

# Modelação da vegetação potencial da Serra da Lousã e a sua aplicação no contexto da restauração de ecossistemas florestais

Cátia Louro; Paula Sobral; Teresa Calvão

Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2829-516 Campus de Caparica, Portugal

Este artigo baseia-se no trabalho realizado no âmbito da dissertação "Modelação da vegetação potencial da Serra da Lousã e a sua aplicação no contexto da restauração de ecossistemas florestais" apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, perfil Engenharia Ecológica.

## Resumo

O estudo da vegetação potencial de uma área florestal é importante para, no âmbito da sua restauração, efectuar a escolha de espécies adequadas que possam contribuir para a expansão de núcleos existentes de vegetação nativa, tirando partido dos processos de regeneração natural que aí ocorrem. A definição de um modelo preditivo da distribuição da vegetação potencial para a área de estudo teve por base a correspondência entre os factores ambientais que definem as condições locais e os requisitos ecológicos de espécies que constituem a vegetação potencial da área de estudo, correspondente à vegetação dominante dos habitats naturais do Sítio de Interesse Comunitário (SIC) Serra da Lousã.

Foi efectuada uma análise preliminar da distribuição da vegetação potencial com base nos requisitos ecológicos das espécies consideradas, seguida de uma análise exploratória, que incluiu a análise da variância, ANOVA a um factor, e a Análise de Componentes Principais e por fim a aplicação de modelos estatísticos e de métodos de interpolação.

Foi possível obter modelos preditivos da distribuição da vegetação potencial da área de estudo com base nas variáveis ambientais consideradas, sendo o melhor modelo o que foi obtido através do método de interpolação geoestatístico *Krigagem Simples* para prever a distribuição potencial da espécie *Quercus robur*. Constatou-se que os modelos obtidos para as espécies com uma maior distribuição potencial, como a espécie *Quercus robur*, são mais significativos do que os obtidos para as espécies com uma menor distribuição potencial na área de estudo.

**Palavras-chave:** Restauração Ecológica, Restauração Florestal, Interpolação, Vegetação Potencial.

## Abstract

The study of the potential vegetation of a region is important for the choice of suitable native species that can contribute to increase the area of existing patches of native woodlands and define regeneration areas within the scope of a restoration project, which may benefit from the natural regeneration processes occurring in the study area. The definition of a predictive model of the potential distribution of native woodlands was based on the existing relationships between the environmental factors that define the local conditions and the ecological demands of species that constitute the potential native woodlands of the study area, represented by the dominant species of the natural habitats of the Natura 2000 area "SIC Serra da Lousã".

This study included the analysis of the potential distribution of native woodland based on its ecological demands and an exploratory analysis that included the

One-way ANOVA and the Principal Components Analysis, followed by the application of statistical models and interpolation methods. The results suggest that the best models were obtained for the species with a large potential distribution on the study area. It was possible to define predictive models for the potential distribution of native woodland based on the environmental variables considered and the best model was obtained for the prediction of the potential distribution of *Quercus robur* using the interpolation method *Ordinary Kriging*.

**Keywords:** Ecological Restoration, Forest Landscape Restoration, Interpolation, Potential for Native Woodland.

## 1. Introdução

Recentemente tem-se assistido a um maior reconhecimento da necessidade de implementação de projectos de restauração florestal. A Convenção para a Diversidade Biológica (CDB), no seu Programa de Trabalho nas Áreas Protegidas, aconselha os governos a reabilitar e restaurar os habitats e ecossistemas degradados, nos locais onde estas acções sejam importantes, como contribuição para a construção de redes ecológicas, corredores ecológicos ou zonas de protecção (Dudley, 2005).

A escolha das espécies florestais a utilizar em projectos de restauração é um dos principais problemas que os especialistas desta área enfrentam actualmente. Segundo Dudley *et al.* (2005) muitos projectos de restauração florestal já implementados falharam, frequentemente porque as espécies introduzidas não sobreviveram ou foram rapidamente destruídas pelas mesmas pressões que causaram à partida a perda ou degradação da floresta.

Surge neste contexto a necessidade de definir, ao nível da paisagem, locais alvo de restauração que correspondam a áreas especialmente importantes e sensíveis do ponto de vista da conservação. Para além disso, será necessário definir áreas de protecção em redor destes locais que permitam a redução da sua fragmentação e o aumento da sua resistência a pressões e ameaças externas, incluindo as alterações climáticas. A vegetação potencial da área de estudo pode ser importante para a escolha de espécies que possam contribuir para expandir núcleos já existentes de vegetação nativa para zonas de protecção a definir, tendo por base essencialmente processos de regeneração natural.

A organização *Society for Ecological Restoration* (SER) define restauração

ecológica como “o processo de auxiliar a recuperação de um ecossistema que foi degradado ou destruído”. É uma actividade intencional que inicia ou acelera um caminho ecológico ao longo do tempo até um estado de referência (SER & IUCN Commission on Ecosystem Management, 2004).

As principais estratégias de restauração ecológica incluem (Fischer & Lindenmayer, 2007 in SER, 2008):

- A expansão e restauração de habitats chave com estatuto de protecção para manter a diversidade e resiliência das plantas e animais nativos;
- A eliminação das discontinuidades na paisagem para reduzir os efeitos de orla e fornecer funções como habitat, dispersão e oportunidades de migração para as espécies;
- A restauração de zonas de transição e de protecção em áreas sensíveis ou críticas como áreas agrícolas ou ecossistemas ripícolas;
- A restauração de corredores e habitats chave para assegurar a ocorrência de fluxos e serviços dos ecossistemas adequados na paisagem;
- Prevenir a ocorrência de perda de habitat.

Estas estratégias permitem restaurar pequenas manchas de habitat que podem servir como áreas de protecção ou refúgios para a recolonização de espécies chave em ecossistemas relativamente intactos e ligar habitats isolados (SER, 2008).

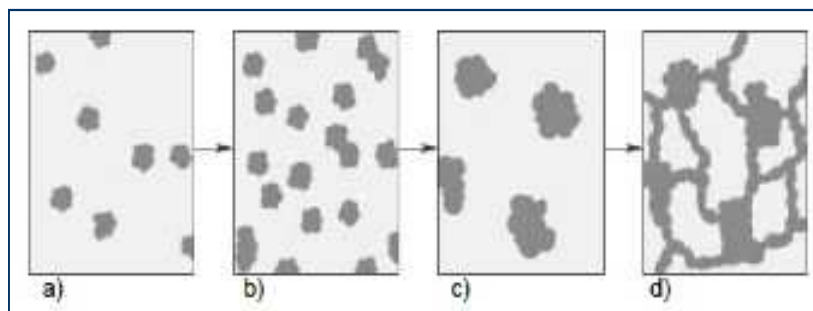
Quanto à restauração florestal, os seus objectivos podem ser variados, desde a conservação da biodiversidade à restauração das funções de protecção e de habitat dos ecossistemas, controlo de

cheias, produção florestal ou recreio (Maginnis *et al.*, 2005). A abordagem recomendada por organizações como a *World Wildlife Fund* (WWF) tem sido efectuar a restauração florestal ao nível da paisagem. Numa abordagem ao nível da paisagem é possível reabilitar diferentes funções florestais relacionadas entre si (Dudley *et al.*, 2005; Maginnis *et al.*, 2005).

"*Forest Landscape Restoration*" (FLR) é um conceito que pode ser definido como um processo de planeamento que tem como objectivo restaurar a integridade ecológica e aumentar o bem-estar humano em paisagens degradadas ou que sofreram desflorestação (Dudley *et al.*, 2005; Maginnis *et al.*, 2005). Neste contexto, esta abordagem permite atingir

um equilíbrio entre as necessidades humanas e as da biodiversidade através da reabilitação de diferentes funções da floresta ao nível da paisagem, sendo a sua escala de aplicação a ecorregião.

A fragmentação ocorre quando os habitats, paisagens e ecossistemas são isolados devido a factores como alterações do uso do solo e sobre-exploração dos recursos naturais. Como resultado, áreas naturais contíguas são separadas em manchas mais pequenas e isoladas (SER, 2008). Vários princípios têm surgido no âmbito da criação e restauração de paisagens florestais no que se refere à fragmentação de habitats. Estes princípios são representados esquematicamente na Figura 1.



**Figura 1.** Efeitos da estrutura da paisagem na persistência das populações (adaptado de Dolman *et al.*, 2003). A probabilidade da população persistir aumenta da esquerda para a direita. Legenda: a) Menos manchas de habitat de pequenas dimensões; b) Mais manchas de habitat de pequenas dimensões; c) Manchas de habitat de maiores dimensões; d) Maior conectividade entre as manchas de habitat existentes.

Segundo Cunha *et al.* (2005) a estatística multivariada e os SIG têm vindo a ser utilizados para a identificação de habitats preferenciais e para prever a distribuição potencial de diferentes espécies. Segundo Raimundo (2004) a utilização de métodos estatísticos com o objectivo de prever áreas adequadas para a ocorrência de uma determinada espécie está dependente da existência de uma relação entre a variável dependente (distribuição das espécies) e a combinação das variáveis explicativas (relacionadas com as condições ambientais locais). Da modelação da distribuição de espécies resulta um mapa de ocorrências modeladas, que mostra as áreas potenciais em que as espécies podem ocorrer (Raimundo, 2004).

Uma abordagem eficaz e com custos reduzidos é a utilização de modelação à escala da paisagem para conhecer a

distribuição potencial de diferentes tipos de vegetação sob as actuais condições ambientais, seguida de um estudo de campo mais detalhado dos locais alvo (Towers *et al.*, 2004; Towers *et al.*, 2003).

## 2. Objectivos

O principal objectivo deste trabalho consiste em desenvolver uma metodologia que permita prever a distribuição da vegetação potencial da Serra da Lousã e a sua posterior implementação num Sistema de Informação Geográfica (SIG) para obter mapas de previsão da distribuição da vegetação potencial da área de estudo.

Pretende-se identificar e modelar, para a área em estudo, a Serra da Lousã, a vegetação potencial com base nas condições edafoclimáticas locais tendo em consideração os requisitos ecológicos das diferentes espécies florestais

seleccionadas para este estudo, recorrendo a modelos estatísticos (modelos de regressão logística múltipla e de regressão linear múltipla) e geoestatísticos (métodos de interpolação *IDW* e *Ordinary Kriging*).

### 3. Localização Geográfica e Enquadramento da Área de Estudo

A área de estudo está situada na Serra da Lousã, nos distritos de Leiria e de Coimbra, e ocupa uma área de cerca de 225 km<sup>2</sup>. Está integrada na zona do Pinhal Interior Norte (NUTIII), abrangendo os concelhos de Castanheira de Pêra, Figueiró dos Vinhos, Pedrógão Grande, Penela, Góis, Lousã e Miranda do Corvo.

No que se refere ao clima, de acordo com a carta de Precipitação Total do Atlas do Ambiente para Portugal Continental, à escala 1:1.000.000, cerca de 83% da área de estudo apresenta valores de precipitação total anual entre os 1400 e 1600 mm. O intervalo de temperaturas predominante corresponde ao intervalo de 10 a 12.5°C de acordo com a carta de Temperatura Média Anual do Atlas do Ambiente para Portugal Continental, à escala 1:1.000.000.

No que diz respeito à geologia, a unidade litológica dominante na área de estudo corresponde ao complexo xisto-grauváquico (cerca de 84%), constituído por xistos argilosos, micáceos e grauvaques de tons variados, em séries alternantes (Soares da Silva, 1983).

Quanto ao relevo, segundo o PROF do Pinhal Interior Norte (2006), a Serra da Lousã consiste numa zona montanhosa que faz parte da Cordilheira Central, de elevada altitude e onde ocorrem vales e declives abruptos, apresentando uma orografia bastante complexa que varia entre 114 m e 1203 m de altitude. A altimetria foi obtida através do Modelo Digital de Terreno, para Portugal, com resolução de 30 metros. Cerca de 90% da área de estudo se encontra abaixo dos 1000 m de altitude. Mais de 50% da área de estudo encontra-se entre os 500 e os 800 m de altitude.

Quanto ao uso do solo, constatou-se que os tipos de solo predominantes na área de estudo são os solos litólicos húmicos (28.6%) e os solos mediterrânicos pardos não calcários normais (26.57%). Esta análise teve por base as cartas complementares de solos nº 252 e 264, em formato tiff, à escala 1:25.000,

elaboradas pelo Instituto de Desenvolvimento Rural e Hidráulica (IDRHa, 1994).

### 4. Metodologia

O primeiro passo foi proceder à definição da área de estudo. O Sítio de Interesse Comunitário (SIC) da Serra da Lousã foi escolhido devido à dominância de áreas florestais nesta zona do país e devido à existência de importantes valores naturais. A área de estudo foi limitada às zonas do SIC da Serra da Lousã localizadas nas Cartas Militares nº 252 e 264 (Instituto Geográfico do Exército).

Procedeu-se em simultâneo à aquisição da cartografia para a área de estudo. A Tabela 1 sistematiza o tipo e fonte de informação cartográfica utilizada para caracterizar a área de estudo e utilizada para a modelação da vegetação potencial da Serra da Lousã.

Foi recolhida informação acerca dos habitats e valores naturais existentes na área de estudo tendo por base o Plano Sectorial da Rede Natura 2000 e foi efectuada uma revisão bibliográfica dos requisitos ecológicos das principais espécies associadas aos habitats com maior valor de conservação tendo por base:

- A caracterização edafo-climática das diferentes espécies florestais com base nas regiões de proveniência realizada pela DGRF (DGRF, 2009);
- A caracterização dos diferentes habitats naturais presentes no SIC da Serra da Lousã (ALFA, 2004).

Procedeu-se ao tratamento da informação cartográfica de base para a área de estudo e integração num SIG, utilizando o sistema ArcGIS 9.2, o que incluiu o corte dos mapas elaborados para Portugal Continental com os limites da área de estudo, a vectorização das cartas de solos nº 252 e nº 264 (IDRHa), que se encontravam em formato analógico, e a reclassificação da cartografia em formato vectorial, em especial a carta de solos e a carta de ocupação do solo em 1990, COS90 (IGP), com o objectivo de simplificar a análise da informação. A reclassificação do tipo de solo foi efectuada com base na família de solo dominante em cada polígono da carta de solos.

**Tabela 1.** Cartografia utilizada para a caracterização da área de estudo.

Variável ou tema da cartografia	Tipo de variável	Tipologia	Escala/resolução	Produtor/Detentor	Ano
Tipo de solo*	Qualitativa (nominal)	Imagem em formato TIFF	1:25.000	IDRHa	1994
Ocupação do solo*	Qualitativa (nominal)	Formato vectorial	1:25.000	IGP	1990
Altimetria*: Modelo Digital do Terreno (MDT)	Quantitativa	Formato matricial	30 m	ESRI	2009
Declive*	Quantitativa	Formato matricial	30 m	Obtida a partir do MDT	2010
Exposição*	Quantitativa	Formato matricial	30 m	Obtida a partir do MDT	2010
Radiação Global*	Quantitativa	Formato matricial	30 m	Obtida a partir do MDT	2010
Linhas de água	Não aplicável	Formato vectorial	30 m	Obtida a partir do MDT	2010
Índice de humidade	Ordinal	Formato matricial	30 m	Obtida a partir do MDT	2010
Habitats naturais do SIC da Serra da Lousã	Não aplicável	Formato vectorial	1:100.000	ICNB	2006
Acidez e Alcalinidade dos solos	Ordinal	Formato vectorial	1:1.000.000	F. Câmara Freitas (EAN)	1979
Temperatura média diária do ar*	Ordinal	Formato vectorial	1:1.000.000	Serviço Meteorológico Nacional	1974
Precipitação Total Anual*	Ordinal	Formato vectorial	1:1.000.000	Serviço Meteorológico Nacional	1974
Unidades litológicas*	Qualitativa (nominal)	Formato vectorial	1:1.000.000	A. M. Soares da Silva (EAN)	1982
Valor Ecológico do solo*	Ordinal	Formato matricial	30 m	Obtido a partir da carta de solos vectorizada	2010
Risco de Incêndio Florestal*	Ordinal	Formato vectorial	1:25.000	IGP	2010
Biogeografia	Não aplicável	Formato vectorial	1:1.000.000	Associação Lusitana de Fitossociologia	1998
Zonas Fitogeográficas Predominantes	Não aplicável	Formato vectorial	1:1.000.000	João do Amaral Franco	1994
Valores Naturais	Não aplicável	Formato vectorial	1:1.000.000	J. de Pina Manique e Albuquerque (Estação Agronómica Nacional)	1984
Paisagem	Não aplicável	Formato vectorial	1:1.000.000	J. de Pina Manique e Albuquerque (EAN)	1984
Zonas Ecológicas	Não aplicável	Formato vectorial	1:1.000.000	J. de Pina Manique e Albuquerque (EAN)	1982
Limites Administrativos	Não aplicável	Formato vectorial	1:25.000	IGP	2009
Regiões Naturais	Não aplicável	Formato vectorial	1:1.000.000	J. de Pina Manique e Albuquerque (EAN)	1984

Nota: só é indicado o tipo de variável para as variáveis incluídas no modelo. Para a cartografia em formato vectorial é indicada a sua escala e para a cartografia em formato matricial é indicada a sua resolução. Variáveis ambientais consideradas para o modelo indicadas com \*.

A partir do modelo digital do terreno (MDT) foram elaborados os mapas de declives, exposição, radiação global e índice de humidade do solo. Posteriormente foi calculado o valor ecológico do solo (VE) com base no tipo de solo, para cada polígono da carta de solos vectorizada. O Índice de Humidade do solo foi calculado a partir do MDT com base no declive e área drenante (Índice de

Humidade de Beven e Kirby). Quanto à radiação, o cálculo da radiação directa, difusa e global foram efectuados para cada local da superfície topográfica produzindo mapas para toda a área de estudo referentes a um ano. A radiação global foi calculada como a soma da radiação directa e difusa.

Seguiu-se a atribuição de um código numérico a cada uma das diferentes classes estabelecidas, para cada variável, e posterior transformação em formato matricial da cartografia que se encontrava em formato vectorial para ser possível efectuar operações matemáticas para a definição da vegetação potencial com base nos requisitos ecológicos da vegetação.

Procedeu-se em seguida à caracterização da área de estudo através da revisão bibliográfica e da análise da informação cartográfica. Também foi efectuada uma saída de campo, em Maio de 2010, coordenada por Sílvia Neves, do Ecomuseu da Serra da Lousã (ICNB) para um melhor conhecimento dos valores naturais e pressões existentes na área de estudo.

Foi efectuada uma análise preliminar da distribuição potencial com recurso ao software ArcGIS, tendo por base os requisitos ecológicos conhecidos para as espécies *Quercus robur* (carvalho alvarinho), *Quercus suber* (sobreiro), *Quercus rotundifolia* (azinheira), *Castanea sativa* (castanheiro), *Salix alba* (salgueiro) e *Alnus glutinosa* (amieiro).

Com base na extensão do ArcGIS 9.2 *Hawths Analysis Tools for ArcGIS 9* foram criados três conjuntos de 500 pontos aleatórios, tendo em seguida sido extraída, para cada uma das variáveis consideradas no modelo (altimetria, declive, exposição, radiação global, índice de humidade do solo, temperatura média anual, precipitação total anual, ocupação do solo, tipo de solo, valor ecológico do solo, litologia, pH do solo e risco de incêndio florestal) o valor referente aos pontos. As três amostras de pontos aleatórios foram analisadas através de Análise de Variância (ANOVA) a um factor, com recurso ao programa SPSS.

Com o objectivo de analisar a relação entre as variáveis explicativas das condições locais e de resumir a informação presente nas variáveis altimetria, declive, exposição, radiação global, índice de humidade, temperatura média anual, precipitação total anual, ocupação do solo, tipo de solo, valor ecológico do solo, litologia, pH do solo e risco de incêndio florestal em componentes principais utilizou-se a Análise de Componentes Principais para Dados Categóricos (CATPCA) como método de normalização da variável principal uma vez que algumas das variáveis analisadas são qualitativas e o

procedimento da Análise de Componentes Principais só pode ser aplicado a variáveis quantitativas.

Após a análise preliminar e exploratória procedeu-se à modelação da vegetação potencial da Serra da Lousã através da aplicação de métodos de interpolação, incluindo os métodos geoestatísticos de Krigagem Simples e Inverse Distance Weighting (IDW) e através da aplicação dos modelos estatísticos regressão linear múltipla e regressão logística.

O método de ajustamento utilizado na regressão logística é o Método da Máxima Verosimilhança. Uma vez ajustado o modelo de regressão logística foi avaliada a significância e qualidade do modelo ajustado bem como a significância dos coeficientes de regressão logística, tendo sido utilizado o teste do rácio de verosimilhanças para testar a significância do modelo ajustado.

Foi utilizado o teste Qui-quadrado de *Pearson* para testar a significância do ajustamento do modelo completo. O teste à significância dos coeficientes do modelo foi efectuada com recurso ao Teste de *Wald*, para identificar qual ou quais as variáveis independentes que influenciam significativamente o *Logit*. O pseudo- $R^2$  ( $R^2$  de Cox & Snell e  $R^2$  de Nagelkerke) foi utilizado para avaliar a qualidade do modelo. Quanto aos métodos de selecção de variáveis, foram aplicados e comparados os resultados obtidos através dos diferentes métodos *forward stepwise* (condicional, baseado no rácio de verosimilhanças e baseado no teste de *Wald*). A qualidade do ajustamento do modelo foi avaliada através da estatística  $-2LL$ .

Na aplicação dos modelos de regressão linear múltipla e regressão linear múltipla foram utilizados, no caso das variáveis temperatura média anual, precipitação total anual e pH do solo, os valores médios associados a cada classe (classes definidas no capítulo 4, caracterização da área de estudo) e quanto à variável valor ecológico do solo esta foi reclassificada com o objectivo de obter uma escala de valor ecológico do solo crescente.

Os modelos obtidos com recurso aos métodos de interpolação, regressão logística e regressão linear múltipla foram comparados e sujeitos a validação.

Quanto à validação dos modelos estatísticos obtidos através da regressão

linear múltipla e regressão logística, a comparação dos valores previstos com os valores observados foi utilizada para a validação do modelo, procurando assegurar que os modelos obtidos discriminam bem os locais onde as espécies estão presentes dos locais onde estas estão ausentes.

Quanto ao desempenho do modelo logístico, recorreu-se também à comparação entre as ocorrências das presenças-ausências observadas e as previstas por cada modelo (sensibilidade e especificidade do modelo). Para a validação dos resultados dos métodos de interpolação *Inverse Distance Weighting* e *Krigagem Simples* foram criados dois subconjuntos das amostras de 500 pontos aleatórios com a distribuição potencial de cada espécie analisada, com valores de potencial ausência (0) e de potencial presença (1). Foi utilizada, para obter os mapas de previsão para cada espécie através dos dois métodos referidos, uma amostra de treino com 375 dos 500 pontos da amostra, sendo os restantes 125 pontos utilizados na validação dos modelos obtidos (amostra de teste).

As ferramentas de validação cruzada e de validação do *Geostatistical Analyst*, ArcGIS 9.2, foram utilizadas para validar as superfícies criadas, permitindo quantificar a exactidão do modelo. As estatísticas calculadas através destas ferramentas serviram como diagnóstico da qualidade do modelo ajustado.

Foram definidas zonas de regeneração natural em redor das manchas de habitat prioritárias, tendo sido estabelecido um critério de proximidade de 500 m destas manchas de habitat, criando uma zona de

protecção com o objectivo de estimular a ocorrência de regeneração natural na proximidade de núcleos de vegetação nativa. Nestas áreas também foi definida uma zona de controlo e eliminação de espécies invasoras, principalmente a espécie *Acacia dealbata*, de 50 m em redor vegetação ribeirinha, tendo por base as recomendações de gestão para o SIC Serra da Lousã constantes no Plano Sectorial da Rede Natura (PSRN 2000). Como aplicação dos resultados obtidos foram efectuadas recomendações de gestão e de implementação de reabilitação florestal nas zonas de regeneração delimitadas na área de estudo.

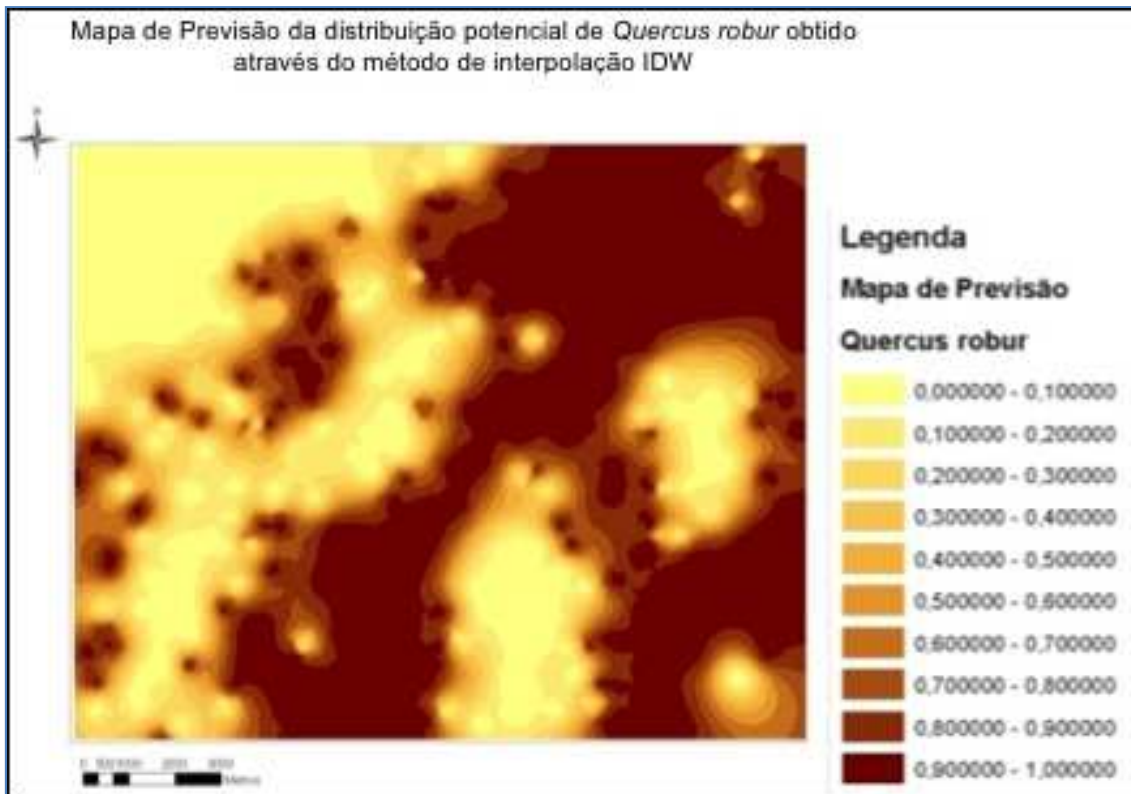
## 5. Resultados Seleccionados

Na tabela 2 são apresentados, para cada uma das amostras analisadas, os resultados obtidos através da Análise de Componentes Principais para dados Categóricos (CATPCA), utilizando como critério considerar como significativas para uma dada componente as variáveis que apresentam um valor próprio igual ou superior a 0.5.

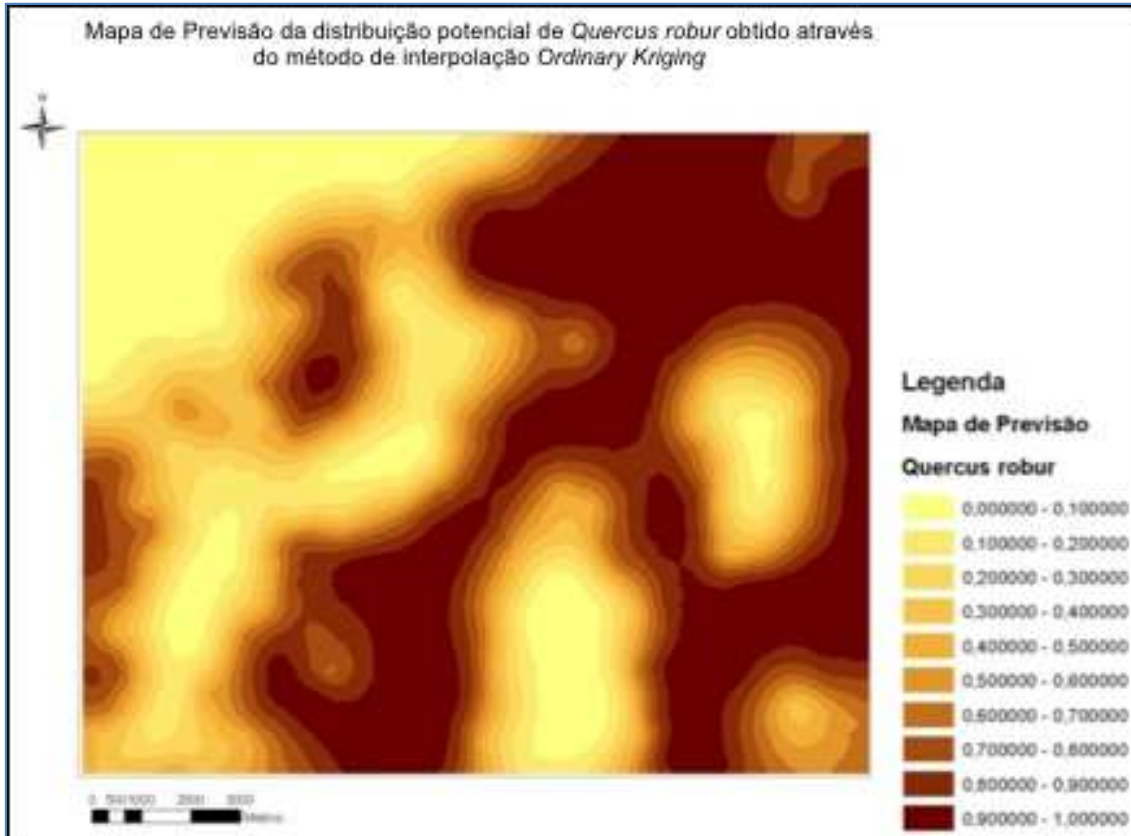
Apresentam-se as superfícies de distribuição potencial da espécie *Q. robur*, através dos métodos IDW (Figura 2) e Krigagem Simples (Figura 3). A espécie que apresenta uma maior área de distribuição é o carvalho alvarinho (*Q. robur*), sendo a espécie potencialmente melhor adaptada às condições locais da área de estudo. A Serra da Lousã tem uma forte dominância de ocupação florestal proporcionada pela combinação de precipitação elevada com temperaturas amenas, não limitantes do crescimento florestal. Estas condições são propícias ao desenvolvimento de *Q. robur*.

**Tabela 2.** Resultados obtidos através da análise em componentes principais categorial (CATPCA)

<b>Amostra 1</b>
Componente 1 = 0.936*altimetria + 0.872*precipitação total anual - 0.701*declive - 0.802*litologia
Componente 2 = 0.745*valor ecológico do solo - 0.639*radiação global + 0.706*tipo de solo
Componente 3 = 0.550*radiação global
Componente 4 = 0.615*risco de incêndio florestal + 0.688*ocupação do solo
<b>Amostra 2</b>
Componente 1 = 0.919*altimetria + 0.818*precipitação total anual - 0.638*declive - 0.655*litologia
Componente 2 = -0.509*declive - 0.700*radiação global + -0.535*tipo de solo
Componente 3 = -0.546*exposição + 0.617*pH do solo
Componente 4 = 0.578*risco de incêndio florestal
<b>Amostra 3</b>
Componente 1 = 0.743*precipitação total anual - 0.709*declive - 0.751*litologia
Componente 2 = 0.721*valor ecológico do solo + 0.675*tipo de solo
Componente 3 = 0.607*radiação global
Componente 4 = 0.695*risco de incêndio florestal



**Figura 2.** Interpolação da distribuição potencial de *Quercus robur* através do método Inverse Distance Weighting (IDW)



**Figura 3.** Interpolação da distribuição potencial de *Quercus robur* através do método de Krigagem Simples



## 6. Discussão dos resultados

Verificou-se que foi possível obter modelos preditivos da distribuição da vegetação potencial da área de estudo através da correspondência entre os requisitos ecológicos dessa vegetação e as condições locais da área de estudo.

Quanto às diferentes abordagens utilizadas para a modelação da distribuição potencial da área de estudo, verificou-se que os métodos de interpolação, em especial o método Krigagem Simples, parecem ser mais adequados para a modelação da distribuição da vegetação potencial da área de estudo do que os métodos estatísticos regressão linear múltipla e regressão logística. Foi possível obter modelos preditivos da distribuição da vegetação potencial da Serra da Lousã, com base nas variáveis ambientais consideradas, sendo o melhor modelo o que foi obtido através do método Krigagem Simples para prever a distribuição potencial da espécie *Q. robur*. Os modelos obtidos através da aplicação deste método para as espécies com uma maior distribuição potencial, como a espécie *Quercus robur*, são mais significativos do que os modelos obtidos para as espécies com uma menor distribuição potencial na área de estudo.

Estes métodos de interpolação parecem ser boas alternativas ao ajustamento de modelos estatísticos clássicos, em particular quando se dispõe de dados espaciais. Verifica-se que o método Krigagem Simples, por ser um interpolador aproximado, admite a incerteza nos dados, não respeitando totalmente os valores dos pontos da amostra utilizados para a interpolação, mas respeitando a tendência da sua distribuição. Por esta razão apresenta erros de previsão menores, sendo estatisticamente mais significativo.

É possível concluir, através dos resultados da Análise de Componentes Principais, que as variáveis que mais contribuem para a variabilidade local da área de estudo são a altimetria, precipitação total anual, declive, litologia, valor ecológico do solo e radiação global. As variáveis altimetria, precipitação total anual, declive e litologia, associadas à primeira componente da análise em componentes principais, parecem estar inter-relacionadas, assim como, em certa medida, a temperatura média anual, o que corresponde ao resultado esperado. As variáveis valor

ecológico do solo, tipo de solo e radiação global, associadas à segunda componente da análise em componentes principais, também parecem estar relacionadas entre si.

## 7. Principais conclusões

Foi possível obter modelos preditivos da distribuição da vegetação potencial da área de estudo com base nas variáveis ambientais consideradas, sendo o melhor modelo o que foi obtido através do método geoestatístico *Ordinary Kriging* para prever a distribuição potencial da espécie *Quercus robur*.

A metodologia proposta permite definir a distribuição da vegetação potencial de uma região, com importantes aplicações no âmbito do planeamento de intervenções de restauração florestal baseadas nos processos de regeneração natural que possibilitem a redução da fragmentação dos habitats, o aumento da conectividade e a manutenção da diversidade genética.

## 8. Limitações dos resultados obtidos e desenvolvimentos futuros

Em primeiro lugar, deve-se ter em consideração que os modelos de distribuição potencial de espécies são ferramentas de apoio à decisão e devem ser utilizados com precaução. Para além disso, foi utilizada, para caracterizar as condições locais, informação geográfica que se encontra em diferentes escalas espaciais, tendo níveis de detalhe diferentes.

Existem também incertezas e erros associados aos resultados dos modelos obtidos: erros associados aos dados de base; erros de previsão dos modelos obtidos por interpolação; impactes de pressões externas ao modelo, como a herbivoria, não previstas no modelo, e de outras variáveis não consideradas neste estudo.

Remete-se para trabalhos futuros a proposta de um plano de intervenção no âmbito de um projecto de restauração ecológica para a área de estudo. Elaborar uma proposta desse tipo requer uma análise local mais aprofundada através de estudos de campo que não foram realizados neste trabalho e considerar outros factores relevantes, como restrições de uso do solo e direitos de propriedade.

## 9. Referências bibliográficas

- Albuquerque, J.P.M., 1954. Carta ecológica de Portugal à escala 1:1.000.000. Ministério da Economia, Direcção Geral dos Serviços Agrícolas, Repartição de Estudos, Informação e Propaganda, Lisboa.
- Albuquerque, J.P.M., 1982. Carta Ecológica - Fito-edafo-climática (Carta III.4) à escala 1:1.000.000. <http://www.iambiente.pt/atlas/est/index.jsp>. Acesso: 12 Mar 2010.
- Albuquerque J., 1984. Regiões Naturais - Caracterização eco-fisionómica (Carta III.5) à escala 1:1.000.000. <http://www.iambiente.pt/atlas/est/index.jsp>. Acesso: 12 Mar 2010.
- ALFA, 1998. Carta Biogeográfica de Portugal publicada à escala 1:1.000.000. <http://www.igeo.pt/servicos/cdi/biblioteca/PublicacoesIGP/esig2001/papers/esig103.pdf>. Acesso: 12/03/2010.
- ALFA, 2004. Tipos de Habitats Naturais e Semi-Naturais do Anexo I da Directiva 92/43/CEE (Portugal continental). In: Fichas de Caracterização Ecológica e de Gestão para o Plano Sectorial da Rede Natura 2000. Relatório, Lisboa.
- Costa, J. C.; Aguiar, C.; Capelo, J. H.; Lousã, M. & Neto, C., 1998. Biogeografia de Portugal Continental. Quercetea 0: 5-56.
- Cunha, J.; Rego, F., 2005. Composição e Estrutura da Paisagem: Sua Relação com a Riqueza dos Anfíbios e Répteis que Ocorrem em Portugal Continental. Silva Lusitana 13(1): 35-50.
- DGRF, 2006. Plano Regional de Ordenamento Florestal do Pinhal Interior Norte. <http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/gestao-florestal/ppf/profs/prof-do-pinhal-interior-norte>. Acesso: 7 Abril 2010.
- DGRF, 2009. Caracterização edafo-climática das diferentes espécies florestais: Descrição das regiões de proveniência. <http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/producao/regioes-de-proveniencia>. Acesso: 12 Mar 2010.
- Dolman, P.M.; Fuller, R.J., 2003. The processes of species colonization in wooded landscapes: a review of principles. In: Humphrey, J., Newton, A., Latham, J., Gray, H., Kirby, K., Poulsom, E., Quine, C. (Eds). The Restoration of Wooded Landscapes. Proceedings of a conference held at Heriot Watt University; 14-15 September 2000; Forestry Commission. Edinburgh.
- Dudley, N.; Mansourian, S.; Vallauri, D., 2005. Forest Landscape Restoration in Context. In: Mansourian, S., Vallauri, D., Dudley, N. (Eds) in Cooperation with WWF International. Forest Restoration in Landscapes: Beyond Planting Trees, Springer, New York.
- Dudley, N., 2005. Impact of Forest Loss and Degradation on Biodiversity. In: Mansourian, S., Vallauri, D., Dudley, N. (Eds) in Cooperation with WWF International. Forest Restoration in Landscapes: Beyond Planting Trees, Springer, New York.
- ESRI, 2009. Digital Terrain Model, 30m, Portugal (WGS84). [http://195.23.241.221/arcgis/rest/services/arcgis\\_online/MDT30m\\_PT\\_WGS84/MapServer](http://195.23.241.221/arcgis/rest/services/arcgis_online/MDT30m_PT_WGS84/MapServer). Acesso: 15 Abr 2010.
- Ferreira, PG; Azevedo A; Rego F, 2005. Carta da Tipologia Florestal de Portugal Continental. Silva Lusitana, 13 (1): pp. 1 - 34. <http://www.scielo.oces.mctes.pt/pdf/slu/v13n1/v13n1a01.pdf>. Acesso: 15 Abr 2010.
- Franco, J.A., 1994. Zonas Fitogeográficas Predominantes (Carta III.6) à escala 1:1.000.000. <http://www.iambiente.pt/atlas/est/index.jsp>. Acesso: 12 Mar 2010.
- Freitas, F.C., 1979. Acidez e Alcalinidade dos solos (Carta III.2) à escala 1:1 000 000. <http://www.iambiente.pt/atlas/est/index.jsp>. Acesso: 12 Mar 2010.
- ICNB, 2006. Plano Sectorial da Rede Natura 2000: Caracterização dos habitats florestais. [http://www.icn.pt/psrn2000/caracterizacao\\_valores\\_naturais/habitats/](http://www.icn.pt/psrn2000/caracterizacao_valores_naturais/habitats/). Acesso: 12 Mar 2010.
- ICNB, 2006. Cartografia dos valores naturais do Sítio de Interesse Comunitário da Serra da Lousã à escala 1:100.000. Comunicação Pessoal.
- IDRHa, 1994. Carta dos Solos de Portugal - Cartas Complementares (esboços). Escala 1:25.000. Instituto de Desenvolvimento Rural e Hidráulica.

- IGP, 2010. Carta de Risco de Incêndio Nacional 2010 à escala 1:25.000. <http://scrif.igeo.pt/cartografiacrif/2007/crif07.htm>. Acesso: 12 Mar 2010.
- IGP, 2009. Carta Administrativa Oficial de Portugal. Limites Administrativos Oficiais ao nível da Freguesia, Município, Distrito/Ilha, País, NUT I, NUT II e NUT III à escala 1:25.000. [http://www.igeo.pt/produtos/cadastro/cao/p/versao2009\\_0.htm](http://www.igeo.pt/produtos/cadastro/cao/p/versao2009_0.htm). Acesso: 12 Mar 2010.
- IGP, 1990. Carta de Ocupação do Solo – COS90 à escala 1:25.000. <http://www.igeo.pt/produtos/CEGIG/COS.htm>. Acesso: 12 Mar 2010.
- Maginnis S.; Jackson W., 2005. What is FLR and how does it differ from current approaches?, In: ITTO/IUCN (Eds). Restoring Forest Landscapes: An Introduction to the art and science of forest landscape restoration. ITTO Technical Series N°23.
- Raimundo, 2004. Condicionantes ambientais na distribuição de anfíbios e répteis em Portugal Continental (Dissertação de Mestrado). Universidade de Évora. Évora, Portugal.
- SER & IUCN Commission on Ecosystem Management, 2004. Ecological Restoration, a means of conserving biodiversity and sustainable livelihoods. Society for Ecological Restoration International. Tucson, Arizona, USA & IUCN, Gland, Switzerland.
- SER, 2008. Ecological Restoration as a Tool for Reversing Ecosystem Fragmentation. Policy Position Statement.
- Society for Ecological Restoration International. Tucson, Arizona.
- Serviço Meteorológico Nacional, 1974. Temperatura - Temperatura média diária do ar (Carta I.2) à escala 1:1.000.000. <http://www.iambiente.pt/atlas/est/index.jsp>. Acesso: 12 Mar 2010.
- Serviço Meteorológico Nacional, 1974. Precipitação - Quantidade Total (Carta I.4.1) à escala 1:1.000.000. <http://www.iambiente.pt/atlas/est/index.jsp>. Acesso: 12 Mar 2010.
- Soares da Silva, A. M., 1982. Carta Litológica (Carta I.13) à escala 1:1.000.000. <http://www.iambiente.pt/atlas/est/index.jsp>. Acesso: 12 Mar 2010.
- Soares da Silva, A. M., 1983. Nota Explicativa I.13 da Carta Litológica de Portugal. [http://www.iambiente.pt/website/estatico/pdf/I\\_13.pdf](http://www.iambiente.pt/website/estatico/pdf/I_13.pdf). Acesso: 12 Mar 2010.
- Towers, W; Hester, A.; Malcolm, A., 2003. Modelling the potential distribution of woodland at the landscape scale in Scotland, In: Humphrey, J., Newton, A., Latham, J., Gray, H., Kirby, K., Poulson, E., Quine, C. (Eds). The Restoration of Wooded Landscapes. Proceedings of a conference held at Heriot Watt University; 14–15 September 2000; Forestry Commission. Edinburgh.
- Towers, W.; Hall, J.; Hester, A.; Malcolm, A.; Stone, D., 2004. The Potential for Native Woodland in Scotland: the native woodland model. Scottish Natural Heritage, Perth.