

METODOLOGIA ESTOCÁSTICO-DINÂMICA (StDM) PARA SIMULAR OS EFEITOS DO FOGO SOBRE A FAUNA DE COLEÓPTEROS CAVERNÍCOLAS.

Reinaldo Lucas Cajaiba (*), Mário Gabriel dos Santos, João Alexandre Cabral

* Laboratório de Ecologia Aplicada-LEA, UTAD, Portugal. Mestre em Engenharia Ambiental. Biólogo Secretaria Municipal de Meio Ambiente-SEMMA, Uruará-PA.

RESUMO

Aplicou-se um modelo estocástico dinâmico (StDM) com o objetivo de compreender os efeitos do fogo sobre a coleopterofauna em sete cavernas localizada no município de Uruará-Pa, e avaliar esse grupo como potencial indicador ecológico. Os resultados obtidos revelam que as diferentes famílias apresentam reações diversas sob as pressões ambientais ocorridas no meio externo. A Metodologia estocástica dinâmico (StDM) além de rigorosa e sustentada em princípios teóricos universais, pode ser facilmente aplicada e interpretada, permitindo assim, antecipar impactos nas comunidades bem como o desenvolvimento de medidas de minimização implementar nesses ambientes para monitorização, previsão e redução de impactos.

PALAVRAS-CHAVE: Cavernas; Coleoptera; Indicadores Ambientais; Metodologia estocástico-dinâmica.

INTRODUÇÃO

Ultimamente, vários modelos de estudos ecológicos têm sido aplicados com sucesso para compreender as causas-efeitos da interferência do homem nos ecossistemas (JØRGENSEN, 2008).

A metodologia estocástico-dinâmica (*Stochastic-Dynamic Methodology* - StDM) tem se destacado em relação a outras metodologias de simulação, por ser um modelo mais intuitivo (DZEROSKI *et al.*, 1997; MENDONZA & PRABHU, 2005), fornecendo explicações fáceis para as relações subjacentes entre as variáveis de respostas e explicatórias, pois é baseado em métodos convencionais lineares que permitem um desenvolvimento mais direto das hipóteses testáveis (CABRAL *et al.*, 2008; SANTOS *et al.*, 2011).

O principal objetivo de abordagem proposta pelo StDM é uma percepção mecanicista do funcionamento ecológico global no âmbito da procura de metodologias de avaliação rápida, padronizada e de custos reduzidos (CABRAL *et al.*, 2008; SANTOS, 2009), fornecendo assim, uma interface intuitiva e uma ferramenta credível para os decisores e gestores ambientais (MANEL *et al.*, 1999; BOLLIGER *et al.*, 2005; CUSHMAN *et al.*, 2008; SANTOS *et al.*, 2011).

Os modelos estocástico-dinâmicos se revelam vantajosos, pois levam em conta fenômenos casuais que caracterizam os sistemas reais. A componente estocástica permite determinar parâmetros a partir dos coeficientes parciais resultantes da análise estatística, cujo valor, quando significativo, assume relevância ecológica, pois expressa, de forma holística, as relações entre variáveis ambientais (explicatórias) e as variáveis de estado (respostas). A componente dinâmica permite, de forma complementar, incorporar as alterações espaço-temporais a que está sujeito o ecossistema em estudo (BASTOS *et al.*, 2012).

Assim, o objetivo desse estudo foi construir um modelo estocástico-dinâmico que simule as reações dos coleópteros cavernícolas quando o ambiente externo é submetido ao fogo e avaliar o potencial desse grupo como indicadores ecológicos das alterações ocorridas.

MATERIAL E MÉTODOS

Local de estudo

O estudo foi desenvolvido em sete cavernas no município de Uruará, PA, Brasil (Figura 1). O clima no município em questão, segundo a classificação de Köppen é do tipo Aw1, típico de clima quente úmido, com média do total pluviométrico anual da ordem de 2000 mm, cujo período chuvoso vai de dezembro a maio e, o seco de junho a novembro.



Figura 1. Mapa de localização da área de estudo (em destaque pela elipse o local onde as cavernas estão inseridas).

Tratamentos estatísticos para Criação do Modelo

Para aplicação do modelo estatístico, os dados foram divididos em três categorias: dados genéricos (binária), uso externo do solo (proporções) e dados ambientais do interior da caverna (contínuo). Um procedimento de regressão múltipla convencional para a estimativa dos parâmetros foi realizada antes da construção do modelo dinâmico. Uma vez que nem todas as variáveis explicatórias contribuiriam significativamente para o valor das variáveis respostas, foi utilizado um modelo de regressão com máxima verossimilhança utilizando os Critérios de Informação Akaike (AIC) (AKAIKE, 1974), comparando todas as combinações possíveis usando os pesos Akaike (AICwi) (ANDERSON *et al.*, 2000), onde os menores índices foram considerados os melhores modelos.

Foi utilizado um Modelo Linear Generalizado (GLM) com uma função de ligação logarítmica para atender os modelos das estimativas funcionais da diversidade e abundância (contagem de dados com uma distribuição de Poisson) (O'HARA & KOTZE, 2010). Os valores de tolerância de variáveis explicativas foram utilizados para avaliar a multicolinearidade e reduzir o número de variáveis redundantes. O processo utilizado no ajuste da relação entre as variáveis explicatórias e de resposta foi a distribuição de Poisson, que é uma distribuição de probabilidade discreta que se aplica a ocorrência de eventos ao longo de intervalos específicos. A variável aleatória x é o número de ocorrências do evento no intervalo. O intervalo pode ser de tempo, distância, área, volume ou alguma unidade similar (TRIOLA, 2008). O *software* utilizado nestas análises foi GenSat Release for Windows versão 13.3 e para a construção do modelo StDM foi utilizado o *software* de modelação Stella versão 8.1.

Os Modelos de Simulação

Os modelos de simulação foram baseados em cenários de sucessão vegetal e possíveis situações de alterações antropogênicas e/ou gradientes naturais (através de 12 anos, utilizando o ano como unidade de tempo), em cavernas selecionadas.

Para analisarmos o efeito do fogo sobre a coleopterofauna cavernícola e como cada uma reagiria mediante uma possível recuperação vegetal, partimos da proposição de que uma caverna localizada em uma região de vegetação nativa fosse atingida pelo fogo no terceiro ano de simulação e a partir do quarto ano a vegetação começasse a se reestruturar, passando agora a ser do tipo capoeira.

Para o referido cenário, simulamos como as famílias de Coleoptera reagiria ao longo da caverna sob as diferentes alterações no meio externo. A extensão máxima utilizada aqui será de 325 metros, e o ponto inicial de 10 metros, pois foram esses os limites dos nossos dados coletados em campo.

RESULTADOS

Conceitualização do modelo e equações

O habitat foi caracterizado através das variáveis explicatórias e variáveis de resposta presentes na amostra (Tabela 1), as quais foram consideradas na análise de regressão múltipla com o intuito de identificar as relações significativas entre esses componentes. As equações de regressão e sua significância para todas as combinações realizadas estão listados na Tabela 2.

Os fluxos de entrada que afetam as variáveis estado para Histeridae (Percentagem Agrícola, Distância da Entrada, Água Interior, Pisoteamento e Área Queimada), Carabidae (Percentagem Agrícola, Distância da Entrada, Água interior e Agricultura), Ptiliidae (Umidade e Temperatura, Água Exterior), Scarabaeidae (Percentagem Capoeira, Percentagem FOD, Agricultura, Pisoteamento, Construção e Água Interior), Scolytidae (Percentagem FOD, Percentagem Capoeira, Umidade, Mata e Lixo Interno), Staphylinidae (Percentagem FOA, Percentagem Capoeira, Temperatura, Água interior, Pisoteamento e Água Exterior) foram determinados a partir das constantes positivas e de todos os coeficientes parciais positivos da regressão obtida para cada família (Tabela 2).

Tabela 1. Enumeração das variáveis explicatórias e de respostas consideradas neste estudo

Variáveis	Especificação	Códigos do modelo
<u>Variáveis Explicatórias</u>		
Floresta Ombrófila Aberta-FOA	Percentagem	FOA_%
Floresta Ombrófila Aberta-FOD	Percentagem	FOD_%
Pastagem-P	Percentagem	P_%
Percentagem Agrícola-A	Percentagem	A_%
Capoeira	Percentagem	Ca_%
Umidade	Percentagem	Umidade_%
Temperatura	Graus Celsius (°C)	Temperatura_C
Distância da entrada	Metros (m)	Distancia_da_entrada_m
Água exterior	Binária (1) ou (0)	%_gua_Exterior
Água interior	Binária (1) ou (0)	%_gua_Interior
Agricultura	Binária (1) ou (0)	A
Área Queimada	Binária (1) ou (0)	AQ
Construção	Binária (1) ou (0)	C
Lixo externo	Binária (1) ou (0)	LE
Lixo interno	Binária (1) ou (0)	LI
Mata	Binária (1) ou (0)	M
Ponto erosão externo	Binária (1) ou (0)	PEI
Pisoteamento	Binária (1) ou (0)	Pi
<u>Variáveis de Resposta</u>		
Carabidae	Abundância	log Carabidae
Staphylinidae	Abundância	log Staphylinidae
Scarabaeidae	Abundância	log Scarabaeidae
Histeridae	Abundância	log Histeridae
Ptiliidae	Abundância	log Ptiliidae
Scolytidae	Abundância	log Scolytidae

Por outro lado, Histeridae (Lixo Externo), Carabidae (Água Exterior, Umidade e Temperatura), Ptiliidae (Porcentagem Agrícola, Área Queimada, Agricultura, Distância da entrada), Scarabaeidae (Porcentagem FOA, Porcentagem Agrícola, Erosão interior, Mata, Distância da entrada), Scolytidae (Erosão Interior, Construção, Agricultura, Temperatura), Staphylinidae (Porcentagem FOD, Porcentagem Capoeira, Lixo Interno e Mata) também foram determinados a partir das constantes negativas e de todos os coeficientes parciais negativos da regressão obtida para cada família (Tabela 2).

Embora a saída para a abundância de cada família simulada ser composta por um determinado valor por unidade de tempo, o respectivo estado variável pode ter um comportamento, acumulando ao longo do tempo em resposta a mudanças nas condições ambientais (SANTOS & CABRAL, 2011), assim, para evitar esta situação, um ajuste de vazão adicional foi incorporada em cada variável estado. Esses ajustes de saída teve como objetivo esvaziar as variáveis de estado em cada passo de tempo, por um "autoclismo", antes de se iniciar o próximo passo com novas influências ambientais (SANTOS *et al.*, 2010).

O valores iniciais para estas variáveis de estado foram assumidos ser zero (nossa situação inicial em t0). Mais tarde, para a representação das simulações, o valor inicial foi descartado, uma vez que apenas em t1 (o primeiro ponto da simulação), foi possível ter em conta as influências das variáveis ambientais sobre a riqueza estimada.

Tabela 2. Equações, AIC, R² ajustado, desvio de relação e seu valor de significância (p < 0,01) para todas as combinações selecionadas como significantes. (a) menor AIC selecionado; (b) Dados exterior das cavernas em % (raio de 500 metros); (c) Dados interior das cavernas e (d) Dados de classificação binária.**

Equações	^a AIC	R ² Ajustado	Desvio de relação
Histeridae			
^b 2,6600 + (0,08843 * A% ₁)	35,427	23,40	1483,16 **
^c 2,3531 + (0,008583 * Distancia_da_entrada_m)	34,384	10,72	774,03 **
^d -0,908 + (3,3656 * %_gua_Interior) + (2,1186 * AQ) - (6,721 * LE) + (1,9087 * Pi)	34,053	67,61	1031,26 **
Carabidae			
^b 0,847 + (0,04312 * A_%)	34,886	7,83	28,92 **
^c 27,05 + (0,00630 * Distancia_da_entrada_m) - (0,507 * Temperatura_C) - (0,1494 * Umidade_%)	38,000	10,23	16,69 **
^d 1,634 - (3,028 * %_gua_Exterior) + (1,787 * %_gua_Interior) + (2,177 * A)	35,953	30,30	33,25 **
Ptiliidae			
^b 0,847 + (0,04312 * A_%)	34,886	7,83	28,92 **
^c -30,15 - (0,008454 * Distancia_da_entrada_m) + (0,3105 * Temperatura_C) + (0,2746 * Umidade_%)	38,000	46,07	119,97 **
^d 1,634 + (1,825 * %_gua_Exterior) - (9,10 * A) - (1,049 * AQ)	39,430	66,46	104,69 **
Scarabaeidae			
^b -0,916 - (1,36 * A_%) + (1,237 * Ca_%) - (22,61 * FOA_%) + (2,541 * FOD_%)	39,000	26,18	151,99 **
^c 3,5174 - (0,008215 * Distancia_da_entrada_m)	35,597	7,02	170,33 **
^d -0,422 + (2,290 * %_gua_Interior) + (1,298 * A) + (2,353 * C) - (1,979 * M) - (1,620 * PEI) + (2,622 * Pi)	43,410	85,10	237,78 **
Scolytidae			
^b -13,2 + (0,164 * Ca_%) + (0,136 * FOD_%)	35,000	49,82	94,86 **
^c -30 + (0,819 * Umidade_%) - (1,796 * Temperatura_C)	37,875	42,31	82,20 **
^d -13,8 - (11,0 * A) - (3,277 * C) + (4,818 * LI) + (12,9 * M) - (11,6 * PEI)	37,490	94,52	68,43 **
Staphylinidae			
^b 37,565 + (0,7412 * A_%) + (11,18 * FOA) - (9,83 * Ca_%) - (20,1 * FOD_%)	39,000	16,09	99,33 **
^c -3,273 + (0,2355 * Temperatura_C)	34,737	1,00	60,52 **

$^d 1,555 + (1,771 * \%_gua_Exterior) + (0,753 * \%_gua_Interior) - (2,457 * LE) - (2,902 * LI) - (1,153 * M) + (1,4320 * Pi)$	38,372	63,92	177,76 **
--	--------	-------	-----------

Cenário Simulado

As modificações ocorridas no ambiente externo das cavernas (variáveis explicatórias) para este cenário são apresentadas na Figura 2, e descritas no item 2.4.

A Figura 2 representa um cenário onde o ambiente externo de uma caverna preservada é atingida pelo fogo no terceiro ano, destruindo toda vegetação (Floresta Ombrófila Aberta-FOA + Floresta Ombrófila Densa-FOD) em suas proximidades, sendo posteriormente substituída pela paisagem capoeira, que começará a crescer a partir do quinto ano.

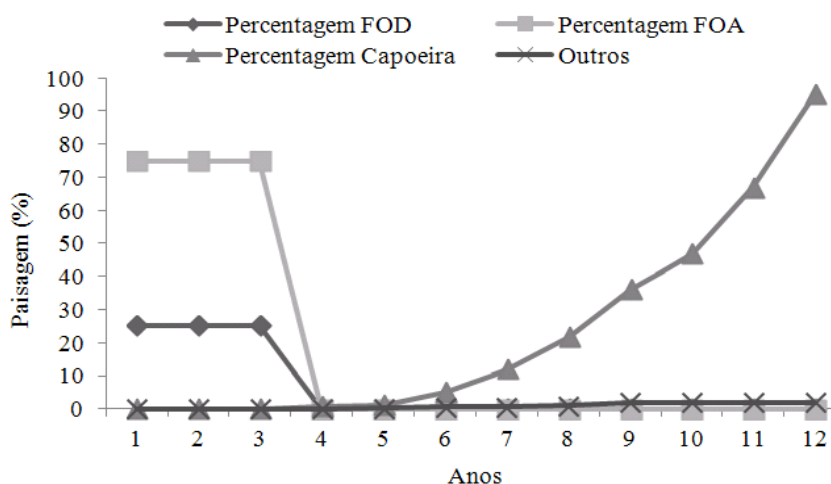


Figura 2. Variação em percentagem da vegetação ao entorno das cavernas para o cenário simulado (período de 12 anos). Os códigos estão descritos na Tabela 1.

Quando analisamos o efeito do fogo sobre as comunidades estudadas e uma possível reestruturação vegetal, percebemos que a abundância total dos coleópteros sofreu uma pequena redução até o quarto ano, voltando a aumentar a partir do momento em que a área começou a regenerar (aumento de 11,37% em relação ao início do período simulado) (Figura 3).

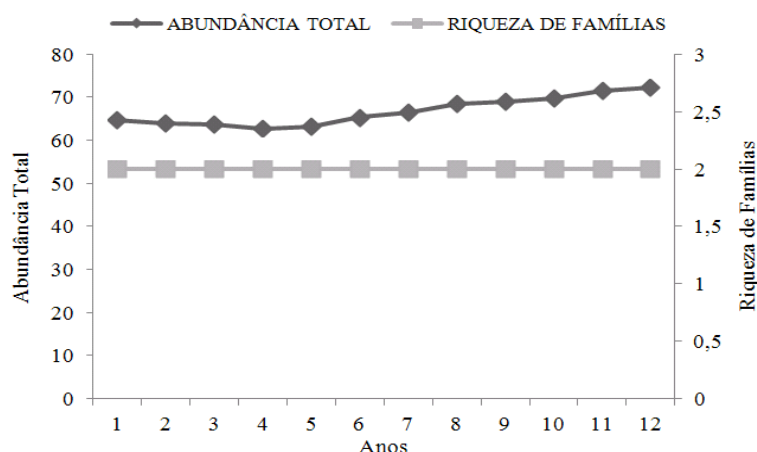


Figura 3. Previsão para Abundância Total e Riqueza de Família de Coleoptera para o cenário simulado (período de 12 anos).

A este cenário Scolytidae apresentou uma redução de 22,77% a partir do momento em que a paisagem foi submetida ao fogo, continuando a decrescer mesmo com a recuperação da vegetação. A Ptiliidae (a menos abundante) decresceu no momento em que a área foi submetida ao fogo, manteve-se decrescendo até o nono ano (queda de 59,84%), voltando a crescer novamente a partir do décimo ano, período em que já não existia área queimada e que a vegetação tipo capoeira prevalecia ao entorno. Carabidae manteve-se constante até o terceiro ano, tendo uma redução de 10,74% entre o quarto

e sétimo ano, voltando a crescer a partir de então. A Staphylinidae manteve-se constante por todo período, mesmo quando a vegetação foi queimada. A família Histeridae começou a crescer a partir do momento em que a área foi submetida ao fogo, apresentando aumento de 65,26%. A Scarabaeidae permaneceu constante até o quarto ano, começando a crescer no ano subsequente (aumento total de 19,34%), período em que a vegetação ao redor do ambiente simulado começou a desenvolver (Figura 4).

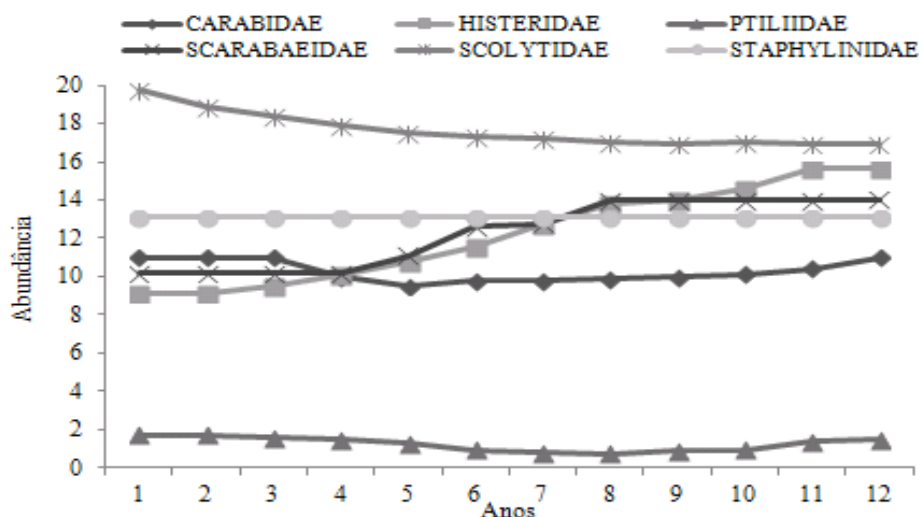


Figura 4. Previsão para a abundância por família para o cenário simulado (período de 12 anos).

DISCUSSÃO

Analisando o cenário onde pretendíamos averiguar a influência do fogo na abundância dos coleópteros, podemos observar que algumas famílias como a Scolytidae e Ptiliidae reagiram negativamente, reduzindo em abundância quando a área ao entorno fosse atingida pelo fogo, enquanto as demais famílias, ou permaneceriam constante como Staphylinidae e Carabidae, ou aumentariam em abundância como Scarabaeidae e Histeridae. Esse ocorrido com as duas últimas famílias, possivelmente, tenha sido devido à mobilidade desses animais (WIKARS & SCHIMEL, 2001) ou à disponibilização de alimento, uma vez que a redução de algumas famílias poderá diminuir a competitividade por alimentos.

Coy (1996) afirma que a sobrevivência dos invertebrados, subsequente ao processo de queima, é controlada por fatores bióticos e edáficos. Os fatores bióticos incluem: fonte de alimento, competição, predação e o relacionamento entre as espécies. Os fatores edáficos importantes para os organismos do solo incluem o clima (precipitação, insolação, temperatura, vento), microclima (umidade do solo, umidade do ar e temperatura), bem como os fatores químicos (nutrientes) e físicos. Assim, qualquer um destes fatores quando alterado de modo drástico em relação à situação "original" de uma caverna pode resultar em grandes impactos (FERREIRA & HORTA, 2001).

Situações que modificam um sistema cavernícola relativamente rápido podem causar distúrbios a muitos organismos que não estão adaptados, o que pode resultar na extinção de vários táxons (FERREIRA & HORTA, 2001), como é o caso do fogo que afeta abruptamente os ecossistemas, acarretando alterações intensas em um curto período de tempo. Em relação ao fogo, existe ainda a possibilidade de que nenhuma das populações tenha sido afetada ou que tenha sido pouco afetada, o que deixa inalterada a riqueza local (ARNAN *et al.*, 2006). Alguns estudos mostram também que o fogo pode levar a um aumento da riqueza, isso pode ocorrer quando a espécie afetada é uma espécie que limita a riqueza, seja porque é um predador chave ou porque é uma espécie dominante no local (ODOWD & GILL, 1984).

Sendo as cavernas ambientes conectados (em maior ou menor grau) aos sistemas externos, as interferências sobre o meio físico decorrente de fenômenos naturais ou da ação antrópica refletem-se diretamente sobre sua fauna (FERREIRA & HORTA, 2001; FERREIRA *et al.*, 2010).

As respostas das diferentes famílias dos coleópteros apresentadas sob os diferentes cenários aplicados nesse estudo revelaram-se vantajosas, nos mostrando que conhecendo as características externas e internas das cavernas poderemos conhecer os prováveis taxas a serem encontrados e a que distância do exterior podemos encontra-los, bem como suas abundâncias ou ausências.

O modelo StDM aplicado neste estudo nos parece representar uma contribuição útil para a detecção de mudanças em ambientes cavernícolas afetadas por alterações associadas ao meio externo, nomeadamente através da quantificação da abundância das famílias em diferentes condições ambientais, bem como ao longo da extensão cavernícola sob diferentes

paisagens, além de nos fornecer informações de uma forma simples e intuitiva, sendo facilmente interpretados até mesmo por não especialistas (SANTOS & CABRAL, 2011).

Nossas simulações StDM permitiram uma melhor percepção das consequências ecológicas frente a determinados impactos ambientais. Portanto, a nossa metodologia proposta deve ser considerada como uma ferramenta complementar para avaliar a integridade das comunidades, usando os coleópteros como um indicador em ambientes cavernícolas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação do StDM em sistemas ambientais é um desenvolvimento recente, inclusive não há na literatura dados que utilizasse a aplicação desse modelo em ambientes cavernícolas, porém, já foi aplicado com sucesso em vários tipos de cenários, como em agro-ecossistemas (SANTOS & CABRAL 2004; CABRAL *et al.*, 2007), rios de montanha e reservatórios (CABECINHA *et al.*, 2004; CABECINHA *et al.*, 2007; CABECINHA *et al.*, 2009), estuários (SILVA-SANTOS *et al.*, 2006; SILVA-SANTOS *et al.*, 2008), previsão de impactos em população de quirópteros (MEDEIROS, 2008), conservação da vida selvagem (SANTOS *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2010), ornitologia (SANTOS *et al.*, 2009; BASTOS *et al.*, 2012), efeitos do fogo sobre os ecossistemas florestais (SILVA-SANTOS *et al.*, 2010), impactos dos parques eólicos em ecossistemas de montanha (SANTOS *et al.*, 2010), previsão de riqueza de plantas invasoras (SANTOS *et al.*, 2011).

Embora conceitualmente simples, a aplicação do nosso modelo estocástico dinâmica atendeu nosso principal objetivo, que era prever como os coleópteros cavernícola reagiriam quando as condições de habitat e ambientais são modificadas por ações antrópicas, o que nos permitiria antever estratégias de manejo.

Os resultados obtidos pelas simulações são interessantes, uma vez que parecem demonstrar a fiabilidade do StDM em capturar a dinâmica dos ecossistemas estudados e por prever o padrão de comportamento para os coleópteros sob diferentes cenários ambientais selecionados.

Apesar das limitações inerentes a esta demonstração, a metodologia proposta é adaptável e de fácil aplicação para diferentes problemas ambientais e em diversos ecossistemas (SANTOS *et al.*, 2010). Quando comparado com outras metodologias de modelação, tal como Inteligência Artificial (DZEROSKI *et al.*, 1997; KUO *et al.*, 2006), nossa metodologia é mais intuitiva em termos matemáticos, fornecendo explicações fáceis para as relações subjacentes entre variáveis explicatórias e de respostas porque é baseado em métodos lineares convencionais que permite um desenvolvimento mais direto das hipóteses testáveis (SANTOS *et al.*, 2010).

Dzeroski *et al.* (1997) refere que os modelos produzidos na forma de regras, com base em abordagens de aprendizagem, são transparentes e pode ser facilmente compreendidas pelos especialistas. A aplicação integradora do StDM exhibe essas qualidades estruturais, mas também oferece saídas simples, adequado e intuitivo, facilmente interpretadas por não-especialistas (SANTOS *et al.*, 2010; SANTOS & CABRAL, 2011; SANTOS *et al.*, 2011).

Acreditamos que este trabalho possa contribuir para melhor entendimento dos ambientes subterrâneos, que apesar de importante ainda é carente de estudos. Enfatiza-se, no entanto, que esta pesquisa não esgota o tema, ainda há muito para ser estudado para melhor entendimento dos efeitos das alterações ambientais a curto e longo prazo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19(6), 716-723.
2. Anderson, D., Burnham, K., Thompson, W. (2000). Null hypothesis testing: problems, prevalence, and an alternative. *Journal of Wildlife Management*, 64, 912–923.
3. Arnan, X., Rodrigo, A. & Retana, J. (2006). Post-fire recovery of Mediterranean ground ant communities follows vegetation and dryness gradients. *Journal of Biogeography*, 33, 1246-1258.
4. Bastos, R.; Santos, M.; Ramos, J.A.; Vicente, J.; Guerra, C.; Alonso, J.; Honrado, J.; Ceia, R.S.; Timóteo, S. & Cabral, J.A. (2012). Testing a novel spatially-explicit dynamic modelling approach in the scope of the laurel forest management for the endangered Azores bullfinch (*Pyrrhula murina*) conservation. *Biological Conservation*, 147, 243–254.
5. Bastos, R.; Santos, M.; Ramos, J.A.; Vicente, J.; Guerra, C.; Alonso, J.; Honrado, J.; Ceia, R.S.; Timóteo, S. & Cabral, J.A. (2012). Testing a novel spatially-explicit dynamic modelling approach in the scope of the laurel forest management for the endangered Azores bullfinch (*Pyrrhula murina*) conservation. *Biological Conservation*, 147, 243–254.
6. Bolliger, J., Lischke, H. & Green, D.G. (2005). Simulating the spatial and temporal dynamics of landscapes using generic and complex models. *Ecological Complexity*, 2, 107–116.
7. Cabecinha, E., Cortes, R. & Cabral, J.A. (2004). Performance of a stochastic-dynamic modelling methodology for running waters ecological assessment. *Ecological Modelling*, 175, 303-317.

8. Cabecinha, E., Pardal, M.A., Cortes, R., Cabral, J.A. (2009). A Stochastic Dynamic Methodology (StDM) for reservoir's water quality management: validation of a multiscale approach in a south European basin (Douro, Portugal). *Ecological Indicators*, 9, 329-345.
9. Cabecinha, E., Silva-Santos, P., Cortes, R., Cabral, J.A. (2007). Applying a stochasticdynamic methodology (StDM) to facilitate ecological monitoring of running waters, using selected trophic and taxonomic metrics as state variables. *Ecological Modelling*, 207, 109-127.
10. Cabral, J.A., Cabecinha, E., Santos, M. Travassos, P. & Silva-Santos, P. (2008). Simulating the ecological status of changed ecosystems by holistic applications of a new stochastic-dynamic methodology (StDM). *Ecological Management (Chapter 4, 19pp)*. New Research: Nova Science Publishers.
11. Cabral, J.A., Rocha, A., Santos, M. & Crespi, A.L. (2007). A stochastic dynamic methodology (StDM) to facilitate handling simple bird indicators in the scope of the agrienvironmental measures problematics. *Ecological Indicators*, 7, 34-47.
12. Coy, R. (1996). The impact of fire on soil invertebrates in E. regnans forest at Powelltown, Victoria. *Biodiversity Series*, 8, 183-199.
13. Cushman, S.A., McGarigal, K. & Nell, M.C. (2008). Parsimony in landscape metrics: strength, universality and consistency. *Ecological Indicators*, 8, 691-793.
14. Dzeroski, S., Grbovic, J., Walley, W.J. & Kompare, B. (1997). Using machine learning techniques in the construction of models. II. Data analysis with rule induction. *Ecological Modelling*, 95, 95-111.
15. Ferreira, R.L & Horta, L.C.S. (2001). Natural and human impacts on invertebrate communities in Brazilian Caves. *Revista Brasileira de Biologia*, 61, 7-17.
16. Ferreira, R.L.; Prous, X.; Bernardi, L.F.O. & Souza-Silva, M. (2010). Fauna subterrânea do estado do Rio Grande do Norte: caracterização e impactos. *Revista Brasileira de Espeleologia*, 1, 25-51.
17. Jørgensen, S.E. (2008). Overview of the model types available for development of ecological models. *Ecological Modelling*, 215, 3-9.
18. Kuo, P.D., Banzhaf, W. & Leier, A. (2006). Network topology and the evolution of dynamics in an artificial genetic regulatory network model created by whole genome duplication and divergence. *Biosystems*, 85, 177-200.
19. Manel, S., Dias, J.M., Buckton, S.T. & Omerod, S.J. (1999). Alternative methods for predicting species distributions: an illustration with Himalayan river birds. *Journal of Applied Ecology*, 36, 734-737.
20. Medeiros, J.A. (2008). Desenvolvimento de um modelo estocástico-dinâmico (StDM) para a previsão de impactos decorrentes da instalação de parques eólicos na actividade de quirópteros. Relatório Final de Estágio (Licenciatura em Ecologia Aplicada). Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal.
21. Mendonza, G.A. & Prabhu, R. (2005). Combining participatory modelling and multicriteria for community based forest management. *Forest Ecology and Management*, 207, 145-156.
22. O'hara, R.B. & Kotze, D.J. (2010). Do not log-transform count data. *Methods in Ecology and Evolution*, 1, 118-122.
23. Odowd, D.J. & Gill, A.M. (1984). Predator satiation and site alteration following fire – mass reproduction of Alpine Ash (*Eucalyptus-delegatensis*) in Southeastern Australia. *Ecology*, 65, 1052-1066.
24. Santos, M. & Cabral, J.A. (2004). Development of a stochastic dynamic model for ecological indicators' prediction in changed Mediterranean agroecosystems of north-eastern Portugal. *Ecological Indicators*, 3, 285-303.
25. Santos, M. & Cabral, J.A. (2011). Simulating the Effects of Anthropogenic Disturbances in Landscape Patches: an Application in North Portugal. *Applied Ecology and Environmental Research*, 9(2), 101-122.
26. Santos, M. (2009). Simplifying Complexity: Applications of Stochastic Dynamic Methodology (StDM) in Terrestrial Ecology. Ph.D (Thesis). University of Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal.
27. Santos, M., Bastos, R., Travassos, P., Bessa, R., Repas, M. & Cabral, J.A. (2010). Predicting the trends of vertebrate species richness as a response to wind farms installation in mountain ecosystems of Northwest Portugal. *Ecological Indicators*, 10, 192-205.
28. Santos, M., Freitas, R., Crespi, A.L., Hughes, S.J. & Cabral, J.A. (2011). Predicting trends of invasive plants richness using local socio-economic data: An application in North Portugal. *Environmental Research*, 11, 960-966.
29. Santos, M., Freitas, R., Crespi, A.L., Hughes, S.J. & Cabral, J.A. (2011). Predicting trends of invasive plants richness using local socio-economic data: An application in North Portugal. *Environmental Research*, 11, 960-966.
30. Santos, M., Travassos, P., Repas, M. & Cabral, J.A. (2009). Modelling the performance of bird surveys in non-standard weather conditions: General applications with special reference to mountain ecosystems. *Ecological Indicators*, 9, 41-51.
31. Santos, M., Vaz, C., Travassos, P. & Cabral, J.A. (2007). Simulating the impact of socioeconomic trends on threatened Iberian wolf populations *Canis lupus signatus* in northeastern Portugal. *Ecological Indicators*, 7, 649-664.
32. Silva, J.P., Santos, M., Queirós, L., Leitão, D., Moreira, F., Pinto, M., Leqoc, M. & Cabral, J.A. (2010). Estimating the influence of overhead transmission power lines and landscape context on the density of little bustard *Tetrax* breeding populations. *Ecological Modelling*, 221, 1954-1963.

33. Silva-Santos, P., Pardal, M.A., Lopes, R.J., Murias, T. & Cabral, J.A. (2006). A stochastic dynamic methodology (SDM) to the modelling of trophic interactions, with a focus on estuarine eutrophication scenarios. *Ecological Indicators*, 6, 394-408.
34. Silva-Santos, P., Pardal, M.A., Lopes, R.J., Murias, T. & Cabral, J.A. (2008). Testing the Stochastic Dynamic Methodology (StDM) as a management tool in a shallow temperate estuary of south Europe (Mondego, Portugal). *Ecological Modelling*, 210, 377-402.
35. Silva-Santos, P., Valentim, H., Luís, A., Queirós, L., Travassos, P. & Cabral, J.A. (2010). A Stochastic Dynamic Methodology (StDM) to simulate the effects of fire on vegetation and bird communities in *Pinus pinaster* stands. *Ecological Indicators*, 10, 206-211.
36. Triola, M.F. (2008). *Introdução à estatística* (10ª edição). Rio de Janeiro: LTC.
37. Wikars, L.O. & Schimmel, J. (2001). Immediate effects of fire-severity on soil invertebrates in cut and uncut pine forests. *Forest Ecology and Management*, 141, 189-200.