

# **Delimitação de Corredores Verdes Regionais recorrendo a dados Fuzzy e Análise Multi-critério**

José Carlos Ferreira<sup>1</sup>, João Reis Machado<sup>2</sup>, José António Tenedório<sup>3</sup>, Jorge Rocha<sup>4</sup> e Paulo Morgado Sousa<sup>5</sup>

<sup>1 e 2</sup> Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, jcrf@fesh.unl.pt, jmachado@igeo.pt

<sup>3</sup> e-GEO, Centro de Estudos de Geografia e Planeamento Regional, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas – Universidade Nova de Lisboa, ja.tenedorio@fesh.unl.pt

<sup>4 e 5</sup> Centro de Estudos Geográficos, Faculdade de Letras – Universidade de Lisboa, jrocha@fl.ul.pt, pms@fl.ul.pt

## **Resumo**

No contexto das ideias dos finais dos anos oitenta, sobre o desenvolvimento sustentado da paisagem, que assentam na manutenção, preservação e recuperação de espaços vitais ao funcionamento ecológico, surge o conceito de corredor verde, entendido como uma estratégia de ordenamento do território, popularizado como resposta às modernas exigências de compatibilização entre os efeitos espaciais negativos da evolução económica e a necessária salvaguarda da qualidade ambiental. Os corredores verdes podem ser definidos como “espaços livres lineares ao longo de corredores naturais, como frentes ribeirinhas, cursos de água, festos, canais, vias cénicas, linhas férreas convertidas em usos de recreio, que ligam entre si parques, reservas naturais, sítios históricos, património natural e áreas habitacionais”(Magalhães, 1992). A decisão correspondente à escolha entre os vários traçados alternativos, tem por base uma análise multi-critério (AMC).

## **1- Introdução**

As Áreas Metropolitanas continuam a constituir pólos de atracção muito poderosos, que geram grandes pressões sobre o território, responsáveis pela densificação do tecido urbano e pelo aumento exponencial de áreas periurbanas. Nestas áreas de grande concentração, o ordenamento do território nos seus múltiplos aspectos, políticos, económicos, sociais e ambientais, revela-se como um complexo conjunto de actividades fundamentais de coordenação e preparação do futuro.

A evolução demográfica das áreas Metropolitanas do Norte e Centro da Europa, com excepção de Paris, ou se encontra estabilizada ou é negativa. No caso das restantes, os valores mais elevados localizam-se no sul. Entre todos os casos estudados, a AML situa-se no grupo das 12 maiores e apresenta a maior taxa de crescimento populacional. Nesta Área Metropolitana concentra-se grande parte do potencial económico do País (mais de um terço do Valor Acrescentado Bruto Nacional). Para além da importância da indústria, as actividades terciárias, principalmente o comércio, os bancos, os seguros, os serviços sociais e pessoais, detêm mais de 60% do total do emprego do Continente nestes sectores. A AML, juntamente com o Algarve, ocupa as posições mais destacadas no contexto da evolução recente das actividades turísticas em Portugal.

É um facto que as pressões exercidas sobre este território têm entrado na realidade em conflito com os seus valores naturais e culturais. Nos 312 000 hectares da AML as Áreas Protegidas ocupam cerca de 73 000 hectares. Contudo outras áreas deveriam já ter sido protegidas ou reabilitadas. Como resposta a estes factores, assiste-se no século XX, ao aperfeiçoamento de questões ecológicas segundo uma perspectiva holística, promovendo um desenvolvimento sustentado da paisagem, que assentam na manutenção, preservação e recuperação de espaços vitais ao funcionamento ecológico. Nos finais dos anos oitenta, surge o conceito de corredor verde, entendido como uma estratégia de ordenamento do território, popularizado como resposta às modernas exigências de compatibilização entre os efeitos espaciais negativos da evolução económica e a necessária salvaguarda da qualidade ambiental.

Os corredores verdes podem ser definidos como “espaços livres lineares ao longo de corredores naturais, como frentes ribeirinhas, cursos de água, festos, canais, vias cénicas, linhas férreas convertidas em usos de recreio, que ligam entre si parques, reservas naturais, sítios históricos, património natural e áreas habitacionais”. Para a definição da estrutura verde de protecção e valorização da paisagem, que serve de suporte ao planeamento e estrutura de corredores verdes, podem destacar-se quatro sistemas essenciais e complementares: i) linhas; ii) pontos; iii) áreas e iv) matrizes.

A delimitação de um corredor verde baseia-se num grande manancial de informação. O manuseamento dessa informação é tanto mais complexo e moroso quanto maior for o número de variáveis a considerar. Neste sentido, a utilização dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), revela-se essencial visto que permite o manuseamento, a integração e a análise da informação georeferenciada, com rigor, eficácia, versatilidade e rapidez. Considerando o pressuposto anterior, recorreu-se à tecnologia SIG para a construção de uma base de dados espaciais de suporte à proposta de delimitação de uma rede de corredores verdes na Área Metropolitana de Lisboa.

Para aferir a aptidão de cada porção de terreno (pixel), num dado contexto temático (*layer*), para integrar o(s) corredor(es) verde(s), optou-se por uma lógica fuzzy. A principal motivação para o fazer partiu das limitações das representações exactas (tipicamente realizadas por meio de polígonos), pois quando o conceito de heterogeneidade da Paisagem é estendido para lá da geografia, geomorfologia e comunidades vegetais, para níveis em que o que constitui uma «mancha» torna-se visualmente menos óbvio, os métodos quantitativos assumem enorme importância. Segundo Burrough, “os limites desenhados em mapas temáticos (como solo, vegetação, ou geologia) raramente são precisos e representar as suas fronteiras como linhas finas muitas vezes não traduz adequadamente as suas características. Assim, talvez não nos devamos preocupar tanto com localizações exactas e representações gráficas elegantes. Se pudermos aceitar que limites precisos entre padrões de vegetação e solo raramente ocorrem, estaremos livres dos problemas associados aos erros topológicos decorrentes das operações de análise espacial” (Burrough, 1986).

A decisão correspondente à escolha entre os vários traçados alternativos, tem por base uma análise multi-critério (AMC). Esta análise, conjuga, de acordo com o objectivo especificado, um conjunto de critérios de forma a alcançar uma base composta de suporte à decisão. Por exemplo, decidir quais as áreas mais indicadas para a implementação de corredores verdes. Os critérios correspondem a layers como a proximidade a linhas de água, as zonas de infiltração máxima ou as áreas protegidas. Recorrendo à AMC, estes layers representativos das localizações óptimas (tendo em conta um determinado critério), podem ser combinadas de forma a originar um único mapa de aptidão a partir do qual a escolha de localização do corredor verde pode ser tomada.

## 2 - Área de estudo e informação de base

A relação que o Homem estabelece com a superfície terrestre gera a dinâmica que anima os espaços, os quais, quando alvo das acções humanas, deixam de ser naturais para progressivamente se tornarem em espaços humanizados. Com o decorrer dos tempos, o Homem foi assumindo uma postura cada vez mais intervencionista sobre o meio, relegando para segundo plano uma atitude passiva face ao quadro natural. Paralela e complementarmente aos agentes naturais, a acção humana foi contribuindo para a modelação da paisagem imprimindo-lhe um cunho crescentemente artificial.

O crescimento e o desenvolvimento de que a Área Metropolitana de Lisboa (AML) vem sendo alvo traduz-se, directamente, em alterações morfo-funcionais e em dinâmicas espaciais próprias, as quais, quando objecto de, adquirem conteúdo semântico nunca menos confuso do que os próprios conceitos de “crescimento” e “desenvolvimento” comportam. O crescimento de uma região, mesmo numa perspectiva geográfica do termo, é por vezes confundido - de forma voluntária ou involuntária - com crescimento “económico”. Tal pressuposto é de uma gravidade atroz, tanto mais se reportado aos princípios que balizam as metodologias de ordenamento e planeamento territorial, sendo as suas repercussões por demais reconhecidas sobretudo quando traduzidas em assimetrias espaciais que espelham a produção de segregação funcional, social e paisagística.

No contexto das ideias dos finais dos anos oitenta, sobre o desenvolvimento sustentado da paisagem, que assentam na manutenção, preservação e recuperação de espaços vitais ao funcionamento ecológico, surge o conceito de corredor verde, entendido como uma estratégia de ordenamento do território, popularizado como resposta às modernas exigências de compatibilização entre os efeitos espaciais negativos da evolução económica e a necessária salvaguarda da qualidade ambiental.

A elaboração dessas estratégias necessita de um grande manancial de informação. O manuseamento dessa informação é tanto mais complexo e moroso quanto maior for o número de variáveis a considerar. Neste sentido, a utilização dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), revela-se essencial visto que permite o manuseamento, a integração e a análise da informação georeferenciada, com rigor, eficácia, versatilidade e rapidez. Considerando o pressuposto anterior, recorreu-se à tecnologia SIG para a construção de uma base de dados espaciais de suporte à proposta de delimitação de uma rede de corredores verdes na AML.

### *A Área Metropolitana de Lisboa (AML)*

A AML engloba 19 municípios e a sua criação surgiu da necessidade de ordenamento de um espaço geográfico de vital importância no contexto nacional, sendo o maior centro urbano e industrial do país. O seu desenvolvimento, além de benefícios, originou também uma estrutura regional desequilibrada, com efeitos graves de ordem económica, social e ambiental. O intenso crescimento urbanístico, associado à ausência ou fraca qualidade de planeamento e de declínio da actividade agro-florestal, deu origem a uma paisagem urbana periférica desqualificada no que se refere à qualidade de vida urbana, à degradação de recursos e processos naturais e paisagísticos e à intensificação de impactes ambientais adversos. Um exemplo é a enorme carência de espaços verdes urbanos de recreio e lazer, tendo em conta o número de habitantes existente. As autarquias têm procurado dar resposta a todas estas preocupações, mas o planeamento é feito, muitas vezes, “de costas voltadas” relativamente aos concelhos contíguos, não tendo em conta aspectos de complementaridade e/ou continuidade da estrutura verde, assim como de condições de aptidão adequada.

Desta forma, torna-se necessário ter em conta estudos básicos e processos de planeamento integrado, a nível municipal e supramunicipal, para o estabelecimento de uma estrutura verde com múltiplas dimensões - protecção de recursos, recreio e lazer, estabilidade ecológica, requalificação do que resta da paisagem cultural e agrícola e protecção do património natural e construído. O conceito de Corredores Verdes surgiu para dar resposta às modernas exigências de compatibilização entre os efeitos espaciais negativos da evolução económica e a necessidade da salvaguarda da qualidade ambiental. Com efeito, nas regiões de maior concentração populacional, o alastramento da urbanização, se não for orientado por uma estrutura clara de grandes e pequenos espaços, corre o risco de destruir na sua passagem todos os recursos indispensáveis a um desenvolvimento sustentável. É nesta perspectiva que o conceito de corredores verdes pretende constituir uma alternativa à situação actual.

Pensa-se que a filosofia dos corredores verdes poderá constituir uma forma de interligação das questões do planeamento ambiental e paisagístico, procurando dar uma estrutura de continuidade e convergência às estratégias de intervenção em matéria de ordenamento do território e de ambiente, na AML. Actualmente, as referências de integração deste tipo de políticas têm apenas destacado as questões relacionadas com transportes, rede viária e saneamento básico. Para atingir esse objectivo, e como foi já referido, torna-se necessária uma visão integradora e holística por parte das várias entidades gestoras do território metropolitano, como Autarquias Locais, Junta Metropolitana e organismos da Administração Central, procurando-se inverter o caminho que nesta área tem sido seguido, de considerar predominantemente os sistemas ambientais à escala municipal, sem ter em conta interdependências que não se coadunam com os limites administrativos. Este facto permite assegurar uma maior eficácia na definição dos corredores verdes e no cumprimento dos seus objectivos. Foi neste sentido que se desenvolveu uma metodologia que visa o estabelecimento de uma Rede de corredores verdes para toda a Área Metropolitana de Lisboa. O principal objectivo inerente foi a elaboração de uma proposta de Ordenamento do Território que possa gerir o crescimento da AML no final deste século, tendo como base o conceito de Corredores Verdes.

#### *Informação de Base*

Nesta fase, estabeleceu-se um macrozonamento assente numa plataforma de dados correspondentes à cartografia de base, à escala 1: 25 000, contendo dados relativos aos seguintes temas: Hidrografia, Linhas de Costa, Altimetria, Geologia, Tipo de Solos, Capacidade de Uso do Solo, Rede Viária, Divisão Administrativa, etc. Sobre esta plataforma de base de dados foi ainda integrada informação sobre a Reserva Ecológica Nacional (REN), Reserva Agrícola Nacional (RAN), Planos Directores Municipais (PDM), Património e áreas de uso actual do solo segundo o Projecto CartusAML.

Assim, procedeu-se à análise, cruzamento e selecção de informação (Tabela 1), segundo a sua relevância para a definição de áreas que, devido às suas características específicas, devem integrar as várias tipologias de um sistema verde. Estas tipologias, que se podem traduzir em objectivos, foram definidas tendo em conta os recursos existentes no concelho de Almada. Estes são a protecção de recursos naturais, a protecção e valorização do património cultural e paisagístico e a vocação para o recreio.

Na tentativa de atingir estes objectivos, procedeu-se primeiramente à delimitação dos condicionantes regulamentares enquadrados em figuras de salvaguarda de recursos naturais, culturais e paisagísticos, como a RAN, REN, áreas protegidas e elementos de património cultural. Foram depois considerados outros elementos significativos, no contexto da protecção e valorização da paisagem, aspectos relacionados com o recreio, e outros considerados fundamentais para a apreciação global do funcionamento e evolução da paisagem do concelho

de Almada, como a demografia, a evolução do uso do solo, etc. Estes últimos extremamente importantes para a determinação das áreas mais problemáticas, a nível de pressão urbanística, e de carência em espaços de verdes de utilização pública.

**Tabela 1. Organização da informação utilizada na análise multi-critério**

<b>Informação</b>	<b>Pontos</b>	<b>Linhas</b>	<i>Áreas</i>
<b>Estruturante</b>		Rede Viária, Linha Costa Hidrografia	
<b>Suporte</b>	Património		<i>PDM; RAN; REN; Áreas Protegidas; Zonas de Protecção Especial (ZPE)</i>
<b>Derivada</b>			<i>Festos; Talvegues</i>

a) Delimitação da RAN - Para a delimitação da RAN, seleccionaram-se os solos de elevada capacidade de uso assim como os solos pertencentes à classe Ch, por integração específica (alínea c) do artº 6, Dec.-Lei nº 196/89. Deveriam ser considerados também os solos de baixas aluvionares e coluviais, mas a ausência desses dados, não permitiu a sua integração.

b) Delimitação da REN - Para a delimitação da carta da REN os seus constituintes foram identificados, isoladamente, sendo posteriormente agregados até ao seu estabelecimento total. Estes foram integrados na REN tendo em conta a sua susceptibilidade relativamente a dois processos distintos, a ocorrência de cheias e poluição de aquíferos (áreas de infiltração máxima, leitos dos cursos de água) e os processos erosivos (áreas declivosas, a arriba e sua faixa de protecção e a faixa de protecção do estuário). Este facto, permite diferenciar condicionalismos distintos, no que se refere ao tipo de uso e protecção dos recursos em causa.

Para a identificação das áreas de máxima infiltração, recorreu-se primeiramente à carta geológica, da qual se extraíram as seguintes classes, aluviões, areias de dunas e praias, dunas, calhaus e areias, que correspondem às zonas mais permeáveis do concelho. A sua determinação baseou-se na permeabilidade dos litofácies (formações geológicas) e a sua vulnerabilidade à contaminação. Este aspecto é extremamente importante, na medida em que, a elevada permeabilidade de uma formação geológica se traduz numa maior vulnerabilidade de contaminação de um aquífero. Além das áreas permeáveis, consideraram-se os declives, nomeadamente os inferiores a 5% como favoráveis à infiltração. A intersecção desta informação permitiu definir as áreas de máxima infiltração.

Para a definição dos leitos dos cursos de água, estabeleceu-se um buffer de 10m ao longo dos mesmos, correspondendo à distância estabelecida pelo domínio público hídrico, e que consequentemente permite apoiar a implementação de medidas de salvaguarda e protecção destes recursos. Para a determinação das áreas com riscos de erosão, consideraram-se as manchas de solos pertencentes às classes De e Ee, as manchas de estrutura complexa compostas pelas classes De e Ee, assim como a classe Ce, quando em associação com as anteriores. Refira-se que o índice e identifica os solos com limitações resultantes de processos erosivos. Como foi referido na análise biofísica, no concelho predominam os solos com este índice, tendo-se por isso cruzado esta informação com a classe de declives superiores a 15%, considerada neste caso como limite a partir do qual existem riscos de erosão, de forma a incluir o maior número de solos sujeitos a estes riscos.

c) Delimitação de áreas com interesse patrimonial - A avaliação destas áreas baseou-se em primeiro lugar no património classificado pelo IPPAR, nas zonas de maior concentração de elementos patrimoniais e nos elementos de maior interesse a integrar um sistema de corredores verdes. Nos elementos classificados marcou-se a respectiva faixa de protecção, segundo o artº 22 do Dec. -Lei nº 13/85, que refere uma zona de protecção de 50 m, contados a partir dos

limites exteriores do imóvel, quando estes não tiverem fixada uma zona especial de protecção. Devido ao aspecto gráfico dos elementos patrimoniais, representados por pontos, esta faixa de protecção não possui expressão, sendo estes elementos diferenciados através da cor.

As zonas de elevada densidade de património foram definidas quando os elementos de património se encontravam a menos de 400 m uns dos outros. Este valor foi estabelecido respeitando a extensão máxima confortável para percursos pedonais. Tendo em conta os objectivos deste trabalho, os elementos patrimoniais considerados de maior interesse, foram os núcleos históricos, as quintas e moinhos. Estes foram marcados com cores diferentes, permitindo salientar a sua localização relativamente aos outros elementos de património, e também posteriormente em relação a outros elementos a integrar os outros objectivos propostos.

d) Determinação das áreas com vocação para o recreio - Para a determinação dos elementos com potencialidades para o recreio consideraram-se três componentes: áreas de interesse turístico existentes, áreas de vegetação consideradas com aptidão para actividades recreativas e os espaços de equipamentos existentes com fins recreativos. As áreas de interesse turístico são, inegavelmente, os extensos areais ao longo da costa, constituindo o mais importante espaço lúdico-balnear da AML. Associadas às praias estão várias actividades recreativas e desportivas como windsurf, esqui aquático, pesca, campismo, etc. Refira-se no entanto que a utilização das praias tem trazido consequências negativas, como a destruição parcial do sistema dunar, devido ao intenso pisoteio.

A utilização das matas adjacentes à linha de costa, essencialmente constituídas por pinheiros, como complemento da actividade balnear, constituiu desde sempre um aspecto importante, demonstrando a potencial extensão da zona recreativa, viabilizando um maior número de actividades passíveis de desenvolver. No entanto, e como aconteceu com o sistema dunar, algumas destas áreas foram sujeitas a utilização intensa, sem que houvesse quaisquer infra-estruturas de apoio capazes de impedir o desrespeito por áreas de grande valor paisagístico.

Embora se tenham considerado várias manchas de vegetação como potenciais áreas recreativas, reconhece-se que nem todas possuem a mesma aptidão. As acácias não constituem áreas de particular interesse recreativo, mas considerando uma possível substituição gradual desta espécie por outras espécies características da região e a sua localização estratégica, estas áreas seriam consideradas excelentes recursos naturais, paisagísticos, e claro, recreativos. Tendo em conta a expansão das áreas urbanas considerou-se importante preservar as manchas de vegetação dispersas pelo concelho, actualmente bastante ameaçadas pela urbanização, e que representam espaços passíveis de implementação de áreas de lazer, praticamente inexistentes, nas áreas de maior grau de edificação.

Os últimos componentes considerados como áreas de interesse recreativo foram os espaços públicos, mais precisamente os espaços de recreio e lazer e os espaços de equipamentos existentes. Após a definição destes níveis correspondentes aos objectivos propostos, procedeu-se à sua integração numa única carta, definindo o mosaico total dos recursos a apoiar a definição de uma rede de corredores verdes para a AML.

Da análise desta carta síntese pode verificar-se a sobreposição de recursos pertencentes a níveis diferentes, o que demonstra a aptidão desses mesmos recursos para vários objectivos. Esta situação é bastante evidente na área de paisagem protegida da Arriba fóssil. Desta forma, pode perceber-se também a necessidade de regradar o uso de algumas destas áreas, nomeadamente aquelas cujo objectivo primordial é a protecção. Aí, o uso recreativo deverá ser muito bem regulamentado, para evitar a degradação dos recursos, que constituem eles próprios os principais atractivos da região.

### 3 - Análise Multi-Critério (AMC)

Uma decisão corresponde a uma escolha entre várias alternativas, sejam elas relacionadas com acções, localizações, ou qualquer outra temática. Na base de cada decisão está um critério. A análise multi-critério (AMC), pega precisamente nesta premissa para tentar conjugar, de acordo com um objectivo específico, um conjunto de critérios de forma a alcançar uma base composta de suporte à decisão. Por exemplo, decidir quais as áreas mais indicadas para a implementação de corredores verdes. Os critérios correspondem a layers como a proximidade a linhas de água, as zonas de infiltração máxima ou as áreas protegidas. Recorrendo à AMC, estes layers representativos das localizações óptimas (tendo em conta um determinado critério), podem ser combinadas de forma a originar um único mapa de aptidão a partir do qual a escolha de localização do corredor verde pode ser tomada.

A natureza dos critérios pode tomar duas formas: factores e condicionantes. Os factores são por natureza contínuos (como o gradiente de declives ou a proximidade às estradas), indicando a aptidão relativa de certas áreas. Por outro lado, as condicionantes ou constrangimentos, são sempre de carácter booleano (como as áreas urbanas). Estas servem para excluir certas áreas de consideração, aquando do processo de avaliação.

A AMC permite combinar os factores e os constrangimentos de três formas diferentes, cada uma delas caracterizada por um diferente grau de interacção entre os factores e o nível de risco assumido no processo de combinação das variáveis. Neste método a interacção corresponde ao grau com que um factor pode compensar outro; o grau de compensação é definido por um conjunto de pesos, atribuídos a cada factor (indicando a importância de cada factor para o objectivo em consideração: um só factor de média importância e com um peso alto pode compensar vários de peso baixo e elevada importância) e normalizados para que o seu somatório corresponda à unidades.

Para além das interacções, a AMC é caracterizada por alguns níveis de risco assumido que irão influenciar de forma bastante forte o mapa final de aptidão. Por análise de baixo risco considera-se aquela onde a área com maior importância no resultado final é minimizada em virtude de ter obrigatoriamente grande aptidão em todos os factores. Uma análise de alto risco maximiza a área de grande importância dado que qualquer área que detenha uma grande aptidão num dos factores, manterá forte presença no mapa final.

Para proceder à AMC é preciso definir o procedimento a utilizar (Intersecção Booleana, Combinação Linear Ponderada, Média Ponderada e Ordenada) e seleccionar a informação a utilizar (factores e constrangimentos), mas antes é necessário normalizar cada um dos mapas relativos aos factores para que a informação adquira um carácter contínuo e encontrar os pesos para os factores. A normalização pode ser obtida através da análise fuzzy, recorrendo a um conjunto de funções de pertinência (linear, sigmoidal, em J e definida pelo utilizador) e, uma vez finalizada, desenvolve-se um conjunto de pesos (ponderações) que, como já foi referido, indicam a importância relativa de cada factor face à decisão em análise.

#### *Análise espacial multi-critério com recurso a dados indiferenciados (Fuzzy)*

Nos últimos anos a geografia quantitativa tem procurado, cada vez mais, o suporte computacional, registando-se um acréscimo na disseminação das metodologias de análise espacial com base em suporte informático, dando origem a uma nova área de conhecimento. Da premente necessidade de catalogar esta nova área inter-disciplinar, para que não fosse catalogada como uma simples extensão das técnicas estatísticas para análise de dados espaciais, nasceu a designação geocomputação. Proposta por Stan Openshaw, esta designação tem ganho uma crescente aceitação no meio, visto permitir enquadrar esta ciência, no seio das

tecnologias de informação geográfica.

Este termo descreve o uso de métodos que recorrem intensivamente a computadores tendo em vista a perscrutação de conhecimento em geografia, com especial destaque para aqueles que utilizam formas de clustering não convencionais e/ou técnicas de análise. Ultimamente, esta definição enquadrou-se num contexto bastante mais lato, que envolve a análise espacial, a modelização dinâmica e a visualização da dinâmica espaço-tempo, passando a combinar abordagens recorrentes dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) com outras emergentes no seio dos princípios da teoria do Caos, nomeadamente os algoritmos genéticos - autómatos celulares (ou agentes autónomos), fractais e a lógica fuzzy (confusa, pouco nítida, nebulosa, indiferenciada, etc.)

No caso da lógica fuzzy, a motivação básica parte das limitações das representações exactas (tipicamente realizadas por meio de polígonos), pois “quando o conceito de heterogeneidade da Paisagem é estendido para lá da geografia, geomorfologia e comunidades vegetais, para níveis em que o que constitui uma «mancha» se torna visualmente menos óbvio, os métodos quantitativos assumem enorme importância”. Segundo Burrough, “os limites desenhados em mapas temáticos (como solo, vegetação, ou geologia) raramente são precisos e representar as suas fronteiras como linhas finas muitas vezes não traduz adequadamente as suas características. Assim, talvez não nos devemos preocupar tanto com localizações exactas, e representações gráficas elegantes. Se pudermos aceitar que limites precisos entre padrões de vegetação e solo raramente ocorrem, estaremos livres dos problemas associados aos erros topológicos decorrentes das operações de análise espacial” (Burrough, 1989).

Um vasto grupo de algoritmos utilizados em análise espacial parte do princípio que as regiões são compostas por um número de classes únicas e internamente homogéneas, o que por diversas vezes se tem provado que não corresponde à realidade. Face a esta constatação têm sido propostas diversas abordagens para adaptar os classificadores aos respeito a fenómenos ambientais, naturais e antropogénicos, considerando-se que são indiferenciados (fuzzy) porque permitem atribuir a cada pixel propriedades múltiplas ou parciais relativamente à hipotética classe em que se enquadram. Assim considera-se que o conceito de conjunto de dados indiferenciados (ou indistintos) é preponderante para este tipo de classificação. Pode-se então afirmar que as classes não têm limites abruptos, a transição entre pertencer-lhes e não lhes pertencer é gradual, embora, em casos excepcionais, possam existir classes com limites abruptos. A esta característica, diga-se de inclusão (também conhecida como probabilidade), são atribuídos valores de 0 a 1.

Em resumo, “dado que existe um grau significativo de indefinição quanto aos limites e fronteiras – físicos, conceptuais e temáticos – dos objectos ou conjuntos de objectos a classificar, pode adoptar-se uma abordagem conceptual diferente, pois nalguns casos não há limites nítidos, marcados, mas sim difusos”. Os conjuntos (ou classes) fuzzy são conjuntos sem fronteiras – transições - abruptas; isto é, a transição entre a pertença e a não pertença de uma localização num conjunto é gradual. Um conjunto fuzzy é caracterizado por um grau de pertença fuzzy (também designado de possibilidade) que varia entre 0.0 e 1.0 (ou 0 e 255), indicando um incremento contínuo da não-pertença até à pertença completa. A função fuzzy corresponde a “um tipo de imprecisão caracterizadora de classes que, por várias razões, não têm ou não podem ter fronteiras nítidas. Estas classes definidas de uma forma inexata são definidas como «fuzzy sets». A «Fuzziness» é frequentemente conotada com complexidade, sendo apropriado utilizar «fuzzy sets» sempre que se tem de lidar com ambiguidade e ambivalência em modelos conceptuais ou matemáticos de fenómenos empíricos...” (Burrough & Frank, 1996).

A lógica fuzzy avalia a possibilidade de cada pixel pertencer a a um conjunto fuzzy através da análise de toda a série de funções de pertença fuzzy. O papel da função de pertença fuzzy na

Avaliação Multi-Critério é o de normalização das variáveis. Identificar exactamente, qual a função a utilizar, depende do conhecimento e da compreensão da relação entre os critérios e o conjunto de decisões, bem como da disponibilidade de informação para inferir o grau de pertença fuzzy. Na grande maioria dos casos, as funções sigmoidal ou linear, são suficientemente adequadas à modelação da realidade.

#### *Definição dos pesos das variáveis*

Os pesos são utilizados para desenvolver um conjunto de ponderações relativas para um grupo de factores que vão servir como dados de entrada para a avaliação multi critério (AMC). Estes pesos são definidos através de um conjunto de comparações de pares de variáveis (cada uma é comparada com todas as outras), obtendo-se a importância relativa dos factores em termos da identificação de cada pixel com a actividade em estudo. As comparações são depois analisadas e normalizadas de forma a constituírem pesos cuja soma corresponda à unidade. O procedimento segundo o qual os pesos são identificados foi desenvolvido por Saaty (1977) sob a alçada do Processo Hierárquico Analítico (PHA).

Para proceder à comparação de pares de ficheiros é necessário elaborar uma matriz de avaliação contendo todos os factores em análise. Esta matriz representa a metade inferior (visto que a superior é simétrica) da verdadeira matriz de comparação de pares de ficheiros. As células da matriz vão conter a avaliação encontrada para cada par de possíveis comparações. No preenchimento destes espaços considera-se a importância relativa da variável representada na linha relativamente à representada na coluna (obviamente a relação entre uma variável e ela própria corresponde ao valor 1).

Depois de preenchida a matriz de comparação (Tabela 2), os pesos individuais de cada factor podem ser calculados. Para além disso, o valor de consistência da matriz é avaliado. Este valor indica a probabilidade de os pesos terem sido atribuídos aleatoriamente: valores menores que 0,1 indicam uma boa consistência, enquanto que os valores superiores a esse valor indicam que a matriz deve ser reavaliada. Os pesos gerados (Tabela 3) são criados a partir do vector próprio principal da matriz de pares de comparações, ao passo que o índice de consistência advém da criação de um novo conjunto de rácios baseados nos pesos encontrados; é calculada a razão entre um peso da comparação e o outro, avaliando-se a diferença entre este cálculo e o original.

A matriz de consistência permite observar até que ponto os rácios individuais necessitam de ser modificados para serem perfeitamente consistentes com a melhor compatibilização de pesos obtida. Se o rácio geral de consistência for superior a 0,1 tem que se identificar a comparação de pares com o maior desvio, ou seja, o rácio menos consistente (a matriz contém a variedade de formas como cada par pode ser comparado). Este desvio, indica o grau de alteração que o rácio em questão tem de sofrer para se tornar consistente com a compatibilização de pesos óptima. Se, por exemplo, o referido valor for de -2, isso significa que será necessário mover dois pontos abaixo na escala, ou de forma mais prática, decrescer de 5 para 3 na escala, ou de 1/3 para 1/5.

Como indicado anteriormente, a questão que se coloca em seguida na AMC é como combinar a informação proveniente de diversos critérios de forma a criar um único índice de aptidão (A). No caso da abordagem booleana (constrangimentos), a solução encontra-se geralmente na união (operador lógico OR), ou intersecção (operador lógico AND) das condições. No entanto, para calcular a aptidão para factores contínuos (ex. dados fuzzy) utiliza-se com maior frequência uma combinação linear ponderada. Este procedimento é usual em SIG, sendo na sua essência, bastante similar a uma equação de regressão.

**Tabela 2. Matriz de comparação entre os níveis de informação**

Factor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1 - agroflo_pdm_fuzzy	1												
2 - areas_protg_fuzzy	1,2	1											
3 - cabecos_fuzzy	1,7	1,4	1										
4 - florest_pdm_fuzzy	2,2	1,5	1,4	1									
5 - hidro_fuzzy	2,9	2,2	2,1	1,5	1								
6 - litoral_fuzzy	3,8	3,6	3,1	2,1	1,4	1							
7 - patrim_fuzy	4,9	4,7	5,8	2,9	1,5	5	1						
8 - ran_fuzzy	6,5	6,2	5,4	4	2,6	5	5	1					
9 - rede_natura_fuzzy	8,5	8,2	7,6	5,5	3,6	5	5	1,4	1				
10 - ren_fuzzy	9	9	9	7,3	4,9	5	5	2,0	1,4	1			
11 - sist_humido_fuzzy	9	9	9	9	6,6	5	5	2,8	1,9	1,3	1		
12 - vias_fuzzy	9	9	9	9	8,9	5	5	3,7	2,5	1,8	1,3	1	
13 - zpe_fuzzy	9	9	9	9	8,2	5	5	5	3,4	2,4	1,7	1,3	1

**Tabela 3. Peso relativo de cada variável**

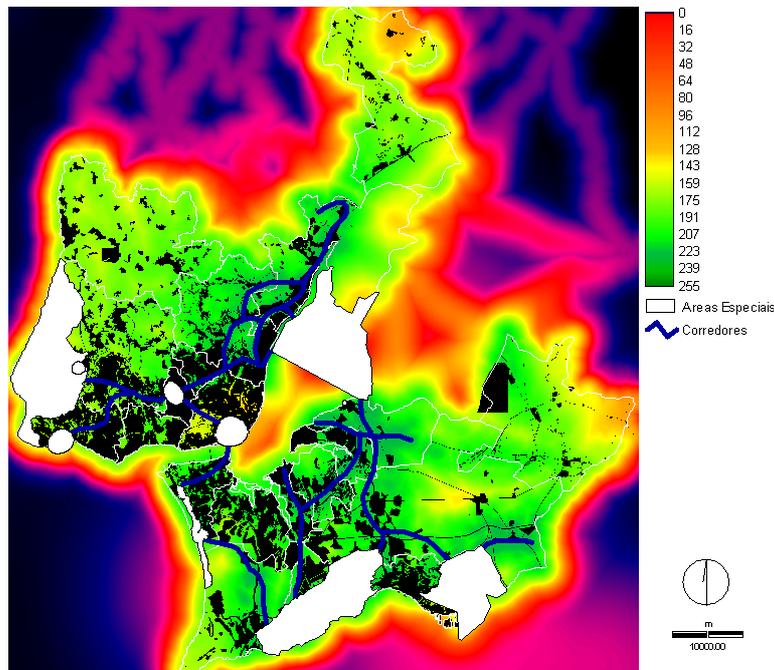
Factor	Vector Próprio (peso)
agroflo_pdm_fuzzy	0,0117
areas_protg_fuzzy	0,0128
cabecos_fuzzy	0,0141
florest_pdm_fuzzy	0,0178
hidro_fuzzy	0,0251
litoral_fuzzy	0,0304
patrim_fuzy	0,0478
ran_fuzzy	0,0806
rede_natura_fuzzy	0,1022
ren_fuzzy	0,1242
sist_humido_fuz	0,1484
vias_fuzzy	0,1776
zpe_fuzzy	0,2075

#### 4 -Avaliação dos resultados

Nesta fase estabeleceu-se um “Plano Esquemático de Corredores Verdes” adoptando uma metodologia de aproximações sucessivas que conduziisse posteriormente à identificação de lacunas - gaps , ao estabelecimento de áreas a valorizar e a proteger, bem como à eliminação de eventuais barreiras que impedissem o estabelecimento de ligações entre os espaços já protegidos. O cruzamento de todos estes dados resultou numa plataforma-base, possibilitando a construção de alternativas do plano esquemático. Numa segunda fase, procedeu-se ao processo de gap-analysis, ou seja, perante a identificação de todos os valores, verificaram-se quais os que já se encontravam protegidos. Deste modo, identificou-se a inexistência de ligações entre os valores protegidos, assim como a identificação dos valores não protegidos. Na terceira fase, tentaram-se algumas alternativas de traçado de “Redes de Corredores Verdes” para a AML.

Esta iniciativa de estabelecimento de uma rede de corredores verdes para toda a AML (Figura 1) constituiu uma excelente oportunidade para a consideração deste conceito, no âmbito do ordenamento do território, de uma forma global, tentando por em prática recomendações já anteriormente explicitadas. Além disso, permitiu pela primeira vez a utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) em Portugal, num estudo ao nível regional à escala 1:25 000. Este facto demonstrou as possibilidades dos SIG na simulação, em múltiplos aspectos e de forma visualmente clara, da realidade complexa que é a AML.

Seguidamente referem-se as conclusões elaboradas no final de todo o processo descrito anteriormente: 1) Na identificação da Rede de Corredores Verdes para a AML constatou-se a ocorrência simultânea de recursos naturais fundamentais e áreas ecologicamente sensíveis, o que constitui a base fundamental de uma rede de corredores verdes; 2) A constituição de uma rede implica a existência de um conjunto de núcleos, que na AML podem corresponder precisamente às Áreas Protegidas; 3) Verificou-se que a maioria dos sítios históricos ocorrem ao longo da rede esquemática proposta.



**Figura 1. Traçado esquemático de corredores verdes para a AML**

Estas conclusões vão ao encontro do estado actual dos conhecimentos no domínio do planeamento das redes de corredores verdes, demonstrando a viabilidade desta proposta. Posteriormente, será necessária uma abordagem mais detalhada e completa, não só ao nível regional mas também ao nível municipal e local para definir com mais detalhe as áreas a integrar nos corredores verdes e os projectos necessários para a transformação ou reabilitação de algumas dessas áreas.

## **5 - Bibliografia**

- Bailey, T. & Gattrel, A. (1995): *Spatial Data Analysis by Example*. London, Longman.
- Buckley, J.J. (1984): The multiple judge, multiple criteria ranking problem: a fuzzy set approach. *Fuzzy Set and Systems*. 13: 25-37.
- Burrough, P.A. (1986): *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford, England, Oxford University Press.
- Burrough, P.A. (1989): Fuzzy Mathematical Methods for Soil Survey and Land Evaluation. *Journal of Soil Science* 40, 477-492, p. 481.
- Burrough, P.A. & Frank, A. (1996): *Geographic Objects with Indeterminate Boundaries*. London, Taylor & Francis.

- Dramstad, W.E., Olson, J.D. & Forman, R. (1996): Landscape Ecology Principles in Landscape Architecture and Land-Use Planning, Harvard University, Island Press e American Society of Landscape Architects, 80 p.
- Eastman, J.R. *et al.* (1995) : Raster Procedures for Multi-Criteria/Multi-Objective Decisions. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 61(5), 539-547.
- Eastman, J.R., Kyem, P.A.K. & Toledano, J. (1993): A Procedure for Multi-Objective Decision Making in GIS Under Conditions of Competing Objectives. *Proceedings, EGIS'93*, 438-447.
- Forman, R. & Gordon, M. (1986): *Landscape Ecology*, New York, John Wiley & Sons, 619 p.
- Getis, A. & Ord, J.K. (1996): Local spatial statistics: an overview. In: P. Longley and M. Batty (ed). *Spatial Analysis: Modelling in a GIS Environment*. New York, John Wiley, pp. 261-277.
- Goodchild, M. (1988): A spatial analytic perspective on geographical information systems, *International Journal of Geographical Information Systems*, v.1, p.327-334.
- Goovaerts, P. (1997): *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. New York, Oxford Univ. Press.
- Lee, N.S., Grize, Y.L. & Dehnad K. (1987): Quantitative models for reasoning under uncertainty in knowledge-based expert systems. *International Journal of Intelligent Systems*. II, 15-38.
- Leung, Y. (1983): Fuzzy sets approach to spatial analysis and planning--a nontechnical evaluation. *Geografiska Annaler* 65B(2), 65-75.
- Magalhães, M.R. (1992): *Estrutura Verde Urbana, Provas de Aptidão Pedagógica e Científica*, ISA/UTL, Lisboa.
- NRC - National Research Council (1997): *Rediscovering Geography – New Relevance for Science and Society*, Washington D.C., National Academy Press, p. 234.
- Openshaw, S. & Openshaw, C. *Artificial Intelligence in Geography*. Chichester, John Wiley, 1997.
- Saaty, T.L. (1977): A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. *J. Math. Psychology*, 15, 234-281.
- Schmucker, K.J. (1982): *Fuzzy Sets, Natural Language Computations and Risk Analysis*, Computer Science Press.
- Searns, R.M. (1995): The evolution of greenways as an adaptative urban landscape form. *Landscape and Urban Planning*, Amsterdam, Vol.33, N°1-3, pp. 65-80.
- Voogd, H. (1983): *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*. Pion, Ltd., London.
- Zadeh, L.A. (1965): Fuzzy sets. *Information and Control*. 8, 338-353.