

CONSIDERAÇÕES SOBRE A FRAGMENTAÇÃO TERRITORIAL E AS REDES DE CORREDORES ECOLÓGICOS

Miguel Ângelo Silva Pereira

Licenciado em Geografia e Planejamento Regional.
Mestre em Sistemas de Informação Geográfica.
Investigador do Centro de Ecologia e Ambiente da Universidade de Évora.
Herdade da Mitra – 7000 Évora Portugal.
E-mail:masp@uevora.pt

Nuno Alexandre Gouveia de Sousa Neves

Doutor em Sistemas de Informação Geográfica.
Professor Auxiliar da Universidade de Évora.
Investigador do e-GEO – Centro de Estudos de Geografia e Planejamento Regional.
Colégio Luís Verney – 7000 Évora Portugal.
E-mail:nneves@uevora.pt

Diogo Francisco Caeiro Figueiredo

Doutor em Biologia. Professor Catedrático da Universidade de Évora.
Investigador do Centro de Ecologia e Ambiente.
Colégio Luís Verney – 7000 Évora Portugal.
E-mail:dcf@uevora.pt

RESUMO

Ao longo deste artigo são abordadas as diversas dimensões do conceito de fragmentação territorial bem como os instrumentos de análise espacial no seu estudo e avaliação. São igualmente afluídas as metodologias para a definição territorial de redes de corredores ecológicos. A utilização de indicadores de composição e configuração permite a monitorização dos efeitos da fragmentação territorial, causados pelas diferentes ações do homem na matriz territorial. Indicadores, que caracterizam as manchas territoriais tendo em conta a dimensão, a forma e o grau de conectividade das manchas do habitat na resistência e promoção dos movimentos das espécies de fauna e flora. O planeamento de redes de corredores ecológicos tem por objetivo minimizar os efeitos negativos da fragmentação territorial. A modelação geográfica e as metodologias de estatística espacial apresentam-se como um meio na identificação de soluções e alternativas de redes de corredores ecológicos para a articulação territorial.

Palavras-chave: Biodiversidade; Corredores ecológicos; Fragmentação; Planejamento; Espécies.

CONSIDERATIONS OF TERRITORIAL FRAGMENTATION AND ECOLOGICAL CORRIDORS

ABSTRACT

This article deals with fragmentation issues and logical instruments to identify net ecological corridors to promote biodiversity. Information technologies and digital data workflow allow geoprocessing models in territorial explanations. The use of matrix indicators to monitoring habitat fragmentation is a solid research issue. Indicators that allow us to measure patches by the use of metrics shape, size and isolation, etc. To validates the patch habitat in the persistence and the promotion movements of species. There is an evident importance of spatial modelling as a way to define and select net ecological corridors. The conceptual paradigm is base on the relation of space-specie as an integrator dimension.

Keywords: Fragmentation, Net corridors, Planning, Species movements

INTRODUÇÃO

A redução e destruição dos recursos de biodiversidade traduzem-se em alterações nos ecossistemas e na sua capacidade em contribuir com bens e serviços para a sociedade (TILMAN, 2000). A biodiversidade é um recurso com valor estratégico (econômico, científico, etc.), o que torna a conservação da natureza um fim não apenas ético, mas também instrumental na defesa e no bem-estar das sociedades humanas.

A biodiversidade está relacionada com a heterogeneidade territorial, e esta, com os processos de distúrbio ambiental ocorridos no histórico da terra. Por outro lado a heterogeneidade territorial é também a expressão dos gradientes ambientais do planeta, com reflexos nos padrões e na distribuição da biodiversidade (BERGON e TOWNSEND, 2006). Em consequência das atividades e ações humanas no território existe uma tendência para a simplificação da matriz territorial dos habitats. A simplificação dos habitats põe em causa e afeta de forma direta a heterogeneidade territorial e a biodiversidade (COLLINGE, 1996).

A evidência do decréscimo acentuado de biodiversidade mundial traduziu-se no planejamento de áreas para promover e assegurar os recursos biogeográficos. A estratégia da União Européia em matéria de biodiversidade estabelece que:

[...] a planificação territorial pode contribuir para a conservação e gestão sustentável dos ecossistemas [...] e o uso sustentável da diversidade biológica em todo o território [...] e na necessidade de informação baseada em indicadores e sua monitorização. (EEA, 2007).

O conceito de conservação *in situ* resultou da necessidade em identificar e selecionar locais para conservar e maximizar a biodiversidade. Este conceito baseia-se na conservação a longo prazo de espécies e habitats através do funcionamento dos processos ecológicos naturais, em contraposição a intervenções humanas de maior intensidade e elevado custo econômico (ex. bancos genéticos, reprodução em cativeiro, etc.).

A Estratégia Portuguesa de Conservação da Natureza e da Biodiversidade define os dois vetores da conservação *in situ*: (1) a rede de espaços naturais protegidos e (2) a gestão territorial exterior (ENCNB, 2001). A questão que podemos colocar é a seguinte: em que medida os dois vetores fundadores cumprem as suas funções? Nomeadamente, se existem conectividade e articulação territorial entre os dois vetores, a hipótese de resposta aponta para um crescente efeito da fragmentação territorial que impede o fluxo das espécies de fauna e flora.

A fragmentação territorial é um conceito simples e intuitivo; trata-se da divisão de uma mancha do habitat em partes pequenas, inclui também a transformação e destruição do habitat. Formalmente, a fragmentação territorial tem conseqüências na conectividade e nos mecanismos responsáveis pelas alterações negativas dos processos ecológicos sobre espécies selvagens (COLLINGE, 1996; SERRANO et al ; BOTE-QUILHA e AHERN, 2002).

A fragmentação territorial por intermédio do isolamento de habitats até então contínuos resulta no aumento dos fatores de fronteira e no incremento da vulnerabilidade e permissividade dos habitats (WEGENER, 2001). As conseqüências negativas da fragmentação territorial materializam-se em conseqüências abióticas e bióticas: desertificação e incremento da erosão de solo, vulnerabilidade dos habitats às alterações climáticas ou na extinção de espécies.

As transformações operadas pela espécie humana no território processam-se pelas mais diversas formas, destaca-se a extração de recursos em que assumem

especial importância os energéticos primários, e crescente modificação das práticas e atividades agroflorestais. No entanto, a extensão da urbanização e a valorização econômica da ocupação urbana contribuem de forma acentuada para a artificialização dos territórios naturais e seminaturais. As modificações na matriz e ocupação territorial são reflexos do desenvolvimento das áreas urbanas e do aumento das vias de comunicação e transporte terrestre (Figura 1). Segundo Byron et al (2000) as infra-estruturas rodoviárias são a principal fonte de perturbação no território natural.

Segundo Forman (2000) a dimensão do fenômeno das infraestruturas rodoviárias atinge um a dois por cento do território dos países industrializados, com efeitos num terço do território. As infraestruturas terrestres de comunicação e transporte estão entre as mais responsáveis pelo incremento da fragmentação territorial, resultando em barreiras à mobilidade de indivíduos de espécies selvagens, conduzindo os indivíduos e as espécies a processos estocásticos (GENELETTI, 2004; FRASER e STUTCHBURY, 2004). Mas também efeitos indiretos pela indução de transformações e alterações rápidas na composição de espécies de fauna e flora. Alguns dos efeitos mais referidos nas espécies animais, referem-se à diminuição da diversidade genética por inbreeding depression, com reflexos nas taxas de reprodução e imunidade (SERRANO et al, 2002).

Estudos recentes avaliaram os efeitos da fragmentação territorial das ações humanas na persistência das espécies. As questões destes estudos assentam nas implicações da fragmentação da matriz territorial nos fatores de persistência, composição e processos ecológicos. As análises centram-se em parâmetros espaciais tais como; a conectividade territorial, a forma, o contexto, o efeito de fronteira e a heterogeneidade (COLLINGE, 1996; FAHRIG, 2002). As conclusões indicam uma estreita relação entre a fragmentação e o declínio de indivíduos e espécies, com óbvias conseqüências para a biodiversidade.

A generalidade dos estudos efetuados aborda as relações de uma espécie com o habitat, existem ainda poucos exemplos onde são avaliados diferentes grupos ou comunidades de espécies em simultâneo. Da análise bibliográfica efetuada referem-se aqui os dois grupos de estudos mais aplicados:

- a) Efeito da fragmentação nos habitats provocada pelas alterações da ocupação do solo, com especial incidência nas infraestruturas de transporte e comunicação (SERRANO et al, 2002; GENELETTI, 2004; JAEGER et al, 2007);
- b) Efeito da fragmentação territorial dos habitats na dinâmica demográfica de espécies (CUSHMAN e MCGARIGAL, 2003; FRASER e STUTCHBURY, 2004).

A fragmentação territorial dos habitats afeta de forma significativa os padrões de distribuição das espécies e comunidades. O conhecimento e identificação das relações entre os padrões de distribuição territoriais e os processos ecológicos, devem contribuir para melhorar e articular as diferentes dimensões e funções territoriais com incidência na conservação da biodiversidade (BERGON et al, 2006).

A explicação dos efeitos induzidos pelos diferentes fatores de fragmentação, suas implicações e conseqüências para a matriz territorial estão longe de ser cabalmente compreendidos e modelados pelas diferentes disciplinas que tratam os fenômenos da vida na terra. Os fatores de fragmentação não são novos na História da Terra; a questão resulta da rapidez e das conseqüências induzidas pelas atividades humanas. Fragmentações territoriais derivadas da industrialização moderna, que transformam drasticamente a estrutura dos habitats naturais. Algumas das alterações processadas na ocupação e uso do solo podem ser potencializadas por fatores recentes, como as alterações climáticas.

AS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NA INDUÇÃO DA FRAGMENTAÇÃO

As alterações climáticas e as suas implicações diretas e indiretas na ocupação e uso do solo apresentam-se, como fator multiplicador das ações negativas da fragmentação territorial. As alterações climáticas, em teoria, podem também representar novas oportunidades para um conjunto de espécies colonizarem outros gradientes terrestres.

Relativamente aos habitats florestais os modelos já efetuados indicam que existe uma redução de dimensão das áreas de mancha florestal e um movimento de concentração nas áreas de montanha. A redução de habitat florestal materializa-se de forma significativa nas áreas de altitude média, conseqüência e resultado do aumento da temperatura (PEARSON e DAWSON, 2005; THUILLER et al, 2005).

Os modelos efetuados com a distribuição projetada de répteis e anfíbios no continente europeu resultam em direcções contraditórias de expansão e redução da distribuição destes grupos biológicos (ARAÚJO et al, 2006). No caso dos anfíbios o aumento esperado de temperatura e a redução da disponibilidade de água podem ter conseqüências negativas na viabilidade das espécies. No caso dos répteis existe um potencial de dispersão das populações que pode, no entanto não ter uma materialização concreta por dificuldades de movimentação num espaço cada vez mais fragmentado.

Os modelos de alterações climáticas apresentam também uma forte relação com os fogos florestais. As vagas de calor extremo associadas a fogos florestais acentuam os fatores de desertificação e de alterações na composição e padrão de distribuição das espécies (DURÃO, 2007). A redução dos habitats florestais disponíveis e a alteração da sua geometria poderá interagir na mobilidade das espécies e originar alterações na diversidade e declínio do seu número.

Chegados a este ponto é o momento de colocarmos a seguinte questão: Como pode intervir a avaliação e análise espacial na monitorização da matriz territorial?

ANÁLISE E AVALIAÇÃO TERRITORIAL

A estrutura da matriz territorial é avaliada por intermédio de um conjunto de indicadores de composição e configuração dos elementos que a compõem. Segundo McGarigal e Cushman (2002) os indicadores de composição avaliam a frequência ou ocorrência de um tipo de elemento territorial (Quadro 1). Os indicadores de configuração avaliam as características físicas e posicionais dos elementos territoriais (Quadro 2). A quantificação dos indicadores permite ordenar os aspectos de diversidade, homogeneidade ou heterogeneidade dos elementos da matriz territorial.

O desenvolvimento de indicadores territoriais chegou a um ponto de grande maturidade, generalizados em software específico. Existem disponíveis cerca de 55 a 60 indicadores, com diferentes níveis de correlação entre eles. O que torna a sua seleção uma questão de especial importância na sua utilização. A utilização de indicadores territoriais deve ser orientada por critérios de adequabilidade aos fenômenos em estudo. Os indicadores são na sua maioria descritores dos padrões territoriais e nem todos apresentam a mesma aplicabilidade na avaliação da fragmentação territorial.

Em termos práticos não existe um indicador que permita descrever e avaliar em termos absolutos a complexidade da matriz territorial. Quando utilizados complementarmente os indicadores permitem aferir o estado de conservação territorial e ser instrumentos de ligação entre a ciência e o processo de decisão territorial (RUTLEDGE, 2003).

Por uma questão de organização e facilidade na estruturação lógica das abordagens formais, os parâmetros territoriais mais utilizados para aferir as implicações e grau de fragmentação dos habitats são habitualmente abordados individualmente. Em todo o caso, os seus efeitos práticos devem ser considerados globalmente e de forma holística.

INDICADORES DE COMPOSIÇÃO

Os indicadores de composição avaliam o número de manchas e a área ocupada por cada mancha do habitat.

Quadro 1: Exemplo de alguns indicadores de composição disponíveis

| Nome | Símbolo | Descrição |
|---------------------------|----------------|--|
| Número de manchas | <i>NP</i> | Número de manchas de uma categoria de habitat |
| Dimensão média por mancha | <i>MPS</i> | Área média de manchas de uma categoria de habitat |
| Densidade de mancha | <i>PD</i> | Número de manchas de uma categoria de habitat por unidade de área (ex. 10ha) |

Os indicadores de composição estão fortemente relacionados com o fator da dimensão ocupada por cada mancha dum habitat. A dimensão de uma mancha do habitat é especialmente importante na defesa e preservação da biodiversidade a ela associada.

Os estudos realizados confirmam a relação muito forte entre a dimensão das manchas de habitat e a persistência das espécies que nela habitam (WATSON et al, 2005). Em sentido contrário, quanto menor é a área, menor é o número de espécies. As extinções locais podem ser uma consequência direta da redução na dimensão da mancha do habitat ou indireta, por resultar de interrelações novas não suportadas pelas espécies.

Os estudos realizados em duas épocas de nidificação com a ave Piranga olivacea mostram que a seleção territorial dos machos dominantes está associada à dimensão do habitat, as áreas mais fragmentadas e de menor dimensão ficam reservadas aos machos mais jovens com menor afirmação territorial (FRASER e STUTCHBURY, 2004). Nos estudos em questão, os habitats mais fragmentados apresentam menor capacidade de captação de indivíduos e menor taxa de ocupação interanual e uma correlação com o isolamento.

As conclusões destes estudos apontam para uma relação positiva entre a dimensão da mancha de habitat e a capacidade de persistência das espécies. E para a existência de uma dimensão crítica de habitat que varia em função do tipo e da espécie em causa (FAHRIG, 2002).

INDICADORES DE CONFIGURAÇÃO

Os indicadores de configuração avaliam a complexidade da forma e grau de conectividade ou isolamento das manchas da matriz territorial.

Quadro 2: Exemplo de alguns indicadores de configuração disponíveis

| Nome | Símbolo | Descrição |
|-----------------------|---------------|---|
| Rácio perímetro: área | <i>P/A</i> | O rácio entre o valor de perímetro e a área das manchas de habitat |
| Conectividade | <i>ICI</i> | Conectividade entre uma mancha de destino e manchas de origem |
| Contágio | <i>CONTAG</i> | Avalia o grau de vizinhança entre um conjunto de células de um mapa |

Os indicadores de configuração estão fortemente relacionados com a forma e a conectividade das manchas do habitat.

A forma pode ser descrita pela relação entre o perímetro / área, sendo que desta relação o valor um aproxima-se da geometria do círculo. Uma mancha de habitat que apresente uma forma muito alongada e estreita está mais exposta às relações de vizinhança e menos protegida, com valores de indicador próximos de zero. No sentido inverso estará uma mancha de habitat que se aproxime do valor um em que o seu núcleo está mais protegido.

A forma de uma mancha de habitat fragmentado em conjugação com a sua dimensão determina a maior ou menor relação com o efeito de fronteira. A forma pode ainda ter o efeito de funil encaminhando os indivíduos numa certa direção. Esta condição foi aferida por estudos de mamíferos em que certos locais apresentam maior número de mortes por atropelamento (SERRANO et al, 2002).

A conectividade territorial corresponde ao grau em que o território promove ou dificulta o movimento das espécies na matriz territorial. A utilização territorial das espécies (o seu espaço vital) é muito diversificado podendo variar com o seu gênero, as suas necessidades tróficas, reprodução, tamanho, peso ou comportamento social (CHETKIEWICZ et al, 2006). Os exemplos demonstram que será sempre necessário ter em consideração a distância física, mas também os fatores de barreira causados pelas infraestruturas e atividades humanas.

Tal como anteriormente referido as infraestruturas de comunicação rodoviária são em grande medida responsáveis pela fragmentação territorial (Figura1), para algumas espécies, habitualmente exóticas, assumem um papel importante na sua dispersão territorial (HANSEN e CLEVENGER, 2005). Em Portugal um dos exemplos paradigmáticos é caso das espécies do genero *Acacia* que se dispersam rapidamente, fruto da sua capacidade em tirar partido dos veículos para a difusão das sementes e assim colonizar novos territórios.

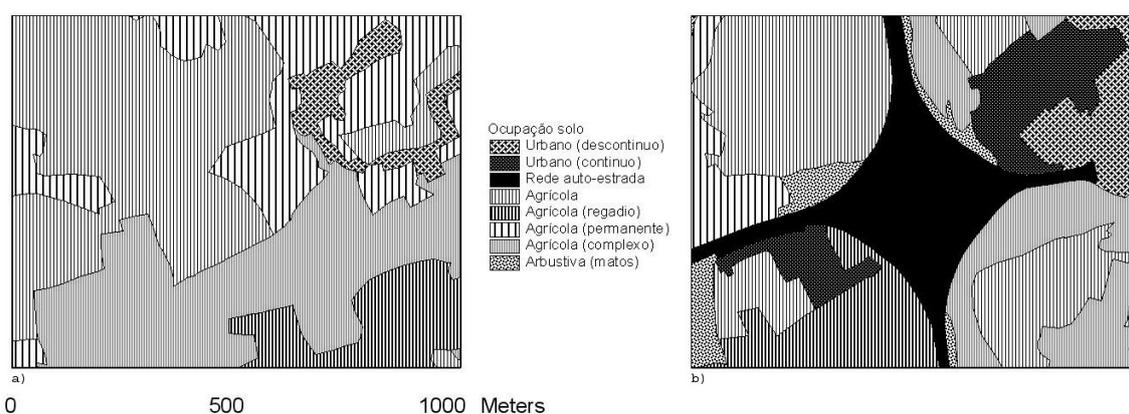


Figura 1: A evolução temporal (a-b) da ocupação do solo numa amostra da área metropolitana de Lisboa. A fragmentação territorial expressa-se na disjunção ou desaparecimento dos habitats: (a) os territórios maioritariamente com ocupação agrícola em 1958 dão lugar em 1985 (b) à sucessão da urbanização e as infra-estruturas de transporte e comunicação.

ESCALA DE ANÁLISE E REPRESENTAÇÃO

Os resultados dos estudos sobre a fragmentação territorial estão em grande medida dependentes da escala a que é feita a análise. Os resultados indicam que para

grandes escalas o território apresenta maior fragmentação vindo a nossa capacidade em avaliar a fragmentação territorial a diminuir à medida que diminui a escala de análise (KEITT, et al, 1997). Alguns dos indicadores utilizados (ex CONTAG) apresentam uma relação de forte dependência relativamente às classes representadas, à unidade mínima da representação territorial bem como relativamente à área total de representação.

A escala é de importância acentuada quando estão em causa diferentes relações entre os organismos vivos. Os resultados mostram que a conectividade territorial está em certa medida dependente dos efeitos de escala de utilização territorial do organismo em questão. Quando a espécie(s) em causa faz uma utilização territorial muito limitada e confinada a pequenos espaços (na grandeza de metros) a configuração territorial é pouco relevante na conectividade e dispersão demográfica (RANTALAINEN et al, 2004). De forma similar, as espécies com grande mobilidade entre territórios muito afastados também não estão muito dependentes da configuração individual das manchas. De modo oposto estão as espécies com necessidades definidas numa escala de filtragem 'percolation transition' para além e abaixo da qual não apresentam capacidades de dispersão demográfica (KEITT et al, 1997).

A articulação territorial assume importância acrescida na difusão e dispersão das espécies de fauna e flora. O planeamento de áreas indutoras de conectividade (corredor ecológico), entre pólos e manchas de habitats pode ser um instrumento de desfragmentação territorial.

CORREDOR ECOLÓGICO?

Não existe uma definição única e com validade universal para o conceito de corredor ecológico. A bibliografia apresenta diversas designações para um conceito comum 'stepping stones', 'movement routs' 'corridor', 'linear habitats', 'landscape routs' etc. O conceito de corredor ecológico aqui definido vai para lá do conceito de corredor verde, muito em voga na ecologia da paisagem e com muita expressão no planeamento urbano.

Na maioria dos autores consultados a definição de corredor ecológico aplica-se a estruturas lineares formadas por fragmentos de habitats da matriz territorial e que garantem a mobilidade das espécies de fauna e flora. Estamos perante uma concepção centrada na estrutura/forma. Para outros autores esta é uma definição ultrapassada e com deficiências conceptuais (CHETKIEWICZ et al, 2006).

A definição alternativa aponta para a conectividade dos padrões espaciais e os processos ecológicos selecionados pelas espécies. Esta definição remete-nos para a funcionalidade com base nas questões de mobilidade, tendo em conta que os corredores podem ser elos de ligação, num território heterogeneo (TISCHENDORF e FAHRIG, 2000).

As duas definições centram-se em aspectos comuns mas direcionados para paradigmas territoriais diferentes; a primeira definição parte do conceito de matriz do território como garantia das funções de mobilidade das espécies; a segunda definição centra-se na mobilidade das espécies para a relacionar com a selecção da matriz do território.

A aplicação do conceito de corredor ecológico está tradicionalmente associado às espécies de fauna, relacionado com a premissa da sua mobilidade o que lhes permite, na medida das suas possibilidades, seleccionar as áreas de trânsito. A promoção da mobilidade é de maior importância na garantia das necessidades de alimentação e reprodução, assegurando a obtenção de recursos e a permutação para a diversidade genética.

Podem os corredores ecológicos facilitar diferentes tipos de movimentos, que não só os de dispersão? Não sabemos ao certo quais os mecanismos de movimentação e as opções das espécies na selecção dos territórios de dispersão e reprodução. Será a facilidade de movimento das espécies sinonimo de preservação da biodiversidade? As questões em causa não são de resposta simples e única, e não se pretende aqui responder completamente a elas, mas tão somente problematizar a temática.

A definição territorial de corredores ecológicos pode ter o efeito perverso de confinar territorialmente os indivíduos e de torná-los uma presa fácil ou previsível. Pode apresentar desvantagens comparativas pelo potencial de difusão dos fenómenos transformadores, como por exemplo, o fogo, a difusão de doenças ou a competição com espécies domésticas. Podemos até teoricamente considerar que: os habitats de menor qualidade e em certa medida mais fragmentados podem ter a função positiva na filtragem de algumas espécies intervindo como barreira à progressão de indivíduos indesejados.

Não se sabe ao certo numa razão quantificável como é que os corredores ecológicos promovem a biodiversidade. Os estudos realizados até agora com experiências em campo, apresentam condicionalismos na atribuição de valor ao efeito dos corredores ecológicos (DAVIES e PULLIN, 2007). A passagem dos pressupostos teóricos à validação com base em experiências controladas é ainda uma tarefa muito experimental (McGARIGAL e CUSHMAN, 2002).

Coloca-se então a seguinte questão: Quais os objetivos no planejamento de corredores ecológicos? Porque existe a crença de serem um fator chave no incremento e persistência das espécies por intermédio dos seus indivíduos.

Mesmo com a existência de dúvidas sobre o resultado positivo da ação dos corredores ecológicos sobre a biodiversidade; apesar das possíveis conseqüências negativas causadas pela facilitação da dispersão de enfermidades existe a convicção das vantagens que justificam a delimitação e planejamento de corredores ecológicos. Segundo Simberloff et al (1992), existem pelo menos quatro princípios fundamentais em seu favor:

- 1ª Reduzir os factores de 'inbreeding depression';
- 2ª Promover a mobilidade das espécies;
- 3ª Reduzir a estocasticidade demográfica e
- 4ª Promover as taxas de migração.

Segundo Herrmann et al (2003), o planejamento de corredores ecológicos deverá ocorrer ao nível regional. Segundo estes autores o nível regional afigura-se como ideal, por se tratar de um nível que maximiza os recursos gastos e os benefícios obtidos. Ao nível nacional é demasiado onerosa a sua implementação e ao nível local não apresenta benefícios ecológicos justificáveis.

O objetivo primordial do corredor ecológico está na promoção do fluxo de animais e plantas e depende em grande medida das características de cada espécie em concreto. A definição e planejamento de estruturas territoriais em rede permite considerar uma orgânica integrada e conectar o conjunto de corredores ecológicos.

A construção de modelos territoriais explícitos afigura-se como instrumento de utilidade primordial para testar e aferir alguns dos parâmetros de composição e configuração dos habitats e propor soluções na definição territorial de redes de corredores ecológicos (MOSER et al, 2007). As metodologias e técnicas apropriadas na caracterização territorial das funções ecológicas dependem da questão que queremos responder, da sua adaptação ao universo de variáveis envolvidas e da complementaridade entre elas (SEGURADO e ARAÚJO, 2004).

METODOLOGIAS PARA A IDENTIFICAÇÃO E SELEÇÃO DE REDES DE CORREDORES ECOLÓGICOS

O desenvolvimento das tecnologias de computação incrementou significativamente as possibilidades na recolha, tratamento e apresentação da informação geográfica como instrumento no desenvolvimento de modelos de análise e planeamento de redes de corredores ecológicos (WEGENER, 2001).

A tecnologia de Detecção Remota (DR) e as ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) oferecem possibilidades e abordagens estruturadas na análise espacial, com uma ampla capacidade em gerar e tratar dados com os mais diversos detalhes e resolução espacial e espectral.

Os modelos espaciais apresentam vantagens pela capacidade de gerar cenários alternativos com representação territorial e simplicidade na interpretação dos resultados obtidos (BOTEQUILHA e AHERN, 2002). Nas questões da fragmentação da matriz territorial e na definição de redes de corredores ecológicos trata-se de tirar proveito de oportunidades no desenvolvimento e análise de modelos, onde as respostas dos indivíduos das diferentes espécies podem ser comparadas a diferentes escalas e em diferentes momentos temporais.

Quais as técnicas utilizadas na modelação de corredores ecológicos? Por se tratar de tipos de modelos muito específicos as soluções encontradas utilizam métodos e técnicas complementares, não existe por assim dizer uma solução “chave-na-mão”. Habitualmente e convenientemente, para contornar as limitações técnicas e analíticas recorre-se às opiniões de especialistas baseadas em observações das populações de espécies no terreno.

As metodologias mais adotadas assentam em abordagens de relações territoriais de carácter explícito. A utilização de modelos definindo as relações territoriais explícitas resultam da difusão e generalização das técnicas de geoprocessamento. Nomeadamente com a utilização de análises de vizinhança raster onde é definida uma ‘janela de análise’ num espaço ortogonal. Embora muito limitados, estes modelos ajudam na análise e na representação e permitem entender as implicações da dinâmica dos padrões territoriais sobre as populações de espécies (HARGROVE et al, 2005). Estes modelos surgem por vezes em associação a modelos de mobilidade individual de espécies. As propostas de modelação territorial incluem abordagens a sistemas de reação difusão num espaço controversamente isotrópico (WEGENER, 2001).

As propostas recentes de modelação estão centradas na possibilidade em simular o movimento dos indivíduos e suas relações com os padrões da matriz de ocupação do solo. Modelos de movimentos definidos por direções (ângulos), caminhos ótimos e relações fractais ou análises de grafos. Estamos perante conjunto de técnicas de simulação e quantificação dos movimentos, que permitem detectar padrões de comportamentos no território (CHETKIEWICZ et al, 2006).

Modelos de conectividade

A dispersão territorial das espécies selvagens não é apenas uma função de distância, mas também uma questão de resistência da matriz territorial. Os modelos 'superfícies de atrito' podem ser calculados relativamente ao atrito no deslocamento, mas também para o risco de predação associado ao fenómeno de dispersão territorial. Esta abordagem parte do princípio que o movimento do indivíduo está convenientemente associado ao habitat, o que em boa medida não está completamente provado. As aplicações informáticas permitem calcular superfícies de atrito em função da distância entre grupos de células 'pixel' alvo, que na essência são funções de distância radial. O operador de distância pode simular e integrar efeitos friccionais ou barreiras. São abordagens tipicamente de SIG para estimar o caminho ótimo entre dois pontos definidos.

A análise de grafos é uma técnica bastante utilizada e experimentada, nomeadamente na modelação das redes de transportes e permite identificar a conectividade de uma estrutura em rede composta por nós e arcos. Transposto o princípio da análise de grafos à matriz territorial é possível modelar a conectividade entre as manchas fragmentadas e comparar com os deslocamentos observados de indivíduos. Os modelos construídos com o recurso a esta técnica avaliam a importância das manchas individuais e das formações de clusters territoriais (JORDAN, 2000). Ao retirar algumas das manchas em localizações estratégicas os indivíduos perdem capacidade de mobilidade. Consequência da perturbação na conectividade local e com efeitos conectividade global. Os resultados obtidos expressam a importância de certas manchas na estrutura global do território.

Modelos de classificação

Existem várias técnicas estatísticas que nos permitem modelar o padrão de distribuição e ocorrência das espécies relativamente às variáveis ambientais (SEGURADO e ARAÚJO, 2004; JEPSEN et al, 2005). As técnicas utilizadas na estatística espacial aplicam-se às questões da fragmentação da matriz territorial na seleção de redes de corredores ecológicos. Os modelos estatísticos de classificação são porventura o grupo mais abrangente e mais utilizado para gerar perfis territoriais.

As técnicas da estatística espacial analisam as probabilidades de presença ao longo dos territórios, e permitem assim inferir as funções de conectividade. Tratam a caracterização dos habitats utilizando Funções de Seleção de Recursos (FSRs) que descrevem a estrutura de associações de espécies em diferentes escalas. Os modelos de regressão logística estão entre os mais utilizados. Habitualmente referidos como Modelo Linear Generalizado (GLM) ou Modelo Aditivo Generalizado (GAM), técnicas para estimar os valores de uma variável (ex. espécie) considerando a relação de dependência face às variáveis independentes (KOPER et al, 2007).

Para além das regressões, surge cada vez mais a utilização das redes neuronais, com a modelação do desconhecimento. As ausências das espécies podem ser conseguidas usando as chamadas pseudo ausências, por exemplo, pontos localizados aleatoriamente. Outra das técnicas alternativas é baseada em Análise de Componentes Principais, reconhecida por Ecological-Niche Factor Analysis (ENFA). A principal vantagem na utilização desta técnica prende-se com o fato de permitir a modelação com base no conhecimento das distribuições de presença, sem o conhecimento das ausências de espécies (HIRZEL et al, 2002).

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Considerando que a biodiversidade é um recurso econômico, e que se pretende garantir a exploração dos recursos a longo prazo, trata-se, pois necessário conservar para poder explorar. Por conseguinte, é fundamental incorporar as implicações econômicas da fragmentação da matriz territorial para uma efetiva conservação e manutenção da biodiversidade.

Em que medida os indicadores avaliam os efeitos sobre a matriz territorial nos processos ecológicos? A utilização de indicadores afigura-se como a forma por excelência para quantificar e monitorizar as alterações territoriais. A utilização de indicadores territoriais assume-se com um potencial em grande expansão. Uma das temáticas que se afigura mais promissora a investigação é a concepção e implementação de modelos de integração sistêmica de indicadores caracterizadores da fragmentação.

Será que a dimensão das manchas de habitat tem a mesma influência na persistência, independentemente da espécie em causa? A mobilidade e a seleção territorial são aspectos da maior importância para compreensão dos fenômenos de fragmentação na dinâmica populacional das espécies, mas na prática nem todas as espécies apresentam o mesmo padrão de comportamento relativamente ao mesmo espaço (FRASER e STUTCHBURY, 2004). Queremos com isto afirmar que a interligação territorial de espaços fragmentados não garante por si só a conexão para todas as espécies, o que em grande medida representa um desafio de planeamento.

É de esperar que a interpretação do território e sua valorização conceitual seja a mesma para as diferentes espécies como o é para a espécie humana? Segundo CHETKIEWICZ et al (2006) a questão de fundo que impede o desenvolvimento dos estudos e planeamento de corredores ecológicos, prende-se com a falta de conhecimentos sobre a integração entre o padrão de configuração e a composição dos habitats com a selecção e os mecanismos de movimentação das espécies.

As características consideradas nos corredores ecológicos enquanto territórios de fluxo mudam substancialmente se estiver em causa o estudo de ambientes aquáticos ou de outros elementos em movimento, como os nutrientes, os fluxos de energia, ou espécies migradoras que 'saltam' para evitar habitats desfavoráveis. A definição tradicional de corredor ecológico pode passar a ser considerada como um caso concreto de um conceito mais geral. Que permite diferentes configurações e estruturas com a preocupação primordialmente nas funções. A nossa proposta vai no sentido da substituição do conceito de corredor ecológico pelo conceito de redes de corredores com funções ecológicas, com o objetivo de promover a biodiversidade por via da desfragmentação territorial.

O planeamento para a conservação da biodiversidade deverá ter em consideração o território com um todo. Trata-se de afirmar a idéia ampla da conservação territorial, tendo em consideração na equação do planeamento as possibilidades oferecidas pelas áreas sem estatuto de conservação, integradas com as áreas classificadas. Em que a matriz territorial garanta a sustentabilidade ecológica em harmonia com as atividades humanas.

O desafio para o planejamento e organização territorial assenta na tarefa e nos objetivos de conhecimento das características das espécies que pretende promover. A consideração do maior número de elementos que integrem a análise territorial na identificação de redes de corredores com funções ecológicas ganha expressão com as abordagens holísticas no campo teórico.

Se não temos dúvidas que os instrumentos para construir modelos de simulação estão em franca expansão, reconhecemos que apresentam ainda algumas limitações. Limitações de ordem material, como a falta de informação quantitativa e qualitativa que permita gerar conhecimento adequado aos objetivos. Limitações conceituais que dificultam o reflexo nos modelos dos aspectos funcionais associados à mobilidade das espécies e à sua interação com o território.

Julgamos que algumas das questões mais sensíveis na construção dos modelos prendem-se com o teste e validação dos indicadores e na calibração dos mesmos em condições reais. A falta de dados e sua adequação faz com que os modelos se baseiem em parâmetros auto governantes, os quais influenciam e, em certos casos, podem determinar o espectro dos resultados. Existem ainda muitas interrogações sobre os mecanismos de relacionamento do padrão e da matriz territorial nas implicações no movimento das espécies. Quanto maior é o esforço na análise e estudo das interações entre os indivíduos e o território, mais interrogações e peculiaridades se colocam ao planejamento e conceitualização das redes de corredores com funções ecológicas.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M.B., THUILLER, W., e PEARSON, R.G. Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. *Journal of Biogeography*, 33, 1712-1728, 2006.
- BERGON, M., TOWNSEND, R.C., e HARPER, L.J. *ECOLOGY From Individuals to Ecosystems*. Oxford: Blackwell Publishing, 2006.
- BYRON, H.J., TREWEEK, J., VEITCH N, SHEATE, W.R., THOMPSON, S. Road developments in the UK: an analysis of ecological assessment in environmental impact statements produced between 1993 and 1997. *Journal of Environmental Planning and Management*. 43, 71 – 97, 2000.
- BOTEQUILHA, L.A., AHERN, J. Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning. *Landscape and Urban Planning*. 59, 65-93, 2002.
- CHETKIEWICZ, C.L., St. CLAIR, C.C., e BOYCE, M.S. Corridors for Conservation: Integrating Pattern and Process. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 37, 317-342, 2006.

- COLLINGE, S.K. Ecological consequences of habitat fragmentation: implications for landscape architecture and planning. *Landscape and Urban Planning*. 36, 59-77, 1996.
- CUSHMAN, S. A. e MCGARIGAL, K. Landscape-level patterns of avian diversity in the Oregon coast range. *Ecological Monographs*. 73, 259-281, 2003.
- DAVIES, Z. e PULLIN, A. Are hedgerows effective corridors between fragments of woodland habitat? An evidence-based approach. *Landscape Ecology*. 22, 333-351, 2007.
- DURÃO, R. Incêndios Florestais e Desertificação. IN: DESERTIFICAÇÃO INOVAÇÃO E NOVAS TECNOLOGIAS À ESCALA REGIONAL, 2 de Julho, Moura, 2007.
- EEA. Halting the loss of biodiversity by 2010: proposal for a first set of indicators to monitor progress in Europe. Disponível em <http://reports.eea.europa.eu/technical_report_2007_11/en/> Acesso em: 7 Novembro 2007.
- ENCNB. Estratégia Nacional de Conservação da Natureza e da Biodiversidade. Disponível em <<http://www.progeo.pt/pdfs/encnbcn.pdf>> Acesso em: 15 Novembro 2007.
- FAHRIG, L. Effect of habitat fragmentation on the extinction threshold: a synthesis. *Ecological Applications*. 12, 346-353, 2002.
- FRASER, G.S. e STUTCHBURY, B.J.M. Area-sensitive forest birds move extensively among forest patches. *Biological Conservation*. 118, 377-387, 2004.
- FORMAN, R.T. Estimate of the area affected ecologically by the road system in the United States. *Conservation Biology*. 14(1), 31– 5, 2000.
- GENELETTI, D. Using spatial indicators and value functions to assess ecosystem fragmentation caused by linear infrastructures. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 5, 1-15, 2004.
- HANSEN, M.J. e CLEVINGER, A.P. The influence of disturbance and habitat on the presence of non-native plant species along transport corridors. *Biological Conservation*, 125, 249-259, 2005.
- HARGROVE, W. W., HOFFMAN, F.M., e EFROYMSON, R.A. A Practical Map-Analysis Tool for Detecting Potential Dispersal Corridors. *Landscape Ecology*, 20, 361-373, 2005.
- HERRMANN, S., DABBERT, S., E SCHWARZ-VON RAUMER, H.-G. Threshold values for nature protection areas as indicators for bio-diversity a regional evaluation of economic and ecological consequences. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 98, 493-506, 2003.
- HIRZEL, A., HAUSSER, J., CHESSEL, D., e PERRIN, N. Ecological-Niche factor Analysis: How to Compute Habitat-Suitability Maps Without Absence Data? *Ecology*. 83, 2027-2036, 2002.
- JAEGER, A.G., H.-G.SCHWARZ-VON RAUMER, H.ESSWEIN, M.M., e M.SCHMIDT-LÜTTMANN. Time Series of Landscape Fragmentation Caused by Transportation Infrastructure and Urban Development: a Case Study from Baden-Württemberg, Germany. *Ecology and Society*. 12, 2007.
- JEPSEN, J.U., BAVECO, J.M., TOPPING, C.J., VERBOOM, J., e VOS, C.C. Evaluating the effect of corridors and landscape heterogeneity on dispersal probability: a comparison of three spatially explicit modelling approaches. *Ecological Modelling*. 181, 445-459, 2005.

JORDAN, F. A reliability-theory approach to corridor design. *Ecological Modelling*. 128, 211-220, 2000.

KEITT, T., URBAN, D., e MILNE, B. Detecting Critical Scales in Fragmented Landscapes. *Ecology and Society*. 1, 4, 1997.

KOPER, N., SCHMIEGELOW, F. e MERRILL, E. Residuals cannot distinguish between ecological effects of habitat amount and fragmentation: implications for the debate. *Landscape Ecology*. 22, 811-820, 2007.

MCGARIGAL, K. e CUSHMAN, S.A. Comparative evaluation of experimental approaches to the study of habitat fragmentation effects. *Ecological Applications*. 12, 335-345, 2002.

MOSER, B., JAEGER, J., TAPPEINER, U., TASSER, E., e EISELT, B. Modification of the effective mesh size for measuring landscape fragmentation to solve the boundary problem. *Landscape Ecology*. 22, 447-459, 2007.

PEARSON, R.G. e DAWSON, T.P. Long-distance plant dispersal and habitat fragmentation: identifying conservation targets for spatial landscape planning under climate change. *Biological Conservation*. 123, 389-401, 2005.

RANTALAINEN, M.L., HAIMI, J., e SETALA, H. Testing the usefulness of habitat corridors in mitigating the negative effects of fragmentation: the soil faunal community as a model system. *Applied Soil Ecology*. 25, 267-274, 2004.

RUTLEDGE, D. Landscape indices as measures of the effects of fragmentation: can pattern reflect process? Department of Conservation and Wellington. DOC Science Internal Series 98, 5-24, 2003.

SEGURADO, P. e ARAUJO, M.B. An evaluation of methods for modelling species distributions. *Journal of Biogeography*. 31, 1555-1568, 2004.

SERRANO, M., SANZ, L., PUIG, J., e PONS, J. Landscape fragmentation caused by the transport network in Navarra (Spain): Two-scale analysis and landscape integration assessment. *Landscape and Urban Planning*. 58, 113-123, 2002.

SIMBERLOFF, D., FARR, J.A., COX, J., e MEHLMAN, D.W. Movement Corridors: Conservation Bargains or Poor Investments? *Conservation Biology*. 6, 493-504, 1992.

TILMAN, D. Causes, consequences and ethics of biodiversity. *Nature*. 405, 208-211, 2000

TISCHENDORF, L. e FAHRIG, L. On the usage and measurement of landscape connectivity. *Oikos*. 90, 7-19, 2000.

THUILLER, W., LAVOREL, S., ARAÚJO, M.B., SYKES, M.T., e PRENTICE, I.C. Climate change threats to plant diversity in Europe. *PNAS*. 102, 8245-8250, 2005.

WATSON, J.E.M., WHITTAKER, R.J., e FREUDENBERGER, D. Bird community responses to habitat fragmentation: how consistent are they across landscapes? *Journal of Biogeography*. 32, 1353-1370, 2005.

WEGENER, M. New spatial planning models. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 3, 224-237, 2001.

