

## **ECOLOGIA DA PAISAGEM VOLTADA PARA O MANEJO DE AVIFAUNA**

**Juliana Carvalho Frota Mattos, Osmar Abílio de Carvalho Júnior,  
Renato Fontes Guimarães**

UnB – Universidade de Brasília – Departamento de Geografia – Laboratório de  
Sistemas Informações Espaciais - Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte,  
70910-900, Brasília, D.F.

frotamat@hotmail.com; {osmarjr, renatofg}@unb.br

Recebido 10 de novembro de 2002; revisado 19 de junho; aceito 5 de agosto de 2002

**RESUMO** - A análise da paisagem, mais especificamente a ecologia da paisagem permite estabelecer uma base de estudo para compreendermos os impactos humanos na fragmentação da vegetação e na distribuição e conservação das aves. Os estudos de fragmentação da vegetação exploram as várias áreas de conhecimento, sendo um deles o impacto da fragmentação na distribuição das espécies. Para se fazer às análises de fragmentação e de distribuição existem duas ferramentas muito importantes que são o uso de imagens de satélite para a análise da vegetação e o uso do sistema de informações geográficas (SIG) para as análises de distribuição das espécies e dos fragmentos de vegetação. Com esta base teórica e com as ferramentas necessárias, é possível se obter informações importantes e conhecimento sobre as causas da fragmentação e suas conseqüências além de podermos utilizar este conhecimento para fazermos estudos de conservação da natureza para manutenção da biodiversidade e manejo e manutenção de espécies ameaçadas.

**Palavras chave:** ecologia da paisagem, fragmentação, biodiversidade, sensoriamento remoto, SIG.

**ABSTRACT** - The Landscape Analysis, more specifically Landscape Ecology, provides the basic knowledge necessary in order to understand the human impacts on forest fragmentation and on the distribution and conservation of bird species. The

study of forest fragmentation has been explored in many fields, including the study of forest fragmentation and its impacts on the distribution of bird populations. There are two main resources that are used to help in the analysis, the use of satellite images to visualize the forest fragmentation and the use of geographic information systems (GIS) for the species distribution analysis. With the basis background knowledge and the necessary tools, one is able to predict the causes of forest fragmentation and its consequences, as well as being able to use these predictions to study biodiversity and conservation of endangered species.

**Key words:** landscape ecology, fragmentation, biodiversity, remote sensing, GIS

## INTRODUÇÃO

A paisagem dever ser considerada um sistema holístico, relativista e dinâmico. Desta forma, a Análise da Paisagem é um estudo complexo por ser um conceito de natureza holística (Antrop, 1997; Naveh e Liebermann, 1993; Troll, 1950) que integra todos os componentes que a formam: geologia, geomorfologia, vegetação, homem entre outros. Um sistema holístico significa que o todo é maior que a soma de suas partes. Neste sistema cada elemento terá uma identidade devido a sua posição em relação aos seus circunvizinhos, onde alguma alteração em um dos elementos acarretará numa alteração no todo (Antrop, 2000).

A paisagem se refere à percepção que temos do nosso meio podendo ter um sentido abstrato ou concreto. Como conceito abstrato, a paisagem se refere a cenários, sistemas e estruturas sem fronteiras. Como conceito concreto, a paisagem se refere a uma área que se distingue das outras devido a uma

característica específica onde se pode observar uma delimitação ou borda (Antrop, 2000).

Forman & Godron (1986) definem a paisagem como: “uma área heterogênea composta por vários grupamentos de ecossistemas que se repetem de uma maneira similar de uma região a outra e interagem entre si”. Metzger (1998), considera a paisagem como uma unidade heterogênea, composta por um complexo de unidades iterativas (em geral ecossistemas, unidades de vegetação ou de uso de ocupação das terras), cuja estrutura pode ser definida pela área, forma e disposição espacial (ex: grau de proximidade e de fragmentação). Essa abordagem busca definir critérios espaciais para compreender os sistemas existentes e suas interações. Desta forma, a paisagem pode ser classificada de acordo com os seus padrões estruturais e espaciais, sendo formadas por uma combinação complexa de fatores naturais e culturais.

A paisagem possui também um caráter temporal e dinâmico de seus elementos. A paisagem evolui e se modifica para atingir um padrão estrutural ótimo. Um bom exemplo é o processo de urbanização. Este processo permite que ocorra um aumento da capacidade suporte, ou seja, o número de indivíduos que cabem numa determinada área de uma população (Antrop, 1991). A interação entre estrutura e função é à base da ecologia da paisagem (Forman e Godron, 1986).

A paisagem está sempre em desenvolvimento devido a fatores internos e externos. Os fatores internos são aqueles que podem ser controlados em escala local, pela ação direta dos habitantes de uma região. Os fatores externos são

geralmente de caráter indireto, por exemplo, a política e a economia internacional que podem influenciar na caracterização da paisagem em longo prazo.

Compreender como nós estamos inseridos dentro da paisagem é a base para a prosperidade ou colapso de uma comunidade. A paisagem é muito difícil de ser manejada, pois se apresenta dividida em várias partes com estratégias, objetivos e interesses diferentes. O fato de ela estar dividida dificulta esta visão holística, pois nem todos têm o mesmo planejamento para suas terras. Além disso, os impactos na paisagem têm conseqüências diferentes conforme as condições existentes (Haines-Young *et al.*, 1993).

O planejamento da paisagem é muito importante para evitar a fragmentação ecológica dos ecossistemas. O estudo da paisagem permite interpretar e compreender como que a paisagem está sendo alterada e como os seus habitantes estão se adaptando às alterações. O estudo mais importante a ser feito sobre a paisagem é como que os organismos, principalmente animais e vegetais, são capazes de se adaptar às alterações do meio, e se não são capazes, como que nós seres humanos podemos ajudar estes organismos sobreviverem?

### **ECOLOGIA DA PAISAGEM**

Para se estudar a paisagem é necessário que se tenha uma base de conhecimento geográfico e biológico – ecológico. A análise da paisagem une os conceitos da ecologia (para se estudar e compreender os organismos e como que eles interagem com o seu meio e hábitat, e também para compreender as relações entre ecossistemas locais), com os conceitos da geografia como: condições climáticas, localização, topografia, pedologia, geomorfologia, e outros.

A Ecologia da Paisagem estuda o desenvolvimento e a dinâmica da heterogeneidade espacial, interações espaciais e temporais, as trocas que ocorrem entre paisagens heterogêneas, influências da heterogeneidade espacial nos processos bióticos e abióticos e manejo da heterogeneidade espacial (Bridgewater, 1993).

A conservação da natureza envolve dois objetivos distintos, mas que se relacionam: (1) manutenção da biodiversidade e (2) manejo e manutenção da infra-estrutura ecológica de áreas protegidas. Embora a biodiversidade inclua a maior variabilidade genética possível dentro de comunidades ecológicas distintas, ela sozinha não é considerada um objetivo adequado para os estudos da conservação. É a infra-estrutura ecológica que permite que a biodiversidade exista, se mantenha ou se modifique dentro de um meio ambiente. Então, neste contexto, o estudo da Ecologia da Paisagem permite a manutenção da biodiversidade através do entendimento da estrutura e função da paisagem (Bridgewater, 1993).

A preocupação com a manutenção da biodiversidade requer o manejo de ecossistemas, especialmente para aqueles que sofrem maior grau de ameaça. O trabalho para conservação de espécies ameaçadas requer um conhecimento detalhado da distribuição da espécie em seu habitat natural.

### **FRAGMENTAÇÃO E IMPACTOS NA AVIFAUNA**

A abordagem mais recente do estudo de análise da paisagem para se criar estratégias de conservação de ecossistemas é a análise dos processos e conseqüências da fragmentação do habitat. A fragmentação é a

compartimentação de um grande habitat em parcelas menores, que modificam extensas áreas de vegetação natural resultando em um mosaico de ambientes fragmentados e isolados (Forman, 1997). Muitas espécies, especialmente aves e grandes mamíferos, não conseguem manter suas populações em pequenos fragmentos (machas), o que os leva a extinção e conseqüentemente perda da biodiversidade. Essa segmentação do ambiente pode ser causada por: (a) impactos antrópicos, (b) processos naturais devido a fatores ambientais, ou (c) uma combinação de ambos (Machado, 1995).

Os impactos humanos são os que mais afetam o habitat natural. Os fragmentos podem ser separados por rodovias, ferrovias, pastagens, áreas urbanas entre outros. A compreensão do processo de fragmentação da paisagem necessita de uma descrição histórica da ocupação da terra e dos fatores econômicos da região (ex: agricultura, pecuária, silvicultura, etc.). Esses condicionantes econômicos determinam as características de tamanho, distribuição espacial, arquitetura e conectividade dos remanescentes.

Para o estudo de ecologia da paisagem, a forma mais difícil de planejamento é à parte do entorno das cidades onde existem características urbanas e rurais. A paisagem se modifica a partir dos grandes centros urbanos e se desenvolve a partir da expansão destes grandes centros para o meio rural e natural.

As estradas são importantes indicativos da atividade antrópica, pois a partir dela iniciam os processos de fragmentação, permitindo o avanço da agricultura e urbanização. As rodovias apresentam uma série de impactos negativos sobre as populações como, poluição sonora, movimento nas estradas, luzes e separação de habitats (Forman e Alexander, 1998). Os impactos ecológicos causados pelas

rodovias são: (1) perda do habitat; (2) aumento do número de fragmentos e diminuição do tamanho dos fragmentos; (3) efeito de borda; (4) dispersão de algumas espécies específicas; (5) morte de animais devido aos veículos nas rodovias; (6) barreira para a dispersão de certos organismos e concomitantemente o isolamento destes; (7) perturbação intensiva devido ao tráfego nas rodovias; (8) facilita o acesso humano e conseqüentemente a caça; (9) facilita a erosão do solo e queimadas e (10) perturbação do processo hidrológico (Saunders *et al.*, 2002). Os habitats próximos às rodovias também sofrem alterações microclimáticas, hidrológica, alteração dos componentes químicos do solo e da temperatura do ar. Estas alterações causam danos à dinâmica das comunidades biológicas e mortalidade das espécies. Devido a estes fatores, as rodovias são consideradas a maior causa de fragmentação e de impactos ecológicos.

Desta forma a fragmentação tem conseqüências graves nas populações de flora e fauna, provocando: (a) redução dos ambientes naturais disponíveis para a maioria das espécies, (b) confinamento das espécies ou populações em áreas isoladas, (c) aumento do risco de extinção, (d) eliminação da variabilidade genética desestruturando as populações, (e) diminuição do fluxo gênico entre as áreas isoladas, (f) surgimento de espécies especializadas em áreas de borda que são mais facilmente predadas e (g) impactos em espécies sensíveis às alterações dos habitats, desestruturando todo ecossistema.

As respostas da biota regionais frente aos processos de fragmentação têm sido objeto de investigação recente em diversas regiões do mundo, inclusive no Brasil (Kattan *et al.*, 1994; Laurance e Yensen, 1990; Laurance, 1990; Lovejoy *et al.*, 1986; Newmark, 1991; Saunders, 1989; van Apeldoorn *et al.*,

1992; Willis, 1979; Zimmerman e Bierregaard, 1986). Na maioria dos casos é possível detectar-se os prejuízos do processo de fragmentação e isolamento que se traduzem pela diminuição progressiva na diversidade biológica local e regional. A magnitude e velocidade desse processo são dependentes de uma série de fatores, modificações microclimáticas e estruturais dos fragmentos, grau e tempo de isolamento, distribuição das áreas remanescentes ao longo da paisagem e arquitetura dos fragmentos (Saunders *et al.*, 1991).

É necessário também caracterizar o *status* de conservação da biodiversidade da área, além dos possíveis impactos provocados pelo processo de fragmentação da região como um todo. Dentre as características do hábitat da ave deve-se considerar: a altitude, as variáveis climáticas que têm reflexo sobre a riqueza e a composição das comunidades locais (Terborgh, 1971, 1977; Noon, 1981), disponibilidade diferencial de alimentos, e a estrutura geral da vegetação e das interações específicas.

### **FATORES QUE INFLUENCIAM NA ESTRUTURA DA POPULAÇÃO**

A estrutura da paisagem interfere na dinâmica de populações alterando os riscos e as possibilidades de deslocamento. As relações entre as estruturas da paisagem e a diversidade das comunidades foram amplamente estudadas a partir dos anos 70 através da aplicação da teoria do equilíbrio dinâmico de ilhas (MacArthur e Wilson, 1967). Mais recentemente, a teoria de metapopulações permite analisar a influência das estruturas da paisagem sobre a dinâmica de populações fragmentadas (Metzger, 1999).



Estes estudos possibilitaram definir os principais parâmetros que determinam a dinâmica de populações e a diversidade nas comunidades: (a) área, isolamento e efeito de borda dos fragmentos, (b) conectividade dos habitats e (c) complexidade do mosaico da paisagem (Metzger, 1999).

## **ÁREA DOS FRAGMENTOS**

A diminuição do tamanho e o aumento do isolamento dos fragmentos acarretam em uma diminuição das metapopulações, interações sociais e dispersões dos animais favorecendo a extinção de espécies (Cale, 2003; Ouborg, 1993; Wootton e Douglas, 1992).

A área do fragmento é em geral um dos mais importante parâmetro para explicar as diversidades das espécies (Santos *et al.*, 2002). No trabalho de Brotons e Herrando (2000), os fragmentos de até 2ha mantinham 30% das espécies de aves estudadas enquanto que os de 25ha mantinham 50%.

A variação da riqueza de espécies em função da área do fragmento pode ser modelada a partir da equação  $S = cA^z$ , onde  $S$  é a riqueza de espécies,  $A$  é a área do fragmento,  $c$  e  $z$  são duas constantes. A constante  $z$  é definida pela inclinação da curva de  $\log(S)$  por  $\log(A)$  (Murphy e Wilcox, 1986; Diamond, 1975). A riqueza de espécies diminui quando a área do fragmento fica menor do que as áreas mínimas necessárias para a sobrevivência das populações (Forman *et al.*, 1976; Saunders *et al.*, 1991). O tamanho desta área mínima varia de acordo com a espécie e é determinada pelo tamanho do território do indivíduo e pelo número mínimo de indivíduos de uma população geneticamente variável (Rolstad, 1991). Concomitante a perda de área ocorre à redução da heterogeneidade interna do habitat contribuindo para a extinção das espécies.

A diminuição da área total do fragmento aumenta também o efeito de borda, que acarreta no caso de aves, aumento do parasitismo de fillhotes e predação dos ninhos. Além disso, reduz os recursos naturais o que intensifica as competições inter e intra-específicas (Metzger, 1999).

## **ISOLAMENTO DOS FRAGMENTOS**

O isolamento age negativamente na riqueza ao diminuir a taxa (ou potencial) de imigração (ou recolonização). A proximidade dos fragmentos de possíveis corredores ou de florestas (área de vegetação contínua) favorece a sobrevivência das espécies que habitam nos fragmentos.

O isolamento pode ser medido pela distância dos fragmentos até um possível corredor ou uma floresta contínua. As espécies que se mantêm em fragmentos isolados tornam-se dominantes diminuindo a diversidade do habitat (teoria da biogeografia de ilhas de MacArthur e Wilson). O isolamento depende das distâncias e das áreas de todos os fragmentos vizinhos, do arranjo espacial dos fragmentos de habitat, assim como das características do ambiente entre os fragmentos (da matriz inter-habitat) (Metzger, 1999).

## **MIGRAÇÕES E EFEITOS DE BORDA (EDGE EFFECT)**

As bordas são áreas de transição entre um fragmento e outro. São as áreas de habitat mais expostas às perturbações externas e possuem em geral maior diversidade e densidade de espécies. As bordas vão controlar a intensidade e o tipo de fluxo do fragmento, ela poderá se permeável a uma espécie e impermeável a outra, causando assim um “efeito de borda”.

O efeito de borda, que surge em consequência da fragmentação, resulta na degeneração das condições ecológicas no interior de fragmentos de pequeno porte (Lovejoy *et al.*, 1986; Laurance e Yensen, 1990) acarretando alterações microclimáticas que podem ser notadas até 500 metros a partir de sua borda. Com resultado, espécies adaptadas ao interior do fragmento passam a ceder lugar para àquelas adaptadas a borda (Laurance, 1991). Deste modo, em fragmentos pequenos, haveria uma menor disponibilidade de habitat para espécies animais e vegetais adaptadas às condições de interior dos fragmentos, estas, portanto, estariam sofrendo impactos mais significativos do que as espécies adaptadas às porções mais secundárias da paisagem (Machado, 1995).

A extensão dos efeitos de borda depende das condições do meio, assim como das espécies e dos fatores ecológicos considerados. Estudos de aves que nidificam em florestas temperadas demonstram que o número de ninhos das bordas florestais é maior do que nas áreas internas das matas, sendo porem a predação e o parasitismo dos recém nascidos nas bordas também mais intenso, acarretando num sucesso reprodutivo mais baixo. Dentro de um fragmento a importância da área habitat/não-habitat controla a razão entre o número de espécies adaptadas às condições de borda e as espécies das zonas internas, que são em geral as mais sensíveis à fragmentação. O aumento das áreas de borda de habitat numa paisagem, que em geral reflete uma maior fragmentação deste habitat, favorece o desenvolvimento de espécies de borda e também de espécies generalistas que tendem a excluir, por competição ou predação, as espécies de interior (Metzger, 1999).

## CONECTIVIDADE DOS HABITATS

O arranjo espacial de um fragmento em relação a outros fragmentos de forma a possibilitar a sua conectividade, ou seja, uma ligação entre estes fragmentos é também um fator importante.

A conectividade pode ser definida como a capacidade da paisagem de facilitar os fluxos biológicos de organismos (Urban e Shugart, 1986). Os efeitos da conectividade entre os fragmentos dependem não somente da distância entre as manchas, mas também da habilidade do animal se movimentar entre uma e outra (O'Neill *et al.*, 1988; With e Crist, 1995).

Segundo Metzger (1999) a conectividade apresenta um duplo aspecto, estrutural (ou espacial) e funcional. O aspecto estrutural é a fisionomia da paisagem em termos de: (a) arranjo espacial dos fragmentos de habitat (considerando, por exemplo, a distribuição de tamanhos dos fragmentos ou o isolamento de fragmentos de um mesmo tipo); (b) densidade e complexidade dos corredores de habitat e (c) permeabilidade da matriz (relacionado à resistência dos fragmentos aos fluxos biológicos). O aspecto funcional refere-se à resposta biológica específica de uma espécie à estrutura da paisagem. A conectividade funcional é uma medida da intensidade da união das sub-populações numa unidade demográfica (metapopulação).

O grau de conectividade de uma paisagem, para uma dada espécie, deve sempre levar em consideração o padrão de deslocamento do indivíduo. A sobrevivência das espécies depende da capacidade destas espécies atravessarem as unidades da matriz. Para tanto, o fluxo entre os fragmentos dependem principalmente de corredores ou pontos de ligação (*stepping stones*).

Uma maneira de solucionar o problema de isolamento das manchas de fragmentos remanescentes é de se manter a conectividade entre eles através de corredores. Os corredores possibilitam o deslocamento das aves e outras espécies pelo mosaico e permite a dispersão das populações (Bolger *et al.*, 2001). As espécies se tornam sensíveis à fragmentação de habitat, em parte devido ao fato de não conseguirem se dispersar através da matriz e também devido ao fato de que estas espécies apresentam maiores taxas de extinção que de colonização em fragmentos isolados (Bolger *et al.*, 2001; Crooks *et al.*, 2001).

### **A DIVERSIDADE DA PAISAGEM**

A fragmentação não se traduz apenas pela perda de áreas e pela sub-divisão de habitat contínuo em manchas isoladas. A fragmentação leva também a um aumento da complexidade do mosaico que pode ser avaliada por parâmetros de diversidade da paisagem e complexidade de bordas (Metzger, 1999).

A diversidade pode ser definida pelo grau de variabilidade, quanto maior a variabilidade, maior a heterogeneidade. No caso de uma análise da paisagem a partir de dados discretos, onde as unidades da paisagem são classes distintas (unidades de uso e ocupação do território), a diversidade é medida pela complexidade formada pelo mosaico destas unidades.

Existem alguns parâmetros para se medir o grau de complexidade do mosaico. Esta complexidade apresenta um componente não-espacial (de composição) e um componente espacial (fisionômico). O componente não-espacial é determinado pela riqueza de unidades e pela importância relativa, em área, destas unidades. Já o componente espacial está relacionado ao grau de fragmentação das unidades, à disposição, ao tamanho e à forma dos fragmentos (Musick

e Grover, 1991; Olsen *et al.*, 1993). Outros parâmetros podem também ser incluídos na avaliação da diversidade espacial, como por exemplo, a anisotropia (as variações estruturais em função da orientação) e a distribuição do número de fragmentos por classe de tamanho (Metzger, 1999).

A diversidade da paisagem tem basicamente por origem as discontinuidades ambientais (geomorfológicas, pedológicas) e o regime natural e antrópico. Segundo Forman e Godron (1986) o aumento da perturbação de uma área tende a uma paisagem mais heterogênea e a ausência de perturbação tende a uma homogeneização da paisagem.

Um maior sub-divisão da paisagem em pequenos fragmentos acarreta numa maior diversidade de ambientes, aumentando assim a diversidade de recursos ambientais (alimentares), o que pode favorecer as espécies generalistas. Por outro lado, uma maior homogeneidade pode favorecer as espécies que necessitam de amplas áreas de habitat interno, fora da área de efeito de borda, são espécies especialistas sensíveis à fragmentação.

Uma melhor compreensão da diversidade deve ser desenvolvida, correlacionando estruturas ou processos ecológicos aos componentes mais simples da diversidade, como por exemplo, o tipo, o número, a área e a forma dos fragmentos, ou ainda a área e o tipo de borda (Metzger, 1999).

## **IMPLICAÇÕES DA ESTRUTURA DOS FRAGMENTOS NA POPULAÇÃO DE AVIFAUNA**

As espécies de avifauna migram para diferentes regiões em busca de alimento, acompanhando as diferenças sazonais e a floração da vegetação. As chances de sobrevivência das espécies estão relacionadas com a capacidade de deslocamento

entre os fragmentos. Assim, torna-se fundamental a compreensão da capacidade de suporte dos fragmentos remanescentes para o deslocamento periódico das espécies. Embora ainda possam existir condições adequadas para migrações locais, a densidade da população da espécie é que vai determinar se haverá ou não deslocamento entre os fragmentos (conceito de metapopulação) (Machado, 1995).

A redução no número de espécies de avifauna pode estar ligada a duas conseqüências básicas da fragmentação da paisagem: (a) redução e alterações das características originais dos habitats disponíveis e (b) pressões antrópicas de caça e de comércio ilegal.

Nas condições do habitat deve-se considerar a quantidade de árvores adultas para estabelecimento de ninhos, a extensão dos fragmentos da vegetação e o índice de regeneração. A importância de áreas em regeneração já foi documentada por outros grupos, como é o caso de mamíferos (Fonseca e Robinson, 1989). Devido ao estado atual da paisagem, onde grande parte das áreas remanescentes em melhor estado se encontra preferencialmente ao longo dos rios, as ações prioritárias devem buscar medidas mais adequadas para sua proteção permanente, principalmente tendo em vista que já existem dispositivos legais apropriados no Código Florestal brasileiro (Machado, 1995).

A partir do conhecimento da disposição espacial dos fragmentos é possível estabelecer critérios para a criação de corredores ecológicos, que permitam a conexão entre os fragmentos (Laurence, 1990; Newmark, 1991), minimizando a taxa de extinções locais e aumentando-se as probabilidades de recolonização (Bierregaard Jr., 1990). Esses objetivos podem ser perseguidos através do

estímulo à recuperação de áreas degradadas ou a proteção de fragmentos em regeneração. Esses fragmentos encontrando-se distribuídos de forma agrupada, podem servir como corredores do tipo *stepping stone* (Fharig e Mirriam, 1994; Stacey e Taper, 1992; van Apeldoorn *et al.*, 1992; ).

### **TÉCNICAS DE ANÁLISE**

Um projeto de conservação necessita ter uma compreensão dos vários fatores que compõe os ecossistemas. Portanto, a análise espacial em Sistema de Informações Geográficas (SIG) está sendo cada vez mais empregada na análise da paisagem. O SIG é um sistema computacional que recebe, armazena e analisa dados espaciais em diferentes escalas. Este é capaz de visualizar e integrar vários planos de informações como mapas temáticos (geomorfológico, pedológico, hidrográfico, uso da terra e vegetação), fotografias aéreas, imagens de satélites e modelo digital de terreno (MDT) (Haines-Young *et al.*, 1993). O SIG auxilia no estudo da distribuição de espécies e da fragmentação da paisagem, como também, de suas relações (Bridgewater, 1993; Dunning *et al.*, 1992; Gough e Rushton, 2000; Santos *et al.*, 2000;).

As imagens de satélite e fotografias aéreas são utilizadas para a classificação dos fragmentos da paisagem segundo padrões espaciais e estruturais (Mitchell, 1973; Zonneveld, 1995). As características básicas para a interpretação da imagem são: tamanho, forma, padrão, tonalidade, textura, fatores topográficos e a associação entre objetos na paisagem (Antrop e Van Eetvelde, 2000).

Portanto, a paisagem pode ser expressa num sistema métrico de medidas relativas ao tamanho, forma e borda das áreas que podem ser expressas por índices que se caracterizam por servir como: (a) atributos adicionais para a



classificação dos tipos de paisagem ou regiões e (b) indicadores de mudanças e distúrbios da paisagem. As medidas mais utilizadas são: a área do fragmento, índice de relação área/perímetro e dimensões fractais. A distribuição espacial da área nos permite fazer uma avaliação inicial da heterogeneidade espacial e escala da região (Antrop e Van Eetvelde, 2000). O Índice Corrigido de Área – Perímetro (CPA) é uma medida da forma do fragmento, e sua equação é definida como  $CPA = (0.282P)/A^{0.5}$ , onde  $P$  é a medida do perímetro do fragmento e  $A$  é a área do fragmento (Farina, 1998). A dimensão fractal  $D$  é utilizada para expressar a irregularidade das bordas dos fragmentos. A dimensão fractal é determinada a partir da regressão entre logaritmo do perímetro do fragmento e o logaritmo da área do fragmento e equivale ao ângulo da reta de regressão (Antrop e Van Eetvelde, 2000).

A partir dos mapas de fragmentos deve-se analisar os processos ecológicos da espécie em estudo como o padrão de dispersão e suas reações à degradação de seu habitat (Lindenmayer, 2003). Portanto deve-se compreender como as características humanas e naturais interagem na formação da paisagem, quais são as principais causas de mudanças e prever quais serão as futuras modificações.

Com este propósito a modelagem do censo da população de espécie define os principais fatores de distribuição e as localidades de ocorrência (Lawton e Woodroffe, 1991). Esta abordagem permite gerar mapas da situação da espécie em seu habitat natural definindo: a qualidade do habitat, as áreas prioritárias para conservação, as espécies mais ameaçadas, a distribuição potencial da população de uma espécie, métodos para descobrir os motivos para seu declínio

populacional e plano de recuperação da população (Jaberg e Guisan, 2001; Manel *et al.*, 1999 ). Assim, a modelagem auxilia em projetos de reintrodução de espécies ao seu habitat natural predizendo as chances de êxito. Além disso, os modelos podem nos fornecer um melhor entendimento da vulnerabilidade da espécie, ao ser reintroduzida, em relação aos impactos humanos na paisagem (Carroll *et al.*, 2003).

Porém, nem todos os fatores que influenciam na distribuição da espécie dentro da paisagem, podem ser quantificados e utilizados para a análise de fragmentos. Devido a este fato, os modelos de distribuição utilizam como parâmetros os fatores que melhor representam a distribuição da espécie (vegetação e uso da terra, declividade, aspecto, tipo de solo e distância de rodovias) (Reading e Matchett, 1997). Uma vez que se faz a ligação entre as características de ocupação da espécie e os atributos da paisagem, torna-se possível à criação de modelos, como exemplo o HSI (*Habitat Suitability Index*), e vários outros, para prever a distribuição das espécies em outras áreas, dado os atributos da paisagem (Gough e Rushton, 2000).

## CONCLUSÃO

O efeito da fragmentação sobre a extinção das espécies foi inicialmente estudado levando basicamente em conta dois parâmetros: área e o grau de isolamento dos fragmentos (Metzger, 1999). No entanto somente estes dois fatores não são suficientes para explicar satisfatoriamente os impactos da fragmentação da vegetação sobre a população de avifauna. Para os estudos da fragmentação e

seus impactos na população de avifauna deve-se levar em consideração diversos parâmetros que influenciam na estrutura das populações como: área e isolamento dos fragmentos, conectividade dos habitats, diversidade na paisagem, migração e efeito de borda, proximidade de rodovias e outros. No entanto, não somente é necessário conhecer e estudar os fatores que causam impactos nas populações das espécies, mas como também conhecer a distribuição das espécies em seu habitat e as condições biogeográficas que levaram a tal distribuição (Metzger, 1999). Para ser obter um bom estudo dos impactos da fragmentação na distribuição de espécies é necessário obter dados de campo os quais nos fornecem informações reais da atual situação em que se encontram as espécies ameaçadas. Neste propósito os usos das imagens de satélite e SIG se tornaram ferramentas essenciais para facilitar a visualização da distribuição dos fragmentos da vegetação e das espécies em estudo, auxiliando as pesquisas de campo e estudos de biodiversidade e impactos nas populações de espécies ameaçadas. Os padrões de distribuição das espécies são importantes, pois servem para o manejo da população e como bio-indicadores de áreas onde deveriam existir as espécies (Lawton e Woodroffe, 1991).

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ANTROP, M. Rethinking Carrying Capacity. Proc. **European IALE- Seminar on Practical Landscape Ecology**, Vo. III. Roskilde University Centre, p. 55-64. 1991.
- ANTROP, M. The concept of traditional landscapes as a base for landscape evaluation and planning. The example of Flanders Region. Landscape and Urban Planning. v.38, p.105-117, 1997.*

- ANTROP, M. Background concepts for integrated landscape analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.77, p.17-28, 2000.
- ANTROP, M. & VANEETVELDE, V. Holistic aspects of suburban landscapes: visual image interpretation and landscape metrics. **Landscape and Urban planning**. v.50, p.43-58, 2000.
- BIERREGAARD Jr., R.O. Species composition and trophic organization of the understory bird community in a central Amazonian Terra Firme forest. In: **Four Neotropical Rainforests**. Gentry, A.H. (ed.) Yale University Press, New Haven, EUA. p.217-236, 1990.
- BOLGER, D. T., SCOTT, T. A., ROTENBERRY, J. T. Use of corridor-like landscape structures by bird and small mammal species. **Biological Conservation**. v.102, p.213-224, 2001.
- BREWIN, PA., BUCKTON, S.T. & ORMEROD, S.J. River habitat surveys and biodiversity in acid-sensitive rivers. **Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems**. v.8, p.501-514, 1998.
- BRIDGEWATER, P.B. Landscape Ecology, Geographic Information Systems and Nature Conservation. In: **Landscape Ecology and GIS**. Taylor & Francis, 1993.
- BROTONS, L. e HERRANDO, S. Factors affecting bird communities in fragments of secondary pine forests in the north-western Mediterranean basin. **Acta Oecologica**. v.22, p.21-31, 2000.
- CALE, P. G. The influence of social behavior, dispersal and landscape fragmentation on population structure in a sedentary bird. **Biological Conservation**. v.109, p.237-258. 2003.
- CARROLL, C.; PHILLIPS, M.K.; SCHUMAKER, N. H.; SMITH, D.W. Impacts of Landscape Change on Wolf Restoration Success: Planning a Reintroduction

- Program Based on Static and Dynamic Spatial Models. **Conservation Biology**. v.17, n 2, p.536-548, 2003.
- CROOKS, K. R.; SUAREZ, A.V.; BOLGER, D.T.; SOULÉ, M.E. Extinction and Colonization of birds on habitat islands. **Conservation Biology**. v.15, p.159-172. 2001.
- DIMOND, J.M. The island dilemma: lessons of modern biogeographic studies for design of natural reserves. **Biological Conservation**. v.7, p. 129-145. 1975.
- DUNNING, J. B. DANIELSON, B. J. e PULLIAM, H. R. Ecological processes that affect populations in complex landscapes. **Oikos**. v.65, p.169-175. 1992.
- FERRIS, C. R. Effects of Interstate 95 on breeding birds in northern Maine. **Journal of Wildlife Management**. v.43, p.421-427. 1979.
- FHARIG L. e MIRRIAM, G. Conservation of fragmented populations. **Conservation Biology**. v.8(1), p.50-59, 1994.
- FONSECA, GA.B. E ROBINSON, J Forest size and structure: competitive and predatory effects on small mammal community structure. **Biological Conservation**. v.53(4), p.265-294, 1989.
- FORMAN, R.T.T. e ALEXANDER, L. E. Roads and their major ecological effects. **Annual Review of Ecology and Systematics**. v.29, p.207-231. 1998.
- FORMAN, R.T.T. e GODRON, M. **Landscape Ecology**. John Wiley, New York. 1986.
- FORMAN. R.T.T.; GALLI, A.E. e LECK, C.K. Forest size and avian diversity in New Jersey woodlots with some land use implications. **Oecologia**. v.26, p.1-8. 1976.
- GOUGH, M. C. e RUSHTON, S. P. The application of GIS-modeling to mustelid landscape ecology. Mammal Society, **Mammal Review**. v.30, p.197-216. 2000.

- HAINES-YOUNGR.; GREEN, D.R.; COUSINS, S. Landscape ecology and spatial information systems. In: **Landscape Ecology and GIS**. Taylor & Francis, 1993.
- HILL, M.O. Patterns of species distribution in Britain elucidated by canonical correspondence analysis. **Journal of Biogeography**. v.3, p.247-255, 1991.
- JABERG, C. e GUI SAN, A. Modelling the distribution of bats in relation to landscape structure in a temperate mountain environment. **Journal of Applied Ecology**. v.38, p.1169-1181. 2001.
- JUSTICE, C.O. WHARTON, S.W. e WOLBEN, B.N. Application of digital terrain data to quantify and reduce the topographic effect on Landsat data. **NASA Report TM81988**. Greenbelt, MA. 1980.
- KATTAN, GH., ALVAREZ-LÓPEZ, H. E GIRALDO, M. Forest fragmentation and bird extinctions: San Antonio eighty years later. **Conservation Biology**. v.8(1), p.183-146, 1994.
- LAURANCE, W.F. Comparative responses of five arboreal marsupials to tropical forest fragmentation. **J. Mamm**. v.71(1), p.641-653, 1990.
- LAURANCE, W.F. e YENSEN, E. Predicting the impacts of edge effects in fragmented habitats. **Biological Conservation**. v.55, p.77-92, 1990.
- LAWTON, J.H. e WOODROFFE, GL. Habitat and distribution of water voles: why are these gaps in a species' range? **Journal of Animal Ecology**.v.60, p.79-91, 1991.
- LINDENMAYER, D. B., McINTYRE, S., FISCHER, J. Birds in eucalypt and pine forests: landscape alteration and its implications for research models of faunal habitat use. **Biological Conservation**. v.110, p.45-53. 2003.
- LOVEJOY T.E.; BIERREGAARD Jr., R.O.; RYLANDS, A. B.; MALCOM, J.R.; QUINTELA, C.E.; HARPER, L.H.; BROWN Jr., K.S.; POWELL, A. H.; POWELL, G.V.N.; SCHUBART, H.O.R.; HAYS, M.B. Edge and other effects of isolation on

- Amazon forest fragments. In: **Conservation Biology**. Soulé, M.E. (ed.) Natural Resources. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, EUA. p. 257-285, 1986.
- MACHADO, R. B. **Padrão de fragmentação da Mata Atlântica em três municípios da bacia do rio Doce (Minas Gerais) e suas consequências para avifauna**. Dissertação de Mestrado em Ecologia, Conservação e manejo de Vida Silvestre. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas. Belo Horizonte, 1995.
- MANEL, S.; DIAS, J.M.; BUCKTON, S.T.; ORMEROD, S.J. Alternative methods for predicting species distribution: an illustration with Himalayan river birds. **Journal of Applied Ecology**. v.36, p.734-747. 1999.
- METZGER, J.P. Estrutura da paisagem e fragmentação: análise bibliográfica. **An.Acad. Bras.Ci.** v. 71(3), p.1 –19. 1999.
- MITCHELL, C. **Land evaluation**. Longman. London, 1973.
- MURPHY, D.D. e WILCOX, B.A. Butterfly diversity in natural habitat fragments: a test of validity of vertebrate-based management. In: VERNER, M.L.; MORRISON, M.L.; RALPH, C.J. **Wildlife 2000 – Modeling habitat relationships of terrestrial vertebrates**. The University of Wisconsin Press. Madison, p. 287-292. 1986.
- MUSICK, H.B. e GROVER, H.D. Image textural measures as indices of landscape pattern. In: TURNER, M.G.; GARDNER, R.H. **Quantitative methods in landscape ecology – the analysis and interpretation of landscape heterogeneity**. Springer-Verlag, Nre York, p. 77-103.
- NAVEH, Z. e LIEBERMANN, A. **Landscape ecology**. Theory and Application. Springer Verlag, New York, 1993.
- NEWMARK, W.D. Tropical forest fragmentation and the local extinction of understory birds in eastern Usambara Mountains, Tanzania. **Conservation Biology**.v.5(1), p.67-78, 1991.

- NOON, B.R. The distribution of an avian guild along a temperate elevational gradient: the importance and expression of competition. **Ecological Monographs**. v.51(1), p.105-124, 1981.
- OLSEN, E.R.; RAMSEY, R.D. e WINN, D.S. A modified fractal dimension as a measure of landscape diversity. **Photogramm. Engin. Remote Sensing**. v.59, p. 1517-1520. 1993.
- O' NEILL, R. V. et al. Resource utilization scales and landscape pattern. **Landscape Ecology**. v.2, p.63-69. 1988.
- OUBORG, N.J. Isolation, population size and extinction: the classical and metapopulation approaches applied to vascular plants along the Dutch Rhine-system. **Oikos**. v. 66, p.298-308. 1993.
- READING, R. P. e MATCHETT, R. Attributes of Black-Tailed Prairie Dog colonies in north central Montana. **Journal of Wildlife Management**. v.61, p.664-673. 1997.
- SANTOS, T. TELLERÍA, J. L., CARBONELL, R. Bird conservation in fragmented Mediterranean forests of Spain: effects of geographical location, habitat and landscape degradation. **Biological Conservation**. v.105, p.113-125. 2000.
- SAUNDERS, D. A. Changes in the avifauna of a region, district and remnant as a result of fragmentation on native vegetation: the wheatbelt of western Australia. A case study. Duffey, E. (ed.), special issue. **Biological Conservation**. v.50(1-4), p.99-119, 1989.
- SAUNDERS, D. A., HOBBS, R. J., MARGULES, C. R. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. **Conservation Biology**. v.5, p.18-32, 1991.
- SAUNDERS, S. C.; MISLIVETS, M. R.; CHEN, J.; CLELAND, D. T. Effects of roads on landscape structure within nested ecological units of the Northern Great Lakes Region, USA. **Biological Conservation**. v.103, p. 209-225. 2002.



- STACEY, B.P.B. e TAPER, M. Environmental variation and the persistence of small populations. **Ecol. Appl.** v.2(1), p.18-19, 1992.
- STOW, D.A. The Role of Geographic Information Systems for Landscape Ecological Studies. In: **Landscape Ecology and GIS**. Taylor & Francis, 1993.
- TAYLOR, P. D. *et al.* Connectivity is a vital element of landscape structure. **Oikos**. v.68, p.571-573. 1993.
- TERBORGH, J. Distribution of environmental gradients: theory and preliminary interpretation of distributional patterns in the avifauna of the Cordillera Vilcabamba, Peru. **Ecology**. v.52(1), p.23-40, 1971.
- TERBORGH, J. Bird species diversity on an andean elevational gradient. **Ecology**. v.58, p.1007-1019, 1977.
- TROLL, C. Die **Geographische Landschaft und ihre Erforschung**. Studium Generale, pp. 163-182. 1950.
- TURNER, M. G. Landscape ecology: the effect of pattern on process. **Annual Review of Ecological Systems**. v.20, p.171-197. 1989.
- URBAN, D.L. e SHUGART, H.H. Avian demography in mosaic landscapes: modeling paradigm and preliminary. In: VERNE, M.L.; MORRISON, M.L.; RALPH, C. J. **Wildlife 2000 – Modeling Habitat relationships of terrestrial vertebrates**. The University of Wisconsin Press. Madison, p. 273-279. 1986.
- VAN APELDOORN , R. C., OOSTENBRINK, W. T., VAN WINDEN, A. E VAN DER ZEE, FF. Effects of habitat fragmentation on the bank vole, *Clethrionomys glareolus*, in an agricultural landscape. **Oikos**. v.65, p.265-274, 1992.
- VAN DER ZANDE, A. N. *et al.* The impact of roads on the densities of four bird species in an open field habitat – evidence of a long distance effect. **Biological Conservation**. v.18, p. 299-321. 1980.

- WILLIS, E. O. The composition of avian communities in remanescent woodlots in southern Brazil. **Pap. Avul. Zool.** v.33(1), p.1-25, 1979.
- WITH, K. A. e CRIST, T. O. Critical thresholds in species responses to landscape structure. **Ecology.** v.76, p. 2446-2459. 1995.
- WOOTTON, J. T. e DOUGLAS, A. B. A metapopulation model of the peregrine falcon in California: viability and management strategies. **Ecol. Appl.** v.2, p. 307-321. 1992.
- ZIMMERMAN, B. L. e BIERREGAARD, R. O. Relevance of the equilibrium theory of island biogeography and species-area relations to conservation with a case from Amazonia. **Journal of Biology.** v.13, p.13-143, 1986.
- ZONNEVELD, I. S. **Land ecology:** an introduction to landscape ecology as a base for land evaluation, land management and conservation. SPB Academic Publishing. Amsterdam, 199 p. 1995.