

ESTUDO DE UM MODELO MATEMÁTICO APLICADO AO CONTROLE BIOLÓGICO DA *Ceratitis capitata* (WIEDEMANN) (DIPTERA: TEPHRITIDAE) PELO *Diachasmimorpha longicaudata* (ASHMEAD) (HYMENOPTERA: BRACONIDAE) NA FRUTICULTURA BRASILEIRA

Study of a mathematical model applied to the biological control of *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) by *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) on Brazilian fruit growing

Viviane de Lima Noronha^{1*}; Rosana da Paz Ferreira²

¹Mestre em Ciências. UEZO – Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, RJ. Brasil. *Autor para correspondência: Vivi_lima_noronha@hotmail.com

²Doutorado em Modelagem Computacional. UEZO – Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, RJ. Brasil. rosanapazf@gmail.com

Recebido em: 27/07/2017, Aceito em: 21/09/2017, Publicado em: 01/11/2017
DOI: <http://dx.doi.org/10.22407/1984-5693.2017.v9.p.2-25>

RESUMO

Os maiores prejuízos causados à fruticultura pelas moscas-das-frutas estão relacionados aos problemas fitossanitários, que vão desde a queda precoce dos frutos até a sua desqualificação para a indústria e consumo *in natura*. Métodos que visam minimizar os prejuízos econômicos e que são concomitantemente viáveis ao meio-ambiente e eficazes no combate às moscas-das-frutas, como por exemplo, o controle biológico que ocorre através de inundações de parasitoides, como o *Diachasmimorpha longicaudata*, vêm sendo estudados e estimulados. Existem diversos modelos matemáticos que simulam a dinâmica entre espécies. Dentre esses modelos destacamos o de Lotka-Volterra clássico, que também é conhecido como o modelo “presa-predador”. Mediante ao exposto, este trabalho teve como objetivo estudar um modelo matemático do tipo Lotka-Volterra aplicado ao controle biológico da mosca-das-frutas *Ceratitis capitata* pelo *Diachasmimorpha longicaudata* e a fruticultura nacional; partindo de uma sobre os principais dados biológicos e ecológicos dessas espécies, informações essas essenciais para a formulação do modelo proposto. A metodologia da pesquisa foi composta por duas etapas que consistiram em coleta de dados e definição de variáveis, como primeira parte e, montagem, plotagem e validação do modelo, como segunda parte da metodologia.

Por meio do desenvolvimento do presente estudo, foi possível observar que o modelo do tipo Lotka-Volterra mostrou-se capaz de descrever a interação de controle biológico aplicado entre as duas espécies citadas, partindo de diversos dados biológicos e ecológicos encontrados na fruticultura brasileira, além de auxiliar na compreensão dos principais fatores ecobiológicos que governam esse sistema.

Palavras-chave: *Ceratitis capitata*; *Diachasmimorpha longicaudata*; Controle biológico aplicado; Modelo de Lotka-Volterra clássico.

ABSTRACT

The greatest damage to the fruit by the fruit flies are related to plant health problems, ranging from the early fall fruit until your disqualification for industry and fresh consumption. Methods that aim to minimize the economic losses and that are viable at the same time the environment and effective in the fight against fruit flies, for example, biological control that occurs through floods of broodlings, *Diachasmimorpha longicaudata*, as have been studied and encouraged. There are several mathematical models that simulate the dynamics between species. Among these we highlight the Lotka-Volterra classic, which is also known as the "prey-predator". Subject to the foregoing, this work aimed to study a mathematical model of the Lotka-Volterra type applied to biological control of fruit fly *Ceratitis capitata* *Diachasmimorpha longicaudata* for and fruit; starting from a on the main biological and ecological data of these species, essential for the formulation of the proposed model. The research methodology was composed of two steps that consisted in collecting data and definition of variables, as the first part and Assembly, plotting and validate the template, as a second part of the methodology. Throughout the development of this study, it was possible to observe that the Lotka-Volterra model proved to be able to describe the interaction of biological control applied between the two species cited from various biological and ecological data found in brazilian fruit growing, as well as assist in the understanding of the main factors that govern ecobiológicos this system.

Keywords: *Ceratitis capitata*; *Diachasmimorpha longicaudata*; Applied biological control; Lotka-Volterra model classic.

INTRODUÇÃO

As moscas-das-frutas da família Diptera Tephritidae são as principais pragas da fruticultura mundial, por causarem danos diretos às frutas impossibilitando o seu consumo e a sua exportação, afetando consideravelmente a economia. Dentre elas, a *Ceratitis capitata* é a mosca-das-frutas considerada a mais nociva à fruticultura. Atualmente essa espécie encontra-se espalhada por diversos países (PARANHOS, 2007).

Diachasmimorpha longicaudata (Hymenoptera: Braconidae) é uma vespa parasitoide de larvas de moscas-das-frutas, oriunda da região Indo-Australiana e introduzida no Brasil na década de 90. Essa vespa é utilizada com êxito em programas de controle biológico da mosca por vários países (LEAL, 2008). O controle biológico das moscas-das-frutas pela vespa é um método, que de acordo com pesquisas como Freire *et al.* (2005), tem grande eficácia. O controle é baseado na produção massiva e liberação inundativa do parasitoide na área afetada. A liberação dessa vespa em elevados níveis tem como objetivo alcançar uma redução abundante do hospedeiro, de tal modo que a quantidade de pragas seja estabilizada, diminuindo, com isso, os prejuízos econômicos. Segundo os autores Purcell *et al.* (1994), *Diachasmimorpha longicaudata* é um dos parasitoides de sua espécie mais importante para programas de controle biológico de moscas-das-frutas no Brasil. Em pesquisas como os dos autores Ferreira *et al.* (2010), Garcia (2014), Freire *et al.* (2005) e Bueno *et al.* (2014), observa-se a eficiência de modelos matemáticos que simulam a interação entre espécies, sendo esses uma descrição do modelo de Lotka-Volterra.

Há vários modelos matemáticos que descrevem a dinâmica populacional entre espécies. Dentre eles destacamos o de Lotka-Volterra clássico, ou o modelo presa-predador. Este modelo possui uma interface bem didática, sendo bastante recomendado em pesquisas sobre a temática. O modelo de Lotka-Volterra se baseia na interação entre duas espécies, na qual a presa possui alimentos em grande quantidade e o predador, tem apenas a presa como alimento (BASSANEZI, 2002).

O modelo estudado nesta pesquisa é uma representação do modelo de Lotka-Volterra clássico. Para elaborar o modelo foram adotados dados biológicos e de parasitismo relevantes, em condições de campo e de laboratório, oriundos de três Estados brasileiros, quais sejam, Pernambuco, São Paulo e Rio de Janeiro, visto que não foram encontrados muitos dados ecobiológicos das espécies no Brasil, fato esse que também foi observado pelos autores Fiori *et al.* (2014) e Zucchi (2000), por esse motivo, a maioria das pesquisas consultadas utilizaram dados sintetizados.

Escolheram-se usar dados reais ou estimados e específicos de cada Estado para a modelagem, pois, de acordo com Freire (2007),

“Para que um modelo matemático de simulação possa simular adequadamente práticas de controle biológico é necessário que ele seja constituído por equações e variáveis matemáticas que representem fielmente o sistema biológico em questão. Tendências atuais indicam que para que isso ocorra, é importante que tal modelo leve em consideração variáveis biológicas e ecológicas específicas do sistema analisado.”

(FREIRE, 2007)

Os Estados de Pernambuco e São Paulo são pioneiros no Brasil em métodos ambientalmente seguros e eficazes no controle das moscas-das-frutas e, atualmente são considerados os maiores exportadores e produtores de frutas, respectivamente, já o Rio de Janeiro, por incentivo dos programas “Frutificar” e “Rio Rural”, tem a sua fruticultura em expansão (LEAL, 2008; PARANHOS, 2008).

Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa foi estudar o modelo do tipo Lotka-Volterra clássico aplicado ao controle biológico da mosca *Ceratitidis capitata* pelo seu parasitoide exótico *Diachasmimorpha longicaudata* na fruticultura brasileira. A investigação da viabilidade do modelo proposto realizou-se através de análises quantitativa dos resultados obtidos para os seus coeficientes e, qualitativa, para as simulações de controle biológico entre as duas espécies.

Acreditamos que esta pesquisa possa contribuir com estudos de controle biológico para o sistema aqui tratado e na adoção de práticas de Manejo Integrado de Pragas (MIP).

REFERENCIAL TEÓRICO

A MOSCA-DAS-FRUTAS: *Ceratitidis capitata*

As moscas-das-frutas são as pragas de maior relevância para a fruticultura mundial (FRANÇA *et al.*, 2010), pois danificam às frutas, impedindo o seu consumo *in natura*¹ e a sua comercialização (NASCIMENTO *et al.*, 2000).

Os danos às frutas são ocasionados, inicialmente, pela fêmea adulta da mosca, na perfuração do fruto para postura dos ovos. E, em seguida, pelas larvas, que após a eclosão, consomem a polpa do fruto e pelas bactérias, que se inserem no fruto provocando o seu apodrecimento e queda prematura (NASCIMENTO *et al.*, 2000). As moscas somam mais de 4000 espécies, sendo 48 delas dos gêneros *Ceratitidis*, *Bactrocera*, *Anastrepha*, *Dirioxa* e *Toxotrypana*. No Brasil, as espécies de moscas-das-frutas de maior importância agrícola econômica são as dos gêneros *Ceratitidis* e *Anastrepha* (RAGA & SOUZA FILHO, 2000).

A *Ceratitidis capitata* (Wiedemann, 1824) ou mosca-do-mediterrâneo (NAKANO, 2011), por ser nativa de países do Mediterrâneo da África Equatorial (LEAL, 2008), é a moscas-das-frutas que corrompe, em média, 200 frutos hospedeiros (FLEISHER, 2004). Essa espécie é classificada como sendo multivoltina¹, com um potencial biótico² elevado, além de capacidades abiótica³, na fase adulta, de adaptação e dispersão (RABELO, 2010).

O CONTROLE BIOLÓGICO APLICADO E O PARASITOIDE *Diachasmimophora longicaudata*

O controle biológico aplicado é fundamentado na produção massal aumentativa ou multiplicação do inimigo natural, com o objetivo de obter a diminuição da praga na área afetada. Sendo o inimigo natural liberado em um longo espaço de tempo (PARANHOS, 2008).

Esse método de controle de pragas tende a reduzir o uso de agrotóxico e a contaminação ao meio-ambiente (SILVA & BATISTA, 2012). Por tal motivo vem sendo incentivado pelas práticas de manejo de pragas que diminuem o desequilíbrio ecológico ao reduzir a população de pragas e colaborar para o aumento da de predadores (WALDER, 2000).

No controle biológico aplicado que ocorre por meio do parasitoide *Diachasmimorpha longicaudata*, vespa natural da região Indo-Australiana, o principal objetivo é produzir o maior quantitativo possível de fêmeas da vespa, tendo visto que o parasitismo é exercido somente pelas fêmeas da espécie (CARVALHO *et al.*, 1998).

¹Reproduz-se diversas vezes ao ano

²Fator que se refere à diversidade e abundância de hospedeiros e inimigos naturais

³Resistência a fatores climáticos, temperatura, precipitação, por exemplo

O parasitoide⁴ *Diachasmimorpha longicaudata* é o mais utilizado em programas de controle biológico de moscas-das-frutas, por ser o braconídeo que mais parasita essas moscas. Além da facilidade de criação e reprodução da espécie em moscas-das-frutas, e sua adaptação na área de liberação (CLAUSEN *et al.*, 1965; WONG & RAMADAN, 1992).

O MODELO DE LOTKA-VOLTERRA CLÁSSICO

De acordo com Freire (2007), modelos matemáticos de simulação de praga-parasitoide produzidos em programas computacionais, contribuem para a tomada de decisões de cunho biológico, pois permitem analisar a influência das variáveis envolvidas no sistema conduzindo pesquisas posteriores sobre controle biológico. No estudo de Ferreira *et al.* (2010) observamos a eficácia de um modelo matemático que simulam a interação entre espécies e que é baseado no modelo de Lotka-Volterra clássico.

Alfred Lotka (1880-1949), biólogo americano e, Vito Volterra (1860-1940), matemático italiano, foram os pioneiros em estudos de modelos matemáticos de interação entre espécies. Entre 1925 e 1926 foi introduzido por eles o primeiro modelo com o intuito de descrever a relação de predação, que mais tarde se chamaria modelo de Lotka-Volterra (MAY, 1973).

O modelo de Lotka-Volterra clássico é um modelo cuja relação entre as duas espécies ocorre da seguinte maneira, a presa dispõe de alimento em abundância e o predador, tem apenas a presa como alimento. Além do mais, a presa possui somente uma única espécie de predador.

O modelo também prevê que quanto maior for o quantitativo de presas, mais facilmente elas serão encontradas e que, quão maior for o quantitativo de predadores, maior deverá ser a população de presa necessária para alimentá-los. Conseqüentemente, podemos considerar que nos encontros entre a presa e o predador, ocorre a redução da população de presa e o crescimento da população predadora (DANTAS, 2005).

⁴ Predador que consome o hospedeiro e o mata quando chega à fase adulta (UFLA, 2016).

O modelo de Lotka – Volterra clássico é composto por um sistema de duas equações não lineares de 1º ordem (BASSANEZI, 2002), qual seja,

$$\frac{dx}{dt} = \alpha x - \beta xy \quad (2.1)$$

$$\frac{dy}{dt} = \delta xy - \gamma y \quad (2.2)$$

A primeira equação refere-se à dinâmica da presa e a 2º equação, à do predador, sendo, segundo Bassanezi (2002),

x = representa a população da presa no instante t .

y = representa a população da predador no instante t .

α = representa o coeficiente de crescimento da população de presa na ausência de predadores.

β = representa o coeficiente de mortalidade da população de presa correspondente ao encontro com predador.

δ = representa o coeficiente de crescimento da população de predador devido o encontro com a presa.

γ = representa o coeficiente de mortalidade da população de predadores correspondente à ausência de presas. Sendo α , β , δ e γ constantes positivas.

MATERIAL E MÉTODOS

O modelo proposto foi construído baseando-se numa modelagem composta pelas seguintes etapas:

- (1) Coleta de dados;
- (2) Definição de variáveis;
- (3) Montagem do modelo;
- (4) Plotagem do modelo;
- (5) Validação do modelo.

A metodologia foi dividida em duas partes descritas abaixo.

PRIMEIRA ETAPA DA METODOLOGIA: COLETA DE DADOS (1) E DEFINIÇÃO DE VARIÁVEIS DO MODELO PROPOSTO (2)

A primeira parte da pesquisa teve como objetivo buscar os dados biológicos e ecológicos necessários para a formulação e os resultados do modelo. Iniciamos a busca e a

coleta dos dados revisando a literatura do controle biológico da mosca-das-frutas *Ceratitis capitata* pelo seu parasitoide exótico, *Diachasmimorpha longicaudata* na fruticultura nacional.

Observamos, com isso, que a maioria das pesquisas utilizavam dados sintetizados, assim não foram encontradas muitas informações sobre a ecobiologia dessas espécies. Em sua maioria, os dados se resumiam para o Estado de São Paulo e o nordeste brasileiro. Usamos também as informações encontradas para o Rio de Janeiro, que não foram muitas, com o propósito de incentivar novas pesquisas nessa região que foram encerradas em 2008 e, que tem sua fruticultura em plena expansão.

Partindo desses dados e utilizando o sistema de equações de Lotka-Volterra foi possível estimar os coeficientes do modelo, isto é, α , β , δ e γ e, posteriormente, escrevê-lo com as características e critérios de cada Estado. Por exemplo, para determinar o coeficiente α , que se refere ao crescimento da população de presa na ausência do predador, foi usada a equação (2.1), onde o termo alusivo à presença do predador foi cancelado.

SEGUNDA ETAPA DA METODOLOGIA: MONTAGEM (3), PLOTAGEM (4) E VALIDAÇÃO DO MODELO (5)

Para os cálculos dos coeficientes de cada Estado e montagem do modelo proposto consideramos como hipótese, além dos critérios de cada Estado, todas as hipóteses e coeficientes do modelo original.

A plotagem dos gráficos do modelo proposto (presa/predador *versus* tempo) foi realizada através do programa *wxMáxima* (<https://maxima.softonic.com.br/>).

A validação do modelo foi feita de forma qualitativa, por meio dos gráficos, e quantitativa, através dos valores dos coeficientes encontrados. Para tanto, foram comparados os resultados obtidos para cada Estado com as informações na literatura das duas espécies e do modelo de Lotka-Volterra clássico. O modelo mostrou-se capaz de simular a interação de controle biológico entre a mosca e o parasitoide, partindo de critérios diferentes.

RESULTADOS

As informações pertinentes sobre a biologia e o parasitismo da mosca *Ceratitis capitata* e do parasitoide *Diachasmimorpha longicaudata*, em condições de campo ou de laboratório, para os Estados de Pernambuco, São Paulo e Rio de Janeiro, sendo fornecidas por especialistas em controle biológico entre as duas espécies ou consultadas na literatura, e que são os critérios adotados nessa pesquisa para a obtenção dos coeficientes do modelo e verificação da viabilidade do mesmo, estão inseridas nos quadros 4.1 e 4.2, 4.3 e 4.4, 4.5 e 4.6, respectivamente. É importante salientar que para o desenvolvimento integral da *Ceratitis capitata* são necessários quatro estágios, quais sejam, ovo, larva, pupa e adulto.

(1) Estado de Pernambuco

Quadro 4.1 - Dados biológicos da mosca *Ceratitis capitata*, em condição de campo, para o Estado de Pernambuco e as referências bibliográficas.

Critério	Valor	Referência
Duração do ciclo evolutivo em campo	26 dias (aproximadamente)	Especialistas da Embrapa Semiárido ¹
Postura de ovos por fruto hospedeiro	Cerca de 12 ovos por fruto hospedeiro	Especialistas da Embrapa Semiárido
Duração da oviposição	45 dias	Especialistas da Embrapa Semiárido
Sobrevivência dos ovos	85%	Especialistas da Embrapa Semiárido
Sobrevivência das larvas	30%	Especialistas da Embrapa Semiárido
Sobrevivência das pupas	75%	Especialistas da Embrapa Semiárido

Fonte: Elaborada pela autora.

¹Rodovia BR-428, Km 152, Zona Rural - Caixa Postal 23, Cep: 56302-970 - Petrolina, PE. Telefone: +55(87) 3866-3600 | Fax: +55(87) 3866-3815. Site: <https://www.embrapa.br/semiarido>.

Quadro 4.2 - Dados biológicos e ecológicos da vespa *Diachasmimorpha longicaudata* em larvas de *Ceratitidis capitata*, em condição de campo, para o Estado de Pernambuco e as referências bibliográficas. Fonte: elaborada pela autora.

Critério	Valor	Referência
Duração do ciclo de vida (de ovo até adulto) do parasitoide <i>D. longicaudata</i> em larvas de <i>C. capitata</i>	30 dias	Especialistas da Embrapa Semiárido
Duração da vespa após a liberação dos ovos (na ausência de alimento)	3 dias	Especialistas da Embrapa Semiárido
Índice médio de parasitismo (observado em laboratório)	23% (Valor no período de maior eficiência do parasitismo)	Especialistas da Embrapa Semiárido
Período de oviposição	De 10 a 13 dias de idade	Paranhos <i>et al.</i> (2007)
Razão sexual média (fêmea/macho)	0,5	Especialistas da Embrapa Semiárido

(2) São Paulo

Quadro 4.3 - Dados sobre a biologia da *Ceratitidis capitata*, em condição de laboratório, para larvas não irradiadas, com temperatura média de 25°C, para o Estado de São Paulo e as referências bibliográficas. Fonte: Elaborada pela autora.

Critério	Valor	Referência
Duração do ciclo evolutivo	30 dias	Raga & Souza Filho (2000) Souza Filho <i>et al.</i> (2003)
Quantidade de adultos por ciclo	De 60 a 300 indivíduos	(RAGA, 2005)

Quadro 4.4 - Dados biológicos e ecológicos da vespa *Diachasmimorpha longicaudata* em larvas de *Ceratitidis capitata*, em condição de laboratório, a uma temperatura média de 25°C, para o Estado de São Paulo e as referências bibliográficas. Fonte: Elaborada pela autora.

Critério	Valor	Referência
Duração do ciclo de vida (de ovo até adulto) do parasitoide <i>D. longicaudata</i> em larvas de <i>C. capitata</i>	De 14 a 16 dias	Walder & Mastrangelo (2009)
Período de oviposição	A partir do 5º dia de idade	Gil (2003)
Duração da oviposição	De 28 a 30 dias	Walder <i>et al.</i> (1997)
Índice médio de parasitismo	47% (Valor no período de maior eficiência do parasitismo)	Mendes & Walder (1997)
Razão sexual média	1,5 fêmea/macho	Ovruski <i>et al.</i> , (2003)
Quantidade de novas fêmeas adultas (Fertilidade média)	32,53 fêmea/fêmea	Viscarret <i>et al.</i> (2006)

(3) Rio de Janeiro

Quadro 4.5 - Dados biológicos da *Ceratitis capitata*, em condição de campo, para o Estado do Rio de Janeiro e as referências bibliográficas.

Critério	Valor	Referência
Duração do ciclo evolutivo em campo	28 dias (em média)	Estimado pela autora ²
Quantidade de adultos por ciclo	60 indivíduos (maior estimativa)	Adaptado de Leal (2008)

Fonte: Elaborada pela autora.

Quadro 4.6 - Dados biológicos e ecológicos da vespa *Diachasmimorpha longicaudata* em larvas de *Ceratitis capitata*, em condições de campo e de laboratório a uma temperatura de 25°C, para o Estado do Rio de Janeiro e as referências bibliográficas.

Critério	Valor	Referência
Duração do ciclo de vida (de ovo até adulto) do parasitoide <i>D. longicaudata</i> em larvas de <i>C. capitata</i> (em condição de laboratório)	23 dias (em média)	Estimativa da autora ³
Período de oviposição (em condição de laboratório)	5 dias de idade	Leal <i>et al.</i> (2008)
Índice médio de parasitismo (em condição de laboratório)	21% (Valor no período de maior eficiência do parasitismo)	(Estimativa da autora) ⁴
Razão sexual média (em condições de laboratório e de campo)	1,5 macho/fêmea	Leal <i>et al.</i> (2008)

Fonte: Elaborada pela autora.

Os valores dos coeficientes do modelo proposto encontram-se nas tabelas 4.1, 4.2 e 4.3 a seguir. Assim como a montagem do modelo com os coeficientes de cada Estado.

(1) Estado de Pernambuco

Tabela 4.1 - Valores encontrados para os coeficientes $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ do modelo proposto para o Estado de Pernambuco.

² Estimativa baseada nos dados sobre duração do ciclo evolutivo e temperatura do Estado de Pernambuco.

³ Estimativa referente a duração do ciclo de vida do parasitoide para os dois outros Estados e a Temperatura do ambiente.

⁴ Estimativa baseada no dado do Estado de São Paulo, referente ao índice médio de parasitismo.

Coeficientes			
α	β	γ	δ
0,1783	0,0001	1,1983	0,0004

Fonte: Elaborado pela autora.

$$\frac{dx}{dt} = x(0,1783 - 0,0001y).$$

$$\frac{dy}{dt} = y(0,0004x - 1,1983).$$

(2) São Paulo

Tabela 4.2 - Valores encontrados para os coeficientes $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ do modelo proposto para o Estado de São Paulo.

Coeficientes			
α	β	γ	δ
0,1731	0,0001	1,1983	0,0001

Fonte: Elaborada pela autora.

$$\frac{dx}{dt} = x(0,1731 - 0,0001y).$$

$$\frac{dy}{dt} = y(0,0001x - 1,1983).$$

(3) Rio de Janeiro

Tabela 4.3 - Valores calculados para os coeficientes $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ do modelo proposto para o Estado do Rio de Janeiro.

Coeficientes			
α	β	γ	δ
0,1462	0,0001	1,1983	0,0008

Fonte: Elaborado pela autora.

$$\frac{dx}{dt} = x(0,1462 - 0,0001y).$$
$$\frac{dy}{dt} = y(0,0008x - 1,1983).$$

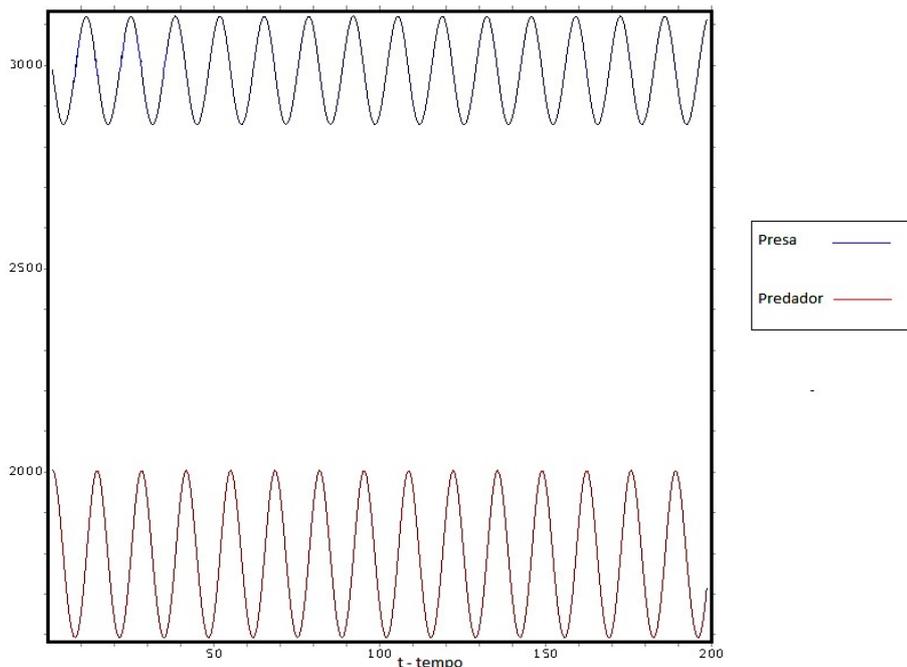
Com os valores dos coeficientes e das condições iniciais de presa e de predador, quantidades iniciais de indivíduos adotadas para as espécies, representamos os gráficos “presa/predador *versus* tempo” do modelo do tipo Lotka-Volterra proposto para os Estados de Pernambuco, São Paulo e Rio de Janeiro, utilizando o programa *wxMáxima*; onde o eixo Y do gráfico representa a quantidade de presa e de predador ao longo de um tempo t , representado pelo eixo X. A unidade de tempo não foi alvo de análise da pesquisa.

A condição inicial tomada para a população de predador, nos três Estados, é de 2.000 indivíduos. Atualmente, este valor é considerado um referencial recomendável no estudo do controle biológico aplicado da mosca (especialistas da Embrapa Semiárido). Obtemos os valores iniciais para a população de mosca para cada Estado, partindo de informações encontradas na literatura das regiões.

Foram gerados pelo programa os pontos de estabilidade de cada sistema de equações do modelo proposto. Ponto esse que representa o equilíbrio do sistema e que pode ser interpretado como o período em que ocorre a coexistência entre as populações (MALAQUIAS & MIZUKOSKI, 2005). Tais pontos também podem ser calculados diretamente das equações do modelo, uma vez que o ponto de equilíbrio do sistema ocorre quando a taxa de variação da população é nula. Logo, basta fazer $\frac{dx}{dt} = 0$ e $\frac{dy}{dt} = 0$, para determinar os pontos de equilíbrio. Os pontos de estabilidade obtidos foram primordiais para à análise qualitativa, como é observado posteriormente.

(1) Pernambuco

Figura 4.1 - Gráfico “presa/predador *versus* tempo” do modelo proposto para condição inicial (presa: 3.000, predador: 2.000) e ponto de estabilidade (presa: 2.995,7; predador: 1.783).



Fonte: Elaborada pela autora.

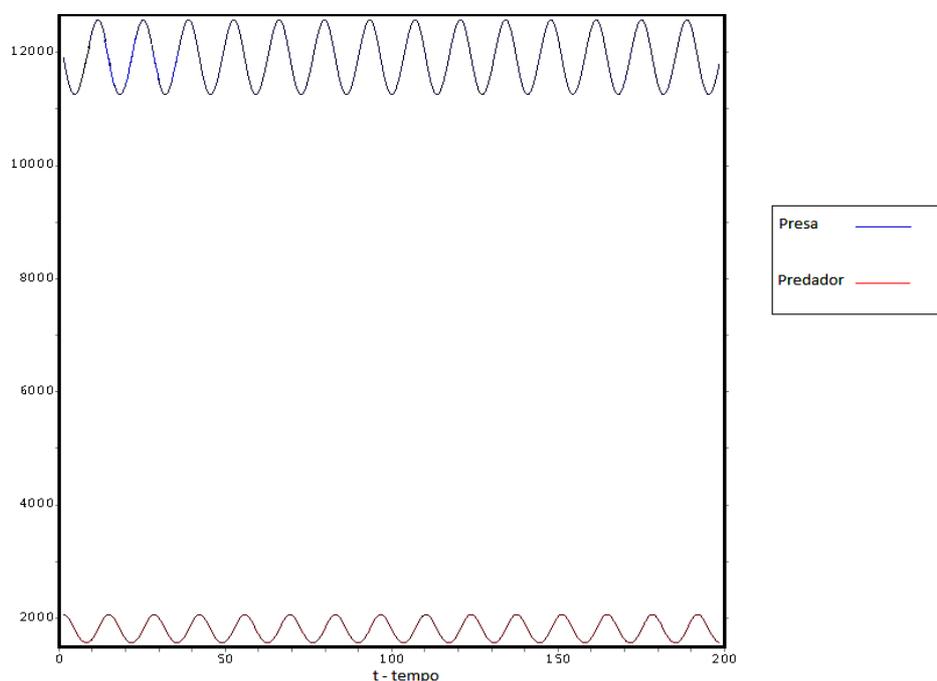
Para este Estado foi considerada a condição inicial igual a 2.000 vespas para 3.000 larvas de moscas, onde 50% das vespas são fêmeas (razão sexual 0,5 fêmea/macho), numa proporção de uma vespa para atacar três larvas de mosca.

O gráfico “presa/predador *versus* tempo”, representado pela figura (4.1), mostra que a população máxima de mosca alcançada pelo sistema presa-predador, com a condição inicial (3.000, 2.000) é de, aproximadamente, 3.140 indivíduos. Isto é, não houve grandes oscilações na população de indivíduos de mosca ao longo do tempo. Fato que pode estar associado a quantidade de vespa solta numa população de mosca não muito grande. Logo, a fim de evitar grandes oscilações no conjunto torna-se fundamental empregar o quanto antes o controle biológico.

Outro fator que pode ter colaborado com a pequena oscilação no quantitativo de indivíduos foi a escolha de uma condição inicial próxima do ponto de estabilidade.

(1) São Paulo

Figura 4.2 - Gráfico “presa, predador *versus* tempo” do modelo proposto para condição inicial (presa: 12.000, predador: 2.000), ponto de estabilidade (presa: 11.983, predador: 1.731).



Fonte: Elaborada pela autora.

A condição inicial para o Estado de São encontra-se também próxima do ponto de estabilidade do sistema presa-predador. Com isso, percebemos pequenas oscilações no sistema, isto é, a estabilidade do mesmo, ao partir dessa condição inicial.

O valor da população inicial de larvas adotada para o Estado é muito maior comparado, a título de exemplo, com o do Estado de Pernambuco. O que poderia ser um problema, no entanto, este fator também pode ter auxiliado no alcance da estabilidade do sistema, visto que de acordo com Sivinski *et al.* (1998), a alta densidade de larvas da mosca no fruto colabora para o aumento do parasitismo da vespa. Sivinski (1996) também observou que altas taxas de parasitismo podem ser obtidas se a densidade do parasitoide for alta.

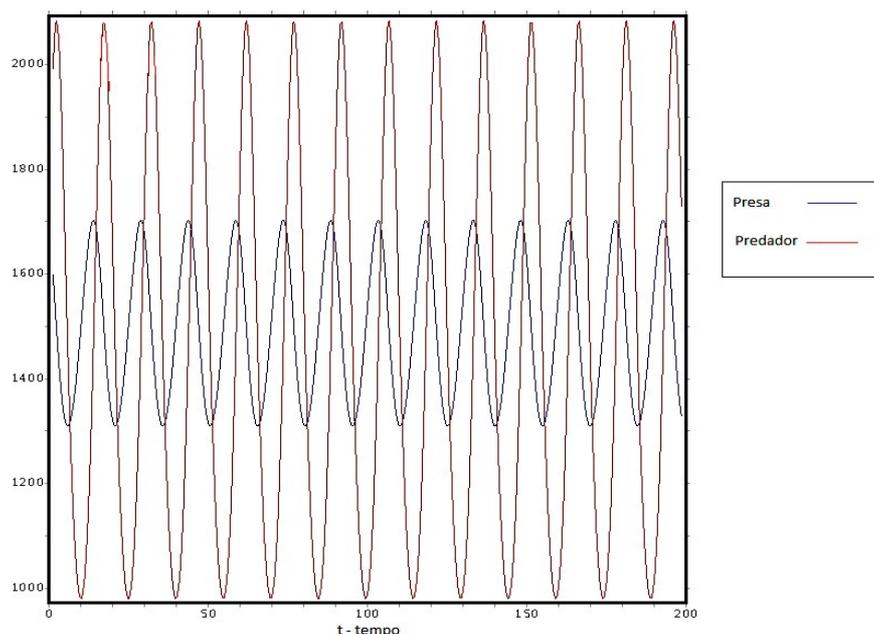
Sendo assim, uma maior probabilidade de encontro entre as espécies, resulta no aumento da taxa de crescimento da população de parasitoide ao longo do tempo. Portanto, quanto maior for a possibilidade de encontro entre as espécies, maior será o índice de parasitismo e a taxa de natalidade do parasitoide, como é esperado em simulações de controle biológico realizadas em laboratório e pelo modelo de Lotka-Volterra clássico.

Por outro lado, o aumento exagerado do número de larvas de mosca pode ocasionar no aumento significativo na amplitude da oscilação do ciclo, picos elevados da praga e instabilidade do sistema quando longe do ponto de equilíbrio, o que geraria sérios danos para a fruticultura, como verificado por Malavasi & Morgante (1980).

Desta maneira, podemos supor então que para as áreas de plantio afetadas, adotando um número de uma condição inicial próxima do ponto de estabilidade e, se possível, que proporcione um número elevado de encontro entre as espécies, teríamos o controle da praga em um menor espaço de tempo, sem causar altos índices da praga. O que seria economicamente mais lucrativo.

(2) Rio de Janeiro

Figura 4.3. Gráfico “presa, predador, tempo” do modelo proposto para condição inicial (1.600, 2.000). (presa: 1.497,9; predador: 1.462). Fonte: Elaborada pela autora.



De acordo com o gráfico 4.3, a condição inicial (1.600, 2.000) encontra-se bem mais afastada do ponto de equilíbrio estável (1.497,9; 1.462) quando comparada com as condições iniciais e pontos de equilíbrios dos Estados de Pernambuco e São Paulo. Por esse motivo, o número de predadores, que tem como máximo e mínimo os valores 2.100 e 960, respectivamente, oscila bastante quando distante do ponto de equilíbrio. Tornando o sistema presa-predador instável quando longe do ponto de equilíbrio. Notamos, portanto, a estabilidade do sistema presa-predador partindo de uma condição inicial próxima do ponto de estabilidade do sistema.

A grande oscilação do número de indivíduos do sistema também pode estar associada a razão sexual de macho/fêmea da vespa, que para o Rio de Janeiro, com um total de 40% de fêmeas para 60% de macho (ou 1,5 macho/fêmea), foi menor que para os dois outros Estados. Mostrando, que a proporção é importante para o parasitismo almejando o controle biológico da praga, assim como é observado pelos programas de controle biológico cujo objetivo é realizar a multiplicação da vespa obtendo a maior proporção sexual de fêmeas possível, visto que apenas as vespas fêmeas parasitam (BISPO, 1999).

Outro fator relevante é a quantidade inicial de presas para esse Estado, que ao contrário dos Estados de Pernambuco e São Paulo, também foi menor. Consequentemente, a possibilidade de encontro entre as duas espécies e de ocorrer o parasitismo também será menor.

Sendo assim, observamos pela análise que é possível aumentar a quantidade de vespa a ser solta no campo, de tal forma que a quantidade inicial de vespas seja maior que a da praga, com o intuito de tentar atingir o nível de equilíbrio ecológico mais rapidamente. Entretanto, conforme o gráfico (4.3) mostra isso pode levar a um índice de parasitismo relativamente pequeno e grandes oscilações no número de mosca e de vespa, principalmente se a condição inicial estiver longe do ponto de estabilidade.

DISCUSSÃO

ANÁLISE QUANTITATIVA DOS COEFICIENTES DO MODELO DO TIPO LOTKA-VOLTERRA

Observamos, através dos valores dos coeficientes obtidos, uma relação de dependência entre eles, que acontece por meio de uma proporção representada, para o primeiro Estado analisado, pelas expressões $0.0001xy$ para a população de mosca e $0.0004xy$, para a de vespa. Para o segundo Estado, a proporção ocorre através da expressão $0.0001xy$, tanto para a população de mosca quanto para a de vespa e, para o terceiro Estado, pelas expressões $0.0001xy$ para a população de mosca e $0.0008xy$, para a de vespa. A proporção sucede quando a população de mosca começa a morrer devido ao encontro com o parasitoide, ao mesmo tempo em que a população de predador começa a crescer. Por sua vez, devido à falta de alimento, a vespa começa a morrer e a população de presa volta a crescer e, assim por diante. Ou seja, tomando o primeiro Estado como exemplo, no encontro entre as duas espécies, a população da presa diminui a $0,0001xy$ à medida que a população de predador aumenta de $0,0004xy$. Este processo de dependência entre os coeficientes do modelo proposto, onde a relação entre eles continua em ciclos, demonstra a natureza cíclica de um sistema presa-predador (hipótese do modelo de Lotka-Volterra clássico). A natureza cíclica dos coeficientes do modelo também foi observada por Caetano (1997), ao investigar uma representação do modelo de Lotka-Volterra clássico em meio ambiente.

De maneira quantitativa, notamos, portanto, que o modelo composto por esses coeficientes apresenta a característica cíclica do modelo presa-predador clássico em um controle biológico aplicado da mosca *Ceratitis capitata* pelo parasitoide, *Diachasmimorpha longicaudata*.

ANÁLISE QUALITATIVA DO MODELO DO TIPO LOTKA-VOLTERRA

Já na análise qualitativa observamos que a condição inicial adotada interfere no comportamento do modelo, podendo haver instabilidade no sistema presa-predador quando condição inicial estiver distante do ponto de equilíbrio.

Discussões semelhantes foram feitas pelos autores Gomes (2007) e Fiori *et al.* (2014). Estes últimos autores constataram que as condições iniciais próximas do ponto de estabilidade proporcionam uma convivência por muito mais tempo entre as populações de presa e predador sem que houvesse uma redução considerável nas populações.

Sobre a densidade de larvas da mosca, verificamos, assim como Sivinski *et al.* (1998), que quanto maior for a probabilidade de encontro entre as espécies, maior será o índice de parasitismo. Todavia, o aumento demasiado da população de mosca, de modo que a condição inicial esteja longe do ponto de estabilidade, pode afetar a oscilação do ciclo, resultando em picos elevados de praga, o que geraria sérios danos às áreas afetadas. De acordo com Malvasi & Morgante (1980), a densidade populacional das moscas-das-frutas influencia no nível de infestação, assim quanto maior for a população de praga na fruticultura, maior será o nível de infestação. Sendo, portanto, necessário aplicar o controle biológico o quanto antes de modo a evitar as grandes oscilações do sistema presa-predador, conforme discutido por Rafikov & Nishiwaki (2009).

Sivinski (1996) observou que altas taxas de parasitismo podem ser obtidas se a densidade do parasitoide for alta. Contudo, também observamos que aumentar demasiadamente o número de vespa para tentar diminuir o quantitativo de moscas mais rapidamente pode gerar amplitude na oscilação do ciclo, principalmente se o ponto de equilíbrio estiver longe dessa condição. Ambos resultados sobre as elevadas taxas de parasitismos e as altas densidades de mosca e parasitoide são previstas pelo modelo de Lotka – Volterra. E, de acordo com o gráfico de Volterra, condições distantes do ponto de equilíbrio pode ocasionar amplitude na oscilação do ciclo, por o ponto de equilíbrio ser um valor médio. Discussão semelhante foi realizada em Bassanezi (1994).

A razão sexual da vespa é outro fator importante para o parasitismo, pois, notamos que quanto maior for o número de fêmeas com relação ao de macho, maior será o parasitismo, uma vez que somente as vespas fêmeas parasitam. O contrário também pode ser verificado, ou seja, um número maior de parasitoide macho pode ocasionar em um menor índice de parasitismo. Análise sobre a razão sexual da vespa para o parasitismo aplicado no controle biológico em laboratório foi realizada por Bispo (1999).

Por fim, os resultados obtidos pelas análises quantitativa e qualitativa para modelo do tipo Lotka-Volterra mostraram que o modelo pode descrever uma situação de parasitismo entre a mosca *Ceratitis capitata* e seu parasitoide exótico, *Diachasmimorpha longicaudata* e, ao mesmo tempo, fornecer informações relevantes sobre o sistema presa-predador para a fruticultura, tais como, a condição inicial de mosca e vespa, o ponto de equilíbrio, a razão sexual da vespa e a eficiência do parasitismo, visando à coexistência entre as espécies, podendo, assim auxiliar na decisão mais acertada a ser adotada em estratégias de MIP e controle biológico aplicado.

Sendo assim, o modelo pôde identificar e/ou relacionar alguns dos fatores importantes para o alcance da estabilização do sistema, assim como os modelos matemáticos simples, que segundo Lenteren (2009), têm identificado,

“a eficiência de busca, fecundidade, sobrevivência larval, razão sexual, interferência e heterogeneidade espacial de populações de inimigos naturais como contribuições chave para o declínio do equilíbrio do hospedeiro e/ou da estabilidade da interação.”

(LENTEREN, 2009)

CONCLUSÕES

Considerando que o controle biológico de pragas objetiva promover o equilíbrio do ecossistema por meio da diminuição considerável da praga, minimizando o tempo despendido, os resultados obtidos com o modelo proposto permitiram concluir que:

- (1) As simulações de interação entre as espécies para as três regiões brasileiras mostraram que as condições iniciais interferem no comportamento do modelo ao longo do tempo t .

- (2) Com a condição inicial próxima do ponto de equilíbrio, o sistema presa-predador é estável. As condições iniciais próximas do ponto de estabilidade proporciona a coexistência entre as populações por um maior intervalo de tempo.
- (3) O modelo fornece informações relevantes sobre esse sistema como a condição inicial, o ponto de equilíbrio, a razão sexual do parasitoide e a eficiência do parasitismo.
- (4) Mediante aos critérios adotados para o sistema tri-tróficos (presa, predador/parasitoide, fruto hospedeiro), o modelo mostrou-se capaz de representar a realidade da fruticultura brasileira.

Portanto, mesmo sendo uma simplificação do modelo clássico, aparentemente o modelo se mostra capaz de representar apropriadamente as dinâmicas populacionais entre a mosca e o parasitoide a fruticultura brasileira, proporcionando uma noção e um melhor entendimento sobre essa interação e sobre os principais fatores biológicos e ecológicos que regem esse sistema. Além disso, observamos a importância do estudo da simulação matemática computacional no controle biológico para adoção de medidas de combate à praga.

Com relação à perspectiva conceitualmente simplificada do modelo, o autor Southwood (1995) sugere iniciar o estudo das relações entre as comunidades pelos modelos mais simples, por possibilitarem uma ideia estrutural da comunidade.

Entretanto, conforme os autores Corsato (2004), Parra *et al.* (2002), Freire *et al.* (2005) é necessário obter dados mais detalhados sobre a interação, estrutura e funcionamento do sistema presa-predador na fruticultura.

Nesta pesquisa foi observado que mesmo com a fruticultura em expansão, para o Estado do Rio de Janeiro não foram encontrados dados biológicos e ecológicos das populações suficientes para a elaboração do quadro de critérios necessários para os cálculos de obtenção dos coeficientes do modelo que propomos. Os dados para os demais Estados também não foram encontrados com facilidade. Fiori *et al.* (2014) ressalta a falta de dados que possibilitem a simulação de uma situação real de predação.

PERSPECTIVAS

Almejando estudos futuros do modelo proposto, é interessante que se tenha mais pesquisas sobre o estudo da ecobiologia das espécies, de modo a se ter a incorporação de mais variáveis ecológicas, biológicas e ambientais para os três Estados, principalmente para o do Rio de Janeiro, e assim uma versão mais complexa e abrangente do modelo, além de possíveis respostas para as seguintes questões:

- Qual seria a eficiência do modelo ao estudar o controle biológico aplicado da mosca pelo parasitoide juntamente com a TIE (técnica do inseto estéril)? E, com uma quantidade de inseticida ecologicamente recomendável?

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASSANEZI, R.C. **Ensino-Aprendizagem com Modelagem Matemática**. São Paulo: Contexto, 2002.
- BASSANEZI, R. Modeling as a teaching-learning strategy. **For the learning of mathematics**, 14(2), 31-35, 1994.
- BISPO, S.W.P. **Longevidade e reprodução de *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead, 1905) (Hymenoptera: Braconidae) criado em larvas de *Ceratitís capitata* (Wiedemann, 1824) (Diptera: Tephritidae)**. Dissertação de Mestrado, UFBA, Cruz das Almas, Bahia, 1999, 44 p.
- BUENO, J.C.S.; MOLTER, A.; PIOVESAN, L.R. **Modelagem Matemática Aplicada ao Controle Biológico de Pragas em Lavouras de Milhos**. 2014. Disponível em: <http://eventos.unipampa.edu.br/eremat/files/2014/12/CC_Bueno_00779581016.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2015.
- CAETANO, M.A.L. **Simulink**. 1997. Disponível em < <http://www.mudancasabruptas.com.br/Simulink.pdf>>. Acesso em 13 mai. 2016.
- CARVALHO, R. da S.; NASCIMENTO, A.S.; MATRANGOLO, W.J.R. **Metodologia de criação do parasitoide exótico *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae), visando estudos em laboratório e em campo**. Cruz das Almas, Embrapa, CNPMF, 1998, 16p.
- CLAUSEN, C.P.; CLANCY, D.W.; CHOCK, Q.C. **Biological control of the Oriental fruit fly (*Dacus dorsalis* Hendel) and other fruit flies in Hawaii**. Washington: ARS/USDA, 1965, 102p.
- CORSATO, C.D.A. **Moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) em pomares de goiaba no Norte de Minas Gerais: Biodiversidade, parasitoides e controle biológico**. 2004. 95 f. Tese (Doutorado em Entomologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- DANTAS, M.P. **Seleção Natural Espontânea em Sistemas Presa-Predador com Difusão. Monografia**. (Graduação em Ciência da Computação. Bacharelado em Ciência da Computação). Minas Gerais: Lavras, 2005, 65 p.
- EMBRAPA SEMIÁRIDO. <https://www.embrapa.br/semiario>. Acessado em 20 nov. 2015.
- FERREIRA, C.P.; WESLEY, A.C.G.; LIMA, E.A.B.F. **Técnicas Matemáticas e Computacionais no Manejo Integrado de Pragas**. 2010. Disponível em: < http://www.sbmec.org.br/eventos/cnmac/xxxiii_cnmac/pdf/232.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2015.
- FIORI, A.F.; VALDIERO, A.C.; FRANZOZI, L.; RASIA, L.A. **Análise do ponto de equilíbrio no modelo Lotka-Volterra**. 2014. Disponível em <<https://proceedings.sbmec.org.br/sbmec/article/view/343/345>>. Acesso em 12 out. 2015.
- FREIRE, R.M.; PREGNOLATTO, S.; ZUBEN, C.J.V.; WALDER, J.M.M. **Modelagem Matemática Aplicada ao Controle Biológico de *Ceratitís capitata* Wiedemann (Diptera: Tephritidae) por *Diachasmimorpha longicaudata* Ashmed (Hymenoptera: Braconidae) em *Citrus***. 2005. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1519-566X2005000200016&script=sci_arttext>. Acesso em: 04 jun. 2015.
- GARCIA, F.R.M.; CORSEUIL, E. Flutuação populacional de *Anastrepha fraterculus* (Wiedemann) e *Ceratitís capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) em pomares de pessegueiro em Porto Alegre, Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Zoologia**, 15(1),153-158, 1998.

- FREIRE, R.M. **Modelagem matemática para simulação de estratégias de controle biológico da mosca-do-mediterrâneo *C. capitata* (Diptera: Tephritidae), em plantações de Citrus: utilização de variáveis temporais e espaciais.** 2007. 128 p. Dissertação (Mestrado em Zoologia). Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2007.
- GIL, R. 2003. **BIOLOGIA E COMPORTAMENTO DE *Diachasmimorpha longicaudata* Ashmead (HYMENOPTERA: BRACONIDAE) CRIADO SOBRE LARVAS DE *Ceratitidis capitata* Wiedemann (DIPTERA: TEPHRITIDAE) IRRADIADAS E NÃO IRRADIADAS COM RADIAÇÃO GAMA** <http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/97258/gil_r_me_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 29 jan. 2017.
- GOMES M.C. **Predação. Interações entre espécies. Introdução aos Modelos Biomatemáticos.** Faculdade de Ciências. Universidade de Lisboa. Disponível em: <<http://correio.fc.ul.pt/~mcg/aulas/biopop/index.html>>. Acesso: 10 mar. 2017.
- LEAL, M.R.; AGUIAR-MENEZES, E.L.; LIMA-FILHO, M.; RIBEIRO, J.C.R.; MENEZES, E.B. **Capacidade de sobrevivência e dispersão de *Diachasmimorpha longicaudata*, um parasitóide exótico de larva de moscas-das-frutas.** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2008. Disponível em < ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAB-2010/35706/1/doc260.pdf>. Acesso em 16 jan. 2016.
- LENTEREN, J.C. Van. Critérios de seleção de inimigos naturais. **Controle Biológico de Pragas: Produção Massal e Controle de Qualidade.** Editora: UFLA, 2009, p. 11-32.
- MALAQUIAS, A.G.B.; MIZUKOSKI, M.T. **Modelo de Lotka-Volterra: estudo Analítico e Qualitativo.** In: CONGRESSO DE PESQUISA, ENSINO E EXTENSÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (COMPEEX, 2), 13, 2005. Goiânia. Anais Eletrônicos do XIII Seminário de Iniciação Científica, 2005.
- MALAVASI, A.; MORGANTE, J.S.; ZUCCHI, R.A. Biologia de “moscas-das-frutas” (Diptera: Tephritidae). *In: lista de hospedeiro e ocorrência.* Revista Brasileira de Biologia, Rio de Janeiro, 40(1)9-16, 1980.
- MÁXIMA. <https://maxima.softonic.com.br/>. Acesso em 19 out. 2015.
- MAY, R.M. **Host-parasitoid systems in patchy environments: a phenomenological model.** *J. Anim. Ecol.* 47: 833-843, 1978.
- NAKANO, O. **Entomologia econômica.** Piracicaba, SP: Octavio Nakano/ESALQ/USP. 2011.
- NASCIMENTO, A.S.; R.S. CARVALHO, 2000. **Manejo Integrado de Moscas-das-frutas.** In: MALAVASI, A. & R.A. ZUCCHI, eds. **Moscas-das-frutas de importância econômica no Brasil - Conhecimento básico e aplicado.** FAPESP, Holos Editora, p.169-173.
- OVRUSKI, S.M.; COLIN, C.; SORIA, A.; OROÑO, L.E.; SCHLISERMAN, P. Introducción y producción en laboratorio de *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae) para el control biológico de *Ceratitidis capitata* (Diptera: Tephritidae) en la Argentina. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 62(3-4), 9-59, 2003.
- PARANHOS, B.J. 2007. **Biofábrica Moscamed Brasil: tecnologia ambientalmente segura no combate às pragas.** In: SIMPÓSIO DE MANGA DO VALE DO SÃO FRANCISCO, 2. 2007, Juazeiro. Palestras. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007. 1. Disponível em < <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/36032/1/OPB1359.pdf>>. Acesso em 02 ago. 2016.
- PARANHOS, B.J. **Moscas-das-frutas que oferecem riscos à fruticultura brasileira.** 2008. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA-2009-09/39789/1/OPB2070.pdf>>. Acesso em 06 de set. 06 set. 2016.
- PARRA, J.R.P. *et al.* Controle biológico: terminologia. *In: _____*. (Eds.). **Controle biológico no Brasil: parasitóides e predadores.** São Paulo: Manole, 2002, p. 1-13.
- PURCELL, M.F.; JACKSON, C.G.; LONG, J.P.; BATCHELOR, J.P. 1994. Influence of guava ripening on parasitism of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae), by *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) and other parasitoids. **Biological Control.** Disponível em < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1049964484710504> >. Acesso em 15 set. 2016.
- RABELO, L.R.S. 2010. **Monitoramento de moscas-das-frutas (Diptera, Tephritidae) em cinco municípios do estado de Goiás.** 2010. 85p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal). Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.
- RAFIKOV.M.; NISHIWAKI, T.A. **Modelagem matemática do controle biológico de pragas de cana-de-açúcar.** 2009. Disponível em < ic.ufabc.edu.br/II_SIC_UFABC/resumos/paper_5_39.pdf>. Acesso em 28 mai. 2016.
- RAGA, A. Incidência, monitoramento e controle de moscas-das-frutas na citricultura paulista. **LARANJA**, 26(2), 307-322, 2005.
- RAGA, A; SOUZA-FILHO, M.F. **MANEJO E MONITORAMENTO DE MOSCAS-DAS-FRUTAS.** 2000. Disponível em < www.biologico.sp.gov.br/rifib/IIIRifib/43-49.pdf>. Acesso em 29 jan. 2017.
- SILVA, B.A.; BATISTA, J.L. 2012. **Mosca-das-frutas: uma ameaça à fruticultura.** Disponível em < <http://www.grupocultivar.com.br/artigos/mosca-das-frutas-uma-ameaca-a-fruticultura> >. Acesso em 20 jan. 2017.
- SIVINSKI, J. *et al.* 1998. Phenological comparison of who braconid parasitoids of the Caribbean fruit fly (Diptera: Tephritidae). **Environmental Entomology**, 27(2), 360-365.

- SIVINSKI, J. *et al.* Suppression of Caribbean fruit fly (*Anastrepha suspensa* (Loew) Diptera: Tephritidae) population through augmented releases of the parasitoid. *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae). *Biological Control*, Orlando, 6, 177-185, 1996.
- SOUTHWOOD, T.R.E. 1995. **Ecological methods**: with particular reference to the study of insect populations. 2. ed. London, Chapman & Hall, 524p.
- SOUZA-FILHO, M.F.; RAGA, A.; ZUCCHI, R.A. Moscas-das-frutas no estado de São Paulo: ocorrência e danos. **Laranja**, 24(1),45-69, 2003.
- UFLA. <www.den.ufla.br/attachments/article/75/Aula%20parasitoide_Diego_Luis.pdf>. Acesso em 14 de jun. 2016.
- VISCARRET, M.M.; ROSSA, R.L.; SEGURA, D.F.; OVRUSKI, S.M.; CLADERA, J.L. Evaluation of the parasitoid *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) reared on a genetic sexing strain of *Ceratitis capitata* (Wied.) (Diptera: Tephritidae). **Biological Control** 36, 147-153, 2006.
- WALDER, J.M.; LOPES, L.A.; COSTA, M.L.Z.; SESSO, J.N.; TONIN, G.; CARVALHO, M.L.; LARA, P. Criação e liberação do parasitoide *Diachasmimorpha longicaudata* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) para controle de moscas-das-frutas no Estado de São Paulo. **A Laranja**, 16, 149-153, 1995.
- WALDER, J.M.M.; COSTA, M.L.Z.; MASTRANGELO, T.A. Produção massal do parasitoide *Diachasmimorpha longicaudata* para o controle biológico de moscas-das-frutas. In: BUENO, V.H.P (Eds.). **Controle biológico de pragas: produção massal e controle de qualidade**. Lavras, UFLA, 2009, p.221-234.
- WALDER, J.M.M. Técnica do inseto estéril: controle genético. In: MALAVASI, A.; ZUCCHI, R.A. (Eds.). **Moscas-das-frutas de importância econômica no Brasil: conhecimento básico e aplicado**. Ribeirão Preto: Holos, 2000, cap.19, p. 151-158.
- WONG, T.T.Y.; RAMADAN, M.M. Mass rearing biology of larval parasitoids (Hymenoptera: Braconidae) in Hawaii. In: ANDERSON, T.E.; LEPPA, N.C. (Ed.). **Advances in insect rearing for research and pest management**. Boulder: Westview Press, 1992, p. 405-426.
- ZUCCHI, R.A. Taxonomia. In: MALAVASI, A.; ZUCCHI, R.A (Ed.). **Moscas-das-frutas de importância econômica no Brasil: conhecimento básico e aplicado**. Ribeirão Preto: FAPESP-Holos, 2000, p. 13-24.