



CAPTAR
ciência e ambiente para todos

volume 1 • número 1 • p 31-39

Sistemas de Informação Geográfica como ferramenta em Ecologia

Pedro Pereira*

Carlos Fonseca

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), não são exclusivos do domínio da Geografia, sendo considerados, hoje em dia, uma ferramenta indispensável na Ecologia. As suas potencialidades permitem realizar estudos fundamentais na área da Ecologia, nomeadamente em investigação aplicada sobre a dinâmica da ecologia populacional, interações entre espécies, interações entre espécies e os seus *habitats*, etc., devido principalmente à sua componente espacial e ao seu elevado poder analítico. O conceito de SIG é bastante diversificado e é diferente para muitos autores. No entanto é consensual a utilidade enorme desta ferramenta em estudos ecológicos de variadíssima natureza, especialmente os que envolvem *inputs* e/ou *outputs* de essência cartográfica. No presente artigo é apresentada uma revisão bibliográfica que dá ênfase aos SIG no desenvolvimento de um trabalho em Ecologia, sendo descritos alguns exemplos de trabalhos científicos na área da Ecologia já efectuados, nos quais os SIG foram utilizados como ferramenta.

Departamento de Biologia/CESAM,
Universidade de Aveiro.

Palavras-chave

Sistemas de Informação Geográfica

Modelos ecológicos

Gestão de recursos naturais

*pgpereira@ua.pt

ISSN 1647-323X



CONCEITO

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) têm sido definidos ao longo de vários anos de diferentes formas. Contudo, em todas as definições há um facto comum, que diz respeito ao tipo de dados que são utilizados pelos SIG – dados espaciais (Clarke, 1999) -, que têm a particularidade de se encontrar georreferenciados. Esta particularidade permite ao utilizador visualizar a localização geográfica dos elementos ou dos objectos, que são utilizados numa análise que envolva esta tecnologia (Alegria et al., 1995).

Os SIG podem ser considerados como uma “caixa de ferramentas” que permite analisar dados espaciais, estando sempre, ou quase sempre, associados à utilização de um computador. Neste ponto de vista, há autores que consideram o SIG como um sistema informático, um pacote de *software* que em conjunto com o *hardware* contém os elementos e faculdades necessárias para a análise e tratamento de dados espaciais (Clarke, 1999).

Com o conceito de “caixa de ferramentas”, surge imediatamente uma questão, que se prende com as ferramentas englobadas nos SIG. Vários autores procuraram uma definição que assenta precisamente nas ferramentas e potencialidades de um SIG, isto é, uma definição funcional (Clarke, 1999). Johnston (1998) refere-se assim aos SIG como um “*hardware e software* para introduzir, armazenar, extrair, transformar, medir, combinar, organizar e exibir dados espaciais que foram digitalizados e registados num sistema coordenado comum”.

Os SIG são apenas um exemplo de um Sistema de Informação (SI), ou seja, um sistema que existe para dar respostas a determinadas questões (Clarke, 1999). Um Sistema de Informação é constituído basicamente por um grupo de dados a que é possível ter acesso, de forma a obter resposta a questões que possam ser colocadas, no âmbito para que esse sistema foi criado (Alegria et al., 1995). Desta forma, os SIG recolhem dados espaciais, deslocando-os, ordenando-os, seleccionando-os e recriando-os de forma a encontrar a informação correcta e responder às questões levantadas (Burrough, 1996; Clarke, 1999).

As respostas surgem em forma de entidades ou objectos, cuja localização geográfica faz com que a colecção de dados possua, para além de informação alfanumérica indispensável a qualquer SI, informação gráfica que possibilitará obter essa mesma localização. Essa informação gráfica, que serve de base a um SIG, será estabelecida por cartas topográficas ou temáticas, já que a única forma de georreferenciar é recorrendo a documentos cartográficos (Alegria et al., 1995).

Uma abordagem distinta (embora não diferindo muito das outras, e que de uma forma as correlaciona adicionando mais um elemento) é de que os SIG oferecem uma diversificada lista de alternativas a decisões, em que o utilizador é a entidade que decide. Sob este ponto de vista, por um lado, os SIG são uma base de dados georreferenciada, por outro, um conjunto de técnicas para aquisição de dados, actualização, processamento e visualização dos resultados, tornando-se por isso um instrumento de auxílio à tomada de decisões (Figura 1) (Bahr e Vögtle, 1999).

O desenvolvimento desta ferramenta de análise só foi possível com o surgimento do computador e de sistemas informáticos. Estes vieram possibilitar a utilização do sistema de desenho automático assistido, do processamento digital de sistemas de gestão de bases de dados e imagens, entre outras potencialidades,

para a construção do conceito que hoje conhecemos como Sistemas de Informação Geográfica (Alegria et al., 1995; Burrough, 1996; Burrough e McDonnell, 1998).

Assim, os SIG surgiram como consequência da necessidade de otimizar soluções e repensar recursos, no âmbito de imensas aplicações, como é o caso do planeamento e ordenamento do território, dos estudos de mercado para estabelecimento de novas empresas, da melhoria de percursos de uma rede de distribuição e, na área científica, de estudos de impacto ou degradação ambientais (Alegria et al., 1995).



FIGURA 1: SIG na perspectiva da aquisição de dados, do seu processamento, visualização e geração de alternativas a decisões (Adaptado de Bahr e Vögtle, 1999).

BASES DE DADOS DOS SIG

De uma forma simples, as bases de dados dos SIG são armazenadas tendo em conta dois atributos: o atributo de localização e o atributo temático. Desta forma, a base de dados tem de ser capaz de responder a duas perguntas: “Onde?” e “O Quê?”. Os atributos de localização são definidos usando coordenadas armazenadas digitalmente, o que faz com que os SIG sejam estruturados de acordo com um sistema de coordenadas x, y para o qual qualquer capa temática pode ser referenciada. A Figura 2 ilustra uma vasta gama de capas temáticas, todas elas referenciadas sob um sistema de coordenadas x, y comum e importantes para um hipotético estudo ecológico (Treweek, 1999).

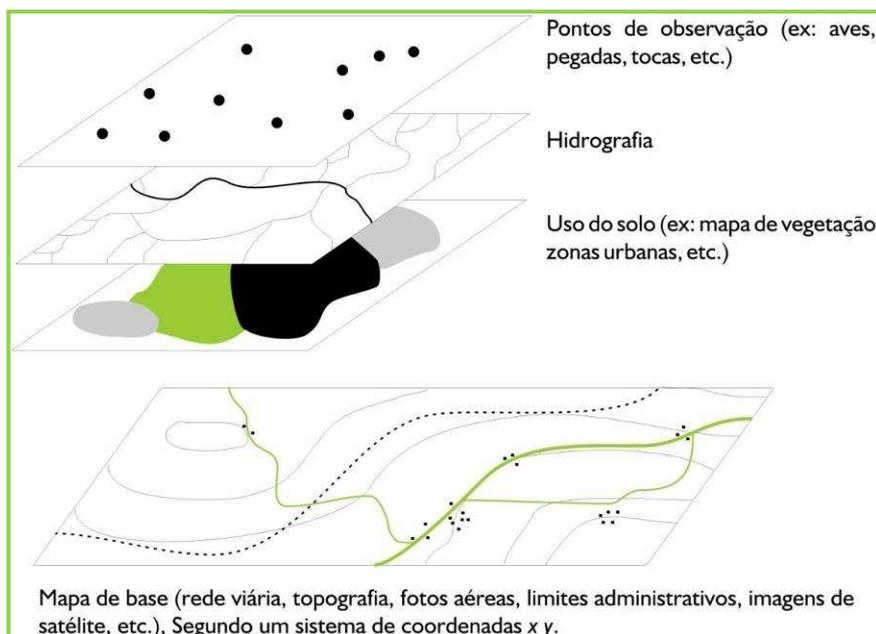


FIGURA 2: Estruturação de uma hipotética base de dados de SIG, aplicada a um estudo ecológico. Adaptado de Treweek (1999).

A natureza de um mapa é determinada por três elementos topológicos de dados: pontos, linhas e polígonos (Treweek, 1999). Os pontos constituem uma entidade a zero dimensões aliada a um valor de x e outro de y , as linhas representam uma entidade a uma dimensão e são descritas por séries de pares de coordenadas x , y e os polígonos, entidades a duas dimensões, são delimitados por linhas mas a sua referência está relacionada a um par de coordenadas algures dentro da área do polígono – centróide (Johnston, 1998; Treweek, 1999).

A criação de uma base de dados de um SIG é um processo trabalhoso e moroso, podendo significar uma grande parte do trabalho e do tempo a ser realizado.

Fontes de dados

A base para a construção do SIG é de extrema importância, nomeadamente no que concerne ao estabelecimento da escala e à sua precisão (Treweek, 1999), dado que tem implicações directas sobre a exactidão dos dados que são obtidos de uma análise. Com o extraordinário avanço e a acessibilidade crescente a dados remotos como imagens de satélite, fotos aéreas, mapas digitais, entre outros, aumentou-se o leque de dados base que podem ser utilizados na construção de um SIG. Com isto, tornou-se possível conjugá-los, e criar uma base sólida que possua vários elementos provenientes das diferentes camadas temáticas. Na verdade, uma das principais vantagens em utilizar os SIG é reunir uma variedade de dados de origens diferentes e poder interpretá-los numa “plataforma comum” (Burrough, 1996; Treweek, 1999).

Armazenamento de dados: formatos vectorial e raster

Embora todos os SIG armazenem dados obedecendo a atributos de localização, alguns utilizam o formato vectorial e outros o formato *raster*. O modelo de dados vectorial representa elementos geográficos de forma semelhante à dos mapas, recorrendo a pontos, linhas e polígonos, onde um sistema de coordenadas Cartesiano (sistema de coordenadas xy) é responsável por referenciar localizações do “mundo real”. Os dados *raster*, por sua vez, não estão associados a um sistema de coordenadas xy , mas a cada célula *grid* (equivalente ao pixel das fotografias) e são-lhe atribuídos valores que cobrem as suas localizações (Johnston, 1998). O formato *raster* ajusta-se bem à análise espacial e é apropriado para o armazenamento dos dados recolhidos em formato *grid*. A quantidade de detalhe que consegue mostrar para um determinado elemento depende do tamanho das células *grid*.



IMPORTÂNCIA DOS SIG EM ECOLOGIA

Os Sistemas de Informação Geográfica são geralmente considerados do domínio dos geógrafos, um mito que tenderá a manter-se quer por geógrafos quer por ecologistas (Johnston, 1998). Contudo, os SIG começaram a ser utilizados pelos ecólogos norte-americanos nos finais dos anos 80 e tornaram-se, ao longo da década de 90, numa ferramenta indispensável para um grande número de estudos em ecologia. É actualmente impensável não se recorrer aos SIG durante a realização de trabalhos que envolvam *inputs* e/ou *outputs* de essência cartográfica (e.g. Delimitar territórios de uma população de mamíferos a partir de uma carta de uso do solo: o *input* corresponderá à carta de uso do solo e o *output* a tudo o que é gerado a partir dessa base, como é o caso da delimitação dos territórios). Esta indispensabilidade justifica-se não só pelas suas grandes capacidades gráficas mas, principalmente, pelas enormes potencialidades analíticas de que são dotados (Segurado e Jesus, 1999).

Os SIG representam o meio mais apropriado para analisar questões de natureza espacial, em que se estudam aspectos de interacção entre espécies, ou aspectos da influência do *habitat* sobre uma espécie, entre muitas outras questões ecológicas (Johnston, 1998). Um SIG é convencionalmente utilizado em estudos sobre a superfície terrestre, mas pode ter muitas outras aplicações a escalas, inclusive, microscópicas. Pode estudar-se, por exemplo, o movimento das águas subterrâneas, ou o efeito de um insecto sobre a folhagem de uma planta recorrendo ao SIG, pois as suas potencialidades analíticas podem ser aproveitadas para quaisquer dados com uma distribuição espacial (Burrough e McDonnell, 1998; Johnston, 1998).

SIG como ferramenta em Ecologia

Os SIG são utilizados em Ecologia de várias formas. Eles permitem conceber e manusear informação que não seria possível de outra maneira (Segurado e Jesus, 1999). De seguida serão abordadas três formas de aplicar os SIG, talvez as mais representativas, tirando o seu máximo aproveitamento num estudo ecológico: (1) geração de variáveis, (2) auxílio no delineamento experimental e (3) construção de modelos ecológicos (3.1.3., 3.1.4. e 3.1.5.).

1. Geração de variáveis

Os SIG detêm a capacidade de extracção de variáveis segundo vários modelos. As variáveis podem resultar de uma digitalização de temas (variáveis qualitativas, como uma rede hidrográfica, uma rede viária, uma cobertura ou uso do solo), de técnicas de interpolação espacial (modelos digitais de terreno, variáveis climatológicas), de processos de classificação de imagens de satélite (por exemplo cobertura do solo) e variáveis que resultam de processos de operações locais, focais, zonais e incrementais (variáveis geomorfológicas como declives, exposição ou proximidade de linhas de água) (Segurado e Jesus, 1999).

Anderson et al. (2002) realizaram um estudo sobre a competitividade interespecífica de duas populações de ratos (*Heteromys australis* e *H. anomalus*), na zona noroeste do continente sul-americano, em que utilizaram mapas em formato *raster* para obter valores de altitude. Analogamente, num estudo realizado com *Dasyomys broadbenti*, ave endémica da Austrália, foram obtidos mapas de declives e de altitude a partir de um MDT (Gibson et al., 2004).

2. Auxílio ao desenho experimental

É no auxílio ao desenho experimental que os SIG mostram a sua grande versatilidade em Ecologia, sendo indispensável para analisar dados já recolhidos como, muitas vezes, para criar um desenho da experimental para os obter. Esta particularidade dos SIG faculta ao investigador a selecção de locais de amostragem, contribuindo para a moderação do esforço despendido no campo (Segurado e Jesus, 1999). Através de técnicas de análise multivariada é possível, por exemplo, identificar regiões homogéneas, segundo variáveis preestabelecidas e consideradas importantes para a situação a modelar, permitindo efectuar-se uma selecção de locais que cumpra os requisitos de uma amostragem aleatória estratificada. Num passo seguinte à selecção é possível criar uma carta de sobreposição dos mapas temáticos que identifiquem a área seleccionada (Segurado e Jesus, 1999).

Alguns membros do Laboratório de Cartografia Biológica (LCB), do Centro de Ecologia Aplicada da Universidade de Évora (CEAUE) já se depararam com uma situação em que necessitavam de restringir a área de amostragem, durante a execução do projecto “Ilhas” do Alqueva. Em linhas gerais, este projecto

tinha por princípio investigar que ilhas é que se formariam, após o fecho das comportas da barragem do Alqueva, e posteriormente elaborar um plano de gestão das mesmas. Inicialmente foram geradas variáveis a partir de modelos digitais de elevação, com os quais se simularam vários cenários de enchimento, de forma a determinar e delimitar as ilhas que futuramente se iriam formar. Ao fazê-lo depararam-se com um número enorme de ilhas, relativamente às quais uma amostragem total não seria exequível. Recorrendo novamente ao SIG, elaboraram um delineamento experimental com base nessas variáveis. Considerou-se o número máximo de ilhas passíveis de ser amostradas e tentou-se efectuar uma selecção das ilhas de forma a aumentar a variabilidade amostrada (através de métodos de ordenação multivariada). Para além disso incluíram-se as coordenadas x y dos centróides das ilhas (forma de como são referenciados os polígonos – explicado anteriormente em ‘BASES DE DADOS DOS SIG’), com o intuito de maximizar as distâncias entre ilhas e, por conseguinte, minimizar as sobreposições das amostras (Segurado e Jesus, 1999).

3. Construção de Modelos Ecológicos

Os modelos proporcionam aos ecólogos ferramentas para explorar medições feitas no campo e integrar informação ecológica importante num contexto espacial e temporal. Esta capacidade tornou-se extremamente importante e utilizada em ecologia, devido ao facto de uma medição individual representar uma única peça de informação ecológica e não poder ser viável avaliá-la individualmente num universo ecológico complexo de interações e de natureza muito dinâmica como é um ecossistema (Johnston, 1998).

A integração dos SIG em modelos ecológicos e ambientais representa uma grande área dentro dos SIG e dentro da Ecologia (Johnston, 1998). Eles têm vindo a ganhar uma capacidade de modulação crescente, quer através da construção de módulos específicos, quer através da ligação a pacotes estatísticos. Os SIG têm sido muito úteis na construção de modelos com o intuito de relacionar um determinado fenómeno ou característica no terreno (variável dependente) com factores ambientais (variável independente) cuja variação no espaço é conhecida. Desta forma, o modelo poderá ser expandido a toda a área geográfica de estudo (Segurado e Jesus, 1999).

Gustafson et al. (2001) criaram um modelo em SIG, para avaliar quais as respostas que teriam as salamandras terrestres, face às alterações planeadas a realizar sobre o estrato florestal da Mata Nacional de Hoosier, em Indiana, EUA. Começaram a construir um modelo em SIG e a testá-lo com dados de abundância de salamandras, obtidos no terreno. Para tal, criaram uma base do modelo recorrendo a modelos digitais de elevação e mapas que demonstravam a história de anteriores medidas de gestão da área de estudo. Tendo em conta a necessidade de hidratação e da preferência por áreas húmidas das salamandras, os investigadores, consideraram que os sítios húmidos eram estabelecidos pelos declives. Desenvolveram então, no seu modelo SIG, funções para identificar zonas altas onde a densidade de salamandras seria, à partida, reduzida e zonas baixas e vales onde essa densidade seria maior. Depois de recolhidos os dados no campo, estes foram introduzidos no modelo onde foram simuladas situações hipotéticas de desflorestação de certas áreas. Este estudo permitiu prever uma influência negativa da desflorestação sobre as populações de salamandras terrestres, assim como simular o que terá acontecido, em anos anteriores.

4. Tipos de Modelos

Podem considerar-se três tipos de modelos diferentes obtidos com SIG: os modelos cartográficos, os modelos baseados em regras e os modelos estatísticos (Johnston, 1998, Segurado e Jesus, 1999).

Os modelos cartográficos (Figura 3) resultam da combinação de duas ou mais camadas de informação para localizar áreas com as propriedades ecológicas pretendidas. Esta abordagem tem sido várias vezes utilizada para identificar os *habitats* adequados, a partir de variáveis ambientais mapeadas e pensadas para ser relacionadas com a sobrevivência de um organismo, sua conservação e gestão (Johnston, 1998).

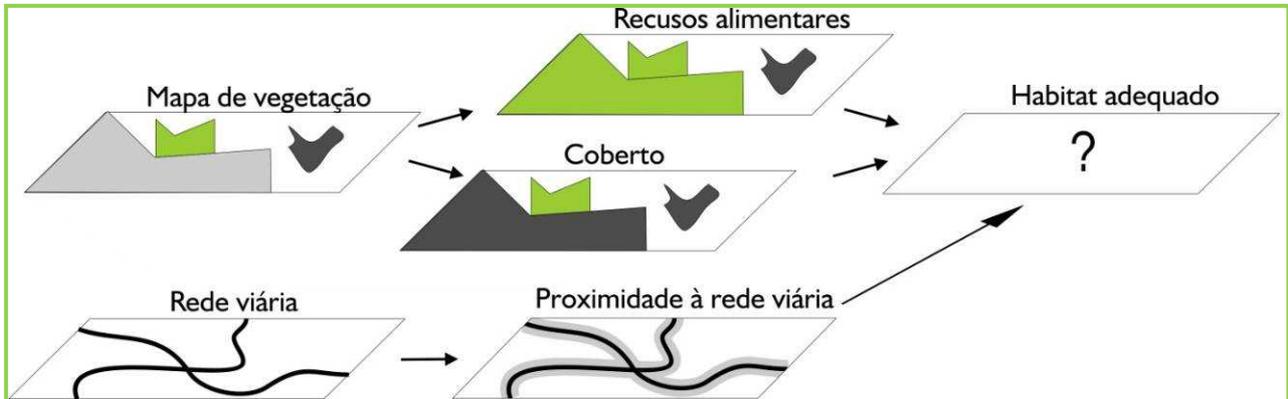


FIGURA 3: Modelo cartográfico para obtenção do mapa de *habitat* adequado. A rede viária e a vegetação podem ser utilizadas num cruzamento de dados espaciais cujo resultado é possíveis zonas de alimentação e de refúgio de um herbívoro, ou seja, um habitat adequado. Adaptado de Johnston (1998).

Os modelos baseados em regras utilizam sistemas informáticos especializados para o estabelecimento de regras de decisão (Segurado e Jesus, 1999). Três tipos de regras foram desenvolvidas e programadas nesse sistema pericial: regras de bases de dados para avaliar informação numérica, regras sobre os mapas para avaliar as variáveis mapeadas e outras utilizadas na avaliação e regulação dos domínios (Johnston, 1998). Desta forma o sistema “percepção” a relação entre as camadas de informação e cria uma série de critérios para a modelação ecológica (Segurado e Jesus, 1999).



FIGURA 4: Esquema explicativo de um sistema especializado no estabelecimento de regras de decisão. O sistema informático segue determinadas regras, conferidas por um vasto grupo de ferramentas de processamento de dados, ferramentas de análise e de apoio à decisão, traçando por fim um plano de acção sobre o qual o utilizador vai desenvolver o seu trabalho. Adaptado de Johnston (1998).

Nos modelos estatísticos estabelece-se uma relação empírica entre variáveis e determina-se a propriedade ecológica (variável resposta), estimando-se parâmetros cuja validade é estatisticamente testada. Neste tipo

de modelos aplicados à Ecologia, o SIG junta dados espaciais a parâmetros ecológicos e realiza testes estatísticos. Estes testes irão determinar a robustez, ou seja, a qualidade da relação criada entre dados e parâmetros. (Johnston, 1998; Segurado e Jesus, 1999).

Latimer et al. (2006) mostraram como se constroem modelos estatísticos para lidar com elementos de previsão espacial e criar mais robustez na interferência e no conhecimento das relações entre nichos ecológicos, na sua distribuição e na sua relação com a actividade humana.

5. SIG associado a Modelos Matemáticos

Para além da capacidade de modelação dos SIG, existem outras formas de explorar as suas capacidades, quando, por exemplo, são associados a modelos matemáticos de simulação de populações, ecossistemas ou outros (Wesselung et al., 2007). As hipóteses sobre a dependência do comportamento dos organismos ou ecossistemas em relação a outros organismos, condições ambientais, etc., são inicialmente formuladas. Seguidamente, procede-se à combinação e identificação de dados de vegetação, solo e outras variáveis ambientais. Nesta associação, as variáveis identificadas pelos SIG, são transferidas para um modelo informático que examina as possíveis consequências da análise espacial e posteriormente são reintroduzidas nos SIG, onde vão ser gerados novos mapas. Estes prevêem as propriedades dos ecossistemas determinadas por gradientes espaciais. O modelo pode ser usado para simular respostas a novas condições ambientais, alterando-lhe os parâmetros (Johnston, 1998).

Contudo, os modelos populacionais, só por si, podem não possibilitar conclusões na realização de um estudo de populações, pois nem sempre todas as variáveis são avaliadas. O crescimento de uma população é afectado não só por factores intrínsecos, como a taxa de natalidade e taxa de mortalidade, mas também por factores extrínsecos, como as interacções interespecíficas e as condições ambientais. Desta forma, nos estudos sobre populações, começaram a ser criados e adoptados modelos de demografia populacional que contêm elementos espaciais, como dispersão, competição entre espécies, migrações e fragmentação ambiental. A incorporação de elementos espaciais num modelo populacional pode também ser feita com o objectivo de obter informação sobre a sua influência nas populações (Johnston, 1998).

Enquanto os modelos populacionais se focam em organismos, os modelos de ecossistemas dão ênfase a interacções entre as componentes bióticas e abióticas. Os SIG podem ser utilizados neste tipo de modelos para derivar variáveis, extrapolar resultados espaciais e torná-los visualmente explícitos e atractivos (Johnston, 1998; Wesselung et al., 2007).

agradecimentos • Os autores agradecem ao Prof. Dr. Juan Herrero por todo o apoio neste projecto e à Dr.^a Milene Matos pelo apoio, elaboração dos esquemas e revisão de textos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegria MF, Cauvin C, Daveau S, Dias MH, Fernandes JMC, Ferreira ADB, Galego J, Garcia JC, Guedes JMB, Rimbert S, Rodrigues ML, Saavedra E, Zêzere JL (1995). Os Mapas em Portugal. Da tradição aos novos rumos da Cartografia. Edições Cosmos, Lisboa, 352 pp.
- Anderson RP, Peterson AT, Gómez-Laverde M (2002). Using niche-based GIS modeling to test geographic predictions of competitive exclusion and competitive release in South American pocket mice. *Oikos* 98: 3-16.
- Bahr H-P, Vögtle T (1999). GIS for environmental monitoring. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 360 pp.
- Burrough PA (1996) Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Clarendon Press, Oxford, 194 pp.
- Burrough PA, McDonnell RA (1998). Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press, Oxford, 338 pp.
- Clarke KC (1999). Getting started with geographic information systems. Prentice Hall, Upper Saddle River (NJ), 340 pp.
- Gibson LA, Wilson BA, Cahill DM, Hill J (2004). Spatial prediction of rufous bristlebird habitat in a coastal heathland: a GIS-based approach. *Journal of Applied Ecology* 41: 213-223.
- Gustafson EJ, Murphy NL, Crow TR (2001). Using a GIS model to assess terrestrial salamander response to alternative forest management plans. *Journal of Environmental Management* 63: 281-292.
- Johnston CA (1998). Geographic information systems in ecology. Blackwell Science, Oxford, 239 pp.
- Latimer AM, Wu S, Gelfand AE, Silander JJA (2006). Building Statistical Models to Analyse Species Distributions. *Ecological Applications* 16: 33-50.
- Segurado P, Jesus B (1999). Aplicação de Sistemas de Informação Geográfica nas Diferentes Fases de um Estudo Ecológico. *ESIG99*, Lisboa. 10 pp.
- Treweek J (1999). Ecological impact assessment. Blackwell Science, Oxford, 351 pp.
- Wesselung CG (2007) Integrating dynamic environmental models in GIS: The development of a Dynamic Modelling language. *Transactions in GIS* 1: 40-48.