

## Refúgios Espaciais em Interações Presa-Predador

L. A. D. Rodrigues\*, D. C. Mistro\* e A. L. Auth\*\*

\*UFMS - Departamento de Matemática, luizdiaz@ccne.ufsm.br

\*\* Bolsista de Iniciação Científica - PIBIC/CNPq

### Resumo

Neste trabalho, analisamos um modelo para interações presa-predador com movimentação espacial e assumindo a existência de refúgios nos quais as presas podem ficar protegidas dos ataques dos predadores.

Consideramos um modelo tipo autômatos celulares em que uma fração constante de parasitas e outra de hospedeiros se movimentam localmente em um domínio bidimensional. Para incluir o efeito dos refúgios consideramos regiões do espaço nas quais a eficiência do predador é muito menor que no resto do habitat.

Verificamos que, a presença de refúgios espaciais pode, de fato, permitir um aumento no número médio dos indivíduos de ambas espécies. Outras simulações indicam que os refúgios podem explicar as freqüentes explosões populacionais observadas na natureza.

## 1 Introdução

Uma questão fundamental em Ecologia é a coexistência de espécies. Sabe-se que em meios homogêneos, as populações de presas e predadores com gerações discretas não irão persistir, enquanto em meios heterogêneos a dispersão tem um efeito estabilizante (Hassell [3], Hassell et al. [4]).

Tem-se tornado popular a referência a meios compostos por patches, que são heterogêneos tanto no espaço como no tempo. Uma questão importante refere-se aos refúgios espaciais que representam locais físicos nos quais uma fração da população das presas pode recolher-se para proteger-se de predadores. Os refúgios servem como sítios de preservação de espécies vulneráveis

que, de outra maneira, poderiam tornar-se extintas. Tais sítios também beneficiam indiretamente as espécies predadoras, uma vez que uma reposição maior de presas nas áreas desprotegidas, garante uma fonte constante de alimento. Podemos citar como exemplos de refúgios, a lagarta do gênero *Ephestia spp* quando no interior da flor não é atingida pelo seu parasita *Nemeritis canescens* e colônias do afídeo *Brevicoryne brassicae* nas quais os indivíduos que se encontram na periferia são mais suscetíveis a ação predatória do *Diaretiela rapae* do que os que se encontram no interior da colônia (Hassell [3]).

## 2 O Modelo

O presente modelo foi desenvolvido com o objetivo de estudar os efeitos de refúgios espaciais em dinâmicas presa-predador. Consideramos um modelo tipo autômatos celulares (Ermentrout [2]) no qual os indivíduos de ambas populações se movimentam em um domínio bidimensional dividido em manchas discretas.

Para cada geração a dinâmica consiste de duas fases: uma fase de dispersão e uma fase de reprodução. Na fase de dispersão, uma certa fração de presas,  $\mu_N$ , e uma fração de predadores,  $\mu_P$ , abandonam sua posição ("patch"), enquanto a fração restante permanece para reproduzir-se em seu "patch" original. Neste estudo consideramos uma movimentação aleatória essencialmente local, isto é, os indivíduos se dispersam a cada geração colonizando igualmente os quatro patches vizinhos mais próximos.

Incluimos também no modelo a existência de refúgios espaciais nos quais as presas são menos vulneráveis aos ataques dos predadores.

As equações para o estágio de dispersão em cada patch são:

$$\begin{aligned} N'_{i,t} &= (1 - \mu_N)N_{i,t} + \mu_N \bar{N}_{i,t} \\ P'_{i,t} &= (1 - \mu_P)P_{i,t} + \mu_P \bar{P}_{i,t}, \end{aligned} \tag{1}$$

Aqui  $N_{i,t}$  e  $P_{i,t}$  são as densidades populacionais da presa e do predador antes da dispersão, no patch  $i$  e no instante  $t$ ;  $N'_{i,t}$  e  $P'_{i,t}$  são as densidades após a movimentação, e  $\bar{N}_{i,t}$  e  $\bar{P}_{i,t}$  são as médias das populações de presas e predadores dos quatro vizinhos mais próximos.

A fase de reprodução e predação será descrita em cada patch pelas equações de Nicholson-Bailey:

$$\begin{aligned} N_{t+1} &= \lambda N'_t \exp(-aP'_t) \\ P_{t+1} &= cN'_t[1 - \exp(-aP'_t)], \end{aligned} \tag{2}$$

onde  $\lambda$  é a taxa de crescimento da população das presas,  $a$  é a taxa per capita de ataque dos predadores e  $c$  é a eficiência de conversão de presas em predadores. Com esta dinâmica vital a persistência das populações é impossível, isto é, ambas populações apresentam oscilações divergentes conduzindo à extinção global. Entretanto, a dispersão difusiva (equações (1)) pode conduzir a coexistência das espécies para tempos suficientemente grandes. Três tipos de dinâmicas espaciais são descritas: caos, ondas espirais e padrões estáveis, todas apresentando persistência das populações de parasitas e hospedeiros (Hassell et al.[4]).

Para incluir o efeito dos refúgios podemos considerar regiões do espaço nas quais o predador não tem acesso ou onde a taxa de predação  $a$  é muito pequena em relação ao resto do domínio. Neste trabalho consideramos a taxa de predação  $a$  no interior dos refúgios menor do que no resto do habitat.

O habitat será representado por um reticulado bidimensional no qual as populações são distribuídas em cada vértice (célula) de coordenadas inteiras. Na figura 1 mostramos um refúgio espacial correspondente a aproximadamente 1% do habitat.

### 3 Simulações

As simulações foram realizadas em um reticulado de  $50 \times 50$  com os seguintes parâmetros:  $\lambda = 2$ ,  $a = 0,5$ ,  $c = 2$ ,  $\mu_N = \mu_P = 0,6$ . Todas as simulações começaram com densidades iniciais de parasitas e hospedeiros em uma única célula e com todas as outras vazias. Assumimos ainda condições reflexivas na fronteira do habitat.

Verificamos através da inclusão de um refúgio espacial  $5 \times 5$  (aproximadamente 1% do domínio) o aumento na amplitude das oscilações nas populações de hospedeiros e parasitas [Figura 2]. Isto pode ser uma explicação para as explosões populacionais periódicas observadas em alguns sistemas naturais.

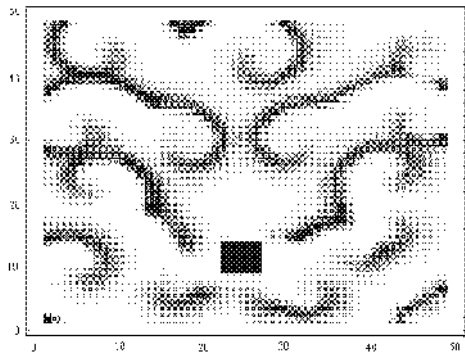


Figura 1: Distribuição espacial dos hospedeiros em um habitat com um refúgio espacial (1% do habitat). Observamos a formação de ondas espiraladas muito freqüentes em sistemas de reação-difusão.

Observamos que, à medida que tornamos o refúgio "mais forte", diminuindo a capacidade do predador no interior do mesmo, há um aumento na amplitude das oscilações [compare as figuras 2 e 3].

Na figura 4, observamos que o mesmo acontece quando aumentamos as dimensões dos refúgios.

Quando fracionamos o refúgio em diversos refúgios menores, mantendo a mesma área, verificamos um decréscimo na amplitude das oscilações e um aumento na população média tanto de hospedeiros quanto de parasitas. O decréscimo na amplitude das oscilações parece indicar um possível efeito estabilizador provocado pela fragmentação dos refúgios. As figuras 5 e 6 ilustram este fato. Este resultado está de acordo com o esperado: a presença de refúgios para as presas pode beneficiar ambas espécies.

## 4 Conclusões

Simulações numéricas para o modelo proposto mostram que a presença de refúgios espaciais pode beneficiar também a espécie predadora. Além disso, os refúgios representam uma explicação plausível para as explosões populacionais observadas em diversas interações presa-predador.

Por outro lado, estudos iniciais indicam que a coexistência das espécies no

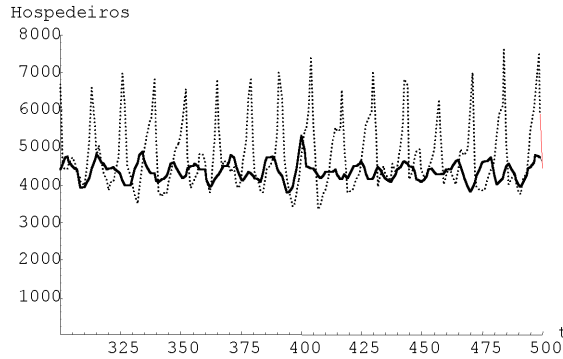


Figura 2: População de hospedeiros sem refúgio (—) e com um refúgio 5x5 (...).  $a = 0,05$  no interior do refúgio.

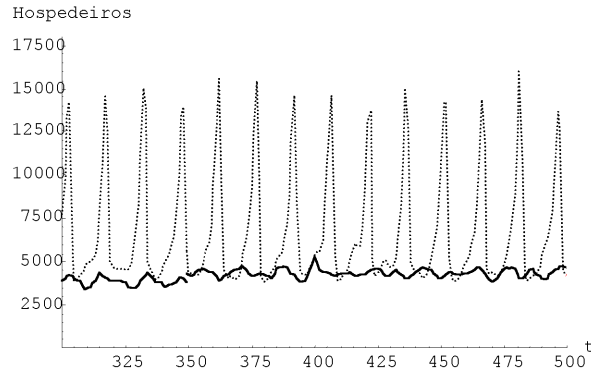


Figura 3: População de hospedeiros sem refúgio (—) e com um refúgio 5x5 (...).  $a = 0,01$  no interior do refúgio.

modelo com refúgios, depende principalmente do tipo de fronteira do refúgio e da eficiência do predador dentro dos refúgios.

A distribuição espacial dos refúgios dentro do habitat parece ser um fator decisivo e deverá ser analisado em trabalhos futuros.

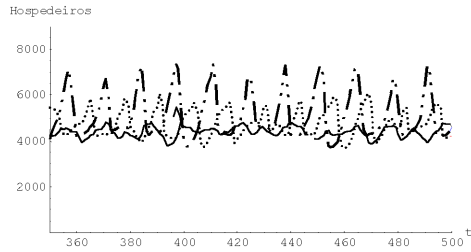


Figura 4: População de Hospedeiros sem refúgio (—), com refúgio  $5 \times 5$  (...), e com refúgio  $7 \times 7$  (- . . -).  $a = 0,05$  no interior dos refúgios.

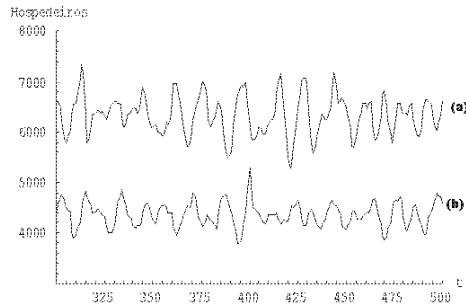


Figura 5: População de hospedeiros sem refúgios (b) e com seis refúgios  $2 \times 2$  (a).  $a = 0,01$  no interior dos refúgios.

## Referências

- [1] Comins, H. N., Hassell, M. P., and May, R. M. The Spatial Dynamics of Host-Parasitoid Systems. *Journal of Animal Ecology*, **61**, 735-748, 1992.
- [2] Edelstein-Keshet, L.: Mathematical Models in Biology. Random House, New York, 1988.
- [3] Ermentrout, G. B., Edelstein-Keshet, L.: Cellular Automata Approaches to Biological Modeling. *J. Theor. Biol.*, **160**, 97-133, 1993.

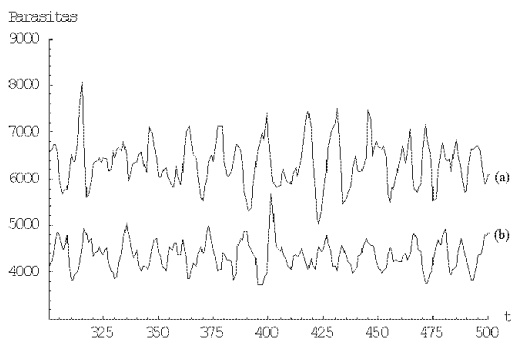


Figura 6: População de Parasitas sem refúgios (b) e com seis refúgios  $2 \times 2$  (a).  $a = 0,01$  no interior dos refúgios.

- [4] Hassell, M. P.: The Dynamics of Arthropod Predator-Prey Systems. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1978.
- [5] Hassell, M. P., Comins, H. N. and May, R. M.: Spatial Structure and Chaos in Insect Populations Dynamics. *Nature*, Lond. 353, 255-258, 1991.
- [6] Rodrigues, L. A. D.: O Acaso e a Decisão: Modelos Matemáticos para Dispersão Populacional. Tese de Doutorado, Matemática Aplicada, IMECC-UNICAMP, 1998.
- [7] Murray, J. D.: Mathematical Biology. Springer-Verlag, Berlin, 1989.
- [8] Tilman, D. and Kareiva, P. (eds.) Spatial Ecology: the Role of Space in Population Dynamics and Interspecific Interactions. Monographs in Population Biology. Princeton University Press, 1997.