

**UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**CAMPUS DE BOTUCATU**  
**INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS**

**Parasitóides, Bruquídeos e Plantas Hospedeiras:  
Riqueza de Espécies e Dinâmica Espacial em Escala Local**

*Ligia Maria da Silva Rodrigues*

**Dissertação apresentada ao Instituto  
de Bociências, Campus de Botucatu,  
UNESP, para obtenção do título de  
Mestre em Ciências Biológicas  
(Botânica), AC: Morfologia e  
Diversidade Vegetal**

**BOTUCATU - SP**

**- 2008 -**

**UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
CAMPUS DE BOTUCATU  
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS**

**Parasitóides, Bruquídeos e Plantas Hospedeiras:  
Riqueza de Espécies e Dinâmica Espacial em Escala Local**

**Ligia Maria da Silva Rodrigues**

**Marcelo Nogueira Rossi**

**- orientador -**

**Dissertação apresentada ao  
Instituto de Bociências,  
Campus de Botucatu, UNESP,  
para obtenção do título de  
Mestre em Ciências Biológicas  
(Botânica), AC: Morfologia e  
Diversidade Vegetal**

**BOTUCATU - SP**

**- 2008 -**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA  
INFORMAÇÃO  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CAMPUS DE BOTUCATU - UNESP  
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: SELMA MARIA DE JESUS

Rodrigues, Lígia Maria da Silva.

Parasitóides, bruquídeos e plantas hospedeiras: riqueza de espécie espacial em escala local / Lígia Maria da Silva Rodrigues. – Botucatu : [s.n.], 2008.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Botucatu, 2008

Orientador: Marcelo Nogueira Rossi

1. Botânica 2. Plantas - Parasito 3. Ecologia vegetal

Palavras-chave: Bruchidae; Dinâmica espacial; Interações tróficas; *Mimosa bimucronata*; Predação de sementes; Riqueza de espécies;

*Dedicatória:*

*“Aos meus Pais, Sérgio e Elisabeth,  
por serem a base de minha vida  
e de meus conhecimentos. Amo vocês!”*

## *Agradecimentos*

- À Deus pela Vida, pela sabedoria, pela saúde, pelas alegrias e dificuldades que coloca em minha vida... Por sempre guiar meus passos.
- À minha família: meus Pais, meu irmão e familiares. Por todo amor e todo carinho que tem por mim. Por sempre apoiarem e respeitarem minhas decisões. Por estarem sempre presentes em minha vida, em todos os momentos!
- Ao Prof. Dr. Marcelo Nogueira Rossi pela orientação, pelas oportunidades acadêmicas proporcionadas, oportunidades de ampliar meus conhecimentos, e trilhar caminhos em minha profissão.
- À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo auxílio financeiro para o desenvolvimento deste projeto de pesquisa (Proc. N° 06/58173-4).
- Às amigas de República: Letícia (Bagúio), Luciana (Capitu), Milena e Paula (Sedada), pela amizade e companheirismo durante todos esses anos de convivência, algumas por muito tempo (muito!), outras menos tempo, mas todas importantes em minha vida, cada uma a sua maneira, por estarem presentes nos momentos felizes e nas dificuldades e também pelas ajudas quando fez-se necessário.
- Às minhas sempre amigas de Jaú, Francely, Cíntia, Marcela, Mariana, Carol e Mônica, pela grande amizade e carinho mesmo que à distância.
- Aos companheiros do Laboratório de Ecologia de Interações Tróficas: Carol, Débora, Luciana (Capitu), Marcos (Funga), Paula (Sedada) e agregados (Jéferson, Gabriela e Isabela) e do Departamento de Botânica: Clívia (Tchuchuca), Letícia (Bagúio), Milena e Natália, pela amizade e pela colaboração nos trabalhos, pelas idas e vindas de Jaú, pelas lindas filhas para encantar nosso Lab... E também pelos momentos de descontração!
- Aos amigos de graduação, XXXVII turma de Ciências Biológicas – licenciatura, pela amizade construída durante cinco anos de convivência diária e que continua até hoje.

- Aos funcionários do Departamento de Ciências Florestais da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP de Botucatu, Dicão (Aparecido) e Edson e à Profª. Drª. Renata Batista Fonseca, pelo auxílio nas coletas na “Mata da Bica”.
- Ao Dr. Valmir Antonio Costa e Drª Zuleide A. Ramiro, do Instituto Biológico de Campinas, pela identificação dos parasitóides coletados, e pelo estágio realizado. Também à Profª. Drª. Angélica Maria Penteado-Dias (da UFSCar), pela identificação dos gêneros da família Braconidae.
- À Profª Drª Cibele Stramare Ribeiro-Costa, pela identificação das espécies de Bruchidae.
- A SABESP por permitir as coletas em *Mimosa bimucronata* em sua propriedade.
- Ao Luciano Nardini Gomes, da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP de Botucatu, pelo auxílio no mapeamento dos ramos de *Mimosa bimucronata*.
- À Milena Galhardo Borguini e Profª Drª Giuseppina P. P. Lima pela realização das análises bioquímicas.
- E também a todos que de alguma forma me apoiaram ou colaboraram durante o desenvolvimento deste trabalho.

*Muito Obrigada!!!*

## Índice

<b>Resumo Geral</b> .....	1
Resumo .....	2
Abstract .....	4
<b>Introdução Geral e Revisão Bibliográfica</b> .....	6
Introdução Geral e Revisão Bibliográfica .....	7
Influência da qualidade da planta em interações tróficas .....	8
Interação hospedeiro-parasitóide .....	10
Padrão espacial do parasitismo e dependência de densidade espacial .....	11
Spatial Analysis by Distance Indices (SADIE) .....	12
Biologia da família Bruchidae .....	14
• O gênero <i>Acanthoscelides</i> .....	15
• Interação entre <i>Acanthoscelides</i> e parasitóides .....	16
Especificidade entre bruquídeos e plantas hospedeiras .....	17
Sistema de Estudo .....	19
<b>Objetivo Geral</b> .....	21
<b>Objetivos Específicos</b> .....	21
<b>Referências Bibliográficas</b> .....	22
<b>Capítulo 1: Dinâmica Espacial Tritrófica entre <i>Acanthoscelides schrankiae</i> Horn 1873 (Coleoptera: Bruchidae), seus parasitóides e <i>Mimosa bimucronata</i> (DC.) Kuntze (Fabaceae: Mimosoideae)</b> .....	29
Resumo .....	30
Abstract .....	31
1. Introdução .....	32
2. Objetivos .....	34
3. Material e Métodos .....	35
4. Resultados .....	43
5. Discussão .....	62
6. Conclusões .....	66
7. Referências Bibliográficas .....	68

<b>Capítulo 2 : Riqueza de Espécies de Bruquídeos e suas Plantas Hospedeiras em um Fragmento de Floresta Estacional Semidecidual .....</b>	<b>72</b>
Resumo .....	73
Abstract .....	74
1. Introdução .....	75
2. Objetivos .....	77
3. Material e Métodos .....	77
4. Resultados e Discussão .....	83
5. Conclusões .....	91
6. Referências Bibliográficas .....	92
<b>Considerações Finais .....</b>	<b>95</b>
Considerações Finais .....	96



**PARASITÓIDES, BRUQUÍDEOS E PLANTAS HOSPEDEIRAS: RIQUEZA DE ESPÉCIES E DINÂMICA ESPACIAL EM ESCALA LOCAL.** 2008. 97P. DISSERTAÇÃO (MESTRADO) – INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS, UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, BOTUCATU.

**RESUMO** – O presente estudo foi dividido em duas partes. A primeira parte (capítulo 1) teve como objetivo avaliar se as características nutricionais dos frutos de *Mimosa bimucronata* influenciam a formação dos padrões de distribuição espacial de *Acanthoscelides schrankie* e seus parasitóides, os quais por sua vez podem determinar os padrões de dependência de densidade espacial na interação hospedeiro-parasitóide. Ramos em frutificação foram marcados e coletas quinzenais de frutos foram feitas em 2006 e 2007. Após a emergência dos insetos, análises nutricionais dos frutos de cada ano foram feitas (teor de água, nitrogênio e fenóis). Tanto *A. schrankiae* como seus parasitóides apresentaram estrutura espacial bem definida apenas durante o ano de 2007. Foram observados padrões independentes, inversamente dependentes e diretamente dependentes da densidade espacial, dependendo do momento de observação. Associações espaço-temporal significativas com e sem atraso de tempo entre bruquídeos e parasitóides, e entre bruquídeos e a porcentagem de parasitismo foram observadas. Associações espaciais mais intensas foram observadas sem atraso de tempo. Portanto, as populações de bruquídeos e parasitóides foram dinamicamente acopladas, mas tal padrão foi dependente do ano de observação. Constatou-se uma dissociação espacial significativa das populações de bruquídeos e parasitóides com os conteúdos de fenóis dos frutos, ou seja, a forte associação entre bruquídeos e parasitóides ocorreu em ramos com menor concentração de compostos fenólicos, o que pode ter contribuído para a formação dos padrões espaciais observados. Associações espaciais significativas não foram observadas entre as populações de bruquídeos e parasitóides com os respectivos teores de água e nitrogênio. Na segunda parte (capítulo 2) investigou-se a riqueza de espécies de bruquídeos e de suas plantas hospedeiras em um fragmento de floresta estacional semidecidual denominado “Mata da Bica”, localizado no município de Botucatu, SP. Coletas mensais de frutos de plantas potencialmente hospedeiras de bruquídeos foram feitas durante um ano (Abril/2007- Março/2008), acompanhando-se a fenologia reprodutiva das mesmas. Após a coleta, a emergência dos bruquídeos foi observada em laboratório. As plantas selecionadas tiveram seu pico de frutificação nos meses de julho, agosto e setembro de 2007. Foi observada a emergência de um total de

1041 bruquídeos em cinco espécies de plantas, *Bauhinia forficata*, *Leucaena leucocephala*, *Lonchocarpus muelbergianus*, *Peltophorum dubium* e *Senna obtusifolia*, e possivelmente de cada espécie de planta ocorreu a emergência de uma espécie de bruquídeo. A espécie que apresentou maior número de bruquídeos emergindo se seus frutos foi *L. leucocephala*. Testes de germinação em *L. leucocephala* demonstraram que estas sementes não germinaram após serem consumidas pelas larvas do bruquídeo, não resistindo ao dano.

**Palavras-chave:** Bruchidae; ecologia espacial; interações tri-tróficas; qualidade da planta; *Mimosa bimucronata*; predação de sementes; riqueza de espécies.

**PARASITIDS, BRUCHIDS AND HOST PLANTS: SPECIES RICHNESS AND SPATIAL DYNAMICS AT LOCAL SCALE.** 2008. 97P. M.SC. THESIS – BIOSCIENCES INSTITUTE, UNESP – SÃO PAULO STATE UNIVERSITY, BOTUCATU.

**ABSTRACT** – This study was divided into two parts. The objective of the first part (chapter 1) was to investigate whether fruit quality of *Mimosa bimucronata* plants influenced the spatial distribution patterns of *Acanthoscelides schrankie* and its parasitoids, which in turn would determine spatial density dependent patterns of host-parasitoid interactions. Branches were previously selected and fruits were collected at each fifteen days in years 2006 and 2007. After emergence of all insects, nutritional analyses of fruits were carried out for each year (water, nitrogen and phenolic contents). *A. schrankiae* and its parasitoids presented well defined spatial structure only in 2007. Independent, inversely density dependent and directly density dependent spatial patterns were verified; however, such patterns depended of the moment of observation. Significant spatio-temporal associations with and without time lags were observed between bruchids and its parasitoids and also between bruchids and the percentage of parasitism. The most significant spatial associations were verified without time lags. Therefore, bruchid and parasitoid populations were dynamically coupled, but these patterns were dependent of the year of observation. Significant spatial dissociations were verified between phenolic contents of *M. bimucronata* fruits and bruchid and parasitoid populations; therefore, significant spatial associations between bruchids and their parasitoids occurred on branches with lower concentrations of phenolic compounds, which may have determined the observed spatial patterns in the field. Significant spatial associations were not observed between bruchid and parasitoid populations and the water and nitrogen contents. In the second part (chapter 2), the species richness of bruchids and their host plants was investigated in a semi-deciduous forest fragment named as “Mata da Bica” (Botucatu-SP). Fruits were monthly collected for a year (April/2007- March/2008) from plants considered as potential hosts for bruchids, and the reproductive phenology was recorded. After sampling, bruchid emergence was recorded in the laboratory. Most plants presented highest fructification on July, August and September of 2007. It was observed 1041 bruchids emerging from fruits from five plant species, *Bauhinia forficata*, *Leucaena leucocephala*, *Lonchocarpus muehlbergianus*, *Peltophorum dubium* and *Senna obtusifolia*, and

probably one bruchid species emerged from one plant species. *L. leucocephala* presented the highest number of bruchids emerging from its fruits. Germination tests on *L. leucocephala* showed that predated seeds did not germinate after being attacked by bruchid larvae, not resisting to damage.

**Key-words:** Bruchidae; spatial ecology; tri-trophic interactions; plant quality; *Mimosa bimucronata*; seed predation; species richness.

## *Introdução Geral e Revisão Bibliográfica*

Os vegetais por serem a base das cadeias alimentares são amplamente explorados por diversos organismos em busca de alimento. O consumo de parte de uma planta ou de toda a planta é chamado de herbivoria (Stiling, 1999). A herbivoria é uma interação que na maioria dos casos não leva o vegetal à morte, mas quando o herbívoro acaba causando a morte da planta, esta pode ser considerada uma predação (Ricklefs, 2003).

As sementes são estruturas de extrema importância aos vegetais, pois através delas que é garantida a permanência e dispersão das espécies no ambiente, porém com muita frequência as sementes são predadas por animais, vertebrados ou invertebrados, podendo ocorrer antes ou depois de sua dispersão no ambiente. O consumo das sementes produzidas pelos vegetais é considerado uma predação, pois o predador é beneficiado pelo consumo do outro organismo sendo que este organismo é levado à morte (Townsend *et al.*, 2006). A granivoria descreve a interação entre plantas e animais, denominados granívoros ou predadores de sementes (Crawley, 2000; Hulme & Benkman, 2002). O consumo de suas sementes pode afetar diretamente as plantas principalmente quando ocorre na fase de pré-dispersão, onde a predação pode ter efeito prejudicial sobre cada planta (indivíduo) ou sobre a densidade das plantas atacadas (Begon *et al.*, 2007).

As plantas podem ter suas sementes predadas principalmente por insetos pertencentes às ordens: Diptera, Lepidoptera, Coleoptera e Hymenoptera (Janzen, 1971). Na ordem Coleoptera, podemos destacar a família Bruchidae, representada por importantes predadores de sementes, principalmente de leguminosas (Southgate, 1979). Muitos dos insetos que atacam sementes, inclusive os da família Bruchidae, sofrem, por sua vez, altas taxas de ataque por parasitóides formando sistemas tritróficos bastante complexos e interessantes (Crawley, 2000).

Pouco é conhecido sobre a dinâmica temporal entre insetos predadores de sementes e suas populações de plantas hospedeiras e a fauna destes predadores também é pouco conhecida, o que torna bastante importante o estudo de sistemas tróficos que envolvam bruquídeos predadores de sementes. No presente trabalho estudou-se um sistema tritrófico composto pela planta *Mimosa bimucronata*, um predador da família Bruchidae (*Acanthoscelides schrankiae*), e seus parasitóides. E também sistemas

envolvendo plantas de um fragmento de floresta semidecidual e bruquídeos predadores de suas sementes.

### **Influência da qualidade da planta em interações tróficas**

Alguns elementos são considerados essenciais para o desenvolvimento de um vegetal, pois sua ausência pode impedir a planta de completar seu ciclo de vida ou suas reações fisiológicas. Dentre estes elementos essenciais estão os minerais, que podem ser classificados como macronutrientes ou micronutrientes, dependendo da concentração no tecido vegetal. O nitrogênio, por exemplo, é considerado um macronutriente (Taiz & Zeiger, 2006). Os insetos, como todos os animais, necessitam de alimento para seu desenvolvimento, no caso dos insetos herbívoros, este é obtido através das plantas. Se uma planta possui um maior valor nutricional, melhor será o desenvolvimento do herbívoro, mas nem sempre a quantidade de nutrientes disponível na planta é a necessária para um ótimo desenvolvimento do herbívoro. Neste caso, o desenvolvimento tende a ser comprometido, podendo resultar numa diminuição do tamanho corporal (Schoonhoven *et al.*, 2005).

Este valor nutricional da planta para o inseto é determinado principalmente pelo conteúdo de nitrogênio, uma vez que a eficiência de crescimento do inseto está intimamente relacionada com o conteúdo deste composto na planta. Isso se justifica pelo fato do nitrogênio ser constituinte das proteínas e estas estão presentes na estrutura básica dos insetos, em seus tecidos e no tegumento (Schoonhoven *et al.*, 2005).

Plantas hospedeiras de alta qualidade podem indiretamente aumentar o desempenho dos insetos no terceiro nível trófico via insetos herbívoros, o que seria um efeito tipo “bottom-up”, ou seja, melhor qualidade da planta pode aumentar a qualidade nutricional do inseto herbívoro, melhorando o desempenho dos insetos parasitóides; efeitos oriundos dos parasitóides afetando níveis tróficos inferiores também podem ser observados, e seriam do tipo “top-down” (Roininem *et al.*, 1996; Stiling & Rossi, 1997; Teder & Tammaru, 2002; Hunter, 2003; Stiling & Moon, 2005). Por exemplo, o estudo desenvolvido por Lill *et al.* (2002) no Canadá demonstrou que o parasitismo em espécies de Lepidoptera é fortemente dependente da planta hospedeira, uma vez que as taxas de parasitismo das lagartas variaram dependendo da planta hospedeira utilizada. Entretanto, Kagata & Ohgushi (2006) atentam também para a necessidade de medidas

da qualidade dos insetos herbívoros para confirmação do quanto a qualidade da planta pode afetar os níveis superiores.

O terceiro nível trófico também pode ser afetado quando as plantas possuem um baixo conteúdo de nitrogênio. Nestas plantas os insetos geralmente necessitam de uma quantidade maior de alimento e de maior tempo de consumo do que em plantas contendo maior nível de nitrogênio (Schoonhoven *et al.*, 2005). Estas plantas de baixa qualidade nutricional podem afetar adversamente o desenvolvimento larval e a fase adulta do inseto, pois o inseto tem a necessidade de alimentar-se mais para atingir a fase adulta, causando um maior dano à planta ou aumentando a sua exposição a predadores e parasitóides (*slow-growth, high-mortality hypothesis*) (Clancy & Price, 1987; Lill & Marquis, 2001; Awmack & Leather, 2002; Cornelissen & Stiling, 2006).

Variações na qualidade do recurso ao longo de um gradiente de habitat podem gerar padrões heterogêneos com relação ao grau de utilização dos recursos pelos insetos herbívoros podendo, inclusive, influenciar a dinâmica espacial das interações hospedeiro-parasitóides (Hunter, 2003).

Além dos nutrientes essenciais ao seu desenvolvimento, os vegetais produzem alguns compostos orgânicos que parecem não ter função direta no crescimento e desenvolvimento do vegetal. Estas substâncias de certa forma podem agir como compostos de defesa para o vegetal e são conhecidas como metabólitos secundários (Taiz & Zeiger, 2006). Os taninos são compostos secundários (aleloquímicos tóxicos) encontrados nas plantas que geralmente diminuem o valor nutricional de uma planta, pois as proteínas ligadas aos taninos não são degradadas pelas enzimas no trato digestivo. Além disso, se ligados a proteínas solúveis produzem co-polímeros insolúveis, ou ainda, podem ligar-se a ácidos nucleicos e polissacarídeos, impedindo a função fisiológica dos mesmos, podendo desta forma afetar significativamente o desenvolvimento dos insetos herbívoros (Schoonhoven *et al.*, 2005). Por afetarem os insetos herbívoros, os metabólitos secundários também podem promover alterações nas populações dos níveis tróficos superiores, como verificado por Harvey *et al.* (2003), sendo um exemplo de força tipo “bottom-up”.

Apesar de tanto a escolha como a qualidade da planta afetar a suscetibilidade dos insetos herbívoros a seus inimigos naturais, acredita-se que as forças “bottom-up” (base-topo) e “top-down” (topo-base) sejam complementares nos ecossistemas (Stiling & Rossi, 1997; Schoonhoven *et al.*, 2005). Ou seja, a qualidade da planta pode afetar o desenvolvimento dos herbívoros e seus inimigos naturais e vice-versa.

## **Interação hospedeiro-parasitóide**

A interação hospedeiro-parasitóide pode ser determinante para a regulação das populações dos produtores, bem como dos insetos hospedeiros (Price, 1997). Parasitóides estão entre os animais mais abundantes e ocorrem principalmente nas ordens Diptera e Hymenoptera (Hassell, 2000). Os parasitóides podem ser definidos como insetos que necessitam de apenas um hospedeiro para alimentar-se durante sua vida, levando este indivíduo à morte; mas apesar de alimentar-se apenas de um indivíduo durante a vida, os adultos (de vida livre) podem ser responsáveis pela morte de diversos indivíduos ao depositarem seus ovos em vários hospedeiros que nutrirão sua progênie (Price, 1997; Hassell, 2000). As fêmeas adultas depositam seus ovos próximos, sobre ou dentro do corpo do hospedeiro (um ovo ou mais por hospedeiro), e na maioria das vezes a postura é feita num estágio imaturo do hospedeiro (Hassell, 2000).

A dinâmica da interação hospedeiro-parasitóide não pode ser entendida sem ser considerado o papel da planta no sistema e também das variações que esta planta possa ter, sejam elas variações morfológicas, bioquímicas, genotípicas, e que podem vir a afetar esta dinâmica (Price & Clancy, 1986); compreender a dinâmica da interação hospedeiro-parasitóide envolve também o entendimento da ação de forças do tipo “bottom-up” (base-topo) e “top-down” (topo-base) nos sistemas (Stiling & Rossi, 1997; Moon & Stiling, 2002; Moon & Stiling, 2005).

Os estudos das relações hospedeiro-parasitóide têm sido estimulados, pois são de grande importância para programas de controle biológico de pragas, procurando identificar e quantificar os atributos necessários para aprimorar o uso dos parasitóides como agentes de controle biológico. Além disso, parasitóides são ideais no estudo de dinâmica populacional, pois possibilitam o desenvolvimento de modelos populacionais relativamente simples. Isto ocorre principalmente porque somente as fêmeas adultas procuram pelo hospedeiro e, quando este é encontrado, já ocorre a oviposição (Hassell, 2000). De fato a aplicação de modelos matemáticos pode servir de suporte para um melhor entendimento das dinâmicas hospedeiro-parasitóide em condições de campo, mostrando, por exemplo, como a heterogeneidade do habitat pode afetar a dinâmica destas populações, identificando assim os tipos de heterogeneidade que contribuem para a regulação populacional (Hassell & Pacala, 1990).



Ainda, segundo Hassell (2000) o entendimento da dinâmica populacional hospedeiro-parasitóide vem principalmente de modelos que levam em conta a interação entre duas ou três espécies apenas, o que corresponde a alguns exemplos que ocorrem no campo e a alguns clássicos modelos de controle biológico. Mas em ambientes naturais a grande maioria dos insetos é atacada por mais de uma espécie de parasitóide que por sua vez atacam mais de uma espécie de hospedeiro, o que mostra que teias tróficas complexas são comuns em interações hospedeiro-parasitóide.

### **Padrão espacial do parasitismo e dependência de densidade espacial**

Sabe-se que as populações de insetos apresentam flutuações em tamanho, e este fato tem gerado diversas especulações sobre quais fatores limitam o tamanho destas populações, principalmente em insetos herbívoros. Hairston *et al.* (1960) argumentaram que os herbívoros raramente consomem todos os recursos disponíveis (“o mundo é verde”), portanto, suas populações devem ser limitadas pelos inimigos naturais, e não pela abundância de recursos. No entanto, diversos estudos têm demonstrado que as populações de insetos herbívoros podem ser limitadas tanto pelo tipo de recurso disponível (forças do tipo ‘bottom-up’), como pela ação de inimigos naturais (forças do tipo ‘top-down’) (Roinin *et al.*, 1996; Hunter *et al.*, 1997; Stiling & Rossi, 1997). Dentre os inimigos naturais mais importantes dos insetos herbívoros estão os parasitóides e diversos estudos de campo têm demonstrando que os parasitóides são capazes de influenciar a dinâmica populacional de seus hospedeiros (Murdoch *et al.*, 1989; Gould *et al.*, 1990; Turchin, 1990; Berryman, 1996).

As conseqüências do parasitismo para a dinâmica populacional dos hospedeiros dependem da resposta dos parasitóides às variações nas densidades populacionais dos hospedeiros dentro de um contexto espacial e temporal (Teder *et al.*, 2000). Dentro de um contexto espacial, alguns parasitóides gastam um maior tempo, e conseqüentemente se agregam, em áreas (patches) com maiores densidades de hospedeiros. Quando relações positivas e negativas entre as taxas de parasitismo e as densidades do hospedeiro são encontradas entre diferentes patches, têm-se os padrões de parasitismo diretamente dependentes e inversamente dependentes da densidade espacial, respectivamente. Caso a interação hospedeiro-parasitóide não esteja relacionada espacialmente, tem-se um padrão de parasitismo independente da densidade espacial (Hassell, 2000). Royama (1992) define dependência e independência da densidade da

seguinte maneira: “Qualquer atributo de um fator ecológico – seja este a medida de seu estado físico (ex. nível de temperatura ou densidade populacional) ou seu efeito em um dado parâmetro populacional (ex. nascimento, morte ou taxa de dispersão) – é dito dependente da densidade se este for correlacionado com a densidade populacional do animal em questão. Caso contrário, é dito independente da densidade.”

O padrão de parasitismo diretamente dependente da densidade tem grande importância como efeito “estabilizador” das populações dos hospedeiros, pois podem reduzir suas flutuações populacionais (Walde & Murdoch, 1988; Stewart-Oaten & Murdoch, 1990; Stiling, 1999). No entanto, o padrão de parasitismo inversamente dependente da densidade espacial (no qual o parasitismo é intenso em patches de baixa densidade do hospedeiro), que frequentemente ocorre em condições naturais, também pode promover estabilidade nas populações dos hospedeiros (Hassell, 1984). Roland (1994) e Teder *et al.* (2000) sugeriram que mesmo quando os parasitóides não agem de forma diretamente dependente da densidade, estes podem promover altas taxas de mortalidade em certos patches, permitindo a regulação populacional dos hospedeiros por outros fatores dependentes da densidade.

Apesar dos avanços teóricos e empíricos, a importância da dependência de densidade (espacial e temporal) em promover estabilidade nas populações hospedeiras é uma questão que gera discussões, onde certamente mais estudos em condições de campo, envolvendo diversas espécies de parasitóides, são necessários.

### **Spatial Analysis by Distance Indices (SADIE)**

Diversos métodos de análise de padrões espaciais têm sido desenvolvidos, uma vez que ecologistas procuram por estes padrões para explicar processos que ocorrem em condições naturais; portanto, a estrutura espacial pode, por exemplo, servir de indicativo da ocorrência de diferentes forças de interações intra ou interespecíficas (Perry & Dixon, 2002; Fortin & Dale, 2005). O “Spatial Analysis by Distance Indices” (SADIE) é um método de análise espacial desenvolvido para medir padrões espaciais e analisar dados ecológicos espacialmente referenciados que possam ser mapeados num plano Cartesiano (onde as coordenadas  $x$  e  $y$  dos pontos de coleta são conhecidas) (Perry 1995, Perry *et al.*, 1999; Xu & Madden, 2004). Este método compara arranjos espaciais de determinada amostra com outros arranjos derivados desta, que seriam aqueles onde os indivíduos encontrar-se-iam agrupados, distribuídos de maneira uniforme ou

arranjados de forma aleatória (Perry, 1995). O método SADIE identifica áreas de agregação nos chamados ‘patch’ (áreas de alta densidade) ou ‘gap’ (áreas de baixa densidade) *clusters*, atribuindo um índice que quantifica o grau que o valor amostrado em determinado local contribui para a agregação (Winder *et al.*, 2001; Fortin & Dale, 2005). Também apresenta a vantagem de melhorar a base intuitiva quando comparado com a matemática tradicional, mais abstrata, e utiliza toda a informação espacial apresentada por determinada amostra (Perry, 1996a, b).

O SADIE diferencia-se da Geoestatística tradicional, pois, em contraste com a abordagem da Geoestatística que utiliza correlogramas, o SADIE destina-se a situações nas quais os indivíduos estão distribuídos em ‘patches’ discretos, com limites bem definidos, e não em ‘patches’ contínuos no espaço. E também, tem seu enfoque na medida e teste do padrão espacial, e não na estimativa de densidade de áreas não amostradas, o que ocorre na Geoestatística (Winder *et al.*, 2001; Xu & Madden, 2004). No SADIE, para qualquer amostragem, é calculada a distância mínima que o indivíduo teria que mover-se para atingir um padrão extremo, por exemplo, a regularidade (distância para a regularidade). Essa distância é denominada  $D$ , e é comparada com o valor esperado de mudanças aleatórias do indivíduo na amostra, chamado  $E_a$ , obtendo-se desta forma um índice de agregação  $I_a$ , que é  $D/E_a$ . Os valores de  $I_a$  podem indicar agregação ( $I_a > 1$ ), arranjos uniformes ( $I_a < 1$ ) ou aleatoriedade ( $I_a = 1$ ) (Perry, 1996a, b; Perry *et al.*, 1999; Perry & Dixon, 2002).

Os índices de agregação mencionados também podem ser utilizados para determinar o grau de associação espacial entre populações provenientes de duas espécies. Portanto, extensões do método SADIE têm sido desenvolvidas com este objetivo. Uma extensão deste método propõe a estimativa de um novo índice  $X$ , o qual quantifica a associação espacial local entre diferentes populações baseando-se na similaridade entre os índices de agregação (Winder *et al.*, 2001). Através deste novo índice, é observado se as duas populações estão positivamente associadas espacialmente, negativamente associadas, ou ocorrem ao acaso umas às outras. No entanto, o grau de associação entre duas populações é melhor estimado se as populações forem amostradas ao longo do tempo, observando-se então a evolução de suas estruturas espaciais (Winder *et al.*, 2001; Perry & Dixon, 2002).

Um importante estudo de Veldtman & McGeoch (2004) que quantificou a dependência de densidade espacial entre um inseto herbívoro e seus parasitóides, comparando os resultados do SADIE com métodos tradicionais baseados em análises de

regressão, mostrou que a utilização do método SADIE e a estimativa do índice  $X$  podem identificar a dependência da densidade espacial com maior frequência, inclusive, em casos onde outros métodos não determinariam esta dependência de densidade, mostrando uma alternativa de análise superior aos métodos tradicionais, com profundas implicações na compreensão da regulação das populações e capaz também de incorporar dados biológicos espaciais muito relevantes. Fato este que corrobora para a utilização do SADIE no estudo de interações entre bruquídeos e parasitóides.

### **Biologia da família Bruchidae**

A reprodução de uma planta pode ser afetada pela predação de suas sementes (Gurevitch *et al.*, 2002). Entre os predadores de sementes encontramos insetos de diversas famílias da ordem Coleoptera, nesta ordem destacam-se aqueles pertencentes à família Bruchidae, importantes predadores de sementes, principalmente de leguminosas (Southgate, 1979).

A família Bruchidae é um grupo monofilético, composta por aproximadamente 1700 espécies descritas e 66 gêneros; 42 destes gêneros encontram-se no Continente Americano, sendo o restante encontrado no velho mundo. Esta família é dividida atualmente em 6 subfamílias: Bruchinae (esta com 42 gêneros, sendo *Acanthoscelides* pertencente a esta subfamília), Amblycerinae, Pachymerinae, Eubaptinae, Kytorhininae e Rhaebinae (Southgate, 1979; Romero-Napoles, 2002). A maior parte das espécies de bruquídeos (80%) pertence à subfamília Bruchinae, 10% Amblycerinae, 9% Pachymerinae e o restante (1%) pertence as demais subfamílias (Johnson & Romero, 2004).

Pelo fato de suas larvas alimentarem-se exclusivamente de sementes, atacando principalmente o embrião, algumas espécies desta família são consideradas grandes pragas, pois algumas destas sementes são de grande importância econômica, ou utilizadas na alimentação humana (Southgate, 1979; Romero-Napoles, 2002). Podem ser consideradas pragas primárias quando atacam sementes de grande importância e quando uma única espécie de Bruchidae ataca sementes pertencentes a mais de uma espécie vegetal; ou pragas secundárias, quando atacam sementes de importância menor ou regional (Romero-Napoles, 2002). Os bruquídeos também podem atacar espécies florestais, atuando na regulação de populações naturais, ou então espécies daninhas, neste caso podendo inclusive atuar como agentes de controle biológico (Southgate,

1979; Romero-Napoles, 2002). Para o emprego de bruquídeos como agentes de controle biológico é necessário, no entanto, conhecer todos os aspectos de seu ciclo de vida, principalmente a maneira de encontrar seu hospedeiro, o que determina a escolha por este hospedeiro e se ele possui uma ou mais espécies de plantas hospedeiras (Southgate, 1979).

Pouco se conhece a respeito do desenvolvimento dos bruquídeos que consomem espécies florestais ou de pouca importância econômica, já que o estudo de seu ciclo biológico é bastante dificultado pelo fato de suas larvas se desenvolverem no interior das sementes. A larva de um bruquídeo pode desenvolver-se em apenas uma semente ou pode alimentar-se de mais de uma semente durante seu desenvolvimento, dependendo da espécie (Ribeiro-Costa, 1998). Sabe-se que na fase adulta, os bruquídeos possuem apenas função reprodutiva, alimentam-se apenas de pólen, néctar ou não se alimentam (Romero-Napoles, 2002).

Os bruquídeos podem apresentar diferentes modos de postura: algumas espécies ovipõem nos frutos presos à planta (78%), outras ovipõem em sementes expostas, mas com os frutos ainda na planta (em fendas ou em frutos parcialmente deiscentes), ou ainda ovipõem em sementes livres no substrato. A planta pode ser infestada em apenas uma destas três condições ou até mesmo pelas três condições ao mesmo tempo, dependendo da espécie, ou espécies, de bruquídeo que a ataca. Ao que parece, o comportamento primitivo dos bruquídeos provavelmente foi o de ovipor sobre os frutos, com as larvas penetrando através de sua parede para se alimentarem das sementes. No entanto, como a evolução dos frutos foi direcionada para a dispersão das sementes e, possivelmente, fuga da predação por bruquídeos, estes desenvolveram outras maneiras para suas larvas se alimentarem de sementes, através dos diversos modos de postura (Johnson & Romero, 2004). O tipo de comportamento de oviposição em espécies de bruquídeos pode ser uma maneira utilizada para sobrepor as barreiras impostas pela planta hospedeira contra seu ataque, ou mesmo uma estratégia para prevenir a mortalidade de seus ovos pela ação de inimigos naturais, como os parasitóides (Ribeiro-Costa & Costa, 2002).

- **O gênero *Acanthoscelides***

O gênero *Acanthoscelides* é um dos maiores gêneros de bruquídeos presente na região Neotropical (Johnson, 1981), possuindo cerca de 300 espécies descritas e muitas

espécies ainda não descobertas, principalmente na porção sul da América do Sul, região ainda pouco estudada, pois a maioria dos estudos envolvendo *Acanthoscelides* é com espécies presentes na América do Norte, Central e norte da América do Sul (Kergoat *et al.*, 2005). Das espécies descritas, a maioria apresenta oligifagia ou monofagia (Johnson 1983, 1989, 1990), desenvolvendo-se principalmente em Fabaceae: Faboideae – 100 espécies aproximadamente, Mimosoideae – 35 espécies e Cesalpinoideae – 6 espécies. Uma minoria desenvolve-se em espécies não pertencentes às Leguminosas, como Malvaceae (40 espécies), Onagraceae (uma espécie), Rhamnaceae (uma espécie) e Cistaceae (uma espécie) (Kergoat *et al.*, 2005; Alvarez *et al.*, 2006). *Acanthoscelides* associados a Subfamília Mimosoideae predominantemente alimentam-se em três gêneros, denominados *Acacia*, *Albizia* e *Mimosa* (Kergoat *et al.*, 2005). Segundo Johnson & Romero (2004), *Acanthoscelides* é o gênero com o maior número de espécies no Novo Mundo e se alimenta de sementes de 11 famílias. Ainda, segundo estes autores, os adultos ovipõem em frutos presos à planta, ou então em frutos parcialmente deiscentes, mas segundo Parsons & Credland (2003) em *A. obtectus*, praga típica de sementes armazenadas, as fêmeas podem vir a colocar seus ovos soltos, entre as sementes. Algo semelhante ocorre com *A. longescutus* que também não adere seus ovos às vagens. As fêmeas, ao invés disto, depositam seus ovos em fendas presentes nas vagens de *Prosopis* L., como observado por Johnson & Siemens (1997).

*Acanthoscelides schrankiae* (Horn) 1873 alimenta-se de sementes de 12 espécies de plantas, 10 espécies de *Mimosa*, *Acacia picachensis* e *Schrankia paucijuga* (Jesus Romero Nápoles, comunicação pessoal) e pode ser encontrado nas Bahamas, Equador, Estados Unidos, México, República Dominicana, Venezuela e Brasil, porém, pouco é conhecido a respeito desta espécie, sendo que o primeiro relato de *A. schrankiae* predando sementes de *Mimosa bimucronata* foi realizado por Silva *et al.* (2007), no qual os autores registraram a presença de apenas um ovo por semente, o que sugere que a primeira larva a atingir a semente, previne que outras larvas venham a atingir os cotilédones, e registraram também uma alta porcentagem de predação das sementes no mês de abril.

- **Interação entre *Acanthoscelides* e parasitóides**

Os bruquídeos são atacados por parasitóides pertencentes às famílias de Himenoptera e Diptera em todas as fases de seu desenvolvimento, desde o ovo, fase

extremamente vulnerável ao ataque dos parasitóides, até a fase de pupa (Southgate, 1979).

Estudo realizado por Schmale *et al.* (2002) na Colômbia com a espécie *Phaseolus vulgaris* L. (feijão), mostrou que esta espécie é bastante atacada por *Acanthoscelides obtectus* e este por sua vez é parasitado por *Horismenus ashmeadii*. Apesar de promover uma redução na densidade populacional do bruquídeo em condições de campo, este parasitóide não foi eficaz em condições de armazenamento dos grãos, fato este que mostra que o parasitóide não foi eficiente como agente de controle biológico de *A. obtectus*. Outro estudo, no entanto, mostrou que um controle integrado dos bruquídeos *A. obtectus* e *Zabrotes subfasciatus*, ambos pragas de *P. vulgaris*, deve combinar a resistência da semente às pragas com a ação do parasitóide *Dinarmus basalis* para se tornar mais efetivo (Schmale *et al.*, 2003).

Silva *et al.* (2007) observaram a presença *Horismenus* sp. (Hymenoptera: Eulophidae) parasitando *A. schrankiae* em sementes de *M. bimucronata*. Parasitóides da espécie *Horismenus* sp. foram também encontrados por Ribeiro-Costa (1998) parasitando *Amblycerus submaculatus* e *Sennius bondari* em sementes de *Senna alata* (Caesalpinaceae).

Estudos a respeito das interações entre *Acanthoscelides* e seus parasitóides ainda são escassos, os quais se concentram principalmente em levantamentos de fauna (Tuda *et al.*, 2001; Lale & Igwebuiké, 2002; Hansson *et al.*, 2004) e em controle populacional (Schmale *et al.*, 2001, 2002, 2003, 2005), sendo que estudos que investigam padrões de parasitismo em populações de *Acanthoscelides* ainda são ausentes.

### **Especificidade entre bruquídeos e plantas hospedeiras**

Os insetos da família Bruchidae têm como hospedeiras, principalmente, plantas da família Fabaceae sendo, das 1200 espécies hospedeiras de bruquídeos que se tem registro, 900 pertencem à Fabaceae (Southgate, 1979; Romero-Napoles, 2002). Em geral, uma espécie de bruquídeo está relacionada com uma única planta hospedeira, esta, porém, podendo ser hospedeira de mais espécies de bruquídeos (Southgate, 1979; Lorea-Barocio *et al.*, 2006). Acredita-se que esta forte associação com as leguminosas implique em uma ligação comportamental ou bioquímica (Southgate, 1979).

Janzen (1980) estudou a especificidade de ataque de coleópteros predadores de sementes em uma floresta tropical na Costa Rica. Após 13 anos de coletas de frutos em

aproximadamente 957 espécies de dicotiledôneas, 110 espécies de bruquídeos emergiram em laboratório. Aproximadamente 100 espécies de plantas tiveram seus frutos e sementes atacados, e a maioria das espécies de besouros (75%) estava associada a apenas uma espécie de planta, mostrando a grande especificidade com relação ao ataque dos frutos. Quando os besouros foram encontrados alimentando-se em mais de uma espécie de planta, estas espécies, salvo algumas exceções, estavam proximamente relacionadas. O estudo veio mostrar que a especificidade da maioria dos predadores de sementes é de grande importância no entendimento do impacto destes animais na riqueza e distribuição das espécies de plantas.

Em geral, a maior parte dos bruquídeos apresenta comportamento oligófago, alguns são monófagos, e apenas a minoria apresenta polifagia. Os que se alimentam de diversas espécies ou gêneros de plantas apresentam uma ampla distribuição geográfica se comparado com os bruquídeos que se alimentam em uma ou poucas plantas hospedeiras (Romero-Napoles, 2002). Portanto, ao que parece os bruquídeos são, em sua maioria, altamente específicos com relação às plantas hospedeiras, tendo desenvolvido adaptações para evitar as diversas defesas das plantas. Tais padrões de co-evolução acabam por impedir que as plantas excluam por completo os predadores de suas sementes (Center & Johnson, 1974).

Quando bruquídeos tornam-se adaptados a determinados tipos de hospedeiros, aos seus compostos secundários, por exemplo, pode ocorrer de eles tornarem-se adaptados a outras plantas proximamente relacionadas (quimicamente semelhantes) (Kergoat *et al.*, 2005; Alvarez *et al.*, 2006). Tal adaptação pode também levar a “trocas de hospedeiros” quando plantas geneticamente distante compartilham de compostos secundários semelhantes (Alvarez *et al.*, 2006). Espécies do gênero *Acanthoscelides* desenvolveram habilidades de se alimentar em sementes consideradas tóxicas, sendo associados a plantas hospedeiras específicas e representam um bom modelo de estudo de radiações adaptativas (Kergoat *et al.*, 2005; Alvarez *et al.*, 2006).

Johnson & Siemans (1992) sugerem que estudos direcionados ao conhecimento da riqueza de espécies de bruquídeos e suas plantas hospedeiras na América do Sul, podem colaborar para o entendimento dos padrões biogeográficos do Novo Mundo, possibilitando testes de hipóteses relacionadas à distribuição das plantas e animais em amplas escalas.



## Sistema de estudo

Fabaceae é uma família de distribuição cosmopolita, representando uma das maiores famílias de Angiospermas, com cerca de 650 gêneros e 18000 espécies, muitas de valor econômico (utilizadas na alimentação, madeira, arborização urbana, adubação verde). A família Fabaceae apresenta-se dividida em três subfamílias, Faboideae, Caesalpinoideae e Mimosoideae, segundo a classificação APGII (Souza & Lorenzi, 2005). Presente na subfamília Mimosoideae, o gênero *Mimosa* é um dos mais conhecidos das leguminosas, por sua grande difusão nos países de clima quente e por ter dado origem a um dos principais subgrupos da família (Marchiori, 1993).

Popularmente conhecida como Maricá, *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze (Fabaceae: Mimosoideae) é uma planta perene, arbórea, altamente ramificada e espinhenta. Chega a atingir de 4 a 8 metros de altura e sua propagação se dá por meio de suas sementes. Nativa do Brasil, *M. bimucronata* ocorre em Mata Atlântica e está amplamente distribuída em todo o país. Na região Sudeste ela é cultivada e utilizada para a formação de cerca - viva, pela presença de espinhos e ampla cobertura de seus ramos. É uma planta invasora que pode formar grandes infestações em áreas de pastagens devido ao seu alto poder de reprodução, preferindo os locais de alta umidade ou beira de cursos d'água (Lorenzi, 2000).

*M. bimucronata* apresenta importância econômica devido ao grande poder calorífero da madeira, empregada na produção de lenha e carvão, e devido a sua excelência apícola, pela abundante floração estival (Marchiori, 1993; Lorenzi, 2000). Além disso, apresenta destacada função ecológica, por ser espécie pioneira na sucessão florestal (Marchiori, 1993). Em estudo realizado por Bruel (2006) com o reflorestamento da Floresta Atlântica no litoral do Paraná, mostrou que *M. bimucronata* apresentou alta taxa de sobrevivência, e se sobressaiu apresentando taxas de crescimento relativo muito superior às demais espécies. Faz-se referência também à sua utilização como planta medicinal, sendo a infusão dos brotos eficaz no combate à asma pura, à bronquite asmática e às febres intermitentes (Burkart, 1979).

*M. bimucronata* apresenta flores pequenas reunidas em glomérulos esféricos que, por sua vez, reúnem-se em grandes panículas de cor branca que se destacam nas folhagens. Os grãos de pólen encontram-se reunidos em políades compostas por oito grãos de pólen. Acredita-se que estas políades confirmam vantagem seletiva para a

reprodução, pois se apenas uma delas alcançar a superfície estigmática, todos os óvulos dentro do ovário podem ser fertilizados (Silva, 2006).

O padrão de floração e frutificação da espécie é anual, com pico de floração de novembro a início de março. As inflorescências de *M. bimucronata* são do tipo escova, e a disposição das flores permite o acesso aos recursos florais a uma ampla variedade de visitantes, o que caracteriza uma estratégia generalista para a polinização (Silva, 2006). Silva (2006) observou visitas de insetos das ordens Hymenoptera, Diptera e Coleoptera, mas apenas abelhas *Apis mellifera* e *Bombus* (cf.) *morio* são os polinizadores efetivos de *M. bimucronata*, considerando os demais visitantes polinizadores eventuais. No entanto, mais estudos sobre visitantes florais em *M. bimucronata* são necessários. Durante a fenofase de frutificação, de março a setembro, as sementes de *M. bimucronata* são intensamente predadas por *A. schrankiae* (Silva *et al.*, 2007).

No entanto existem poucos estudos sobre a ecologia de *A. schrankiae* (Rodrigues, 2006; Kestring, 2007; Silva *et al.*, 2007; Tomaz *et al.*, 2007; Menezes, 2008) e o fato das sementes de *M. bimucronata* serem intensamente predadas por *A. schrankiae*, os quais por sua vez estão sujeitos à elevadas taxas de parasitismo, torna este um sistema muito interessante e apropriado para o estudo de interações tróficas. Além disso, segundo Jesus Romero-Napoles (comunicação pessoal), cerca de 40 a 50% das espécies de plantas hospedeiras de bruquídeos ainda são desconhecidas no Novo Mundo, reforçando assim a necessidade de estudos direcionados ao conhecimento da fauna de bruquídeos e suas respectivas plantas hospedeiras em florestas da América do Sul. Desta maneira, o objetivo geral e os objetivos específicos do presente estudo, são apresentados a seguir.

## *Objetivo Geral*

O presente estudo teve como objetivo geral determinar o padrão de distribuição espacial de *A. schrankiae* e seus parasitóides, bem como quantificar o padrão espacial do parasitismo, utilizando-se métodos de análise de dados espaciais, correlacionando tais padrões de distribuição com as características nutricionais dos frutos de *M. bimucronata*. O presente estudo também objetivou investigar a riqueza de espécies de bruquídeos e de suas plantas hospedeiras em um fragmento de floresta estacional semidecidual.

## *Objetivos Específicos*

- 1) Através de um método de análise espacial (SADIE), objetivou-se determinar o padrão de distribuição espacial dos bruquídeos, dos seus parasitóides e da taxa de parasitismo;
- 2) Quantificar padrões de parasitismo independentes, inversamente dependentes e diretamente dependentes da densidade espacial através da determinação da associação espacial (extensão do método SADIE) entre os índices de agregação dos bruquídeos e da porcentagem de parasitismo;
- 3) Estudar a evolução da estrutura espacial das populações de bruquídeos e parasitóides e do padrão espacial do parasitismo ao longo do tempo;
- 4) Correlacionar os padrões de distribuição com as características nutricionais dos frutos de *M. bimucronata*;
- 5) Verificar se as populações de bruquídeos e parasitóides estão acopladas espacialmente, investigando-se a dinâmica espaço-temporal dos índices de associação espacial, com e sem atraso de tempo (*Time lags*);
- 6) Investigar a riqueza de espécies de bruquídeos e de suas plantas hospedeiras em um fragmento de floresta estacional semidecidual e quantificar os níveis de danos causados pelos bruquídeos.

## *Referências Bibliográficas*

- Alvarez, N., Romero-Napoles, J., Anton, K. W., Benrey, B. & Hossaert-McKey, M. (2006) Phylogenetic relationships in the Neotropical bruchid genus *Acanthoscelides* (Bruchinae, Bruchidae, Coleoptera). *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, **44**, 63-74.
- Awmack, C.S. & Leather, S. R. (2002) Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annual Review of Entomology*, **47**, 817-844.
- Begon M, Townsend CR & Harper JL (2007) *Ecologia: De Indivíduos a Ecossistemas*. 4 ed. Artmed, Porto Alegre.
- Berryman, A. A. (1996) What causes population cycles of forest Lepidoptera? *Trends in Ecology and Evolution*, **11**, 28-32.
- Bruel, B. O. Restauração da Floresta Atlântica no Litoral do Paraná: avaliação de dois sistemas de plantio e da regeneração natural. Dissertação de mestrado em Ecologia e Conservação – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.
- Burkart, A. (1979) Leguminosas Mimosoídeas. *Flora Ilustrada Catarinense*. (ed Reitz, R.) 299 p. Herbário Barbosa Rodrigues, Itajaí.
- Center, T. D. & Johnson, C. D. (1974) Coevolution of some seed beetles (Coleoptera: Bruchidae) and their hosts. *Ecology*, **55**, 1096-1103.
- Clancy, K.M. & Price, P.W. (1987) Rapid herbivore growth enhances enemy attack: sublethal plant defences remain a paradox. *Ecology*, **68**, 736–738.
- Cornelissen, T. & Stiling, P. (2006) Does low nutritional quality act as a plant defence? An experimental test of the slow-growth, high-mortality hypothesis. *Ecological Entomology*, **31**, 32-40.
- Crawley, M. J. (2000) Seed Predators and Plant Population Dynamics. *Seeds: the ecology of regeneration in plant communities*. (ed Fenner, M.) CAB International Publishing, Wallingford, UK.
- Fortin, M. & Dale, M. R. T. (2005) *Spatial Analysis: A guide for ecologists*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Gould, J. R., Elkington, J. S. & Wallner, W. E. (1990) Density-dependent suppression of experimentally created gypsy moth, *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Lymantriidae), populations by natural enemies. *Journal of Animal Ecology*, **59**, 213-233.

- Gurevitch, J., Scheiner, S. M. & Fox, G. A. (2002) *The ecology of plants*. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
- Hairston, N. G., Smith, F. E. & Slobodkin, L. B. (1960) Community structure, population control and competition. *American Naturalist*, **94**, 421-425.
- Hansson, C., Aebi, A. & Benrey, B. (2004) *Horismenus* species (Hymenoptera: Eulophidae) in a bruchid beetle parasitoid guild, including the description of a new species. *Zootaxa*, **548**, 1-16.
- Harvey, J. A., Van Dam, N. M. & Gols, R. (2003) Interactions over four trophic levels: foodplant quality affects development of a hyperparasitoid as mediated through a herbivore and its primary parasitoid. *Journal of Animal Ecology*, **72**, 520–531.
- Hassell, M. P. (1984) Parasitism in patch environments: inverse density dependence can be stabilizing. *IMA Journal of Mathematics Applied in Medicine and Biology*, **1**, 123-133.
- Hassell, M. P. (2000) *The spatial and temporal dynamics of host-parasitoid interactions*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Hassell, M. P. & Pacala, S. W. (1990) Heterogeneity and the dynamics of host-parasitoid interactions. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, **330**, 203-220.
- Hulme, P.E. & Benkman, C.W. (2002) Granivory. *Plant-Animal Interactions: An Evolutionary Approach*. (ed Herrera, C.M. & Pellmyr, O.), pp. 132-154. Blackwell, Oxford.
- Hunter, M. D. (2003) Effects of plant quality on the population ecology of parasitoids. *Agricultural and Forest Entomology*, **5**, 1-8.
- Hunter, M. D., Varley, G. C. & Gradwell, G. R. (1997) Estimating the relative roles of top-down and bottom-up forces on insect herbivore populations: a classic study revisited. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, **94**, 9176-9181.
- Janzen, D. H. (1971) Seed predation by animals. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **2**, 465-492.
- Janzen, D. H. (1980) Specificity of seed-attacking beetles in a Costa Rican deciduous forest. *Journal of Ecology*, **68**, 929-952.
- Johnson, C. D. (1981) Interactions between bruchid (Coleoptera) feeding guilds and behavioral patterns of fruits of the Leguminosae. *Environmental Entomology*, **10**, 249-253.

- Johnson, C. D. (1983) Ecosystematics of *Acanthoscelides* (Coleoptera: Bruchidae) of southern Mexico and Central America. *Miscellaneous Publications of the Entomological Society of America*, **56**, 1-248.
- Johnson, C. D. (1989) Adaptive radiation of *Acanthoscelides* in seeds: examples of legume-bruchid interactions. *Monographs in Systematic Botany from Missouri Botanical Gardens*, **29**, 747-779.
- Johnson, C. D. (1990) Systematics of the seed beetle genus *Acanthoscelides* (Bruchidae) of northern South America. *Transactions of the American Entomological Society*, **116**, 297-618.
- Johnson, C. D & Romero, J. (2004) A review of evolution of oviposition guilds in the Bruchidae (Coleoptera). *Revista Brasileira de Entomologia*, **48**, 401-408.
- Johnson, C. D. & Siemsen, D. H. (1992) Observations on Host Plant and Biogeographical Differences in Bruchid Beetles in Southern Ecuador. *Biotropica*, **24**, 195-199.
- Johnson, C. D. & Siemsen, D. H. (1997) Distribution, Oviposition Guilds, Behavior and New Host Records from Latin America for *Algarobius* Bridwell, *Scutobruchus* Kingsolver and *Pseudopachymerina spinipes* (Erichson) (Coleoptera: Bruchidae). *The Coleopterists Bulletin*, **51**, 37-42.
- Kagata, H. & Ohgushi, T. (2006) Nitrogen homeostasis in a willow leaf beetle *Plagioderma versicolora*, is independent of host plant quality. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **118**, 105–110.
- Kestring, D (2007) Comportamento Germinativo e Predação de Sementes em *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze (Fabaceae:Mimosoideae): Dinâmica de Germinação, Hipoxia e Qualidade Nutricional. Dissertação de mestrado em Ciências Biológicas (Botânica) - Instituto de Biociências, Campus de Botucatu, Botucatu, SP.
- Kergoat, G. J., Alvarez, N., Hossaert-McKey, M., Faure, N. & Silvain, J. F. (2005) Parallels in the Evolution of the two largest New and Old World seed-beetle genera (Coleoptera, Bruchidae). *Molecular Ecology*, **14**, 4003-4021.
- Lale, N. E. S. & Igwebuike, J. U. (2002) Field infestation of *Faidherbia (Acacia) albida* (Del.) A. Chew pods by stored product Coleoptera in the Nigerian savanna and effect of infestation on nutrient quality. *Journal of Arid Environments*, **51**, 103-112.
- Lill, J.T. & Marquis, R.J. (2001) The effects of leaf quality on herbivore performance and attack from natural enemies. *Oecologia*, **126**, 418-428.

- Lill, J.T., Marquis, R.J. & Ricklefs, R.E. (2002) Host plants influence parasitism of forest caterpillars. *Nature*, **417**, 170-173.
- Lorea-Barocio, J. C.; Romero-Nápoles, J.; Valdez-Carrasco, J.; Carrillo-Sánchez, J. L. (2006) Especies y hospederas de los Bruchidae (Insecta: Coleoptera) del estado de Jalisco, México. *Agrociencia*, **40**, 511-520.
- Lorenzi, H. (2000) *Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas*. 3 ed, Instituto Plantarum, Nova Odessa, SP.
- Marchiori, J. N. C. (1993) Anatomia da madeira e casca do Maricá, *Mimosa bimucronata* (DC.) O. Kuntze. *Ciência Florestal*, **3**, 85-106.
- Menezes, L. C. C. R. Efeito da predação por *Acanthoscelides schrankiae* (Coleóptera: Bruchidae) e de altas temperaturas na germinação de sementes de *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze (Fabaceae: Mimosoideae). Dissertação de mestrado em Ciências Biológicas (Botânica) - Instituto de Biociências, Campus de Botucatu, Botucatu, SP.
- Moon, D. C. & Stiling, P. (2002) The effects of salinity and nutrients on a tritrophic salt-marsh system. *Ecology*, **83**, 2465-2476.
- Moon, D. C. & Stiling, P. (2005) Effects of nutrients and parasitism on the density of a salt marsh planthopper suppressed by within-trophic-level interactions. *Ecological Entomology*, **30**, 642-649.
- Murdoch, W. W., Luck, R. F., Walde, S., Reeve, J. D. & Yu, D. S. (1989). A refuge for red scale under control by *Aphytis*: structural aspects. *Ecology*, **70**, 1707-1714.
- Parsons D. M. J. & Credland, P. F. (2003) Determinants of oviposition in *Acanthoscelides obtectus*: a nonconformist bruchid. *Physiological Entomology*, **28**, 221-231.
- Perry, J. N. (1995) Spatial analysis by distance indices. *Journal of Animal Ecology*, **64**, 303-314.
- Perry, J. N. (1996a) SADIE: software to measure and model special pattern. *Aspects of Applied Biology*, **46**, 95-102.
- Perry, J. N. (1996b) Simulating spatial patterns of counts in agriculture and ecology. *Computers and Electronics in Agriculture*, **15**, 93-109.
- Perry, J. N., Winder, L., Holland, J. M. & Alston, R. D. (1999) Red-blue plots for detecting clusters in count data. *Ecology Letters*, **2**, 106-113.
- Perry, J. N. & Dixon, P. M. (2002) A new method to measure spatial association for ecological count data. *Ecoscience*, **9**, 133-141.

- Price, P. W. (1997) *Insect ecology*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- Price, P. W. & Clancy, K. M. (1986) Interactions Among Three Trophic Levels: Gall size and Parasitoid Attack. *Ecology*, **67**, 1593-1600.
- Ribeiro-Costa, C. S. (1998) Observations on the biology of *Amblycerus submaculatus* (Pic) and *Sennius bondari* (Pic) (Coleoptera: Bruchidae) in *Senna alata* (L.) Roxburgh (Caesalpinaceae). *Coleopterists Bulletin*, **52**, 63-69.
- Ribeiro-Costa CS & Costa AS (2002) Comportamento de oviposição de Bruchidae (Coleoptera) predadores de sementes de *Cassia leptophylla* Vogel (Caesalpinaceae), morfologia dos ovos e descrição de uma nova espécie. *Revista brasileira de Zoologia*, **19**, 305 – 316.
- Ricklefs, R. E. (2003) *A Economia da Natureza*, 5ed, Guanabara Koogan, Rio de Janeiro.
- Rodrigues, L. M. S. (2006) Padrão espacial do parasitismo e distribuição espacial de *Acanthoscelides schrankiae* (Coleoptera: Bruchidae) em *Mimosa bimucronata* (DC) Kuntze (Fabaceae: Mimosoideae). Trabalho de conclusão do curso de Ciências Biológicas (Bacharelado) - Instituto de Biociências, Campus de Botucatu, Botucatu, SP.
- Roininem, H., Price, P. W. & Tahvanainen, J. (1996) Bottom-up and top-down influences in the trophic system of a willow, a galling sawfly, parasitoids and inquiline. *Oikos*, **77**, 44-50.
- Roland, J. (1994) After the decline – what maintains low winter moth density after successful biological control? *Journal of Animal Ecology*, **63**, 392-398.
- Romero-Nápoles, J. R. (2002) Bruchidae. *Biodiversity, Taxonomy, and Biogeography of Arthropods from Mexico: A Synthesis*. (ed Bousquets, J. L. & Morrone, J. J.), Vol. III, pp. 513–534. Unan.
- Royama, T. (1992) *Analytical population dynamics*. Chapman & Hall, London *apud* Price, P. W. (1997) *Insect ecology*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- Schmale, I., Wäckers, F. L., Cardona, C. & Dorn, S. (2001) Control potential of three hymenopteran parasitoid species against the bean weevil in stored beans: the effect of adult parasitoid nutrition on longevity and progeny production. *Biological Control*, **21**, 134-139.
- Schmale, I., Wäckers, F. L., Cardona, C. & Dorn, S. (2002) Field infestation of *Phaseolus vulgaris* by *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera: Bruchidae), parasitoid



- abundance, and consequences for storage pest control. *Environmental Entomology*, **31**, 859-863.
- Schmale, I., Wäckers, F. L., Cardona, C. & Dorn, S. (2003) Combining parasitoids and plant resistance for the control of the bruchid *Acanthoscelides obtectus* in stored beans. *Journal of Stored Products Research*, **39**, 401-411.
- Schmale, I., Wäckers, F. L., Cardona, C. & Dorn, S. (2005) How host larval age, and nutrition and density of the parasitoid *Dinarmus basalis* (Hymenoptera: Pteromalidae) influence control of *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera: Bruchidae). *Bulletin of Entomological Research*, **95**, 145-150.
- Schoonhoven, L. M., Van Loon, J. J. A. & Dicke, M. (2005) *Insect-Plant Biology*. 2ed, Oxford University Press Inc., New York.
- Silva, L. A. Biologia floral e predação de sementes em *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze por *Acanthoscelides schrankiae* HORN 1873 (Coleoptera: Bruchidae). Dissertação de Mestrado em Ciências Biológicas (Botânica) - Instituto de Biociências, Campus de Botucatu, Botucatu, SP.
- Silva, L. A., Maimoni-Rodella, R. C. S. & Rossi, M. N. (2007) A Preliminary Investigation of Pre-Dispersal Seed Predation by *Acanthoscelides schrankiae* Horn (Coleoptera: Bruchidae) in *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze Trees. *Neotropical Entomology*, **36**, 197-202.
- Southgate, B. J. (1979) Biology of the Bruchidae. *Annual Review of Entomology*, **24**, 449-473.
- Souza, V. C. & Lorenzi, H. (2005) *Botânica Sistemática: Guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira, baseado em APGII*. Instituto Plantarum, Nova Odessa, SP.
- Stewart-Oaten, A. & Murdoch, W. W. (1990) Temporal consequences of spatial density dependence. *Journal of Animal Ecology*, **59**, 1027-1045.
- Stiling, P. D. (1999) *Ecology: theories and applications*. Prentice Hall, New Jersey, NJ.
- Stiling, P. & Moon, D. C. (2005) Quality or quantity: the direct and indirect effects of host plants on herbivores and their natural enemies. *Oecologia*, **142**, 413-420.
- Stiling, P. & Rossi, A. M. (1997) Experimental manipulations of top-down and bottom-up factors in a tri-trophic system. *Ecology*, **78**, 1602-1606.
- Taiz, L. & Zeiger, E. (2006) *Fisiologia Vegetal*. 3ª ed. Artmed, Porto Alegre, RS.

- Teder, T. & Tammaru, T. (2002) Cascading effects of variation in plant vigour on the relative performance of insect herbivores and their parasitoids. *Ecological Entomology*, **27**, 94-104.
- Teder, T., Tanhuanpää, M., Ruohomäki, K., Kaitaniemi, P. & Henriksson, J. (2000) Temporal and spatial variation of larval parasitism in non-outbreaking populations of a folivorous moth. *Oecologia*, **123**, 516-524.
- Tomaz, C. A., Kestring, D. & Rossi, M. N. (2007) Effects of the seed predator *Acanthoscelides schrankiae* on viability of its host plant *Mimosa bimucronata*. *Biological Research*, **40**, 281-290.
- Townsend, C. R., Begon, M. & Harper, J. L. (2006) *Fundamentos em Ecologia*. 2ed. Artmed, Porto Alegre.
- Tuda, M., Shima, K., Johnson, C. D. & Morimoto, K. (2001) Establishment of *Acanthoscelides pallidipennis* (Coleoptera: Bruchidae) feeding in seeds of the introduced legume *Amorpha fruticosa*, with a new record of its *Eupelmus* parasitoid in Japan. *Applied Entomology and Zoology*, **36**, 269-276.
- Turchin, P. (1990) Rarity of density dependence or population regulation with lags? *Nature*, **344**, 660-663.
- Veldtman, R. & McGeoch, M. A. (2004) Spatially explicit analyses unveil density dependence. *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, **271**, 2439-2444.
- Walde, S. J., Murdoch, W. W. (1988) Spatial density dependence in parasitoids. *Annual Review Entomology*, **33**, 441-466.
- Winder, L., Alexander, C. J., Holland, J. M., Woolley, C. & Perry, J. N. (2001) Modelling the dynamic spatio-temporal response of predators to transient prey patches in the field. *Ecology Letters*, **4**, 568-576.
- Xu, X. M. & Madden, L. V. (2004) Use of SADIE statistics to study spatial dynamics of plant disease epidemics. *Plant Pathology*, **53**, 38-49.

## Capítulo 1

### “Dinâmica Espacial Tritrófica entre *Acanthoscelides schrankiae* Horn 1873 (Coleoptera: Bruchidae), seus parasitóides e *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze (Fabaceae: Mimosoideae)”

#### Resumo –

O presente estudo teve como objetivo avaliar se as características nutricionais dos frutos de *Mimosa bimucronata* influenciam a formação dos padrões de distribuição espacial de *Acanthoscelides schrankie* e seus parasitóides, os quais por sua vez podem determinar os padrões de dependência de densidade espacial na interação hospedeiro-parasitóide. Ramos em frutificação foram marcados em plantas previamente selecionadas e coletas quinzenais de frutos foram feitas em 2006 e 2007. No laboratório, os frutos foram individualizados, identificando-se ramo e planta de origem e data de coleta, onde aguardou-se a emergência dos bruquídeos e parasitóides. Após a emergência dos insetos, análises nutricionais dos frutos de cada ano foram feitas (teor de água, nitrogênio e fenóis). A emergência de bruquídeos e parasitóides dos frutos de *M. bimucronata* foi mais intensa nos meses de abril e maio, tanto em 2006 como em 2007, e sete famílias de parasitóides foram observadas. Tanto *A. schrankiae* como seus parasitóides apresentaram estrutura espacial bem definida apenas durante o ano de 2007. Durante o ano de 2006, as populações destes insetos apresentaram um padrão de distribuição aleatória. Foram observados padrões independentes, inversamente dependentes e diretamente dependentes da densidade espacial, dependendo do momento de observação. Associações espaço-temporal significativas com e sem atraso de tempo entre bruquídeos e parasitóides e entre bruquídeos e a porcentagem de parasitismo foram observadas. Associações espaciais mais intensas foram observadas sem atraso de tempo para bruquídeos e parasitóides. As associações espaciais com atraso de tempo foram raras no ano de 2006, mas mais intensas no ano de 2007, tanto para o número de parasitóides como para a taxa de parasitismo. Portanto as populações de bruquídeos e parasitóides foram dinamicamente acopladas, mas tal padrão foi dependente do ano de observação. Para a associação espacial entre as características nutricionais dos frutos de *M. bimucronata* e as populações de bruquídeos e parasitóides, constatou-se uma dissociação espacial significativa, ou seja, foi observada uma sobreposição significativa dos *patch clusters* das populações de bruquídeos e parasitóides com os *gap clusters* dos conteúdos de fenóis, ou seja, a forte associação entre bruquídeos e parasitóides ocorreu em ramos com menor concentração de compostos fenólicos, o que pode ter contribuído para a formação dos padrões espaciais observados. Associações espaciais significativas não foram observadas entre as populações de bruquídeos e parasitóides com os respectivos teores de água e nitrogênio.

**Palavras-chave:** Interações tri-tróficas; ecologia espacial; SADIE; qualidade da planta; dependência de densidade; *Mimosa bimucronata*; Bruchidae.

**“Tri-trophic spatial dynamics among *Acanthoscelides schrankiae* Horn 1873 (Coleoptera: Bruchidae), its parasitoids and *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze (Fabaceae: Mimosoideae)”**

**Abstract –**

The objective of this study was to investigate whether fruit quality of *Mimosa bimucronata* plants influenced the spatial distribution patterns of *Acanthoscelides schrankie* and its parasitoids, which in turn would determine spatial density dependent patterns of host-parasitoid interactions. Branches were previously selected and fruits were collected at each fifteen days in years 2006 and 2007. In the laboratory, fruits were individualized with identification of branches, plants and data of samples, and the emergence of bruchids and parasitoids was recorded periodically. After emergence of all insects, nutritional analyses of fruits were carried out for each year (water, nitrogen and phenolic contents). The emergence of bruchids and parasitoids from *M. bimucronata* fruits were higher on April and May for both years, and seven families of parasitoids were observed. *A. schrankiae* and its parasitoids presented well defined spatial structure only in 2007, and in 2006 populations of both groups presented random distribution patterns. Independent, inversely density dependent and directly density dependent spatial patterns were verified; however, such patterns depended of the moment of observation. Significant spatio-temporal associations with and without time lags were observed between bruchids and its parasitoids and also between bruchids and the percentage of parasitism. For bruchid and parasitoid interactions the most significant spatial associations were verified without time lags. Spatial associations with time lags were rarely observed for the year 2006, but such analyses were more significant for the year 2007 considering both parasitoid numbers and parasitism rates. Therefore, bruchid and parasitoid populations were dynamically coupled, but these patterns were dependent of the year of observation. Significant spatial dissociations were verified between phenolic contents of *M. bimucronata* fruits and bruchid and parasitoid populations, with overlapping of *patch* and *gap clusters*. Therefore, significant spatial associations between bruchids and their parasitoids occurred on branches with lower concentrations of phenolic compounds, which may have determined the observed spatial patterns in the field. Significant spatial associations were not observed between bruchid and parasitoid populations and the water and nitrogen contents.

**Key-words:** Tri-trophic interactions; spatial ecology; SADIE; plant quality; density dependence; *Mimosa bimucronata*; Bruchidae.

## 1. Introdução

A abundância e distribuição das espécies podem ser determinadas pela combinação de diversos fatores, tais como, recursos disponíveis e força e tipo de interações populacionais, como predação e parasitismo. Desta forma, tais fatores podem afetar significativamente os padrões de organização dos indivíduos no espaço, determinando os padrões de distribuição espacial (Townsend *et al.*, 2006).

A dependência de densidade interespecífica ocorre quando o número de indivíduos de um dado nível trófico, por exemplo, de predadores ou parasitoides, é afetado pela variação na população da presa ou hospedeiro. Quando estas variações populacionais não são significativas, o processo é considerado independente da densidade (Price, 1997; Hassell, 2000). Acredita-se que os mecanismos dependentes da densidade ocorrem com frequência na natureza, sendo, portanto, importantes para a regulação das populações (Turchin, 1990, 1995).

Dentro de um contexto espacial, os parasitoides podem gastar mais tempo procurando por hospedeiros em ‘patches’ com altas densidades, tendendo a se agregarem em tais ‘patches’, podendo resultar em um padrão de parasitismo diretamente dependente da densidade espacial caso as taxas de parasitismo aumentem com a densidade hospedeira por ‘patch’. Quando ocorre o oposto, ou seja, quando as taxa de parasitismo diminuem com a densidade hospedeira por patch, o padrão de parasitismo é inversamente dependente da densidade espacial, e este padrão pode ocorrer mesmo quando os parasitoides agregam-se em ‘patches’ de alta densidade de hospedeiros. Quando os parasitoides não respondem às variações das densidades locais do hospedeiro, tem-se o padrão de parasitismo independente da densidade espacial (Hassell, 2000).

Modelos de ataque diretamente dependentes da densidade espacial assumem, portanto, que os predadores (parasitoides) se agregarão em locais onde suas presas estão agregadas, logo, o risco de ataque ao ‘patch’ é dependente da densidade da presa naquele local (Walde & Murdoch, 1988; Hassell, 2000). Padrões de dependência de densidade espacial provenientes de ataques de parasitoides em populações de hospedeiros podem ter efeito estabilizador (Walde & Murdoch, 1988), apesar de que o padrão de parasitismo inversamente dependente da densidade espacial também pode promover estabilidade nas populações dos hospedeiros (Hassell, 1984).

A dependência de densidade nem sempre é detectada em estudos de curto prazo, sendo muitas vezes verificada apenas em estudos que envolvam muitas gerações (Hassell *et al.*, 1989; Woiwod & Hanski, 1992). Dependendo da escala espacial estudada e dos métodos estatísticos empregados, seus efeitos podem também não ser observados (Hails & Lawton, 1983; Stiling *et al.*, 1991). Tendo em vista este fato, o método de análise espacial SADIE (Spatial Analyses by Distance Indices) surge como alternativa, pois segundo Veldtman & McGeoch (2004), se comparado com modelos tradicionais de análise regressão, é capaz de detectar com maior frequência a ocorrência da dependência de densidade espacial em ambientes naturais.

O SADIE foi desenvolvido para quantificar padrões espaciais (Perry, 1995, 1998). Este método requer que as posições relativas das unidades amostrais (mas não necessariamente os indivíduos) sejam conhecidas de forma que possam ser mapeadas em um plano cartesiano (Xu & Madden, 2004). O método SADIE identifica áreas de agregação, que são chamadas de *patch clusters* (áreas com altas densidades), ou áreas chamadas de *gap clusters* (áreas com baixas densidades), através da atribuição de um índice de agregação, o qual quantifica em que grau o valor amostrado em determinado local contribui para a agregação.

O índice de agregação também pode ser utilizado para determinar o grau de associação espacial entre populações provenientes de duas espécies. Uma extensão deste método propõe a estimativa de um índice  $X$ , o qual quantifica a associação espacial local entre diferentes populações baseando-se na similaridade entre os índices de agregação (Winder *et al.*, 2001). Através deste índice, é observado se as duas populações estão positivamente associadas espacialmente, negativamente associadas, ou ocorrem ao acaso umas às outras (Winder *et al.*, 2001; Perry & Dixon, 2002).

As populações podem sofrer efeitos conhecidos como tipo ‘bottom-up’ (base-topo), ou seja, fatores da base da cadeia, como nutrientes, disponibilidade de recursos ou presas, influenciando níveis tróficos superiores; ou ‘top-down’ (topo-base), no qual níveis tróficos inferiores dependeriam dos efeitos dos níveis tróficos superiores. Em sistemas tróficos podemos então observar predadores controlando a abundância dos herbívoros (‘top-down’) e herbívoros sendo controlados pela abundância dos recursos (‘bottom-up’) (ex. Power, 1992; Hunter *et al.*, 1997; Forkner & Hunter, 2000; Moon & Stiling, 2006). No entanto, variações espaciais da intensidade e frequência dos efeitos ‘bottom-up’ e ‘top-down’ em um determinado sistema trófico podem determinar o padrão de distribuição espacial e a abundância dos organismos ao longo dos ‘patches’.

A qualidade nutricional de uma planta pode afetar o desempenho de organismos de diferentes níveis tróficos, partindo dos insetos que se alimentam dela e posteriormente alterando também o terceiro nível trófico. Portanto, mudanças na qualidade da planta podem afetar o desempenho das populações de parasitóides, caracterizando um efeito do tipo 'bottom-up' (Awmack & Leather, 2002; Teder & Tamaru, 2002). Desta forma, o nível de resposta dos parasitóides a variações na qualidade dos recursos e ao grau de utilização destes recursos pelos herbívoros, pode determinar o tipo de padrão espacial do parasitismo.

*Mimosa bimucronata* é uma planta arbórea e seus frutos encontram-se agregados principalmente nas extremidades dos ramos. Desta forma, estas frutificações fornecem sítios (*patches*) discretos ideais para o estudo da estrutura espacial em populações locais de bruquídeos e seus parasitóides. Conseqüentemente, o conhecimento da estrutura genética será de fundamental importância para o entendimento da estrutura espacial e mobilidade destes insetos neste sistema tritrófico.

A importância do presente estudo reside no fato de que as sementes de *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze (Fabaceae: Mimosoideae) são intensamente predadas pelo bruquídeo *Acanthoscelides schrankie* Horn 1873 (fase de pré-dispersão) os quais sofrem altas taxas de parasitismo por diversas espécies de parasitóides. Além disso, os frutos de *M. bimucronata* encontram-se agregados principalmente nas extremidades dos ramos, fornecendo sítios (*patches*) discretos ideais para o estudo da estrutura espacial em populações locais de bruquídeos e parasitóides. Portanto, partindo-se do pressuposto de que a qualidade das sementes de *M. bimucronata* pode afetar o desempenho dos bruquídeos (Kestring, 2007; Menezes, 2008) e que a qualidade das plantas varia espacialmente (Gripenberg & Roslin, 2007), o presente estudo pretendeu avaliar se as características nutricionais dos frutos de *M. bimucronata* influenciam a formação dos padrões de distribuição espacial dos bruquídeos e seus parasitóides, os quais por sua vez determinam os padrões de dependência de densidade espacial.

## **2. Objetivos**

Os objetivos deste estudo foram: **1)** determinar o padrão de distribuição espacial da qualidade dos frutos de *M. bimucronata*, dos bruquídeos, dos seus parasitóides e da taxa de parasitismo; **2)** quantificar padrões de parasitismo independentes, inversamente dependentes e diretamente dependentes da densidade espacial através do método

SADIE e uma extensão deste método (associação espacial); **3)** Através do método de associação espacial, verificar se as características nutricionais dos frutos (teor de água e conteúdo de nitrogênio e fenóis) estão acopladas espacialmente com as populações de bruquídeos e parasitóides, bem como se as populações de bruquídeos e parasitóides também apresentam acoplamento; **4)** estudar a evolução da estrutura espacial das populações de bruquídeos e parasitóides e do padrão espacial do parasitismo ao longo do tempo; **5)** verificar se as populações de bruquídeos e parasitóides estão acopladas espacialmente, com ou sem atraso de tempo (*time lags*).

### **3. Material e métodos**

#### *3.1 Área de estudo*

Os indivíduos de *M. bimucronata* que foram utilizados neste estudo estão localizados nas proximidades da Universidade Estadual Paulista – UNESP/Botucatu, Campus de Rubião Júnior (22° 53' 07"S; 48° 29'23"W), Estado de São Paulo, nos arredores da Lagoa de Tratamento de Esgoto de Rubião Júnior, pertencente à Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp). A área (aproximadamente 6.700m<sup>2</sup>) contém cerca de 20 plantas no total, as quais estão dispostas de forma agregada e localizadas em local plano com elevada umidade, contendo vegetação composta de plantas invasoras herbáceas, na maioria gramíneas, havendo principalmente *M. bimucronata* como elemento arbóreo. A precipitação anual média na região do município de Botucatu é de 1.300 mm, oscilando entre 650 mm e 1850 mm, para os anos mais secos e mais úmidos, respectivamente. A estação chuvosa vai de novembro a fevereiro com média de 1.100 mm contra cerca de 250 mm na estação seca, de julho a novembro (Ortega & Engel, 1992).

#### *3.2 Avaliação da distribuição espacial de *A. schrankiae* e seus parasitóides e do padrão espacial do parasitismo*

Na área de estudo, 18 plantas foram identificadas, sendo que estas estão distribuídas de forma agregada (Figs. 1 e 2). Algumas plantas na população não foram amostradas, pois estavam situadas em local de difícil acesso, ou eram muito jovens, ou



ainda apresentavam baixa produção de frutos no ano de 2006, quando foi feita a marcação das plantas na área.

Além da marcação das plantas, o que permitiu o conhecimento da origem de todo o material biológico coletado para o estudo, aproximadamente quatro ramos com intensa frutificação foram marcados ao acaso em cada planta. Em nove plantas, das 18 selecionadas, quatro ramos foram marcados no início do período de frutificação. Em duas plantas foram marcados um e dois ramos, e em sete plantas foram marcados três ramos, devido à menor cobertura de suas copas, produção limitada de frutos, ou difícil acesso aos ramos. Desta forma, no total foram marcados 60 ramos em março de 2006. No início das coletas do ano de 2007, duas plantas haviam morrido e dois ramos de outras plantas também haviam morrido.

Após a marcação das plantas e dos ramos, foram feitas coletas quinzenais de 25 frutos por ramo (100 frutos por planta), num total de 1.500 frutos por coleta no ano de 2006 e 1.350 frutos por coleta no ano de 2007 (devido à morte de plantas e ramos marcados). Estas coletas foram realizadas do mês de abril ao mês de agosto de 2006 e foram repetidas nos mesmos meses no ano de 2007. As coletas foram feitas, mais especificamente, nos dias 26/04, 10/05, 25/05, 07/06, 29/06, 13/07, 25/07 e 15/08 de 2006 e nos dias 24/04, 15/05, 29/05, 12/06, 26/06, 12/07, 27/07, 15/08 do ano de 2007.

Devido a grande quantidade de frutos produzidos por *M. bimucronata*, estas coletas não produziram, prematuramente, grande desbaste na planta. No entanto, no ano de 2006, nas coletas dos dias 13/07, 25/07 e 15/08, foram coletados 1.488, 1.475 e 1.437 frutos, respectivamente, uma vez que não foi possível coletar 25 frutos em alguns ramos. Assim, no ano de 2006 no total foram coletados 11.900 frutos distribuídos entre 60 ramos. Já no ano de 2007, alguns ramos não foram tão produtivos quanto no ano anterior, portanto, um número menor de frutos ao longo das coletas foi coletado, mas ainda assim suficiente para observação da emergência de bruquídeos e parasitóides. A tabela 1 mostra o número de frutos por coleta no ano de 2007.

Todo o material coletado foi levado ao laboratório [ $28 \pm 1^\circ \text{C}$  (fotofase de 12 horas)], onde os frutos foram individualizados em pequenos tubos de ensaio transparentes, fechados com algodão (permitindo a circulação de ar), identificando-se o ramo, a planta de origem e a data de coleta (Fig. 3). A emergência dos bruquídeos e dos parasitóides foi observada e quantificada periodicamente. Após a emergência, os insetos foram cuidadosamente retirados dos tubos de ensaio e colocados em álcool (70%), quantificando-se o total de bruquídeos e parasitóides que emergiram de cada fruto. Com

relação aos parasitóides, o material foi fotografado em laboratório (estereomicroscópio Nikon SMZ 800 equipado com câmera de vídeo digital) e posteriormente foram enviados para identificação por especialista\*. Como os parasitóides foram identificados até nível de família e apenas alguns gêneros, todas as análises apresentadas levaram em conta apenas o número total de parasitóides, ou a taxa total de parasitismo, sem considerar cada espécie individualmente, uma vez que ainda não é conhecido a quais espécies pertencem os indivíduos amostrados. Ao final da fenofase de frutificação, foi feito o somatório do número de bruquídeos e parasitóides coletados em cada ramo ao longo de todas as coletas.

A emergência dos bruquídeos e parasitóides foi observada em laboratório durante um período de aproximadamente oito meses, uma vez que o período de emergência dos parasitóides pode ocorrer de Março a Outubro, dependendo do ciclo de vida de cada espécie (Marcelo Nogueira Rossi, observação pessoal). A distribuição de abundância dos bruquídeos e parasitóides (Nº de insetos/total de frutos coletados) ao longo do tempo, bem como da taxa de parasitismo, foram apresentadas graficamente, sendo que os cálculos foram feitos para cada momento de coleta.

Após todas as coletas, 50 ramos foram mapeados em um plano cartesiano  $x - y$  fazendo-se uso do equipamento Estação Total. Desta forma, cada ramo representou um ponto com suas respectivas coordenadas geográficas. Dos 60 ramos, 50 foram mapeados porque houve morte de plantas e de ramos, como já mencionado. No entanto, para as análises espaciais referentes ao ano de 2006, foram utilizados dados de 48 ramos e, para as análises do ano de 2007, 44 ramos foram utilizados. Essa redução no número de ramos foi necessária, pois alguns ramos apresentaram poucos frutos durante as coletas, os quais foram eliminados. Nas últimas coletas, tanto em 2006 como em 2007, o número de insetos que emergiram dos frutos foi muito baixo, o que dificultaria a interpretação das análises espaciais devido a valores nulos em excesso. Portanto, no ano de 2006, as análises espaciais foram processadas considerando-se as coletas dos dias 26/04, 10/05, 25/05, 07/06, 29/06 e 13/07. As coletas dos dias 25/07 e 15/08 foram então descartadas. No ano de 2007, as análises foram processadas considerando-se apenas as coletas dos dias 24/04, 15/05 e 29/05, e as coletas dos dias 12/06, 26/06, 12/07, 27/07 e 15/08 não foram utilizadas. Através deste procedimento, cada ramo utilizado nas análises apresentou um número igual de frutos coletados por coleta (25

---

\* Para a identificação, os parasitóides foram enviados para o pesquisador Prof. Dr. Valmir Antonio Costa (Instituto Biológico – Campinas – SP).

frutos), possibilitando uma homogeneidade amostral, a qual é bem desejada neste tipo de análise.

As análises espaciais foram feitas para cada coleta, tanto para o ano de 2006 como para 2007, bem como considerando os valores dos totais de coleta em cada ano. Neste caso, os valores totais utilizados foram provenientes apenas dos ramos e das datas de coletas utilizadas.

### 3.3 *Determinação da qualidade nutricional dos frutos de M. bimucronata*

Para a determinação da qualidade nutricional foram utilizados os mesmos ramos utilizados nas análises descritas no subitem 3.2, totalizando 48 ramos no ano de 2006 e 44 ramos no ano de 2007. Após a emergência de todos os insetos os frutos de cada amostra foram examinados quanto ao conteúdo de água, porcentagem de nitrogênio e compostos fenólicos totais\*. As amostras foram separadas em sacos de papel de acordo com o ramo de origem dos frutos.

Quatro réplicas por amostra foram utilizadas para a estimativa do teor de água. Este foi quantificado pela diferença de peso (balança semi-analítica) entre frutos úmidos e secos (matéria seca) após secagem em estufa a  $65 \pm 3^\circ\text{C}$ , por aproximadamente 62 horas (Brasil, 1992). Após isso, cada amostra foi então triturada em moinho (obtendo-se um pó) e 200 mg de tecido seco foi utilizada para a quantificação de compostos fenólicos e determinação do conteúdo de nitrogênio (aproximadamente 100 mg para cada tipo de análise). O conteúdo de compostos fenólicos foi quantificado pelo método de extração e quantificação de compostos fenólicos totais Folin-Ciocalteau (Folin & Ciocalteau, 1927; Horwitz, 1995), utilizando como padrão o ácido gálico, já o conteúdo de nitrogênio foi determinado utilizando-se o protocolo de "Kjeldahl" (AOAC, 1995). Para estas quantificações foram feitas triplicatas de cada amostra, portanto, uma média de três réplicas por amostra foi utilizada para todas as análises bioquímicas e, conseqüentemente, para as análises estatísticas. Desta forma, valores médios do teor de água e dos conteúdos de nitrogênio e compostos fenólicos, foram obtidos para cada ramo.

---

\* As análises bioquímicas foram realizadas no laboratório do Departamento de Química e Bioquímica, Instituto de Biociências, UNESP, Campus de Botucatu, por Milena G. Borguini sob orientação da Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Giuseppina P. P. Lima.

Todo o procedimento descrito acima (coleta de frutos, emergência dos insetos e análises bioquímicas) foi feito em dois anos consecutivos, 2006 e 2007, permitindo assim a avaliação da variação temporal da qualidade nutricional dos frutos de *M. bimucronata* e, conseqüentemente, do padrão de agregação de *A. schrankiae* e seus parasitóides, e do padrão espacial do parasitismo.

#### 3.4 Fundamentação teórica para aplicação de uma extensão do método estatístico SADIE e análise de dados

Perry *et al.* (1999) definiram duas formas de cluster: cada unidade amostral  $i$ , dentro de um *patch cluster* contendo diversas unidades, possui um certo número de indivíduos  $c_i$ , que é maior do que o valor médio,  $m$  (número total de indivíduos amostrados/número de unidades amostrais); já cada unidade amostral  $j$  dentro de um *gap cluster*, possui um certo número de indivíduos  $c_j$  menor do que  $m$ . Um índice de agregação é atribuído para cada unidade, sendo  $v_i$  para unidades com  $c_i > m$ , e  $v_j$ , para unidades com  $c_j < m$ . Para uma organização ao acaso dos indivíduos,  $v_i$  tem uma expectativa de 1, e uma unidade amostral que pertence a um *patch cluster* é indicada por um valor de  $v_i > 1$ . Para uma organização ao acaso dos indivíduos,  $v_j$  (que é negativo por convenção) possui uma expectativa de  $-1$ , e uma unidade amostral pertencendo a um *gap cluster* é indicada por um valor de  $v_j < -1$ .

Testes de aleatorização (*randomization tests*) estão disponíveis, baseados na organização ao acaso dos valores observados do número de indivíduos entre as unidades amostrais (Perry, 1996; Perry *et al.*, 2002). Nestes testes, o valor médio dos índices de agregação, obtido ao longo dos *patch clusters*,  $\bar{V}_i$ , é geralmente comparado com sua expectativa de ser igual a 1 e, separadamente, o valor médio obtido ao longo dos *gap clusters*,  $\bar{V}_j$ , é comparado com sua expectativa de ser igual a  $-1$ . Após os cálculos, os valores dos índices de agregação são mapeados, interpolados e contornados (*contour maps*). Geralmente, os *clusters* são definidos como áreas dentro de níveis de contorno de  $+1,5$  ou  $-1,5$  ( $v_i > 1,5$  ou  $v_j < -1,5$ ) (Winder *et al.*, 2001; Perry *et al.*, 2002).

As análises mencionadas acima foram feitas para cada coleta, bem como para o total coletado, considerando-se o número de bruquídeos, de parasitóides e a taxa de parasitismo. A taxa de parasitismo foi transformada para números inteiros após a multiplicação por uma constante (multiplicou-se por 100, obtendo-se a porcentagem de

parasitismo), fazendo-se em seguida o arredondamento para os valores mais próximos, possibilitando assim a aplicação do método SADIE, uma vez que, com exceção das coordenadas geográficas, valores não inteiros não podem ser utilizados para as análises (Veldtman & McGeoch, 2004). A associação espacial local entre as populações de bruquídeos e parasitóides foi medida através da utilização de um novo índice  $\chi_k$ , baseado na similaridade entre os índices de agregação das populações, o qual foi medido localmente na  $k$ -ésima unidade amostral. Os índices dos *patch* e *gap clusters* da população *um* (parasitóides ou %parasitismo) foram denotados por  $z_{k1}$ , onde  $k = 1, \dots, n$ . A média destes índices foi denotada por  $q_1$ . De forma similar, os índices dos *patch* e *gap clusters* da população *dois* (bruquídeos) foram denotados por  $z_{k2}$ , com média  $q_2$ . A definição de  $\chi_k$  é dada por:

$$\chi_k = \frac{n(z_{k1} - q_1)(z_{k2} - q_2)}{\left[ \sum k(z_{k1} - q_1)^2 \sum k(z_{k2} - q_2)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}$$

Portanto, valores positivos de  $\chi_k$  surgem de coincidências de *patch* ou *gap clusters* em ambas as populações (populações espacialmente associadas). Já valores negativos, são originados de *clusters* opostos (populações espacialmente dissociadas). A associação espacial total,  $X$ , foi calculada como sendo a média dos valores locais, ou seja,  $X = \sum \chi_k / n$ , sendo, na verdade, equivalente ao coeficiente de correlação simples entre os índices de agregação,  $z_{k1}$  e  $z_{k2}$ , das duas populações, medido através dos valores de  $k = 1, \dots, n$  (Winder *et al.*, 2001).

A significância de  $X$  foi verificada através do teste de aleatorização e a associação local foi investigada entre as populações de bruquídeos e parasitóides (número e porcentagem de parasitismo) em cada momento e ano de coleta. Para verificar a evolução do grau de associação espacial ao longo do tempo (enfoque espaço-temporal), a associação foi investigada em cada ano combinando-se todos os momentos de coleta, gerando, conseqüentemente, 36 (6 momentos de coleta) e 9 (3 momentos de coleta) análises de associação espacial, tanto para comparações entre os índices de agregação originados do número de parasitóides e do número de bruquídeos como entre a porcentagem de parasitismo e o número de bruquídeos. Estas análises foram importantes para a quantificação de padrões de dependência (direta ou inversa) ou independência de densidade espacial ao longo do tempo, bem como para investigar a

ocorrência de possíveis “atrasos de tempo” (*time lags*) nas respostas de agregação dos parasitóides em ‘patches’ com maiores agregações de bruquídeos.

### 3.5 *Determinação da associação espacial da qualidade nutricional dos frutos de M. bimucronata com as populações de bruquídeos e parasitóides*

As análises dos dados da qualidade nutricional dos frutos (conteúdo de nitrogênio e compostos fenólicos e teor de água) foram realizadas para os anos de 2006 e 2007 sem levar em consideração o momento de coleta. Para aplicação no método SADIE foram utilizados valores inteiros, arredondando para os valores mais próximos e no caso do conteúdo de água, os valores foram multiplicados por uma constante (por dez) e também utilizados valores inteiros, já que, como mencionado anteriormente, valores não inteiros não podem ser utilizados para estas análises. Primeiramente, os índices de agregação foram calculados para cada ano, observando-se a formação dos *patch* e *gap clusters* para a determinação da estrutura espacial dos atributos nutricionais. Em seguida, análises de associação espacial local ( $X$ ) foram feitas entre cada atributo nutricional dos frutos (fenóis, nitrogênio e água) e as populações de bruquídeos e parasitóides, verificando se a qualidade da planta interferiu na distribuição espacial dos bruquídeos e parasitóides.



Fig. 1. Área de estudo – ano de 2006.



Fig. 2. Área de estudo – ano de 2007.



Fig. 3. Frutos individualizados de *M. bimucronata*.

Tabela 1. Número de frutos por coleta no ano de 2007.

<b>Data da coleta</b>	<b>Total de frutos</b>
24/04/2007	1330
15/05/2007	1250
29/05/2007	1222
12/06/2007	1163
26/06/2007	1059
12/07/2007	964
27/07/2007	868
15/08/2007	721
<b>Total</b>	<b>8577</b>

## 4. Resultados

### 4.1 Flutuação populacional dos insetos e determinação das famílias e gêneros dos parasitóides

A predação dos frutos de *M. bimucronata* foi mais intensa nos meses de abril e maio, tanto no ano de 2006 quanto no ano de 2007, devido à grande quantidade de *A. schrankiae* presente nos frutos. Observou-se também uma grande abundância de parasitóides nestes meses (Figs. 4 e 6). No ano de 2006 pode-se observar um pico na ocorrência de bruquídeos e parasitóides na coleta realizada em 10/05 (Fig. 4), fato este que não foi observado no ano de 2007, no qual houve uma queda gradativa na emergência destes insetos (Fig. 6). Podemos observar no ano de 2007 também uma queda na produção de frutos pelos ramos selecionados, o que não ocorreu em 2006, sendo a quantidade de frutos coletados constante em quase todas as coletas, sofrendo uma queda apenas nas três últimas coletas, e ainda assim de forma não muito acentuada (Figs. 4 e 6).

Nos dois anos de coleta observou-se um aumento da taxa de parasitismo ao longo das coletas (Figs. 5 e 7). Apesar da grande quantidade de parasitóides nos meses de abril e maio, as maiores taxas de parasitismo foram observadas nos meses de menor densidade de *A. schrankiae* (Figs. 5 e 7).

Em geral o número de parasitóides que emergiu no ano de 2007 foi menor que o ano de 2006. Porém, as famílias de parasitóides determinadas tanto para o ano de 2006 como para o ano de 2007 são bastante semelhantes, apenas com a diferença na família Scelionidae que ocorreu apenas no ano de 2006 (Tabela 2); portanto, no ano de 2006 foram determinadas sete famílias e no ano de 2007 seis famílias. As famílias determinadas e comuns aos dois anos foram: Braconidae, Encyrtidae, Eulophidae, Eupelmidae, Eurytomidae e Pteromalidae, sendo esta última a família com maior número de representantes (622 indivíduos no ano de 2006 e 205 indivíduos no ano de 2007) (Tabela 2). Scelionidae e Encyrtidae foram as famílias com os menores números de indivíduos para os anos de 2006 e 2007, respectivamente, com apenas dois espécimes cada (Tabela 2). Nos dois anos foi possível observar um pico na emergência de Pteromalidae nos meses de abril e maio, havendo uma queda nestes indivíduos ao longo das coletas (Figs. 8 e 9). A família Braconidae também teve a maior parte de seus indivíduos ocorrendo nos primeiros meses de coleta em ambos os anos (Figs. 8 e 9).



Eulophidae apresentou menor quantidade de indivíduos se comparado a Pteromalidae, porém com distribuição mais regular ao longo dos meses de coleta dos frutos, isto também observado para 2006 e 2007 (Figs. 8 e 9).

Foram determinados 7 gêneros dentre os parasitóides encontrados parasitando *A. schrankiae*. Na família Braconidae foram determinados dois gêneros, *Heterospilus* e *Bracon*, sendo que o gênero *Heterospilus* precisa de revisão, impossibilitando a determinação da espécie. Na família Eulophidae foi determinado o gênero *Horismenus*, em revisão pelo Dr. Christer Hansson (Valmir Antônio Costa, comunicação pessoal). Na família Eupelmidae foram determinados dois gêneros, sendo eles *Brasema* e *Eupelmus*. Na família Eurytomidae determinou-se o gênero *Eurytoma* e na família Pteromalidae, foi determinado o gênero *Lyracus*, sendo que dos exemplares deste gênero talvez seja possível encontrar três espécies. Ainda não foi possível determinar quais espécies foram encontradas, devido a sutis diferenças entre elas e também devido ao fato de alguns gêneros estarem em revisão (Figs. 10 e 11).

#### 4.2 Distribuição espacial de *A. schrankiae* e seus parasitóides, determinação do padrão espacial do parasitismo e da associação espacial

Os resultados das análises de distribuição espacial pelo método SADIE, aplicadas para o ano de 2006, mostraram que tanto as populações de bruquídeos como as populações de parasitóides não estão agregadas, e o mesmo aconteceu para a porcentagem de parasitismo, uma vez que não foram encontradas diferenças significativas (Tabela 3). Portanto, as populações estão distribuídas aleatoriamente, considerando-se cada coleta (Tabela 3).

Considerando os resultados das análises aplicadas para o ano de 2007, constatou-se que tanto os bruquídeos como os parasitóides apresentaram um padrão de distribuição agregado na primeira coleta (dia 24/04) e não nas demais, as quais demonstraram um padrão aleatório (Tabela 4). A porcentagem de parasitismo apresentou um padrão agregado apenas na terceira coleta (dia 29/05) (Tabela 4).

Quando as análises foram aplicadas considerando o total de todas as coletas, a população de bruquídeos curiosamente apresentou um padrão de distribuição aleatório para as coletas de 2006, mas agregado para as coletas do ano de 2007 (Tabela 5), demonstrando que o padrão de distribuição espacial pode variar ao longo do tempo. Já

os parasitóides (número e porcentagem) apresentaram um padrão de distribuição aleatório (Tabela 5).

Os resultados das análises de associação espacial entre bruquídeos e parasitóides, considerando-se cada coleta e o total de coletas em cada ano, demonstraram um alto grau de associação espacial entre os respectivos índices de agregação (notar valores positivos do índice  $X$ ), só não sendo significativo para a primeira coleta (dia 26/04) do ano de 2006, embora o nível de probabilidade esteja próximo a significância (Tabela 6). No entanto, quando as análises de associação espacial foram feitas entre os bruquídeos e a porcentagem de parasitismo, constatou-se um padrão variável, dependendo do momento de observação (Tabela 6). No ano de 2006, constatou-se uma dissociação espacial significativa na primeira coleta, mudando para associações não significativas nas duas coletas seguintes (Tabela 6). Curiosamente, constatou-se nas demais coletas uma associação espacial significativa entre a porcentagem de parasitismo e os bruquídeos (Tabela 6). Portanto, o padrão espacial do parasitismo foi inversamente dependente da densidade para a primeira coleta, independente da densidade nas coletas 2 e 3, e diretamente dependente da densidade nas coletas 4, 5 e 6 (Tabela 6).

Resultado semelhante foi encontrado no ano de 2007, uma vez que uma associação espacial significativa entre a porcentagem de parasitismo e os bruquídeos foi observada apenas na terceira coleta, e associações não significativas foram observadas nas coletas 1 e 2 (Tabela 6). Portanto, o padrão espacial do parasitismo foi independente da densidade para as coletas 1 e 2, e diretamente dependente da densidade para a coleta 3 (Tabela 6). Quando o total das coletas foi considerado, dissociações significativas entre as porcentagens de parasitismo e os bruquídeos foram encontradas, demonstrando um padrão de parasitismo inversamente dependente da densidade espacial em ambos os anos (Tabela 6).

As figuras 12 e 13 mostram o padrão de agregação espacial de *A. schrankiae* considerando todas as coletas executadas no ano de 2007 e a coleta de 24/04 de 2007, respectivamente. A figura 14 mostra o mesmo tipo de padrão, mas considerando os parasitóides na coleta de 24/04 de 2007. Os mapas indicam áreas de *patch* e *gap clusters* com valores significativos. Em todos os casos, os clusters estavam localizados em pequenos *patches* e grandes *gaps*, os quais foram efêmeros no espaço e no tempo (Figs. 12, 13 e 14). As figuras 15 e 17 mostram grandes áreas de associação entre os bruquídeos e os parasitóides para os anos de 2006 e 2007, respectivamente,

considerando todas as coletas executadas. No entanto, para as taxas de parasitismo, observa-se grandes áreas de dissociação em ambos os anos (Figs. 16 e 18), demonstrando um padrão de parasitismo inversamente dependente da densidade espacial.

No caso das coletas dos dias 29/06 de 2006 e 29/05 de 2007, novamente contatou-se grandes áreas de associação espacial entre bruquídeos e parasitóides (Figs. 19 e 21). Mas neste caso, as porcentagens de parasitismo também foram altamente associadas com os bruquídeos, demonstrando um padrão de parasitismo diretamente dependente da densidade espacial (Figs. 20 e 22). No caso da coleta de 29/05, dissociações significativas não foram observadas, demonstrando o alto grau de associação espacial entre as populações (Fig. 21).

As análises de associação espaço-temporal entre os bruquídeos e parasitóides para o ano de 2006, demonstraram associações significativas principalmente na diagonal principal, demonstrando que associações significativas sem atraso de tempo são predominantes (Fig. 23). O mesmo ocorreu para associações entre os bruquídeos e a porcentagem de parasitismo, no entanto, associações significativas foram encontradas nas últimas coletas, ou seja, nas densidades mais baixas de bruquídeos e parasitóides (Fig. 24). É interessante destacar que associações significativas com atraso de tempo foram encontradas entre as porcentagens de parasitismo da quinta coleta com os bruquídeos da segunda coleta, e entre as porcentagens de parasitismo da sexta coleta com os bruquídeos da quinta coleta, demonstrando que os parasitóides podem ter respondido significativamente aos padrões de distribuição espacial apresentados pelos bruquídeos em momentos anteriores (Fig. 24).

Como no ano de 2006, as análises de associação espaço-temporal entre os bruquídeos e parasitóides para o ano de 2007 demonstraram associações altamente significativas principalmente na diagonal principal (Fig. 25). No entanto, associações significativas com atraso de tempo também foram encontradas (Fig. 25). Para as associações entre os bruquídeos e a porcentagem de parasitismo, associações significativas com atraso de tempo foram encontradas entre as porcentagens de parasitismo da terceira coleta com os bruquídeos da primeira coleta, e entre as porcentagens de parasitismo da terceira coleta com os bruquídeos da segunda coleta, novamente demonstrando que os parasitóides podem ter respondido significativamente aos padrões de distribuição espacial apresentados pelos bruquídeos em momentos anteriores (Fig. 26).

Através da utilização do método SADIE foi possível demonstrar que tanto *A. schrankiae* como seus parasitóides apresentam estrutura espacial bem definida apenas durante o ano de 2007 (Tabelas 4 e 5). Durante o ano de 2006, as populações destes insetos apresentaram um padrão de distribuição aleatória (Tabelas 3 e 5). Mesmo durante o ano de 2007, a estrutura espacial com formação de *patch* e *gap clusters* significativos foi observada apenas quando todas as coletas foram consideradas, bem como na primeira coleta (dia 24/04) (Figs. 12, 13 e 14). Análises feitas em diferentes momentos de coleta possibilitaram acompanhar a evolução dos padrões de distribuição espacial ao longo do tempo.

#### 4.3 Associação espacial das características nutricionais dos frutos de *M. bimucronata* e populações de bruquídeos e parasitóides

Os resultados para as análises dos índices de agregação para teor de água, conteúdo de fenóis e nitrogênio mostraram-se significativos apenas para teor de água no ano de 2006 e conteúdo de fenóis no ano de 2007, ambos para *gap clusters*, embora o resultado da análise do conteúdo de fenóis no ano de 2006 tenha ficado próximo da significância (Tabela 7). Estes resultados mostram que estes compostos (água e fenóis) apresentam estrutura espacial bem definida, no entanto, esta é dependente do momento de observação. Para o conteúdo de nitrogênio a análise dos índices de agregação não foi significativa para os dois anos, não apresentando nenhum tipo de estrutura espacial (Tabela 7).

Para as análises de associação espacial entre as características bioquímicas dos frutos de *M. bimucronata* e bruquídeos e parasitóides, foram encontrados resultados significativos para dissociação espacial entre bruquídeos e fenóis nos anos de 2006 e 2007 (valores de  $X$  negativos); para parasitóides e fenóis a análise foi significativa também para dissociação espacial para o ano de 2006 e muito próxima da significância no ano de 2007 (Tabela 8). Portanto, isso significa que os *patch clusters* dos bruquídeos e dos parasitóides estavam significativamente sobrepostos aos *gap clusters* dos fenóis. Para as demais associações, as análises não foram significativas para os dois anos (Tabela 8).

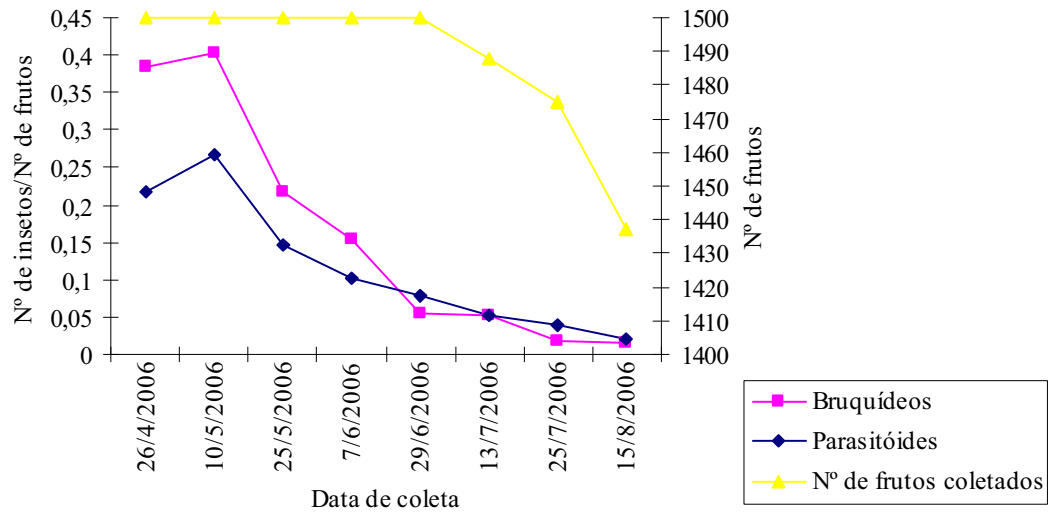


Fig. 4. Número de frutos coletados e abundância de *A. schrankiae* e parasitóides ao longo das coletas do ano de 2006.

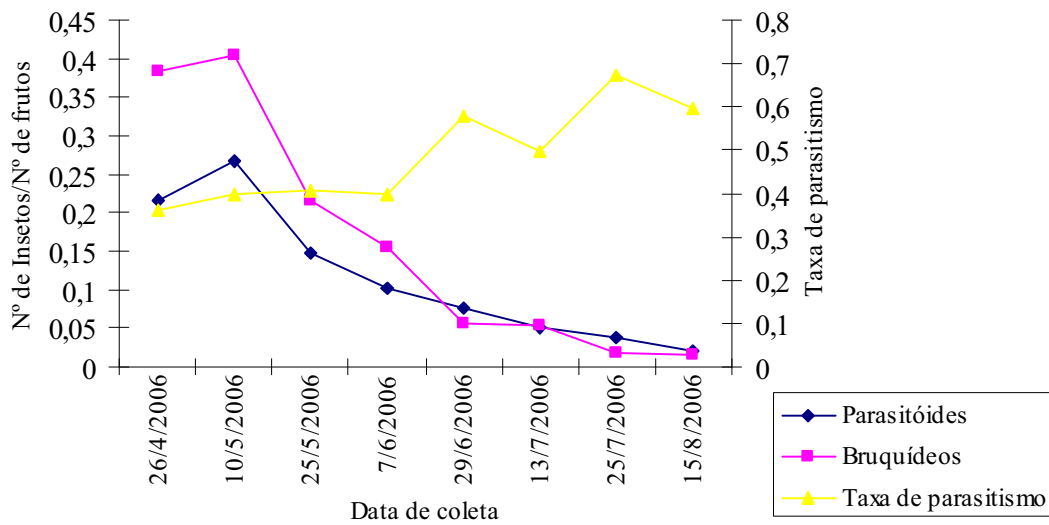


Fig. 5. Distribuição da taxa de parasitismo e da abundância de *A. schrankiae* e parasitóides ao longo das coletas do ano de 2006.

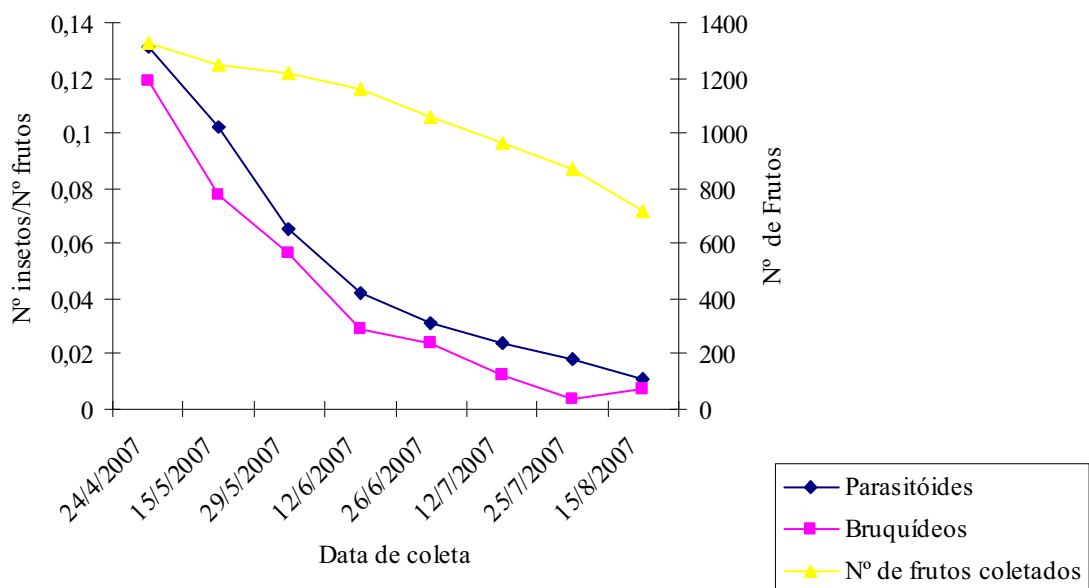


Fig. 6. Número de frutos coletados e abundância de *A. schrankiae* e parasitóides ao longo das coletas do ano de 2007.

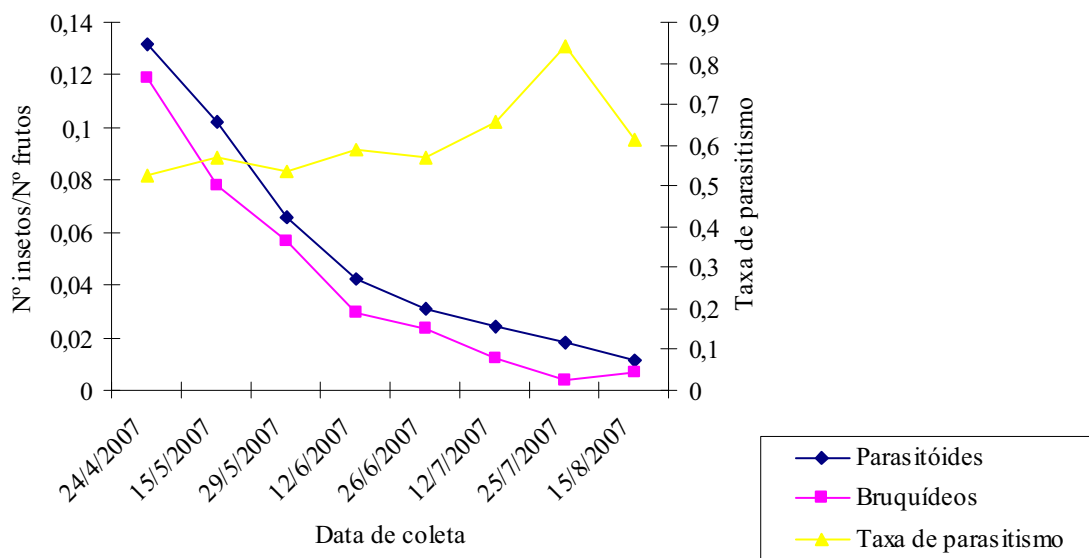


Fig. 7. Distribuição da taxa de parasitismo e da abundância de *A. schrankiae* e parasitóides ao longo das coletas do ano de 2007.

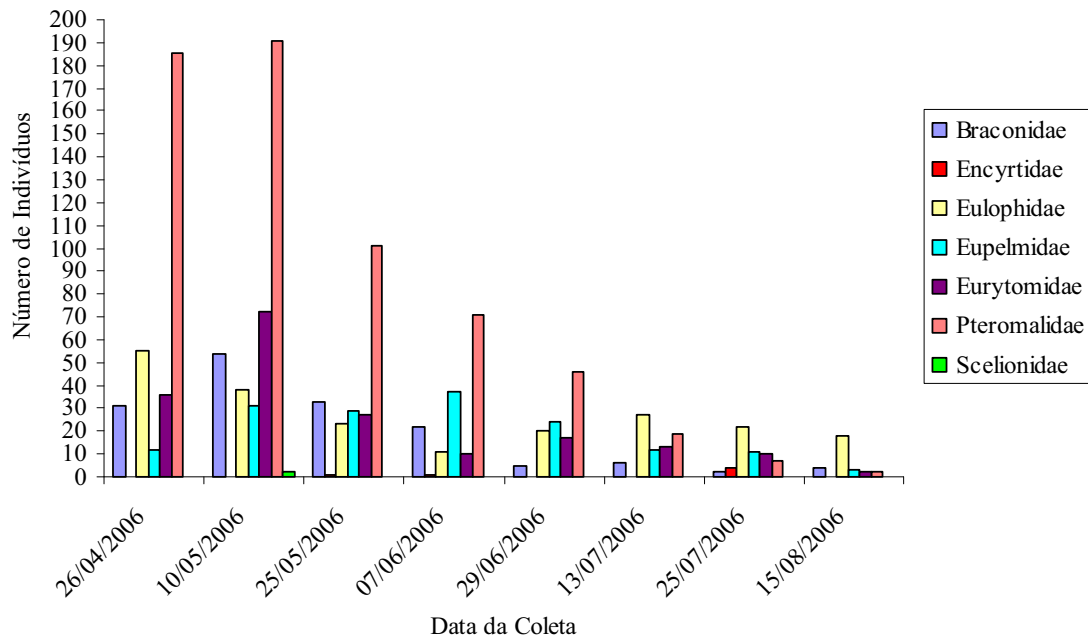


Fig. 8: Distribuição sazonal das famílias de parasitóides no ano de 2006.

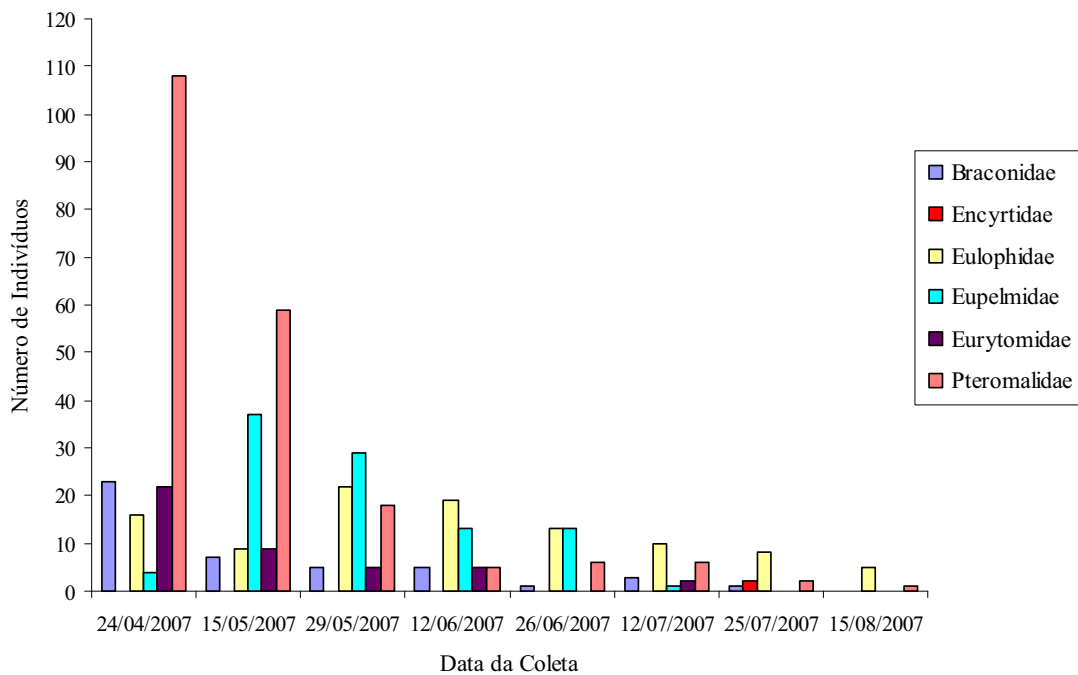


Fig. 9: Distribuição sazonal das famílias de parasitóides no ano de 2007.



Fig. 10. Exemplos de parasitóides do ano de 2006.



Fig. 11. Exemplos de parasitóides do ano de 2007.

Tabela 2. Número de indivíduos ocorrentes nas famílias de parasitóides nos anos de 2006 e 2007.

Ano	Famílias						
	Braconidae	Encyrtidae	Eulophidae	Eupelmidae	Eurytomidae	Pteromalidae	Scelionidae
2006	157	6	214	159	187	622	2
2007	45	2	102	97	43	205	0
<b>Total de Parasitóides</b>	202	8	316	256	230	827	2



Tabela 3. Média dos índices de agregação,  $\bar{V}_i$  para *patches* e  $\bar{V}_j$  para *gaps*, com o nível de probabilidade  $P$ , para o bruquídeo *A. schrankiae*, seus parasitóides e porcentagem de parasitismo. O número de *patch* e *gap* clusters identificados com valores acima de 1,5 e abaixo de -1,5 ( $v_i > 1,5$  ou  $v_j < -1,5$ ) também estão representados ( $N$ ). As análises foram aplicadas às coletas do ano de 2006.

Coletas**	Tipo de Cluster	Bruquídeos			Parasitóides			% Parasitismo		
		Índices de Agregação (Cluster)	$P^*$	$N$	Índices de Agregação (Cluster)	$P^*$	$N$	Índices de Agregação (Cluster)	$P^*$	$N$
1	Patch	1,094	0,2743	5	0,874	0,6259	1	1,339	0,1041	9
1	Gap	-1,197	0,1857	8	-0,801	0,7679	0	-1,036	0,3479	8
2	Patch	0,817	0,7044	2	0,987	0,4188	3	1,003	0,3844	5
2	Gap	-0,839	0,7473	3	-0,928	0,5287	3	-0,867	0,6437	3
3	Patch	0,669	0,7903	1	0,656	0,9589	1	0,881	0,6073	4
3	Gap	-0,844	0,6849	4	-0,774	0,8136	4	-0,767	0,8344	1
4	Patch	1,085	0,2945	5	1,200	0,1798	4	1,294	0,1138	5
4	Gap	-0,980	0,4444	5	-0,963	0,4666	7	-1,094	0,2844	6
5	Patch	0,769	0,8306	1	0,837	0,6968	2	0,830	0,7236	4
5	Gap	-0,818	0,7449	1	-0,896	0,5852	3	-0,656	0,9702	1
6	Patch	1,490	0,0523	5	1,339	0,0974	8	0,981	0,4465	3
6	Gap	-1,024	0,3741	2	-1,272	0,1342	8	-0,900	0,5953	4

\* Não houve diferença significativa em todas as comparações ( $P > 0,05$ ).

\*\* Os valores de 1 a 6 representam as coletas realizadas nos dias 26/04, 10/05, 25/05, 07/06, 29/06 e 13/07, respectivamente.

Tabela 4. Média dos índices de agregação,  $\bar{V}_i$  para *patches* e  $\bar{V}_j$  para *gaps*, com o nível de probabilidade  $P$ , para o bruquídeo *A. schrankiae*, seus parasitóides e porcentagem de parasitismo. O número de *patch* e *gap* clusters identificados com valores acima de 1,5 e abaixo de -1,5 ( $v_i > 1,5$  ou  $v_j < -1,5$ ) também estão representados ( $N$ ). As análises foram aplicadas às coletas do ano de 2007.

Coletas**	Tipo de Cluster	Bruquídeos			Parasitóides			% Parasitismo		
		Índices de Agregação (Cluster)	$P^*$	$N$	Índices de Agregação (Cluster)	$P^*$	$N$	Índices de Agregação (Cluster)	$P^*$	$N$
1	Patch	1,686	<b>0,0169</b>	5	1,476	<b>0,0458</b>	4	1,158	0,2078	6
1	Gap	-1,394	0,0732	12	-1,052	0,3248	6	-1,209	0,1634	9
2	Patch	1,201	0,1704	4	0,769	0,8346	2	0,991	0,4206	5
2	Gap	-1,354	0,0866	15	-1,124	0,2219	9	-0,917	0,5552	3
3	Patch	1,237	0,1473	4	1,328	0,0987	3	2,190	<b>0,0010</b>	11
3	Gap	-1,138	0,2242	9	-1,239	0,1436	13	-1,376	0,0672	10

\* Análises significativas estão representadas em itálico e negrito ( $P < 0,05$ ).

\*\* Os valores de 1 a 3 representam as coletas realizadas nos dias 24/04, 15/05 e 29/05, respectivamente.

Tabela 5. Média dos índices de agregação,  $\bar{V}_i$  para *patches* e  $\bar{V}_j$  para *gaps*, com o nível de probabilidade  $P$ , para o bruquídeo *A. schrankiae*, seus parasitóides e porcentagem de parasitismo. O número de *patch* e *gap* clusters identificados com valores acima de 1,5 e abaixo de -1,5 ( $v_i > 1,5$  ou  $v_j < -1,5$ ) também estão representados ( $N$ ). As análises foram aplicadas aos valores totais das coletas dos anos de 2006 e 2007.

Anos de coleta	Tipo de Cluster	Bruquídeos			Parasitóides			% Parasitismo		
		Índices de Agregação (Cluster)	$P^*$	$N$	Índices de Agregação (Cluster)	$P^*$	$N$	Índices de Agregação (Cluster)	$P^*$	$N$
2006	Patch	1,011	0,3787	2	0,969	0,4615	3	1,021	0,3702	6
	Gap	-0,968	0,4620	4	-0,919	0,5465	2	-1,010	0,3930	7
2007	Patch	1,629	<b>0,0238</b>	8	1,186	0,1843	4	1,031	0,3608	5
	Gap	-1,560	<b>0,0370</b>	14	-1,292	0,1153	11	-0,985	0,4434	3

\* Análises significativas estão representadas em itálico e negrito ( $P < 0,05$ ).

Tabela 6. Associação espacial entre bruquídeos e parasitóides (número e % de parasitismo) considerando-se cada coleta e o total de coletas em cada ano. Valores positivos e negativos da Associação Espacial Total ( $X$ ) representam associação e dissociação, respectivamente. Os valores do nível de probabilidade  $P$ , para associações entre o bruquídeo *A. schrankiae* e seus parasitóides, bem como entre *A. schrankiae* e a % parasitismo, são apresentados.

Ano	Coletas**	Bruquídeos e Parasitóides		Bruquídeos e % Parasitismo	
		Associação Espacial Total ( $X$ )	$P^*$	Associação Espacial Total ( $X$ )	$P^*$
2006	1	0,2597	0,0650	-0,5922	<b>&lt;0,0001</b>
	2	0,5482	<b>0,0002</b>	-0,1851	0,8826
	3	0,4937	<b>0,0010</b>	-0,2646	0,9406
	4	0,7059	<b>&lt;0,0001</b>	0,5412	<b>0,0001</b>
	5	0,7299	<b>&lt;0,0001</b>	0,5386	<b>0,0001</b>
	6	0,6177	<b>&lt;0,0001</b>	0,4260	<b>0,0018</b>
2007	1	0,6723	<b>&lt;0,0001</b>	-0,0913	0,7105
	2	0,8509	<b>&lt;0,0001</b>	0,2255	0,0884
	3	0,7788	<b>&lt;0,0001</b>	0,5022	<b>0,0009</b>
2006	Total	0,4539	<b>0,0009</b>	-0,4406	<b>0,0013</b>
2007	Total	0,5974	<b>&lt;0,0001</b>	-0,3386	<b>0,0133</b>

\* Análises significativas estão representadas em itálico e negrito ( $P < 0,05$ ).

\*\* Os valores de 1 a 6 representam as coletas realizadas nos dias 26/04, 10/05, 25/05, 07/06, 29/06 e 13/07, e os valores de 1 a 3 representam as coletas realizadas nos dias 24/04, 15/05 e 29/05, para os anos de 2006 e 2007, respectivamente.

Tabela 7. Média dos índices de agregação,  $\bar{V}_i$  para *patches* e  $\bar{V}_j$  para *gaps*, com o nível de probabilidade  $P$ , para o teor de água e os conteúdos de fenóis e nitrogênio. O número de *patch* e *gap* clusters identificados com valores acima de 1,5 e abaixo de -1,5 ( $v_i > 1,5$  ou  $v_j < -1,5$ ) também estão representados ( $N$ ). As análises foram aplicadas para os anos de 2006 e 2007.

Anos de coleta	Tipo de Cluster	Água			Fenóis			Nitrogênio		
		Índices de Agregação (Cluster)	$P^*$	$N$	Índices de Agregação (Cluster)	$P^*$	$N$	Índices de Agregação (Cluster)	$P^*$	$N$
2006	Patch	1,349	0,1044	12	1,211	0,1711	5	1,095	0,2715	9
	Gap	-2,261	<b>0,0017</b>	12	-1,499	0,0553	11	-1,444	0,0729	4
2007	Patch	1,209	0,1714	5	0,823	0,7572	2	0,834	0,7560	2
	Gap	-1,261	0,1259	8	-1,647	<b>0,0260</b>	10	-0,875	0,6541	2

\* Análises significativas estão representadas em itálico e negrito ( $P < 0,05$ ).

Tabela 8. Associação espacial entre as características bioquímicas das plantas (teor de água e conteúdos de fenóis e nitrogênio) e os bruquídeos e parasitóides, considerando-se o total de coletas em cada ano. Valores positivos e negativos da Associação Espacial Total ( $X$ ) representam associação e dissociação, respectivamente. O valor do nível de probabilidade  $P$  para cada associação também é apresentado.

Tipo de Associação	Ano			
	2006		2007	
	Associação Espacial Total ( $X$ )	$P^*$	Associação Espacial Total ( $X$ )	$P^*$
Bruquídeos e %Água	-0,2597	0,3557	-0,1515	0,1749
Bruquídeos e Fenóis	-0,4412	<b>0,0012</b>	-0,2674	<b>0,0436</b>
Bruquídeos e Nitrogênio	0,1625	0,1379	-0,0216	0,4478
Parasitóides e %Água	0,2050	0,0886	0,0097	0,4782
Parasitóides e Fenóis	-0,3042	<b>0,0193</b>	-0,2564	0,0585
Parasitóides e Nitrogênio	0,1049	0,2441	-0,0023	0,4988

\* Análises significativas estão representadas em itálico e negrito ( $P < 0,05$ ).

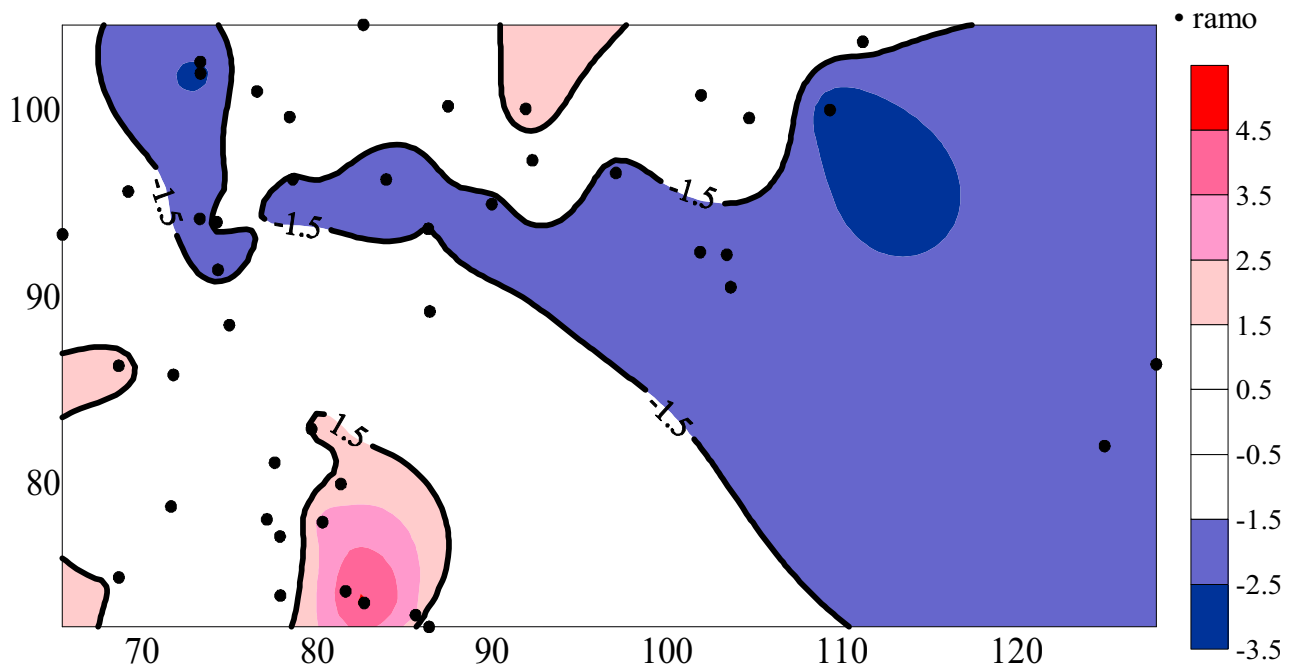


Fig. 12. Padrão de distribuição espacial para o bruquídeo *A. schrankiae* considerando todas as coletas executadas no ano de 2007 (Índice de Agregação Geral  $I_a = 1,811$ ;  $P = 0,0059$ ). O mapa indica áreas de grandes (vermelho para *patches*, em que  $v_i > 1,5$ ) e pequenas contagens (azul para *gaps*, em que  $v_j < -1,5$ ) com valores significativos.

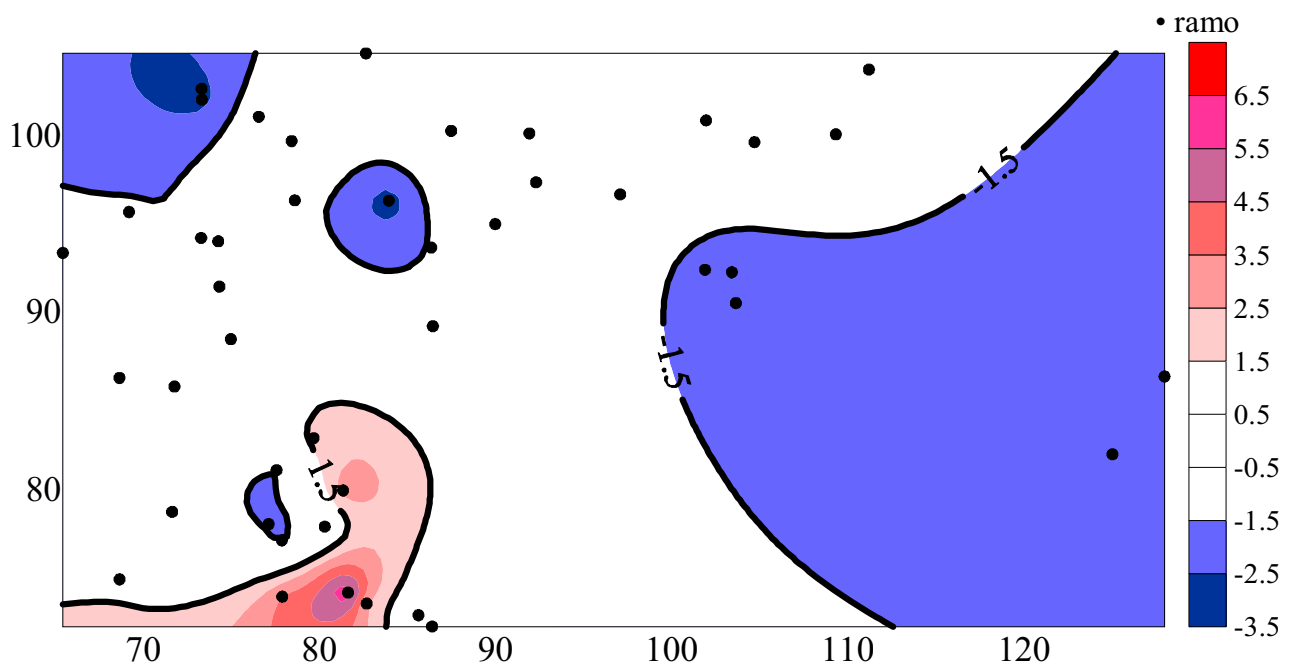


Fig. 13. Padrão de distribuição espacial para o bruquídeo *A. schrankiae* considerando a coleta de 24/04 de 2007 (Índice de Agregação Geral  $I_a = 1,685$ ;  $P = 0,0082$ ). O mapa indica áreas de grandes (vermelho para *patches*, em que  $v_i > 1,5$ ) e pequenas contagens (azul para *gaps*, em que  $v_j < -1,5$ ). Embora o  $I_a$  tenha sido significativo, houve significância para os *patch* clusters ( $\bar{V}_i = 1,686$ ;  $P = 0,0169$ ) e não para os *gap* clusters ( $\bar{V}_j = -1,394$ ;  $P = 0,0732$ ).

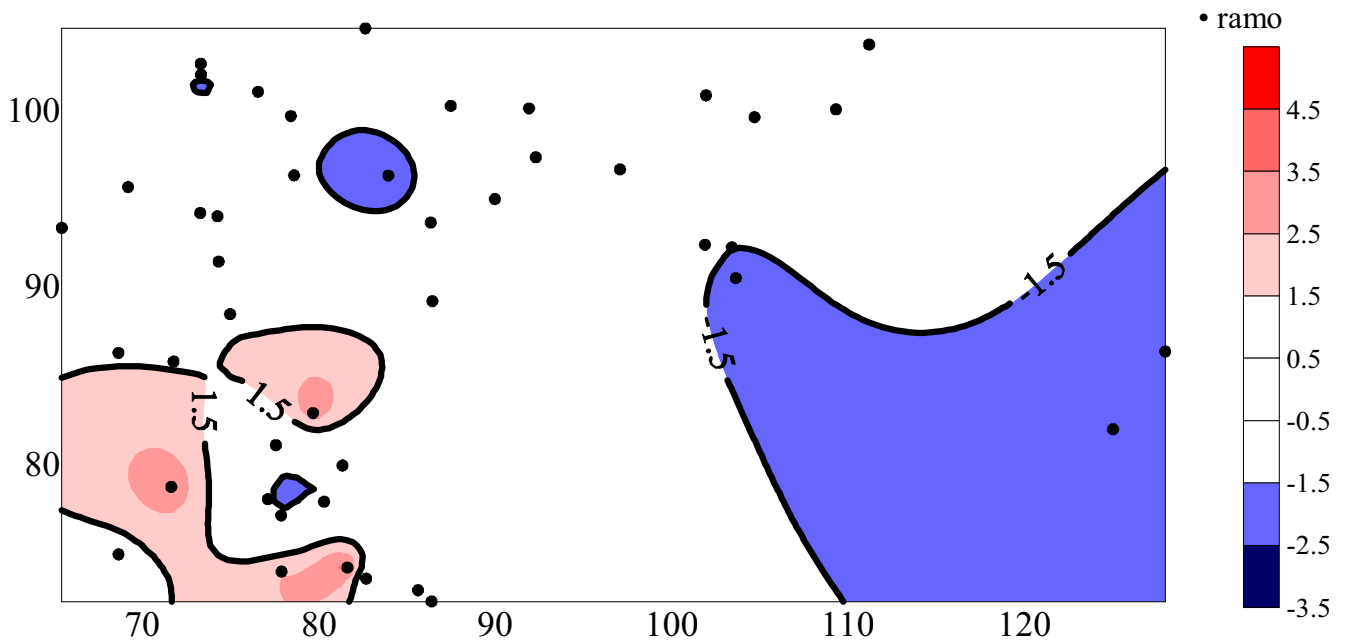


Fig. 14. Padrão de distribuição espacial para os parasitóides de *A. schrankiae* considerando a coleta de 24/04 de 2007 (Índice de Agregação Geral  $Ia = 1,369$ ;  $P = 0,0779$ ). O mapa indica áreas de grandes (vermelho para *patches*, em que  $v_i > 1,5$ ) e pequenas contagens (azul para *gaps*, em que  $v_j < -1,5$ ). Houve significância para os *patch clusters* ( $\bar{V}_i = 1,476$ ;  $P = 0,0458$ ) e não para os *gap clusters* ( $\bar{V}_j = -1,052$ ;  $P = 0,3248$ ), e o  $Ia$  foi próximo a significância.

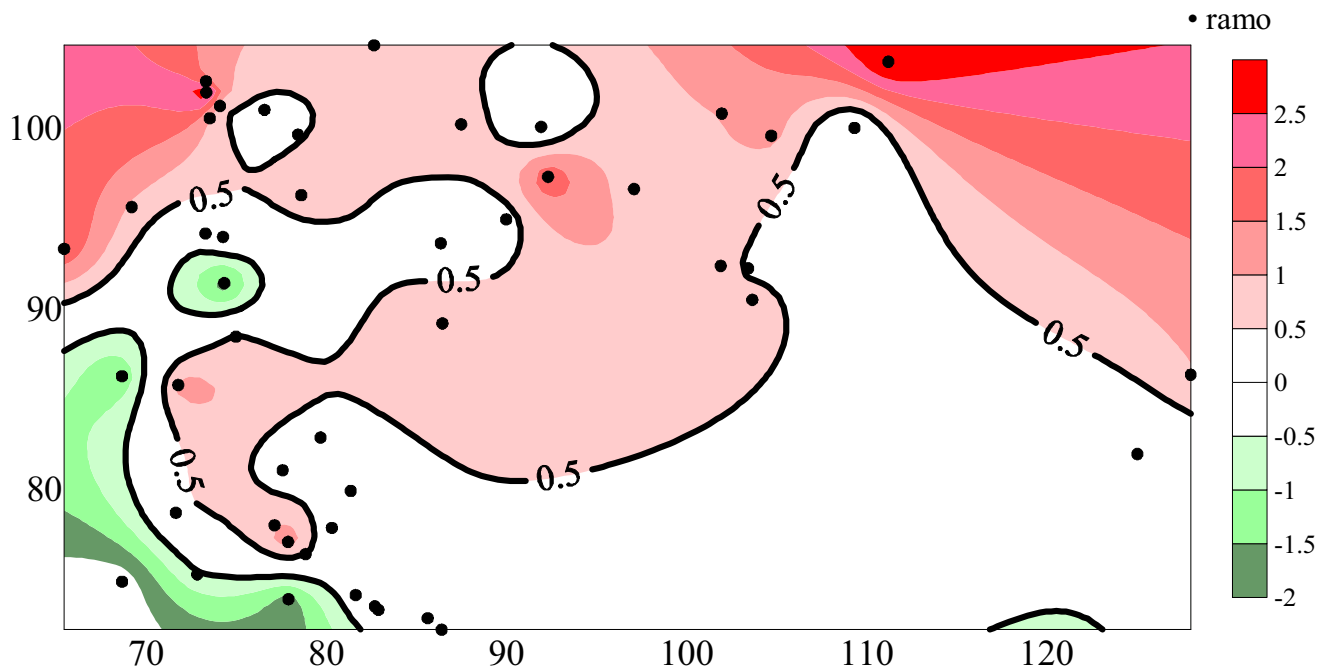


Fig. 15. Associação espacial entre o número de bruquídeos e o número de parasitóides considerando todas as coletas executadas no ano de 2006 ( $X = 0,4539$ ;  $P = 0,0009$ ). Áreas com valores maiores que 0,5 representam associação espacial significativa (áreas vermelhas), enquanto que áreas com valores menores que  $-0,5$  representam dissociação espacial significativa (áreas verdes).

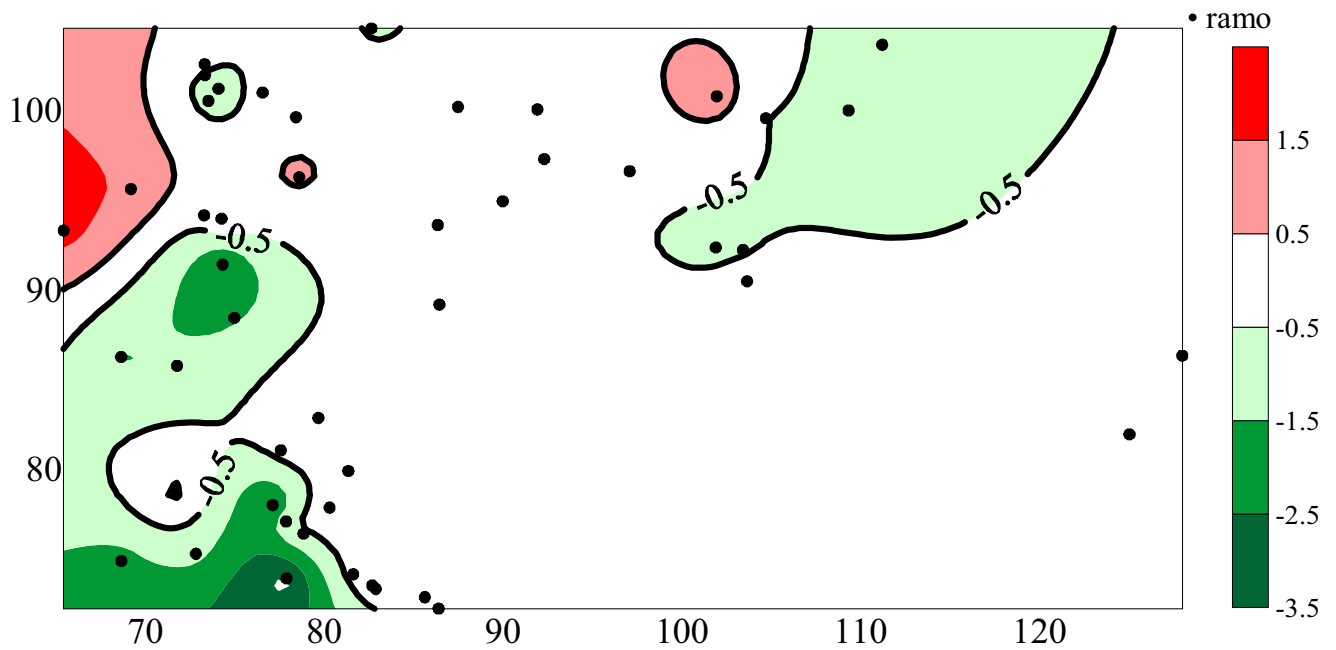


Fig. 16. Associação espacial entre o número de bruquídeos e a porcentagem de parasitismo considerando todas as coletas executadas no ano de 2006 ( $X = -0,4406$ ;  $P = 0,0013$ ). Áreas com valores maiores que 0,5 representam associação espacial significativa (áreas vermelhas), enquanto que áreas com valores menores que  $-0,5$  representam dissociação espacial significativa (áreas verdes).

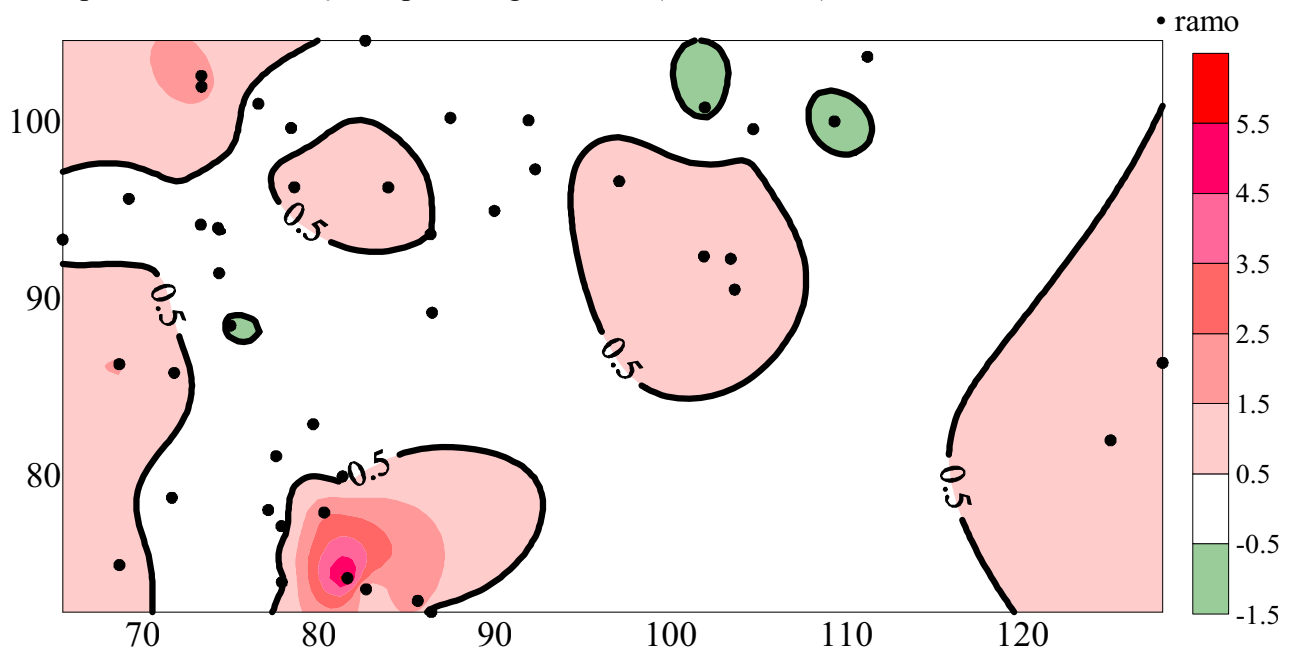


Fig. 17. Associação espacial entre o número de bruquídeos e o número de parasitóides considerando todas as coletas executadas no ano de 2007 ( $X = 0,5974$ ;  $P = <0,0001$ ). Áreas com valores maiores que 0,5 representam associação espacial significativa (áreas vermelhas), enquanto que áreas com valores menores que  $-0,5$  representam dissociação espacial significativa (áreas verdes).

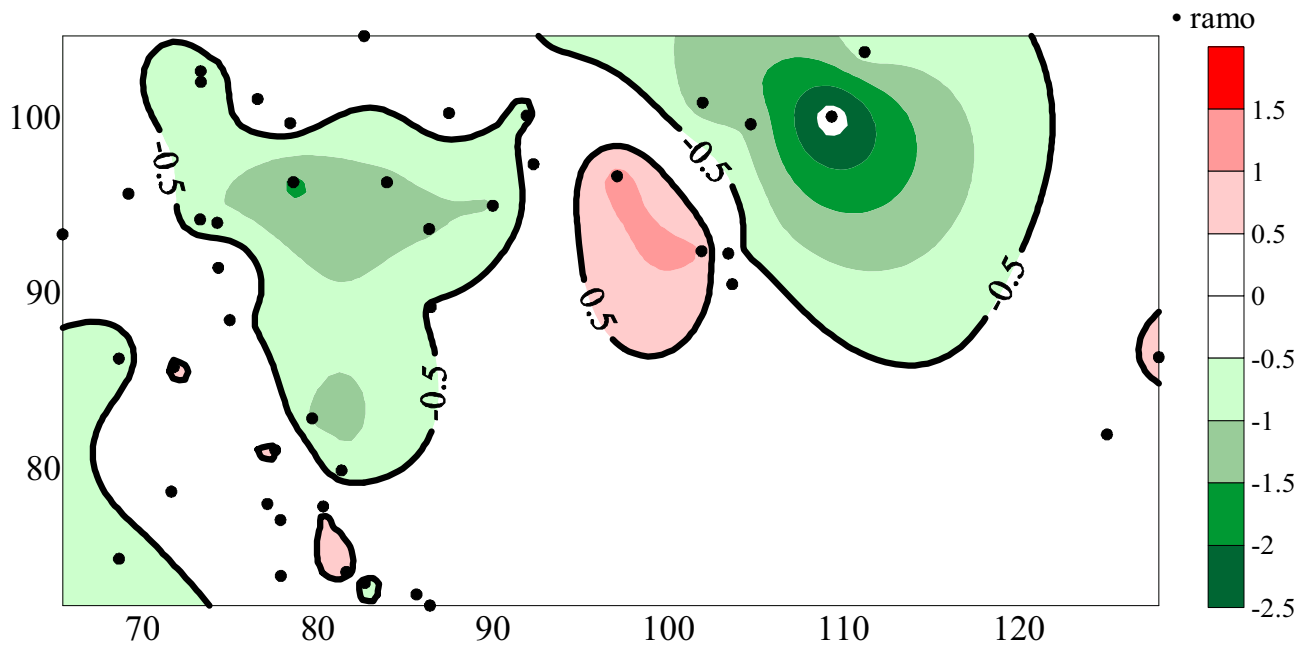


Fig. 18. Associação espacial entre o número de bruquídeos e a porcentagem de parasitismo considerando todas as coletas executadas no ano de 2007 ( $X = -0,3386$ ;  $P = 0,0133$ ). Áreas com valores maiores que 0,5 representam associação espacial significativa (áreas vermelhas), enquanto que áreas com valores menores que  $-0,5$  representam dissociação espacial significativa (áreas verdes).

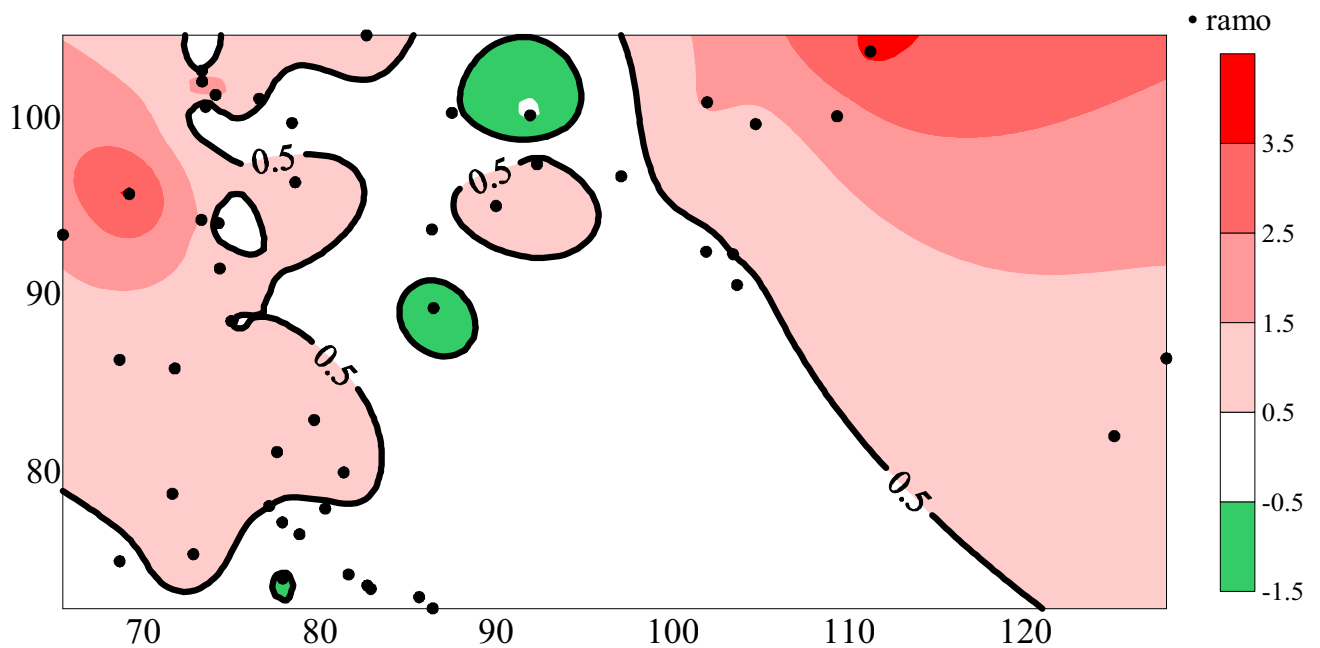


Fig. 19. Associação espacial entre o número de bruquídeos e o número de parasitóides considerando a coleta do dia 29/06 de 2006 ( $X = 0,7299$ ;  $P < 0,0001$ ). Áreas com valores maiores que 0,5 representam associação espacial significativa (áreas vermelhas), enquanto que áreas com valores menores que  $-0,5$  representam dissociação espacial significativa (áreas verdes).

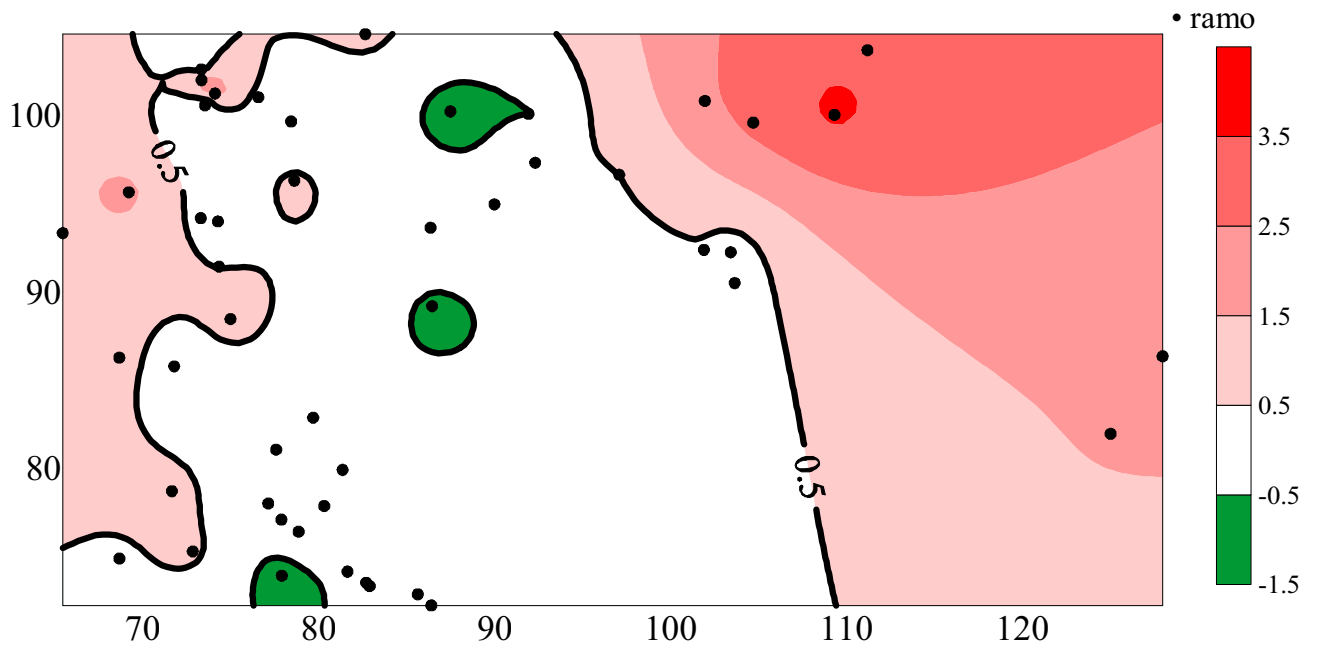


Fig. 20. Associação espacial entre o número de bruquídeos e a porcentagem de parasitismo considerando a coleta do dia 29/06 de 2006 ( $X = 0,5386$ ;  $P = 0,0001$ ). Áreas com valores maiores que 0,5 representam associação espacial significativa (áreas vermelhas), enquanto que áreas com valores menores que  $-0,5$  representam dissociação espacial significativa (áreas verdes).

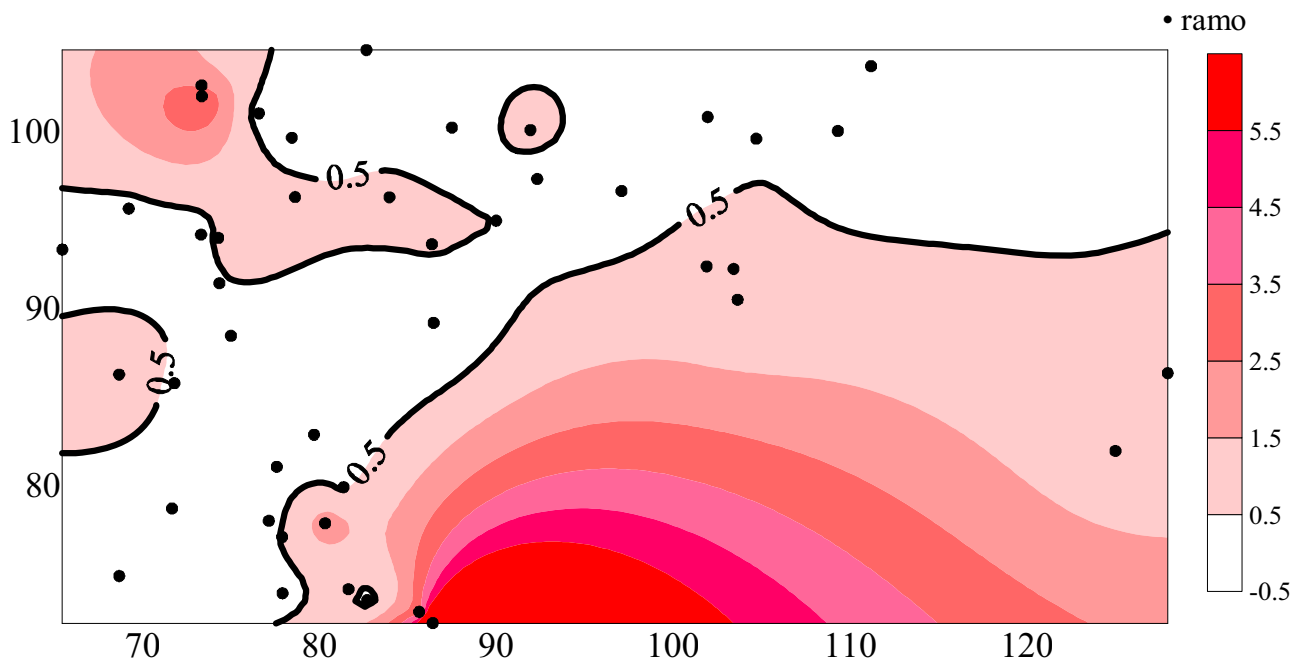


Fig. 21. Associação espacial entre o número de bruquídeos e o número de parasitóides considerando a coleta do dia 29/05 de 2007 ( $X = 0,7788$ ;  $P = <0,0001$ ). Áreas com valores maiores que 0,5 representam associação espacial significativa (áreas vermelhas). Neste caso, não ocorreram áreas com dissociação espacial significativa (valores menores que  $-0,5$ ).



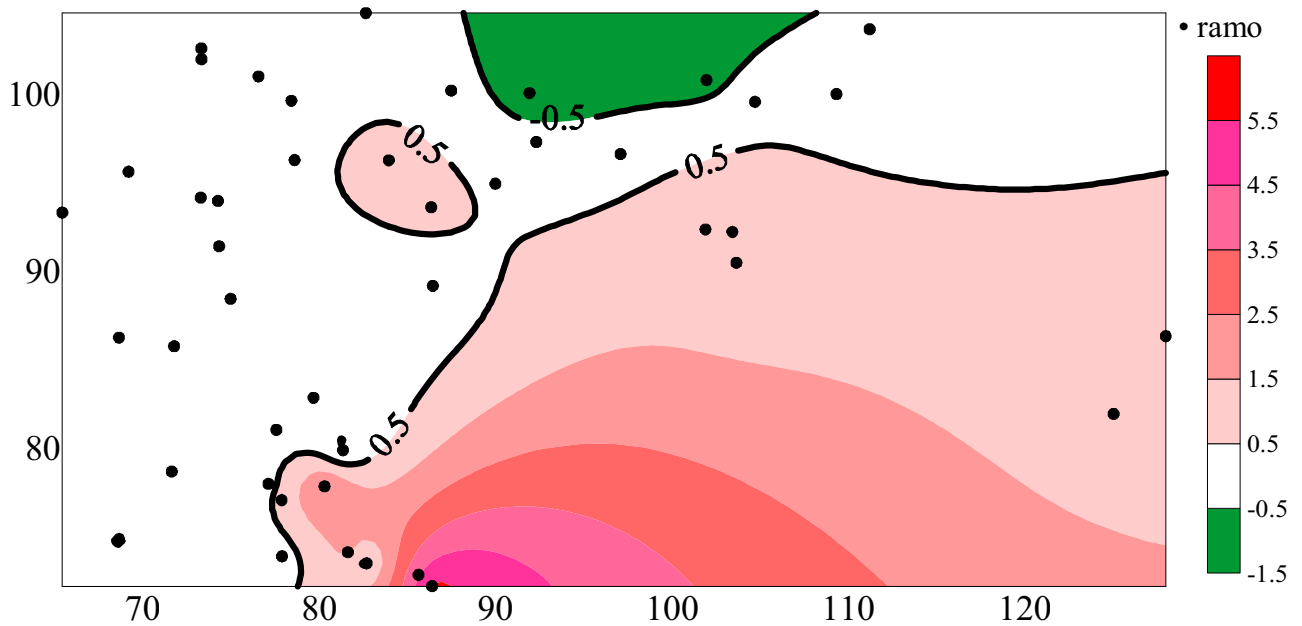


Fig. 22. Associação espacial entre o número de bruquídeos e a porcentagem de parasitismo considerando a coleta do dia 29/05 de 2007 ( $X = 0,5022$ ;  $P = 0,0009$ ). Áreas com valores maiores que 0,5 representam associação espacial significativa (áreas vermelhas), enquanto que áreas com valores menores que  $-0,5$  representam dissociação espacial significativa (áreas verdes).

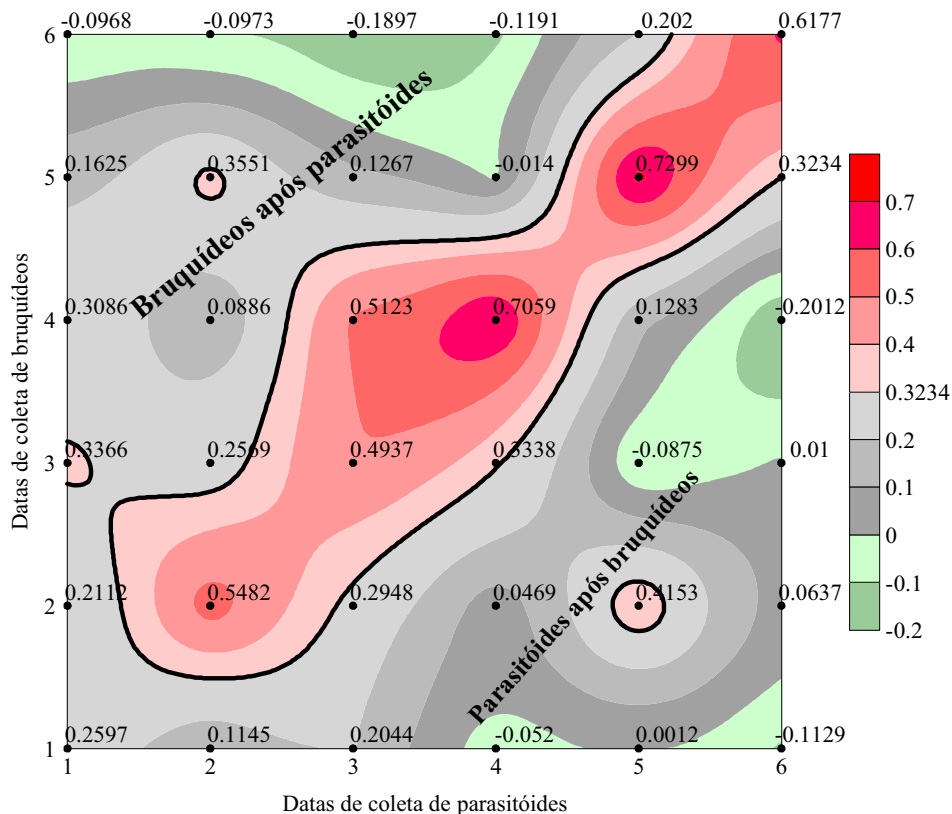


Fig. 23. Associação espaço-temporal entre o número de bruquídeos (eixo-y) e o número de parasitoides (eixo-x) para o ano de 2006. As associações foram analisadas com atraso de tempo (*lag* – acima e abaixo da diagonal principal) e sem atraso de tempo (diagonal principal). Valores significativos estão indicados no contorno em negrito.

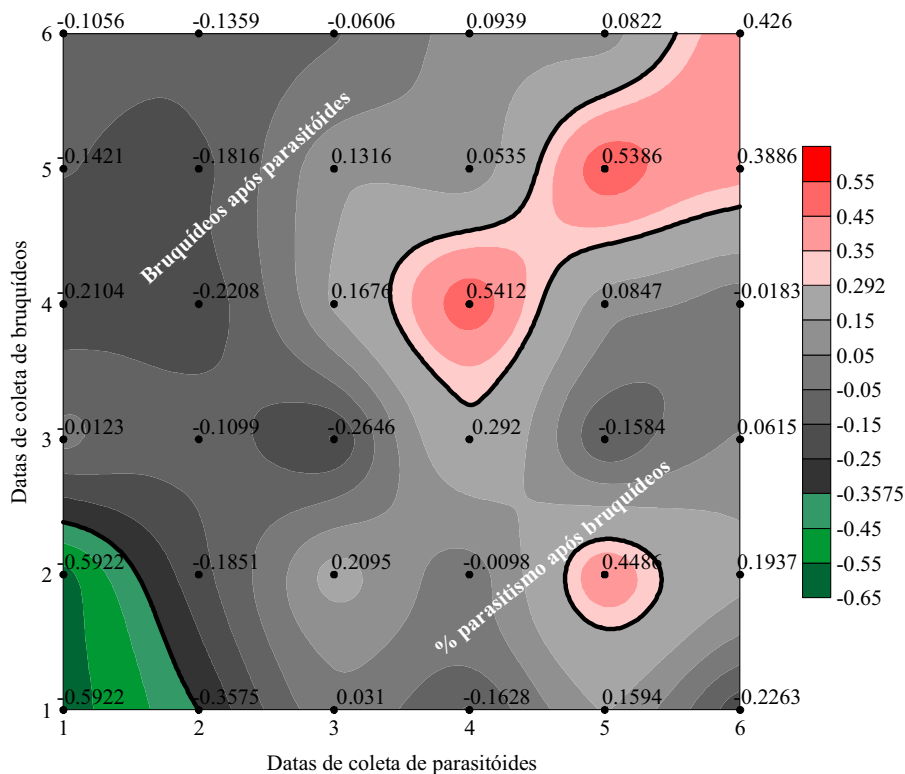


Fig. 24. Associação espaço-temporal entre o número de bruquídeos (eixo-y) e a porcentagem de parasitismo (eixo-x) para o ano de 2006. As associações foram analisadas com atraso de tempo (*lag* – acima e abaixo da diagonal principal) e sem atraso de tempo (diagonal principal). Valores significativos estão indicados no contorno em negrito.

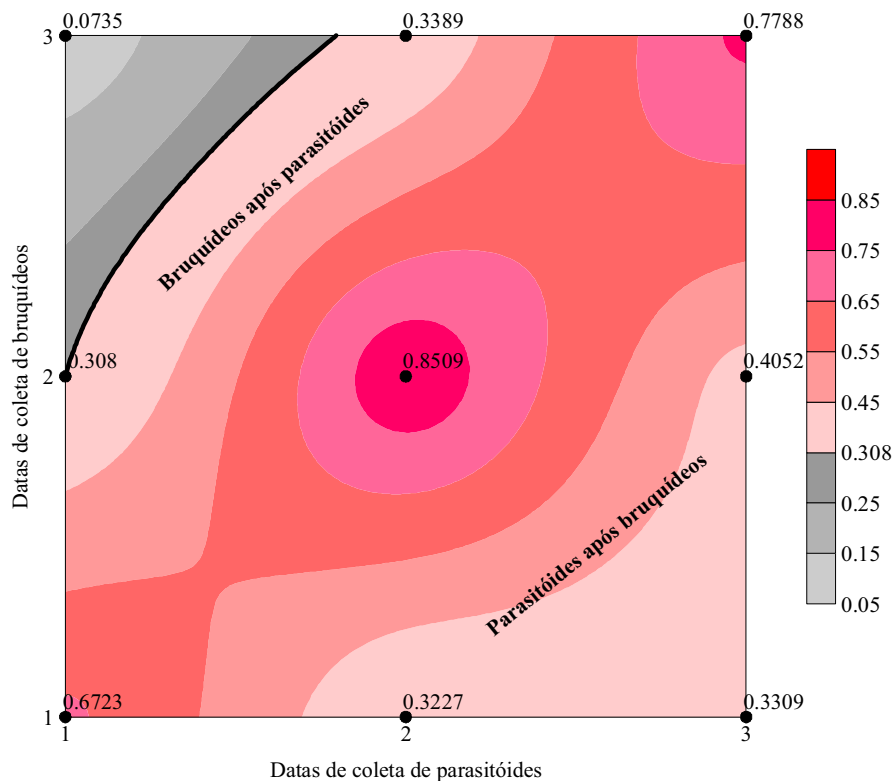


Fig. 25. Associação espaço-temporal entre o número de bruquídeos (eixo-y) e o número de parasitóides (eixo-x) para o ano de 2007. As associações foram analisadas com atraso de tempo (*lag* – acima e abaixo da diagonal principal) e sem atraso de tempo (diagonal principal). Valores significativos estão indicados no contorno em negrito.

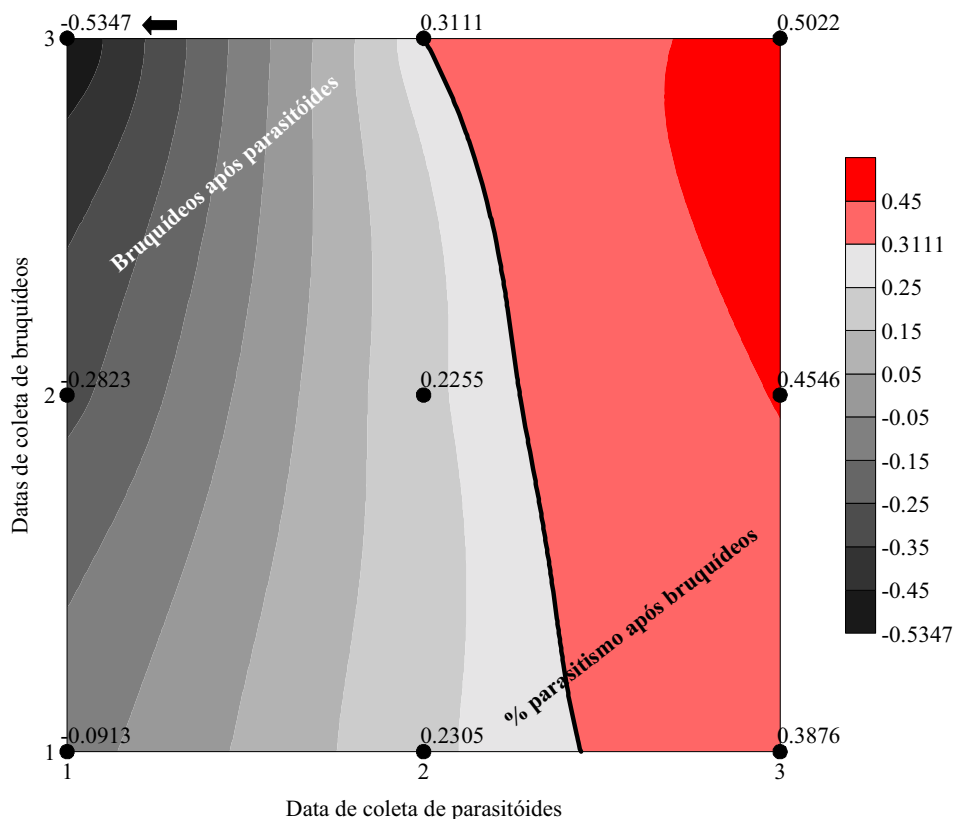


Fig. 26. Associação espaço-temporal entre o número de bruquídeos (eixo- $y$ ) e a porcentagem de parasitismo (eixo- $x$ ) para o ano de 2007. As associações foram analisadas com atraso de tempo (*lag* – acima e abaixo da diagonal principal) e sem atraso de tempo (diagonal principal). Valores significativos estão indicados no contorno em negrito. A seta indica um valor significativo para dissociação.

## 5. Discussão

O primeiro relato de *A. schrankiae* predando sementes de *M. bimucronata* foi feito em um estudo realizado por Silva *et al.* (2007), no qual os autores também relataram uma alta emergência de adultos do bruquídeo em laboratório e uma alta porcentagem de predação das sementes de *M. bimucronata*. No mês de abril e maio é observada esta maior quantidade tanto de *A. schrankiae* como de parasitóides, pois no mês de abril começa a haver um aumento de frutos maduros, ocorrendo então a maior emergência de bruquídeos e parasitóides (Silva *et al.*, 2007). Portanto, a queda na abundância de bruquídeos e parasitóides observada a partir de maio deve ocorrer devido a uma redução de frutos imaturos de *M. bimucronata*, reduzindo os sítios propícios para oviposição.

Como mencionado anteriormente, para Braconidade foram encontrados os gêneros *Heterospilus* e *Bracon* parasitando *A. schrankiae*. Marsh (1997) estima em 300 o número de espécies de *Heterospilus* na Região Neotropical, a maioria parasitando

larvas de coleópteros broqueadores. As espécies do gênero *Horismenus* (Eulophidae) são encontradas parasitando principalmente Coleoptera, sendo algumas espécies hiperparasitóides de outros himenópteros (Schauff *et al.*, 1997). Na família Eupelmidae, as espécies dos gêneros *Brasema* e *Eupelmus* são parasitóides larvais ou pupais, primários ou secundários de um grande número de insetos holometábolos (Gibson, 1997). Na família Eurytomidae, indivíduos do gênero *Eurytoma* parasitam insetos de várias ordens, dentre as quais Coleoptera (DiGiulio, 1997). Na família Pteromalidae, família que teve maior representatividade, espécies do gênero *Lyracus* são parasitóides de Bruchidae, Curculionidae (Coleoptera) e também de Cecidomyiidae (Diptera) (Boucek & Heydon, 1997).

Veldtman & McGeoch (2004) compararam cinco métodos de investigação de padrões de dependência espacial, em que quatro deles eram baseados em modelos de regressão, com enfoque espacialmente implícito, e outro, o método SADIE, com enfoque espacialmente explícito. Após a aplicação do SADIE, a associação espacial entre a densidade do hospedeiro e a porcentagem de parasitismo foi determinada. Quando associações significativas foram encontradas os autores chamaram o padrão observado de dependência de densidade espacialmente associada. Constatou-se neste estudo que a dependência de densidade espacialmente associada (ou dependência de densidade direta) foi detectada com maior frequência através do método SADIE, obtida pela análise do grau de associação entre populações, quando comparado com os demais métodos. Desta forma, tais métodos espacialmente explícitos (SADIE e associação espacial) parecem oferecer uma melhor alternativa com relação aos métodos tradicionais de quantificação de dependência de densidade espacial. Estes métodos não violam o pré-suposto estatístico de independência espacial (Perry *et al.*, 2002) e incorporam informação espacial relevante biologicamente (Perry, 1998) tanto para a densidade do hospedeiro como para o risco de parasitismo.

Através da estatística convencional, a maioria dos estudos que investigam as relações entre hospedeiros e parasitóides tem detectado padrões independentes e inversamente dependentes da densidade espacial (ex. Stiling, 1987; Walde & Murdoch, 1988). Alguns mecanismos que levam a padrões de parasitismo inversamente dependentes da densidade incluem: 1) parasitóides que deixam os 'patches' em taxas constantes para evitar o auto-superparasitismo (Rosenheim & Mangel, 1994), 2) desaceleração na resposta funcional causada por comportamentos tais como, tempo de manuseio ou defesa em grupo (Hunter, 2000), e 3) interferência entre parasitóides

(Walde & Murdoch, 1988; Ives, 1992). Apesar de alguns estudos apontarem que a quantificação da dependência de densidade depende das características dos inimigos naturais e dos hospedeiros (Roland & Taylor, 1997; Williams *et al.*, 2001), da escala espacial de estudo (Heads & Lawton, 1983; Ray & Hastings, 1996), e do poder estatístico dos testes utilizados, ainda acredita-se que a dependência de densidade ocorra em baixa frequência em condições naturais (Hails & Crawley, 1992). No entanto, este estudo sugere que o método utilizado para se quantificar a dependência de densidade espacial é determinante, corroborando com o estudo de Veldtman & McGeoch (2004), demonstrando que padrões diretamente dependentes da densidade devem ser muito mais freqüentes em populações naturais do que se sugere.

As figuras 5 e 7 mostram claramente que apesar de haver uma queda na densidade de bruquídeos e parasitóides ao longo das coletas, o inverso aconteceu com a taxa de parasitismo. Portanto, nas densidades mais baixas ocorreram as taxas de parasitismo mais expressivas. Esta relação mostra que os parasitóides podem ser bem eficientes em encontrar seu hospedeiro (bruquídeos) em densidades baixas, sendo provavelmente importante para a manutenção de suas populações para as próximas gerações.

No presente estudo padrões independentes, inversamente dependentes e diretamente dependentes da densidade espacial foram observados. É interessante notar que a constatação de tais padrões foi dependente do momento de observação. Nas primeiras coletas, quando os bruquídeos estavam em altas densidades (Figs. 4 e 6), padrões inversamente e independentes da densidade foram predominantes (Tabela 6). No entanto, quando a densidade de bruquídeos decresceu nas coletas seguintes, o padrão de parasitismo diretamente dependente da densidade foi observado para ambos os anos (Tabela 6). Portanto, os parasitóides integrantes deste sistema (Figs. 10 e 11) devem ser eficientes em encontrar larvas de bruquídeos em baixas densidades a ponto de gerar padrões dependentes da densidade, corroborando com o fato da taxa de parasitismo ter sido crescente ao longo das coletas (Figs. 5 e 7). É possível que os parasitóides não tenham sido capazes de responder numericamente às altas densidades de bruquídeos verificadas no início das coletas, gerando baixas taxas de parasitismo em *patches* de altas densidades de bruquídeos, explicando a dissociação significativa encontrada na primeira coleta do ano de 2006 e quando o total das coletas foi considerado em ambos os anos (Tabela 6, Figs. 16 e 18).

Winder *et al.* (2001) demonstraram que as populações do predador *Pterostichus melanarius* e das presas *Metopolophium dirhodum* e *Sitobion avenae* estavam fortemente acopladas espacialmente, principalmente em situações de atraso de tempo, de forma que as taxas de crescimento das presas foram significativamente afetadas pelos predadores. Desta forma, os autores concluíram que a dinâmica espaço-temporal das populações foi efêmera. No presente estudo, associações espaço-temporal significativas com e sem atraso de tempo entre bruquídeos e parasitóides foram observadas. No entanto, associações mais intensas foram observadas em associações espaciais sem atraso de tempo (Figs. 23 e 25). Quando associações espaço-temporal foram analisadas entre os bruquídeos e a porcentagem de parasitismo, novamente resultados significativos foram observados em situações com e sem atraso de tempo (Figs. 24 e 26). No entanto, associações espaciais com atraso de tempo foram raras no ano de 2006, e mais intensamente observadas no ano de 2007, tanto para o número de parasitóides como para a taxa de parasitismo (Figs. 23, 24, 25 e 26). Conseqüentemente, este estudo apresenta evidências de que as populações de bruquídeos e parasitóides são dinamicamente acopladas, mas tal padrão foi dependente do ano de observação. O alto grau de associação espacial entre bruquídeos e parasitóides (Tabela 6) e a dinâmica de acoplamento hospedeiro-parasitóide observada (com e sem atraso de tempo), podem ter sido fatores chave para que padrões de dependência de densidade espacial fossem significativamente quantificados no sistema em questão.

Devido a dissociações espaciais significativas terem sido encontradas entre os conteúdos de fenóis e as populações de bruquídeos e parasitóides, conclui-se que as maiores densidades de bruquídeos e parasitóides eram encontradas nos ramos com menores conteúdos de compostos fenólicos. Considerando o total de coletas, constatou-se uma associação espacial significativa entre bruquídeos e parasitóides, ocorrendo o oposto para as taxas de parasitismo. Portanto, associações positivas entre parasitóides e bruquídeos foram observadas justamente nos ramos com menores conteúdos de fenóis, resultando nas menores taxas de parasitismo. Assim, estes resultados mostram que variações no conteúdo dos compostos fenólicos entre os ramos proporcionaram heterogeneidade espacial na qualidade dos frutos de *M. bimucronata*, influenciando a distribuição dos bruquídeos e seus parasitóides, com implicações diretas para os padrões espaciais do parasitismo observados.

Sabe-se que as características nutricionais das plantas influenciam os insetos herbívoros, afetando, por exemplo, o tamanho corporal, a abundância e a fecundidade

destes insetos (Awmack & Leather, 2002; Strauss & Zangerl, 2002). Além disso, as características nutricionais das plantas podem variar espacialmente, levando-se em conta diferentes escalas espaciais, ou seja, variações são esperadas entre populações de plantas, entre plantas e mesmo entre diferentes partes dentro de uma mesma planta (Gaston *et al.*, 2004; Roslin *et al.*, 2006; Gripenberg & Roslin, 2007). Considerando que insetos de níveis tróficos superiores como os parasitóides também podem ser afetados pela qualidade da planta, efeito esse mediado pelos insetos herbívoros (Teder & Tamaru, 2002; Hunter, 2003), tais variações espaciais dos efeitos tipo “bottom-up” também podem interferir na dinâmica espacial hospedeiro-parasitóide. Portanto, os resultados do presente estudo corroboram com a hipótese de que as características nutricionais da planta, neste caso o conteúdo de fenóis, podem influenciar significativamente a dinâmica espacial hospedeiro-parasitóide em escala local através de alterações na abundância populacional dos hospedeiros e seus parasitóides entre os *patches*, os quais foram aqui representados pelos ramos de *M. bimucronata*.

## 6. Conclusões

1. Os parasitóides podem ter sido eficientes em encontrar o hospedeiro em baixas densidades, o que poderia justificar a observação de padrões diretamente dependentes da densidade nas densidades mais baixas.
2. A ocorrência dos padrões de distribuição agregado e aleatório, tanto para os bruquídeos como para os parasitóides, foi dependente do momento de observação.
3. A ocorrência dos padrões de parasitismo independente, inversamente dependente e diretamente dependente da densidade espacial foi dependente do momento de observação.
4. Através da utilização do método SADIE conclui-se que o padrão diretamente dependente da densidade espacial deve ocorrer com mais frequência em populações naturais do que se sugere.
5. Apesar de associações espaciais sem atraso de tempo entre bruquídeos e parasitóides terem sido predominantes, os parasitóides podem ter respondido significativamente aos padrões de distribuição espacial apresentados pelos bruquídeos em momentos anteriores.

6. Variações nos conteúdos de fenóis entre os frutos de diferentes ramos de *M. bimucronata* alteraram significativamente a abundância populacional dos bruquídeos e seus parasitóides, interferindo no padrão espacial do parasitismo.



## 7. Referências Bibliográficas

- A.O.A.C. (1995) *Official methods of analysis of AOAC Internacional*. (ed Cuniff, P. Z.). 16ed, v1, cap.3, Arlington, Virginia, EUA.
- Awmack, C.S. & Leather, S. R. (2002) Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annual Review of Entomology*, **47**, 817-844.
- Boucek, Z. & Heydon, S.L. (1997) Pteromalidae. *Annotated keys to the genera of Nearctic Chalcidoidea (Hymenoptera)*. (eds Gibson, G.A.P.; Huber, J.T.; Woolley, J.B.) pp. 541-692, Ottawa: NRC Research Press.
- Brasil (1992) *Regras para análise de sementes*. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, SNDA/DNDV/CLAV, Brasília.
- DiGiulio, J.A. (1997) Eurytomidae. *Annotated keys to the genera of Nearctic Chalcidoidea (Hymenoptera)*. (eds Gibson, G.A.P.; Huber, J.T.; Woolley, J.B.) pp. 477-495, Ottawa: NRC Research Press.
- Folin, O. & Ciocalteu, V. (1927) On tyrosine and tryptophane determination in proteins. *Journal of Biological Chemistry*, **73**, 424-427.
- Forkner, R. E. & Hunter, M. D. (2000) What Goes up Must Come down? Nutrient Addition and Predation Pressure on Oak Herbivores. *Ecology*, **81**, 1588-1600.
- Gaston, K. J., Genney, D. R., Thurlow, M., and Hartley, S. E. (2004) The geographical range structure of the holly leaf-miner. IV. Effects of variation in host-plant quality. *Journal of Animal Ecology*, **73**, 911-924.
- Gibson, G.A.P. (1997) Eupelmidae. *Annotated keys to the genera of Nearctic Chalcidoidea (Hymenoptera)*. (eds Gibson, G.A.P.; Huber, J.T.; Woolley, J.B.) pp. 430-476, Ottawa: NRC Research Press.
- Gripenberg, S., and Roslin, T. (2007) Up or down in space? Uniting the bottom-up versus top-down paradigm and spatial ecology. *Oikos*, **116**, 181-188.
- Hails, R. S. & Crawley, M. J. (1992) Spatial density dependence in populations of a cynipid gall-former *Andricus quercuscalicis*. *Journal of Animal Ecology*, **61**, 567-583.
- Hassell, M. P. (1984) Parasitism in patch environments: inverse density dependence can be stabilizing. *IMA Journal of Mathematics Applied in Medicine and Biology*, **1**, 123-133.
- Hassell, M. P. (2000) *The spatial and temporal dynamics of host-parasitoid interactions*. Oxford University Press, Oxford, UK.

- Hassell, M. P., Latto, J. & May, R. M. (1989) Seeing the wood for the trees: detecting density dependence from existing life tables studies. *Journal of Animal Ecology*, **58**, 883-892.
- Heads, P. A. & Lawton, J. H. (1983) Studies on the natural enemy complex of the holly leaf-miner: the effects of scale on the detection of aggregative responses and the implications for biological control. *Oikos*, **40**, 267-276.
- Horwitz, H. (ed.) (1955). Official methods of analysis of the association of official agricultural chemists. *Association of Official Agricultural Chemists*, 8ed., Washington, EUA.
- Hunter, A. S. (2000) Gregariousness and repellent defenses in the survival of phytophagous insects. *Oikos*, **91**, 213-224.
- Hunter, M. D. (2003) Effects of plant quality on the population ecology of parasitoids. *Agricultural and Forest Entomology*, **5**, 1-8.
- Hunter, M. D. Varley, G. C. & Gradwell, G. R. (1997) Estimating the relative roles of top-down and bottom-up forces on insect herbivore populations: A classic study revisited. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **94**, 9176–9181.
- Ives, A. R. (1992) Density-dependent and density-independent parasitoid aggregation in host-parasitoid systems. *American Naturalist*, **140**, 912-937.
- Kestring, D (2007) Comportamento Germinativo e Predação de Sementes em *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze (Fabaceae:Mimosoideae): Dinâmica de Germinação, Hipoxia e Qualidade Nutricional. Dissertação de mestrado em Ciências Biológicas (Botânica) - Instituto de Biociências, Campus de Botucatu, Botucatu, SP.
- Marsh, P.M. (1997) Subfamily Doryctinae. *Manual of the New World genera of the Family Braconidae (Hymenoptera)*. (eds Wharton, R.A.; Marsh, P.M.; Sharkey, M.J.) pp. 207-233, Lawrence: The International Society of Hymenopterists.
- Menezes, L. C. C. R. Efeito da predação por *Acanthoscelides schrankiae* (Coleóptera: Bruchidae) e de altas temperaturas na germinação de sementes de *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze (Fabaceae: Mimosoideae). Dissertação de mestrado em Ciências Biológicas (Botânica) - Instituto de Biociências, Campus de Botucatu, Botucatu, SP.
- Moon, D. C. & Stiling, P. (2006) Trade-off in oviposition strategy: choosing poor quality host plants reduces mortality from natural enemies for a salt marsh planthopper. *Ecological Entomology*, **31**, 236–241.

- Ortega, V. R. & Engel, V. L. (1992) Conservação da biodiversidade de remanescentes de Mata Atlântica na região de Botucatu, SP. *Revista do Instituto Florestal*, **4**, 839-852.
- Perry, J. N. (1995) Spatial analysis by distance indices. *Journal of Animal Ecology*, **64**, 303-314.
- Perry, J. N. (1996) Simulating spatial patterns of counts in agriculture and ecology. *Computers and Electronics in Agriculture*, **15**, 93-109.
- Perry, J. N. (1998) Measures of spatial pattern for counts. *Ecology*, **79**, 1008-1017
- Perry, J. N. & Dixon, P. M. (2002) A new method to measure spatial association for ecological count data. *Ecoscience*, **9**, 133-141.
- Perry, J. N., Winder, L., Holland, J. M. & Alston, R. D. (1999) Red-blue plots for detecting clusters in count data. *Ecology Letters*, **2**, 106-113.
- Perry, J. N., Liebhold, A., Rosenberg, M. S., Dungan, J., Miriti, M., Jakomulska, A. & Citron-Pousty, S. (2002) Illustration and guidelines for selecting statistical methods for quantifying spatial patterns in ecological data. *Ecography*, **25**, 578-600.
- Power, M. E. (1992) Top-Down and Bottom-Up Forces in Food Webs: Do Plants Have Primacy. *Ecology*, **73**, 733-746.
- Price, P. W. (1997) *Insect ecology*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- Ray, C. & Hastings, A. (1996) Density dependence: are we searching at the wrong spatial scale? *Journal of Animal Ecology*, **65**, 556-566.
- Roland, J. & Taylor, P. D. (1997) Insect parasitoid species respond to forest structure at different scales. *Nature*, **386**, 710-713.
- Rosenheim, J. A. & Mangel, M. (1994) Patch-leaving rules for parasitoids with imperfect host discrimination. *Ecological Entomology*, **19**, 374-380.
- Roslin, T., Gripenberg, S., Salminen, J. P., Karonen, M., O'hara, R. B., Pihlaja, K., and Pulkkinen, P. 2006. Seeing the trees for the leaves – oaks as mosaics for a host-specific moth. *Oikos*, **113**, 106–120.
- Schauff, M.E.; LaSalle, J.; Coote, L.D. (1997) Eulophidae. *Annotated keys to the genera of Nearctic Chalcidoidea (Hymenoptera)*. (eds Gibson, G.A.P.; Huber, J.T.; Woolley, J.B.) pp. 327-429, NRC Research Press, Ottawa.
- Silva, L. A., Maimoni-Rodella, R. C. S. & Rossi, M. N. (2007) A Preliminary Investigation of Pre-Dispersal Seed Predation by *Acanthoscelides schrankiae* Horn (Coleoptera: Bruchidae) in *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze Trees. *Neotropical Entomology*, **36**, 197-202.

- Stiling, P. D. (1987) The frequency of density dependence in insect host-parasitoid systems. *Ecology*, **68**, 844-856.
- Stiling, P. D., Throckmorton, A., Silvanima, J. & Strong, D. (1991) Does scale affect the incidence of density dependence? A field test with insect parasitoids. *Ecology*, **72**, 2143-2154.
- Strauss, S.Y. & Zangerl, A.R. (2002) Plant-insect interactions in terrestrial ecosystems. *Plant-Animal Interactions: An Evolutionary Approach* (eds C.M. Herrera and O. Pellmyr), pp. 77-106. Blackwell Publishing, Oxford, UK.
- Teder, T. & Tammaru, T. (2002) Cascading effects of variation in plant vigour on the relative performance of insect herbivores and their parasitoids. *Ecological Entomology*, **27**, 94-104.
- Townsend, C. R., Begon, M. & Harper, J. L. (2006) *Fundamentos em Ecologia*. 2ed. Artmed, Porto Alegre, BR.
- Turchin, P. (1990) Rarity of density dependence or population regulation with lags? *Nature*, **344**, 660-663.
- Turchin, P. (1995) Population regulation: old arguments and a new synthesis. *Population dynamics: new approaches and synthesis* (eds N. Cappuccinno & P. W. Price) pp. 19-40. Academic Press, London.
- Veldtman, R. & McGeoch, M. A. (2004) Spatially explicit analyses unveil density dependence. *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, **271**, 2439-2444.
- Walde, S. J., Murdoch, W. W. (1988) Spatial density dependence in parasitoids. *Annual Review Entomology*, **33**, 441-466.
- Williams, I. S., Jones, T. H., & Hartley, S. E. (2001) The role of resources and natural enemies in determining the distribution of an insect herbivore population. *Ecological Entomology*, **26**, 204-211.
- Winder, L., Alexander, C. J., Holland, J. M., Woolley, C. & Perry, J. N. (2001) Modelling the dynamic spatio-temporal response of predators to transient prey patches in the field. *Ecology Letters*, **4**, 568-576.
- Woiwod, I. P. & Hanski, I (1992) Patterns of density dependence in moths and aphids. *Journal of Animal Ecology*, **61**, 619-629.
- Xu, X. M. & Madden, L. V. (2004) Use of SADIE statistics to study spatial dynamics of plant disease epidemics. *Plant Pathology*, **53**, 38-49.

## Capítulo 2

### “Riqueza de Espécies de Bruquídeos e suas Plantas Hospedeiras em um Fragmento de Floresta Estacional Semidecidual”

#### Resumo –

O presente estudo teve como objetivo investigar a riqueza de espécies de bruquídeos e de suas plantas hospedeiras em um fragmento de floresta estacional semidecidual denominado “Mata da Bica”, no município de Botucatu, SP. Para tanto foram selecionadas 16 espécies de plantas pertencentes a famílias potencialmente hospedeiras de bruquídeos e realizadas coletas mensais de frutos durante um ano (abril/2007 a março/2008), tanto na borda como no interior do fragmento. Também foi feito o acompanhamento da fenologia reprodutiva das plantas, verificando-se a ausência ou presença de frutos. Após a coleta os frutos foram levados ao laboratório onde foram colocados em potes plásticos com tampas teladas e mantidos em câmara climática para aguardar a emergência dos bruquídeos. A emergência de bruquídeos foi observada e quantificada periodicamente, e os insetos que emergiram foram enviados para identificação por especialista. Pela observação da fenologia constatou-se que as plantas selecionadas tiveram seu pico de frutificação nos meses de julho, agosto e setembro de 2007. Foi observada a emergência de um total de 1041 bruquídeos em cinco espécies de plantas, *Bauhinia forficata*, *Leucaena leucocephala*, *Lonchocarpus muehlbergianus*, *Peltophorum dubium* e *Senna obtusifolia*, acredita-se que de cada espécie de planta ocorreu a emergência de uma espécie de bruquídeo. A espécie que apresentou maior número de bruquídeos emergindo se seus frutos foi *L. leucocephala*. Devido a esta alta infestação foi realizado um teste de germinação para avaliar o nível de dano causado pelos bruquídeos, verificando-se que estas sementes não germinam após serem consumidas pelas larvas do bruquídeo.

**Palavras-chave:** Bruchidae; riqueza de espécies; floresta estacional semidecidual; interação inseto-planta; predação de sementes.

## **“Species Richness of bruchids and their host plants in a semi-deciduous Forest fragment“**

### **Abstract –**

This study aimed to investigate species richness of bruchids and their host plants in a semi-deciduous forest fragment named as “Mata da Bica” (Botucatu-SP). Sixteen plants from families considered as potential hosts for bruchids were previously selected in the field, and fruits were monthly collected for a year (April/2007- March/2008). Fruits were collected at two locations, in the edge and in the interior of the fragment. The reproductive phenology of plants was also recorded, verifying either the absence or presence of fruits. After sampling, fruits were taken to the laboratory and kept in transparent recipients covered with *Voil* fabric. After emergence, insects were sent for identification by specialist. Most plants presented highest fructification on July, August and September of 2007. It was observed 1041 bruchids emerging from fruits from five plant species, *Bauhinia forficata*, *Leucaena leucocephala*, *Lonchocarpus muehlbergianus*, *Peltophorum dubium* and *Senna obtusifolia*, and probably one bruchid species emerged from one plant species. *L. leucocephala* presented the highest number of bruchids emerging from its fruits. Therefore, a germination test was carried out to evaluate the damage caused by bruchids, and it was observed that predated seeds did not germinate after being attacked by bruchid larvae.

**Key-words:** Bruchidae; species richness; semi-deciduous forest; insect-plant interaction; seed predation.

## 1. Introdução

Uma maneira de caracterizar uma comunidade é contar as espécies presentes, um procedimento direto que possibilita a descrição da comunidade através de sua riqueza de espécies (Pinheiro *et al.*, 1998). A riqueza de espécies de um ambiente pode ser entendida como o número de espécies presentes em uma determinada área, uma unidade geográfica, e esta riqueza é influenciada por diversos fatores que podem variar espacialmente (ex. produtividade, heterogeneidade espacial) e temporalmente (ex. variações climáticas, idade do ambiente). As plantas, por exemplo, proporcionam uma grande variedade de microhabitats e uma grande variedade de recursos alimentares para os animais, podendo, desta forma, aumentar a riqueza tanto de herbívoros como de seus inimigos naturais (Begon *et al.*, 2007).

Em geral, as Florestas Estacionais Semidecíduais que atualmente ocupam parte do estado de São Paulo, são caracterizadas pela elevada fragmentação em função de perturbações de ordem variada (dentre outros). Esta formação florestal tem características de descontinuidade, sendo entremeada por áreas de cerrado (em várias fisionomias), campos rupestres e mais raras formações campestres. Apresenta também em sua composição a família Fabaceae, com uma grande representatividade (Leitão-Filho, 1987).

A floresta estacional semidecidual foi o tipo florestal mais rápido e extensamente devastado no estado de São Paulo e em toda a sua área de ocorrência natural. A devastação dessas florestas ocorreu associada à expansão da fronteira agrícola, já que ocupavam solos de maior fertilidade no Estado de São Paulo, em regiões com relevo favorável à agricultura. Dos fragmentos remanescentes, poucos têm área representativa e encontram-se preservados (Durigan *et al.*, 2000).

A família Bruchidae desenvolve-se em sementes, alimentando-se exclusivamente delas, grande número de espécies desta família encontram-se na região Tropical (Southgate, 1979; Romero-Napoles, 2002). São as larvas que se desenvolvem e alimentam-se das sementes, consumindo principalmente o embrião; os adultos de Bruchidae apenas se reproduzem, pois não se alimentam ou alimentam-se apenas de néctar ou pólen.

Os estágios imaturos das espécies de Bruchidae alimentam-se de aproximadamente 34 famílias de plantas, especialmente Fabaceae. Esta especificidade apresentada pela maioria dos bruquídeos com relação às plantas hospedeiras tem grande

importância como elemento regulador das populações naturais dos hospedeiros silvestres, visto que as larvas de Bruchidae destroem a forma de dispersão destas plantas (sementes) (Romero-Napoles, 2002). Segundo Alvarez *et al.* (2006), aproximadamente 100 espécies se desenvolvem em Faboideae, 35 em Mimosoideae, e seis em Caesalpinioideae. Uma minoria alimenta-se em outras famílias que não as leguminosas, dentre as quais podemos citar Apiaceae, Cistaceae, Lythraceae, Malvaceae, Onagraceae, Rhamnaceae e Verbenaceae. Esta alta especificidade entre bruquídeos e plantas hospedeiras foi demonstrada por Janzen (1980) em estudo com espécies da Costa Rica, no qual ele salienta que a especificidade entre “presa e predador” é um importante fator no entendimento do impacto dos animais na riqueza de espécies de plantas.

A maioria das espécies descritas de bruquídeos são oligófagas ou monófagas (Jermy & Szentesi, 2003; Alvarez *et al.*, 2006). No entanto, a relação entre o número de espécies de bruquídeos por planta hospedeira pode variar, no geral encontrando-se uma espécie de bruquídeo associada a uma espécie vegetal, mas duas ou mais espécies podem estar associadas a uma espécie vegetal (Lorea-Barocio *et al.*, 2006).

Muitas espécies de bruquídeos e suas plantas hospedeiras ainda precisam ser descobertas e descritas, pois pouco é conhecido, principalmente nas regiões tropicais (Romero-Napoles, 2002). O fato dos bruquídeos desenvolverem-se no interior das sementes torna a coleta de frutos das plantas potencialmente hospedeiras uma maneira eficiente de avaliar quais plantas são utilizadas como recursos pelos bruquídeos (Jermy & Szentesi, 2003). Segundo Southgate (1979), para o estudo desta família faz-se necessário ampliar as coletas de sementes e frutos de plantas hospedeiras e, desta forma, adquirir novos registros das espécies de bruquídeos e plantas ocorrentes em determinada localidade. Além disso, a determinação dos níveis de danos (taxas de predação e danos nas sementes) causados por estes insetos em condições naturais é muito importante, uma vez que podem fornecer estimativas da pressão de predação sofrida pelas plantas hospedeiras.

Apesar de já ter sofrido desmatamento, o fragmento de floresta estacional semidecidual denominado “Mata da Bica”, localizado no Município de Botucatu-SP, atualmente encontra-se recuperado e apresenta em sua composição famílias de plantas potencialmente hospedeiras de bruquídeos (Fonseca & Rodrigues, 2000), o que justifica a escolha deste local para a realização deste estudo.



## 2. Objetivo

O principal objetivo do presente estudo foi avaliar a riqueza de espécies de bruquídeos e de suas plantas hospedeiras em um fragmento de floresta estacional semidecidual. Também tem como objetivo quantificar os níveis de danos causados pelos bruquídeos.

## 3. Material e métodos

### 3.1 Área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido em área da Fazenda Experimental Edgardia (22°48'S; 48°24'W) (Fig. 1), pertencente à Universidade Estadual Paulista – UNESP (Faculdade de Ciências Agrônomicas), situada na bacia do rio Capivara, no município de Botucatu, Estado de São Paulo. Os fragmentos da Fazenda Edgardia enquadram-se na unidade fitogeográfica denominada Floresta Estacional Semidecidual (IBGE, 1991) ou no tipo Floresta Mesófila Semidecídua (Rizzini, 1979), ocorrendo na área de transição da Depressão Periférica para Cuesta Basáltica. Segundo Carvalho *et al.* (1991), a fazenda apresenta diversos tipos de solo, variando de Latossolo Roxo até solos hidromórficos ricos em sedimentos férteis. O clima é do tipo Cwb de Koeppen, mesotérmico de inverno seco (Carvalho *et al.*, 1983). A fazenda conta com aproximadamente 1000 ha de remanescentes florestais pouco alterados e áreas que passaram por vários níveis de perturbações antrópicas, além de ambientes de várzea e cerrado. Cerca de 20% do total de remanescentes são de mata primária, que correspondem ao trecho escarpado da encosta, de difícil acesso. Os demais variam de mata primária alterada por extração seletiva de madeira, mata secundária tardia alta, matas alteradas por incêndios, matas secundárias e capoeiras jovens ou degradadas pela passagem do fogo, além das matas ciliares (Ortega & Engel, 1992).

Este fragmento de floresta secundária tardia alta é denominado “Mata da Bica”. Apesar de já ter sofrido desmatamento, atualmente a área apresenta-se estruturalmente recuperada, apresentando dossel de até 30m e áreas com grandes clareiras dominadas por lianas e bambusóides de gênero *Chusquea* (Silva Filho & Engel, 1993). Cerca de um terço do total da borda do fragmento está acessível, pois é um trecho que permite o trânsito de veículos. Já no interior do fragmento, existem duas trilhas definidas, nos

sentidos Norte-Sul e Leste-Oeste (Fig. 1). No topo do fragmento, na região central, estão alocadas 200 parcelas de 10m x 10m, formando uma malha de 200m x 100m (Fig. 2). Estas parcelas fizeram parte de um amplo estudo de análise estrutural e composição florística (Fonseca & Rodrigues, 2000) e atualmente são utilizadas para estudos diversos por pesquisadores dos Departamentos de Botânica e Ciências Florestais da Unesp de Botucatu-SP. Em algumas destas parcelas, ao longo das trilhas e na borda do fragmento, foram selecionadas as plantas marcadas para a realização da coleta mensal de frutos e acompanhamento fenológico.

### 3.2 Coleta de frutos

Coletas mensais de frutos de plantas potencialmente hospedeiras de bruquídeos foram realizadas durante um ano\*, na borda (até 10m para o interior), nas parcelas localizadas no interior do fragmento e no acesso ao fragmento. Estas coletas tiveram início no mês de abril de 2007, após a seleção e marcação das plantas, e se encerraram em março de 2008. Segundo Johnson (1981), Kergoat *et al.* (2005) e Alvarez *et al.* (2006) diversas espécies de bruquídeos, principalmente do gênero *Acanthoscelides*, ocorrem em plantas das famílias Apiaceae, Cistaceae, Lythraceae, Malvaceae, Onagraceae, Rhamnaceae, Verbenaceae e, principalmente, Fabaceae. Com o objetivo de avaliar a composição florística no interior da Mata da Bica, Fonseca & Rodrigues (2000) amostraram plantas de 31 famílias, onde plantas das famílias Fabaceae, Malvaceae, Rhamnaceae e Verbenaceae foram amostradas com frequência. Já plantas das famílias Apiaceae, Cistaceae, Lythraceae e Onagraceae, não foram observadas. Portanto, no presente estudo foram coletados frutos em plantas das famílias Fabaceae, Malvaceae, Rhamnaceae e Verbenaceae [de acordo com a classificação APG II (2003)]. Considerando que já foi feito um levantamento florístico na área (Fonseca & Rodrigues, 2000), muitas espécies foram identificadas diretamente no campo ou através de coleções de referência. No entanto, para aquelas plantas que não puderam ser identificadas no campo, uma amostra foi obtida durante o período de florescimento. O material vegetal coletado foi então levado ao laboratório, herborizado e encaminhado para a correta identificação das espécies.

---

\* Coletas mensais foram necessárias uma vez que existe certa assincronia no período de frutificação entre as plantas das diferentes famílias e algumas espécies podem produzir frutos durante todo o ano.

Plantas das famílias acima citadas localizadas nas parcelas e ao longo da borda do fragmento foram então marcadas e numeradas, possibilitando posterior identificação, num total de 52 indivíduos amostrados. A tabela 1 apresenta as espécies que foram marcadas e suas respectivas famílias, conforme a disponibilidade e o acesso a estas espécies no local.

Paralelamente a cada coleta mensal, foi realizado o acompanhamento da fenologia reprodutiva das plantas, determinando-se a presença ou a ausência de frutos nas plantas marcadas.

Quando as plantas selecionadas encontravam-se no período de frutificação, foram retirados aproximadamente 20 frutos por planta por coleta (este número variou, para uma quantidade maior ou menor, conforme a disponibilidade de frutos nas plantas) e colocados em sacos de papel, identificando-se a planta de origem e a data de coleta. No laboratório, os frutos foram transferidos para potes plásticos transparentes com tampa plástica telada (Fig. 3), permitindo a circulação de ar e mantidos em câmara climatizada (25°C). A emergência de bruquídeos foi observada e quantificada periodicamente. Quando foi observada a emergência de algum inseto, estes foram cuidadosamente retirados dos recipientes plásticos e colocados em álcool (70%). Os bruquídeos encontrados foram enviados para identificação por especialista<sup>1</sup>.

Após a emergência dos bruquídeos foi calculada a porcentagem de predação das sementes das espécies de plantas hospedeiras para as coletas em que houve emergência:  $Pp = 100.Np/Ns$ , onde  $Np$  é o número de sementes predadas e  $Ns$  é o total de sementes.

### 3.3 Avaliação do nível de dano em sementes de *Leucaena leucocephala* e da taxa de predação

Com o objetivo de avaliar o nível de dano causado por bruquídeos nas sementes, foi realizado teste de germinação das sementes de *Leucaena leucocephala* após todas as coletas e emergência dos insetos. Testes de germinação foram feitos com esta espécie de planta devido à alta infestação por bruquídeos (Fig. 4). Os frutos coletados foram dissecados e 200 sementes sadias e 200 sementes predadas foram retiradas e separadas para a germinação. Foram utilizadas quatro réplicas de 50 sementes para cada grupo.

---

<sup>1</sup> Os bruquídeos foram enviados para identificação para Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cibele Stramare Ribeiro-Costa, Departamento de Zoologia, Universidade Federal do Paraná – Curitiba, Paraná, Brasil.

Primeiramente as sementes sadias foram escarificadas com lixa d'água para quebra de dormência do tegumento (impermeabilidade do tegumento à água) (Teles *et al.*, 2000), as sementes predadas não foram escarificadas com lixa pois já apresentavam o orifício de emergência que possibilitou a permeabilidade à água. Após a escarificação as sementes foram colocadas sobre duas folhas de papel filtro umedecido com 12ml de água destilada (Brasil, 1992), em placas de Petri transparentes (14,5 cm x 1,5 cm). Cada placa correspondeu a uma repetição. Estas foram colocadas em câmara climática com temperatura de 25 °C e fotoperíodo de 12 horas de luz. As leituras foram feitas diariamente num período de 7 dias, até que a germinação estabilizasse. Com estes dados a porcentagem de sementes germinadas foi calculada nos dois tratamentos para quantificação do nível de dano causado nas sementes devido à predação.

Para os frutos das espécies que apresentaram emergência de bruquídeos, foi feito o cálculo da proporção de sementes predadas para comparar o nível de dano entre as espécies de plantas. Portanto, foi feita a contagem de sementes sadias e sementes predadas nos frutos em que houve emergência de bruquídeos com posterior cálculo da taxa de predação, considerando apenas as coletas com emergência de bruquídeos.



Fig. 1. Mata da Bica – entrada da trilha Leste-Oeste.



Fig. 2. Mata da Bica – topo do fragmento.



Fig. 3. Frutos acondicionados nos potes telados em câmara climatizada.

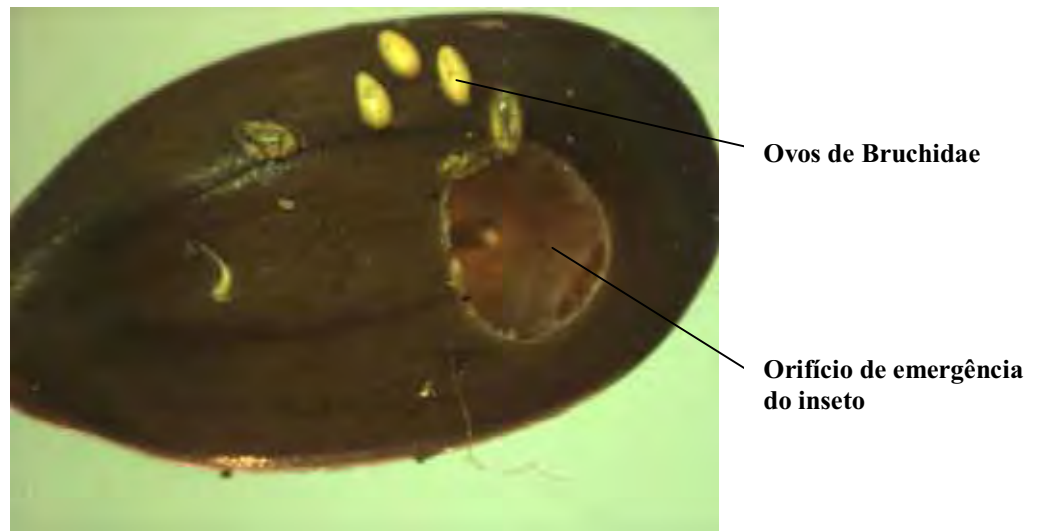


Fig. 4. Semente de *Leucaena leucocephala* predada.  
Em destaque: ovos e orifício de emergência do inseto.

Tabela 1. Famílias e espécies selecionadas para coleta de frutos e acompanhamento da fenologia.

<i>Família</i>	Espécie
Fabaceae	<i>Acacia polyphylla</i> DC.
	<i>Bauhinia forficata</i> Link
	<i>Centrolobium tomentosum</i> Guill. Ex Benth.
	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit
	<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i> Hassl.
	<i>Machaerium brasiliense</i> Vog.
	<i>Machaerium aculeatum</i> Raddi
	<i>Machaerium scleroxylum</i> Tul.
	<i>Machaerium stipitatum</i> [DC.]Vog
	<i>Myroxylon peruiferum</i> L.f.
	<i>Parapiptadenia rigida</i> [Benth.] Brenan.
	<i>Peltophorum dubium</i> [Spreng.] Taub.
	<i>Senna obtusifolia</i> (L.) Irwin & Barneby
Malvaceae	<i>Chorisia speciosa</i> St.Hil
Rhamnaceae	<i>Rhamnidium elaeocarpum</i> Reiss.
Verbenaceae	<i>Aloysia virgata</i> [Ruiz & Pav.]A.L.Juss.

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1 Riqueza de espécies de bruquídeos e suas plantas hospedeiras

Um total de 52 indivíduos distribuídos em 16 espécies de plantas foi amostrado na área de estudo. O número de indivíduos encontrados por espécie de planta e as respectivas famílias podem ser observados na tabela 2.

Com o acompanhamento da fenologia reprodutiva pôde ser observado que as diversas espécies selecionadas apresentaram frutificação bem distribuída ao longo dos meses, sendo que nos meses de julho, agosto e setembro a maioria das espécies estava em frutificação (11 espécies) e nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro apenas 5 espécies estavam com frutos. Algumas das espécies apresentaram um período de frutificação de longa duração, chegando a permanecer com frutos o ano todo, como *Bauhinia forficata*, ou quase o ano todo, como *Peltophorum dubium*, fato este que proporcionou a coleta de maior quantidade de frutos destas espécies (Tabela 3).

A primeira emergência de bruquídeo ocorreu em frutos da coleta realizada no mês de maio de 2007 e ao longo dos meses de coleta foi possível observar a emergência de bruquídeos em cinco espécies de plantas das 16 espécies amostradas. As espécies cujos frutos apresentaram emergência de bruquídeos foram *B. forficata*, *L. leucocephala*, *Lonchocarpus muehlbergianus*, *P. dubium* e *Senna obtusifolia*. Destas, *L. leucocephala* foi a espécie que apresentou maior número de indivíduos predando suas sementes, 988 no total, seguida de *B. forficata* que apresentou um total de 44 indivíduos, um número consideravelmente menor (Tabela 4). A distribuição da emergência dos bruquídeos nestas espécies ao longo dos meses pode ser observada na figura 5, onde é possível observar a grande diferença entre *L. leucocephala* e as demais espécies, e também que em *B. forficata* os insetos emergiram ao longo das coletas.

A figura 6 mostra o número de espécies em frutificação em cada mês de coleta e a quantidade de bruquídeos que emergiram dos frutos destas coletas, demonstrando um maior número de espécies frutificando nos meses de julho, agosto e setembro (já observado na tabela 3) e mostrando um pico na quantidade de bruquídeos emergentes no mês de dezembro de 2007. Apesar da menor parte das espécies estarem com frutos no mês de dezembro, este pico na emergência de bruquídeos ocorreu porque *L. leucocephala*, a espécie na qual constatou-se a maior emergência bruquídeos, era uma das espécies que possuía frutos para coleta neste mês.

Durante o período de observação, ocorreu a emergência de um total de 1041 bruquídeos, nas cinco espécies de plantas hospedeiras já mencionadas. A maior ocorrência dos bruquídeos deu-se em *L. leucocephala*, seguida de *B. forficata*, *P. dubium*, *S. obtusifolia* e *L. muehlbergianus* (Tabela 4). Todo o material coletado foi enviado à especialista para identificação e, portanto, foram denominadas espécies A, B, C, D, E e estão ilustradas na figura 7. Normalmente é encontrado predando sementes de *Bauhinia* sp. o gênero *Gibbobruchus* e em *Senna* sp. o gênero *Sennius* (Cibele S. Ribeiro-Costa, comunicação pessoal). Em *L. muehlbergianus* já foi observada a espécie *Ctenocolum crotonae* no Paraná (Sari *et al.*, 2002), mas faz-se necessária a confirmação de quais espécies foram encontradas nas plantas da “Mata da Bica”.

Acredita-se que cada espécie de bruquídeo encontrada ocorra em uma ou poucas plantas hospedeiras, pois a maioria dos bruquídeos apresenta comportamento monófago ou oligófago (Romero-Nápoles, 2002; Jermy & Szentesi, 2003; Tuda, 2007). Em geral, uma espécie de bruquídeo está relacionada com uma única planta hospedeira, esta, porém, podendo ser hospedeira de mais espécies de bruquídeos (Lorea-Barocio *et al.*, 2006).

Todas as espécies de plantas hospedeiras pertencem à família Fabaceae (Tabela 2). As larvas de Bruchidae, além de serem bastante específicas a espécies particulares de plantas, alimentam-se principalmente das pertencentes às leguminosas (Janzen, 1969; Janzen; 1980). Em estudo realizado por Janzen (1980) das 100 espécies de plantas por ele coletadas, cujas sementes eram predadas por bruquídeos, 63 (maioria) pertenciam às leguminosas, mas isto não significa que eles sejam restritos a este grupo.

Dos 44 bruquídeos que emergiram de *B. forficata*, 35 (79,5%) foram encontrados mortos dentro das sementes ainda perfurando o orifício de emergência (Fig. 8). Ernst (1992) diz que a última atividade de um bruquídeo antes de emergir é perfurar o orifício na semente, por onde ele emergirá. Se este orifício tem um diâmetro menor ou se falta energia para empurrar esta camada, o bruquídeo pode apresentar dificuldade para emergir, o que provavelmente pode explicar a alta porcentagem de bruquídeos mortos na “saída” pelo orifício de emergência em *B. forficata*.

*L. leucocephala* apresentou a maior porcentagem de predação de suas sementes nas coletas que houve emergência de bruquídeos (42,08%), no entanto, foi a espécie com maior quantidade de frutos. *S. obtusifolia* apresentou a menor porcentagem de predação de suas sementes (0,62%), pois também foi a espécie com menor quantidade de frutos coletados. Seus frutos possuíam muitas sementes mas estas, no entanto, pouco



predadas por bruquídeos (Tabela 5). Szentesi & Jermy (1995) observaram que em geral, a planta hospedeira possui sementes mais esféricas e com maior volume que as outras espécies, características estas que podem predizer a infestação por bruquídeos nas espécies de plantas. Além do tamanho das sementes outros fatores podem estar envolvidos na infestação de frutos por bruquídeos, como fatores químicos da planta, deiscência dos frutos e pêlos na parede dos frutos (Szentesi & Jermy, 1995). Após a dissecação dos frutos para cálculo da porcentagem de predação das sementes, observou-se que as sementes predadas possuíam características semelhantes às mencionadas por Szentesi & Jermy (1995), como grande volume ou formato esférico. Portanto, é possível que tais atributos físicos sejam significativos na determinação da ocorrência de bruquídeos na área de estudo. No entanto, estudos elaborados para testar esta hipótese são necessários.

Todos os frutos que foram observados a emergência de bruquídeos foram coletados diretamente dos ramos das plantas selecionadas. Determinadas espécies tiveram os frutos coletados do solo, devido à altura das plantas que impossibilitava coletas de seus ramos. Dos frutos coletados no solo, não foi observada emergência de bruquídeos. Em alguns casos observou-se apenas a emergência de poucos parasitóides, corroborando com estudo realizado por Grimm (1995) o qual não observou ataques bem sucedidos de bruquídeos a sementes expostas no solo.

Segundo Janzen (1987), os bruquídeos podem atuar como reguladores das populações naturais de suas plantas hospedeiras. Assim, devido à alta porcentagem de predação das sementes de *L. leucocephala*, é possível que os bruquídeos afetem significativamente a dinâmica populacional desta planta, mantendo suas populações em baixas densidades. Após a coleta dos frutos, foi observado em laboratório ovos de bruquídeos presentes tanto nas vagens como nas próprias sementes. No entanto, em estudo realizado por Raghu *et al.* (2005) com *Acanthoscelides macropthalmus*, bruquídeo predador de *L. leucocephala* na Austrália, verificou-se que a deiscência das vagens desta planta inviabilizava o desenvolvimento do bruquídeo, diminuindo seu ataque a partir do momento em que a vagem se abria e liberava suas sementes no solo. Portanto, a habilidade do bruquídeo em reduzir as densidades populações de *L. leucocephala* provavelmente diminui se a população destes insetos não aumentar rapidamente a ponto de utilizar as sementes antes da deiscência da vagem.

A ocorrência de bruquídeos nas espécies selecionadas foi relativamente baixa, apesar de várias plantas terem sido selecionadas. Em poucas plantas houve a

emergência de bruquídeos, e também a emergência de poucos insetos por espécie de planta, com exceção de *L. leucocephala* que apresentou um número bastante elevado de insetos. A importância do conhecimento da riqueza de espécies de bruquídeos reside no fato de que estes insetos são importantes predadores de sementes, podendo influenciar a composição das espécies de planta em um habitat (Janzen, 1987). A manutenção da riqueza de espécies de insetos nos trópicos é, portanto, ligada a manutenção da riqueza de espécies de plantas e preservação da diversidade, assim como a manutenção das espécies hospedeiras significa também manter a riqueza de espécies de insetos pela alta especificidade observada entre eles e suas plantas hospedeiras (Janzen, 1987). Mas vale salientar que diversos outros fatores podem influenciar a abundância e a distribuição de uma espécie de planta ou de um determinado inseto.

#### 4.2 Teste de Germinação de sementes de *Leucaena leucocephala*

Após realização do teste de germinação das sementes de *Leucaena leucocephala* foi observado que no tratamento com as sementes predadas não ocorreu a germinação de nenhuma semente, apresentando assim 0% de germinação, fato este que demonstra que a larva do bruquídeo consome principalmente o embrião das sementes durante seu desenvolvimento. No tratamento com as sementes sadias (não infestadas por bruquídeos) a porcentagem média de germinação foi de 59% ( $\pm 0,2$ ), mostrando que nas sementes sadias porcentagem de germinação é de mais da metade das sementes.

As vagens de *L. leucocephala* produzem uma grande quantidade de sementes viáveis facilitando sua propagação e germinação (Teles *et al.*, 2000). Nas sementes de *L. leucocephala* predadas por bruquídeos não ocorreu germinação, semelhante ao demonstrado por Tomaz *et al.* (2007) em sementes de *M. bimucronata* predadas por *Acanthoscelides schrankiae*. As sementes de *M. bimucronata* são fortemente afetadas pela predação, pois além das sementes predadas não germinarem as sementes sadias têm sua viabilidade reduzida se oriundas de frutos infestados. Ao contrário do observado por Raghu *et al.* (2005), as sementes de *L. leucocephala* predadas por *A. macrophthalmus* apresentavam germinação. Portanto, nelas o dano causado pelo bruquídeo nem sempre implicou na morte do embrião. Muitas vezes o dano causado pelo bruquídeo pode auxiliar a quebra de dormência das sementes, sendo imprescindível para a germinação de determinada espécie (Takakura, 2002). No entanto, no presente estudo esse efeito não foi observado para *L. leucocephala*.

Tabela 2. Número de indivíduos amostrados em cada espécie selecionada para coleta e fenologia e suas respectivas famílias.

<b>Família</b>	<b>Espécie</b>	<b>Nº de indivíduos</b>
Fabaceae	<i>Acacia polyphylla</i> DC.	1
	<i>Bauhinia forficata</i> Link	6
	<i>Centrolobium tomentosum</i> Guill. Ex Benth.	5
	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	1
	<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i> Hassl.	2
	<i>Machaerium brasiliense</i> Vog.	2
	<i>Machaerium aculeatum</i> Raddi	2
	<i>Machaerium scleroxylum</i> Tul.	5
	<i>Machaerium stipitatum</i> [DC.]Vog	5
	<i>Myroxylon peruiferum</i> L.f.	3
	<i>Parapiptadenia rigida</i> [Benth.] Brenan.	5
	<i>Peltophorum dubium</i> [Spreng.] Taub.	3
	<i>Senna obtusifolia</i> (L.) Irwin & Barneby	2
	Malvaceae	<i>Chorisia speciosa</i> St.Hil
Rhamnaceae	<i>Rhamnidium elaeocarpum</i> Reiss.	3
Verbenaceae	<i>Aloysia virgata</i> [Ruiz & Pav.]A.L.Juss.	2
<b>Total de indivíduos</b>		<b>52</b>

Tabela 3. Período de frutificação das espécies selecionadas na “Mata da Bica”, a partir de dados obtidos por meio da observação da fenologia reprodutiva das espécies.

Espécie	Período de Frutificação											
	2007									2008		
	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar
<i>Acacia polyphylla</i>	■	■	■									
<i>Aloysia virgata</i>						■			■			
<i>Bauhinia forficata</i>	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<i>Centrolobium tomentosum</i>		■	■	■	■	■						■
<i>Chorisia speciosa</i>	■	■	■	■	■	■	■					
<i>Leucaena sp.</i>								■	■	■	■	■
<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i>		■	■	■	■	■				■		
<i>Machaerium brasiliense</i>									■			
<i>Machaerium scleroxylum</i>	■	■	■	■	■	■	■	■			■	
<i>Machaerium stipitatum</i>			■	■	■	■	■	■				
<i>Machaerium nyctitans</i>				■	■	■	■	■	■			
<i>Myroxylon peruiferum</i>				■	■	■	■	■				■
<i>Parapiptadenia rigida</i>	■				■	■				■	■	■
<i>Peltophorum dubium</i>	■	■	■	■	■	■	■	■		■	■	■
<i>Rhamnidium elaeocarpum</i>				■	■							
<i>Senna obtusifolia</i>			■	■								

Tabela 4: Número de indivíduos de bruquídeos por espécies de planta hospedeira (as espécies de bruquídeos aguardam identificação).

Bruchidae	Nº de indivíduos	Espécie hospedeira
espécie A	44	<i>Bauhinia forficata</i>
espécie B	988	<i>Leucaena leucocephala</i>
espécie C	1	<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i>
espécie D	4	<i>Peltophorum dubium</i>
espécie E	4	<i>Senna obtusifolia</i>

Tabela 5: Porcentagem de predação das sementes nas espécies hospedeiras de bruquídeos.

Espécie hospedeira	Total de frutos	Total de sementes	Sementes predadas	% de Predação
<i>Bauhinia forficata</i>	72	306	55	<b>15,03%</b>
<i>Leucaena leucocephala</i>	263	3244	1365	<b>42,08%</b>
<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i>	45	58	4	<b>6,90%</b>
<i>Peltophorum dubium</i>	73	116	4	<b>3,45%</b>
<i>Senna obtusifolia</i>	14	645	4	<b>0,62%</b>

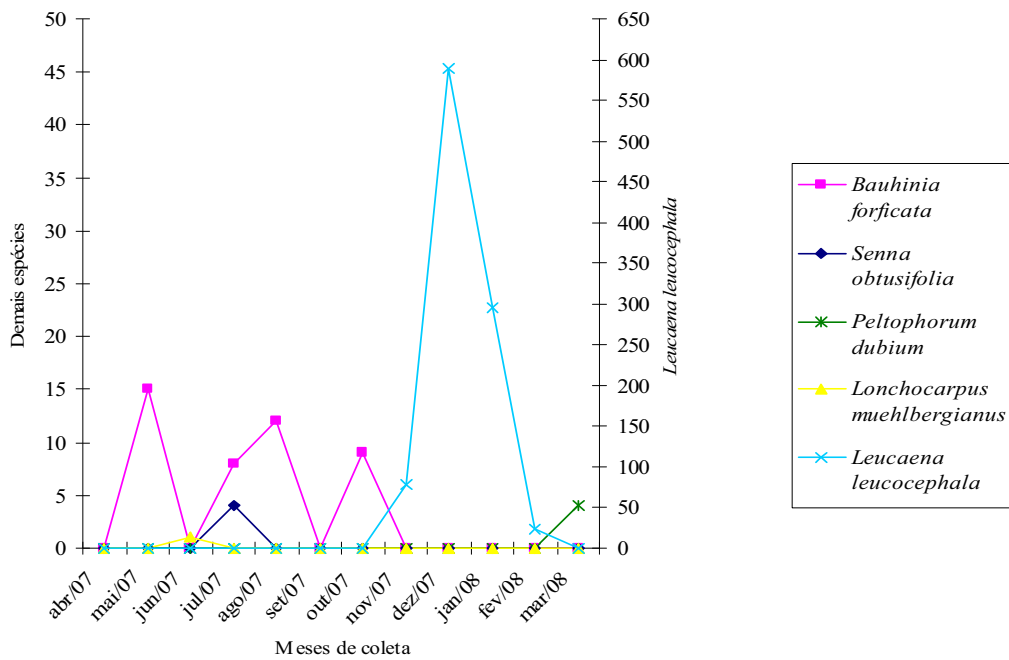


Fig. 5. Emergência de bruquídeos em cinco espécies de plantas hospedeiras ao longo dos meses de coleta.

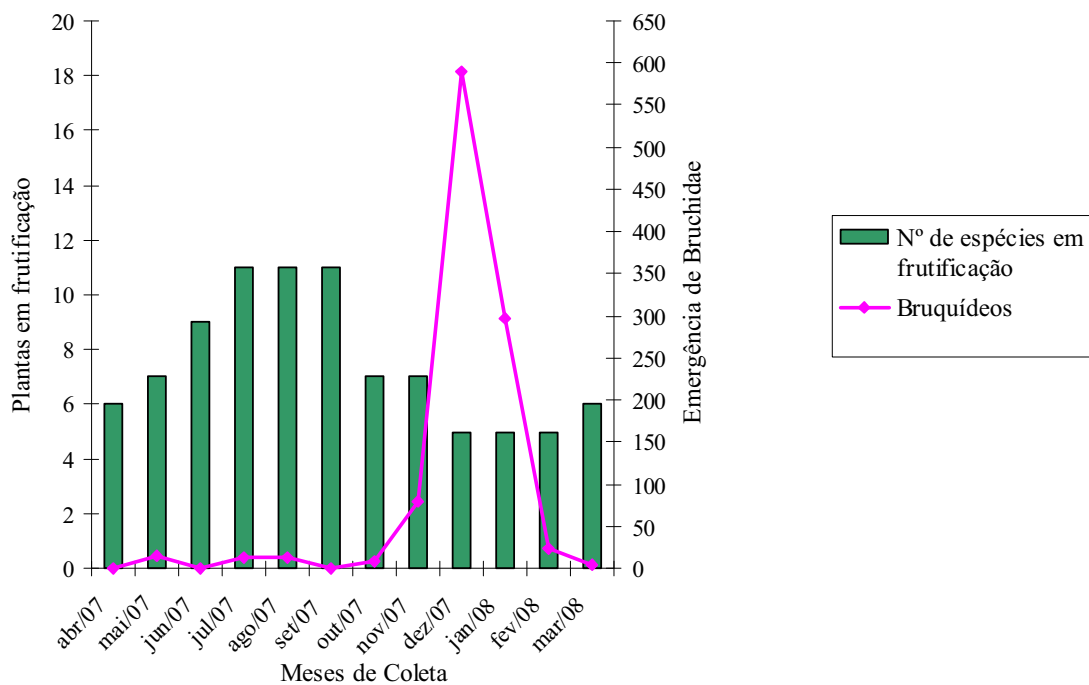


Fig. 6. Número de espécies em frutificação ao longo dos meses e quantidade de bruquídeos que emergiram dos frutos destas coletas.

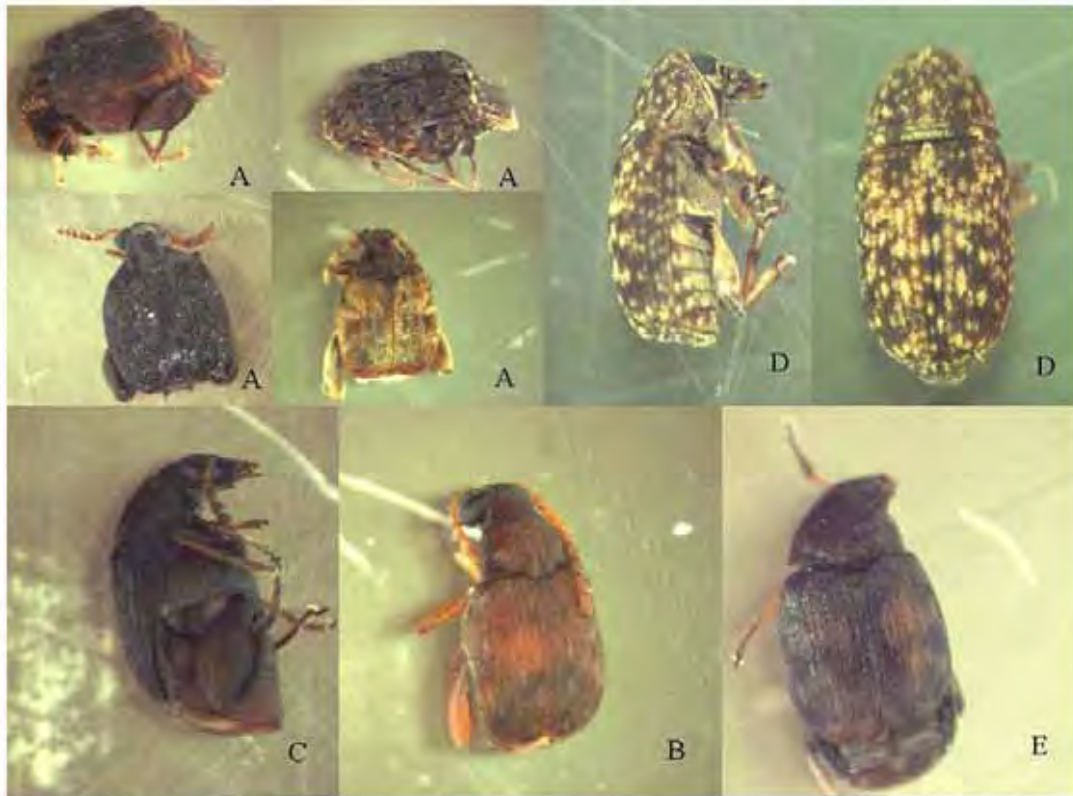


Fig. 7. Bruquídeos ocorrentes em espécies de plantas da “Mata da Bica”. Espécie A – de *Bauhinia forficata*; Espécie B – de *Leucaena leucocephala*; Espécie C – de *Lonchocarpus muehlbergianus*; Espécie D – de *Peltophorum dubium*; Espécie E – de *Senna obtusifolia* (os espécimes encontram-se em fase de identificação).

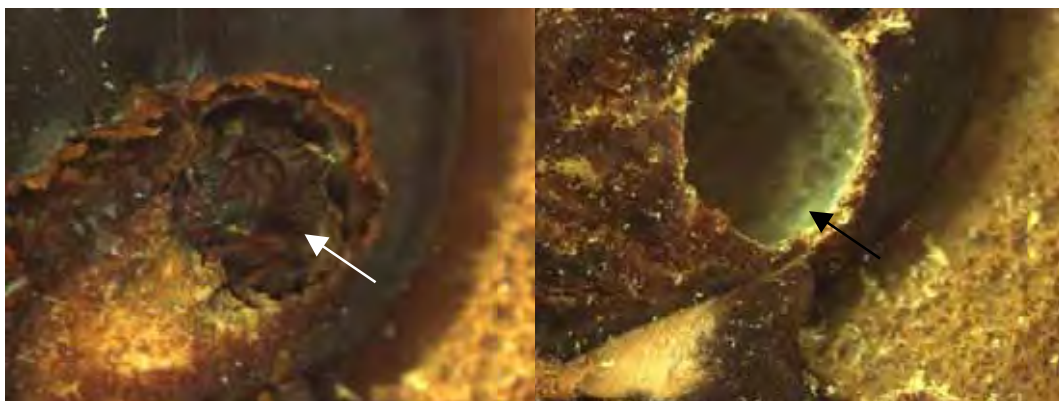


Fig. 8. Bruquídeo morto no orifício de emergência (seta clara) e semente quando ocorre a emergência do bruquídeo (seta escura), ambos em *Bauhinia forficata*.

## 5. Conclusões

1. Ocorreu a emergência de bruquídeos apenas em espécies de plantas da família Fabaceae, mostrando a preferência de Bruchidae por espécies desta família.
2. Aparentemente houve a emergência de apenas uma espécie de Bruchidae por espécie de planta, mostrando a alta especificidade destes insetos por suas plantas hospedeiras.
3. A alta porcentagem de predação observada nas sementes de *L. leucocephala* inviabilizou a germinação, pois a larva alimenta-se do embrião da semente.

## 6. Referências Bibliográficas

- Alvarez, N., Romero-Napoles, J., Anton, K. W., Benrey, B. & Hossaert-McKey, M. (2006) Phylogenetic relationships in the Neotropical bruchid genus *Acanthoscelides* (Bruchinae, Bruchidae, Coleoptera). *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, **44**, 63-74.
- APG [=Angiosperm Phylogeny Group] II. (2003). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnaean Society*, **141**, 399-436.
- Begon M, Townsend CR & Harper JL (2007) *Ecologia: De Indivíduos a Ecosistemas*. 4ed. Artmed, Porto Alegre, BR.
- Brasil (1992) *Regras para análise de sementes*, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, SNDA/DNDV/CLAV, Brasília, BR.
- Carvalho, W. A., Espíndola, C. R. & Paccola, A. A. (1983) *Levantamento de solos da fazenda Lageado estação experimental "Presidente Médice"*. FCA/Unesp, Botucatu, SP.
- Carvalho, W. A., Panoso, L. A., Moraes, M. H. (1991) Levantamento semi-detalhado dos solos da Fazenda Experimental Edgardia, Município de Botucatu-SP. *Boletim científico/FEPAF*, **1/2**, 1-467.
- Durigan, G.; Franco, G. A. D. C.; Saito, M.; Baitello, J. B. (2000) Estrutura e diversidade do componente arbóreo da floresta na Estação Ecológica dos Caetetus, Gália, SP. *Revista Brasileira de Botânica*, **23**, 361-373.
- Ernst, W.H.O. (1992) Nutritional aspects in the development of *Bruchidius sahlbergi* (Coleoptera Bruchidae) in seeds of *Acacia erioloba*. *Journal of Insect Physiology*, **38**, 831-838 *apud* Silva, L. A., Maimoni-Rodella, R. C. S., Rossi, M. N. (2007) A Preliminary Investigation of Pre-Dispersal Seed Predation by *Acanthoscelides schrankiae* Horn (Coleoptera: Bruchidae) in *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze Trees. *Neotropical Entomology*, **36**, 197-202.
- Fonseca, R. C. B. & Rodrigues, R. R. (2000) Análise estrutural e aspectos do mosaico sucessional de uma floresta semidecídua em Botucatu, SP. *Scientia Florestalis*, **57**, 27-43.
- Grimm, C. (1995) Seed Predators and the Fruiting Phenology of *Pithecellobium pallens* (Leguminosae) in Thornscrub, North-Eastern México. *Journal of Tropical Ecology*, **11**, 321-332.



- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1991) *Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal*. 123 p, Rio de Janeiro, BR.
- Janzen, D. H. (1969) Seed-Eaters Versus Seed Size, Number, Toxicity and Dispersal. *Evolution*, **23**, 1-27.
- Janzen, D. H. (1980) Specificity of seed-attacking beetles in a Costa Rican deciduous forest. *Journal of Ecology*, **68**, 929-952.
- Janzen, D. H. (1987) Insect diversity of a Costa Rican dry forest: why keep it, and how? *Biological Journal of The Linnean Society*, **30**, 343-356.
- Jermey, T., Szentesi, Á (2003) Evolutionary aspects of host plant specialisation – a study on bruchids (Coleoptera: Bruchidae). *Oikos*, **101**, 196-204.
- Johnson, C. D. (1981) Interactions between bruchid (Coleoptera) feeding guilds and behavioral patterns of fruits of the Leguminosae. *Environmental Entomology*, **10**, 249-253.
- Kergoat, G. J., Alvarez, N., Hossaert-McKey, M., Faure, N. & Silvain, J. F. (2005) Parallels in the Evolution of the two largest New and Old World seed-beetle genera (Coleoptera, Bruchidae). *Molecular Ecology*, **14**, 4003-4021.
- Leitão-Filho, H. F. (1987) Considerações sobre a florística de florestas tropicais e subtropicais do Brasil. *IPEF*, **35**, 41-46.
- Lorea-Barocio, J. C.; Romero-Nápoles, J.; Valdez-Carrasco, J.; Carrillo-Sánchez, J. L. (2006) Especies y hospederas de los Bruchidae (Insecta: Coleoptera) del estado de Jalisco, México. *Agrociencia*, **40**, 511-520.
- Ortega, V. R. & Engel, V. L. (1992) Conservação da biodiversidade de remanescentes de Mata Atlântica na região de Botucatu, SP. *Revista do Instituto Florestal*, **4**, 839-852.
- Pinheiro, F.; Diniz, I. R.; Kitayama, K. (1998) Comunidade Local de Coleoptera em Cerrado: Diversidade de Espécies e Tamanho do Corpo. *Anais da Sociedade de Entomologia do Brasil*, **27**, 543-550.
- Raghu, S., Wiltshire, C., Dhileepan, K. (2005) Intensity of pre-dispersal seed predation in the invasive legume *Leucaena leucocephala* is limited by the duration of pod retention. *Austral Ecology*, **30**, 310–318.
- Rizzini, C.T. (1979) *Tratado de Biogeografia do Brasil: aspectos florísticos e estruturais*. V.2, 374 p, HUCITEC/EDUSP, São Paulo, BR.

- Romero-Nápoles, J. R. (2002) Bruchidae. *Biodiversity, Taxonomy, and Biogeography of Arthropods from Mexico: A Synthesis*. (ed Bousquets, J. L. & Morrone, J. J.), Vol. III, pp. 513–534, Unan.
- Sari, L. T., Ribeiro-Costa, C. S., Medeiros, A. C. S. (2002) Insects Associated with Seeds of *Lonchocarpus muehlbergianus* Hassl. (Fabaceae) in Tres Barras, Paraná, Brazil. *Neotropical Entomology*, **31**, 483-486.
- Silva Filho, S. R. & Engel, V. L. (1993) Estrutura de um fragmento de mata mesófila semidecídua secundária tardia e implicações para o manejo. *Congresso Florestal Brasileiro (Anais)*. V.1, pp. 343-346, Curitiba: SBS-SBEF.
- Southgate, B. J. (1979) Biology of the Bruchidae. *Annual Review of Entomology*, **24**, 449-473.
- Szentesi, A. & Jermy, T. (1995) Predispersal seed predation in leguminous species: seed morphology and bruchid distribution. *Oikos*, **73**, 23-32.
- Takakura, K. (2002). The specialist seed predator *Bruchidius dorsalis* (Coleoptera: Bruchidae) plays a crucial role in the seed germination of its host plant, *Gleditsia japonica* (Leguminosae). *Functional Ecology*, **16**, 252–257.
- Teles, M. M., Alves, A. A., Oliveira, J. C. G., Bezerra, A. M. E. (2000) Métodos para Quebra da Dormência em Sementes de Leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. *Revista brasileira de zootecnia*, **29**, 387-391.
- Tomaz, C. A., Kestring, D. & Rossi, M. N. (2007). Effects of the seed predator *Acanthoscelides schrankiae* on viability of its host plant *Mimosa bimucronata*. *Biological Research*, **40**, 281-290.
- Tuda, M. (2007) Applied evolutionary ecology of insects of the subfamily Bruchinae (Coleoptera: Chrysomelidae). *Applied Entomology and Zoology*, **42**, 337-346.

## *Considerações Finais*

As espécies da família Bruchidae são conhecidas por serem importantes predadoras de sementes. O presente estudo envolveu sistemas tróficos nas quais representantes desta família estavam presentes. Em um dos sistemas foi estudada a dinâmica espacial do bruquídeo *Acanthoscelides schrankiae* e de seus parasitóides em *Mimosa bimucronata*, planta pertencente à família Fabaceae (Mimosoideae).

Os resultados das análises de dinâmica espacial entre bruquídeos e parasitóides permitiram quantificar padrões independentes, inversamente dependentes e diretamente dependentes da densidade espacial, e a frequência de ocorrência de tais padrões dependeu do momento de observação, uma vez que as análises foram feitas em diferentes momentos de coleta. O método utilizado para se quantificar a dependência de densidade espacial é determinante, portanto, com a utilização do SADIE, padrões diretamente dependentes da densidade devem ser detectados com maior frequência e devem ser mais comuns em populações naturais do que se sugere.

Com relação à associação espacial foi demonstrado um alto grau de associação espacial entre bruquídeos e parasitóides, e pela análise das características nutricionais dos frutos foi possível observar que essa associação ocorria em locais com menores conteúdos de fenóis, ou seja, em ramos de menor qualidade nutricional. Logo, em locais com altas densidades de bruquídeos ocorriam altas densidades de parasitóides e baixas taxas de parasitismo, e estes ramos possuíam menores conteúdos de compostos fenólicos.

Foi estudada também a riqueza de espécies da família Bruchidae em um fragmento de floresta estacional denominado “Mata da Bica”, envolvendo espécies de plantas de diversas famílias. Apenas cinco espécies de plantas tiveram suas sementes predadas por bruquídeos, todas pertencentes à família Fabaceae, mostrando maior ocorrência de bruquídeos em plantas desta família. A riqueza de espécies de bruquídeos não foi alta, mas foi possível observar que o ataque nas sementes de *Leucaena leucocephala* foi bastante intenso devido ao alto número de indivíduos ocorrentes nos frutos desta planta. Além disso, constatou-se que as sementes desta espécie tornaram-se inviáveis após serem predadas pelas larvas dos bruquídeos.

Estudos como estes são de extrema importância para o conhecimento da fauna de bruquídeos e de suas plantas hospedeiras, para a determinação de padrões e

processos ocorrentes entre representantes da família Bruchidae e suas plantas hospedeiras, assim como para um melhor entendimento das interações tri-tróficas (planta-hospedeiro-parasitóide) presentes nestes sistemas.