A diferença entre o tempo obtido para *G. bicolor* e *P. nigrispinus* provavelmente se deve à forma como cada predador lida com sua presa. Enquanto *P. nigrispinus* insere o estilete na presa sem utilizar as pernas dianteiras, *G. bicolor* insere o estilete e ainda utiliza suas pernas, fazendo com que a presa fique imobilizada (observação pessoal). De acordo com Cogni; Freitas e Amaral filho (2002), *Zelus longipes* consegue extrair cerca de 30% do seu peso total a partir de suas presas, fazendo com que o tempo de manipulação seja grande. *Z. Longipes* também apresentou preferência por presas de menor porte ao preda *S. frugiperda* em experimento de teste de escolha. Porém, em caso de jejum prolongado pelo predador, sua escolha passa a ser presas maiores, devido à maior obtenção energética.

Outras observações feitas do comportamento, tanto de *P. nigrispinus* como de *G. bicolor*, confirmam que esses predadores apresentam formas de forrageio diferentes, que culminam na variação entre as taxas de manipulação. Durante a criação de *G. bicolor*, o predador apresentou menor movimentação do que *P. nigrispinus*. Quando saciado, *G. bicolor* tem a tendência de ficar parado em seu substrato de refúgio (folha de papel cartão). Maior movimentação é observada quando os insetos são colocados sob jejum. Outro ponto a ser levado em consideração é que o aumento na densidade de presas faz com que os predadores diminuam as atividades de forrageio para procurar alimento. Os predadores passam a realizar atividades não relacionadas à procura de novas presas, diminuindo, assim, sua taxa de ataque e velocidade de procura, até que seu nível de saciedade diminua (AMBROSE; CLAVER, 1997; CLAVER; AMBROSE, 2003).

A análise do comportamento de *G. bicolor* pode ainda ser útil quando se

considera a sua dispersão após liberação em campo. De acordo com Ambrose, Krishan e Jebasingh (2007), várias espécies de subfamílias de Reduviidae, incluindo a Harpactorinae, são encontradas em *microhabitats* que propiciam abrigo, como frestas em cascas de árvores, embaixo de folhas de plantas arbustivas e sob pedras.

Apesar de *P. nigrispinus* ter apresentado um melhor desempenho do que *G. bicolor* é importante levar em consideração que a resposta funcional não poder ser considerada como único aspecto para se avaliar a qualidade do predador e se ele realizará eficiente controle biológico. Esta relação funcional pode ser importante para estimar o potencial de regulação da população alvo, uma vez que representa a taxa de ataque e, como consequência, predadores com altas taxas de ataque podem ser considerados, a princípio, como bons candidatos a agentes de controle biológico (LESTER; HARMSEN, 2002).

É importante lembrar ainda que, quando liberados em ambientes mais complexos no tocante estrutura de comunidade e habitat, predadores podem mudar a resposta funcional, dependendo não somente da disponibilidade da presa, mas também de sua palatabilidade, assim como sua localização no ambiente (disperso ou agrupado). De acordo com Real (1979), tais fatores fazem com que haja variação no tipo de resposta funcional, uma vez que o predador pode gastar mais tempo na procura de alimentos mais palatáveis quando os mesmos estão disponíveis no ambiente ou com aumento do seu consumo, caso ele esteja disposto de forma agrupada.

Outras influências que os predadores podem receber no meio natural são discutidas por Nelson, Matthews e Rosenheim (2004), cujo estudo indica que os predadores podem influenciar o tamanho populacional de suas presas apenas com a mera presença, uma vez que isso induz mudanças comportamentais que podem acarretar em redução alimentar e sobrevivência. Assim, outros experimentos levando em consideração não apenas o consumo do predador, mas o comportamento evasivo da presa que podem mostrar cenários mais realistas da eficiência dos predadores no tocante a redução local de herbívoros. É importante também investigar o local da liberação dos agentes de controle, já que fatores abióticos também podem influenciar a capacidade de predação, (PREISSER; DONALD, 2004). A predação intraguilda é outro aspecto importante para o controle biológico. Em levantamento realizado por Rosenheim et al. (2004) há evidências experimentais

de que a predação intraguilada pode prejudicar o controle biológico, permitindo, até mesmo, a reincidência da população praga.

3.5 Conclusão

As duas espécies utilizadas se mostram potenciais integrantes a serem considerados em programas de controle biológico.

Referências

ALTIERI, M.A.; SILVA, E.N.; NICHOLLS, C.I. **O papel da biodiversidade no manejo de pragas**. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2003. 226 p.

AMARAL FILHO, B.F.; GIÓIA, I.; WAIB, C.M.; MENDELECK, E.; CÔNSOLI, F.C. Observações sobre a biologia de *Apiomerus lanipes* (Fabricius) (Hemiptera, Reduviidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, v. 11, n. 2, p. 283-288, 1994.

AMBROSE, D.P.; CLAVER, M.A.. Functional and numerical responses of the reduviid predator, *Rhynocoris fuscipes* F. (Het., Reduviidae) to cotton leafworm *Spodoptera litura* F. (Lep., Noctuidae). **Journal of Applied Entomology**, Hoboken, v. 121, p. 331-336, 1997.

AMBROSE, D.P.; KRISHAN, S.S.; JEBASINGH, V. An annotated checklist of Indian Peiratinae (Hemiptera: Reduviidae) with ecological and morphological characteristics. **Biosystematica**. London, v. 1, n. 1, p. 45-57, 2007.

AMBROSE, D.P.; SEBASTI RAJAN, X.J.; NAGARAJAN, K.; JEBA SINGH, V.; KRISHNAN, S.S. Biology, behaviour and functional response of *Sphedanolestes variabilis* Distant (Insecta: Hemiptera: Reduviidae: Harpactorinae), a potencial predator of lepidopteran pests. **Entomologia Croatica**, Zagreb, v. 13, n. 2, p. 33-44, June 2009.

ARISTIZÁBAL, L.F.; CARDONA, L.V.; HENAO, E.R.; SALGADO, M.; ARTHURS, S.P. Insect associated with tropical foliage produced in the coffee growing region of Colombia. **Revista Brasileira de Entomologia**, São Paulo, v. 57, n. 3, p. 313-318, 2013.

BOTELHO, P.S.M.; PARRA, J.R.P.; CHAGAS NETO, J.F. das; OLIVEIRA, C.P.B. Associação do parasitoide de ovos de *Trichograma galloi* Zucchi (Hymenoptera: Trichogrammatidae) e do parasitoide larval *Cotesia flavipes* (Cam.) (Hymenoptera: Braconidae) no controle de *Diatraea saccharalis*, (Fabr.) (Lepidoptera: Crambidae) em cana-de-açúcar. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 491-496, set. 1999.

CLAVER, M.A.; AMBROSE, D.P. Influence of hunger level and prey density on searching behaviour of the reduviid predator *Rhynocoris marginatus* (Fabricius) (Het., Reduviidae). **Journal of Applied Entomology**, Hoboken, v. 127, p. 42-45, 2003.

COGNI, R.; FREITAS, A.V.L.; AMARAL FILHO, B.F. Influence of prey size on predation success by *Zelus longipes* L. (Het., Reduviidae). **Journal of Applied Entomology**, Hoboken, v. 126, p. 74-78, 2002.

DeBACH, P.; ROSEN, D. **Biological control by natural enemies**. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1991. 232 p.

DE CLERCQ, P.; VANDEWALLE, M.; TIRRY, L. Impact of inbreeding on performance of the predator *Podisus maculiventris*. **BioControl**, Sophia Antipolis Cedex, v. 43, n. 3, p. 299-310, set. 1998.

DENNIS, J.E.; SCHNABEL, R.B. **Numerical methods for unconstrained optimization and nonlinear equations**. Philadelphia: Ed. Siam, 1983. 378 p.

GONÇALVES, L.; PAES BUENO, V.H.; CARVALHO, C.F. de. Controle biológico em *Eucalyptus* spp.: 1. etologia de ninfas e adultos de *Podisus nigrolimbatus* Spinola, 1832 e *Podisus connexivus* Bergroth, 1891 (Hemiptera: Pentatomidae: Asopinae). **IPEF**, Piracicaba, n. 43/44, p. 70-73, jan./dez. 1990.

GOTELLI, N.J. **A primer of ecology**. Sunderland: Sinauer Associates, 1959. chap. 6, p. 139-147.

GRUNDY, P.; MAELZER, D. Assessment of *Pristhesancus plagipennis* (Walker) (Hemiptera: Reduviidae) as an augment biological control in cotton and soybean crops. **Australian Journal of Entomology**, Hoboken, v. 39, p. 305-309, 2000.

HIGLEY, L.G.; PEDIGO, L.P. **Economic thresholds for integrated pest management**. Lincoln: University of Nebraska Press, 1996. 317 p.

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

JULIANO, S.A. Nonlinear curve fitting: predation and functional response curves. In SCHEINNER, S.M.; GUREVITCH. **Design and analysis of ecological experiments**. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 2001. p. 415.

KOGAN, M.; JEPSON, P. **Perspective in ecological theory and integrated management**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 570 p.

LEÃO, M.L.; CRUZ, I.; FERREIRA, T.E.; SILVA, I.F.; CASTRO, A.L.G.; PAULOS, C.S.; MOURÃO, S.A. Estudos preliminares com o predador *Zelus* sp. (Heteroptera, Reduviidae) alimentado com lagartas de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera, Noctuidae) ou *Tenebrio molitor* (Coleoptera, Tenebrionidae). In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 9., 2009, São Lourenço. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Ecologia, 2009. p. 1-2.

- LESTER, P.J.; HARMSSEN, R. Functional and numerical responses do not always indicate the most effective predator for biological control: an analysis of two predator in a two-prey system. **Journal of Applied Entomology**, Hoboken, v. 39, p. 455-468, 2002.
- MOHAGHEGH, J.; DE CLERCQ, P.; TIRRY, L. Functional response of the predators *Podisus maculiventris* (Say) and *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Het., Pentatomidae) to the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lep., Noctuidae): effect of temperature. **Journal of Applied Entomology**, Berlin, v. 125, p. 131-134, 2001.
- NELSON, E.H.; MATTHEWS, C.E.; ROSENHEIM, J.A. Predators reduce prey population growth by inducing changes in prey behaviour. **Ecology**, Ithaca, v. 85, n. 7, p. 1853–1858, 2004.
- NEVES, R.C.S.; TORRES, J.B. Reproduction and dispersal of wing-clipped predatory stinkbugs, *Podisus nigrispinus* in cotton fields. **Biological Control**, San Francisco, v. 59, p. 9-17, 2009.
- NISH, A.; IMAMURA, T.; MIYANOSHITA, A.; MORIMOTO, S.; TAKAHASHI, K.; VISARATHANONTH, P.; KENGKANPANICH, R.; SHAZALI, M.E.H.; SATO, K. Predatory abilities of *Amphibolus venator* (Klug) (Hemiptera: Reduviidae), a predator of stored-product insect pests. **Applied Entomology and Zoology**, New York, v. 39, n. 2, p. 321-326, 2004.
- OLIVEIRA, J.E.M.; TORRES, J.B.; CARRANO-MORREIRA, A.F.; ZANUNCIO, J.C. Efeito da densidade de presas e do acasalamento na taxa de predação de fêmeas de *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae) em condições de laboratório e campo. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 30, n. 4, p. 647–654, 2001.
- PARRA, J.R.; BOTELHO, P.S.M.; CORRÊA-FERREIRA, B.S.; BENTO, J.M.S. **Controle biológico no Brasil: parasitóides e predadores**. 2. ed. Barueri: Editora Manole, 2002. p. 29-40.
- PERDIKIS, D.; FANTINOU, A.; LYKOURESSIS, D. Enhancing pest control in annual crops by conservation of predatory Heteroptera. **Biological Control**, San Francisco, v. 59, n. 1, p. 13-21, 2011.
- PREISSER, E.L.; DONALD, STRONG, D.R. Climate affects control of an herbivore outbreak. **The American Naturalist**, Chicago, v. 163, n. 5, p. 754-762, May 2004.
- REAL, L.A. Ecological determinants of functional response. **Ecology**, Ithaca, v. 60, n. 3, p. 481-485, 1979.
- ROCHA, L. da; REDAELLI, L.R. Functional response of *Cosmoclopius nigroannulatus* (Hem.: Reduviidae) to different densities of *Spartocera dentiventris* (Hem.: Coreidae) nymphae. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 64, n. 2, p. 309-316, 2004.

ROCHA, L. da; REDAELLI, L.R.; STEINER, M.G. Extração alimentar por *Cosmoclopius nigroannulatus* Stal (Hemiptera:Reduviidae) de ninfas de *Spartocera dentriventris* (Berg) (Hemiptera:Coreidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 601-606, 2002.

ROSENHEIM, J.A.; GLICK, T.E.; GOERIZ, R.E.; RÄMERT, B. Linking a predator's foraging behaviour with its effects on herbivore population suppression. **Ecology**, Ithaca, v. 85, n. 12, p. 3362-3372, 2004.

RUDOLF, V.H. The influence of size- specific indirect interactions in predator-prey systems. **Ecology**, Ithaca, v. 87, n. 2, p. 362-371, 2006.

VACARI, A.M.; DE BORTOLI, S.A.; GOULART, R.M.; VOLPE, H.X.L.; OTUKA, A.K.; VEIGA, A.C.P. Comparison of eggs, larvae, and pupae of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) as a prey for *Podisus nigrispinus* (Hemiptera: Pentatomidae). **Annals of the Entomological Society of America**, Annapolis, v. 106, n. 2, p. 235-242, 2013.

VIEIRA, A.R.; CORREA, L.S. Ocorrência de moscas brancas (Hemiptera: Aleyrodidae) e do predador *Delphastus pusillus* (LeConte) (Coleoptera: Coccinellidae) em mamoeiro (*Carica papaya* L.) sob cultivo em ambiente protegido. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 1, p. 1717-173, 2001.

WERLING, B.P.; LOWENSTEIN, D.M.; STRAUB, C.S.; GRATTON, C. Multi-predator effects produced by functionally distinct species vary with prey density. **Journal of Insect Science**, Madison, v. 12, p. 30, 2012.

ZANUNCIO, J.C.; DOMINGUES DA SILVA, C.A.; RODRIGUES DE LIMA, E.; PEREIRA, F.F.; RAMALHO, F.S.; SERRÃO, J.E. Predation rate of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae with and without defense by *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 51, n. 1, p. 121-125, 2008.

4 DINÂMICA POPULACIONAL E ESTRUTURA DE ESTÁGIOS DE VIDA EM *Graptocleptes bicolor* (REDUVIDAE: HARPACTORINAE) COM DIFERENTES PRESAS

Resumo

As interações tróficas são importantes no tocante à compreensão de como se constroem as relações entre organismo sobre nas diferentes estruturas no espaço e tempo, principalmente mediante tantas transformações globais. Estudar estas relações é importante para se compreender e entender o papel das espécies, principalmente as com interesse para controle biológico. Desta forma, foi investigado a estruturação etária de *Graptocleptes bicolor* mediante alimentação com diferentes presas, sendo elas *Anticarsia gemmatalis*, *Chrysodeixis includens* e *Spodoptera frugiperda*, em duas temperaturas, 24°C e 26°C, utilizando-se a matriz de Leslie. Como resultado, a estrutura etária de *G. bicolor* segue um padrão não linear, comum nos insetos, o que explica o grande índice de indivíduos em grupos etários iniciais, cuja sobrevivência diminui ao longo da mudança de estágios. Já com relação ao seu desempenho com diferentes presas, foi possível observar que o melhor desempenho de *G. bicolor* foi quando era alimentado com *C. includens*, na temperatura de 24°C. Estes resultados são importantes para criação de insetos em laboratório e sua aplicação no campo.

Palavras-chave: Estrutura etária; Estrutura de fases; Inimigo natural, Matriz de Leslie

Abstract

Trophic interactions are important to understand how the relationships among organisms are built at diverse structures of time and space, especially nowadays, with so many global transformations. The study of these interactions are important to understand the role of each species, particularly the ones for biological control. Therefore, the age structure was investigated in *Graptocleptes bicolor* by feeding it with different preys, which were *Anticarsia gemmatalis*, *Chrysodeixis includes* and *Spodoptera frugiperda*, at two temperatures, 24°C and 26°C. The analyses were made using Leslie Matrix. As for the results, *G. bicolor* age structure is similar to other insects, which have non linear trend. That explains the great number of individuals at early stages and the decreasing survival along the mature stages. Concerning the performance with the different preys, *G. bicolor* had its best when fed with *C. includes*, at 24°C. These results are important for insect laboratory rearing and field liberation.

Keywords: Age structure; Phase structure; Natural enemy, Leslie Matrix

4.1 Introdução

As interações tróficas sem dúvida alguma exercem importante papel no

cenário ecológico, equilibrando tendências populacionais, regulando populações, mediando associações interespecíficas e interferindo no controle populacional, sobretudo de populações de pragas agrícolas em seus variados cenários com diferentes estruturas no espaço e no tempo (RUSCH et al., 2010; RYALLS; RIEGLER; MOORE, 2013). No momento em que se vive no planeta transformações globais capazes de alterar padrões ecológicos importantes (LIMA; FERREIRA; GODOY, 2009), ou mesmo tendências populacionais já até consolidadas para longo período de tempo, investigar relações tróficas, principalmente de espécies com significativo potencial para o controle biológico, são procedimentos científicos mais do que esperados (RUSCH et al., 2010; LUFF, 1983). Quando a investigação inclui ferramentas analíticas capazes de projetar tendências, ou mesmo desvendar padrões ecológicos ainda ocultos pela complexidade da disposição dos números, a avaliação ecológica sob esta perspectiva torna-se além de interessante, etapa essencial para a implementação de programas de manejo de pragas.

A estrutura etária ou de estágios de vida é parte essencial a ser considerada em populações de insetos (CUSHING et al., 2003). É através dela que se consegue investigar trajetórias populacionais no tempo, levando em conta as particulares da história de vida dos insetos, sobretudo os aspectos associados à sua fase de desenvolvimento (PITTS; WALL, 2004). As estimativas obtidas a partir de tabelas de vida são de valor inestimável para a análise da estrutura populacional em insetos e é desta abordagem que emergem as questões demográficas importantes para os estudos de dinâmica populacional (ROSA et al., 2011).

Não existem ainda estudos sistemáticos combinando a abordagem matemática dos problemas ecológicos às questões determinantes da conservação de inimigos naturais ou dos aspectos associados aos pontos críticos atingidos por populações de pragas. Menos ainda se sabe sobre a interface de estudos de estrutura etária e sistemas caracterizados pelo controle biológico de pragas. Contudo, já existem importantes estudos relacionando a estrutura trófica inerente de agentes controladores e seus hospedeiros ou presas (ROMEIS; MEISSLE; BIGLER, 2006), muitas vezes atentando para a influência do consumo de presas sobre o desempenho do predador e também de variáveis ambientais (MEDEIROS et al., 2003; ZANUNCIO et al., 2006).

Harpactorinae é uma subfamília grande, pertencente à família Reduviidae, que inclui insetos conhecidos como “assassin bugs”, reconhecida inicialmente por

Amyot e Serville (1843). Algumas espécies desta subfamília, incluindo *G. bicolor*, estão entre os reduvídeos mais facilmente encontrados no Novo Mundo, com cerca de 300 gêneros documentados e 2000 espécies descritas (PUTCHKOV; PUTCHKOV, 1985; ZHAO; LUO; CAI, 2009). *Graptocleptes bicolor* é uma espécie pouco conhecida, mas que como já mencionado pode ser encontrada com relativa facilidade em diferentes áreas do mundo. Contudo, o seu potencial como agente de controle biológico é completamente desconhecido, fato esse que encoraja a realização de novos estudos, nas áreas de biologia, ecologia, dinâmica, taxonomia e comportamento.

Diversas espécies de pragas tem sido investigadas em laboratório no tocante à susceptibilidade ao ataque de predadores sugadores, como é o caso dos estudos realizados utilizando *P. nigripinus* predando lagartas de *Spodoptera exigua* (DECLERQ; MOHAGHEGH; TIRRYL, 2000), *S. frugiperda* (OLIVEIRA et al., 2004), *A. gemmatalis* (MATOS NETO et al., 2002; FERREIRA, 2008) ou ainda notificando a ocorrência de *C. includens* como potencial presa de *P. nigripinus* (TORRES et al., 2006). *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) é considerada uma das mais importantes pragas agrícolas no Brasil, sobretudo sobre a cultura do milho, já que o inseto é capaz de consumir a planta em diferentes fases do crescimento, chegando mesmo a altas reduções na produção da cultura (CRUZ, 1995; GALLO et al., 2002).

Anticarsia gemmatalis (Lepidoptera: Noctuidae) é importante praga no Brasil, conhecida popularmente como lagarta da soja e tem sido mencionada como causadora de grandes perdas na lavoura da soja pela desfolha produzida, destacando-se por sua ocorrência e distribuição no país (ANDRADE; NEGREIRO; FALLEIROS, 2004). *Chrysodeixis* (= *Pseudoplusia*) *includens* também é um noctuídeo conhecido como a lagarta-falsa-medideira e assim como as outras espécies acima mencionadas tem se destacado na ação desfolhadora desde 2003, principalmente por conta de alterações no manejo das lavouras de soja (PINTO JUNIOR; KOZLOWSKI; LOPES DA SILVA, 2011).

Ao se comparar o volume de pesquisas realizadas e disponíveis na literatura sobre a dinâmica de *P. nigripinus* com outros potenciais predadores, já se nota grande disparidade. No que diz respeito ao reduvídeo *G. bicolor* as informações são totalmente ausentes. Sendo assim, buscamos neste estudo investigar e comparar o desempenho de *G. bicolor* em meio à predação por diferentes espécies de pragas, já

reconhecidas como muito importantes para o cenário da agricultura brasileira.

4.2. Material e Métodos

4.2.1 Estimativa dos parâmetros em laboratório para utilização na modelagem

Ninfas de *Graptocleptes bicolor* foram obtidas de criação experimental mantida no laboratório de Ecologia e Entomologia Florestal, Departamento de Entomologia e Acarologia da ESALQ-USP à $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Os insetos foram individualizados em frascos de vidro medindo 8 cm de altura por 2cm de diâmetro, vedados com algodão logo após emergência. Em seguida, as ninfas foram separadas em grupos experimentais obtidos a partir de 32 ovos para cada grupo e alimentadas com diferentes presas. Desta forma, obteve-se 6 grupos experimentais, já que haviam três diferentes tipos de presas, *C. includens*, *S. frugiperda* e *A. gemmatalis*, todas mantidas em duas temperaturas, 24°C e 26°C . Trinta frascos foram preparados para cada grupo experimental. Uma lagarta de terceiro ínstar de cada presa foi fornecida a cada dois dias, desde o segundo dia de eclosão das ninfas até a emergência dos adultos. O número de sobreviventes de *G. bicolor* foi então registrado para cada estágio de vida. O delineamento pode ser visualizado na Figura 1.

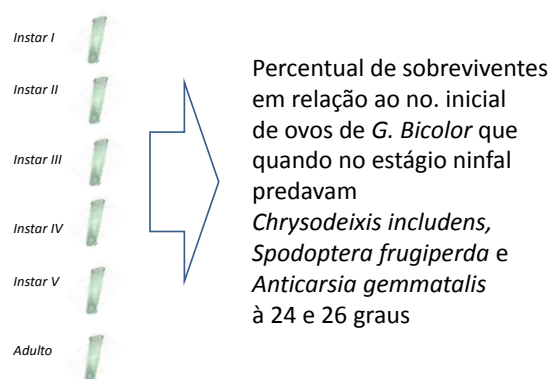


Figura 1 - Delineamento experimental para a obtenção dados para simulação com o modelo de Leslie

4.2.2 Fundamentação teórica para a matriz de Leslie

A estrutura etária ou de estágios de vida em populações de insetos é geralmente investigada pela obtenção de dados experimentais voltados para a

análise em tabela de vida (CAREY, 1993). Porém, para determinados sistemas a obtenção dos dados pode ser inviável ou não revelar resultados satisfatórios, dada a sua complexidade. A teoria populacional através da modelagem matemática pode servir como ferramenta analítica, gerando previsões a respeito da demografia, distribuição etária ou de estágios de vida e dinâmica populacional (CASE, 2000). Os modelos de estrutura etária têm sido considerados como os que descrevem com maior profundidade a demografia de populações biológicas, já que a sobrevivência e a fecundidade são consideradas nos respectivos estágios de vida (HASTINGS, 1997). A matriz de Leslie (LESLIE, 1945) tem sido assim empregada em estudos desta natureza para investigar a influência da distribuição etária sobre a dinâmica de populações (CASWELL, 1993).

A estrutura etária em populações biológicas pode ser analisada com base na equação de von Foerster (LESZCZYNSHY; ZWIERSKOWSKI, 1959). A função $n(x,t)$ representa a densidade de indivíduos de idade x no tempo t . O modelo de McKendrick-von Foerster descreve a estrutura etária populacional como

$$\lim_{h \rightarrow 0} \frac{n(x+h, t+h) - n(x, t)}{h} = -\mu(x, t)n(x, t). \quad (1)$$

A função $\mu(x,t)$ é a taxa de mortalidade per capita para indivíduos de idade x no tempo t . Se $n(x,t)$ é diferenciável, então

$$\frac{\partial n(x, t)}{\partial t} + \frac{\partial n(x, t)}{\partial x} = -\mu(x, t)n(x, t). \quad (2)$$

A expressão (2) é uma equação diferencial parcial de primeira ordem e é denominada "modelo de transporte" para demografia populacional, uma vez que está relacionada à modelos de difusão em química e física.

No modelo de McKendrick-von Foerster, a reprodução é descrita como uma condição de limite na idade zero:

$$n(0, t) = B(t), \quad (3)$$

onde $B(t)$ é a taxa de natalidade total da população. O termo $b(x,t)$, que aparece na equação (4), representa o número de nascimentos para um indivíduo de idade x no tempo t . Assim, a taxa de natalidade total é dada por

$$B(t) = \int_0^{\omega} n(x,t)b(x,t)dx, \quad (4)$$

onde ω é a idade máxima atingível.

Esse modelo pressupõe que em populações com reprodução sexuada, as taxas de mortalidade são similares para ambos os sexos. Assim, supõe-se uma proporção sexual constante e a função fecundidade $b(x,t)$ é ajustada levando em conta o número total de indivíduos.

Finalmente, para completar o modelo, especifica-se uma distribuição de idade inicial escrita como

$$n(x,0) = \phi(x), \quad (5)$$

onde ϕ é uma função não negativa da idade.

4.2.3 Matriz de Leslie

A matriz de Leslie (CASWELL, 1989) é essencialmente um modelo em tempo discreto, análogo às equações de McKendrick-von Foerster com taxas de mortalidade $\mu(x,t) = -\log[s(x,t)]$. Na maioria dos casos, o modelo contínuo é mais tratável do ponto de vista matemático já que os métodos de cálculo numérico podem ser utilizados em sua análise. Entretanto, o modelo discreto é de mais simples utilização em trabalho numérico. Havendo diversas classes etárias, a matriz de Leslie pode ser uma aproximação adequada das equações de McKendrick-von Foerster.

A população é representada por um vetor $n(t)$ $\omega \times 1$ cujos elementos são o número de indivíduos em cada classe de idade. A matriz é usada para projetar o vetor idade ao longo do tempo (CAREY, 1993). Esse esquema pode ser representado pela equação matricial

$$n(t+1) = M(t)n(t), \quad (6)$$

onde $M(t)$ é a matriz de Leslie $\omega \times \omega$ escrita como,

$$M(t) = \begin{bmatrix} b(1,t) & b(2,t) & b(3,t) & \dots & b(\omega-1,t) & b(\omega,t) \\ s(1,t) & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & s(2,t) & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s(3,t) & \dots & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \dots & s(\omega-1,t) & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

O elemento $f(x,t)$ é o número médio da prole produzida por indivíduo de idade x durante o intervalo de t a $t+1$, e $s(x,t)$ é a probabilidade que um indivíduo de idade x sobreviva durante o mesmo intervalo. Dado um vetor $n(t)$, a expressão (7) pode ser iterada para a obtenção dos tamanhos populacionais subsequentes em tempos futuros.

Os resultados deste estudo foram obtidos pela utilização dos valores percentuais de sobrevivência dos estágios de vida, a partir do número inicial de ovos de *G. bicolor* alimentando-se em diferentes presas. O desenvolvimento de *G. bicolor* foi mensurado em duas temperaturas, 24 e 26°C e recebendo três diferentes presas, *Chrysodeixis includens*, *Spodoptera frugiperda* e *Anticarsia gemmatalis*. Utilizou-se o software de manipulação algébrica, MATLAB 8.0 para definir um modelo de classificação de estágios de vida para cento e cinquenta gerações, em que foram inseridos os estágios de vida de *G. bicolor*. Assim, um modelo determinístico matricial foi empregado para projetar a dinâmica populacional do reduvídeo através do tempo.

4.4 Resultados e Discussão

As Figuras 2 e 3 apresentam os valores percentuais médios de sobrevivência de *G. bicolor* em diferentes estágios de vida, alimentados com diferentes presas e mantidos em temperaturas diferentes. A Figura 2 mostra grupos experimentais para 24^oC e a Figura 3 para 26^oC. A comparação visual dos percentuais sugere que a sobrevivência em diferentes estágios de vida é superior em *G. bicolor* alimentado-se com *C. includens* (Figura 2A), se comparada à sobrevivência dos insetos alimentados com as outras presas (Figuras 2B e 2C), exceto pelos valores obtidos para o primeiro estágio ninfal, que se revelaram muito próximos entre si (Figuras. 2A, B e C). Os experimentos realizados à 26^oC também revelaram resultados no mesmo formato que à 24^oC, ou seja, o melhor desempenho foi visto com *C. includens* (Figuras. 3A, B, C) e a mudança na temperatura não alterou o padrão de sobrevivência em função do consumo de diferentes presas (Figuras. 2 e 3).

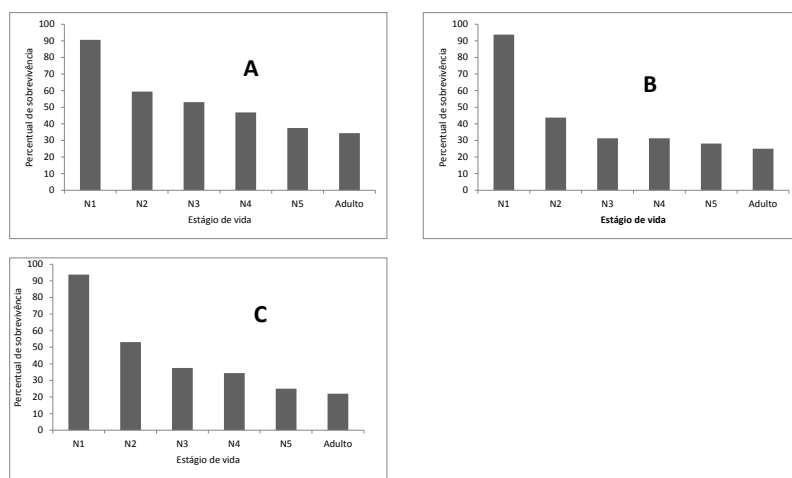


Figura 2 - Percentual médio de sobreviventes de *G. bicolor* à 24^oC. A: presa *C. includens*, B: presa *S. frugiperda*, C: presa *A. gemmatilis*

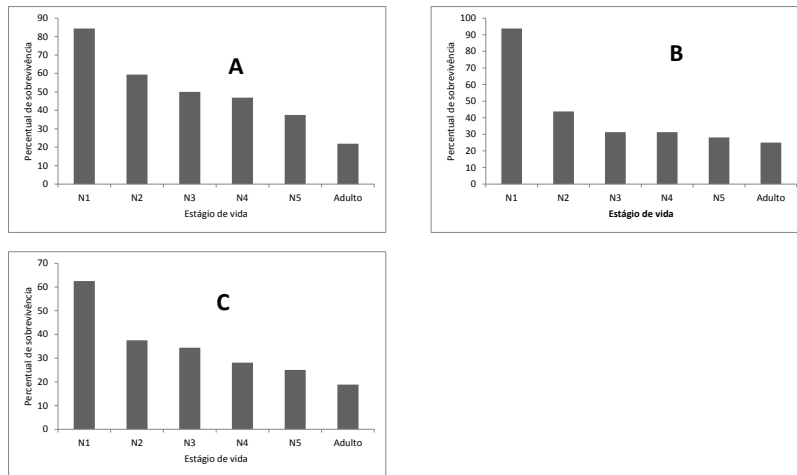
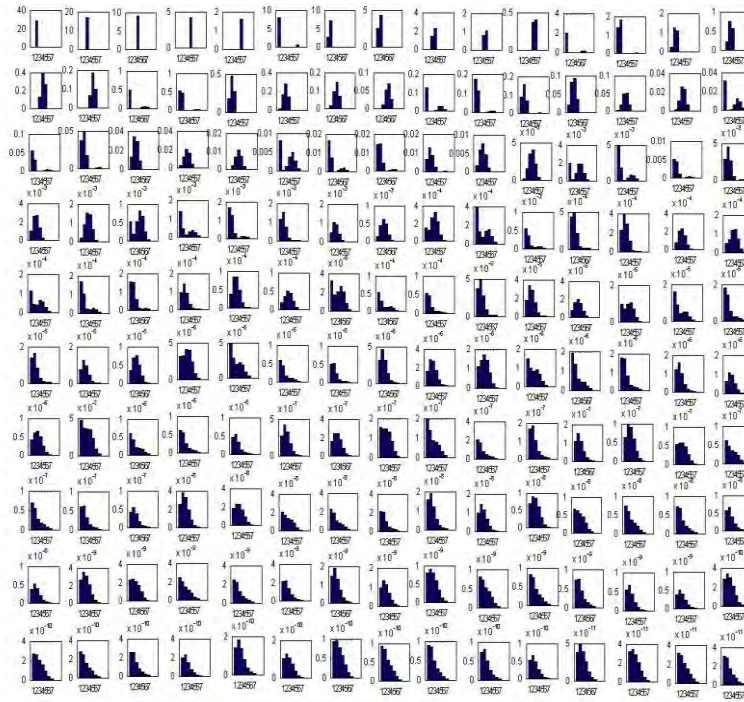


Figura 3 - Percentual médio de sobreviventes de *G. bicolor* à 26⁰C. A: presa *C. includens*, B: presa *S. frugiperda*, C: presa *A. gemmatalis*

Os histogramas apresentados nas seis Figuras abaixo descrevem a distribuição dos estágios de vida do redupídeo, desenvolvidos em duas temperaturas e alimentados com três diferentes presas. Os resultados das simulações confirmam as conclusões preliminares da avaliação visual das Figuras 2 e 3, indicando *C. includens* como a presa que induz ao melhor desempenho de *G. bicolor*. Nas Figuras 4, 5 e 6 podem ser visualizados os histogramas de estágio de vida de *G. bicolor* quando alimentado pelas três presas à 24⁰C. As Figuras 7, 8 e 9 trazem histogramas para *G. bicolor* alimentado-se também das três presas, porem mantidos à 26⁰C.

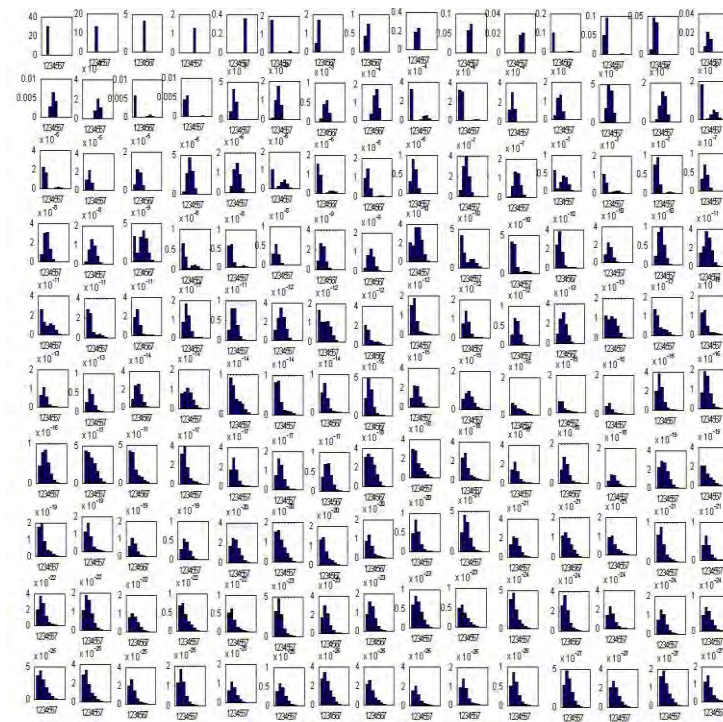
Tamanhos populacionais



Estágios de vida

Figura 4 - Histogramas de distribuição etária por 150 gerações para populações de *G. bicolor* alimentadas com *C. includens* à 24^oC

Tamanhos populacionais



Estágios de vida

Figura 5 - Histogramas de distribuição etária por 150 gerações para populações de *G. bicolor* alimentadas com *S. frugiperda* à 24^oC

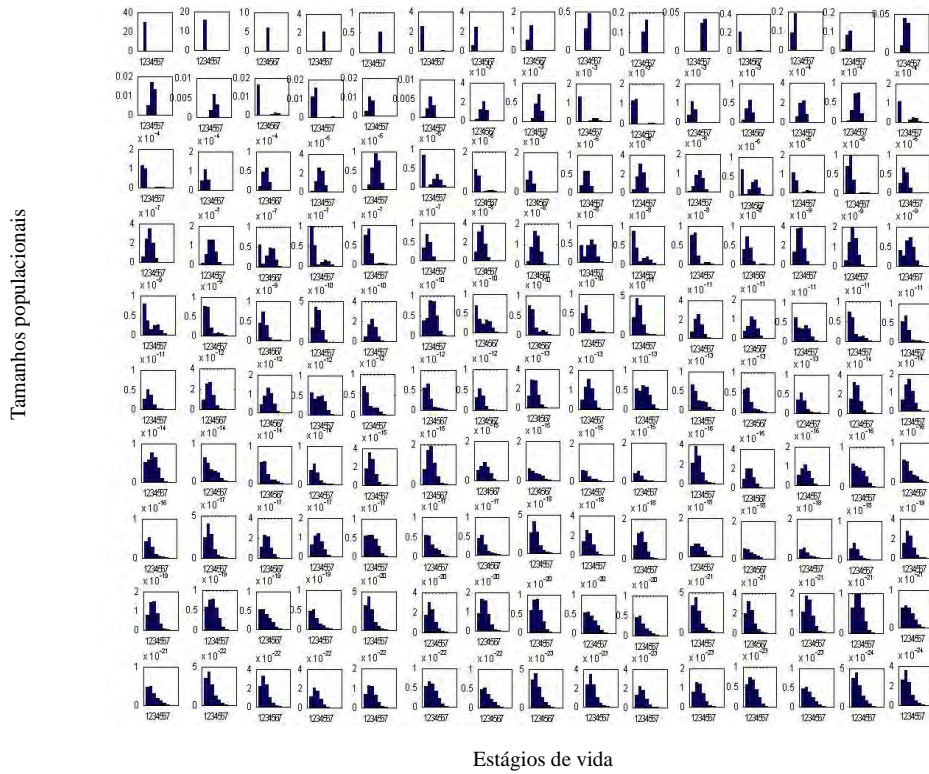


Figura 6 - Histogramas de distribuição etária por 150 gerações para populações de *G. bicolor* alimentadas com *A. gemmatalis* à 24°C

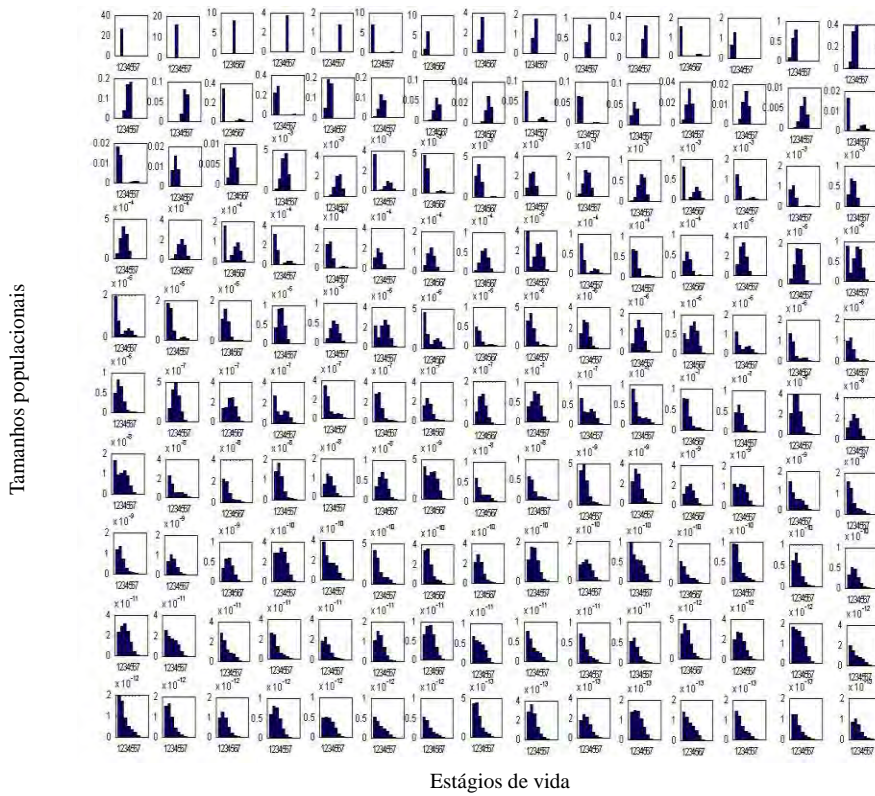


Figura 7 - Histogramas de distribuição etária por 150 gerações para populações de *G. bicolor* alimentadas com *C. includens* à 26°C

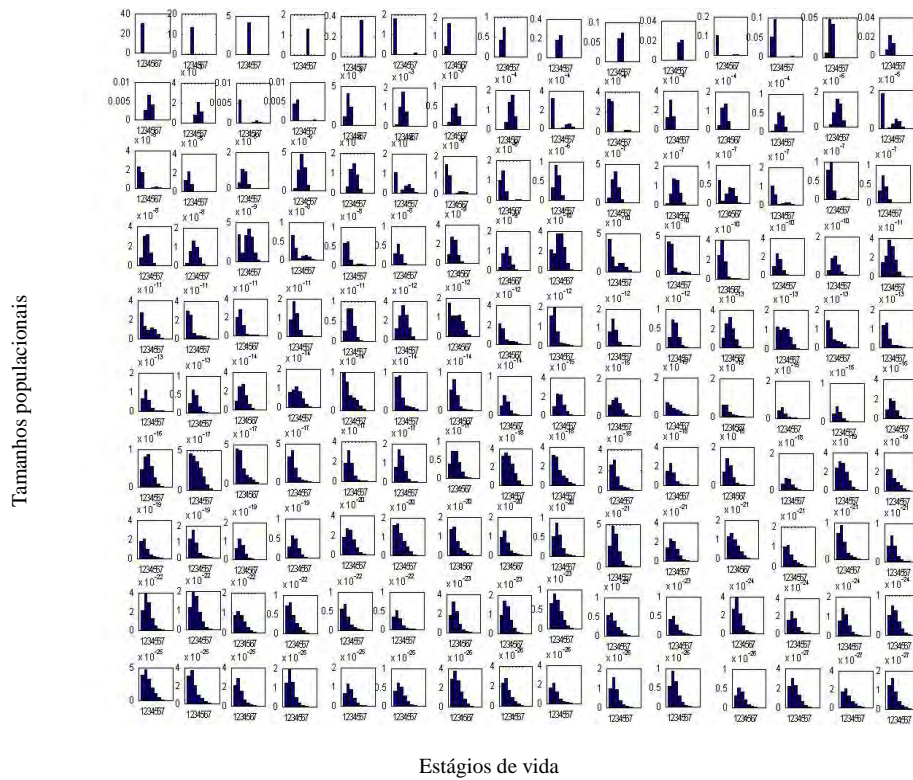


Figura 8 - Histogramas de distribuição etária por 150 gerações para populações de *G. bicolor* alimentadas com *S. frugiperda* à 26°C

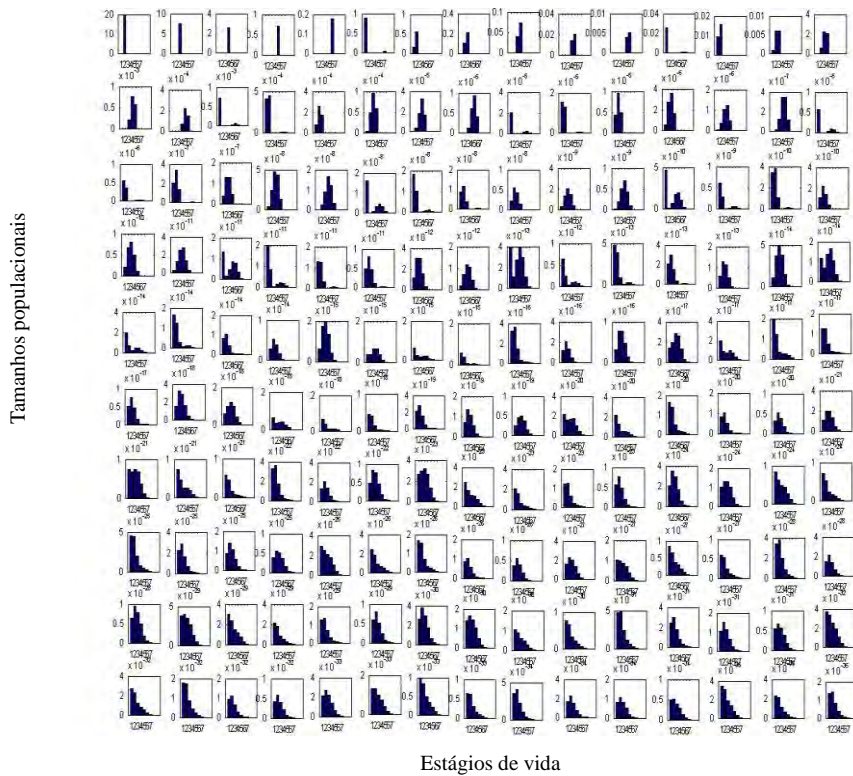


Figura 9 - Histogramas de distribuição etária por 150 gerações para populações de *G. bicolor* alimentadas com *A. gemmatalis* à 26°C.

Analisando os histogramas do ponto de vista quantitativo, nota-se que para todos os tipos de delineamento os estágios iniciais de vida de *G. bicolor* exibiram maior magnitude nas barras se comparadas aos estágios seguintes de vida. Certamente que essa constatação advém da magnitude dos resultados experimentalmente obtidos e reflete um padrão geral para as populações de *G. bicolor*, caracterizado por imaturos tendo sempre maior abundância que os adultos (Figuras 4 a 9).

Esse padrão de distribuição etária, descrito por um decréscimo aparentemente não linear da abundância ao longo dos estágios de vida, é comum em populações de insetos, incluindo outros grupos taxonômicos, cujas pesquisas utilizaram metodologia analítica similar no que diz respeito à produção de séries temporais descritas por modelos populacionais (DENNIS et al. 1995; ROSA et al., 2011). Além disso, de modo geral grande parte das populações e espécies de insetos são estrategistas *r*, caracterizados por alta fecundidade, ciclo de vida breve e tamanho reduzido no vasto conceito zoológico (MCARTHUR; WILSON, 2001), o que dá suporte aos resultados obtidos neste estudo, no tocante à distribuição de abundância de estágios vida de *G. bicolor*.

No tocante às análises comparativas dos histogramas de estágios de vida entre o forrageio de diferentes presas, notou-se que predando *S. frugiperda* e *A. gemmatalis* o reduvídeo exibe o pior desempenho de sobrevivência entre estágios de vida ao longo do tempo (Figuras 4-9). Por outro lado, ao ser alimentado com *C. includens*, *G. bicolor* exibiu melhor desempenho em sua abundância, evidenciado pelos histogramas que indicam maior magnitude na distribuição das barras, quando comparadas às populações do predador, que foram alimentadas com as outras presas (Figuras. 4 e 9). Infelizmente, ainda não existem estudos com *G. bicolor*, seja de natureza experimental em laboratório, campo ou mesmo com modelos, que disponibilizem resultados comparáveis aos encontrados no presente trabalho. No entanto, no estudo realizado por Edward George (2000), a espécie *Rhynocoris fuscipes* (Reduviidae) também apresenta variação nas taxas reprodutivas, que aumentam ou diminuem de acordo com a espécie de presa oferecida, possivelmente devido às diferenças nutricionais de cada uma. Outra forma de haver gasto de energia é através da subjugação das presas, cuja reação varia de acordo com a espécie (SILVA et al., 2012).

No que diz respeito às temperaturas utilizadas nos experimentos e simuladas com a matriz de Leslie, o melhor desempenho de *G. bicolor* foi obtido quando submetido à 24°C, ou seja, a abundância para os seus estágios de vida foi mais alta nesta temperatura. É curioso como este fato não pode ser evidenciado claramente com experimento. Somente foi possível esta conclusão após a realização das simulações com o modelo de Leslie.

De acordo com James (1992) em seu trabalho de desenvolvimento com *Pristhesancus plagipennis* (Reduviidae) em diferentes temperaturas, a ocorrência do maior número de adultos se deu a 25° e 27,5°C, sendo que à 25°C encontrou-se o melhor desenvolvimento. Isso corrobora, de certa forma, o observado nas simulações realizadas no presente estudo. Gmez-Virus, Eben e Cervantes (2003), também confirmam que a temperatura de 25°C favorece a sobrevivência das espécies de reduvídeos *Repipta flavicans* e *R. taurus* em todos os estágios de vida. A alta prevalência de ninfas nos estágios iniciais é característica presente na subfamília Harpactorinae, o que comprova a relevância das simulações realizadas (AMBROSE et al., 2009).

O histórico para modelagem populacional utilizando estrutura etária talvez se reporte inicialmente às proposições de Caswell (1978), quando a sensibilidade às mudanças em parâmetros demográficos associados à taxa de crescimento começou a ser alvo de preocupações para os ecologistas. Trinta anos após, os cenários que envolviam preocupação com estrutura estaria em populações de insetos estavam estreitamente relacionados com insetos de importância médica, sobretudo vetores transmissores de enfermidades ao homem (COOK; McMENIMAN; O'NEIL, 2008).

Implementações da estrutura se fizeram presentes, sobretudo em áreas correlatadas à medicina, como por exemplo, na área de entomologia forense, quando diversos modelos populacionais de cunho ecológico foram aplicados para estudar populações de moscas varejeiras, dentre eles os modelos que envolviam a dimensão do desenvolvimento e estágios de vida de insetos holometábolos (ROSA et al., 2001). No cenário destinado aos estudos de populações de insetos com vistas aos problemas que envolvem biologia da conservação e análise de viabilidade, os estudos de Dennis et al. (1995) deram margem para uma sequência de estudos envolvendo populações de *Tribolium castaneum* (CUSHING et al., 2003).

Cresce a demanda por modelos populacionais que envolvam o problema da estrutura de estágios de vida em seus formalismos (WEI; CHEN, 2009) e também de

maneira que tratem dos problemas associados com o manejo integrado de pragas (LIMA; FERREIRA; GODOY, 2009). Pesquisas nessa área de interface devem ser encorajadas, seja com predadores ou com parasitóides.

4.5 Conclusões

Dentre as comparações realizadas fica claro que a espécie *C. includens* confere desempenho melhor para a sobrevivência de *G. bicolor* do que as espécies *S. frugiperda* e *A. gemmatalis*.

A temperatura que melhor favorece a persistência populacional de *G. bicolor* é a de 24°C.

Referências

- AMBROSE, D.P.; SEBASTIAN RAJAN, X.J.; NAGARAJAN, K.; JEBA SINGH, V.; KHISHNAN, S. Biology, behaviour and functional response of *Sphedanolestes variabilis* Disntat (Insecta: Hemiptera:Reduviidae: Harpactorinae), a potencial predator of lepidopteran pests. **Entomologia Croatica**, Zagreb, v. 13, n. 2, p. 33-44, June 2009.
- AMYOT, C.J.; SERVILLE, B. **Histoire naturelle des insectes Hemipteres**. Paris: Librairie Encyclopedique de Roret, 1843. 675 p.
- ANDRADE, F.G.; NEGREIRO, M.C.C.; FALLEIROS, A.M.F. Aspectos dos mecanismos de defesa da lagarta da soja *Anticarsia gemmatalis* (Hüber, 1818) relacionados aos controle biológico por *Baculovirus anticarsia* (AGMNPV). **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 7, n. 3, p. 391-398, jul./set. 2004.
- CAREY, J.R. **Applied demography for biologists**: with special emphasis on insects. Oxford: Oxford University Press, 1993. 224 p.
- CASE, T.J. **An illustrated guide to theoretical ecology**. Oxford: Oxford University Press, 2000. 449 p.
- CASWELL, H. A general formula for the sensitivity of population growth rate to changes in life history parameters. **Theoretical Population Biology**, San Francisco, v. 14, p. 215–230, 1978.
- _____. **Matrix population models**: construction, analysis and interpretation. Sunderland: Sinauer Associates, 1989. 722 p.

COOK, P.E.; McMENIMAN, C.J.; O'NEIL, S.L. Modifying insect population age structure to control vector-borne disease. **Advances in Experimental Medicine and Biology**, New York, v. 627, p. 126-140, 2008.

CRUZ, I. **A lagarta do cartucho na cultura de milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, 1995. 45 p.

CUSHING, J.M.; CONSTANTINO, R.F.; DENNIS, B.; DESHARNAIS, R.; HENSON, S.M. **Chaos in ecology: experimental nonlinear dynamics**. New York: Academic Press, 2003. 225 p. (Theoretical Ecology Series, 1).

De CLERCQ, P.; MOHAGHEGH, J.; TIRRY, L. Effect of host plant on the functional response of the predator *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). **Biological Control**, San Francisco, v. 18, n. 1, p. 65–70, May 2000.

DENNIS, B.; DESHARNAIS, R.A.; CUSHING, J.M.; COSTANTINO, R.F. Nonlinear demographic dynamics: mathematical models, statistical methods, and biological experiments. **Ecological Monographs**, Ithaca, v. 65, n. 3, p. 261–281, Aug. 1995.

EDWARD GEORGE, P.J. Reproductive performance of a harpactorine reduviid *Rhynocoris fuscipes* (Fabricius) (Heteroptera: Reduviidae) on three lepidopteran insect pests. **Insect Science and its Application**, Cambridge, v. 20, n. 4, p. 269-273, jan., 2000.

FERREIRA, J.A.M.; ZANUNCIO, J.C.; TORRES, J.B.; MOLINA-RUGAMA, A.J. Predatory behaviour of *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae) on different densities of *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. **Biocontrol Science and Technology**, London, v. 18, n. 7, p. 711-719, Sept. 2008.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R.P.L.; BATISTA, G.C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J.R.P.; ZUCCHI, R.A.; ALVES, S.B.; VENDRAMIN, J.D.; MARCHINI, L.C.; LOPES, J.R.S.; OMOTO, C. **Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 920 p.

GMEZ-VIRUS, S.; EBEN, A.; CERVANTES, P.L. Immature stages and life cycle of *Repipta favicans* Stål and *R. taurus* (Fabricius) (Heteroptera: Reduviidae). **Journal of the New York Entomological Society**, New York, v. 111, n. 2/3, p. 126-137, 2003.

JAMES, D.G. Effect of temperature on development and survival of *Pristhesancus plagipennis* (Hem.: Reduviidae). **Entomophaga**, Paris, v. 37, n. 2, p. 259-264, 1992.

LESZCZYŃSKI, H.; ZWIERKOWSKI, P. The Rothe method for the Mckendrick-von Foerster equation. **Czechoslovak Mathematical Journal**, Prague, v. 63, n.3, p. 589-602.

LIMA, E.A.B.F.; FERREIRA, C.P.; GODOY, W.A. Ecological modeling and pest population management: a possible and necessary connection in a changing world. **Neotropical Entomology**, Londrina, v.38, n. 6, p. 699-707, Nov./Dec. 2009.

LUFF, M.L. The potential of predators for pest control. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, San Francisco, v. 10, n.2, p. 159-181, Sept. 1983.

MacARTHUR, R.; WILSON, E.O. **The theory of island biogeography**. Princeton: Princeton University Press, 2001. 201 p.

MATOS NETO, F.C.; ZANUNCIO, J.C.; CRUZ, I.; TORRES, J.B. Nymphal development of *Podisus nigrispinus* (Heteroptera, Pentatomidae) preying on larvae of *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera, Noctuidae) fed with resistant and susceptible soybeans. **Revista Brasileira de Entomologia**, São Paulo, v. 46, n. 3, p. 237-241, fev. 2002.

MEDEIROS, R.S.; RAMALHO, F.S.; LEMOS, W.P.; ZANUNCIO, J.C. Age-dependent fecundity and life-fertility tables for *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Het., Pentatomidae). **Journal of Applied Entomology**, Hoboken, v. 124, n. 7/8, p. 319-324, Oct. 2000.

OLIVEIRA, H.N.; PRATISSOLI, D.; PEDRUZZI, E.P.; ESPINDULA, M.C. Desenvolvimento do predador *Podisus nigrispinus* alimentado com *Spodoptera frugiperda* e *Tenebrio molitor*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 10, p. 947-951, out. 2004.

PINTO JÚNIOR, A.R.; KOZLOWSKI, L.A.; LOPES DA SILVA, A.L. Control of *Pseudoplusia includens* (Walker, 1857) in the soybean culture with different insecticides. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Araguaína, v. 2, n. 4, 16-20, Nov. 2011.

PITTS, K.M.; WALL, R. Adult mortality and oviposition rates in field and captive populations of the blowfly *Lucilia sericata*. **Ecological Entomology**, New York, v. 29, n. 6, p. 727-734, 2004.

PUTCHKOV, V.G.; PUTCHKOV, P.V. **A catalog of assassin-bug genera of the world (Heteroptera, Reduviidae)**. Kiev: Os Autores, 1985. 137 p.

ROMEIS, J.; MEISSLE, M.; BIGLER, F. Transgenic crops expressing *Bacillus thuringiensis* toxins and biological control. **Nature Biotechnology**, New York, v. 24, n. 1, p. 62-71, Jan. 2006.

ROSA, G.S.; COSTA, M.I.S.; CORRENTE, J.E.; SILVEIRA, L.V.A.; GODOY, W.A.C. Population dynamics, life stage and ecological modeling in *Chrysomya albiceps* (Wiedemann) (Diptera: Calliphoridae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 40, n. 2, p. 181-189, Mar. 2011.

RUSCH, A.; VALANTIN-MORISON, M.; SARTHOU, J.P.; ROGER -ESTRADE, J. Chapter six - Biological control of insect of insect pests in agroecosystems: effects of crop management, farming systems, and seminatural habits at the landscape scale: a review. **Advances in Agronomy**, San Francisco, v. 109, p. 219-259, 2010.

RYALLS, J.M.W.; RIEGLER, M.; MOORE, B.D. Biology and trophic interactions of lucerne aphids. **Agricultural and Forest Entomology**, Hoboken, v. 15, n. 4, p. 335-350, Nov. 2013.

SILVA, R.B.; CORRÊA, A.S.; DELLA LUCIA, T.M.C.; PEREIRA, A.I.A.; CRUZ, I.; ZANUNCIO, J.C. Does the aggressiveness of the prey modify the attack behaviour of the predator *Supputius cinctipes*? **Revista Brasileira de Entomologia**, São Paulo, v. 56, n. 2, p. 244-248, 2012.

TORRES, J.B.; ZANUNCIO, J.C.; MOURA, M.A. The predatory stinkbug *Podisus nigrispinus*: biology, ecology, and augmentative releases for lepidopteran larval control in Eucalyptus forest in Brazil. **CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources**, Surrey, v. 1, n. 15, p. 1-18, Feb. 2006.

WEI, C.; CHEN, L. Eco-epidemiology model with age structure and prey-dependent consumption for pest management. **Applied Mathematical Modelling**, San Francisco, v. 33, n. 12, p. 4354-4363, Dec. 2009.

ZANUNCIO, J.C.; LEMOS, W.P.; LACERDA, M.C.; ZANUNCIO, T.V.; SERRÃO, J.E.; BAUCE, E. Age-dependent fecundity and fertility life tables of the predator *Brontocoris tadius* (Heteroptera: Pentatomidae) under field conditions. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 99, n. 2, p. 401-407, 2006.

ZHAO, P.; LUO, Z.; CAI, W. *Iocoris nodulifemoralis*, a new genus and new species of Harpactorinae (Hemiptera: Heteroptera: Reduviidae) from China. **Zootaxa**, Auckland, n. 2129, p. 63-68, 2009.

5 NOVA SINONÍMIA DE *Graptocleptes bicolor* (BURMESTER) COM NOTAS TAXONÔMICAS (HEMIPTERA: HETEOPTERA: REDUVIDAE: HARPACTORINAE: HAROACTORINI)¹.

Resumo

Hiranettis coleopteroides (WALKER, 1873) foi aqui considerado como coespecífico com *Graptocleptes bicolor* (BURMEISTER, 1838). A espécie *Graptocleptes bicolor* foi descrita e as características da genitália masculina foram ilustradas pela primeira vez. A morfologia intraespecífica, assim como a cor e a variabilidade da genitália masculina foram discutidos. Além disso, a espécie foi registrada pela primeira vez no Paraguai.

Palavras-chave: Variação de cor; *Graptocleptes*; Harpactorini; *Hirantis*; Neotropical; Sinonímia

Abstract

Hiranettis coleopteroides (WALKER, 1873) is here found to be conspecific with *Graptocleptes bicolor* (BURMEISTER, 1838). *Graptocleptes bicolor* is redescribed and the male genitalia characters are illustrated for the first time. Intraspecific morphological, color and male genitalia variability are discussed. Furthermore, the species is recorded from Paraguay for the first time.

Keywords: Color variation; *Graptocleptes*; Harpactorini; *Hiranettis*; Neotropical; Synonymy

5.1 Introdução

A coloração tem sido tradicionalmente usada para separar e identificar espécies de Harpactorini. No entanto, por causa da extrema variação de cores que algumas espécies apresentam entre indivíduos ou entre os sexos, elas tem sido consideradas como espécies diferentes (GIL-SANTANA, 2008; GIL-SANTANA; FORERO, 2009). Champion (1898), por exemplo, registrou que espécies de *Graptocleptes* Stål (1866) e *Hiranettis* Spinola (1840) são geralmente variáveis em cor e, ao descrever *G. varians*, Champion (1840) as descreve como “extremamente variáveis em cor”. Assim, a variação de cor deve ser documentada juntamente com características morfológicas para se evitar futuras confusões.

¹ Artigo produzido em parceria com GIL-SANTANA, H.R., (autor sênior) e Davranoglou, L.

Atualmente há 10 espécies inclusas no gênero *Graptocleptes* e quatro em *Hiranettis*: *H. Atra*, Stål, 1872; *H. braconiformis* (Burmeister, 1835), *H. Coleopteroides* (Walker, 1873) e *H. Membranacea* Spinola, 1840 (MALDONADO, 1990).

Reduvius coleopteroides foi descrito por Walker (1873a) com base em um único exemplar de fêmea (erroneamente considerado um macho na descrição original). A espécie foi transferida para o gênero *Hiranettis* por Distant (1903), sem nenhuma justificativa, fazendo com que novos autores seguissem o novo remanejamento na sistemática (*H. Coleopteroides*) (WYGODZINSKY, 1949; MALDONADO, 1990), que permaneceu válido até o presente. Contudo, o reexame do holótipo de *H. Coleopteroides* sugere que esta espécie não pertence ao gênero *Hiranettis* e é, na verdade, um coespecífico com *G. bicolor* (BURMEISTER, 1838). No presente trabalho, propomos a seguinte sinonímia: *Graptocleptes bicolor* (BURMEISTER, 1838) = *Hiranettis coleopteroides* (WALKER, 1873).

5.2 Material e Métodos

No presente estudo, o material tipo de *Myocoris bicolor* Burmeister, 1838, foi examinado baseado em fotografias, com espécimes adicionais de *Graptocleptes bicolor* ; o material tipo de *Reduvius coliopteroides* Walker, 1873 foi examinado diretamente. Fotografias do material tipo de *M. bicolor* foram gentilmente fornecidas por Jürgen Deckert do Museu de História Natural, da Universidade de Humboldt, situada em Berlim, Alemanha (Museum für Naturkunde der Humboldt-Universität zu Berlin, ZMHB), onde o material encontra-se depositado. A informação de que há três sintípos de *M. Bicolor* foi fornecida por Jürgen Deckert, sendo que: uma delas, um macho de 1,7cm de comprimento, está catalogado como “tipo” e outro está catalogado como “parátipo”. Por causa da descrição original não mencionar o número de tipos ou designar um holótipo, como geralmente era feito naquela época, é melhor considerar todas as espécies como sendo sintípos. O holótipo de *R. coleopteroides* Walker, 1873 e um espécime adicional da antiga coleção *W.L. Distant Collection*, que atualmente se encontra depositado no Museu de História Natural (Natural History Museum, BMNH) de Londres, Reino Unido, foram diretamente analisados por Gil-Santana e Davranoglou, também autores do presente trabalho. Gil-Santana também examinou espécimes adicionais depositadas na coleção do Museu Nacional da Universidade do Rio de Janeiro (MNRJ). A maioria dos

espécimes foram criadas por Neves no Laboratório de Ecologia de Insetos da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Os exemplares eram descendentes de uma fêmea coletada em uma cultura de milho localizada no estado de São Paulo. Um macho coletado em plantações de algodão no Paraguai pelo Doutor Pierre Silvie (CIRAD, França) foi gentilmente cedido para Gil-Santana.

5.2.1 Taxonomia

Graptocleptes bicolor (Burmeister, 1838)

Myocoris bicolor Burmeister, 1838: 107 [descrição]; Walker, 1873b: 131 [catalogado]; [descrição].

Eccagoras [sic] nigricornis Stål, 1855: 189 [descrição].

Evagoras nigricornis; Stål, 1866: 295 [como sinoníma de *Myocoris bicolor* Burm.].

Amaurosphodrus bicolor, Stål, 1866: 295 [como espécie do gênero].

Hiranettis bicolor, Stål, 1859: 371 [citação]; Stål, 1860: 77 [citação].

Euagoras nigricornis; Stål, 1872: 82 [como sinônimo de *Graptocleptes bicolor* Burm.]; Walker, 1873b: 118 [citação como espécie válida]; Lethierry e Severin, 1896: 179 [catalogado como variante de *Graptocleptes bicolor*].

Graptocleptes bicolor, Stål, 1872: 82 [redescrição]; Berg, 1879: 148 [citação do Uruguai]; Lethierry e Severin, 1896: 179 [catalogado]; Wygodzinsky, 1949: 39 [catalogado]; Maldonado, 1990: 204 [catalogado].

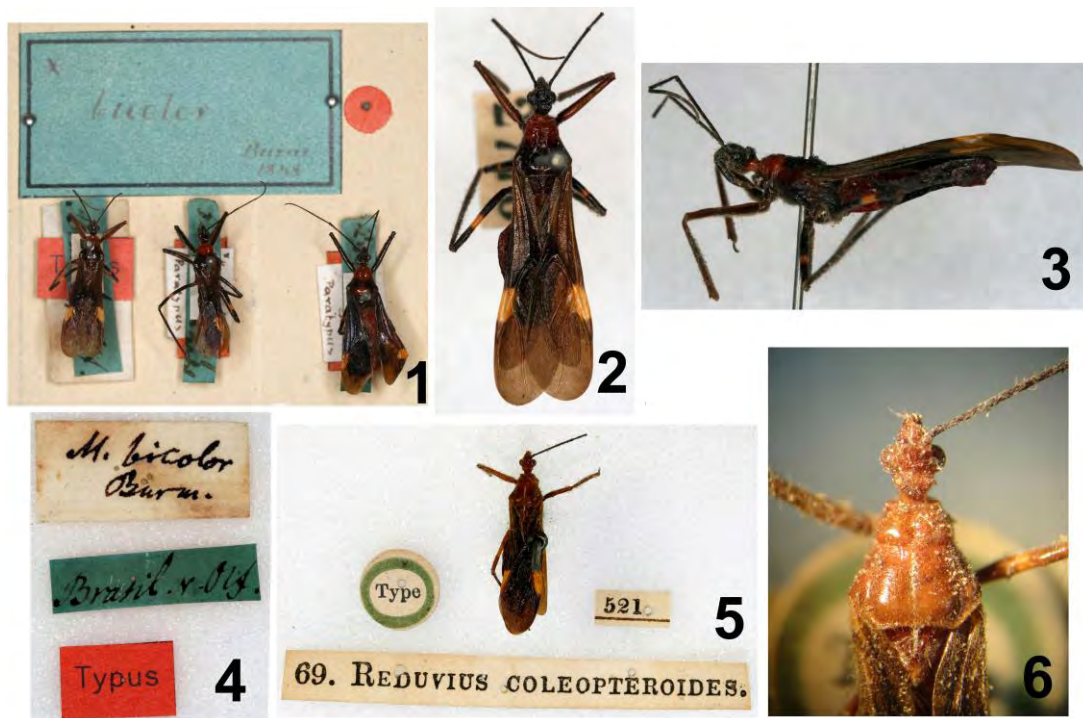
Reduvius coleopteroides Walker, 1873a: 203 [descrição]; Lethierry e Severin, 1896: 188 [catalogado como *especies incerti generis*] NOVA SINONÍMIA.

Hiranettis coleopteroides; Distant, 1903: 246 [nova combinação]; Wygodzinsky, 1949: 40 [catalogado], Maldonado, 1990: 218 [catalogado], NOVA SINONÍMIA.

5.3.2 Redescrição do macho

O macho apresenta coloração geral preta (Figuras 2-3, 7), a cabeça, incluindo os olhos e antena, são pretos (Figuras 2-3, 7-9, 11-12); pescoço inteiramente vermelho (Figuras 8-9, 12) ou enegrecido nos lados; lobo frontal anterior avermelhado, um tanto quanto enegrecido para marrom avermelhado em alguns espécimes (Figuras 2-3, 7, 11-12); lobo posterior do pronoto preto ou com alguns

extravasamentos de vermelho de extensão variada (2-3, 7, 11-12); escutelo vermelho ou variavelmente enegrecido para inteiramente preto (11-12, 14); meso e metaesterno marrom avermelhado ou enegrecido, sendo o último geralmente mais brilhante, quando não totalmente preto. No macho proveniente do Paraguai, a cabeça (com exceção dos olhos), bases oclares, antena e o tórax são completamente vermelhos (Figura 14), com segmentos disciais do rostró levemente amarronzado.

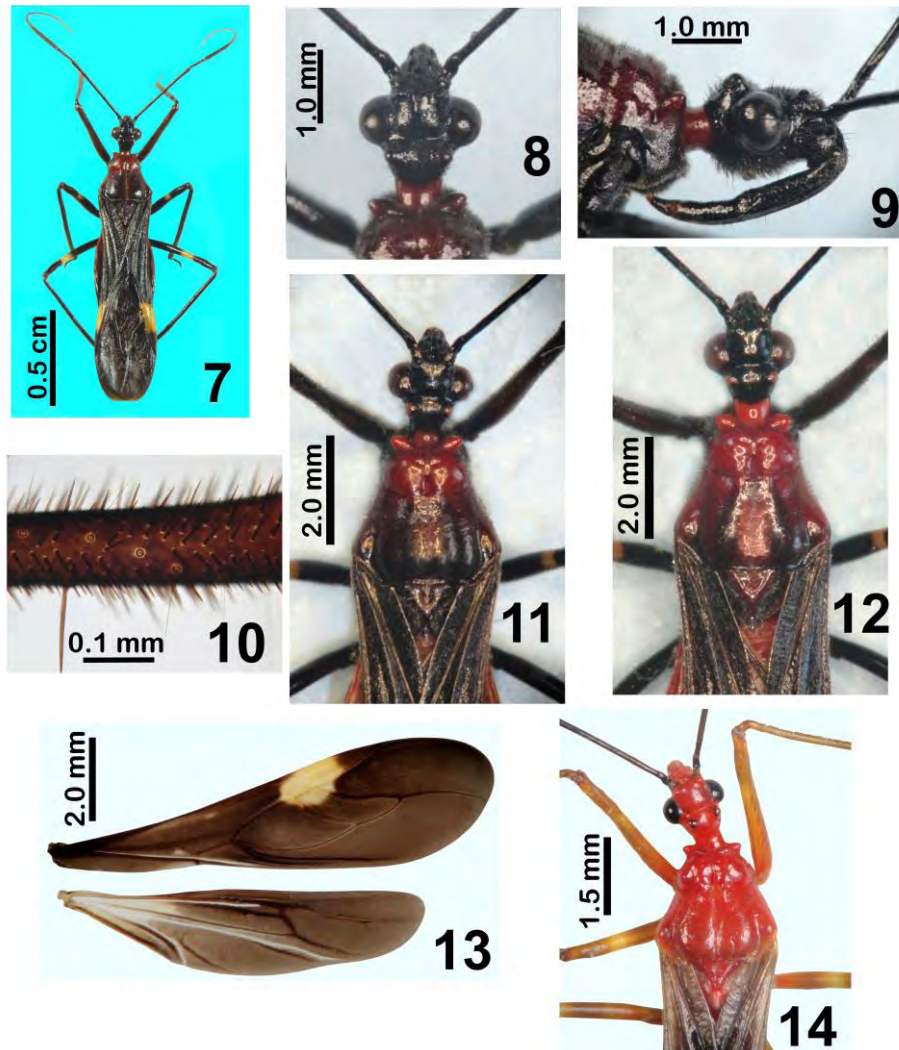


Figuras 1 - 6 – Fotos dos exemplares estudados e etiquetas de identificação original

Hemiélitro preto ou marrom escuro, com mancha amarela na parte externa e médio-distal do córium, alcançando a parte adjacente da membrana, em sua maioria na porção basal da célula distal da membrana (Figuras 1-2, 7, 13); asa posterior majoritariamente preto amarronzado, com áreas claras no terço basal e com linhas paralelas às nervuras (Figura 13); fêmur anterior é preto, marrom e com um anel amarelado claro incompleto no espécime proveniente do Paraguai; fêmures mediano e posteriores pretos, amarronzados no espécime do Paraguai, com o fêmur mediano podendo ter anéis amarelados e estreitos, algumas vezes imperceptíveis, presentes na região mediana; no fêmur posterior o anel amarelado é maior e mais claro, localizado na região distal a mediana do segmento posterior do fêmur posterior

(Figura 7); tíbia e tarsos pretos, amarronzados no espécime do Paraguai; esternitos em sua maioria avermelhados, com dois ou três segmentos distais variavelmente enegrecidos para preto, incluindo pontos ou marcas escuras nas proximidades avermelhadas dos segmentos; conexivos completamente avermelhados, variavelmente mais escuros nos segmentos distais.

A cabeça (Figuras 8-12, 14) é alongada, com integumento brilhante, com alguns pelos escuros longos e esparsos e vários pelos escuros curtos, mais densos na parte posterior do lóbulo da cabeça; gula acentuadamente curvada, coberta com pubescência densa e moderadamente longa; clípeo reto; espinhos pós-antenas sem ponta, tuberculiformes; olhos globosos que se projetam lateralmente; sulcos transversais bem marcados; ocelos elevados, bem mais próximos dos olhos do que um do outro; lábio com integumento brilhante, com pelos retos e esparsos e setas, sendo que estas últimas são mais densas e maiores na porção apical do último segmento; II segmento (aparentemente primeiro), grosso, reto, alcançando a margem posterior dos olhos; III segmento um tanto quanto curvado; IV segmento triangular, cônico, quase chegando na coxa dianteira; pescoço brilhante e desprovido de pelos. Segmentos antenais enegrecidos, com os dois primeiros segmentos brilhantes e retos; o I segmento é o mais longo segmento com pelos escuros esparsos e moderadamente longos; II segmento com pelos longos escuros e esparsos e pelos escuros curtos e retos, assim como tricobótrios, em quantidade de dez, encontrados em um espécime após clarificação (Figura 10); III segmento e IV opacos, cobertos com pelos curtos e achatados, e alguns pelos esparsos moderadamente longos e curvados; III segmento um tanto quanto afinado no primeiro terço e um tanto quanto curvado na parte distal medial; IV segmento reto, com ápice sem ponta.



Figuras 7-14 – Fotos dos exemplares estudados com enfoque nos detalhes presentes na cabeça

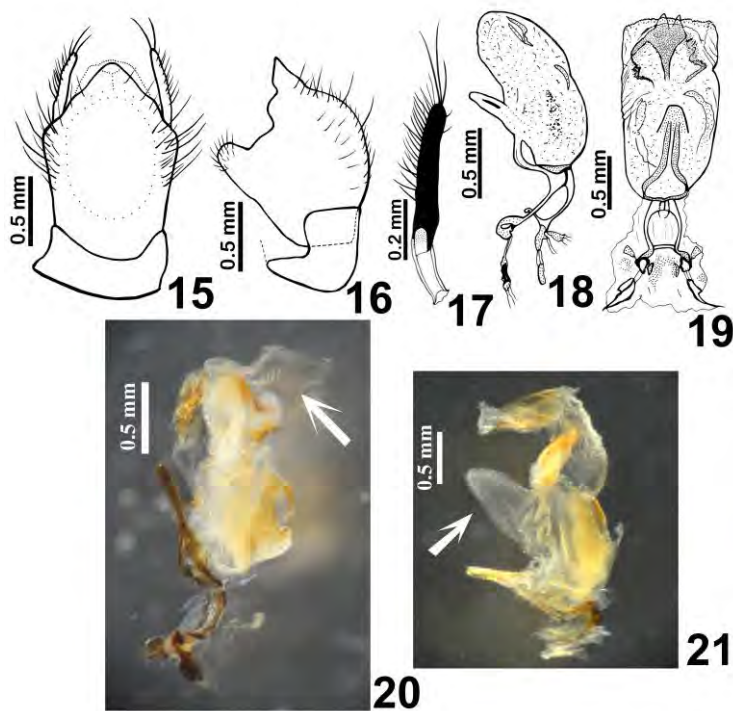
No tórax (Figura, 7,11-14), o pronoto possui ângulos ântero-laterais arredondados e pronunciados, divergindo lateralmente; sulcos médio-longitudinais rasos na parte anterior e profundos na parte distal; sulcos transversais bem definidos; pronoto com integumento brilhante, margens dos lóbulos marginais densamente cobertos com setas curtas e escuras; no disco, as setas são esparsas; porção anterior do lóbulo posterior com setas curtas e esparsas, formando uma linha médio-longitudinal no lóbulo posterior, onde estas setas são maiores, indo do tom amarelado para esbranquiçado; disco suave, com fraca depressão cruzando o úmero; ângulos umerais redondos, cujas margens são levemente erguidas; propleura com produzido lateralmente; estrutura estridular alcançando coxa dianteira; pleura com pelos escuros e um pequeno grupo de setas esbranquiçadas grandes e achatadas na parte superior da mesopleura de alguns indivíduos; meso e

metaesterno com partes de cera branca, com setas esbranquiçadas entre as coxas de alguns espécimes; meso e meta episterno com pelos esbranquiçados. Escutelo subtriangular, com ápice sem ponta; pontiagudo em um espécime, com poucos pelos marrom avermelhados ou mais escuros na parte central; algumas vezes com uma linha medio-longitudinal de setas esbranquiçadas na proximidade do primeiro terço, sendo esta uma linha continua de setas esbranquiçada encontradas no lóbulo posterior.

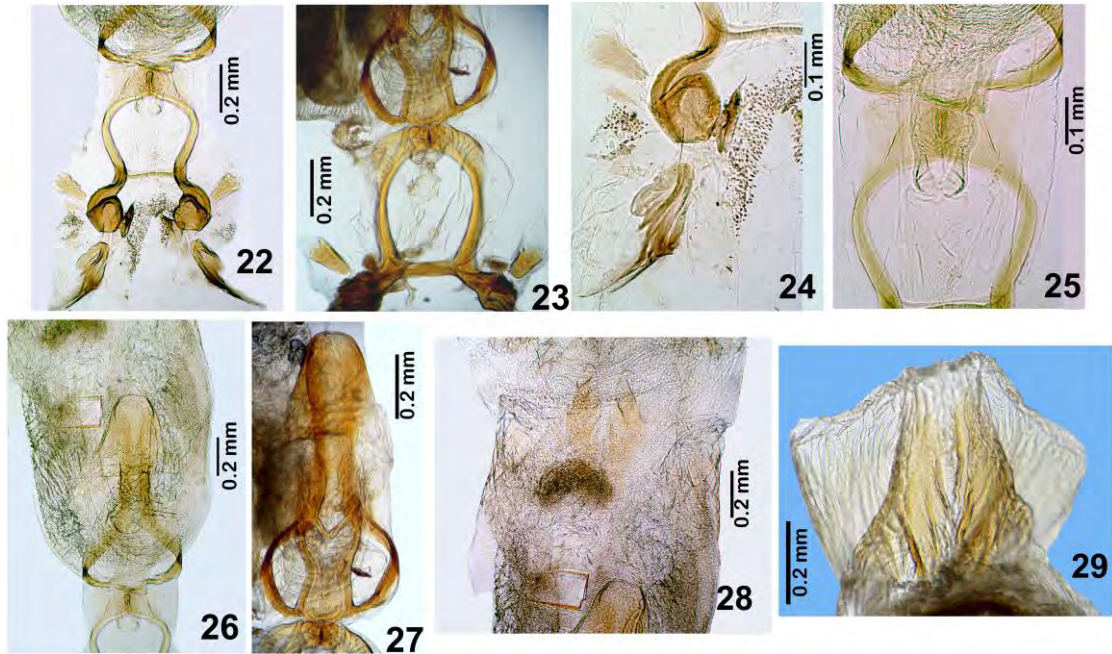
As pernas são finas e alongadas, coxa globosa, levemente constrictada; trochanters quase quadrangulares; parte ventral da coxa e trocanter com pelos esbranquiçados finos; fêmures afilados na parte basal, principalmente no primeiro e segundo par de pernas, com esparsos pelos escuros e longos; primeiro e segundo fêmures com densas setas eretas, em forma de escova e esbranquiçados, localizados na região ventral; tíbia da primeira perna com densas setas em formato de escova, eretas, localizadas na região ventral, com uma projeção pontiaguda na região apical, na parte anterior do segmento; todas as tíbias possuem esparsos pelos longos e eretos, com várias setas eretas, que se tornam mais densas quando se aproximam ao ápice nas tíbias da primeira e segunda perna. Tarsos tri-segmentados, com grande quantidade de setas, principalmente na superfície ventral. Hemiélitro longo, passando o abdômen por volta da metade do comprimento da membrana; cório coberto, com setas enegrecidas em formas de cerda; células e nervuras do hemiélitro como na Figura 13. O abdômen é alongado, esternitos com integumentos brilhantes com longos pelos esbranquiçados; pequenos agrupamentos, de dimensões variadas, de setas curtas e esbranquiçadas na porção medio-lateral do primeiro esternito em alguns espécimes.

A genitália masculina (Figuras 15-35) apresenta pigóforo enegrecido ou amarronzado, com pelos enegrecidos, mais longos nas porções laterais, subpentagonal na visão lateral (Figuras 15 – 16); com protuberância basal arredondada e ápices subtriangulares arredondados (Figuras 15-16). Parâmeros enegrecidos, simétricos, alongados, com pelos escurecidos alongados na margem lateral e no ápice, onde três ou quatro elementos são maiores (Figura 17). Fálo simples (Figuras 18-21); aparato articulatorio moderadamente curto, com apêndices um tanto quanto arredondados (Figuras 19,22, 25) ou subretangulares, sendo estes mais esclerotizados (Figura 23); esclerito dorsal do canal espermático com

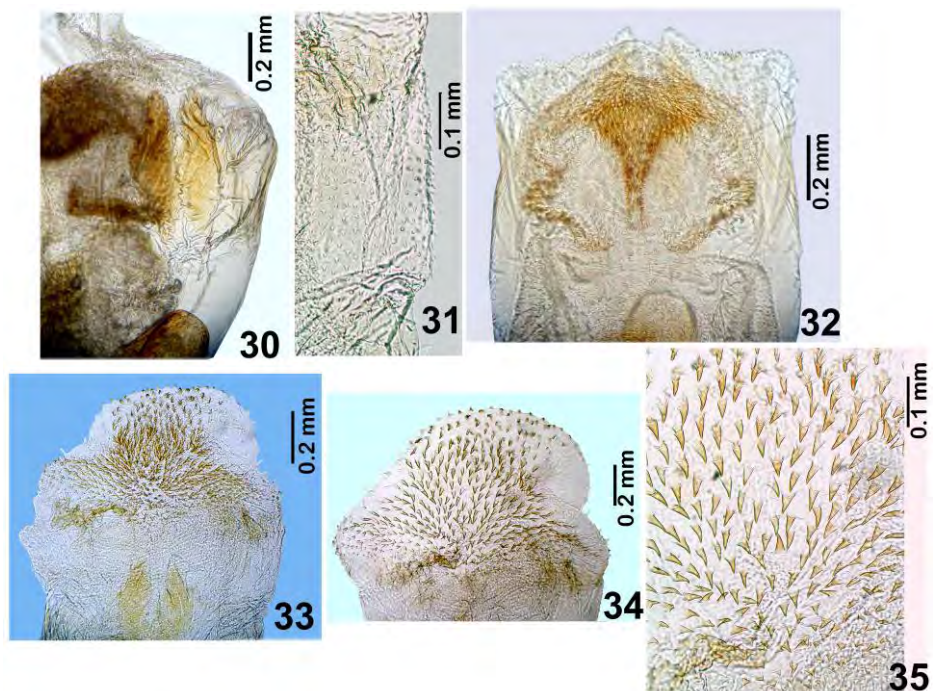
esclerotização variável, estruturas simples (19, 26 -27). Após a expansão do endosoma em dois machos, foi observado uma projeção cônica da conjuntiva no ápice (Figura 20), enquanto que no espécime do Paraguai também foi encontrado semelhante projeção na região dorsal entre o ápice e o canal espermático (Figura 21); conjuntiva levemente espinhosa (Figura 31). Entre os processos do endosoma, há adição de um processo um tanto quanto esclerotizado, curvo e pequeno (Figura 28), localizado na região ventral, com engrossamento difuso na parte basal, que é seguido, logo abaixo, por um outro par de pequenos processos pouco esclerotizados e subretangulares (Figura 28). Estes foram encontrados na região subapical de um macho (Figura 28), sendo localizado na região apical do macho proveniente do Paraguai (Figura 29) e, em outros dois machos, foram encontrados na região dorso-apical, no qual os processos eram localizados dorsalmente em relação a um grupo de vários processos triangulares esclerotizados (Figura 30). Estes processos triangulares puderam ser observados após completa extensão do endosoma de um espécime onde eles estavam localizados isolados no ápice (Figuras 32-35). No exemplar do Paraguai, este grupo de processos triangulares e esclerotizados eram subapicais.



Figuras 15 - 21 – Desenho e fotos da genitália masculina



Figuras 22 - 29 – Fotos com detalhes da genitália masculina



Figuras 30 – 35 - Fotos com detalhes do endosoma

5.3.3 Características da fêmea

As fêmeas (Figuras 5-6, 36-39) são semelhantes aos machos, embora

maiores, incluindo a variação na coloração da cabeça (excetuando-se os olhos, ocelos basais e as antenas), com tórax vermelho alaranjado podendo variar para avermelhado (Figuras 6, 36-38); segmento III da antena mais fino na porção de maior largura do segmento. Abdomen mais largo.

Material examinado: *Reduvius coleopteroides* Walker, TIPO, [sem informação sobre localização geográfica], 1 fêmea, “69. *Reduvius coleopteroides*”, “Tipo” [etiqueta circular verde], “521” [BMNH]. *Graptocleptes bicolor* (Burmeister): BRASIL, [sem localidade], 1 fêmea, “Brasil Real”, escrito a mão, “*Amaurosphodrus*”, escrito a mão, Coleção Distant, 1911-383, impresso [BMNH]; [sem localidade], 1 fêmea, 20.II. [1] 927, “Museu Nacional”, “Brasil”, A.M. Parko [*leg.*], “*Hiranettis coleopteroides* Walker”, N. C.E. Miller det. 1951 [MNRJ]; São Paulo, Piracicaba, 7 fêmeas, 7 machos, 2012, criado por J.A. Neves, no “Laboratório de Ecologia de Insetos” [ESALQ], descendentes de um espécime fêmea coletado em campo de milho na área experimental “Fazenda Areão”, ESALQ, 22° 41, 716' S – 47° C 38, 478' W, 520 – 600m, III. 2011 [MNRJ]; **PARAGUAI, Choré**, 1 macho, 25.II.2009, Plantação de Algodão, PierreSilvie *leg.* [MNRJ].

Notas sobre distribuição: *G. bicolor* foi registrado no Brasil (Burmeister, 1838). No entanto, o único registro detalhado sobre localização foi fornecido por Stål (1855, 1860, 1872), no estado de Minas Gerais e Rio de Janeiro. Berg (1879) coletou esta espécie na parte leste do Uruguai.

Novo Registro: Paraguai.

5.3.4 Notas sobre ecologia

Sobre a biologia em condições naturais, a fêmea de *G. bicolor* foi encontrada dentro de uma plantação de milho, mas sem informações sobre as presas desta espécie. A prole e os adultos foram criados em laboratório e alimentados com lagartas de *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidade) (Figura 39), em diferentes estágios de desenvolvimento, assim como larvas de outras espécies de lepidopteras. A única cópula observada ocorreu na posição dorsoventral. Ovos férteis foram depositados agrupados, com posturas em formas arredondadas. Por outro lado, foi observado que as fêmeas de *G. bicolor* também realizam postura de ovos não fertilizados, sem apresentar a disposição normal. Foram observados cinco instares antes da emergência dos adultos. Estas são

informações preliminares, e a descrição completa das formas imaturas e informações biológicas serão tratadas em um futuro trabalho.

5.4 Discussão

Burmeister (1838) descreveu *Myocoris bicolor* baseado em espécimes do Brasil (Figuras 1-4). Após algumas mudanças taxonômicas como as descritas acima e sua inclusão em *Graptocleptes* por Stål (1872), a espécie tem permanecido inclusa neste gênero deste então (LETHIERRY; SEVERIN, 1896; WYGODZINSKY, 1949; MALDONADO, 1990).

Eccagoras [= *Euagoras*] *nigricornis* Stål, 1855, descrito como sendo de “Minas Geraes” [atualmente o estado de Minas Gerais], Brasil, foi reconhecido como uma sinonímia júnior de *G. bicolor* pelo próprio C. Stål (STÅLM 1866, 1872). A descrição (STÅL, 1855) e as fotos do holótipo de *E. Nigricornis* era conclusivo com a ideia de que estes dois taxa eram idênticos. As fotos do sintótipo de *E. Nigricornis* foi disponibilizado pelo Museu Real Sueco de História Natural (Naturhistoriska Riksmuseet, NHRS) e pode ser livremente acessado em http://www2.nrm.se/en/het_nrm/n/graptocleptes_nigricornis.html.

Walker (1873a) baseado na sua descrição de *R. coleopteroides* de um único espécime de uma fêmea, que ele julgou erroneamente como sendo um macho, sem nenhuma referência de informação geográfica, que também está faltando nas etiquetas que acompanham o holótipo (Figura 5). Este autor, na sessão seguinte de seu catálogo (Walker, 1873b), citou *Myocoris bicolor* Burmeister como uma espécie válida mas “desiderata” ou espécie que seria “desejável se procurar para coleção”, como pode ser inferido pela ausência de letras convencionais, como explicado no prefácio, denotando que não era de seu conhecimento que as espécies eram coespecíficas.

Hiranettis Spinola (1840) e *Graptocleptes* Stål (1866) são gêneros intimamente relacionados (CHAMPION, 1898), que juntamente com outros Harpactorini vêm sendo reconhecidos como vespas miméticas Müllerianas, usando vários padrões de Ichneumonidae e Braconidae (CHAMPION, 1898; HAVILAND, 1931; HOGUE, 1993; MALDONADO; LOZADA, 1992). A semelhança resultante deste mimetismo tem acarretado identificações errôneas destes dois gêneros, como

mostrados neste trabalho.

Em *G. bicolor*, grande variação nas colorações avermelhadas no pronoto foram registradas (Figuras 2-3,6,7,11-12,14,38-39). A coloração avermelhada da área do esterno torácico e trocânters foram registradas na descrição original (BURMEISTER, 1838), mas a coloração do esterno torácico nos espécimes analisados aqui foram variáveis, indo de inteiramente avermelhado para vermelho amarronzado e preto em outros espécimes. A variação que se estende desde coloração avermelhado para enegrecido também foi notado na cabeça (exceto para as bases ocelares, olhos e antena) (Figuras 6,8-9,14,36-38) e o tórax, incluindo o escutelo, esternitos distais e convexos. Uma variação significativa de cor também foi registrado em outras espécies de *Graptocleptes* (CHAMPION, 1898).

Stål (1872) registrou a variação de coloração no cório do hemiélitro, descrevendo-o tanto quanto descorado (“Var.b – *pallidior*”) ou completamente enegrecido (“bb. *Corio toto nigricante*”).

Machos de *Graptocleptes* podem ser reconhecidos por seus grandes olhos proeminentes e um alargamento da terceira articulação da antena (Champion, 1898). Por outro lado, no que diz respeito ao dimorfismo sexual pelo tamanho dos olhos de *G. bicolor*, não foi descrito por Stål (1872) - “*oculis (...) in utroque sexus œque prominulis*”.

Apesar de mais espécimes terem que ser examinados para se confirmar estes resultados, o dimorfismo sexual de *G. bicolor*, levando em consideração os espécimes examinados, é sutil. Assim, é possível que este detalhe passe despercebido caso os espécimes sejam rapidamente analisados. O terceiro segmento antenal é levemente mais grosso em machos, cuja largura máxima deste segmento é de 0,18 – 0,21 mm (min. - max.); em fêmeas, foi de 0,13 – 0,15 mm. Os olhos parecem ser um tanto quanto maiores em machos, quando comparados separadamente os espécimes de cada sexo (Figuras 8-9, 36-37). De fato, as medidas da largura transversal do olho direito em visão dorsal mostrou maiores valores em machos (0,35 – 0,75 mm: min.-max.) do que em fêmeas (0,30 – 0,45 mm), mas a amplitude de 0,35 – 0,45 mm foi encontrado em ambos os sexos, então não houve diferenças nos respectivos espécimes, como foi observado por Stål (1872). Nos espécimes do estado de São Paulo, os segmentos antenais I e II eram maiores em fêmeas, com comprimentos mínimos maiores do que os comprimentos máximos do mesmo segmento nos machos, enquanto que os segmentos antenais III

e IV são maiores em machos do que em fêmeas. No entanto, nas outras duas fêmeas provenientes do BMNH, os comprimentos dos segmentos antenais I e II estão além da extensão dos machos de São Paulo; os outros segmentos estão faltando, não permitindo maiores comparações. Por outro lado, no macho proveniente do Paraguai, o terceiro segmento antenal era mais curto do que todos os outros espécimes. Por tanto, mais espécimes precisam ser examinados, para que se esclareçam estas possíveis diferenças sexuais.

Lent e Jurberg (1985) estudou a genitália do macho de espécimes de *Triatoma dimidiata* (LATREILLE, 1811) (Triatominae) de diversas origens, apontou que a mesma variabilidade de cor notada nos caracteres externos e na relação entre cabeça e pronoto foi demonstrada por estruturas do falo, como o os processos do endosoma, ganchos, falosoma e vesícula. Por outro lado, em *Triatoma infestans* (KLUG, 1834), uma espécie com “estáveis caracteres externos” (LENT; JUBERG, 1985), a dissecação da genitália masculina de espécimes de diferentes regiões ou populações, mostrou pouca variação nos ganchos e nos processos do endosoma (LENT; JUBERG, 1985; PIRES et al., 1998).

Devido a dissecação da genitália masculina ser realizada em apenas um espécime de cada espécie (LENT; JURBERG, 1985), a variabilidade dessas estruturas podem continuar sem serem registradas. Por isso, em estudos futuros, em especial com relação às espécies cujas variações morfológicas e de cor são evidentes, a dissecação deve ser realizada em mais espécimes de cada espécie, para que se tenha certeza da variabilidade da genitália masculina, como registrado nas estruturas fálicas de *G. bicolor* no presente estudo. (Figuras 20-23, 26-30).

As principais características que separam *Hiranettis* e *Graptocleptes*, de acordo com Stål (1872) e Maldonado e Lozada (1992) são os seguintes:

1- *Hiranettis*: cabeça arredondada, densamente pilosa; espinho pós-antenal ausente; pernas alongadas, delgadas, fêmur anterior subigualmente maior do que a cabeça e o pronoto juntos e evidentemente mais grosso na região basal do que apical.

2 – *Graptocleptes*. Cabeça 1,3 vezes maior em largura do que em comprimento entre os olhos, esparsamente piloso; espinho pós-antenal reto, semivertical; pernas menos alongadas, mais grossas; fêmur posterior menor que a cabeça e pronoto juntos e uniformemente grosso.

Apesar das características consideradas pelos autores serem concordantes com as inclusões de *Myocoris bicolor* Burmeister em *Graptocleptes*, uma revisão de *Hiranettis*, *Graptocleptes* e outros gêneros aliados e suas espécies precisa ser feito considerando uma abordagem filogenética para se esclarecer a sistemática de todo o grupo.

Referências

- BERG, C. **Hemiptera Argentina enumerativ species que novas descripsit.** Hamburg: Pauli E. Coni, 1879. 316 p.
- BURMEISTER, H. Some account of the Genus *Myocoris*, of the Family Reduviini. **Transactions of the Entomological Society of London**, London, v. 2, p. 102-107, 1838.
- CHAMPION, G.C. Insecta Rhynchota. Hemiptera-Heteroptera. In: GODMAN, F.D.; SALVIN, O. (Ed.). **Biologia centrali americana**. London: Smithsonian Libraries, 1898. v. 2, 416 p. + 22 plates
- DISTANT, W.L. Rhynchotal Notes. XVI. Heteroptera: Family Reduviidae (continued), Apiomerinæ, Harpactorinæ, and Nabinæ. **Annals and Magazine of Natural History**, Washington, v. 11, p. 245-258, 1903.
- FORERO, D. Classification of Harpactorinae, assassin bugs Hemiptera: Heteroptera: Reduviidae. **Boletín Museo Entomológico Francisco Luís Gallego**, Medellin, n. 1, p. 9-24, 2011.
- FORERO, D.; GIL-SANTANA, H.R.; DOESBURG, P.H. van. Redescription of the Neotropical genus *Aristathlus* (Heteroptera, Reduviidae, Harpactorinae). In: GROZEVA, S.; SIMOV, N. (Ed.). **Advances in Heteroptera research: Festschrift in Honour of 80th Anniversary of Michail Josifov**. Sofia; Moscow: Pensoft Publishers, 2008. p. 85-103.
- GIL-SANTANA, H.R. New records, and nomenclatural and biological notes on Reduviidae (Hemiptera: Heteroptera) from Bolivia and Brazil. **Zootaxa**, Auckland, v. 1785, p. 43-53, 2008.
- GIL-SANTANA, H.R.; FORERO, D. A new species of *Notocyrtus*, a new synonym of *Coilopus*, and new records and notes on other Harpactorini (Hemiptera: Heteroptera: Reduviidae: Harpactorinae) from South America. **Zootaxa**, Auckland, v. 2148, p. 55-67, 2009.
- HAVILAND, M.D. (Mrs. H.H. Brindley) The Reduviidae of Kartabo, Bartica District, British Guiana. **Zoologica**, Stuttgart, v. 7, p. 129-154, 1931.
- HOGUE, C.L. **Latin American insects and entomology**. Los Angeles: University of California Press, 1993. 536 p.

LENT, H.; JURBERG, J. Sobre a variação intra-específica em *Triatoma dimidiata* (Latreille) e *Triatoma infestans* (Klug) (Hemiptera, Reduviidae). **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, v. 80, p. 285-299, 1985. .

LETHIERRY, L.; SEVERIN, G. **Catalogue général des Hémiptères**. Berlin: R. Friedländer & Fils, Libraires-Éditeurs, 1896. t. 3: Hétéroptères, 275 p.

MALDONADO C., J. Systematic catalogue of the Reduviidae of the world. **Caribbean Journal of Science**, Mayaguez, special publication, n. 1, p. 694, 1990.

MALDONADO C., J.; LOZADA R., P.W. Key to the group of Neotropical wasp-mimetic Harpactorine genera and the description of a new species (Hemiptera: Reduviidae). **Proceedings of the Entomological Society of Washington**, Washington, v. 94, p. 162-165, 1992.

PIRES, H.H.R.; BARBOSA, S.E.; MARGONARI, C.; JURBERG, J.; DIOTAIUTI, L. Variations of the external male genital in three populations of *Triatoma infestans* Klug, 1834. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, v. 93, p. 479-483, 1998.

SCHUH, R.T.; SLATER, J.A. **True bugs of the world (Hemiptera: Heteroptera): classification and natural history**. Ithaca: Cornell University Press, 1995. 336 p.

STÅL, C. Nya Hemiptera. **Öfversigt af Kongliga Vetenskaps-Akademiens Förhandlingar**, Stockholm, v. 12, p. 181-192, 1855.

_____. Till kännedomen om Reduvini. **Öfversigt af Kongliga Vetenskaps-Akademiens Förhandlingar**, Stockholm v. 16, p. 363-386, 1859.

_____. Bidrag till Rio de Janeiro-Traktens Hemipter-Fauna. **Kongliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar**, Stockholm, v. 2, p. 1-84, 1860.

_____. Bidrag till Reduviidernas kännedom. **Öfversigt af Kongliga Vetenskaps-Akademiens Förhandlingar**, Stockholm, v. 23, p. 235-302, 1866.

_____. Enumeratio Reduviinorum Americae. In: **Enumeratio Hemipterorum. Kongliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar**, Stockholm, v. 10, p. 66-128, 1872.

WALKER, F. **Catalogue of the specimens of Hemiptera Heteroptera in the Collection of the British Museum**. London: British Museum, 1873a. pt. 7: Printed for the trustees of the British Museum, 213 p.

_____. **Catalogue of the specimens of Hemiptera Heteroptera in the Collection of the British Museum**. London: British Museum, 1873b. pt. 8: Printed for the trustees of the British Museum, 220 p.

WYGODZINSKY, P. **Elenco sistemático de los reduviiformes americanos.**
Tucumán: Universidad Nacional de Tucumán, Instituto de Medicina Regional, 1949.
102 p. (Monografía, 1).

APÊNDICE

<http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.3700.3.2>
<http://zoobank.org/urn:lsid:zoobank.org:pub:F59424BF-19D0-471B-8C15-4781419349F5>

A new synonymy of *Graptocleptes bicolor* (Burmeister), with taxonomical notes (Hemiptera: Heteroptera: Reduviidae: Harpactorinae: Harpactorini)

HÉLCIO R. GIL-SANTANA¹, LEONIDAS-ROMANOS DAVRANOGLOU² & JULIANA A. NEVES¹

¹Laboratório de Díptera, and Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Saúde, Instituto Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, Brazil. E-mail: helcogil@uol.com.br; helcogil@ioc.fiocruz.br

²Temporary address: 67 Evelyn Gardens, Willis Jackson Hall, Room 65GLA, London SW6 3BQ, UK. Department of Life Sciences, Imperial College, London. E-mail: lrdreduvius@yahoo.gr

¹Laboratório de Ecologia de Insetos, Departamento de Entomologia e Acarologia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” ESALQ, Piracicaba, São Paulo, Brazil. E-mail: juliana.neves@gmail.com; janeves@usp.br

Abstract

Hiranetis coleopteroides (Walker, 1873) is here found to be conspecific with *Graptocleptes bicolor* (Burmeister, 1838). *Graptocleptes bicolor* is redescribed and the male genitalia characters are illustrated for the first time. Intraspecific morphological, color and male genitalia variability are discussed. Furthermore, the species is recorded from Paraguay for the first time.

Key words: Color variation, *Graptocleptes*, Harpactorini, *Hiranetis*, Neotropical, synonymy

Introduction

Coloration has traditionally been used to separate and identify species in Harpactorini. Nonetheless, because some species may show extreme color variation among individuals, or between the sexes, they have been considered to be separate species (Gil-Santana 2008, Gil-Santana & Forero 2009). For instance, as reported by Champion (1898), species of *Graptocleptes* Stål, 1866 and *Hiranetis* Spinola, 1840 are usually variable in color and, in describing *G. varians* Champion, 1898, he recorded it as “extremely variable in color.” Therefore, color variation should be documented, coupled with morphological characters to avoid future confusions.

Currently, ten species are included in *Graptocleptes* and four in *Hiranetis*: *H. atra* Stål, 1872, *H. braconiformis* (Burmeister, 1835), *H. coleopteroides* (Walker, 1873), and *H. membranacea* Spinola, 1840 (Maldonado 1990).

Reduvius coleopteroides was described by Walker (1873a), based on a single female specimen (erroneously stated as male in the original description). The species was then transferred to *Hiranetis* by Distant (1903), without justification, and subsequent authors followed the new systematic placement (*H. coleopteroides*) (Wygodzinsky 1949, Maldonado 1990), which has remained valid until the present day. However, reexamination of the holotype of *H. coleopteroides* suggests that it does not belong to the genus *Hiranetis* and is in fact conspecific with *G. bicolor* (Burmeister, 1838). In the present paper, we propose the following synonymy: *Graptocleptes bicolor* (Burmeister, 1838) = *Hiranetis coleopteroides* (Walker, 1873) **syn.nov.**

Material and methods

For the present study, the type material of *Myocoris bicolor* Burmeister, 1838 was examined based on photographs, while additional specimens of *Graptocleptes bicolor* and the type material of *Reduvius coleopteroides* Walker, 1873 were examined directly. Photographs of the type material of *M. bicolor* were kindly furnished by Jürgen Deckert of the Museum of Natural History, Humboldt University, Berlin, Germany (Museum für Naturkunde der Humboldt-Universität zu Berlin, ZMHB), where it is deposited (Figs. 1–4). Jürgen Deckert stated that there are three syntypes