



# FORÇAS DE INTERAÇÃO EM DIFERENTES ESCALAS ESPAÇO - TEMPORAL EM UMA CADEIA TRI - TRÓFICA: *MIMOSA BIMUCRONATA*, *ACANTHOSCELIDES SCHRANKIAE* E SEUS PARASITÓIDES

Lucas Del Bianco Faria

Michele R. Santos; Marcelo N. Rossi

Setor de Ecologia, Departamento de Biologia, Universidade Federal de Lavras-Lavras-MG, 32700 - 000, Brazil. Phone: +55 35 38291926. Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista-Botucatu-SP. Departamento de Biologia, Universidade Federal de São Paulo-Diadema - SP

## INTRODUÇÃO

Redes e cadeias tróficas ocupam uma posição central organizadora em ecologia de comunidades e ecossistemas. A observação de efeitos de cascatas tróficas e o delineamento de suas dinâmicas por estudos empíricos e teóricos representam um dos maiores sucessos da ecologia de redes tróficas. Padrões na estrutura das redes tróficas vêm sendo examinados considerando somente redes tróficas estáticas e poucos estudos investigaram os padrões estruturais das redes tróficas em situações de não equilíbrio. Recentemente, pesquisadores começaram a reconhecer a importância de estruturas estabilizadoras sob condições de não equilíbrio, sugerindo uma tendência das complexas comunidades biológicas em adaptar - se frente a variações temporais e espaciais (Raffaelli & Hall, 1996; Eveleigh *et al.*, 007). Diversos estudos empíricos e teóricos buscam quantificar as forças de interação e seus papéis na estrutura e manutenção das redes tróficas, bem como os efeitos sobre as dinâmicas (ver McCann *et al.*, 998 e Berlow *et al.*, 999 para revisão do tópico). Todavia, poucos estudos buscam observar estas forças de interação ao longo do tempo e espaço e como estas forças variam nas diferentes escalas.

As plantas representam uma ampla disponibilidade de alimento para qualquer organismo versátil o suficiente para explorá - las, porém, há algumas razões pelas quais as plantas não são intensamente exploradas. Como exemplo, pode - se mencionar a ação de inimigos naturais dos herbívoros reduzindo seu consumo. *Mimosa bimucronata*, também conhecida como maricá, mantém uma comunidade de insetos composta pela espécie consumidora de sementes *Acanthoscelides schrankiae* (Bruchidae) e seus parasitóides, além de outras espécies oportunistas. Embora a predação de sementes por bruchídeos possa ser extremamente importante para limitar o tamanho das populações de plantas, elevadas taxas de mortalidade impostas por inimigos naturais podem reduzir o impacto sobre as plantas-i.e., efeito direto e

indireto de cascata trófica.

Portanto, devido à intensa predação e à facilidade de coleta e manipulação das sementes, o sistema em questão composto por *M. bimucronata*, bruchídeo e parasitóides, é muito interessante e apropriado para o estudo de interações tróficas, estruturação da rede trófica, bem como suas forças de interação.

## OBJETIVOS

Assim, este estudo buscou estimar as forças de interação desta cadeia tri - trófica e como estas variam frente a diferentes escalas espaciais e temporais.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Áreas de estudo

Os indivíduos de *M. bimucronata* que foram utilizados nesta etapa de estudo estão localizados em duas áreas. A área 1 está localizada na Fazenda Experimental Edgardia, pertencente à Universidade Estadual Paulista-UNESP/Faculdade de Ciências Agrárias (22° 50' 52" S; 48° 25' 46" W), situada no município de Botucatu, Estado de São Paulo. A fazenda conta com aproximadamente 1000 ha diversos tipos de solo, variando de Latossolo Roxo até solos hidromórficos ricos em sedimentos férteis. Na área escolhida para estudo, há uma combinação de solos Podzólicos e Litólicos. A área 2 está localizada nas proximidades da Universidade Estadual Paulista-UNESP/Botucatu - SP, Campus de Rubião Júnior (22° 53' 07" S; 48° 29' 23" W).

### Estimativa de força de interação

O período de coleta correspondeu de março até julho de 2008 (finalização do pico de emergência dos insetos dos frutos) nas duas áreas. Foram marcadas 10 plantas por área totalizando 20 plantas, as quais estavam distribuídas

de forma agregada. Cada planta foi devidamente identificada, permitindo o conhecimento da origem de todo o material biológico coletado. Para cada planta, 50 frutos foram coletados a cada 30 dias aproximadamente, logo 5 coletas por área foram realizadas ao longo de todo o período. Assim, o experimento foi composto por 250 frutos por planta e 2.500 frutos por área. No campo, os frutos coletados foram colocados em sacos de papel, identificando - se a planta, a área e a data de coleta. No laboratório ( $28 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ; fotofase de 12h), os 50 frutos coletados por planta foram separados e colocados em recipientes plásticos transparentes (1 litro) com tampa plástica telada, permitindo a circulação de ar, identificando - se a planta de origem, a área e a data de coleta. Após a emergência dos bruquídeos e parasitóides das sementes dos frutos, estes foram retirados dos recipientes e separados por nível trófico.

As diferentes taxas de ataque de parasitóides consumindo *A. schrankiae*-aqui chamadas de forças de interação (FI e FIR)-foram estimadas tendo como base cada planta, coletas e áreas. Assumiu - se que cada indivíduo de parasitóide tenha emergido de um bruquídeo, logo se pôde estimar quantos bruquídeos haveria em cada coleta nas diferentes plantas e nas diferentes áreas caso não fossem parasitados (aqui chamado de número de bruquídeos total-NBT). Já as abundâncias dos parasitóides (NP) foram calculadas de acordo com cada cenário, considerando somente por planta (NPP), por coleta (NPC) e por área (NPA). Por último, cada força de interação (FI) foi dividida pela biomassa do recurso (RB) resultando em uma estimativa de força de interação por grama do recurso (FIR). Importante ressaltar que quando casos de consumo de parasitóides sobre bruquídeos não foram observados (i.e., zero indivíduos encontrados-emergidos e não emergidos), estes foram retirados dos cálculos. Assim, as estimativas das diferentes forças de interação foram calculadas segundo a fórmula: 1 -  $FI=NP/(NP+NB)$ ; 2 -  $FIR=FI/R$

O mesmo procedimento de análise acima foi empregado para bruquídeos e parasitóides emergidos e não emergidos. Para tanto, os frutos foram abertos após emergência e os insetos que permaneceram presos nas sementes foram retirados e separados por espécie, coleta e área. Por último, as biomassas de cada nível trófico coletado foram pesadas em balança analítica de precisão.

#### Análise de dados

Os dados estimados de forças de interação (taxas de ataque calculadas segundo equações 1 e 2) foram comparados pela análise de variância fatorial para as duas áreas, tendo como valores as diferentes forças de interação por planta durante todo o período de coleta. Efeito de área, insetos emergidos e não emergido, bem como a interação entre área x emergidos e não emergidos, também foram consideradas.

Assumindo todas as coletas realizadas por planta, três cenários foram considerados na tentativa de mensurar o impacto (forças de interação) de cada nível trófico sobre a biomassa do recurso (frutos). Assim, os dados foram categorizados de acordo com o comprimento da cadeia trófica: R-somente o recurso presente; CR-recurso e consumidor (bruquídeos); PCR-recurso, consumidor e parasitóide. Com base nisto, a biomassa do recurso foi comparada por análise

de variância fatorial levando em consideração o tamanho da cadeia trófica (R, CR e PCR) e as duas áreas.

## RESULTADOS

Os resultados de forças de interação (FI), estimados segundo a equação 01, e de forças de interação por biomassa (gramas) de frutos (FIR), segundo a equação 02, podem ser separados por plantas/coletas, plantas, coletas e áreas. Cada uma destas categorias representa uma combinação de escalas espacial e temporal, sendo que: planta/coleta, é a menor escala espacial e temporal; coleta, representa a maior escala espacial, mas a menor escala temporal; planta, esta possui uma escala espacial menor, mas temporal maior; área, maior escala temporal e espacial.

Os resultados sugerem que com o aumento na escala espacial e temporal (planta/coleta  $\rightarrow$  área) as taxas de ataque (%)-aqui chamadas de força de interação-dos parasitóides sobre a espécie de bruquídeo, *A. schrankiae*, diminuem significativamente quando comparado planta/coleta com as outras três escalas (coleta:  $t = 5,626$  ; g.l. = 2;  $p < 0,03$ ; planta:  $t = 4,475$  ; g.l. = 2;  $p < 0,046$ ; área:  $t = 6,750$  ; g.l. = 2;  $p < 0,02$ ). Entretanto as outras comparações através do teste - t, entre coleta x área ( $p = 0,0935$ ), planta x área ( $p = 0,5448$ ) e planta x coleta ( $p = 0,5767$ ), não foram diferentes estatisticamente. Por último, uma análise de regressão linear simples foi realizada buscando confirmar a relação negativa entre aumento na escala temporal e espacial e diminuição das forças de interação. Neste caso as duas áreas foram consideradas como réplicas para cada uma das varias combinações das diferentes escalas, e os resultados sugerem que esta relação é significativa tanto para as diferentes forças de interação (FI:  $r^2=0,72$ ;  $F(1,6) = 15,738$ ;  $p < 0,006$ ), quanto para as forças de interação por biomassa de frutos (FIR:  $r^2=0,63$ ;  $F(1,2) = 10,469$ ;  $p < 0,01$ ). Por último, uma análise de variância fatorial foi utilizada para comparar se há diferença entre as forças de interação (FI) e as forças de interação por biomassa de fruto (FIR). Novamente o efeito área não sugere que as forças são diferentes entre si, nem sua interação entre área e as duas forças de interação. Entretanto, quando as duas forças de interação distintas foram comparadas, foi observada diferença significativa.

Os dois tipos de forças de interação foram superiores na área 1 em relação à área 2 para parasitóides emergidos (E); por outro lado, os não emergidos (NE) apresentaram forças de interação muito semelhantes entre as duas áreas. Logo, tanto as forças de interação ( $F = 0,222$ ;  $p = 0,640$ ) quanto as forças de interação por biomassa de recurso ( $F = 0,461$ ;  $p = 0,501$ ) não diferiram estatisticamente nas duas áreas, mas quanto aos organismos terem emergido ou não houve diferença significativa para FI ( $F = 4,113$ ;  $p < 0,04$ ) e para FIR ( $F = 4,673$ ;  $p < 0,03$ ). A interação entre área e emergidos e não emergidos também não foi significativa para os dois casos (FI:  $F = 0,629$ ;  $p = 0,432$ ; FIR:  $F = 0,480$ ;  $p = 0,492$ ).

Para mensurar o impacto da adição de níveis tróficos superiores na biomassa do recurso (frutos), assumiu - se em todas as coletas realizadas por planta-três cenários levando - se em consideração o tamanho da cadeia trófica. Assim, os

dados foram categorizados de acordo com o comprimento da cadeia trófica: R-somente o recurso presente; CR-recurso e consumidor (bruquídeos); PCR-recurso, consumidor e parasitóide. A análise dos dados revelou não haver diferença significativa entre as diferentes biomassas tanto por área ( $F = 0,087$ ;  $p = 0,769$ ) quanto para as diferentes cadeias tróficas ( $F = 2,312$ ;  $p = 0,105$ ), sendo o mesmo observado na interação entre área e as diferentes cadeias tróficas ( $F = 0,052$ ;  $p = 0,949$ ).

Com base nas taxas de ataque (%) das espécies de parasitóides sobre a espécie de bruquídeo, diferentes forças de interação foram estimadas numa tentativa de mensurar o impacto que o terceiro nível trófico possui sobre o segundo e como estas forças variam de acordo com a biomassa dos frutos. Para tanto, duas forças de interação foram consideradas: FI: forças de interação (eq. 01); FIR: forças de interação por grama de frutos coletados (eq. 02). Diferentes formas de estimativa de índices de forças de interação já foram propostas na tentativa de avaliar o impacto destes índices na composição e estrutura da comunidade (ver Berlow *et al.*, 1999 para mais informações).

De maneira geral os dados estimados sugerem que os parasitóides podem exibir diferentes impactos sobre seus hospedeiros: impactos menos significativos, ou seja, interações fracas, impacto intermediários e impactos mais significativos, ou seja, interações fortes. Quando os resultados são categorizados por organismos emergidos e não emergidos os valores de forças de interação não sofrem alterações e valores elevados e baixos são observados. Para as forças de interação por biomassa de frutos, nota-se que a chance de um parasitóide atacar um bruquídeo por grama de fruto é menor-i.e., chance de um bruquídeo ser parasitado por grama de fruto produzido pela planta. Obviamente que estes resultados são esperados, já que as forças de interação estão sendo divididas pelo peso correspondente à coleta, ou planta, ou planta/coleta; todavia, estes valores estimados sugerem também que mesmo considerando a produtividade primária as forças de interação são assimétricas. Silva *et al.*, (2007) observaram que as taxas de consumo de bruquídeos por parasitóides e de bruquídeos sobre as sementes de *M. bimucronata* foram elevadas confirmando em parte o que foi descrito e discutido aqui, todavia taxas fracas de consumo também foram estimadas neste estudo.

McCann *et al.*, (1998) sugerem, através de estudos teóricos, que a combinação destes dois tipos de forças de interação-fortes e fracas-podem promover a estabilização das dinâmicas e suas redes tróficas. Ao mesmo tempo, Berlow (1999) observou, em estudos empíricos, que forças fracas de interação possuem um importante papel na mensuração da variação espaço-temporal na estrutura da comunidade. Atualmente, a idéia de diferentes forças de interação agindo juntas ao longo do tempo e espaço está sendo tratada como assimetrias nas interações entre os diferentes organismos e suas populações, e esta assimetria promoveria a estabilização das comunidades biológicas naturais (Rooney *et al.*, 006). Poucos trabalhos investigando como as forças de interação variam em sua simetria em comunidades naturais podem ser levantados (Berlow, 1999; Berlow *et al.*, 1999; Rooney *et al.*, 006), nesse sentido, apesar dos dados apresentados aqui serem específicos ao sistema tri-trófico,

sua importância pode ser evidenciada pela possibilidade de caracterizar as forças de interação e possíveis padrões de assimetria como proposto por alguns autores (Navarrete & Berlow, 2006; Rooney *et al.*, 006).

Ao categorizar as diferentes formas de amostragem em campo-e.g., coleta/planta, coleta, planta e área-este estudo buscou verificar a influência das diferentes escalas espaciais e temporais na estimativa das forças de interação. As forças de interação variaram substancialmente quando consideradas por planta/coleta, por planta e por coleta, sugerindo que o impacto que o terceiro nível trófico exerce sobre o segundo é dinâmico e depende diretamente do momento em que está sendo observado e da escala em que está sendo considerada. Os dados deste estudo sugerem que com o aumento das escalas, seja espacial, com o aumento no número de plantas, seja temporal, com todas as cinco coletas, as forças de interação tendem a diminuir de uma forma significativa. Interessante notar que o simples aumento na escala espacial ou temporal-i.e., não havendo a necessidade de que as duas escalas sejam aumentadas conjuntamente-já promove uma diminuição substancial nos valores de impacto que os parasitóides possuem sobre os bruquídeos. Navarrete & Berlow (2006) explicitaram a primeira evidência de grande variabilidade de forças de interação variando as escalas temporais e espaciais em comunidades marinhas e como esta variabilidade nas forças de interação-normalmente assumida como causadora de dinâmicas instáveis e não preditivas-promovem resiliência na comunidade invariante. Eles apontam que três mecanismos podem estar agindo na estabilização da comunidade, sendo que um deles sugere que as forças de predação variam significativamente dentro de uma escala espacial ampla. Aqui neste estudo as mesmas variações foram observadas dentro das escalas espaciais e mais as temporais, sugerindo que estas assimetrias e variações nas forças de interação parecem ser mais comuns do que se assumia e que podem ter um papel importante na estabilização da comunidade como um todo.

Como já vem sendo sugerido (Rafaelli & Hall, 1996), investigar as forças de interação ao longo do tempo e espaço, assumindo assim uma abordagem mais próxima da realidade das comunidades naturais e suas interações, seria de extrema importância no entendimento dos processos dinâmicos que regem as interações, estrutura e composição das comunidades pelas diferentes espécies e suas populações. Portanto, independente da forma que as forças de interação são estimadas, desde que haja observações ao longo do tempo ou espaço-por planta/coleta, planta, coleta e área-elas se apresentam de uma maneira não estática, sugerindo que as mesmas são dinâmicas tanto quanto as próprias populações. Frente a assimetria nas forças de interação e suas variações em diferentes escalas-i.e., caracterizando ainda mais as comunidades naturais em sistemas complexos-entender como as comunidades lidam com estas variações assume caráter de relevância para um melhor entendimento de como as comunidades e suas populações se adaptam a estas variações temporais e espaciais (Rooney *et al.*, 006; Eveleigh *et al.*, 007; Faria & Costa, 2009). Portanto, fica claro que os efeitos de cascata trófica são dinâmicos e comuns de se observar em sistemas naturais, independente do tipo de ambiente,

aquático ou terrestre (Schmitz *et al.*, 000; Polis *et al.*, 000).

## CONCLUSÃO

Neste estudo buscou - se estimar o impacto da adição de níveis tróficos superiores na biomassa de frutos (recurso). Os resultados sugerem que quando os três níveis tróficos estavam presentes a biomassa dos frutos coletados foi a mais elevada, seguido pela biomassa de quando somente o recurso estava presente, e por último quando o primeiro e segundo níveis tróficos estavam presentes. Dois pontos podem ser considerados aqui: ou a adição de um predador de topo “controla” a população de consumidores de sementes (bruquídeos) permitindo que a biomassa seja menos consumida e, conseqüentemente, haja maior biomassa caracterizando um efeito indireto positivo das espécies de parasitóides sobre a planta, ou o aumento na biomassa-i.e., aumento na produtividade primária-permite que uma cadeia trófica maior seja possível de se estabelecer. Por fim, os efeitos diretos e indiretos de cascata trófica sugeridos neste estudo-representados pelas diferentes forças de interação-podem influenciar de diversas formas esta comunidade agindo simultaneamente na composição e estrutura da comunidade.

### Agradecimentos

Este estudo foi realizado com o auxílio da Fundação de Amparo de Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP-PROC: 07/58492 - 5 e 04/06737 - 6).

## REFERÊNCIAS

Berlow, E.L. 1999. Strong effects of weak interactions in ecological communities. *Nature* 398: 330 - 334

Berlow, E.L., Navarrete, S.A., Briggs, C.J., Power, M.E. & Menge, B.A. 1999. Quantifying variation in the strengths of species interaction. *Ecology* 80: 2206 - 2224.

Eveleigh, E.S, McCann, K.S., McCarthy, P.C, Pollock, S.J., Lucarotti, C.J., Morin, B., McDougall, G., Strongman, D.B., Huber, J., Umbanhowar, J. & Faria, L.D.B. 2007. Fluctuations in density of an outbreak species drive diversity cascades in food webs. *PNAS* 104: 16976 - 16981.

Faria, L.D.B. & Costa, M.I.S. 2009. The interplay between predator's prey preference and environmental heterogeneity in food web long - term stability. *J. Theor. Biol.* 258: 339 - 343.

McCann, K., Hastings, A. & Huxel, G.R. 1998. Weak trophic interactions and balance of nature. *Nature* 395: 794 - 798.

Navarrete, S.A. & Berlow, E.L. 2006. Variable interaction strengths stabilize marine community pattern. *Eco. Lett.* 9: 526 - 536.

Polis, G.A., Sears, A.L.W., Huxel, G.R., Strong, D.R. & Maron, J., 2000. When is a trophic cascade a trophic cascade? *Trends Ecol. Evol.* 15: 473 - 475.

Raffaelli, D.G. & Hall, S.J. 1996. Assessing the relative importance of trophic links in food webs. In: Polis, G.A. & Winemiller, K.O. *Food web: Integration of patterns & dynamics.* Chapman & Hall, New York.

Rooney, N., McCann, K.S., Gellner, G., Moore, J.C. 2006. Structural asymmetry and the stability of diverse food web. *Nature* 442:265-269.

Schmitz, O.J., Hamback, P.A. & Beckerman, A.P. 2000. Trophic cascade in terrestrial systems: a review of the effects of carnivore removals on plants *Am .Nat.* 155: 141 - 153.

Silva, L.A., Maimoni - Rodella, R.C.S. & Rossi, M.N., 2007. A preliminary investigation of pre - dispersal seed predation by *Acanthhoscelides schrankiae* Horn (Coleoptera: Bruchidae) in *Mimosa bimucronata* (D.C.) Kuntze trees. *Neotrop. Entomol.* 36: 197 - 202.