

# **Uso do Solo - Ecologia da Paisagem: quantificação da estrutura da paisagem para análise de padrões espaciais - concelho de Mértola**

**Pedro CORTESÃO CASIMIRO**

Departamento de Geografia e Planeamento Regional  
Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa  
Avenida de Berna, 26 C, 1069-061 LISBOA (PORTUGAL)  
Tel.: +351.217933519 Fax: +351.217977759 e-mail pjcc.casimiro@mail.telepac.pt

## **Resumo**

*O objectivo deste artigo é testar a aplicação de métodos de quantificação da estrutura da paisagem, para análise de padrões espaciais, utilizando um conjunto de indicadores conceptualizados pela Ecologia da Paisagem. Esta aplicação utilizará como material de base uma classificação do uso do solo – coberto vegetal no Concelho de Mértola (Baixo Alentejo – Portugal) em Abril de 2001, obtida por tratamento digital de imagem de satélite Landsat ETM+. Os indicadores serão aplicados a três sub-setores do Concelho, com iguais dimensões espaciais, que constituem três paisagens com características geográficas, paisagísticas e ecológicas distintas. A aplicação comparada de indicadores será feita somente a nível da paisagem – mosaico como um todo.*

**Palavras-chave:** uso do solo, Teledetecção, Ecologia da Paisagem, *landscape metrics*, quantificação da estrutura da paisagem, análise de padrões espaciais.

## **Abstract**

*The objective of this paper is to test the application of landscape structure quantification methods, for spatial pattern analysis, using a set of landscape metrics conceptualised by Landscape Ecology. The application will be performed on a land use – land cover classification for the Mértola Municipality (Lower Alentejo – Portugal) in April 2001, produced by digital processing of Landsat ETM+ remotely sensed images. Landscape metrics will be applied to three Municipality sub-sectors, with equal spatial dimension, that constitute three different landscapes with distinct geographical, landscape and ecological characteristics. The comparative metrics application will be conducted only at the landscape – mosaic level.*

**Key words:** land use-land cover, Remote Sensing, Landscape Ecology, *landscape metrics*, landscape structure quantification, spatial pattern analysis.

## Résumé

*Le but de cet article c'est de tester l'application de méthodes de quantification de la structure du paysage, en ayant en vue l'analyse de modèles spatiaux, tout en utilisant un ensemble d'indicateurs conceptualisés par l'Ecologie du Paysage. Cette application utilisera comme matériel de base une classification de l'occupation du sol – couvert végétal dans la municipalité de Mértola (Bas Alentejo – Portugal) en avril 2001, obtenue par traitement numérique d'images satellite Landsat ETM+. Les indicateurs seront appliqués à trois sous-secteurs de la municipalité avec d'égales dimensions spatiales, qui constituent trois paysages avec des caractéristiques géographiques, paysagères et écologiques différentes. L'application comparée d'indicateurs ne sera faite qu'au niveau du paysage-mosaïque considéré comme un tout.*

**Mots-clés :** occupation du sol, Télédétection, Ecologie du paysage, *landscape metrics*, quantification de la structure du paysage, analyse de modèles spatiaux.

## I. Introdução

Num artigo anterior<sup>1</sup> demos a conhecer “os princípios básicos e métodos propostos pela Ecologia da Paisagem, sobretudo na sua vertente 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 metodologia e variáveis de análise [descritos] inserem-se, exclusivamente, num contexto estrito de análise quantitativa da estrutura da paisagem – análise de padrões espaciais – como consubstanciação de uma alternativa a opções [de análise do uso do solo] mais descritivas e pouco elaboradas dum ponto de vista estatístico”<sup>2</sup>.

Pretendemos, neste artigo, exemplificar a análise de padrões espaciais de uso do solo – coberto vegetal através da quantificação da estrutura da paisagem, método utilizado em Ecologia da Paisagem, utilizando para esse efeito três áreas do Concelho de Mértola com uma estrutura espacial e mosaico de uso do solo – coberto vegetal distintos. O objectivo é avaliar a validade e interesse deste método de quantificação, medição e caracterização do mosaico e estrutura da paisagem.

Esta aplicação está absolutamente enquadrada nos princípios epistemológicos gerais da Ecologia da Paisagem, embora neste caso se debruce exclusivamente sobre os “indicadores da paisagem” (*Landscape Metrics*), não se associando qualquer carácter funcional às manchas mas, tão somente, explorando as potencialidades de análise quantitativa da paisagem nesta nova óptica. O anterior artigo foi eminentemente sobre os paradigmas da Ecologia da Paisagem, este é sobretudo pragmático, exemplificativo da quantificação da paisagem.

---

<sup>1</sup> CASIMIRO, Pedro Cortesão (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

<sup>2</sup> *Op. Cit.*, pp. 46-47

Especificamente, a Ecologia da Paisagem concentra-se em três características fundamentais e nucleares da paisagem<sup>3</sup>:

- 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”<sup>4</sup>. A definição baseia-se, largamente, na ideia de que os padrões dos elementos da paisagem (manchas – patches) influenciam, fortemente e determinantemente, as características ecológicas. Assim, poder quantificar a estrutura da paisagem é um pré-requisito para se poder estudar a função e mudança da paisagem.

Visto que a maioria dos estudos de uso do solo em Geografia, num âmbito regional, é realizada através de documentos da Teledetecção (sejam imagens de satélite ou fotografias aéreas “rasterizadas”), esse simples facto simplifica, resume e encerra a questão do recurso à Teledetecção 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”<sup>5</sup>, logo o grão – resolução da análise é igual à resolução espacial do sensor (pixel), ou resolução do scanner;
- 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 interpréter pour essayer de savoir de quoi est fait le paysage.”<sup>6</sup>.

Assim, para podermos aplicar os índices, é necessário recorrer à classificação do uso do solo – coberto vegetal por tratamento digital de imagem de satélite, por forma a produzir um documento cartográfico, temático, do uso do solo – coberto vegetal tão rigoroso quanto possível e que possa constituir o “material de base” para a aplicação dos índices. Passaremos a expor, tão sinteticamente quanto possível, o processo de tratamento digital das imagens de satélite e posterior classificação do

---

<sup>3</sup> FORMAN, R.T.T., GODRON, M. (1986), *Cit.* USDA (1995), pp. 1.

<sup>4</sup> RISSER (1984) *Cit.* USDA (1995), pp. 2.

<sup>5</sup> TURNER, M.G., GARDNER, R.H. (1991), pp. 57

<sup>6</sup> ROUGERIE, G; BEROUTCHACHVILI, N. (1991), pp. 126.

uso do solo – coberto vegetal, bem como a relevância e significado das classes escolhidas para a legenda final.

## **II. Classificação do uso do solo – coberto vegetal**

Utilizaram-se para este efeito duas imagens Landsat ETM +, de 23 de Outubro de 2000 e 1 de Abril de 2001, tendo todo o tratamento (pré-processamento, realces de imagem, apoio à interpretação, classificação e análise de qualidade) sido realizado com o pacote de Software Envi 3.0. A escolha de duas épocas do ano distintas, Outono e Primavera, aumenta para 14 o número de bandas descritoras dos objectos no terreno, o que implica uma maior capacidade de discriminação e identificação de usos – cobertos, existindo várias vantagens para ambos os períodos:

### **Outono**

- Contraste máximo entre a vegetação natural perene e a restante, anual herbácea, que secou completamente;
- Extensão mínima potencial das manchas de vegetação ripícola, o caudal dos rios é mínimo ou nulo e somente as comunidades permanentes se mantêm graças à humidade ao longo das linhas de água ou nas margens imediatas de algumas;
- Contraste máximo das plantas verdes, clorofilinas, com o resto da vegetação não seca. A vegetação natural perdeu durante o verão algum vigor e a porção lenhosa torna-se mais significativa. A vegetação verde aparece em linhas de água, fundos aluviais, margens ou constitui áreas de regadio;
- Contraste máximo entre as copas das árvores dos povoamentos florestais dispersos, montado, e o sinal do “fundo”;
- Época ideal para identificação de áreas ardidadas;
- Maior exposição, potencial, do solo e rocha a nu. Logo, período indicado para aplicações de Teledeteccção em pedologia e geologia;
- Melhor identificação de vias de comunicação ladeadas por árvores;
- Extensão mínima das albufeiras e charcas, indicação do grau de “stress” hídrico do Verão;
- Abertura dos alqueives para sementeira, bem como arroteamentos de áreas de “mato”;
- Ponto de “chegada” após a secura estival.

### **Primavera**

- Floração das espécies espontâneas – É o período de máximo desenvolvimento vegetativo da vegetação natural, a biomassa verde é máxima e a actividade fotossintética também. Em função das características climáticas (geralmente) há boa disponibilidade de água, temperaturas a subir, dias maiores. Desta forma pode-se ter uma “imagem” muito mais clara e diversificada dos povoamentos vegetais espontâneos, sejam arbustivos ou

herbáceos, o mesmo se passando com os povoamentos florestais;

- Granação dos cereais – Do mesmo modo as culturas cerealíferas estão no seu pleno, espigas desenvolvidas e actividade fotossintética máxima, embora dependendo das características climáticas do ano. Pouco tempo depois, Maio geralmente, começam a secar, sendo este o período em que melhor se pode avaliar a extensão real, quantitativa e qualitativa, das culturas de sequeiro;
- Os pastos e pousios estão, também, no seu estado vegetativo máximo. Assim, pode potencialmente avaliar-se os diversos graus de impacto humano através do pastoreio e, sobretudo, tentar distinguir pousios autênticos de pastagens naturais e pastagens plantadas, pois a sua assinatura espectral deve ser diferente;
- Se o desenvolvimento vegetativo herbáceo é máximo, áreas onde a densidade deste é baixa e aparecem proporções elevadas de solo serão, potencialmente, áreas degradadas sujeitas a sobrepastoreio presente ou passado. Passa-se o mesmo com áreas de vegetação semi-natural, visto que a taxa de cobertura que proporcionam é máxima neste período;
- Como é uma época de abertura dos alqueives para o ano seguinte pode-se “ver” neste período quais as áreas lavradas, indicação preciosa da ocupação potencial do ano agrícola seguinte. Também é nesta época que muitas arroteias para pastagens temporárias e reflorestação são efectuadas, o solo está brando e facilita a lavoura com os tractores e outros tipos de maquinaria. Além disso, como há ainda a possibilidade de chuvas os lavradores “lavram”, porque pensam que assim podem incorporar mais humidade no solo.
- Se a erosão de solos é o grande “motor” da degradação ambiental e se os valores são extremos em terrenos lavrados, sobretudo em declives acentuados, então o grau de erosão pode ser avaliado em função das áreas de solo a nu, lavrado ou onde a vegetação foi destruída;
- Discriminação máxima entre vegetal (clorofilíno) e mineral (solo);
- Visto ser quase o fim do “ciclo anual da chuva” mais certa, as albufeiras, charcas e linhas de água apresentam a sua extensão máxima potencial. É portanto neste período que melhor se pode avaliar essa extensão e distribuição espacial.

O uso de ambas as datas, para produzir uma só classificação, maximiza a capacidade de discriminação e incorpora na própria classificação o vector temporal, o que é extremamente relevante em termos de evolução anual do ecossistema e maximiza o número de usos – cobertos presentes num mesmo ano agrícola. Em termos paradigmáticos, o recurso à Teledeteção e utilização de imagens de satélite implica, neste caso e resumidamente<sup>7</sup>:

- Interpretação – Caracterização de um conjunto de objectos não directamente discerníveis em Teledeteção, pelo seu comportamento espectral e organização espacial. Requer, portanto, a identificação, a determinação, mas também a repetição, a análise da repartição de cada objecto e a organização dos objectos entre eles. Implica conhecer o terreno, os objectos – temas presentes e proceder a uma interpretação dos dados da imagem, por forma a

---

<sup>7</sup> GIRARD, M.C.; GIRARD, C.M. (1989), pp. 79-83

atribuir significado temático (“contentor”) a um conjunto de dados radiométricos (“conteúdo”);

- Extrapolação – Generalização de um modelo de identificação, de determinação ou interpretação, de áreas de pequena dimensão para um espaço muito maior, geralmente e no máximo uma região. Depois de se ter efectuado a interpretação passa-se à extrapolação – generalização no espaço geográfico envolvente ou adjacente.

## **Pré-processamento - Interpretação**

As imagens foram geo-referenciadas, a partir de coordenadas das cartas militares, a projecção escolhida foi a Transversal de Mercator, Elipsóide Europeu, Datum Europeu 1950, Sistema de Coordenadas UTM, correspondendo à Zona 29 S, Quadrado PB. Foi utilizada a convolução cúbica, para a transferência dos valores dos pixels para a sua posição corrigida, tendo os RMS finais sido de 0.3282 para Outubro de 2000 e 0.3852 para Abril de 2001, valores excelentes que implicam um erro posicional potencial de cerca de 10-12 metros. Em seguida procedeu-se à extracção da área referente ao Concelho de Mértola com base num ficheiro vector, limite do Concelho, do IgeoE.

A fase de interpretação das imagens foi efectuada com base nos seguintes elementos:

- Imagens de Abril de 2001 e Outubro de 2000;
- Expansão linear de contraste com saturação de 2%, para as imagens e “neo-canais”;
- Combinações coloridas 453 – RGB para Abril, 457 – RGB para Outubro;
- Composições com fusão da banda pancromática, depois da transformação RGB-HSI;
- Utilização de “neo-canais”;
  - Índice de vegetação para as duas imagens;
  - Componentes principais 123 – RGB, imagem de Abril;
  - Componentes principais 213 – RGB, imagem de Outubro;
  - Componentes principais várias, da análise conjunta das duas imagens;
  - Unidades de textura, Abril de 2001, visualização 453 – RGB;

Com base no conhecimento do terreno, interpretação de fotografia aérea e trabalho de campo, adoptou-se como legenda de trabalho o conjunto principal de comunidades vegetais (a *bold*) apontadas por PENA, A.; GOMES, L.; CABRAL, J. (1985), tendo-se criado as seguintes sub-classes:

### **Floresta Esclerófila**

Eucaliptais  
Pinhal  
Montado

### **Estepe Mediterrânea**

Cereais  
Solo a nu  
Pousio  
Pastagens

### **Formações Sub-Xerofíticas**

Esteval  
Mato denso  
Vegetação ripícola

### **Outros**

Água  
Áreas áridas

As classes, que passaremos a descrever, resultam de vários aspectos distintos, mas concorrentes entre si:

- Conhecimento do ecossistema, sua composição e dinâmica;
- Conhecimento de eventuais classificações das unidades existentes, elaboradas por técnicos e/ou investigadores de temáticas específicas não dominadas na integra por quem faz a interpretação (e.g. fauna e flora, estudos de biologia);
- Critérios de classificação de unidades em áreas do mesmo tipo, produzidas por organismos nacionais ou internacionais, com responsabilidades em termos de “gestão” do território planeamento, cartografia, conservação da natureza, etc. (e.g. Corine, Rede Natura 2000, EUNIS);
- Conhecimento do terreno, da paisagem e suas unidades;
- Conhecimento funcional de cada classe e fenómenos ou características associadas;
- Conhecimento das relações funcionais entre unidades;
- Identificação dos objectos – temas nas imagens de satélite e interpretação;
- Recurso a várias técnicas de realce de imagem e análise dos dados, por forma a melhorar essa mesma identificação e interpretação;
- Identificação dos objectos – temas em fotografias aéreas foto-interpretadas;
- Trabalho de campo na data de aquisição da imagem pelo sensor.

Cada classe deve ser validada, analisada e verificada por este conjunto de “instrumentos” por forma a maximizar e garantir:

1. seu valor e significado temático;
2. seu carácter objectivo, sobretudo em termos de relevância radiométrica;
3. seu significado enquanto unidade da paisagem;
4. seu significado enquanto unidade com características funcionais, simultaneamente específicas e distintas das características das outras unidades;
5. seu significado enquanto “objecto” geográfico e ecológico;
6. seu sentido em termos de designação e léxico, tão abrangente quanto possível em termos de avaliação por indivíduos e/ou comunidades distintas, logo o menos subjectivo possível;
7. a homogeneidade máxima intra-unidade e heterogeneidade máxima inter-unidades.

Torna-se essencial definir as classes, bem como os processos e princípios subjacentes à sua determinação, pois caso contrário as manchas correspondentes a cada classe não fariam qualquer sentido ecológico, geográfico e paisagístico. Se assim fosse, a aplicação dos “Landscape Metrics”, que faremos um pouco adiante, seria um exercício estéril e até indutor de erro, pois a quantificação da estrutura da paisagem e análise dos padrões da paisagem incidiriam sobre manchas sem sentido temático.

Além do “significado” das classes, a sua homogeneidade interior é essencial e a sua heterogeneidade em relação às outras classes deve ser máxima, pois caso contrário a estrutura da paisagem e sua composição não serão adequadamente apreendidas, cartografadas e interpretadas, tirando também sentido e consistência à análise dos padrões de paisagem.

## **Definição sumária da Legenda:**

### **1. Eucaliptais**

Povoamentos de Eucaliptos, espécie exótica, já desenvolvidos, mancha densa e cobertura quase contínua. Povoamentos antigos, como o da envolvência da Mina de São Domingos, recentes como no extremo Nordeste do Concelho, para fins industriais, ou ao longo das principais vias de comunicação. Eventual existência de pequenas manchas. Sub-bosque pobre e pouco denso, quase só estevas, tojo, rosmaninho

### **2. Pinhais**

Povoamentos de pinheiros, espécie resinosa, já desenvolvidos, constituindo uma mancha densa e cobertura contínua. Povoamentos vários, na envolvência da Vila de Mértola (Perímetro Florestal), duas ou três manchas pequenas. Existem muitos povoamentos recentes, mas não apresentam ainda um porte suficiente para serem considerados como pinhal, como tal serão classificados à parte. Sub-bosque pobre e pouco denso, não tanto como nos eucaliptais.

### **3. Montado**

Árvores associadas a cultura de cereal – pousio ou pastagens, a espécie dominante é a azinheira, na maioria dos casos, usada para lenha e para carvão; rebanhos de ovelhas e varas de porcos em pastagem. Possui três “estratos” de vegetação (herbácea, arbustos e árvores), o gado doméstico e/ou selvagem está sempre presente como elemento unificador, constitui um sistema agro – silvo – pastoril de exploração agrícola. A densidade de árvores varia de umas poucas árvores, salpicadas nos campos, a povoamentos mais densos, por selecção das árvores e não por plantação. Consoante o regime de exploração, se utilizado somente para pastagem, existe já um estrato arbustivo pouco denso. No caso de abandono o estrato arbustivo desenvolve-se, confundindo-se com facilidade o conjunto com as áreas de mato denso. Os montados introduzem diversidade na paisagem e são refúgio de espécies animais, o seu aproveitamento económico é nulo (ou quase), constituem um “motor” da recuperação fito-faunística, pois encontram-se plenamente adaptados às condições pedo-climáticas.

### **4. Charneca**

Espaço inulto, onde já não se pratica a agricultura, mato, muito diversificado em termos de espécies e densidades, semi-natural. Sem aproveitamento económico aparente, rica em fauna (caça também), ancestralmente usada para a apicultura e como área privilegiada de abrigo e criação de caça. Paisagística e ambientalmente relevante, pode constituir uma recuperação a partir de áreas de pousio ou montados abandonados de baixa densidade.

### **5. Esteval**

Povoamentos quase exclusivamente de estevas, resultantes do abandono de pastagens e pousios, em áreas degradadas onde só a esteva conseguiu colonizar o espaço, manchas contínuas e homogéneas. Sub-bosque pouco significativo,

associado predominantemente a Rosmaninho e Rosela (*Cistus Crispus*), apresentando algum estrato herbáceo, dependendo do grau de degradação da área. Nalguns casos associação com alguns Carrascos e Aroeiras. As “estevas” podem ser *Cistus Ladanifer* L. (o mais comum), *Cistus Monspelienis* L. (Sargaço, mais pequeno, flores mais “mimosas” e folhas mais estritas), *Cistus Populifolius* L. (Estevão) ou *Cistus Salvifolius* (Sargaço). Por vezes coexistem várias espécies, mas com predomínio de uma só, variando o tipo de *Cistus* em função do tipo de solo e do seu grau de degradação, bem como da proximidade de manchas adjacentes que funcionam como banco de sementes.

## **6. Mato Denso**

“...Matagal altamente diversificado e complexo, onde as árvores e arbustos esparsos se destacam da densa mancha vegetal. Sinais de intensa actividade animal são indicadores da presença de uma comunidade de vertebrados terrestres que, embora com as características gerais da fauna associada aos «matos» [Charneca], apresenta uma riqueza ecológica única no Concelho”<sup>8</sup>. Ocorre sobretudo nas margens mais declivosas dos cursos de água principal e em relevos importantes, áreas onde em princípio nunca se procedeu a arroteias e a intervenção humana foi mínima, tendo existido quando muito algum pastoreio e recolha de lenha. Em ambos os casos, vales e relevos, a topografia criou condições dificultando a acção humana e impossibilitando praticamente as arroteias, é o tipo de coberto mais próximo do Matagal Mediterrâneo, residual portanto, bem estratificado em termos ecológicos. Incluímos nesta classe os Montados Abandonados, desde que a densidade e diversidade sejam extremas, pressupondo abandono há muito tempo e um processo muito significativo de regeneração, quando em posição semelhante, fundo de vales e vertentes muito declivosas. A fauna e flora são muito semelhantes, nos Montados Abandonados e Mato Denso, em termos de densidade, diversidade, estratificação e evolução.

## **7. Vegetação Ripícola**

Vegetação arbustiva, de vários portes, localizada exclusivamente nos leitos das linhas de água que secam quase totalmente durante o Verão. Comunidades “fixas” sobretudo no material sedimentar dos leitos, que mantêm humidade suficiente depois do Verão para suportar espécies arbustivas, por vezes de porte significativo. Espécie dominante *Loendros*, associada a outros pequenos arbustos, juncos e canas. Também pequenas faixas na margem de planos de água artificiais.

## **8. Cereais**

Espaço cultivado, culturas arvenses de sequeiro, quase exclusivamente trigo, de múltiplas variedades, mas também alguma aveia. Terrenos agrícolas, searas.

## **9. Pousio (Alta Densidade)**

Área onde não são efectuadas mobilizações do solo, coberto herbáceo mais ou menos regular, sem estar em pastagem. O problema desta unidade é distinguir o

---

<sup>8</sup> PENA, A.; GOMES, L.; CABRAL, J. (1985), p. 34

limite entre campos abandonados e pousio real, dado que nalguns casos os pousios eram longuíssimos (até 8-10 anos, agricultura extensiva). Coberto regular, florido na Primavera, sem espécies de porte arbóreo ou arbustivo. Pseudo estepe de gramíneas, associação herbácea de degradação, que evolui a partir do coberto natural, depois de removido, por aumento dos nutrientes disponíveis em virtude da fertilização. O carácter selectivo do gado, ao escolher e seleccionar determinadas espécies, desempenha também um papel muito importante na composição florística.

#### **10. Pastagens (Pousio Baixa Densidade)**

Áreas com coberto herbáceo claramente dominante, sujeitas a pastoreio intenso, onde o coberto herbáceo está degradado em termos de continuidade espacial, aparecendo manchas e porções de solo a nu. Pressupõe uma inadequação da intensidade do pastoreio à capacidade de regeneração e sustento do coberto herbáceo, sobrepastagem. Existência de trilhos, marcas de pisoteio e excrementos em grande quantidade, somente espécies herbáceas e pequenos arbustos que o gado não come sobrevivem, ou nem isso. Geralmente áreas vedadas, com cercas, o que contribui também para a concentração dos rebanhos num espaço fixo, excessivamente pequeno. Podem ser áreas de passagem de gado, onde os rebanhos convergem e se concentram, como na margem das charcas, ou nos perímetros onde o gado fica durante a noite. Os casos de sobrepastoreio extremo, sem coberto herbáceo, constituem nesta classificação áreas de solo a nu, tal como as áreas vedadas com varas de porcos, que não têm qualquer coberto vegetal. Este facto resulta da “natureza” dos porcos e da dimensão das áreas vedadas, que é pequena, pelo facto de os porcos serem alimentados à bolota e/ou com rações e “restos”.

#### **11. Solo a Nu**

Áreas de solo a nu, sem vegetação. Podem ser terrenos lavrados, para sementeira, limpeza de mato ou plantação de árvores, por processos mecânicos, ou áreas extremamente degradadas onde quase não existe vegetação. Domínio mineral por oposição a vegetal, inclui áreas urbanas e afloramentos rochosos.

#### **12. Água**

Planos de água, rios, albufeiras, charcas, “poças” nos leitos das linhas de água.

#### **13. Áreas Ardidas**

Áreas com algum tipo de coberto vegetal, restolho, mato, árvores, que arderam. Podem ser parcelas de restolho que foram queimadas, “alqueive preto”, ainda praticado por alguns agricultores embora desaconselhável.

### **Classificação**

A delimitação de áreas teste, com vista à classificação supervisionada utilizando o algoritmo de máxima probabilidade (Maximum Likelihood Classifier), que constitui a fase de extrapolação, foi feita com base no trabalho de campo realizado na data de passagem do satélite, em 1 de Abril. Marcaram-se, em fotografias aéreas de 1995, cerca de 200 polígonos identificados no terreno, para os quais foram registadas

coordenadas GPS por forma a minimizar erros posicionais na demarcação das áreas teste nas imagens, tendo também sido efectuado levantamento fotográfico de todas as áreas teste.

### Verificação dos Resultados

Depois de várias correcções e melhoramentos, em parte baseados na interpretação da matriz de confusão da classificação, atingiu-se um rigor final da classificação de 89.8730 % e um Coeficiente Kappa de 0.8939. A extrapolação a toda a imagem foi testada e verificada, sendo extremamente boa e assumindo-se como de absoluta validade para este exercício comparativo. Em seguida foram extraídas três porções espaciais da classificação do Concelho, com 500 por 400 pixels, de uma forma aleatória e eminentemente visual, tentando maximizar as diferenças de padrão espacial e mosaico.

Figura 1 – Porção nordeste do concelho de Mértola, Abril de 2001, Landsat ETM

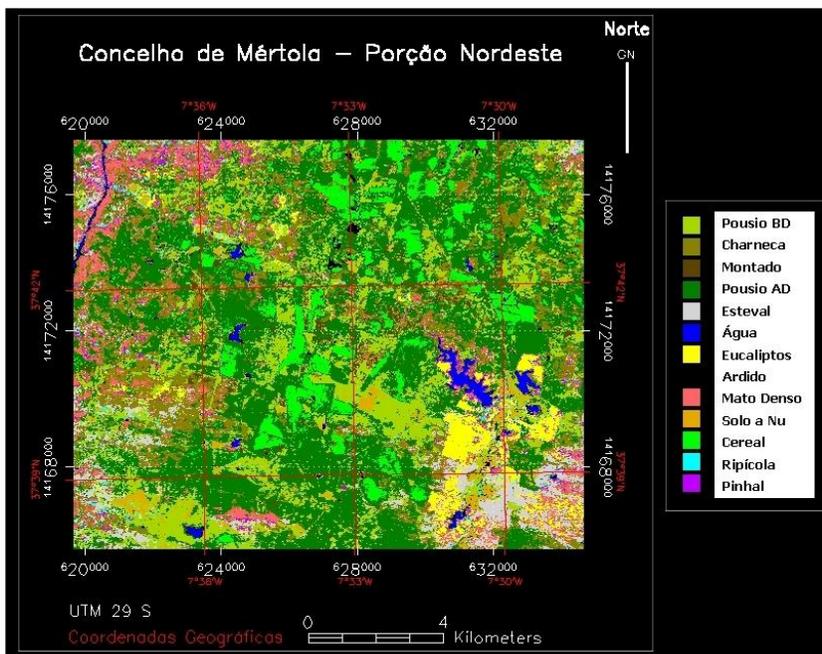


Figura 2 – Porção noroeste do concelho de Mértola, Abril de 2001, Landsat ETM +

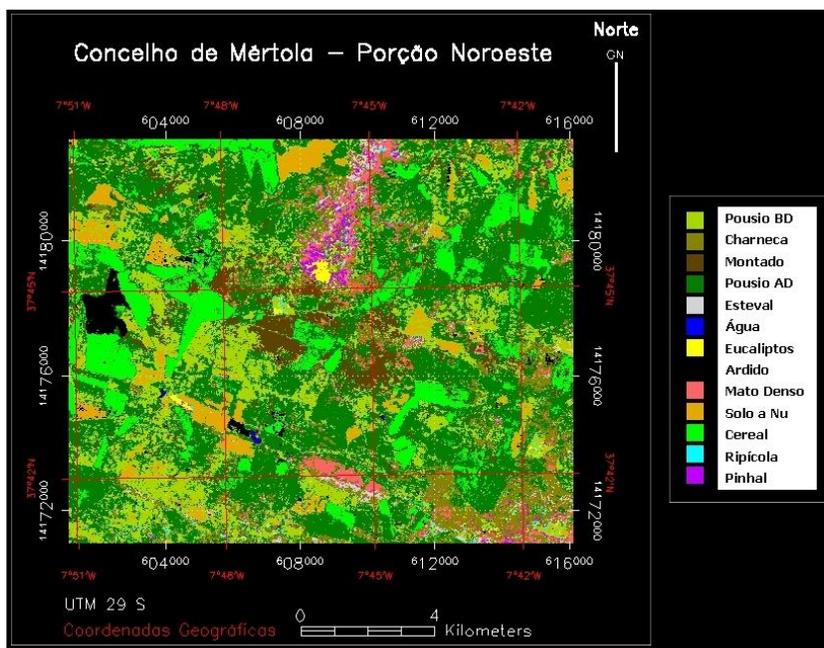
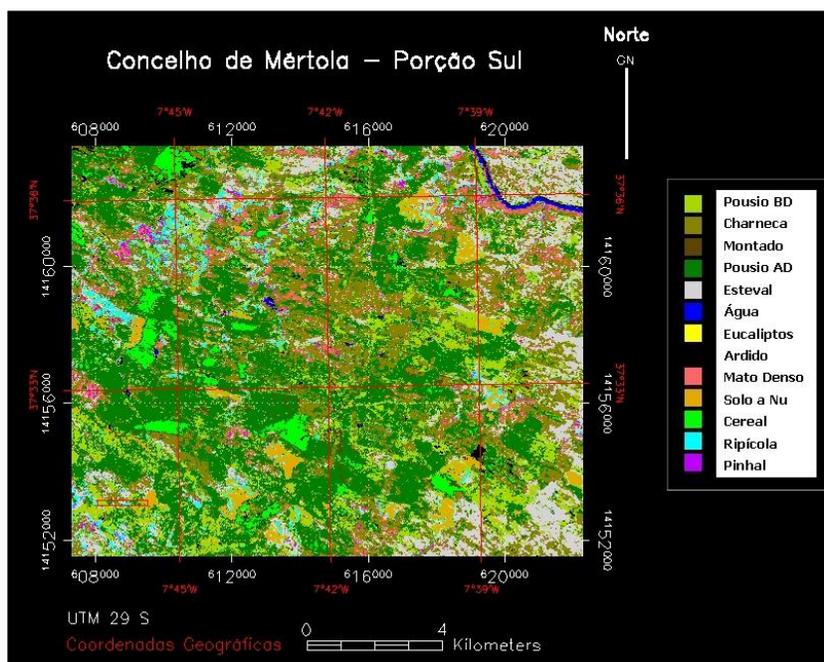


Figura 3 – Porção sul do concelho de Mértola, Abril de 2001, Landsat ETM +



Os padrões espaciais destas três áreas distintas serão analisados recorrendo à quantificação da estrutura da paisagem, embora visualmente possam ser sumariamente descritas da seguinte forma (Figuras 1,2 e 3): a porção Nordeste é eminentemente agrícola (área do Baldio da Serra de Mértola), tem mancha florestal importante na envoltória da Mina de São Domingos e mato ao longo do Vale do Guadiana e vales mais encaixados; a porção Noroeste é predominantemente agrícola e com uma extensa mancha de montado, sendo globalmente menos declivosa; a porção Sul tem menos área agrícola e mais campos abandonados, sendo topográfica e litologicamente mais homogénea.

Quantitativamente, como se pode ver na Tabela seguinte, existem diferenças claras na proporção dos usos do solo – coberto vegetal. O pousio é o uso dominante nas três áreas, a charneca tem mais significado na porção Sul, bem como o esteval, os cereais são mais importantes na porção Noroeste, bem como o solo a nu, indicador de maior actividade agrícola. Poderíamos prolongar a análise visual e quantitativa da classificação, mas são esses exactamente os limites de uma abordagem tradicional de análise do uso do solo; passaremos por essa razão à análise quantitativa da estrutura da paisagem à luz dos métodos da Ecologia da Paisagem.

**Tabela 1 – Uso do solo – coberto vegetal nas três porções do concelho de Mértola, Abril de 2001**

<b>Pixels</b>	<b>Noroeste</b>	<b>Nordeste</b>	<b>Sul</b>	<b>%</b>	<b>Noroeste</b>	<b>Nordeste</b>	<b>Sul</b>
Água	143	1814	545	Água	0.07	0.91	0.27
Ardido	3285	1798	1981	Ardido	1.64	0.90	0.99
Cereal	22341	12532	5256	Cereal	11.17	6.27	2.63
Charneca	19860	34259	52752	Charneca	9.93	17.13	26.38
Esteval	2618	11158	25207	Esteval	1.31	5.58	12.60
Eucaliptos	851	6743	378	Eucaliptos	0.43	3.37	0.19
Mato Denso	5138	9432	5795	Mato Denso	2.57	4.72	2.90
Montado	12288	4876	1858	Montado	6.14	2.44	0.93
Pinhal	1871	3196	1966	Pinhal	0.94	1.60	0.98
Pousio - alta densidade	82301	75183	66552	Pousio - alta densidade	41.15	37.59	33.28
Pousio - baixa densidade	37614	32628	25791	Pousio - baixa densidade	18.81	16.31	12.90
Ripícola	1248	1919	6032	Ripícola	0.62	0.96	3.02
Solo a Nu	10442	4462	5887	Solo a Nu	5.22	2.23	2.94
	200000	200000	200000		100.00	100.00	100.00

### **III. Ecologia da Paisagem**

A estrutura da paisagem evidencia em dois aspectos fundamentais (FARINA, Almo (2000)):

- Composição da Paisagem – qualidade e quantidade de elementos (manchas – “patches”) que compõem o mosaico; é descrita numericamente (não espacialmente), podendo utilizar-se vários índices para medir a composição:

importância relativa de cada tipo mancha (classe), riqueza de manchas, diversidade de manchas, etc;

- Configuração da Paisagem – distribuição física das manchas no mosaico, as variáveis consideradas são: isolamento das manchas, forma e dimensão das manchas, distância a outras manchas, complexidade das margens, etc.

Independentemente do conhecimento funcional de cada uma das classes de manchas na classificação, sobretudo em termos dos fenómenos ecológicos associados a cada tipo, que estão fora do contexto deste artigo, pode quantificar-se a estrutura da paisagem e analisar os padrões espaciais presentes. Embora tenhamos quase omitido, neste artigo, os aspectos paradigmáticos da Ecologia da Paisagem, a importância e objectivo do exercício é testar a análise quantitativa da paisagem, embora a escolha da legenda da classificação das imagens de satélite tenha sido norteada por uma maximização do significado e consistência geo-ecológica de cada classe. Assim, abordaremos somente a questão prática dos índices, o seu significado, interpretação e interesse para efeitos de análise das três diferentes “Paisagens” do Concelho.

#### IV. Aplicação de “Landscape Metrics” – Análise Quantitativa da Paisagem

Para cálculo dos “Landscape Metrics” utilizou-se o pacote de software Fragstats 2.0 para DOS (McGARIGAL, K.; MARKS, J. (1995)) que, por apresentar limitações na dimensão dos ficheiros que pode tratar, implicou o “ressample” das três imagens para um pixel de 60 metros, através do método de convolução cúbica. Os ficheiros foram então exportados para Idrisi 2.0 para Windows, documentados e gravados em formato Idrisi, necessário para importação pelo Fragstats. Na Tabela seguinte apresentamos os valores de alguns “Landscape Metrics” para as três paisagens, quando analisadas como um todo.

**Tabela 2 – Índices da paisagem para as três porções do Concelho de Mértola, Abril de 2001**

<b>Índices da paisagem</b>	<b>Noroeste (NO)</b>	<b>Nordeste (NE)</b>	<b>Sul</b>
<b>Índices de Manchas</b>			
Número de Manchas	5700	7320	7820
Índice da Maior Mancha (%)	14.510	15.514	19.820
Densidade de Manchas (Nº/100 Ha)	31.667	40.667	43.444
Dimensão Média das Manchas (Ha)	3.158	2.459	2.302
Desvio Padrão da Dimensão das Manchas (Ha)	46.468	43.271	42.495
Total de Margem (Metros)	2466420	2806980	2991780
Densidade de Margens (Metros/Ha)	137.023	155.943	166.210
<b>Complexidade</b>			
Índice de Forma da Paisagem	46.965	53.311	56.755
Índice Médio de Forma ponderado pela Área	8.589	9.149	9.042
Dimensão Fractal	1.560	1.566	1.586
<b>Organização Espacial</b>			
Distância Média ao Vizinho mais Próximo (Metros)	131.897	124.603	121.721
Índice Médio de Proximidade	322.624	281.480	289.097
Contágio (%)	40.070	34.043	35.884
Índice de Inter-Dispersão e Justaposição (%)	64.716	72.101	66.761
<b>Diversidade</b>			
Índice de Diversidade de Shannon	1.794	1.929	1.818
Índice de Equidade de Distribuição de Shannon	0.699	0.752	0.709

Passemos então à análise e interpretação, índice a índice<sup>9</sup>:

## Índices de manchas

### *Número de Manchas*

Noroeste	Nordeste	Sul
5700	7320	7820

É o número total de manchas: quando existem conjuntos de pixels adjacentes da mesma classe existe uma mancha, tal como no caso de pixels isolados. Como seria de esperar o valor é menor no sector NO, onde existem mais campos agrícolas, seguido do sector NE onde coexistem parcelas agrícolas de menor dimensão e vegetação natural, sendo máximo no sector Sul, onde predomina o pousio, os campos abandonados e a charneca, por natureza mais dispersa e potencialmente formando mais manchas. A textura da paisagem na porção Sul é, portanto, a que apresenta uma malha mais fina.

O número de manchas de um determinado habitat pode influenciar uma grande variedade de processos ecológicos, como por exemplo a determinação do número de sub-populações numa população espacialmente dispersa e pode alterar a estabilidade das interações e oportunidades de coexistência em sistemas de predador – presa e sistemas competitivos. Quanto maior a subdivisão da paisagem, maior número de manchas, maior a resistência potencial à propagação de perturbações (doenças, fogo), podendo as manchas persistir mais facilmente do que se o seu número fosse diminuto. Uma paisagem com mais manchas tem um grão mais fino, a heterogeneidade espacial acontece a uma maior resolução.

### *Índice da Maior Mancha*

Noroeste	Nordeste	Sul
14.510	15.514	19.820

Representa a percentagem de paisagem que a maior mancha tem (se o valor fosse 100 % a maior mancha conteria toda a paisagem). Somente analisando os índices para cada classe de uso do solo – coberto vegetal podemos ver qual a classe que tem a mancha de maior dimensão, mas visto que é na porção Sul que se verifica o valor maior, deverá ser provavelmente a classe pousio alta densidade. Contudo, este índice não é um bom indicador da heterogeneidade, pois a mancha de maiores dimensões pode pertencer a uma classe com pouco número de manchas; a sua maior importância prende-se com a eventual presença de espécies e/ou fenómenos que exigem uma dimensão determinada de mancha como área vital. A fórmula de cálculo é a seguinte:

---

<sup>9</sup> As fórmulas e enquadramento conceptual são extraídas e adaptadas de McGARIGAL, Kevin; MARKS, Barbara (1995), FARINA, Almo (2000) e FORMAN, R.T. (1999).

$$IMM = \frac{\max_{j=1}^n(a_{ij})}{A} \times (100)$$

*IMM* é igual á área (*a<sub>ij</sub>*) em metros quadrados da maior mancha na paisagem ( $\max(a_{ij})$ ), a dividir pela área total da paisagem, multiplicada por 100 (para converter em percentagem).

### ***Densidade das Manchas***

Noroeste	Nordeste	Sul
31.667	40.667	43.444

Número de manchas por unidade de superfície (como tal mantém-se a hierarquia do número de manchas): a densidade é menor a NO, máxima a Sul e intermédia a NE, área que podemos considerar híbrida. Visto que a área das três porções do Concelho é igual, a densidade de manchas é um bom indicador de fragmentação da paisagem, representando o grau de heterogeneidade espacial de cada área. A heterogeneidade é, contudo, uma das características intrínsecas do coberto vegetal Mediterrâneo, ao contrário da grande homogeneidade das áreas florestais de latitudes mais altas ou baixas. A fórmula de cálculo é a seguinte:

$$DM = \frac{N}{A} \times (10,000) \times (100),$$

*DM* é igual ao número total de manchas na paisagem (*N*) dividido pela área total da paisagem (que são 18000 Hectares), multiplicado por 10,000 e por 100 (para converter em centenas de Hectares).

### ***Dimensão Média das Manchas***

Noroeste	Nordeste	Sul
3.158	2.459	2.302

A magnitude dos valores é comandada pelo grão da paisagem, a que corresponde a dimensão mínima das manchas, e que neste caso é de 60 metros, em virtude do formato raster “ressampled” da classificação. Os valores fazem todo o sentido: o mais alto diz respeito a NO, onde existem grandes parcelas agrícolas, o mínimo à área com uma paisagem mais fragmentada, onde existem mais manchas e onde o tipo de coberto dominante (pousio e charneca) tem um carácter mais disperso e não “concentrado” em parcelas claramente delimitadas espacialmente. A fórmula de cálculo é a seguinte:

$$DMM = \frac{A}{N} \times \left( \frac{1}{10,000} \right),$$

*DMM* é igual á área total da paisagem (*A*) dividida pelo número total de manchas (*N*), dividida por 10,000 para converter em Hectares.

A dimensão média das manchas é também um bom indicador da fragmentação de habitat, embora aqui esteja limitado pela resolução (grão) das imagens utilizadas para cálculo (60 metros), sendo também um valor médio, que será tanto mais significativo quanto maior for o número de manchas ou a dimensão total da paisagem. Cada espécie e/ou fenómenos e funções dos vários habitats requerem dimensões críticas, máximas e mínimas, a nível da dimensão das manchas, estando esse aspecto completamente fora do contexto do presente exercício e sendo, em última instância, uma questão de escala de análise.

### ***Desvio Padrão da Dimensão das Manchas***

<b>Noroeste</b>	<b>Nordeste</b>	<b>Sul</b>
46.468	43.271	42.495

Mantém-se a proporção entre áreas obtida com a dimensão média das manchas, mas embora esse valor tenha bastante peso no presente índice, a variação de valores parece (pode) indicar uma maior homogeneidade geral da variabilidade da dimensão das manchas. Nesse caso, a Sul, não só as manchas são em maior número, globalmente mais pequenas e em maior densidade, como a variação da sua dimensão é de menor amplitude, o que se coaduna com os tipos e valores de uso do solo presentes. A NO, o contraste entre grandes campos agrícolas e pequenas manchas é a única explicação possível para o valor. Por ser uma medida de dispersão relativa à dimensão das manchas, este índice dá indicações quanto ao padrão de uniformidade da dimensão das manchas, o que é talvez mais interessante do que a dimensão média, pois permite determinar com maior acuidade um importante aspecto da heterogeneidade da paisagem. A fórmula de cálculo é a seguinte:

$$DPDM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[ a_{ij} - \left( \frac{A}{N} \right) \right]^2}{N}} \times \left( \frac{1}{10,000} \right),$$

*DPDM* é igual à raiz quadrada do somatório dos desvios ao quadrado entre a área de cada mancha e a dimensão média das manchas, dividido pelo número total de manchas, dividido por 10,000 para converter em hectares.

### ***Total de Margens***

<b>Noroeste</b>	<b>Nordeste</b>	<b>Sul</b>
2466420	2806980	2991780

É natural que quanto maior o número de manchas maior a extensão de margens (“edges”) dessas manchas, o que implica maior heterogeneidade e maior fragmentação da paisagem a uma escala mais “fina”. A proporção entre as várias porções do Concelho segue os valores do número de manchas, pois quanto mais manchas mais margens. Mantém-se a distinção “temática” entre as três áreas.

A quantidade total de margens é um bom indicador da configuração da paisagem, embora não seja um índice espacialmente explícito. A importância das margens é muito elevada, pois há uma importante interacção da flora e da fauna nestas áreas de margem, que podem constituir habitats por si só, além de serem claramente frentes de interface: predação e refúgio, dispersão de sementes e recolonização, protecção do vento, etc. É sobretudo o grau de contraste entre as manchas ao longo da margem que influencia vários processos ecológicos importantes, esse contraste pode ser medido somente à escala das manchas e não da totalidade da paisagem. Quanto maior for o total de margens maior a fragmentação da paisagem, embora este índice também seja “controlado” pela escala de análise – grão.

### ***Densidade das Margens***

<b>Noroeste</b>	<b>Nordeste</b>	<b>Sul</b>
137.023	155.943	166.210

É absolutamente semelhante ao índice anterior, mas relativizado por Hectares, o que facilita a comparação de paisagens com diferentes dimensões, o que não é o caso.

### **Complexidade**

#### ***Índice de Forma da Paisagem***

<b>Noroeste</b>	<b>Nordeste</b>	<b>Sul</b>
46.965	53.311	56.755

Este índice baseia-se na relação entre o perímetro e área das manchas, medindo a complexidade da forma das manchas em função duma forma básica quadrada (o ficheiro é “raster”) que representa um mínimo de complexidade: quanto maior for o valor, maior é a complexidade das manchas na paisagem. Deste modo, os valores obtidos para as várias porções do Concelho demonstram claramente as características diversas de cada um: a NO a complexidade é menor, há muitas manchas rectilíneas, todas as parcelas geométricas ligadas à actividade agrícola; a NE o valor é intermédio, também existem áreas agrícolas mas coexistem com manchas irregulares de vegetação natural e campos abandonados; no Sul o valor é máximo, pois predominam os cobertos naturais ou em regeneração, com uma complexidade de manchas muito maior. É o cariz natural irregular e complexo, por oposição ao carácter linear e espacialmente organizado das actividades agrícolas. A fórmula de cálculo é a seguinte:

$$IFP = \frac{0.25 E'}{\sqrt{A}}$$

*IFP* é igual à soma do limite da paisagem e todos os segmentos de margem na paisagem (*E'*), dividido pela raiz quadrada da área total da paisagem (*A*), ajustado por uma constante para um “standard” quadrado (0.25) pois o formato base é

“raster” (60 metros). Se a paisagem fosse constituída por uma só mancha quadrada o valor seria 1; aumenta a partir daí quanto maior for a complexidade, sem limite numérico superior.

### ***Índice Médio de Forma, ponderado pela Área das Manchas***

Noroeste	Nordeste	Sul
8.589	9.149	9.042

Tal como o Índice de Forma da Paisagem, baseia-se na relação entre o perímetro e a área das manchas, medindo a complexidade da forma das manchas em função duma forma básica quadrada, mas efectuando uma ponderação em função da dimensão de cada mancha. Por esta razão a hierarquia de valores para os três sectores modifica-se completamente, produzindo resultados muitíssimo interessantes e, aparentemente, contraditórios com os valores de complexidade produzidos pelo Índice de Forma da Paisagem não ponderado. Globalmente o Sul era mais complexo (segundo o IFP), mas o seu valor passa a ser intermédio, querendo isto dizer que não há grande disparidade entre a dimensão das manchas (como demonstrado pelo Desvio Padrão da Dimensão das Manchas). O sector NO apresenta (segundo o IMF-PAM) um valor bastante inferior aos outros dois sectores, tal como com IFP; a pouca complexidade das manchas maiores (agrícolas, maior dimensão média das manchas) dá mais peso às formas pouco complexas. A surpresa é o sector NE, a sua complexidade é maior, o que só se pode explicar pela existência de manchas grandes mas de forma complexa, que em função da ponderação tornam este sector no mais complexo em termos de forma das manchas. As parcelas de forma mais regular, menos complexa, predominantemente agrícolas, são claramente de menor dimensão, pois este sector inclui parte do Baldio da Serra de Mértola, com uma estrutura de propriedade mais regular mas de muito menor dimensão que a NO. O que, por sua vez e em função da ponderação pelo tamanho das manchas, retira peso, no índice, às formas menos complexas. A fórmula de cálculo é a seguinte:

$$IMF - PAM = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[ \left( \frac{0.25 p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \right) \times \left( \frac{a_{ij}}{A} \right) \right],$$

*IMF - PAM* é igual ao somatório, para todas as manchas, do perímetro de cada mancha (metros), dividida pela raiz quadrada da área da mancha (metros quadrados), ajustado por uma constante para um “standard” quadrado (0.25) pois o formato base é “raster” (60 metros), multiplicado pela área da mancha dividida pela área total da paisagem. Assim, quanto maior for uma mancha maior será a ponderação.

### ***Dimensão Fractal***

Noroeste	Nordeste	Sul
1.560	1.566	1.586

Um fractal, conceito introduzido por MANDELBROT (1983) em 1977, é (muito simplisticamente) uma forma geométrica que tem uma estrutura espacial igual a

várias escalas, auto – semelhança. A dimensão fractal de um objecto de determinada forma pode ser calculada por um método de perímetro – área, que quantifica a complexidade dessa forma. O grau de complexidade de um polígono é caracterizado por uma dimensão fractal (D) tal que o perímetro (P) de uma mancha é relacionado com a área (A) da mesma mancha segundo:

$$P \approx \sqrt{A^D} \text{ ou seja } P \approx \frac{1}{2D} \text{Log } A \cdot$$

Para formas Euclidianas simples (círculos, quadrados, rectângulos, etc.) P é igual à raiz quadrada da área e a dimensão fractal é igual a 1. Conforme os polígonos se vão tornando mais complexos, o perímetro torna-se cada vez maior, ocupando cada vez mais a área (se é que assim se pode dizer) e  $P \approx A$  com D a tender para 2, afastando-se duma geometria Euclidiana. Logo, quanto mais complexa for a forma, quanto maior for a sua margem, maior é a dimensão fractal da mancha. Os valores obtidos apresentam a mesma hierarquia que os obtidos com o Índice de Forma da Paisagem, indicando uma complexidade crescente das manchas e da paisagem como um todo: o valor mínimo pertence ao sector NO, seguido de perto pelo sector NE (onde coexistem formas complexas e simples), com um valor máximo para o sector Sul. A fórmula para o cálculo da Dimensão Fractal da paisagem é a seguinte:

$$D = \frac{2}{\left[ \frac{N \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left( \text{Ln } p_{ij} \text{Ln } a_{ij} \right) - \left[ \left( \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \text{Ln } p_{ij} \right) \times \left( \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \text{Ln } a_{ij} \right) \right]}{\left( N \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \text{Ln } p_{ij}^2 \right) - \left( \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \text{Ln } p_{ij} \right)^2} \right]}$$

D é igual a 2 dividido pelo declive da recta de regressão, obtida pela regressão entre o Logaritmo da área (a) da mancha (metros quadrados) contra o Logaritmo do perímetro (p) da mancha, N é igual ao número total de manchas na paisagem. O valor mínimo é 1, forma simples Euclidiana, o valor máximo é 2, complexidade máxima.

## Organização espacial

### *Distância Média ao Vizinho mais Próximo*

Noroeste	Nordeste	Sul
131.897	124.603	121.721

A distância média ao vizinho mais próximo define-se como a distância de uma mancha à mancha mais próxima da mesma classe, baseada na distância de margem a margem, o que quantifica a configuração da paisagem que influencia processos ecológicos importantes. Quanto maior for a distância maior é a “insularidade” das manchas, mais fragmentada é a paisagem do ponto de vista da fauna utilizadora de determinado tipo de mancha. Para o conjunto da paisagem, o cálculo foi efectuado num raio de 1000 metros a partir de cada mancha. Os valores são extremamente

interessantes; o sector Sul, que é o mais fragmentado (maior número de manchas, manchas de menor dimensão, maior densidade de margens, maior complexidade) é o que apresenta a menor distância média ao vizinho mais próximo, o que faz todo o sentido. No extremo oposto, o sector NO (menor número de manchas, manchas de maior dimensão, menor densidade de margens, menor complexidade) apresenta a maior distância média entre manchas. O sector NE constitui, mais uma vez, uma situação intermédia. A fórmula de cálculo é a seguinte:

$$DM - VMP = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n'} h_{ij}}{N'}$$

*DM - VMP* é igual ao somatório da distância (*h* em metros) à mancha mais próxima da mesma classe, distância baseada na distância mais próxima entre margens, para cada mancha da paisagem com um vizinho, dividido pelo número de manchas com um vizinho.

### *Índice Médio de Proximidade*

Noroeste	Nordeste	Sul
322.624	281.480	289.097

Este índice quantifica o contexto espacial de uma mancha em relação aos seus vizinhos, distinguindo distribuições dispersas de pequenas manchas das configurações onde o habitat forma um “cluster” complexo de manchas de maiores dimensões. Portanto, o índice mede tanto o grau de isolamento da mancha como o grau de fragmentação do tipo de mancha correspondente, numa vizinhança determinada em análise (o raio utilizado foi de 1000 metros). Este índice permite avaliar, no fundo, o grau de conectividade da paisagem; quanto menos isoladas estão as manchas (em relação a manchas da mesma classe) e quanto menos fragmentada é a distribuição das várias classes de manchas, maior é o valor do índice. Assim sendo, o sector NE, mais híbrido e com uma mistura maior de áreas de vários tipos, com uma densidade de manchas menor que o NO e com um maior grau de complexidade, apresenta a conectividade mais baixa entre os três sectores. A heterogeneidade é maior, pois embora o total de margens e a densidade de manchas sejam intermédios a NE, existe uma maior diversidade de classes em cada vizinhança, o que faz sentido no contexto espacial do Baldio da Serra de Mértola: as múltiplas courelas, de dimensões relativamente modestas, constituem uma manta de retalhos de diversidade extrema (há mais isolamento e maior número de classes de manchas na vizinhança). O valor é muito elevado no sector NO; há menos classes de manchas na vizinhança e o isolamento é menor, mas a porção de campos agrícolas e em pousio diminui o “interesse” ecológico desta conectividade. O sector Sul representa um valor intermédio mas mais próximo do sector NE, neste caso a predominância da charneca e esteval valorizam muito mais o significado ecológico (sobretudo faunístico) do valor da conectividade. A fórmula de cálculo é a seguinte:

$$IMP = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs}}{2}}{N},$$

*IMP* é igual ao somatório da área das manchas (*a* em metros quadrados), dividida pelo quadrado da distância margem a margem entre a mancha (metros) e todas as manchas da mesma classe até uma determinada distância (*s* em metros), somado para todas as manchas na paisagem e dividido pelo número total de manchas.

### “Contágio”

Noroeste	Nordeste	Sul
40.070	34.043	35.884

O índice de contágio só é aplicável a imagens “raster” à escala de toda a paisagem, pois efectua medição das “células” da imagem (pixels neste caso) e não das manchas, medindo a probabilidade de “adjacência” de células da mesma classe. O índice consiste na soma, para todas as classes, do produto de duas probabilidades: a probabilidade de uma qualquer célula pertencer a uma dada classe (i) (estimada da abundância proporcional dessa classe (i)) e a probabilidade condicional de que uma célula, sendo da determinada classe (i), tenha na sua vizinhança células da classe (j) (estimada pela abundância proporcional das adjacências de uma classe (i) a outra(j)). O produto destas duas probabilidades corresponde à probabilidade de duas quaisquer células corresponderem às classes (i) e (j).

O Contágio mede tanto a inter-dispersão de tipos de manchas (mistura de manchas de diferentes classes) como a dispersão de manchas (distribuição espacial de uma classe de manchas). O índice mede o grau de agregação ou dispersão dos elementos da paisagem: valores altos resultam de paisagens com poucas manchas, de grande dimensão e próximas entre si, enquanto valores baixos implicam geralmente paisagens com muitas unidades dispersas. O contágio também mede a dispersão porque as células, não as manchas, são avaliadas quanto à sua probabilidade de adjacência com células de outras classes. Quando há grandes manchas uniformes (com muitas células da mesma classe adjacentes), o valor do índice é alto, pois há uma grande proporção de células adjacentes da mesma classe.

O valor aproxima-se de 0 (zero) quando a distribuição das adjacências (ao nível das células individuais) entre tipos de manchas da mesma classe se tornam menos equilibradas. Contágio aproxima-se de 100 quando todos os tipos de manchas estão igualmente adjacentes a todas as outras classes de manchas.

Assim, os valores obtidos para os vários sectores fazem todo o sentido: o valor mínimo ocorre no sector NE, (mais manchas, pequenas, menos contínuas, maior diversidade de classes na vizinhança, valor máximo de índice de forma ponderado pela área das manchas), seguido de perto pelo sector Sul, onde existe maior probabilidade de contiguidade (há também menos diversidade na vizinhança das manchas), registando-se o valor máximo no sector NO (grandes manchas, menor densidade de manchas, mais contíguas, mais contínuas, menos diversidade na vizinhança, maior agregação de células). A fórmula de cálculo é a seguinte:

$$CONTÁGIO = \left[ 1 + \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \left[ (P_i) \left( \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right] \times \left[ Ln(P_i) \left( \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right]}{2Ln(m)} \right] \times (100)$$

*Contágio* é igual a 1 mais o somatório das abundâncias proporcionais de cada classe de manchas, multiplicado pelo número de adjacências entre células dessa classe e de todas as outras classes, multiplicado pelo Logaritmo da mesma quantidade, somado para todas as classes de manchas, dividido por duas vezes o Logaritmo do número de classes de manchas, multiplicado por 100 (para converter em percentagem). Por outras palavras, o contágio observado sobre o máximo contágio possível, para o determinado número de classes de manchas.

### ***Índice de Inter-Dispersão e Justaposição***

Noroeste	Nordeste	Sul
64.716	72.101	66.761

O índice mede a probabilidade de adjacência das manchas (não de células, pixels) a manchas de todas as outras classes (as adjacências a manchas da mesma classe não são possíveis pois duas manchas da mesma classe não podem ser adjacentes, constituiriam uma só mancha). Nas imagens “raster”, como a que estamos a utilizar, as células internas não são consideradas, somente os perímetros das manchas são considerados. Como este índice é uma medida da adjacência das manchas e não das células, a interpretação é diferente da relativa ao contágio, o Índice de Inter-Dispersão e Justaposição mede o grau de inter-dispersão das manchas (não necessariamente dispersão); valores elevados resultam de paisagens em que as classes de manchas estão bem inter-dispersas (igualmente adjacentes umas às outras), enquanto valores baixos caracterizam paisagens onde as classes de manchas estão mal inter-dispersas (distribuição desproporcional de adjacências de tipos de manchas).

O Índice de Inter-Dispersão e Justaposição não é afectado directamente pelo número, dimensão, contiguidade ou dispersão das manchas, como o índice de Contágio, mas tal como ele é um índice relativo que representa o nível observado de inter-dispersão como uma percentagem da máxima inter-dispersão possível para determinado número de classes de manchas. Mas as diferenças entre Contágio e Índice de Inter-Dispersão e Justaposição são importantes: o Contágio é afectado tanto pela inter-dispersão como pela dispersão, o presente índice é afectado somente pela inter-dispersão e justaposição dos tipos de mancha e, não necessariamente pelo tamanho, contiguidade ou dispersão de manchas. Enquanto este índice mede directamente inter-dispersão de classes de manchas, o Contágio mede uma combinação da inter-dispersão e dispersão (espacial das manchas). Por isso os dois

índices costumam estar inversamente relacionados; contágio alto corresponde a baixa inter-dispersão e vice versa. O valor é de 100 quando todas as classes de manchas são igualmente adjacentes a todas as outras classes (inter-dispersão e justaposição máxima), aproximando-se de 0 (zero) à medida que a distribuição se torna cada vez menos equilibrada.

Desta forma, os valores calculados fazem, mais uma vez, todo o sentido. O sector NE apresenta o valor máximo de inter-dispersão, é onde as manchas têm mais probabilidade de serem adjacentes a um maior número de classes de manchas, como foi referido antes, em função da morfologia espacial do baldio. Há maior diversidade de classes na vizinhança das manchas, o que justifica (também) o valor máximo de complexidade espacial (Índice Médio de Forma ponderado pela Área). O facto deste sector apresentar o valor mais alto de inter-dispersão também é reforçado pelo valor obtido com o Índice Médio de Proximidade, representando menor conectividade e pelo próprio valor do Contágio, inversamente proporcional pois existe grande dispersão espacial das manchas.

Os valores dos sectores NO e Sul também fazem sentido, a dispersão das manchas é menor, embora as densidades de manchas estejam nos dois extremos da escala, sendo que a conectividade máxima do sector NO, a grande dimensão das parcelas e cariz agregado das células (Contágio máximo) acabam por implicar, obrigatoriamente, menor probabilidade de adjacência com um maior número de classes de manchas. Curiosamente, ou talvez não, o Índice de Inter-dispersão apresenta valores próximos nos sectores NO e Sul, o que só pode ser um resultado directo da menor diversidade e “mistura” de tipos de manchas. A fórmula de cálculo é a seguinte:

$$IIDJ = \frac{-\sum_{i=1}^{m'} \sum_{k=i+1}^{m'} \left[ \left( \frac{e_{ik}}{E} \right) \times \text{Ln} \left( \frac{e_{ik}}{E} \right) \right]}{\text{Ln} \left( \frac{1}{2} [m'(m'-1)] \right)} \times 100'$$

*IIDJ* é igual a menos o somatório do comprimento (*e* em metros) da margem de cada classe de manchas, dividido pelo comprimento total de margem da paisagem (*E*), multiplicado pelo Logaritmo da mesma quantidade, somado para cada tipo de margem, dividido pelo Logaritmo do número de tipos de manchas, vezes o número de classes de manchas menos 1, dividido por dois, multiplicado por 100 (para converter em percentagem). Ou seja, a inter-dispersão observada, a dividir pela máxima inter-dispersão possível para determinado número de classes de manchas.

## Diversidade

### Índice de Diversidade de Shannon

Noroeste	Nordeste	Sul
1.794	1.929	1.818

Este índice quantifica a composição da paisagem através da sua diversidade. O índice de Shannon é o mais popular, baseado em teoria da informação, em que o

valor do índice representa a quantidade de “informação” por mancha, sendo informação um conceito matemático excepcionalmente abstracto que não tentaremos definir. O índice é influenciado por duas componentes: riqueza (número de classes de manchas presente – sempre 13 no caso deste “teste” comparativo) associada à composição da diversidade e equidade de distribuição (proporção de área das diferentes classes) associada à componente estrutural da diversidade. O índice é igual a 0 (zero) quando a paisagem só contém uma classe de manchas, aumentando consoante aumenta o número de classes, conforme a distribuição de área pelas várias classes se torna mais equitativa, ou quando ambas aumentam.

Neste caso, em função do que foi dito quanto à complexidade máxima do sector NE (Índice Médio de Forma ponderado pela Área), maior inter-dispersão, menor dispersão espacial (Contágio mais baixo), menor conectividade (Índice Médio de Proximidade) e menor distância ao vizinho mais próximo, o sector NE só poderia ser o que apresenta maior grau de diversidade. Exactamente pelas mesmas razões, segue-se o sector Sul e, por fim, o sector NO: menor número de manchas, manchas de maiores dimensões, menor densidade de margens, Índice de Forma mínimo, dimensão fractal mínima, contágio máximo e inter-dispersão mínima. O sector Sul, embora tenha mais manchas, mais densidade de margens, dimensão fractal máxima e menor distância ao vizinho mais próximo, apresenta menos diversidade de manchas na vizinhança, havendo maior agregação de células nas manchas, embora estas sejam as de menor densidade média. Visto que o número de classes de manchas nos vários sectores é igual, treze classes, o índice tem estes valores em função da equidade de distribuição da área pelas várias classes. A fórmula de cálculo do índice é a seguinte:

$$IDS = -\sum_{j=1}^m (P_j \times \ln P_j)$$

*IDS* é igual a menos o somatório, para todas as classes de manchas, da abundância proporcional de cada classe de mancha multiplicada pelo Logaritmo dessa mesma proporção.

### ***Índice de Equidade de Distribuição de Shannon***

Noroeste	Nordeste	Sul
0.699	0.752	0.709

Como já foi referido, a propósito de uma das componentes do Índice de Diversidade de Shannon, a equidade de distribuição diz respeito à proporção da distribuição de área, por cada classe de manchas, para uma paisagem. A equidade é expressa como o grau de diversidade, dividido pela diversidade máxima possível para determinada riqueza de manchas. A diversidade máxima de riqueza, para qualquer nível de riqueza, baseia-se numa igual distribuição de área para as várias classes de manchas. Logo, a diversidade observada dividida pela máxima diversidade (i.e. distribuição igual), para determinado número de classes de manchas representa a redução proporcional, no Índice de Diversidade, atribuível à falta de equidade na distribuição das áreas. Um facto muito importante é que tanto o Índice de Diversidade como de Equidade não transmitem qualquer informação quanto às

classes mais abundantes, ou quais as que podem ser de maior significado ecológico. O Índice de Equidade é igual a 0 (zero) quando a paisagem só contém uma mancha (nenhuma diversidade) e aproxima-se de 0 (zero) quando a distribuição de área entre as várias classes de manchas se torna cada vez menos equilibrada (dominadas por uma classe). O índice é igual a 1 quando a distribuição de área entre as várias classes é absolutamente igual (as abundâncias proporcionais são iguais para todas as classes). A fórmula de cálculo do índice é a seguinte:

$$IEDS = \frac{-\sum_{j=1}^m (P_i \times \ln P_i)}{\ln m},$$

*IEDS* é igual a menos o somatório, para todas as classes de manchas, da abundância proporcional de cada classe de manchas, multiplicada por essa proporção, a dividir pelo Logaritmo do número de classes de manchas. Representa o Índice de Diversidade de Shannon observado, a dividir pelo Índice de Diversidade de Shannon máximo para determinado número de classes de manchas.

Podem-se então resumir as características fundamentais dos vários sectores, em termos da sua estrutura e padrões espaciais:

#### Sector Noroeste

- Menos manchas, maiores e com variabilidade de dimensão máxima, densidade de margens mínima;
- Complexidade mínima: em termos de índice de forma e de dimensão fractal;
- Distância máxima ao vizinho mais próximo, conectividade máxima (Índice de Proximidade);
- Inter-dispersão mínima, contágio máximo;
- Diversidade mínima, equidade de distribuição mínima.

#### Sector Noroeste

- Situação intermédia, em termos de número de manchas, sua dimensão, variabilidade da dimensão;
- Situação intermédia quanto à complexidade, excepto no Índice de Forma ponderado, as manchas com formas regulares são de pequena dimensão e existem manchas irregulares de dimensões grandes;
- Índice de proximidade mínimo, conectividade menor (mas manchas são mais pequenas), Inter-dispersão máxima, contágio mínimo;
- Diversidade e equidade de distribuição máximas.

#### Sector Sul

- Máximo de manchas, mais pequenas, variabilidade mínima da dimensão, máximo de margens;
- Complexidade máxima, excepto no Índice de forma ponderado, as manchas são pequenas;

- Distância mínima ao vizinho mais próximo, Índice Médio de Proximidade, Inter-dispersão e contágio intermédios;
- Diversidade e equidade de distribuição intermédias.

Complementando a análise destes valores com os valores de uso do solo e análise visual das “paisagens” pode-se, claramente, aprofundar a análise da paisagem de uma forma objectiva, quantitativa e de enorme interesse. Depois desta análise da paisagem como um todo poderia, ainda, passar-se à análise das classes de manchas – em cada paisagem, aplicando quase todos estes índices e muitos outros classe – a - classe. Esta análise das classes constitui outra escala de análise, podendo explicar, classificar e destringir ainda mais e em maior profundidade as semelhanças e diferenças entre paisagens. Infelizmente não há espaço para essa análise neste artigo, certamente no futuro aprofundaremos a análise quantitativa da paisagem, à escala das várias classes de uso do solo – coberto vegetal.

Aqui chegados, depois da aplicação e análise de alguns índices que quantificam a estrutura da paisagem e permitem a análise de padrões espaciais, tornam-se evidentes as vantagens desta abordagem, conceptualizada pela Ecologia da Paisagem mas aplicável estritamente para análise de mosaicos paisagísticos. Estes índices permitem dissecar e aprofundar a análise dos padrões espaciais, constituindo uma clara mais valia na análise do uso do solo – coberto vegetal. Pensamos que resulta clara a sua vantagem como instrumento para a comparação de paisagens diferentes, neste caso, como certamente para a análise de séries multi-temporais.

Partindo do conhecimento numérico e cartográfico de uma porção de território, torna-se possível classificar e interpretar a estrutura e padrões da paisagem, embora em nossa opinião a interpretação se torne delicada sem conhecimento profundo do terreno. Não obstante, por ser uma abordagem nova no contexto dos estudos do uso do solo e sua evolução em Geografia, com claro interesse e vantagens, constitui claramente um novo campo que importa e urge aprofundar e explorar, validar e divulgar.

## WWW

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

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

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

<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

<http://www.envi-sw.com/> - ENVI

<http://www.clarklabs.org/> - IDRISI

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

## Bibliografia

- ADPM – Associação de Defesa do Património de Mértola (1996) “Contributos para Preservação e Valorização do Património Natural do Troço Médio do Vale do Guadiana”, Mértola, ADPM, 99 p.
- CASIMIRO, Pedro Cortesão (1993) “Concelho de Mértola – Geo-Biografia das Mudanças de Uso do Solo”, Lisboa, DGPR – FCSH – UNL, Provas de Capacidade Científica, 220 p.
- CASIMIRO, Pedro Cortesão (2000) “Uso do Solo – Ecologia da Paisagem, Perspectivas de uma Nova Abordagem do Estudo da Paisagem em Geografia”, GeoInova Nº 2, DGPR-FCSH-UNL, Lisboa, pp. 45-65
- DRAMSTAD, OLSON, FORMAN (1996) “Landscape Ecology Principles in Landscape Architecture and Land-Use Planning”, Island Press, Washington, 80 p.
- FARINA, Almo (2000) “Landscape Ecology in Action”, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 317 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.
- GIRARD, M.C.; GIRARD, C.M. (1975) “Applications de la Teledetection à L'étude de la Biosphere”, Paris, Masson, 186 p.
- GIRARD, M.C.; GIRARD, C.M. (1989) “Télédétection Appliquée – Zones Tempérées et Intertropicales”, Paris, Masson, 260 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.
- MANDELROT, B.B. (1983) “The Fractal Geometry of Nature”, Nova Iorque, EUA, W.H. Freeman and Company, 468 p.
- MARSH, W.M. (1997) “Landscape Planning: Environmental Applications”, John Willey, Nova Iorque, 434 p.
- McGARIGAL, Kevin; MARKS, Barbara (1995) “FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure”, General Technical Report PNW-GTR-351, Portland-Oregon, U.S. 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”, 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.
- PENA, A.; GOMES, L.; CABRAL, J. (1985) “Fauna e flora de Mértola - uma perspectiva ecológica do Concelho de Mértola”, Mértola, Campo Arqueológico de Mértola, Câmara Municipal de Mértola, 82 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.
- SEIXAS, J.F. (1998) “Patterns of Heterogeneity Derived from Remote Sensing Images: Implications for the Environmental Assessment of Desertification in Southern Portugal”, Lisboa, FCT – UNL, Tese de Doutoramento, 292 p.
- TURNER, M.G., GARDNER, R.H. (1991) “Quantitative Methods in Landscape Ecology”, Ecological Studies Vol. 82, Springer-Verlag, Berlin, 536 p.