



Revista Portuguesa de Estudos

Regionais

E-ISSN: 1645-586X

rper.geral@gmail.com

Associação Portuguesa para o
Desenvolvimento Regional
Portugal

Cortesão Casimiro, Pedro

Estrutura, composição e configuração da paisagem conceitos e princípios para a sua
quantificação no âmbito da ecologia da paisagem

Revista Portuguesa de Estudos Regionais, núm. 20, 2009, pp. 75-99
Associação Portuguesa para o Desenvolvimento Regional
Angra do Heroísmo, Portugal

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=514351895006>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

ESTRUTURA, COMPOSIÇÃO E CONFIGURAÇÃO DA PAISAGEM CONCEITOS E PRINCÍPIOS PARA A SUA QUANTIFICAÇÃO NO ÂMBITO DA ECOLOGIA DA PAISAGEM

Pedro Cortesão Casimiro - Universidade Nova de Lisboa - Departamento de Geografia e Planeamento Regional
Faculdade de Ciências Sociais e Humanas - E-mail: pjcc.casimiro@sapo.pt

RESUMO:

Este artigo destina-se a introduzir e apresentar os conceitos e princípios que permitem a quantificação da Paisagem, tanto da sua composição como configuração, segundo os paradigmas da Ecologia da Paisagem. Assim, a Paisagem tem uma estrutura, com manchas, corredores e matriz como elementos base, apresentando gradientes de modificação e processos de transformação específicos. As métricas da Paisagem permitem a quantificação da estrutura da Paisagem, através de estatísticas espaciais e análise topológica.

Palavras-chave: Paisagem, Ecologia da Paisagem, estrutura da Paisagem, análise quantitativa da Paisagem, estatística espacial, métricas da Paisagem

Códigos JEL: C000

ABSTRACT:

The objective of this paper is to introduce and present the concepts and principles that allow the quantification of Landscape, both its compositions and configuration, under the framework of the Landscape Ecology paradigms. Thus, Landscape has a structure, with patches, corridors and a matrix as base elements, presenting change gradients and specific transformation processes. The Landscape metrics allow the quantification of Landscape structure, through spatial statistics and topological analysis.

Key Words: Landscape, Landscape Ecology, Landscape structure, Landscape quantitative analysis, spatial statistics, Landscape metrics

JEL codes: C000

1. ESTRUTURA DA PAISAGEM

Segundo a Ecologia da Paisagem, a estrutura de uma Paisagem é composta por três tipos distintos de elementos: Patches (**manchas**, áreas, polígonos), Corridors (**corredores**) e Matrix (**matriz**). Estes elementos base são a raiz cognitiva que permite a comparação entre Paisagens distintas, permitindo desenvolver princípios gerais. A linguagem espacial torna-se evidente “quando se considera como as manchas, corredores e matriz se combinam para formar a variedade de «land mosaics» na terra” (DRAMSTAD, W.E.; OLSON, J.D.; FORMAN, R. (1996, p. 15)).

1.1 MANCHAS

Estas manchas (patches) podem ser definidas como uma “superfície não linear, diferindo em aparência da sua vizinhança. As manchas variam largamente em termos de tamanho, forma, tipo, heterogeneidade e características de fronteira. Além disso, as manchas estão por vezes embebidas numa matriz, área circundante que possui uma diferente estrutura de

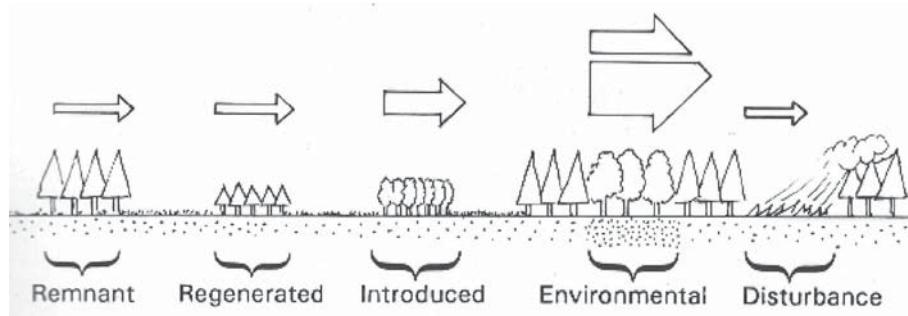
espécies ou composição. Normalmente, as manchas na Paisagem são comunidades de plantas ou animais, isto é, conjuntos de espécies. Contudo, algumas manchas podem não ter vida, ou conterem somente microrganismos, sendo então caracterizadas mais proeminentemente pela presença, por exemplo, de rocha, solo, pavimento ou edifícios.” (FORMAN, R.; GODRON, M. (1986, p. 83)).

As origens das manchas podem ser várias, em função de mecanismos causais ou origem. Muito sinteticamente ⁽¹⁾ (Figura 1):

- **“Disturbance patches”** – Manchas de perturbação – várias perturbações estão na sua origem: deslizamentos, temporais, sobrepastoreio, exploração florestal, fogos e queimadas, minas a céu aberto, entre outras. Depois da perturbação há várias dinâmicas distintas na mancha, que afectam as espécies aí existentes: extinção, diminuição das populações ou “dormência” (caso das sementes, esporos, após um incêndio). As mudanças nos quantitativos de algumas

FIGURA 1

Tipos de manchas, sua origem e persistência. A Paisagem original era Floresta de Coníferas. Dimensão da seta é proporcional à persistência (FORMAN, R. (1995, p. 45)).



¹ Esta classificação baseia-se nos princípios enunciados por FORMAN, M.; GODRON, R. (1986) e FORMAN, R. (1995), para quase todos os autores estas obras constituem a pedra basilar epistemológica da Ecologia da Paisagem.

espécies, consequentemente, podem também alterar com o tempo as proporções das espécies restantes na mancha. Por último, além da emigração de algumas espécies pode também existir imigração de novas espécies, que colonizam o espaço aberto ou estão adaptadas às novas condições (por essa razão as estevas colonizam facilmente áreas queimadas, tornando-se dominantes). O tipo de perturbação, consoante é pontual ou crónica (repetitiva), gera também regimes diferentes, sendo que nalguns casos o próprio sistema pode ser dependente da perturbação, o que ocorre sobretudo no caso das perturbações antrópicas. Em muitos casos, como referido para as áreas agrícolas, a fauna presente está profundamente adaptada ao próprio regime de perturbação; assim a mancha é de perturbação mas encontra-se em equilíbrio com a matriz que a envolve;

- **“Remnant patches”** – Manchas remanescentes – perturbação generalizada em torno duma pequena área, que escapa a essa perturbação, o “negativo” do mecanismo das manchas de perturbação. Reminiscência da comunidade anterior (à perturbação) de plantas e animais, encaixada na matriz que foi perturbada. No entanto, visto que há perturbação à volta deste tipo de manchas, elas não se podem considerar como absolutamente originais, pois há movimento de espécies entre estas áreas e a envolvência perturbada, podendo até as manchas ficarem isoladas durante muito tempo, o que pode pôr sérios problemas a nível de recursos genéticos. Nalguns casos estas manchas remanescentes podem também resultar de regimes de perturbação crónica, podendo parecer semelhantes a manchas de regeneração;

- **“Regeneration patches”** – Manchas de regeneração – um sector integrado numa área de perturbação crónica liberta-se dessa perturbação, permitindo a recuperação. Assemelham-se por vezes às manchas remanescentes mas a sua origem é diversa, a perturbação cessou;
- **“Environmental resource patches”** – Manchas de recurso ambiental – ao invés das manchas de perturbação, são manchas estáveis e não relacionadas com perturbação, que constituem áreas colonizadoras e de manutenção de espécies. Os processos dinâmicos de flutuação, imigração e extinção da população estão presentes, mas a um nível muito baixo;
- **“Introduced patches”** – Manchas introduzidas – introdução humana de organismos (plantas, animais, pessoas, usos). Subdividem-se em: plantadas (nomeadamente actividades agrícolas, florestais ou jardins), casas e habitações (perturbação que envolve a eliminação parcial ou total do ecossistema natural nesse ponto). As actividades de “manutenção”, que pretendem evitar ervas daninhas, sucessão nos campos agrícolas, roedores e predadores das culturas, a própria drenagem, fertilização e rega do solo resultam numa longa persistência das manchas plantadas. Passa-se o mesmo com a introdução de animais, como os rebanhos, que constituem por si só uma “mancha” animal na matriz animal global, exercendo perturbação nas manchas vegetais, que se for prolongada ou inadequada pode dar origem a perturbação

grave das manchas, degradação ambiental. No caso das habitações, este sistema inclui quatro tipos de espécies: pessoas, plantas e animais introduzidos, pestes inadvertidamente introduzidas e imigração de espécies. Como é altamente artificial depende do grau de manutenção exercido pelos humanos;

- **“Ephemeral patches”** – Manchas efémeras – Concentrações sazonais e/ou momentâneas de espécies vegetais/animais (migrações, floração, abate de árvores, etc.).
- Quais são, então, os aspectos que influenciam e controlam estas manchas?
- **Tamanho** – A dimensão, área de cada mancha, influencia a nível da energia e nutrientes disponíveis e o número, tipo e fluxo de espécies.

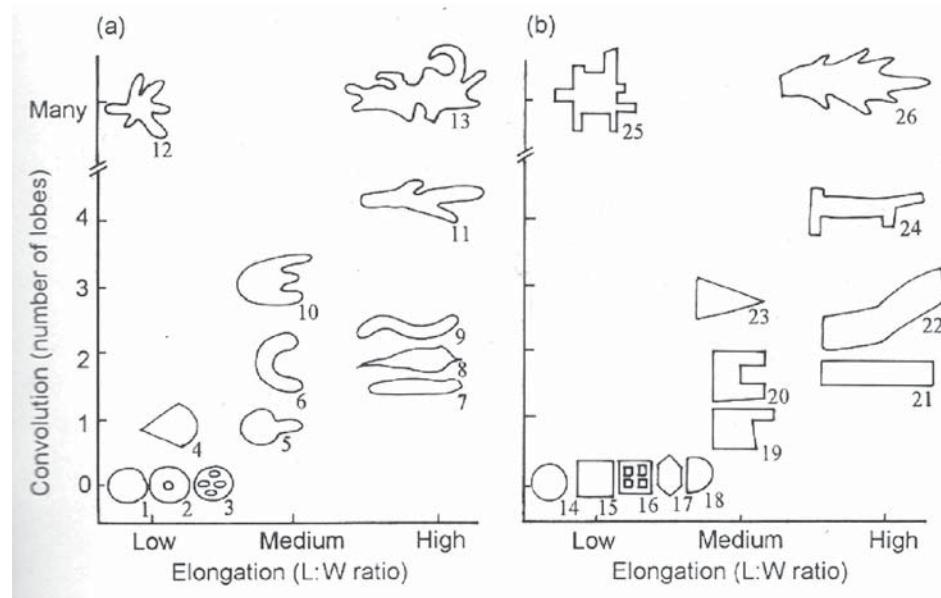
• **Forma** – O significado mais importante da forma prende-se com o efeito de margem: quanto mais irregular a forma, maior será a proporção de áreas de margem que têm características próprias de grande diversidade e dinâmica mas diferentes das comunidades do interior de manchas. A relação entre a área interior e a margem influencia várias características ecológicas, entre uma mancha circular e uma alongada, a última funciona mais como corredor, tem provavelmente maior diversidade interior e maior margem ao longo da qual interage com a matriz. Uma mancha circular tem potencialmente maior diversidade de espécies, menos barreiras no seu interior e apresenta uma maior eficácia em termos de alimentação para os animais no seu interior. Mas a forma das manchas correlaciona

sobretudo com a intensidade da actividade humana, quanto mais lineares e angulares são as margens mais antrópico o elemento da Paisagem. Relacionando o alongamento da mancha (rácio entre o comprimento e largura) com a convolução, somente as formas circulares ocorrem tanto naturalmente como produzidas pela actividade humana (Figura 2).

Os principais atributos da forma de uma mancha (alongamento, convolução, interior e perímetro) apresentam vantagens e desvantagens, de acordo com três princípios de forma e função: “(1) As formas compactas são eficientes na conservação de recursos. Protegem recursos interiores contra efeitos negativos do exterior. Em formas compactas os grupos militares minimizam o perímetro exposto ao inimigo e as lebres árticas, com as suas orelhas pequenas, minimizam a exposição ao vento e vento envolventes. (2) Formas convolucionadas são eficientes ao ampliar as interacções com o Meio envolvente. Uma margem longa e comum entre dois objectos fornece uma maior probabilidade de movimentos através da fronteira por unidade de área, numa ou em ambas as direcções. Um bosque com vários braços tem movimentos consideráveis de vida selvagem, em ambos os sentidos, um edifício com várias alas troca imensa energia com a envolvência. (3) Além da interacção activa com a envolvência, redes ou formas labirínticas tendem a possuir um sistema «canalizado» de transporte. Uma rede de estradas, sistema fluvial ou sistema telefónico transmitem objectos ou informação de uma porção da rede a outra” (FORMAN, R. (1995, p. 125)).

FIGURA 2

Formas de manchas na Paisagem, ordenadas por origem e forma. (a) Manchas naturais (curvilineares ou em forma de amiba). (b) Manchas de origem humana (geométricas). Alongamento e convolução são considerados os dois primeiros componentes da forma. Exemplos para cada mancha numerada são: (1) Pântano, cratera, lago em circo glaciar, ponto elevado numa área húmida; (2) Vertente em torno de um topo, área de inundação em relevo tipo Karst; (3) Perturbação no interior de uma mancha; (4) Delta, cone de dejecção aluvial; (5) Deslizamento, avalanche, mancha florestal ao longo de uma linha de água; (6) Lago de origem glaciar em forma de ferradura, duna barkan; (7) Área húmida ou lago glacial; (8) Duna, ilha num rio; (9) Manchas florestais ao longo de linha de água ou rio; (10) Topo com coada de lava, cabeceiras em torno de um fiorde; (11) Manchas florestais ao longo de rio com tributários; (12) Vegetação num topo estendendo-se pelas cumeadas adjacentes, perturbação por pisoteio de mamíferos em volta de um ponto de água; (13) Perturbação devida a incêndio, perturbação por erupção de uma praga; (14) Povoação em torno de um poço ou forte, irrigação circular com pivô; (15) Quarteirão residencial, corte de um lote de árvores em floresta; (16) Manchas de árvores no interior de uma área de corte; (17) Padrões de uso do solo em torno de uma localidade central; (18) Pequena albufeira e barragem numa exploração agrícola (charca); (19) Mancha de árvores em terreno agrícola, cemitério numa cidade; (20) Mancha florestal numa área residencial de baixa densidade; (21) Campo cultivado; (22) Fairway num campo de golfe, pista de esqui; (23) Campo cortado diagonalmente por estrada posterior; (24) Mancha de árvores na área de intersecção de várias explorações agrícolas; (25) Vila ou cidade com crescimento ao longo dos principais eixos de transporte; (26) Albufeira de uma barragem (Forman, R. (1995, p. 117)).



Em termos de manchas, um importante pressuposto base é que as mudanças de uso do solo, desde as actividades agrícolas, num início, até a um processo efectivo de urbanização, modificam não só a dimensão e forma das manchas, mas também a distância entre elas, constituindo isso um processo de fragmentação da Paisagem (Figura 3). Aqui importa realçar um facto a nível da Ecologia da Paisagem, que foi inicialmente desenvolvida, em maior profundidade, para meios florestais, considerados como ponto de partida, implicando esse facto que se considera a heterogeneidade como uma “degradação” de uma mancha inicial, contínua. No caso da Paisagem Mediterrânea, há muito humanizada e com um mosaico clara e intrinsecamente heterogéneo, a interpretação e análise das características das manchas deve ser devidamente enquadrada no tipo de mosaico que se considera como original.

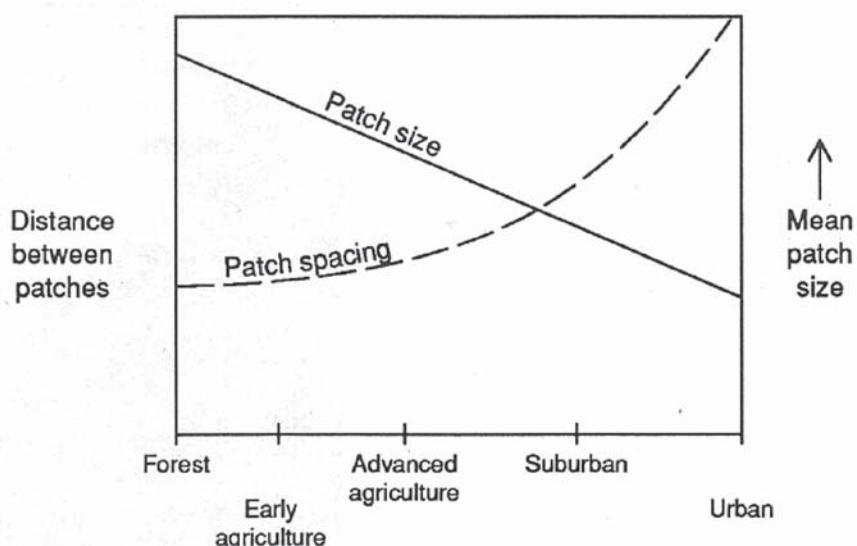
Não obstante, analisando a Figura 3, resulta claro que graus sucessivos de maior e mais intensa ação antrópica implicam, potencialmente, diminuição da dimensão das manchas e aumento da distância entre elas. A questão que se põe é, no contexto de áreas

ancestralmente agrícolas e claramente Mediterrâneas, se uma maior ou menor fragmentação da Paisagem consiste num processo de degradação ambiental. Nalguns casos, o abandono da agricultura deverá formalmente levar a uma maior heterogeneidade espacial que, claramente, não pode ser considerada como degradação mas sim como um processo de recuperação.

Resumindo, em termos de manchas: “...elas são elementos estruturais proeminentes e ubíquos da Paisagem. Perturbação, heterogeneidade de recursos ambientais e introdução pelo Homem causam estas manchas de organismos, o resultado final são padrões altamente diversos de dinâmica de espécies, estabilidade e recuperação entre manchas. [...] A dimensão das manchas é uma variável essencial que afecta a biomassa, produção e armazenamento de nutrientes por unidade de área, bem como a composição das espécies e diversidade. [...] A forma das manchas tem também enorme importância para a Paisagem, particularmente como resultado do efeito de margem” (FORMAN, R.; GODRON, M. (1986, pp. 119-120)).

FIGURA 3

Mudanças de dimensão e espaçamento das manchas com a evolução do uso do solo de natural a urbano (Marsh, W.M. (1997, pp. 363)).



1.2 CORREDORES

O “uso de corredores para efeitos de transporte, protecção, recursos e efeitos estéticos penetra quase todas as Paisagens de uma forma ou outra” (FORMAN, R.; GODRON, M. (1986, p. 121)). Os usos mais óbvios são o transporte (ferrovias, auto-estradas, estradas, canais, caminhos para efeitos de lazer, linhas de transporte de energia, água, gás, etc.), que promovem a mobilidade de bens e pessoas através da Paisagem. Além de transporte promovem protecção e constituem em si um recurso.

Estes corredores são também, espacial e cognitivamente, margens e fronteiras. De facto, um corredor pode ser, no contexto da Ecologia da Paisagem, a parte exterior de uma mancha, onde as condições diferem significativamente do interior

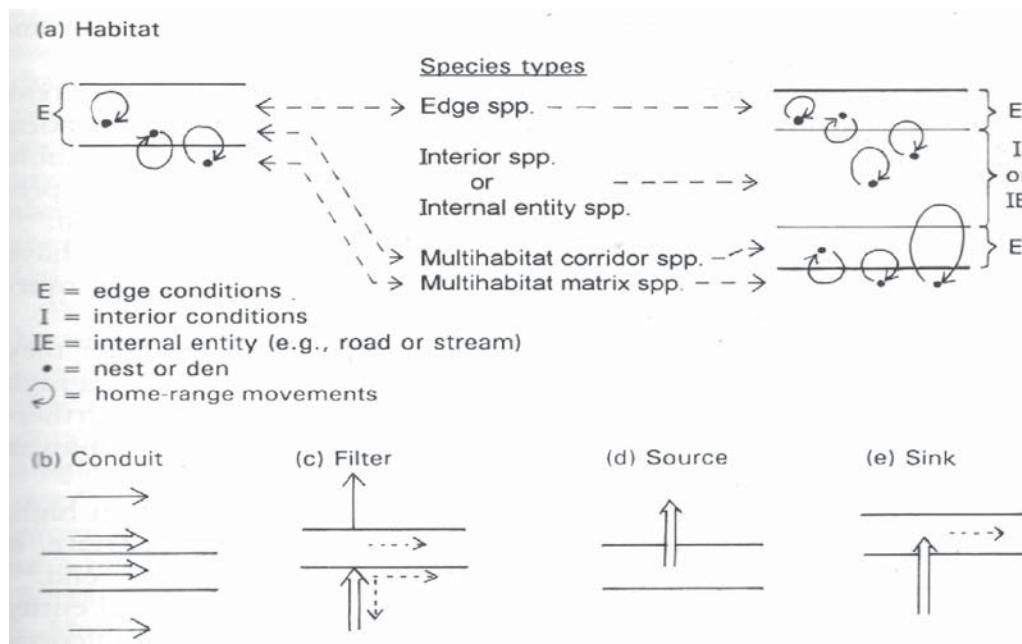
da mancha. As margens podem ser “políticas ou administrativas, ou seja, divisões artificiais entre o interior e o exterior [da mancha], que podem não corresponder a limites ou margens ecológicas [...] a estrutura vertical e horizontal, largura, composição de espécies e abundância, na margem duma mancha, diferem das condições interiores, e em conjunto definem o efeito de margem. Quer um limite seja curvilíneo ou recto, influencia o fluxo de nutrientes, água, energia ou espécies através dele” (DRAMSTAD, W.E.; OLSON, J.D.; FORMAN, R. (1996, p. 27)).

Os corredores desempenham cinco tipos de funções (FORMAN, R. (1995, pp. 147-153)), Figura 4:

Habitat – Predominam espécies adaptadas às margens e generalistas, se o corredor for suficientemente largo pode até ter espécies de

FIGURA 4

Funções dos corredores. Corredor estreito à esquerda, largo à direita; espécies com um nicho ecológico mais largo usam um ou dois habitats, interior ou de margem. Em baixo as funções conduta, filtro, fonte e sumidouro (Forman, R. (1995, pp. 149)).



interior, sendo as áreas ripícolas um exemplo de especialização da comunidade vegetal e animal. Espécies raras ou ameaçadas estão geralmente ausentes, a não ser que estes corredores representem a única vegetação natural remanescente;

Conduta – No caso das linhas de água, ou em qualquer caso em que o transporte e movimento predominam, embora potencialmente todos os corredores possuam pelo menos parcialmente esta função. Nos corredores deslocam-se pessoas, bens, veículos, água, sedimentos, nutrientes, animais e matéria orgânica. Quase todas as linhas de água principais desempenham também esta função, em termos de movimentos de animais, além de toda a rede hidrográfica funcionar graças à função de conduta das linhas de água.

Filtro – Quando o fluxo que atravessa o corredor é filtrado, e quando somente alguns animais o podem atravessar. Rios, ribeiras, estradas, caminhos, valas, paredes e outras barreiras diminuem a permeabilidade de passagem, dependendo da escala de análise e tipo de movimento.

Fonte – Se o corredor for a única “mancha”, por assim dizer, na matriz, é dele que vão dispersar-se e colonizar o espaço envolvente. Outro caso é a dispersão de ruído, pó e poluentes a partir de estradas e caminhos.

Sumidouro – Quando elementos que vêm da matriz, como a água, sedimento ou animais, “desaparecem” no corredor. É o caso dos sedimentos e águas que atingem os rios ou outra qualquer linha de água, mas também dos animais que morrem ao atravessar vias de comunicação, estradas ou um rio, bem como as sementes que ficam retidas em sebes.

Os corredores são classificáveis, segundo MARSH, W.M. (1997, p. 366), quanto à sua estrutura, independentemente da sua origem, uso humano e tipo de Paisagem, como:

- “**Line corridors**” – Corredores em linha, caminhos, estradas, sebes, limites de propriedade, valas de drenagem e canais de irrigação dominados por espécies específicas. Podem ser mais altos ou mais baixos que a envolvência, mais altos no caso de um corredor verde, mais baixos no caso de um aceiro num pinhal;
- “**Stream (riparian) corridors**” – Corredores ripícolas, margens de linhas de água, variam em largura consoante a importância da linha de água, controlam o fluxo de água, nutrientes minerais, reduzindo assim a probabilidade de cheias e assoreamento. Organizados hierarquicamente;
- “**Interfluve corridors**” – Corredores de interflúvio, organizados em dedos e individualizados por entre os corredores das linhas de água, ao longo dos topos. Também organizados hierarquicamente;
- “**Grid corridors**” – Corredores de grelha, associados a sebes, limites de estradas, valas de drenagem, decalcam uma estrutura rectilínea e por vezes ortogonal; em áreas onde existem sebes vivas decalcam a estrutura cadastral, possuem células de diversas dimensões;
- “**Segmented corridors**” – Corredores segmentados, quando um dos tipos anteriores é segmentado, basicamente por actividades humanas, como um rio interrompido por barragens, pontes ou diques.

Resumindo, em termos de corredores: "...uma das principais características dos corredores é a conectividade, ou presença de quebras. Nós contendo espécies interiores estão geralmente «agarrados» a corredores, formando uma estrutura tipo colar de contas. Os corredores têm gradientes fortes, em termos micro – climáticos e de solo, entre um lado e outro. O centro é tipicamente um habitat único, parcialmente determinado pelo transporte ou movimento que se desenrola ao longo do corredor. Os corredores [linha] são estreitos e compostos basicamente de espécies de margem, ou mais largos e contendo uma abundância significativa de espécies interiores ao longo do seu eixo. [...] O efeito de largura do corredor exerce um controlo chave na natureza do mesmo, aplicando-se estas características tanto quando é mais alto, como mais baixo que a envolvência" (FORMAN, R.; GODRON, M. (1986, pp. 153-155)).

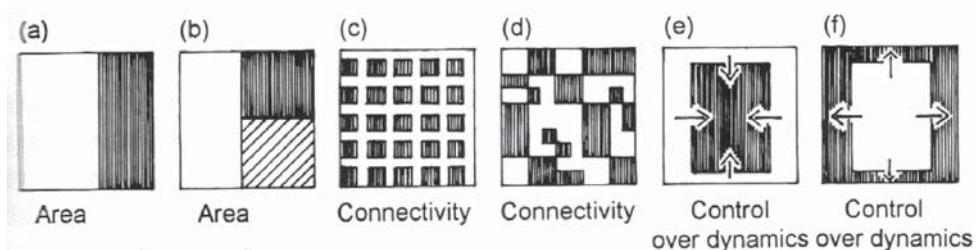
1.3 MATRIZ

Por último, em termos de elementos fundamentais da Paisagem, há a matriz, que constitui, embora não de uma forma aparente, o elemento mais importante para a análise e compreensão efectiva da estrutura da Paisagem. Por definição, a matriz é o tipo de Paisagem mais extenso e mais conectado, que portanto desempenha um papel dominante no funcionamento da Paisagem. A sua definição não é fácil, pelo contrário, é francamente subjectiva e deve obedecer aos seguintes critérios (Figura 5):

- **Área relativa** – quando um tipo de elemento da Paisagem é consideravelmente mais extenso que os outros, parece lógico considerá-lo a matriz;

FIGURA 5

Características determinantes da matriz de uma Paisagem. Uso do solo branco é a matriz e cobre 60 % (a), 45% (b) e 50% nos restantes. As setas indicam a direcção dos fluxos. O factor chave para determinação da matriz é indicado para cada grelha (área, conectividade, controlo sobre a dinâmica) (Forman, R. (1995, p. 277)).



- **Conektividade** – a matriz é o elemento mais conectado com os restantes tipos de manchas (num caso de “bocage”, embora a área seja menor, este tipo apresenta a maior conectividade);
- **Controlo da dinâmica** – a matriz exerce um maior controlo na dinâmica da Paisagem, dando origem à Paisagem futura.

Existem ainda dois conceitos, relacionados com a matriz, que importa abordar pelas suas implicações e possibilidades quantitativas de avaliação da Paisagem: a porosidade e a forma das margens das manchas sobre a matriz.

1.3.1 – POROSIDADE

Porosidade é a medida da densidade de manchas na Paisagem: quanto maior o número de manchas com fronteiras fechadas maior a porosidade, independentemente da dimensão das manchas, sendo que a porosidade é também independente da conectividade, como se pode observar na Figura 6. A porosidade pode dar uma indicação global do grau

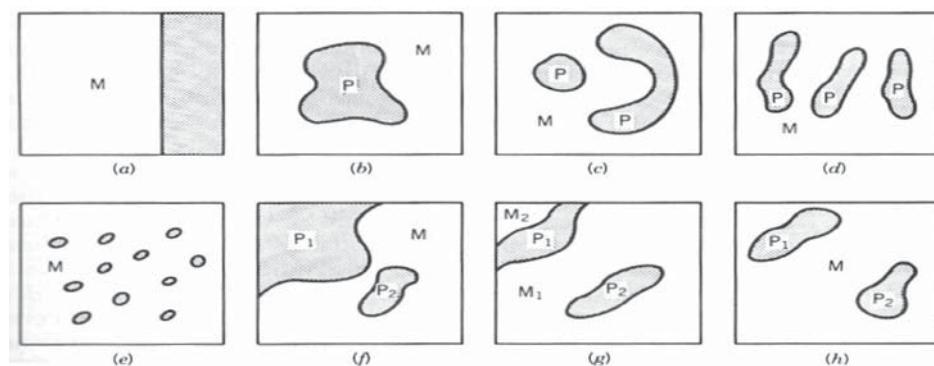
de isolamento das espécies e pode ser um indicador do grau de efeito de margem. Em termos humanos, a porosidade é um factor na economia das colheitas, visto que a dimensão e proximidade das parcelas condiciona a actividade agrícola. No contexto da Geografia Humana a porosidade permite estudar os padrões de distribuição de casas e aglomerados na matriz.

1.3.2 – FORMA DA MARGEM

Nos exemplos até aqui apresentados, as margens das manchas têm sido representadas como linhas suaves, embora possam ser extremamente irregulares e convolucionadas, independentemente da forma da mancha em si. Na Figura 7 pode ver-se um caso simples, onde se teria dificuldade em decidir qual dos elementos (esquerda ou direita) é a matriz. Se o elemento da esquerda (escuro em (a)) se expande, os pontos A, B e C tornam-se “testas-de-ponte” eficientes para conquistar terreno. A área conquistada será claramente maior no caso em que o elemento da esquerda se expande ((b) por oposição a (c)), pois os esforços de conquista são duplicados perto dos pontos A, B e C. Neste caso,

FIGURA 6

Porosidade e conectividade na matriz. M = matriz, P = mancha. (a) O caso mais simples, em que a porosidade é 0 (zero). (b) Porosidade = 1 (um). (c) Porosidade = 2. (d) Porosidade = 3. (e) Porosidade = 11. (f) Porosidade = 2, a conectividade da matriz é completa, mas não é claro se M ou P deveriam ser a matriz. (g) Porosidade = 2, mas a conectividade não é completa. (h) Porosidade = 2 e a conectividade é completa (FORMAN, R.; GODRON, M. (1986, p. 169)).



o terceiro critério de definição da matriz (controlo da dinâmica) faz sentido e é o mais válido, pois o elemento à esquerda, com margens côncavas, conquista território mais eficientemente e, logo, é a matriz. No entanto, com o tempo a margem côncava vai-se transformando numa margem convexa.

Este tipo de raciocínio permite diferenciar elementos em expansão na Paisagem, os que se estão a expandir na periferia apresentando margens convexas, e elementos relíquia, que estão num processo de retracção e têm margens côncavas. Estes padrões são claramente verificáveis em áreas ardidas, onde se dá uma passagem muito rápida da forma convexa para uma margem côncava de expansão. Há, no entanto, exceções, como quando há regeneração da vegetação a partir das linhas de água, embora as margens de expansão sejam côncavas, porque decalcam a rede hidrográfica.

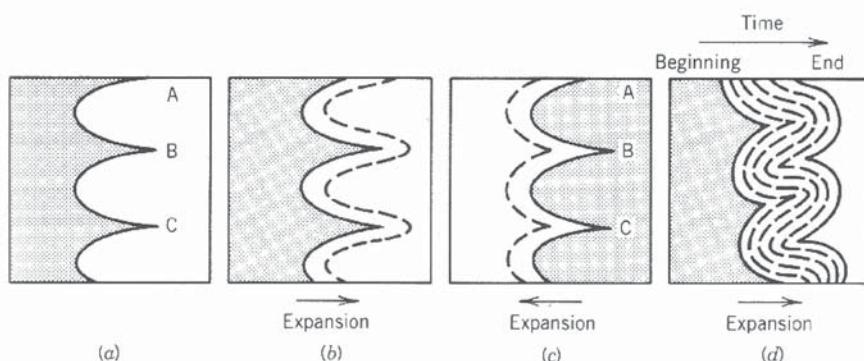
Segundo um princípio de forma e função, que também se aplica a Paisagens, “A interacção entre dois objectos é proporcional à superfície de margem comum. A forma arredondada ou circular, com um

mínimo de apêndices, ou seja, com um rácio mínimo entre perímetro e área, é característica de sistemas onde é importante conservar recursos como a energia, materiais ou organismos. Esta forma é importante em Ecologia animal ou para uma força militar. Em contraste, uma margem convoluciona com um elevado rácio perímetro – área é característica de sistemas com significativo intercâmbio de energia, materiais ou organismos com a envolvência – e.g. pulmões ou a folhagem de uma árvore. Uma terceira forma, a dendrítica, está sobretudo associada a transporte – e.g. nervos, redes ferroviárias. Este princípios fundamentais relacionam as formas das margens e elementos da Paisagem com a sua função, sobretudo os fluxos entre e para a matriz circundante” (FORMAN, R.; GODRON, M. (1986, p. 177)).

Acresce a esta relação forma – função que as margens podem ter vários padrões, em termos de proporções e forma entre os elementos de ambos os lados. Muitas vezes as margens não são nítidas, marcadas, como discutido acerca da “confusão” e indefinição de limites, existe sim um gradiente de concentração em cada mancha. Existem três mecanismos que

FIGURA 7

Margens côncavas e convexas. (a) Elemento à esquerda com margem côncava, à direita com mancha convexa. (b) Linha a tracejado indica a nova fronteira conforme o elemento da esquerda se expande. (c) Linha a tracejado indica a nova fronteira conforme o elemento da direita se expande. (d) Com o tempo, a margem côncava do elemento em expansão torna-se convexa (FORMAN, R.; GODRON, M. (1986, p. 175)).



desenvolvem margens de vegetação na Paisagem, segundo FORMAN, R. (1995, p. 83): "(1) um ambiente físico «manchado», tal como um mosaico de solos ou formas de relevo; (2) perturbações naturais, incluindo fogos, tornados; e (3) actividades humanas, tais como arroteias. [para efeitos agrícolas, florestais ou urbanos] Em muitos casos as perturbações naturais e a actividade humana tornam as margens mais «afiadas», aumentando o contraste na Paisagem".

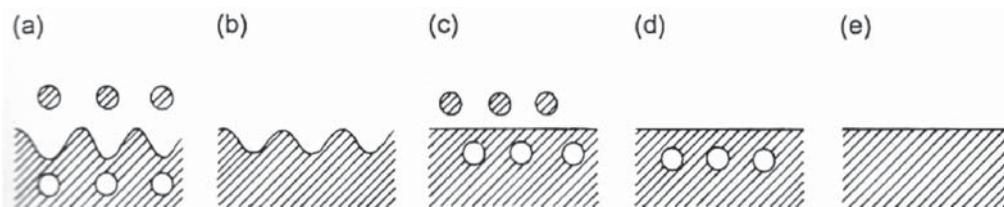
Nas áreas naturais predominam margens curvilíneas, contendo superfícies côncavas e convexas ((a) e (b) na Figura 8). Os sistemas adjacentes estão interdigitados, sugerindo uma considerável interacção de movimentos entre eles, é o caso dos exemplos (a), (c) e (d), sendo (a) a forma mais comum resultante de processos naturais, ao invés de (e) que é típica de áreas com forte intervenção humana. Claro está que as margens, tal como os corredores, desempenham também e por si várias funções: habitat, conduta, filtro, fonte e sumidouro.

1.4 ESTRUTURA GLOBAL

Se a Paisagem tem uma composição, que diz respeito à presença e quantidade de manchas, tem também um padrão, que diz respeito à distribuição espacial e configuração dessas mesmas manchas. Deste conjunto resulta a estrutura global da Paisagem. Para a analisar é necessário ter presente um conjunto de aspectos, como a escala de análise e a resolução, que no caso de uma análise a partir de imagens da Teledetectação é, intrinsecamente, a resolução espacial do sensor. Existem também dois extremos de heterogeneidade: micro – heterogeneidade quando o arranjo dos tipos de elementos da Paisagem em torno de um ponto é semelhante em qualquer ponto da Paisagem (e.g. a mancha de menor cobertura herbácea na proximidade imediata de uma azinheira); macro – heterogeneidade quando o arranjo dos elementos da Paisagem varia entre porções da área observada (e.g. variações em altitude dos povoamentos florestais). Claro está que nenhuma Paisagem é completamente micro ou macro heterogénea, há sim misturas e cambiantes. Independentemente da análise de heterogeneidade,

FIGURA 8

Padrões de margens entre dois ecossistemas. Margem pode ser curvilínea ou recta, com pequenas manchas próximas, de um ou de ambos os ecossistemas. (a) É mais comum em áreas naturais, (e) predomina em áreas com forte intervenção humana (Forman, R. (1995, p. 83)).



é importante caracterizar os padrões de distribuição dos elementos da Paisagem, a configuração, bem como o grau de contraste e grão da Paisagem.

1.4.1 – CONFIGURAÇÃO

A configuração da Paisagem é, basicamente, a forma como as manchas, corredores e matriz estão distribuídos espacialmente na Paisagem: “Uma lei básica da Geografia declara que tudo está inter-relacionado, mas que os objectos mais próximos estão mais relacionados que os objectos mais distantes. [...] Os animais, sementes, calor, nutrientes, genes, informação e muito mais movem-se entre ecossistemas. [...] Da ciência dos ecossistemas sabemos que a energia e os nutrientes minerais fluem de um objecto para outro, dentro dos ecossistemas ou entre ecossistemas. Da ciência comportamental sabemos que as espécies, porque encontram habitats mais adequados, apresentam movimentos direcionais para manchas do mesmo tipo. Combinando estes princípios com a lei geográfica obtém-se um princípio de fluxo – espacial, útil para estimar quais os ecossistemas a considerar em termos de gestão ou planeamento. Todos os ecossistemas estão inter-relacionados, com o grau de movimento ou fluxos a diminuir marcadamente com a distância, mas mais gradualmente entre ecossistemas do mesmo tipo” (FORMAN, R. (1995, pp. 286-287)).

Os agrupamentos de manchas, nível hierárquico da organização espacial, situam-se entre os ecossistemas locais e a Paisagem, são elementos espaciais ligados por um intercâmbio significativo de energia ou matéria. Se existe de facto um princípio de auto – organização pode-se esperar que, dado um conjunto de cobertos vegetais - usos do solo e passado um tempo determinado, este conjunto apresentasse um arranjo limitado a um certo número de hipóteses. Alguns padrões espaciais, portanto,

auxiliam a percepção da configuração espacial dos elementos, os mais elementares são segundo FORMAN, R. (1995, pp. 291-292):

Regular – Padrões regulares têm ecossistemas ou usos do solo semelhantes, sensivelmente equidistantes, estando rodeados por uma matriz ou rede. Exemplos podem ser as escolas numa área metropolitana, cortes de árvores em povoamentos florestais extensos, campos numa estrutura cadastral ortogonal, polígonos de solo na tundra ou manchas de vegetação no deserto;

Agregado – Padrões agregados, como grandes superfícies em eixos de saída de uma grande cidade, parques industriais, campos agrícolas no fundo de vales;

Linear – Distribuições lineares de manchas, bastante comuns, como os oásis ao longo de um vale no deserto, manchas de árvores ao longo de um rio, povoações ao longo da costa;

Paralelo – Corredores paralelos são também comuns: estradas, alinhamentos de topos, linhas de água guiadas pela tectónica ou sebes em áreas ventosas.

Invariavelmente, uma Paisagem vai ter como padrão uma combinação de vários padrões dos seus elementos base, formando um padrão global, que até certo ponto revela um tipo de organização no espaço, resultante da estrutura e função do sistema.

1.4.2 – CONTRASTE

Grande parte das combinações de padrões está relacionada com actividades humanas. Um dos primeiros resultados de actividades como a agricultura, reflorestação ou construção urbana é o aumento do contraste na Paisagem. O contraste

é tanto maior quanto maior for a diferença entre elementos adjacentes da Paisagem, passando as transições e gradientes mais naturais a diminuir ou desaparecer. Há portanto estruturas de baixo e de alto contraste:

Baixo Contraste – Um bom exemplo de estrutura de contraste mínimo é a floresta tropical, ao invés de áreas desérticas com pouca vegetação e alto contraste produzido por processos geomorfológicos. Quanto mais natural, sem corredores, menos contraste, o que parece ter vantagens para uma série de animais, embora a homogeneidade dependa sempre da escala de análise. Por isso um tapete florestal contínuo, numa área equatorial, pode parecer extremamente homogéneo numa fotografia aérea ou imagem de satélite, mas internamente apresenta uma enorme heterogeneidade. Dum ponto de vista ecológico, o contraste de uma Paisagem como um todo é baixo porque é o meio único para a maior parte da fauna.

Alto Contraste – No caso de Paisagens naturais, por mecanismos e processos naturais, podem ocorrer situações de alto contraste, sobretudo quando as condições do solo controlam a distribuição das espécies dominantes de plantas e animais. No entanto, a maioria esmagadora das Paisagens de alto contraste são criadas por influência humana, como todas as parcelas agrícolas em meio semi-natural, manchas florestais introduzidas. “A micro-heterogeneidade introduzida pelas actividades humanas no seio da macro-heterogeneidade natural é extremamente comum e cobre, talvez, a maior parte das Paisagens rurais do hemisfério Norte. Nestas regiões, contudo, é difícil encontrar estruturas de alto contraste resultantes exclusivamente da influência humana, pois esta influência é tão extensa e profunda que se sobrepõe

e é espacialmente congruente com as manchas naturais existentes numa Paisagem de alto contraste” (FORMAN, R.; GODRON, M. (1986, p. 216)).

1.4.3 – GRÃO

As Paisagens têm grão fino ou grosso de acordo com a dimensão dos elementos da Paisagem presentes. Assim, a escala de análise é crucial para enquadrar e entender o grão da Paisagem, bem como a resolução, que no caso das imagens de satélite Landsat é de 30 metros. Desta forma, qualquer estrutura regular, mancha inferior a 30 metros não é “visível” e, logo, não é classificável. Mas o grão não é obrigatoriamente da dimensão do pixel, pois quase todos os cobertos vegetais – usos do solo apresentam manchas que resultam de conjuntos de pixels, sejam eles campos agrícolas, manchas de esteval ou povoados florestais. A forma mais simples de medir o grão é simplesmente medir a dimensão média dos elementos da Paisagem presentes, como um todo para a Paisagem ou para cada tipo de elemento, o que indica também a tendência para a agregação de cada um. Voltaremos à adequação das imagens ao grão da Paisagem.

2. GRADIENTE DE MODIFICAÇÃO DA PAISAGEM

Assumindo um gradiente de modificação da Paisagem, num extremo sem impacto humano significativo (Paisagem natural) e outro com um grau máximo de artificialização (Paisagem Urbana), existem quatro tipos principais de Paisagem, ao longo das quais as características das manchas, corredores e matriz se vão modificando (FORMAN, R.; GODRON, M. (1986, pp. 286-310)):

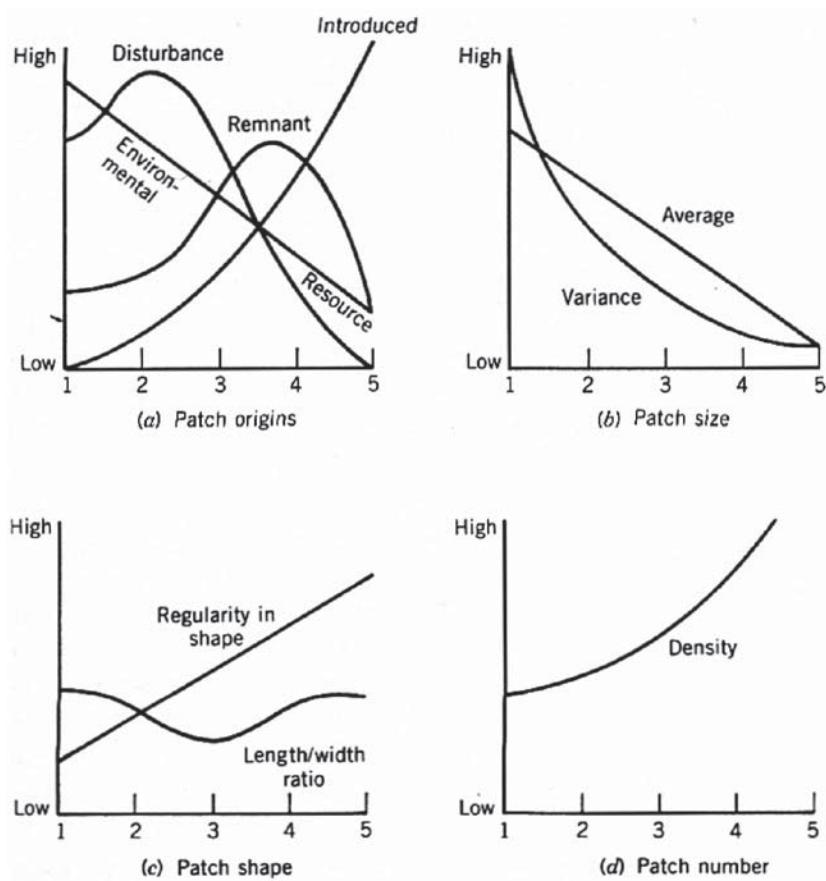
Paisagem Natural (Figuras 9 e 10)

Impacto humano pouco significativo, matriz muito conectada, relativa baixa densidade de manchas naturais e corredores, grão geralmente grosseiro onde em muitos casos as fronteiras entre elementos da Paisagem são pouco nítidas. A maior parte das manchas são de recurso ambiental, embora existam manchas de perturbação, os poucos corredores presentes são quase sempre corredores ao longo de linhas de água. A dimensão média das manchas é grande, existindo contudo uma grande variabilidade dessa dimensão. A biomassa, ou energia potencial acumulada pela vegetação, está quase sempre no

seu máximo. O nível de fotossíntese é elevado, mas porque é necessária muita energia para suportar tal quantidade de biomassa e porque os decompositores estão activos, a produção bruta para colheita humana auto-sustentável é mínima (sem modificar a Paisagem). A colonização destas Paisagens Naturais pode envolver pastoreio itinerante ou criação de clareiras para cultivo, aumentando a densidade dos corredores e das manchas e diminuindo a conectividade da matriz. Estes novos elementos da Paisagem, resultantes da actividade humana, constituem os núcleos a partir dos quais se dá a dispersão de pessoas e ferramentas para a matriz adjacente.

FIGURA 9

Características das manchas, mudança ao longo do gradiente de modificação da Paisagem. Os graus de modificação são (1) natural, (2) gerido, (3) cultivado, (4) suburbano e (5) urbano (FORMAN, R.; GODRON, M. (1986, p. 287)).



Paisagens “Geridas”

Existem grandes mudanças quando se passa para áreas de pastagem ou florestas em exploração: a matriz mantém-se extensa (Figuras 9 e 10), embora seja dominada por uma ou algumas espécies que são geridas para produção, sendo afectada pela acção humana sobretudo através da extracção e aumento ou diminuição da frequência dos fogos. Existem acervos de habitações, corredores lineares associados a comunicação e colheitas, que cortam marcadamente a conectividade da matriz. A densidade das manchas continua a aumentar, existem mais manchas de perturbação enquanto a

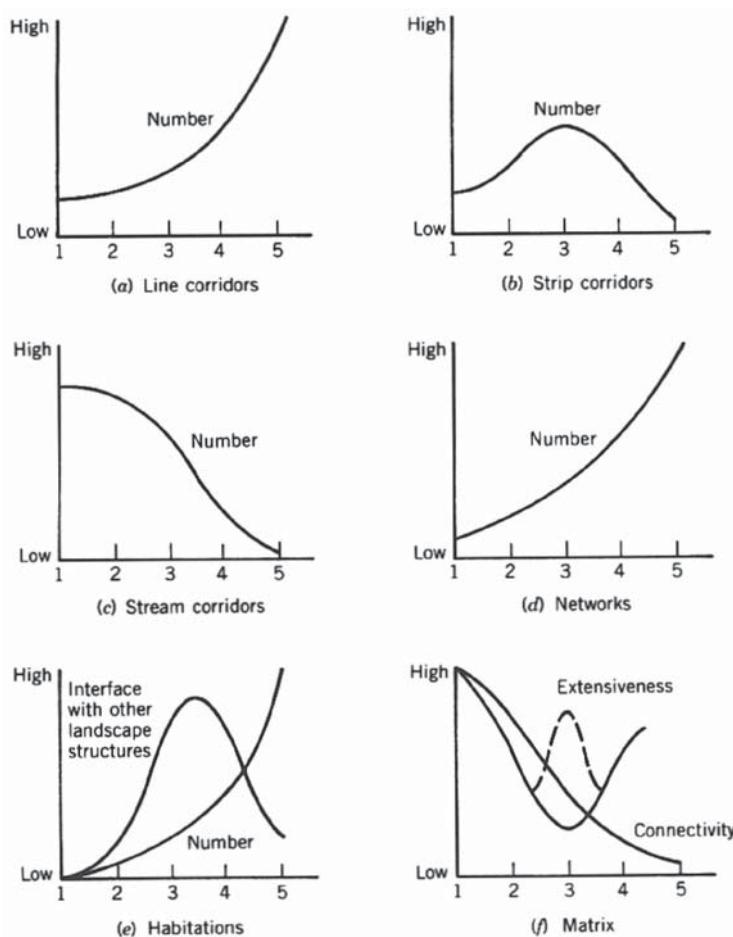
dimensão média das manchas e a variabilidade dessa dimensão diminuem. A diversidade das espécies pode aumentar ou diminuir, talvez em muitos casos o número de espécies nativas que desaparecem seja maior que o número de espécies não nativas que são introduzidas em manchas da Paisagem, mas o factor mais importante é a relativa homogeneização da matriz.

Paisagens Cultivadas

O cultivo de manchas é o maior passo humano na alteração de Paisagens naturais ou geridas, são as manchas introduzidas que concorrem para diminuir,

FIGURA 1 □

Corredores e outros elementos da Paisagem em mudança ao longo do gradiente de modificação da Paisagem. Os graus de modificação são (1) natural, (2) gerido, (3) cultivado, (4) suburbano e (5) urbano. A matriz de uma área cultivada é extensa quando predomina uma só cultura, mas baixa quando existem várias culturas predominantes com proporções semelhantes (FORMAN, R.; GODRON, M. (1986, p. 287)).



mais uma vez, a conectividade da matriz, a dimensão média das manchas, aumentando a regularidade das formas e a densidade de manchas. Diminuem as manchas de perturbação e aumentam as introduzidas (Figuras 9 e 10). O número de corredores aumenta, tal como as redes, as povoações desenvolvem-se, estruturam-se funcionalmente aumentando em muito a densidade de manchas e a regularidade das formas. A evolução entre tipos de agricultura faz-se da seguinte forma: (1) agricultura tradicional onde existe uma matriz de grão fino, algo heterogénea, com campos de formas irregulares; (2) combinação de agricultura tradicional e moderna, semelhante à anterior mas com manchas grandes, persistentes e homogéneas nas áreas de melhor solo; (3) agricultura moderna com restos da fase tradicional, matriz de parcelas grandes e homogéneas com manchas dispersas de agricultura tradicional e manchas naturais remanescentes.

A característica mais marcante da Paisagem cultivada é a “geometrização”, a formação de elementos lineares, poligonais e ortogonais, estradas, valas e canais. Muitos corredores nas linhas de água são destruídos, enquanto os lineares, de comunicação entre povoações ou usados no cultivo e colheita, se generalizam. A diversidade das espécies decai consideravelmente, dominando algumas espécies associadas às culturas, enquanto as outras são removidas mecanicamente ou com pesticidas. As manchas naturais remanescentes, muito espalhadas, são pouco ricas em espécies como resultado de perturbações repetidas de vários tipos e isolamento crescente. A produção bruta é máxima, na área cultivada, com intervalos entre colheitas de grande regularidade. Os inputs de nutrientes, sob a forma de fertilizantes, são elevados, permitindo uma elevada produção. Os outputs de nutrientes são também elevados, as linhas de água transportam elevadas cargas de sedimento.

Paisagens Urbanas

As cidades representam um tipo de estrutura organizada, onde circulam bens, pessoas, informação e energia. Por um lado há especialização das pessoas que aí residem e trabalham, desempenhando diferentes funções. A própria cidade apresenta uma organização espacial funcional, estruturada. Existem poucos animais e plantas, sendo o sistema biológico polarizado pelas necessidades humanas. A cidade é basicamente uma Paisagem de redes, ruas, manchas de dimensões mínimas com características funcionais. A produtividade bruta da Paisagem é negativa, pois todo o ecossistema se baseia em inputs maciços de alimentos animais e vegetais, água, combustíveis, bens manufacturados. Os outputs são esgoto, resíduos sólidos, água, calor e poluentes vários. Em certo sentido a cidade resulta da sobreposição de dois ecossistemas com ligações geralmente mínimas: a produtividade primária da Paisagem, relva, árvores e outras plantas suportam uma estrutura trófica muito simplificada que inclui alguns herbívoros e carnívoros; o outro sistema, centrado nos humanos, envolve inputs de alimento e água e outputs de resíduos e esgoto, existindo carnívoros (como as pulgas) e decompositores (como as bactérias e gaivotas); um pequeno sub-sistema centrado nos animais de estimação está ligado ao sistema ecológico humano.

3. PROCESSOS ESPACIAIS DE TRANSFORMAÇÃO DA PAISAGEM

Na sequência da análise do gradiente de modificação da Paisagem torna-se evidente o conceito que lhe está subjacente, a fragmentação da Paisagem. Este processo, a divisão de grandes habitats (manchas) em parcelas mais pequenas, implica dificuldades para

muitas espécies que não podem manter populações viáveis em pequenas manchas, o que resulta em extinção e perda de biodiversidade, bem como na ruptura da integridade da rede hidrográfica, da qualidade da água, do regime natural de perturbação no qual as espécies evoluíram e persistiam além de outros processos ecológicos.

No entanto, a fragmentação é somente uma fase na sequência mais larga de transformação da Paisagem por processos naturais ou antrópicos, que inclui outros processos espaciais (FORMAN, R. (1995, pp. 407-409)):

Perfuração – Processo de criar “buracos” num habitat ou tipo de coberto, processo mais comum de iniciar a modificação do território) seja para corte de madeira, abertura de clareiras ou aparecimento de edifícios) (Figura 11);

Dissecção – Corte ou subdivisão de uma área por linhas de largura regular, o que acontece sobretudo com a abertura de estradas, aceiros ou instalação de linhas de electricidade;

Fragmentação – Quebra de um habitat ou coberto em parcelas mais pequenas, as manchas têm dimensões e uma distribuição espacial irregular. Embora o

processo seja parecido com a dissecação, não há regularidade, os efeitos podem ser semelhantes ou muito diferentes, consoante o corredor de dissecação seja ou não uma barreira ao movimento de espécies;

Contracção – Diminuição da dimensão das manchas, processo universal de transformação da Paisagem, geralmente com as manchas remanescentes que vão diminuindo de dimensão para efeitos de agricultura ou construção;

Atrito – Desaparecimento de manchas e corredores, geralmente desaparecem as manchas pequenas, mas o desaparecimento de manchas grandes pode ter especial significado ecológico.

O número e densidade de manchas aumentam com a dissecação e fragmentação, diminuindo com o atrito. A dimensão média das manchas diminui geralmente nos primeiros quatro processos, aumentando tipicamente com o atrito, pois as manchas mais pequenas têm maior probabilidade de desaparecer. A quantidade total de habitat interior diminui com todos os processos. Mas os cinco processos sobrepõem-se ao longo da transformação do território, além de estarem geralmente ordenados pela sua importância relativa: começando com a perfuração e dissecação

FIGURA 11

Principais processos espaciais de transformação do território e os seus efeitos em atributos espaciais; + representa um aumento, - um decréscimo e 0 nenhuma mudança. Os efeitos são medidos para o tipo preto de habitat – coberto (Forman, R. (1995, pp. 407)).

Spatial processes	Patch number	Average patch size ¹	Total interior habitat ²	Connectivity across area ³	Total boundary length ⁴	Habitat	
						Loss	Isolation
Perforation	0	-	-	0	+	+	+
Dissection	+	-	-	-	+	+	+
Fragmentation	+	-	-	-	+	+	+
Shrinking	0	-	-	0	-	+	+
Attrition	-	+	-	0	-	+	+

e terminando no atrito, de uma forma cronológica. A perfuração e dissecação estão associadas às fases iniciais, a fragmentação e contracção à fase intermédia de transformação, sendo a fase final o atrito.

4. QUANTIFICAÇÃO DA ESTRUTURA DA PAISAGEM

Estão já apresentados, muito sinteticamente, vários aspectos paradigmáticos da Ecologia da Paisagem: a estrutura e os elementos base da Paisagem (manchas, corredores e matriz), conceitos relacionados com a matriz (porosidade e forma das margens), a estrutura global da Paisagem (configuração, contraste e grão), os princípios gerais da Paisagem, bem como as transformações da mesma (gradiente de modificação e processos espaciais de transformação). Quais são, então, as ferramentas para “medir” o mosaico num contexto de avaliação da estrutura espacial da Paisagem?

Uma vez que em Ecologia da Paisagem o principal objecto a ser medido é a estrutura e a complexidade da Paisagem, os índices da Paisagem (“Landscape Metrics” – “Métricas” da Paisagem) baseiam-se na análise da distribuição, forma e arranjo espacial das manchas. A aplicação destes índices pode fazer-se a três níveis: à resolução individual das manchas (todas, uma – a – uma), à escala das classes de manchas (tantas quantas as classes da classificação que se utilizar como material de base) e à escala da Paisagem como um todo (calculando as interacções entre diferentes classes de manchas).

Por sua vez, esta análise pode ser efectuada segundo duas abordagens distintas (FARINA, A. (2000, p. 169)), a composição da Paisagem e a sua configuração, que independentemente ou em conjugação afectam os processos ecológicos e os organismos:

Composição da Paisagem – Descreve a qualidade e quantidade de elementos (manchas) que compõem a Paisagem. Por outras palavras, a composição da Paisagem engloba a variedade e abundância dos tipos de manchas na Paisagem, mas não a posição e localização dessas mesmas manchas no mosaico, sendo por isso descrita numericamente e não espacialmente, portanto não é espacialmente explícita. Existem múltiplas formas de quantificar a composição: proporção de Paisagem por tipo de manchas, riqueza de manchas, equidade de distribuição de manchas, diversidade de manchas entre muitas outras.

Configuração da Paisagem – Descreve a distribuição física das manchas na Paisagem. Algumas das variáveis consideradas são isolamento das manchas, dimensão e forma da área interna das manchas, justaposição e distância entre manchas do mesmo tipo ou complexidade da fronteira, que descrevem o carácter espacial das manchas. Alguns índices são espacialmente explícitos somente porque representam, ao nível da Paisagem, a localização relativa individual das manchas, reconhecendo que os processos ecológicos e organismos são afectados pela inter-dispersão e justaposição de tipos de manchas numa Paisagem.

No entanto, nem todos os índices podem ser facilmente classificáveis como representando a composição ou a configuração da Paisagem. Índices como a dimensão média das manchas e densidade das manchas não são realmente espacialmente explícitos, pois não dependem explicitamente do carácter espacial ou posição relativa das manchas. Além disso, a dimensão média das manchas e a sua densidade reflectem tanto a quantidade de um tipo de manchas presente (composição), como a sua distribuição espacial (configuração).

Outros índices, como o total de margens ou densidade de margens (função da quantidade de margens entre manchas), que representam claramente a heterogeneidade espacial, não dependem explicitamente da localização relativa das manchas na Paisagem ou do seu carácter espacial individual. Para uma determinada densidade de margens podem existir cinco ou cinquenta manchas, podem estar agrupadas espacialmente ou dispersas, agrupadas num sector da Paisagem ou distribuídas de uma forma mais ubíqua.

Assim, "... Mais importante do que classificar os índices da métrica da Paisagem numa dicotomia composição – configuração, é reconhecer que a estrutura da Paisagem consiste tanto da composição como da configuração e que foram desenvolvidos vários índices para representar estes aspectos da estrutura da Paisagem, separadamente ou de uma forma combinada" (McGARIGAL, K.; MARKS, B.J. (1995, p. 11)).

Em termos de métrica da Paisagem existem quatro grandes tipos de índices, espacialmente explícitos ou não, apresentando-se algumas das métricas principais:

1. Forma – dimensão das manchas

Área total por tipo de mancha;
Proporção ocupada pela maior mancha;
Número de manchas e dimensão média das manchas;
Desvio padrão e variância da dimensão das manchas;
Total de margens e sua densidade;
Margem média por mancha

...

2. Complexidade – irregularidades

Índice de forma da Paisagem;
Índice de forma ponderado pela área;
Dimensão fractal média das manchas e da Paisagem

...

3. Arranjo – organização espacial

Distância média à mancha mais próxima;
Índice médio de proximidade;
Índice de inter-dispersão e justaposição
...

4. Diversidade

Índice de Diversidade de Shannon;
Índice de Equidade de Distribuição de Shannon
...

5. CRÍTICA

"Existem várias ferramentas para efectuar procedimentos de avaliação numa Paisagem a uma determinada escala, da «métrica da Paisagem» à Teledetecção e SIG, com o auxílio de estatística espacial" (FARINA, A. (2000, p. 112)). No entanto, existem várias limitações quanto à aplicação da métrica da Paisagem: segundo HERZOG, F.; LAUSCH, A (1999) a aplicação está muito limitada pelo modelo de dados utilizados (raster – vector), mas utilizando imagens da Teledetecção (intrinsecamente raster) há menos generalização que no modelo vector, conservando-se a informação espacial. A utilização de imagens uniformiza a escala de "generalização" da Paisagem, permitindo medir propriedades espaciais, "...informação sobre a geometria e posição (e.g. dimensão, forma, arranjo e textura) [...] informação pontual (por pixel) e espacial (integração das propriedades espaciais) [...] e capacidade de análise multi-temporal" (QUATTROCHI, D.A.; PELLETIER, R.E. (1991, p. 60)).

O que se torna relevante é a relativa impossibilidade de comparar as medidas efectuadas sobre imagens de diferentes resoluções espaciais, pois sendo distintos, os graus de generalização intrínsecos vão modificar a Paisagem mensurável, originando variações significativas nalguns índices (BLASCHKE, T.; PETCH, J. (1999), sobretudo a nível da configuração, pois há uma efectiva mudança de escala de análise. Como afirma FROHN, R.C. (1998), se os índices de Paisagem são imprevisíveis como consequência da resolução espacial, então as mudanças nos valores dos índices podem ser uma função da resolução espacial em adição a mudanças efectivas da estrutura da Paisagem, o que torna os valores imprevisíveis e o seu significado pouco claro. Mantendo-se a escala mantém-se a coerência e compatibilidade da métrica da Paisagem.

No entanto, a maior limitação é o número de classes, mais dependente dos objectivos do estudo que dos dados efectivamente disponíveis, por isso se deve construir uma legenda coerente, sólida e ecologicamente relevante. Portanto, para efeitos de comparação de áreas a legenda deve ser comum, pois a agregação de classes ou simplificação da legenda (tal como o inverso) modificaria completamente a composição e configuração da Paisagem. Desta forma torna-se difícil comparar índices calculados sobre Paisagens classificadas tematicamente de forma diversa (HARDIS, C.D. ; BISSONETTE, J.A. ; DAVID, J.L. (1998).

Outro aspecto prende-se com os filtros de baixa frequência aplicados às classificações de imagens de satélite: o objectivo comum e primeiro é a remoção do “sal e pimenta” e o aumento da coerência espacial das manchas. No entanto, a aplicação destes filtros

modifica dramaticamente os valores dos índices, segundo GILLESPIE, M.K.; BARR, C.J.; HOWARD, D.C.; BUNCE; R.G.H (1999, p. 68) as variações chegam a aumentos ou diminuições da ordem dos 100 por cento. Deve portanto evitarse, a todo o custo, a aplicação de filtros à classificação, mantendo assim a composição e configuração da Paisagem tão próxima da classificação quanto possível.

Em jeito de conclusão pode-se afirmar que “... o valor interpretativo de uma medida da Paisagem tem pouco valor interpretativo: ao invés ele deve ser usado como um valor comparativo” (BLASCHKE, T.; PETCH, J. (1999, p. 83)). Ou ainda, “Acreditamos que os índices da Paisagem, enquanto descritores espaciais, oferecem uma valiosa visão das similaridades e diferenças entre mosaico de coberto vegetal em diferentes Paisagens, merecendo assim o interesse e entusiasmo que têm atraído. Embora a ligação entre o padrão espacial e a biodiversidade seja, ainda, pouco claro, os índices da Paisagem parecem capazes de quantificar muitos atributos da Paisagem. [...]

O perigo reside na sua interpretação e aplicação [sobretudo a nível da integração vertical, mais ecológica e no âmbito de cada mancha]. Favorecemos a utilização continuada de índices da Paisagem para descrever e comparar padrões espaciais complexos, mas a nossa experiência indica que quando vários índices são utilizados em conjunto podem revelar muito melhor informação sobre uma Paisagem” (FJELLSTAD, W.J.; DRAMSTAD, W.E.; FRY, G.L.A (1998, p. 67)).

Concluindo, para se poder proceder a comparações deve-se, imperativamente, manter a resolução espacial das imagens (e classificações resultantes), no fundo o grão da Paisagem, manter o número e tipo de classes (legenda) e não proceder a qualquer filtragem de baixa frequência dos resultados (classificações).

Software - Landscape Metrics

Fragstats

<http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
Ficheiros raster, mais de 130 índices

Patch Analyst

V.3 - http://flash.lakeheadu.ca/~rrempel/patch/pa31_setup.exe
Ficheiros vector , ArcGIS 3.x

V. 4 - <http://flash.lakeheadu.ca/~rrempel/patch/>
Ficheiros vector , ArcGIS 9.3

REFERÊNCIAS

- BLASCHKE, T.; PETCH, J. (1999) "Landscape Structure and Scale: Comparative Studies on some Landscape Indices in Germany and the UK", *in MAUDSLEY, M.; MARSHALL, J. eds. (1999) "Heterogeneity in Landscape Ecology – Pattern and Scale", Proceedings of the 1999 Annual I.A.L.E. (UK) Conference, IACR – Long Ashton Research Station, Bristol, UK I.A.L.E.*, pp. 75-84
- CASIMIRO, P.C. (2000) "Uso do Solo – Ecologia da Paisagem, Perspectivas de uma Nova Abordagem do Estudo da Paisagem em Geografia", *Geolnova Nº 2, DGPR-FCSH-UNL, Lisboa*, pp. 45-65
- CASIMIRO, P.C. (2001) "Uso do Solo – Ecologia da Paisagem, Quantificação da Estrutura da Paisagem para Análise de Padrões Espaciais – Concelho de Mértola", *Geolnova Nº 4, DGPR-FCSH-UNL, Lisboa*, pp. 125-157
- CASIMIRO, P.C. (2002) "Uso do Solo, Teledetectação e Ecologia da Paisagem – Ensaio Metodológico, Concelho de Mértola", *Tese de Doutoramento, FCSH – UNL*, 572 p.
- CASIMIRO, P.C. (2003) "Análise Quantitativa da Paisagem, Evolução Temporal de Padrões Espaciais – Concelho de Mértola", *Revista Geolnova – Revista do Departamento de Geografia e Planeamento Regional, Nº 6 - 2003, F.C.S.H. – U.N.L.*, pp. 59-84
- CASIMIRO, P.C. (2004) "Geografia, Ecologia da Paisagem e Teledetectação, Enquadramento – Contextualização", *Revista da Faculdade de Letras do Porto – Geografia, I Série, Vol. XIX, 2004*, pp. 467-476
- CASIMIRO, P.C. (2007) "Acerca do conceito de uso do solo e mudança de uso do solo", *APOGEO, Revista da Associação de Professores de Geografia, Nº 32, Abril de 2007*, pp. 23-31
- Dramstad, Olson, Forman (1996). "Landscape Ecology Principles in Landscape Architecture and Land-Use Planning", *Island Press, Washington*, 80 p.
- FARINA, A. (1998) "Principles and Methods in Landscape Ecology", *Londres, Chapman & Hall*
- FJELLSTAD, W.J.; DRAMSTAD, W.E.; FRY, G.L.A (1998) "Landscape Indices – Useful Tools or Misleading Numbers?", *in DOVER, JW; BUNCE, R.G.H. eds. (1998) "Key Concepts in Landscape Ecology", Proceedings of the 1998 European Congress of the I.A.L.E., UK – I.A.L.E.*, pp. 63-68
- Forman, R.T. (1999). "Land Mosaics – The ecology of landscapes and regions", 5ª Edição, *Cambridge University Press, Cambridge*, 632 p.
- Forman, R.T., Godron, M. (1986). "Landscape Ecology", *John Wiley, Nova Iorque*, 619 p.
- Frohn, R.C. (1998). "Remote Sensing for Landscape Ecology – New Metric Indicators for Monitoring, Modeling, and Assessment of Ecosystems", *Lewis, Boca Raton*, 99 p.
- GILLESPIE, M.K.; BARR, C.J.; HOWARD, D.C.; BUNCE; R.G.H (1999) "Describing Variation in the Spatial Pattern of British Landscapes Using Data From Countryside Surveys", *in MAUDSLEY, M.; MARSHALL, J. eds. (1999) "Heterogeneity in Landscape Ecology – Pattern and Scale", Proceedings of the 1999 Annual I.A.L.E. (UK) Conference, IACR – Long Ashton Research Station, Bristol, UK I.A.L.E.*, pp. 65-73
- HARGIS, C.D. ; BISSONETTE, J.A. ; DAVID, J.L. (1998) "The Behavior of Landscape Metrics Commonly Used in the Study of Habitat Fragmentation", *Landscape Ecology, Vol. 13(3)*, pp. 167-186
- Haines-Young, R.; Green, R.; Cousins, S.H. *Eds. (1993). "Landscape Ecology and Geographical Information Systems"*, *Taylor and Francis, Londres*, 288 p.
- HERZOG, F.; LAUSCH, A (1999) "Prospects and Limitations of the Application of Landscape Metrics for Landscape Monitoring", *in MAUDSLEY, M.; MARSHALL, J. eds. (1999) "Heterogeneity in Landscape Ecology – Pattern and Scale", Proceedings of the 1999 Annual I.A.L.E. (UK) Conference, IACR – Long Ashton Research Station, Bristol, UK I.A.L.E.*, pp. 41-50
- Klopatek, J.M.; Gardner, R.H. *Eds. (1999). "Landscape Ecological Analysis – Issues and Applications"*, *Springer-Verlag, Nova Iorque*, 400 p.
- Marsh, W.M. (1997). *Landscape Planning: Environmental Applications*, 3ª Edição, *John Wiley, Nova Iorque*, 434 p.
- McGARIGAL, K.; MARKS, B.J. (1995) "FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure", *General Technical Report PNW-GTR-351, Portland-Oregon, Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station*, 122 p.

Meyer, W.B.; Turner, B.L. (1998). "Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective",
2^a Edição, Cambridge University Press, 537 p.

MEINIG, D.W. (1979) "The Interpretation of Ordinary Landscapes",
Geographical Essays, Oxford, Oxford University Press

NAVEH, Z.; LIEBERMAN, A.S. (1984) "Landscape Ecology –
Theory and Applications", Nova Iorque, EUA, Springer – Verlag

NRC – National Research Council (1997). "Rediscovering Geography – New Relevance for Science and Society",
National Academy Press, Washington, 233 p.

NRC – National Research Council (1998). "People and Pixels – Linking Remote Sensing and Social Science",
National Academy Press, Washington, 244 p.

QUATTROCHI, D.A.; PELLETIER, R.E. (1991) "Remote Sensing for Analysis of Landscapes: An Introduction",
in TURNER, M.G., GARDNER, R.H. (1991) "Quantitative Methods in Landscape Ecology",
Ecological Studies Vol. 82, Springer-Verlag, Berlin, pp. 51-76

RISSER, P.G. (1984) "Landscape Ecology: Directions and Approaches",
Champaign – Illinois, Special Publication 2, Illinois Natural History Survey, 18 p.

Rougerie, G; Beroutchachvili, N. (1991). "Géosystèmes et Paysages – Bilan et Méthodes",
Armand Colin, Paris, 302 p.

Rundel, P.W.; Montenegro, G; Jaksic, F.M. eds. (1998). "Landscape Disturbance and Biodiversity in Mediterranean-
Type Ecosystems", Ecological Studies Vol. 136, Springer-Verlag, Berlin, 447 p.

TROLL, C. (1950) "Die Geographische Landschaft und Ihre Erforschung", Heidelberg,
Studium Generale 3, pp. 163-181

Turner, M.G., Gardner, R.H. (1991). "Quantitative Methods in Landscape Ecology",
Ecological Studies Vol. 82, Springer-Verlag, Berlin, 536 p.

USDA – United States Department of Agriculture (1995). "Fragstats: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure",
General Technical Report - Pacific Northwest Research Station Nº 351, 122 p.

WIENS, J.A. (1992) "What is Landscape Ecology, Really?",
Landscape Ecology, Vol. 7, pp. 149-150

ZONNEVELD, I.S. (1979) "Land Evaluation and Land(scape) Science",
Enschede, Holanda, Internaciona Training Center, 134 p.