

Uso do Solo - Ecologia da Paisagem

Perspectivas de uma nova abordagem do estudo da Paisagem em Geografia

Pedro Cortesão Casimiro

Departamento de Geografia e Planeamento Regional

Faculdade de Ciências Sociais e Humanas – UNL

Av. Berna, 26C, 1069-061 LISBOA (PORTUGAL)

Tel.: +351.217933559

Fax: +351.217977759

e-mail: pjcc.casimiro@mail.telepac.pt

Resumo

O objectivo do artigo é dar a conhecer os princípios básicos e métodos propostos pela Ecologia da Paisagem, na sua vertente de análise quantitativa da estrutura da paisagem - análise de padrões espaciais - e o seu interesse no âmbito de estudos de uso do solo em Geografia. Abordagem da actualidade e importância dos estudos de uso do solo e sua evolução, actualmente e no contexto das mudanças globais. Definição do objecto de estudo e elementos da paisagem (estrutura, função, mudança – manchas, corredores, matriz), bem como os tipos de transformação da paisagem. Importância da teledeteção e dos SIG (Sistemas de Informação Geográfica) para o estudo da paisagem e, por fim, apresentação de medidas - índices de heterogeneidade e estrutura espacial da paisagem.

Palavras-chave: ecologia da paisagem, teledeteção, estrutura da paisagem

Abstract

The objective of this paper is to acknowledge the basic principles and methods of Landscape Ecology, in its quantitative analysis of landscape structure – spatial pattern analysis - and its interest in the framework of Geography land use – land cover research. The present importance of land use – land cover change studies is emphasized, in the context of global change. The study object and landscape

elements in Landscape Ecology are defined (structure, function, change – patches, corridors, matrix), as well as the types of landscape change. Importance of remote sensing and GIS (Geographical Information Systems) for landscape studies and, in the end, presentation of metrics – indices of heterogeneity and landscape spatial structure.

Keywords: lanscape ecology, remote sensing, landscape structure

Résumé

L'objectif de l'article est de faire connaître les principes basiques et méthodes proposés par l'Ecologie du Paysage, dans son versant d'analyse quantitative de la structure du paysage - analyse de modèles spatiaux – et son intérêt dans le contexte des études sur l'occupation du sol en Géographie. Abordage de l'actualité et importance des études sur l'occupation du sol et son evolution, actuellement et dans le cadre des changements globaux. On défine l'object d'étude et les éléments du paysage (structure, fonction, changement – taches, couloires, matrice), aussi bien que les types de transformation du paysage. Importance de la télédetection et des SIG (Sistèmes d'Information Géographique) pour l'étude du paysage et, pour finir, présentation de mesures – indices d'hétérogénéité et structure spatial du paysage.

Mots-clé: ecologie du paysage, télédetection, structure du paysage

But you widen your view three hundred miles,
Then discover a mosaic,
And see it change,
By going up one flight of stairs.

Wang Chih-huan, Dinastia Tang 618-906¹

Introdução

O presente artigo tem por objetivo, tão somente, dar a conhecer os princípios básicos e métodos propostos pela Ecologia da Paisagem, sobretudo na sua vertente

¹ Bynner; Kiang, 1929, *cit.* Fornam, R.T. (1999), pp. XV.

de análise quantitativa da paisagem (mosaico), bem como o seu interesse no âmbito de estudos de uso do solo e sua evolução no âmbito da Geografia. A paisagem sempre foi considerada como uma unidade fundamental da análise geográfica; no entanto, neste artigo, a tónica será posta, exclusivamente, nos estudos relacionados com o uso do solo e as suas mudanças, sem se aprofundar *a questão* relacionada com a própria definição de paisagem, sua evolução, bem como a sua importância central para a Geografia.

Embora a metodologia proposta pela Ecologia da Paisagem pareça *talhada* sobretudo para áreas não urbanas, logo eminentemente naturais ou agrícolas e florestais, a sua aplicabilidade é declaradamente geral. Também a definição de escala de análise e escala, *tout court*, não serão discutidas, nem no contexto da Geografia, nem no da Ecologia da Paisagem e dos seus métodos. A metodologia e variáveis de análise que serão descritas inserem-se, exclusivamente, num contexto estrito de **análise quantitativa da estrutura da paisagem – análise de padrões espaciais** – como consubstanciação de uma alternativa a opções mais descritivas e pouco elaboradas dum ponto de vista estatístico.

O conceito inicial é a paisagem poder ser definida como “uma área de terreno heterogénea, composta de um acervo de ecossistemas em interacção, que se repete da mesma forma através do terreno. A fotografia aérea é frequentemente utilizada para *retratar* os ecossistemas que compõem a paisagem bem como a sua fronteira, que é, em geral, relativamente distinta, especialmente em termos de estrutura da vegetação [...] a maioria dos princípios de ecologia da paisagem aplicam-se a mosaicos ecológicos a qualquer nível de escala [espaço e/ou tempo]”².

Uso do solo e mudanças de uso do solo³

A Geografia sempre dedicou grande atenção à paisagem enquanto elemento de estudo, tanto como objecto central, como através de uma riquíssima miríade de formas temáticas. Dentro destas, porque é esse o contexto relevante neste artigo, os estudos de uso do solo e sua evolução tentam relacionar esse facto com fenómenos geográficos claramente identificados e *especializados*: questões demográficas, agríco-

² Forman, R.T.; Godron, M. (1986), pp. 11.

³ Por uma questão de *facilidade*, foram agregados no conceito de uso do solo dois conceitos distintos: o de “land use” e o de “land cover”, que são de facto claramente distintos. A melhor forma de ilustrar essa distinção é recorrer a um exemplo; o “land cover” de uma área é milho, mas o “land use” é cultura de regadio, daí resulta que um “land cover” pode de facto *ser* vários “land uses”; outro exemplo poderia ser solo a nú, cujo “uso” pode ir desde um terreno agrícola lavrado, a um aterro de vários tipos, terreno expectante em meio urbano, etc. É basicamente uma questão de destriça entre objecto e função. “Land use change is likely to cause some land cover change, but land cover may change even if the land use remains unaltered”, Meyer, W.B.; Turner, B.L. (1998), pp. 5.

las, urbanas, ambientais, planeamento *strictu sensu*, conservação da natureza, peri-urbanização, degradação ambiental e desertificação, entre muitos outros, ou simplesmente como objecto de estudo em si e por si. Esse interesse também existe por parte (teórica e prática) de outras Ciências Sociais e Humanas, como a História, Sociologia e Antropologia, mas estaria fora do contexto deste artigo referi-las.

Recentemente, com a emergência de questões ambientais prementes, fruto do momento crucial a que a humanidade chegou, pois a sua dimensão e actividades atingiram efeitos ambientais nefastos a uma escala global, a degradação ambiental, a desertificação, em suma, as mudanças globais (Global Change), trouxeram as questões ligadas ao uso do solo e sua evolução para uma posição de importantíssimo destaque. Mais não seja porque, em termos de opinião pública, os danos e impactos efectivos são directamente proporcionais à projecção proporcionada pelos meios de comunicação social.

No seguimento da Conferência do Rio em 1992 e do estabelecimento da Agenda 21, resposta da comunidade internacional e respectivo plano de acção, concluiu-se, inequivocamente, que o território está a ser rapidamente convertido ou dominado pelas actividades humanas, que há um declínio crescente da biodiversidade, que a composição da atmosfera está a mudar e que o clima está a sofrer alterações a uma escala global devido à acção antrópica. De uma forma resumida, pode dizer-se que o IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme) do ICSU (International Council of Scientific Unions) contribui para os objectivos da Agenda 21 estudando e descrevendo “os processos físicos e biológicos interactivos que regulam o sistema terrestre, o ambiente único que proporciona para a vida, as mudanças que estão a ocorrer e como são influenciadas pela actividade humana”⁴.

No contexto do IGBP, entre outros “Core Projects” que estão fora do domínio deste artigo (International Global Atmospheric Chemistry, Global Change and Terrestrial Ecosystems, Biospheric Aspects of Hydrological Cycle, Global Ocean Ecosystem Dynamics, Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone, entre outros), existe o LUCC (Land Use and Cover Change) que tem desenvolvido um importante esforço de pesquisa para compreender os padrões e processos fundamentais de “land use” e “land cover change”, tendo em conta factores biofísicos, socio-económicos e demográficos.

Os estudos de uso do solo e da sua evolução aparecem, pois, como peça fundamental de análise e mitigação, dó ponto de vista do autor deste artigo e no âmbito da Geografia. Como se pode ver, no próprio diagrama do IGBP (ver Figura 1), o uso do solo é, de facto, o ponto de intersecção mais importante entre as actividades humanas e o Meio, nomeadamente ao nível dos sistemas biogeoquímicos (sem desprezar, certa-

⁴IGBP.

mente, o papel dos poluentes e gases que provocam efeito de estufa). Visto o uso do solo constituir a *interface* das actividades humanas com o Meio, o seu estudo – análise – compreensão – é premente a uma escala global (regional e local), importando desenvolver novos métodos e técnicas, tendencialmente mais integrados inter-disciplinarmente e suficientemente *quantitativos*, por forma a permitir classificações, comparações e generalização a escalas espacialmente mais amplas.

Chegados a este ponto da introdução, elaborada de uma forma talvez até demasiado sintética e corrida, parece tornar-se clara a importância dos estudos de uso do solo e da sua evolução, bem como o papel que a Geografia enquanto Ciência, epistemológica e metodologicamente, pode ter na sua realização. No entanto, e como referido na introdução, parece-nos serem poucos, em Portugal e no domínio da Geografia, os estudos da paisagem – uso do solo de índole eminentemente quantitativa e funcional (análise quantitativa, estrutura da paisagem, análise funcional). Pensamos que a perspectiva e métodos da Ecologia da Paisagem constituem um campo extremamente fértil a explorar pelos geógrafos, à semelhança do que acontece há bastante tempo e de uma forma muito intensa nos Estados Unidos da América, onde estão as suas raízes como paradigma e onde existem maiores progressos ao nível metodológico e de aplicação.

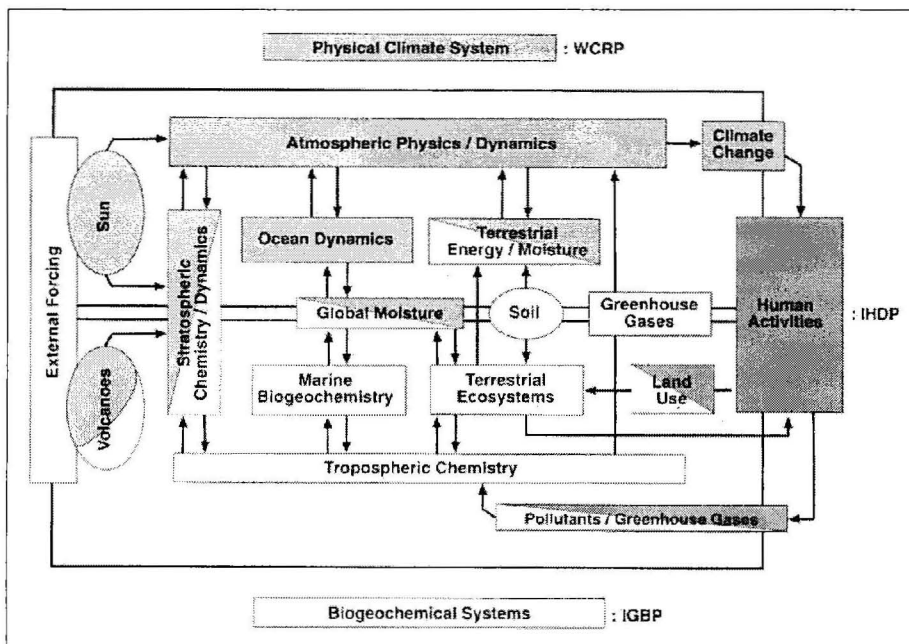


Figura 1 – Ciclos biogeoquímicos.

Fonte: Williamson (1992), Cit. NRC (1997), pp. 25.

Tentaremos, de seguida e de uma forma tão simples e sintética quanto possível, aflorar quais são os paradigmas da Ecologia da Paisagem, embora certos de que constituirão, pelo menos, uma forma francamente diferente de olhar a paisagem. Até porque, “...dans le monde occidental, le paysage des géographes est un terme et une notion à usage essentiellement pédagogique, c’est une façon commode – et presque rituelle – de présenter les choses; mais qui allie deux des principaux reproches faits à la géographie: une discipline littéraire et une approche descriptive”⁵.

Ecologia da Paisagem

Os seus alicerces datam dos anos 50; geógrafos, pedólogos, climatólogos e naturalistas iniciaram o processo de estabelecimento dos grandes paradigmas da Ecologia da Paisagem. Até 1980 emergiram várias tendências, que convergiram quando a fotografia aérea se tornou disponível com facilidade. O conceito incidia na existência / análise de padrões espaciais específicos, numa secção da paisagem, onde as comunidades biológicas interagem com o ambiente físico.

A Ecologia é geralmente definida (muito simplificada) como o estudo das interações entre organismos e o seu ambiente, sendo que uma paisagem é um mosaico de alguns quilómetros, nos quais ecossistemas e usos do solo específicos se repetem. “Ecologia da paisagem é, simplesmente, a ecologia das paisagens”⁶. Desde 1980 que a fase “land mosaic”⁷ (*mosaico do território*) prevalece. “Os princípios da ecologia da paisagem [também à escala regional] aplicam-se a qualquer *land mosaic*, de suburbano a agrícola e de desértico a floresta”⁸.

“Como uma célula de uma planta ou um corpo humano, este sistema vivo exhibe três características gerais: estrutura, funcionamento e mudança. *Estrutura da paisagem* é o padrão espacial de *arranjo* dos elementos da paisagem. *Funcionamento* é o movimento e fluxo de animais, plantas, água, vento, materiais e energia através da estrutura. *Mudança* é a dinâmica ou alteração nos padrões espaciais e funcionamento através do tempo”⁹.

Especificamente, a Ecologia da Paisagem concentra-se em três características fundamentais e *nucleares* da paisagem¹⁰:

⁵ Rougerie, G; Beroutchachvili, N. (1991), pp. 55.

⁶ Dramstad; Olson; Forman (1996), pp.13.

⁷ Manteremos algumas definições no inglês *nativo*, pois a tradução é redutora e, sobretudo, difícil ao nível do conceito subjacente.

⁸ Dramstad, Olson, Forman (1996), pp.15.

⁹ *idem*, pp. 14.

¹⁰ Forman, R.T.T., Godron, M. (1986), *Cit.* USDA (1995), pp. 1.

- **Estrutura / Forma** – as relações espaciais entre os distintos *elementos* ou ecossistemas presentes, mais especificamente, a distribuição de energia, materiais e espécies em relação às dimensões, formas, número, tipo e configuração dos ecossistemas;
- **Função / Processo** – as interações entre os elementos espaciais, ou seja, os fluxos de energia, materiais e espécies entre as componentes do ecossistema;
- **Mudança** – a alteração na estrutura e função do mosaico ecológico, ao longo do tempo.

Há portanto, na paisagem, uma relação vertical, entre os vários elementos numa unidade, e horizontal entre as várias unidades espaciais. Como definição, portanto, a “Ecologia da Paisagem envolve o estudo dos padrões da paisagem, das interações entre *manchas* num mosaico de paisagem e a forma pela qual estes padrões e interações mudam no tempo. (...) considera o desenvolvimento e dinâmica da heterogeneidade espacial e os seus efeitos nos processos ecológicos e a gestão da heterogeneidade espacial”¹¹.

A definição baseia-se, largamente, na ideia de que os padrões dos elementos da paisagem (*manchas* – *patches*) influenciam, fortemente e determinante-mente, as características ecológicas; assim, poder quantificar a estrutura da paisagem é um pré-requisito para se poder estudar a função e mudança da paisagem.

No fundo, “As paisagens, como outras unidades ecológicas de estudo, são dinâmicas na sua estrutura, função e padrões espaciais. Tal como as comunidades, são compostas de espécies e populações, as paisagens são conjuntos de habitats, comunidades e tipos de uso do solo. A configuração espacial destes elementos pode ser atribuída a uma combinação de factores ambientais e forças humanas”¹².

A estrutura de uma paisagem é composta por três tipos de elementos: *Patches* (**manchas**, áreas, polígonos), *Corridors* (**corredores**) e *Matrix* (**matriz**)¹³. 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”¹⁴.

¹¹ Risser (1984) *Cit.* USDA (1995), pp. 2.

¹² Turner, M.G.; Gardner, R.H. (1991), pp. 173.

¹³ Alguns termos têm tradução difícil; conceptualmente, longe de defendermos mais *anglicismos* na linguagem científica actual, entendemos que os termos originais, embora mais sintéticos, apresentam uma maior riqueza perceptual, por isso os manteremos, ao longo do artigo, com o devido pedido de desculpas.

¹⁴ Dramstad; Olson; Forman (1996), pp.15.

Estes *patches* podem ser definidos como uma “superfície não linear, diferindo em aparência da sua vizinhança”¹⁵. As suas origens podem ser várias¹⁶ (ver Figura 2):

- “**Disturbance patches**”¹⁷ - *Manchas de perturbação* – várias perturbações estão na sua origem: deslizamentos, temporais, sobrepastoreio, exploração florestal, fogos e queimadas, minas a céu aberto, entre outras;
- “**Remnant patches**” – *Manchas remanescentes* – causadas por perturbação generalizada em torno duma pequena área, o inverso do mecanismo das manchas de perturbação. Reminiscência da comunidade anterior (à perturbação) de plantas e animais, *encaixada* na matriz que foi perturbada;
- “**Regeneration patches**” – *Manchas de regeneração* – um sector integrado numa área de perturbação crónica liberta-se dessa perturbação, permitindo a recuperação;
- “**Environmental resource patches**” – *Manchas de recurso ambiental* – ao invés da perturbação, algumas manchas estáveis e não relacionadas com *perturbação*, que constituem áreas colonizadoras e de manutenção de espécies;
- “**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);
- “**Ephemeral patches**” – *Manchas efémeras* – Concentrações sazonais e/ou momentâneas de espécies vegetais/animais (migrações, floração, abate de árvores, etc.).

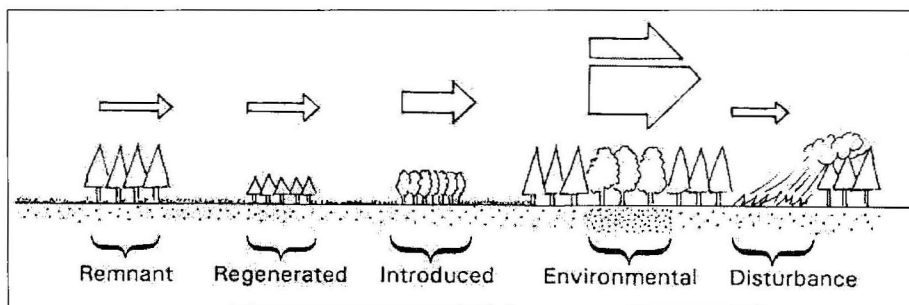


Figura 2 – Tipos de manchas, sua origem e persistência. A paisagem original era Floresta de Coníferas. A dimensão da seta é proporcional à persistência.
Fonte: Forman, R.T. (1999), pp 45.

¹⁵ Forman, R.T.T.; Godron, M. (1986), pp. 83.

¹⁶ Esta classificação baseia-se nos princípios enunciados por Forman, R.T.T.; Godron, M. (1986), para muitos (a quase totalidade) a pedra basilar epistemológica da Ecologia da Paisagem.

¹⁷ Ver nota N° 13.

Quais são, então, os aspectos que influenciam e controlam estas *manchas* (ver Figura 3) :

- **Tamanho / Número** – Efeito ao nível da energia e nutrientes, margens maximizam a produção, controlam o número de espécies;
- **Forma** – Efeito de margem, manchas isodiamétricas e alongadas, anéis, penínsulas;
- **Número e configuração** – Aparentemente uma única mancha contém maior diversidade de espécies que várias manchas pequenas.

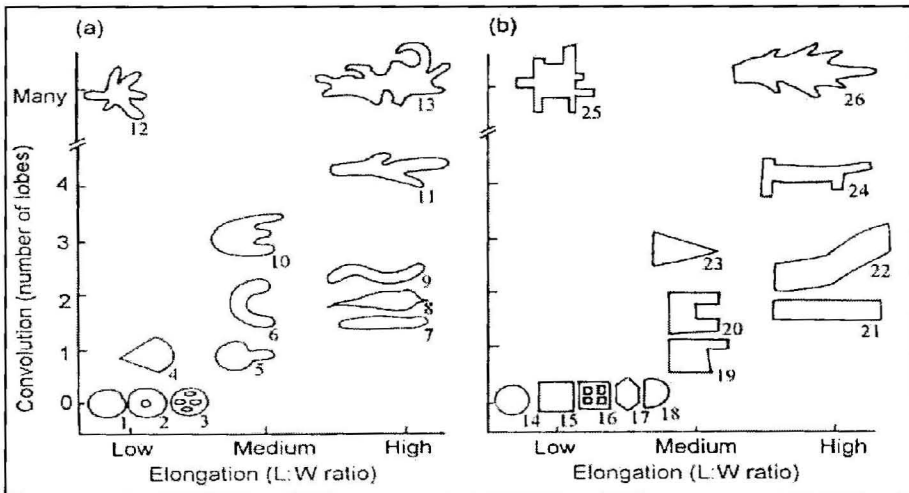


Figura 3 – Formas de manchas na paisagem, ordenadas por origem e forma. (a) Manchas naturais (curvilíneas ou em forma de ameba). (b) Manchas de origem humana (geométricas). Alongamento e convolução são considerados os dois primeiros componentes da forma. Exemplos para cada mancha numerada são: (1) Pântano, cratera, lago em circo glacial, 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 glacial 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 pivot; (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.

Fonte: Forman, R.T. (1999), pp. 117.

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 (ver Figura 4).

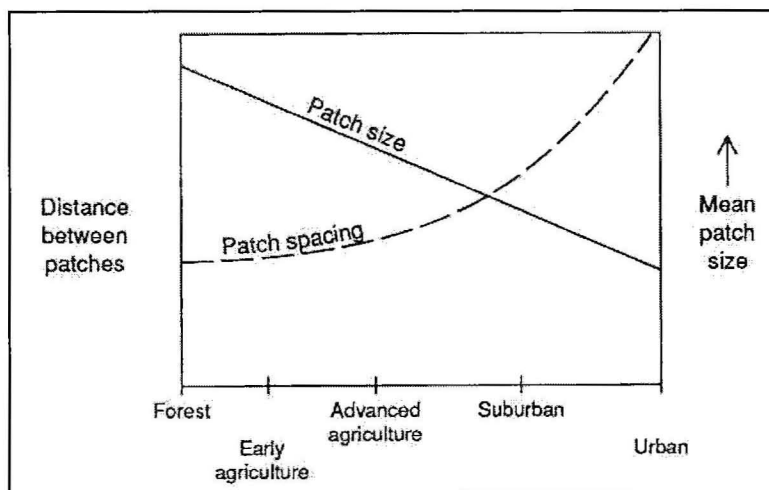


Figura 4 – Mudanças de forma e espaçamento das manchas com a evolução do uso do solo de natural a urbano.

Fonte: Marsh, W.M. (1997), pp. 363.

Corredores

O “uso de corredores para efeitos de transporte, protecção, recursos e *efeitos estéticos* penetra quase todas as paisagens de uma forma ou outra”¹⁸. 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, pois a vida selvagem (fauna e sobretudo flora) é aí abundante, como por exemplo nas linhas de água.

Estes corredores são também, espacial e cognitivamente, margens e fronteiras. De facto, um corredor é, no contexto da Ecologia da Paisagem, a parte exterior de um “patch”, onde o *ambiente* difere significativamente do interior do “patch”. 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 con-

¹⁸ Forman, R.T.T.; Godron, M. (1986), pp. 121.

junto definem o *efeito de margem*. Quer um limite seja curvilíneo ou recto, influencia o fluxo de nutrientes, água, energia ou espécies através dele”¹⁹ (ver Figuras 5 e 6).

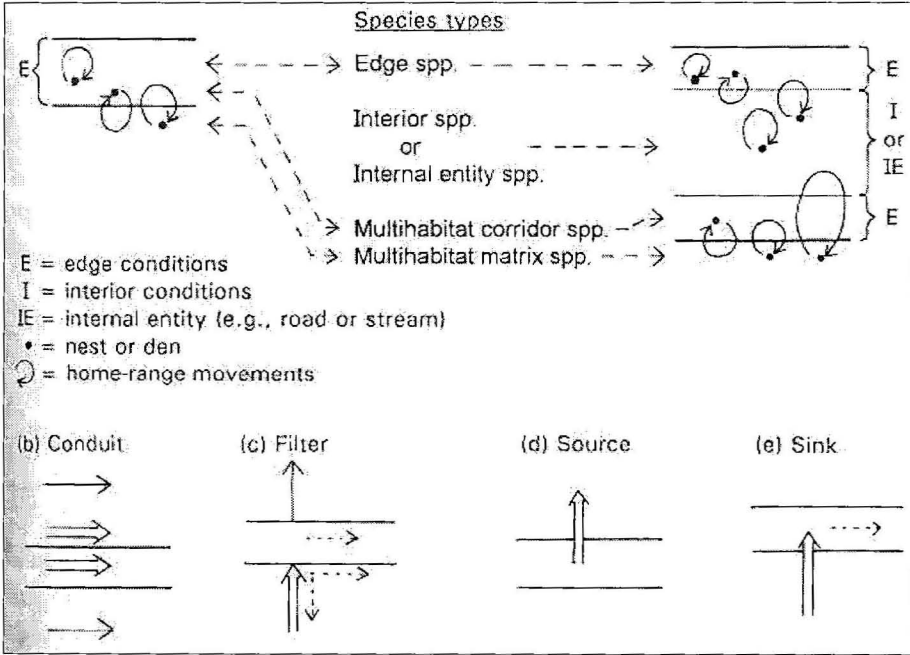


Figura 5 – As cinco funções dos corredores. (a) Corredor estreito à esquerda, corredor largo à direita; espécies multi-habitat (nicho ecológico mais largo) usam um ou dois habitats. (b) Probabilidade aumentada de movimento dentro e ao longo das margens do corredor. (c) a (e) Movimentos e fluxos entre a matriz e o corredor (efeito de filtro, fonte ou *sumidouro*).

Fonte: Forman, R.T. (1999), pp. 149.

Torna-se claro, neste ponto, que grande parte dos pressupostos e riqueza conceptual destas definições reside na importância que estas estruturas têm para a comunidade biológica / ecológica; não querendo entrar nesse domínio, estas manchas e corredores existem, pois consubstanciam-se de facto em *porções de espaço*, cartografáveis e identificáveis, independentemente da descrição e conhecimento funcional ecológico desses mesmos espaços, o que, no contexto deste artigo, é o factor mais relevante em termos de caracterização de manchas da paisagem *geo-ecologicamente* homogêneas, no âmbito de estudos de uso do solo e da sua evolução no domínio da Geografia.

¹⁹ Dramstad; Olson; Forman (1996), pp. 27.

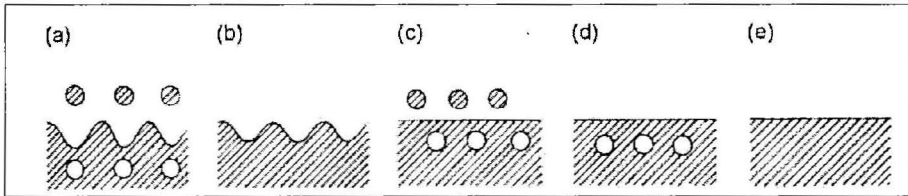


Figura 6 – Padrões de margens entre dois ecossistemas. Margem pode ser curvilínea ou recta, com pequenas manchas próximas, de um ou de ambos os ecossistemas.

Fonte: Forman, R.T. (1999), pp. 83.

Os corredores são classificáveis quanto à sua estrutura, independentemente da sua origem, uso humano e tipo de paisagem, como ²⁰:

- “**Line corridors**” – caminhos, estradas, sebes, limites de propriedade, valas de drenagem e canais de irrigação dominados por espécies específicas;
- “**Stream (riparian) corridors**” – 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, assoreamento e perda de fertilidade do solo.
- “**Interfluvial corridors**” – topos - interflúvios, organizados em *dedos* e individualizados por entre os corredores das linhas de água.
- “**Grid corridors**” – associados a sebes, limites de estradas, valas de drenagem, decalcam uma estrutura rectilínea e por vezes ortogonal, com células de diversas dimensões.
- “**Segmented corridors**” – quando um dos tipos anteriores é segmentado, basicamente por actividades humanas.

Face à contínua perda de habitat e isolamento das manchas naturais, torna-se essencial uma *conectividade paisagística*, sobretudo na forma de corredores de movimento para a fauna e pontos de apoio para movimento (“stepping stones”, o conceito baseia-se nas pedras que, dispostas num rio, permitem a sua travessia). Os corredores amplificam a biodiversidade (embora este aspecto suscite uma intensa, prolongada e apaixonada discussão em torno de resultados experimentais), mas actuam também como barreiras ou filtros ao movimento de espécies (talvez o melhor exemplo seja a mortalidade de várias espécies que atravessam as estradas).

Importa referir que para um destes aspectos (tipos de manchas e corredores), sobretudo no domínio da Biologia e Ecologia, entre outros, existe um sem número de referências, estudos e *tratados* sobre comunidades bióticas e vegetais de toda a

²⁰ Marsh, W.M. (1997), pp. 366.

espécie, para todos os sistemas morfo-climáticos do globo que, nunca será de mais referi-lo, estão fora do contexto deste artigo, conhecimentos do autor e domínio da Geografia. Não obstante, seria quase *pecaminoso* dum ponto de vista científico não referir a sua existência, profusão e interesse.

Mas, inerente à noção de corredores, existe a noção de **conectividade**. Estes corredores são, por vezes, o elemento de conexão entre manchas da paisagem. Isso pressupõe vários outros conceitos em termos de **transformações da paisagem**²¹(ver Figura 7):

- **Fragmentação** – quebra de habitats maiores / intactos em manchas mais pequenas e dispersas;
- **Dissecação** – divisão de um habitat intacto em manchas separadas por um corredor;
- **Perfuração** – criação de *buracos* dentro de um habitat essencialmente intacto;
- **Contração** – diminuição da dimensão de um ou mais habitats;
- **Atrito** – desaparecimento puro e simples de uma ou mais manchas de habitats.




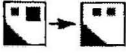

Spatial processes	Patch number	Average patch size ¹	Total interior habitat ²	Connectivity across area ³	Total boundary length ⁴	Habitat	
						Loss	Isolation
 Perforation	0	-	-	0	+	+	+
 Dissection	+	-	-	-	+	+	+
 Fragmentation	+	-	-	-	+	+	+
 Shrinkage	0	-	-	0	-	+	+
 Attrition	-	+	-	0	-	+	+

Figura 7 – Principais processos espaciais de transformação do território.

Fonte: Forman, R.T. (1999), pp. 407.

Mudanças na paisagem e no uso do solo são um factor de perda de biodiversidade e degradação ambiental, “a degraded landscape is less productive, less resilient, less diverse or less beautiful, although usually it is the reduction in economic benefit that is implied. Degradation is a continuum by demonstrable and measurable changes in landscape or ecosystem attributes”²².

²¹ *Idem*, pp. 35.

²² Rundel, P.W.; Montenegro, G; Jaksic, F.M. eds. (1998), pp.55.

Chegados aqui, sem querer recorrer em demasia a exemplos, a quase totalidade das mudanças de uso do solo, funcionais ou não – processos intrínsecos à urbanização, infraestruturas, fomento agrícola, fenómenos naturais, etc. – são *perceptíveis* e classificáveis neste *quadro*. Ora se o objectivo de uma ciência (entre muitos outros) é classificar entidades e/ou eventos, este quadro parece providenciar, indubitavelmente, uma nova forma de olhar a paisagem, os usos do solo e cobertos vegetais, bem como grande parte (a maioria) dos fenómenos que a actividade humana (directa e indirectamente) exerce sobre o Meio.

No contexto epistemológico da Geografia, bem como no contexto das mudanças globais e do estudo, *per se*, do uso do solo e suas mudanças, este paradigma é claramente válido. Basicamente é uma forma mais funcional e topológica de olhar a *paisagem*, objecto tão central de uma Geografia que, embora muitos considerem *datada*, cada vez mais se assume como *contra-corrente* face à excessiva quantificação e modelização da Geografia *moderna* – “mathematics developed to mimic the available data”²³ - da mesma forma que Yi-Fu-Tuan reintroduziu a subjectividade e a imaginação na Geografia²⁴.

Não obstante, convém lembrar e sublinhar que “...il est indéniable que les objects, les formes et leur combinaisons, qui peuvent être perçus comme paysage, sont des réalités qui existent indépendamment de l’observateur ...[quanto à sua cartografia]... l’espace de la carte est *universel, abstrait, objectif*, celui du paysage; *singulier, concret, subjectif*”²⁵.

Por último, em termos de elementos fundamentais da paisagem na Ecologia da Paisagem, há a **matriz**, que constitui, embora não de uma forma aparente, o elemento mais importante para uma análise séria e compreensão efectiva da estrutura da paisagem. Por definição, a matriz é o tipo de paisagem mais extenso e mais *conectado*. A sua definição não é fácil, pelo contrário, é francamente subjectiva e deve obedecer aos seguintes critérios (ver Figura 8):

- **Área relativa** – quando um tipo de elemento da paisagem é consideravelmente mais extenso que os outros, parece lógico considerá-lo a matriz;
- **Conectividade** – 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 sobre a dinâmica** – a matriz exerce um maior controlo na dinâmica da paisagem, dando origem à paisagem futura.

²³ Forman, R.T.T., Godron, M. (1986), pp. 24.

²⁴ Yi-Fu-Tuan (1980), (1983).

²⁵ Rougerie, G; Beroutchachvili, N. (1991), pp. 129-130.

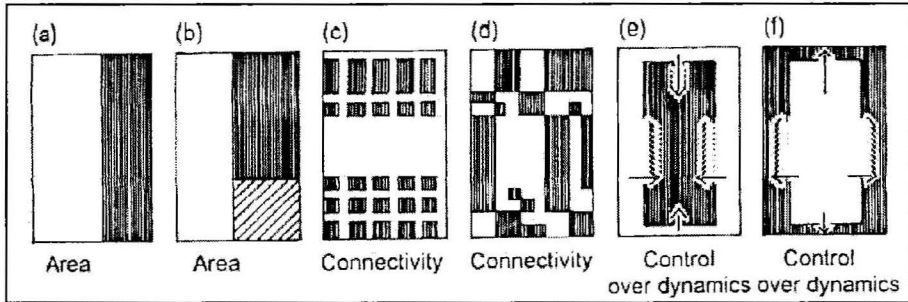


Figura 8 – Características determinantes da matriz de uma paisagem. O uso do solo branco é a matriz e cobre 60 % (a), 45% (b) e 50% nos restantes. As setas indicam a direcção dos fluxos. O factor chave para determinação da matriz é indicado para cada grelha (área, conectividade, controlo sobre a dinâmica).
 Fonte: Forman, R.T. (1999), pp. 277.

Não podemos terminar esta simples e, talvez até, demasiado sintética abordagem da Ecologia da Paisagem sem referir outros conceitos essenciais:

- **Porosidade** – medida da densidade das manchas na paisagem (número de manchas presente, ou seja, o número de limites fechados que estão incluídos numa unidade de área da matriz);
- **Forma da fronteira** – maior ou menor convolução e extensão dos limites das manchas;
- **Escala - Resolução** – unidade de análise, equiparada à unidade mínima de referenciação espacial, como na foto-interpretação (o menor elemento espacial identificável), ou a distância ao objecto, com tudo o que pressupõe. Esta escala – resolução pode também ser temporal.

Assim, o conjunto de todos estes elementos, funções e dinâmica constituem **mosaicos**, que são, *for argument sake*, a paisagem em si. Analisável, quantificável, descritível e perceptível de acordo com esses mesmos elementos, funções e dinâmica. Este *olhar* introduz-nos num panorama mais rico, paradigmática e pragmaticamente, do que a pura e simples quantificação das manchas territoriais afectas a certos usos, em determinada área, em determinado momento e que evoluíram de determinada forma.

Antes de passarmos aos métodos de quantificação e medição destes mosaicos e elementos da estrutura da paisagem, visto que o objectivo é defendê-los como claramente mais ricos que a simples análise do uso do solo em termos *percentuais* para uma dada área – imagine-se a diversidade de manchas, corredores e características da matriz para iguais percentagens de uso do solo em diferentes *espaços e tempos* – gostaríamos de realçar dois aspectos que nos parecem extremamente importantes.

A definição de escala de análise foi, e será sempre, um assunto apaixonante e fulcral em qualquer tipo de análise de um fenómeno, pois implica variações quase sempre mais qualitativas que quantitativas. Visto que a maioria dos estudos de uso do solo em Geografia, num âmbito *regional*, são realizados através de *documentos da teledetecção* (sejam imagens de satélite ou fotografias aéreas *rasterizadas*), esse simples facto simplifica, resume e encerra a questão em termos de Ecologia da Paisagem:

- “...remote sensing exists as a way to integrate spatially heterogeneous response into a more easily measurable format by quantifying spectral responses at a specific scale [...] thus, the multispectral domain exists as an integrating factor of scale related phenomena”²⁶, logo o grão – resolução da análise é igual à resolução espacial do sensor (pixel), ou resolução do scanner. Basicamente, salvas todas as devidas proporções, um satélite de observação da terra não é mais que um scanner em órbita com capacidade de *ver* para além do espectro visível, infravermelho e infravermelho térmico;
- Não obstante, “...autres outils remarquables, et quasi magiques, les documents de la télédétection, aérienne ou satellitaire. Ils sont parfois considérés comme des paysages. Il n’en est rien, ce ne sont que des images, des documents d’approche contenant une information qu’il faut interpreter pour essayer de savoir de quoi est fait le paysage.”²⁷.
- O cruzamento da informação temática, de uso do solo e sua evolução, devidamente enquadrada nos conceitos da Ecologia da Paisagem, quando integrada a *jusante* e a *montante* da definição dos elementos / estrutura da paisagem, permite uma visão muito mais real, uma identificação muito mais precisa e uma análise muito mais rica da própria paisagem. Como exemplo, tão simples quanto possível, refira-se a integração da topografia, exposição, tipo de solos, bacias hidrográficas, etc., como elementos de melhor definição de manchas / corredores (*a priori*), e interpretação das características físicas / ambientais dessas mesmas manchas (*a posteriori*).

A Geografia portuguesa actual usa, ensina e desenvolve os métodos e técnicas associados à teledetecção e SIG, seja no domínio da *investigação pura*, planeamento, formação dos licenciados e *prestação de serviços à comunidade*. Pode, e deve, explorar as enormes possibilidades relativas ao estudo quantitativo da estrutura da paisagem / uso do solo e sua evolução / análise de padrões espaciais, enquanto outros

²⁶ Turner, M.G., Gardner, R.H. (1991), pp. 57

²⁷ Rougerie, G; Beroutchachvili, N. (1991), pp. 126.

domínios e especialidades do saber não os chamem para si, como tem acontecido no passado recente amiúde, e se *apropriem* deles.

Medições de heterogeneidade e estrutura espacial do mosaico – *Landscape Metrics*

Além da diferente forma como, através da perspectiva da Ecologia da Paisagem, se podem interpretar e cartografar diferentes paisagens, existe ainda uma enorme quantidade de formas de medição dos mosaicos, tanto ao nível das manchas, como das *margens* e do mosaico como um todo.

O uso de tratamento digital de imagens de satélite, cada vez com mais plataformas disponíveis, melhores resoluções espaciais, radiométricas e temporais, a diminuição dos preços de aquisição, bem como o cada vez maior número de pacotes de *software* para visualização e tratamento de imagens, torna os documentos da teledetecção num produto incontornável para estudos deste género. A foto-interpretção clássica continua, como sempre, aliás, um meio excepcionalmente válido, por si só, associado ao processo de tratamento digital de imagens de satélite, ou da rasterização de fotografias aéreas.

Também a utilização de SIG's, como meio de tratamento, cruzamento e visualização de informação temática, está vulgarizada. Existem inúmeros pacotes de *software*, de fácil utilização, com *custos contidos*, que permitem até alguns medições de heterogeneidade e estrutura espacial (Idrisi, Grassland). Por outro lado, os *vulgares* PC's atingiram desempenhos há poucos anos só possíveis em *Workstations*, o que permite tratamento *pesado* de grandes volumes de informação, já de si pesada pela sua própria natureza (*overlays* temáticos vector e raster, imagens de satélite e fotografias aéreas rasterizadas).

Como *material de base* são necessárias classificações de uso do solo – cobertura vegetal, outros *overlays* temáticos (geologia, solos, hidrografia, topografia), que podem não só melhorar essa própria classificação, como a própria análise e identificação da paisagem numa determinada área. Falta, então, uma forma de efectuar estas medições. Existem alguns pacotes como o Idrisi e o Grassland (versão para PC do Grass Public Domain para Unix) que permitem algumas medições, bem como outros programas para medições específicas. No entanto, o mais conhecido e incontornável é o FRAGSTATS, que permite efectuar praticamente todo o tipo de medições de análise de padrões espaciais – quantificação da estrutura da paisagem, tanto sobre ficheiros raster como vector (esta versão tem menos índices). Acrescente-se que esta análise – medição pode ser feita *sobre* todo o mosaico ou *sobre* cada um dos usos do solo – cobertos.

Sem querer enumerar todas as medições possíveis, referiremos algumas das mais importantes e que podem, sobretudo, dar uma ideia das enormes potencialidades interpretativas que abrem para o estudo da paisagem e sua evolução. Existem basicamente quatro categorias de medições – índices, “duas categorias *medidas de diversidade e medidas de margem [fronteira]*, analisam essencialmente a heterogeneidade de um mosaico. A abundância de manchas, margens, é crítica, mas as suas localizações são de menor ou nenhuma importância. Em contraste, as outras duas categorias, *medidas centradas nas manchas*, dependem tanto da abundância dos objectos como da distância relativa entre eles. [...] Medidas de diversidade, riqueza e dominância são várias formas de determinar o número relativo de tipos, dimensões e formas das manchas (ou corredores) presentes num mosaico. [...] Número de fronteiras (margens), extensão (ou densidade) de fronteiras e dimensão fractal são várias medidas do tipo e predominância de fronteiras numa paisagem”²⁸. Quais são, então, as equações relativas a estas medidas – índices:

Medidas de Diversidade

$$\text{Riqueza relativa } R = \frac{s}{S_{\max}} \times 100$$

Onde s = número de tipos de habitat;

s_{\max} = número máximo possível de tipos de habitat.

$$\text{Uniformidade relativa } E = \frac{H2(j)}{H2(\max)} \times 100 \qquad H2 = -\ln \sum_{i=1}^s p_k^2$$

Onde $H2(j)$ = índice de dominância modificado de Simpson para a paisagem j ;

$H2(\max)$ = $H2$ máximo possível para s tipos de habitat;

P_k = proporção de área no habitat k .

$$\text{Diversidade } H = -\sum_{k=1}^s p_k \ln p_k$$

Onde s = número de tipos de habitats;

P_k = proporção de área do habitat k .

²⁸ Forman, R.T. (1999), pp. 318

Dominância $D_o = \ln s + \sum_{k=1}^s p_k \ln p_k$

Onde s = número de tipos de habitat;

P_k = proporção de área do habitat k .

Medidas de fronteiras (margens)

Número de margens $E_{i,j} = \sum e_{i,j} \times l$

Onde $e_{i,j}$ = nº de interfaces verticais e horizontais entre células dos tipos i e j ;

l = comprimento da margem da célula.

Dimensão Fractal $D = \frac{\log P}{\log A}$

Onde A = área duma mancha bi-dimensional;

P = perímetro da mancha numa determinada escala de comprimento.

Manchamento relativo (relative patchiness) $P = \frac{\sum_{i=1}^N D_i}{N} \times 100$

Onde N = número de fronteiras entre células adjacentes;

D_i = valor de dissimilaridade para a i ésima fronteira entre células adjacentes.

Comprimento de fronteiras e Densidade de fronteiras também são medidas

Medidas centradas nas manchas

Isolamento de uma mancha $r_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{i=n} d_{ij}$

Onde n = número de manchas vizinhas consideradas;

d_{ij} = distância entre a mancha i e qualquer mancha vizinha j .

Acessibilidade de uma mancha $a_i = \sum_{j=1}^{i=n} d_{ij}$

Onde d_{ij} = distância ao longo de uma ligação entre a mancha i e qualquer mancha vizinha j ;

n = número de manchas vizinhas consideradas.

Medidas de padrão de todas as manchas

$$\text{Dispersão das manchas } R_c = 2d_c \left(\frac{\lambda}{\pi} \right)$$

Onde d_c = distância média de uma mancha (centro ou centróide) à mancha vizinha mais próxima;

λ = densidade média das manchas.

Se $R_c = 1$, as manchas estão aleatoriamente distribuídas; se $R_c < 1$, as manchas estão agregadas; se $R_c > 1$ (até um máximo de 2149), as manchas estão regularmente distribuídas. A equação é também uma medida de agregação.

$$\text{Isolamento das manchas } D = \sum (\sigma_x^2 + \sigma_y^2)$$

As manchas estão localizadas num referencial com coordenadas x e y ; a localização média e a variância para todas as manchas são calculadas para a coordenada y . σ_x^2 e σ_y^2 são as variâncias nas coordenadas x e y , respectivamente. A equação é baseada no índice de distância padrão.

$$\text{Probabilidades do vizinho mais próximo } q_{i,j} = \frac{n_{i,j}}{n_i}$$

Onde n_{ij} = número de células do tipo i adjacentes ao tipo y ;

n_i = número de células do tipo i .

$$\text{Contagion } C = 2s \log s + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s q_i \log q_{i,j}$$

Onde s = número de tipos de habitat;

q_{ij} = probabilidade do habitat i ser adjacente ao habitat j .

Densidade das manchas (por unidade de área) e Contiguidade (agregação ou dispersão das manchas) são também medidas.

Existem ainda outras medidas, mais simples, mas de grande importância para quantificar paisagens, permitindo a sua classificação, comparação e análise de evolução:

Manchas – número total, área média, desvio padrão da área média, mancha maior, mancha menor, perímetro total, perímetro médio, etc.

WWW

<http://mitpress.mit.edu/books/FLAOH/cbnhtml/index.html> - Computational Beauty of Nature

<http://www.ciesin.org/TG/HDP/igbp.html> - IGBP

<http://www.crlle.uoguelph.ca/iale/> - International Association for Landscape Ecology

<http://www.elsevier.nl/> - Remote Sensing of Environment

<http://www.innovativegis.com/products/fragstatsarc/index.html> - Fragstats*ARC

<http://www.ip.pt/~ip202511/a pep.html> - Associação Portuguesa de Ecologia da Paisagem

<http://www.un.org/esa/sustdev/agenda21.htm> - Agenda 21 - ONU

<http://www.unep.org/UNEP> - United Nations Environment Programme

<http://www.usda.gov/USDA> - United States Department of Agriculture

<http://www.wkap.nl/journalhome.htm/0921-2973> - Landscape Ecology Journal

Bibliografia

- Dramstad, Olson, Forman (1996). "Landscape Ecology Principles in Landscape Architecture and Land-Use Planning", Island Press, Washington, 80 p.
- 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 Willey, 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.
- Haines-Young, R.; Green, R.; Cousins, S.H. Eds. (1993). "Landscape Ecology and Geographical Information Systems", Taylor and Francis, Londres, 288 p.
- 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 Willey, Nova Iorque, 434 p.
- Meyer, W.B.; Turner, B.L. (1998). "Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective", 2ª Edição, Cambridge University Press, 537 p.
- 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.
- 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.
- 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.
- Yi-Fu-Tuan (1980). "Topofilia – Um Estudo da Percepção, Atitudes e Valores do Meio Ambiente", Difel, São Paulo, 288 p.
- Yi-Fu-Tuan (1983). "Espaço e Lugar", Difel, São Paulo, 250 p.