



**Universidade do Minho**  
Instituto de Ciências Sociais

ISSN 1645-9369

**NIGP**

Núcleo de Investigação em  
Geografia e Planeamento

# GEO-Working Papers

Implementação de um Sistema  
Integrado de Informação de apoio à  
avaliação de áreas críticas à erosão  
dos solos após incêndios florestais

António A. B. Vieira  
António J. Bento Gonçalves  
Carla Martins  
Flora Ferreira Leite  
Eurico Loureiro

**NÚMERO ESPECIAL 2011/3**

Núcleo de Investigação em Geografia e Planeamento  
Universidade do Minho  
Campus de Azurém - 4800-058 Guimarães  
Tel.: +351 253 510 560 - Fax: +351 253 510 569  
geowp@geografia.uminho.pt  
<http://www.lasics.uminho.pt/ojs/index.php/geoworkingp>



“Implementação de um Sistema Integrado de Informação de apoio à avaliação geomorfológica de áreas críticas à erosão dos solos após incêndios florestais”

*António A. Batista Vieira*  
*António J. Bento Gonçalves*  
*Carla P. Oliveira Martins*  
*Flora C. Ferreira Leite*  
*Eurico Loureiro*

NÚMERO ESPECIAL 2011/3

“Implementação de um Sistema Integrado de Informação de apoio à avaliação geomorfológica de áreas críticas à erosão dos solos após incêndios florestais”



## RECOVER

O projeto de investigação “RECOVER - Estratégias de Remediação de Solos Imediatamente após Incêndios Florestais”, financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (PTDC/AGR-AAM/73350/2006), integra equipas de investigação de três instituições universitárias, o CESAM (Universidade de Aveiro), o NIGP (Universidade do Minho) e o CERNAS (Instituto Politécnico de Coimbra), e propõe-se avaliar a eficácia de um conjunto de técnicas e estratégias de mitigação da erosão dos solos em áreas afetadas pelo fogo, com vista à redução da degradação do solo e da água.

**Título:** Implementação de um Sistema Integrado de Informação de apoio à avaliação geomorfológica de áreas críticas à erosão dos solos após incêndios florestais.

**Fotografias da Primeira Página:** Áreas de estudo de Vale Torto e Sever do Vouga

(Autores: António Vieira e António J. Bento Gonçalves)

**Fotografias:** António Vieira e António J. Bento Gonçalves

**Editores:** António Vieira e António J. Bento Gonçalves

**Propriedade e Edição:** Núcleo de Investigação em Geografia e Planeamento

**ISSN:** 1645-9369

**e-ISSN:** 1647-595X

Os “**Geo-Working papers**”, editados pelo Núcleo de Investigação em Geografia e Planeamento, são uma publicação científica periódica esporádica com duas séries: Série Investigação e Série Educação. A primeira Série está vocacionada para publicações científicas dos investigadores do NIGP e dos professores visitantes do Departamento de Geografia da Universidade do Minho. A segunda Série destina-se a publicações com um carácter predominantemente pedagógico, orientadas para o apoio às atividades letivas do Departamento de Geografia da Universidade do Minho. São ainda publicados números especiais, destinados à publicação de textos didáticos ou resultados de investigação mais extensos. As opiniões e conceitos emitidos são da exclusiva responsabilidade dos seus autores. Os “**Geo-Working papers**” têm uma edição limitada em papel, sendo publicados em edição eletrónica, de acesso livre, no *site* do NIGP.



## ÍNDICE

ÍNDICE.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS.....	9
INTRODUÇÃO.....	11
METODOLOGIA.....	13
1. ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO DA EROÇÃO DOS SOLOS IMEDIATAMENTE APÓS INCÊNDIOS FLORESTAIS .....	15
1.1. Erosão dos solos na sequência de incêndios florestais.....	15
1.2. Âmbito do projeto RECOVER .....	24
1.2.1. Objetivos gerais.....	24
1.2.2. Enquadramento geográfico das áreas de estudo.....	28
1.2.3. Âmbito da investigação a desenvolver pelo NIGP .....	43
2. AS TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA APLICADAS À ANÁLISE DE PROBLEMÁTICAS AMBIENTAIS .....	47
2.1. As Infraestruturas de Dados Espaciais .....	47
2.1.1. Conceito e componentes.....	47
2.1.2. Contexto Europeu de implementação de IDE .....	52
2.2. Os Sistemas de Informação Geográfica .....	54
2.3. Bases de Dados Espaciais .....	57
3. SISTEMA INTEGRADO DE INFORMAÇÃO APLICADO À ANÁLISE AMBIENTAL .....	61
3.1. Definição de uma IDE para o estudo de estratégias de remediação de solos imediatamente após incêndios florestais .....	61
3.1.1. Enquadramento e objetivos.....	61
3.1.2. Princípios e componentes .....	61
3.2. Implementação da Base de Dados Espacial .....	68
3.2.1. Objetivos e características da Base de Dados Espacial .....	68
3.2.2. Opções tomadas na conceção da Base de Dados .....	69
3.2.3. O modelo conceptual (EAR).....	70
3.3. Interação entre os componentes tecnológicos do SII .....	73
3.3.1. Integração entre os componentes tecnológicos do Sistema Integrado de Informação – IDE RECOVER.....	73
3.3.2. Interação do <i>software</i> SIG com a BDE.....	74
3.3.3. Preparação dos dados para o servidor de mapas através do SIG Desktop .....	75
3.3.4. Gestão de metadados .....	76

3.3.5. Portal RECOVER .....	77
ASPETOS CONCLUSIVOS.....	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	82
Obras consultadas .....	82
Recursos online .....	91
Outras fontes.....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema representativo da interação vegetação/solo, destacando-se os horizontes do perfil húmico em diferentes estádios de decomposição .....	21
Figura 2. Localização geográfica dos concelhos onde se situam as áreas de estudo, com base na Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP) .....	29
Figura 3. Altimetria (em metros) dos concelhos das áreas de estudo.....	31
Figura 4. Exposições, baseadas na informação relativa à altimetria.....	32
Figura 5. Declives (em percentagem), baseados na informação relativa à altimetria ..	33
Figura 6. Carta Geológica das áreas de estudo .....	34
Figura 7. Precipitação média anual .....	35
Figura 8. Temperatura média anual .....	36
Figura 9. COS de 1990 dos concelhos das áreas de estudo .....	37
Figura 10. Incêndios florestais ocorridos nos concelhos das áreas de estudo, por ano (1990 - 2007) .....	39
Figura 11. Recorrência dos incêndios florestais nos concelhos das áreas de estudo (1990-2007) .....	39
Figura 12. Localização geográfica da área de estudo em Sever do Vouga .....	41
Figura 13. Localização geográfica da área de estudo em Góis .....	42
Figura 14. Esquema de implementação do processo de modelação.....	45
Figura 15. Esquema conceptual de aplicação do processo de modelação geomorfológica .....	46
Figura 16. A relação das IDE dentro e entre diferentes níveis .....	50
Figura 17. Página de acesso ao geoportal INSPIRE.....	53
Figura 18. Página de acesso ao SNIG e conteúdo geoespacial do mesmo .....	54
Figura 19. Estrutura da IDE RECOVER .....	64
Figura 20. Tabela com alguns dos dados geográficos a disponibilizar inicialmente na página Web da IDE RECOVER.....	66
Figura 21. Esquema do Geoportal.....	67
Figura 22. Diagrama Entidade-Atributo-Relação.....	71
Figura 23. Implementação do modelo conceptual da BD no PostgreSQL (através do interface pgAdminIII).....	73
Figura 24. Importação de <i>layers</i> espaciais para o PostGIS através do interface do QuantumGIS.....	74
Figura 25. Criação de uma imagem para o MapServer no QuantumGIS.....	75
Figura 26. Visualização dos dados no Geonetwork (exemplo com uma camada de dados genérica) .....	76
Figura 27. Metadados relativos a um <i>layer</i> de dados espaciais.....	77
Figura 28. <i>Website</i> do projeto RECOVER, alojado no LASICS .....	77



## ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1. Parcelas de erosão instaladas na área de estudo de Sever do Vouga...	13
Fotografia 2. Área de estudo de Vale Torto.....	30
Fotografia 3. Área de estudo em Sever do Vouga .....	30
Fotografia 4. Área de estudo de Sever do Vouga, onde é possível perceber os elevados declives que a caracterizam.....	40
Fotografia 5. Área de Vale Torto, sendo visíveis, no sector mais elevado, as cristas quartzíticas .....	42
Fotografia 6. Levantamento topográfico de pormenor efetuado nas áreas de estudo .	44



## INTRODUÇÃO

A mitigação dos efeitos erosivos sobre os solos, desencadeados na sequência dos incêndios florestais, tem sido um objetivo perseguido no âmbito de diversos projetos de investigação, procurando identificar técnicas e estratégias eficazes, passíveis de serem colocadas em prática.

Na sequência desta problemática, foi desenvolvido um projeto de investigação, financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), com o intuito de identificar estratégias que permitissem minimizar os efeitos erosivos nos solos na sequência de incêndios florestais. O 'RECOVER – Estratégias de Remediação de Solos Imediatamente após Incêndios Florestais' (PTDC/AGR-AAM/73350/2006) foi coordenado pelo CESAM (Centro de Estudos do Ambiente e do Mar) da Universidade de Aveiro, em parceria com o NIGP (Núcleo de Investigação em Geografia e Planeamento) da Universidade do Minho e o CERNAS (Centro de Estudos de Recursos Naturais, Ambiente e Sociedade) da Escola Superior Agrária de Coimbra.

As tarefas atribuídas à equipa de investigação da Universidade do Minho consistiam, sumariamente, na caracterização e análise geomorfológica das áreas em estudo, na implementação de um Sistema Integrado de Informação (SII) e na modelação dos processos morfológicos em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica).

Neste sentido, a par das tarefas de instalação de procedimentos de monitorização nas áreas selecionadas, especificamente para o desenvolvimento do projeto, e início da recolha de dados (levadas a cabo por outras equipas do projeto), procedeu-se a um trabalho de campo para a caracterização geomorfológica das referidas áreas e a um levantamento topográfico, com recurso a estação total e equipamento GPS.

Procedeu-se, numa fase posterior, à avaliação da informação coletada, de forma a definir uma estrutura de dados a implementar ao nível da Infraestrutura de Dados Espacial (IDE), que tem como função armazenar toda a informação gerada ao longo do projeto e disponibilizá-la às várias equipas envolvidas. Concomitantemente, definiu-se a metodologia empregue no tratamento e análise dos dados, nomeadamente ao nível dos processos envolvidos no desencadeamento dos fenómenos erosivos, objeto de estudo neste projeto, e resultados das medidas de mitigação empregues.

Os resultados obtidos pela equipa de investigação do NIGP ao longo do projeto têm sido objeto de divulgação científica, quer em encontros científicos internacionais, quer através da publicação em revistas científicas e outras publicações.

Os primeiros outputs foram divulgados no *V Seminário Latino-Americano e I Seminário Ibero-Americano de Geografia Física*, que decorreu em Santa Maria, no Brasil, em 2008. Desta participação resultou, além da publicação nas atas do evento, a publicação de um artigo na “Revista Geografia Ensino & Pesquisa” (Bento-Gonçalves *et al.*, 2008a). Posteriormente, participámos noutros encontros científicos de carácter internacional: em 2009, estivemos presentes em Marmaris (Turquia), no *II International Meeting of Fire Effects on Soil Properties*, com a apresentação de uma comunicação oral intitulada “Mitigation of soil loss after forest fires: a geomorphological approach based in GIS modeling” (Bento-Gonçalves *et al.*, 2009a); em 2010, em Santiago de Compostela (Espanha), nas *Jornadas Internacionales – Investigación y gestión para la protección del suelo y restauración de los ecosistemas forestales afectados por incendios forestales*, com a publicação de um trabalho nas atas do evento intitulado “Mitigation of erosion after forest fires: a geomorphological approach based in GIS modeling” (Bento-Gonçalves *et al.*, 2010a); e em 2011, em Guimarães, no *III International Meeting of Fire Effects on Soil Properties*, com a publicação de um trabalho nas atas do evento, intitulado “Geographical Information Technology to support research on forest fires and soil erosion” (Vieira *et al.*, 2011).

A nível nacional procedemos à publicação de dois textos que resumiam os trabalhos desenvolvidos ao longo do projeto, nos Geo-Working Papers do NIGP: um em 2008, intitulado “Caracterização geomorfológica e implementação de um sistema integrado de informação, em ambiente SIG, no âmbito do projeto RECOVER (Estratégias de remediação de solos imediatamente após incêndios florestais)” (Bento-Gonçalves *et al.*, 2008b); outro em 2009, intitulado “Sistema integrado de informação, em ambiente SIG, aplicado à erosão de solos na sequência de incêndios florestais” (Vieira *et al.*, 2009). Participamos ainda no V Congresso Nacional da Geomorfologia, com um trabalho intitulado “An integrated information system to support research on soil erosion mitigation techniques after forest fires”, tendo sido publicado em formato resumido nas atas do evento (Vieira *et al.*, 2010), aguardando-se a sua publicação integral em publicação da Associação Portuguesa de Geomorfólogos.

Já em 2011 foi concluída uma dissertação de mestrado, da autoria de Carla Martins (investigadora do NIGP), integrada no âmbito do projeto RECOVER, dedicada à “Implementação de um sistema integrado de informação aplicada à erosão dos solos na sequência dos incêndios florestais” (Martins, 2011).

Assim, o presente trabalho reúne a investigação realizada pelo grupo de investigadores do NIGP no âmbito do projeto RECOVER, com especial destaque para a relacionada com a elaboração e execução da Infraestrutura de Dados Espaciais.

Consequentemente, este trabalho é uma síntese da investigação desenvolvida pela equipa de investigação do NIGP ao longo do projeto RECOVER.

## **METODOLOGIA**

Para a prossecução das tarefas descritas no presente trabalho foi necessária a implementação prévia de um conjunto de metodologias relacionadas com a recolha de dados no campo, realizadas por outras equipas envolvidas no projeto RECOVER. Estas metodologias englobaram tarefas de instalação de parcelas (fotografia 1), recolha de sedimentos e demais parâmetros monitorizados nas parcelas de erosão, bem como instalação de equipamentos de monitorização climática, medição de infiltração e humidade do solo, entre outras metodologias de avaliação da erosão do solo na sequência de incêndios florestais<sup>1</sup>.



Fotografia 1. Parcelas de erosão instaladas na área de estudo de Sever do Vouga

---

<sup>1</sup> As diversas metodologias estão descritas nos relatórios produzidos, pelas equipas envolvidas, ao longo do projeto RECOVER.

Ainda no decurso desta etapa prévia, a equipa da Universidade do Minho ocupou-se do levantamento topográfico das áreas de estudo (nomeadamente das parcelas de erosão), através da utilização de uma Estação Total (Topcon GPT 7003), complementando com a utilização de GPS de elevada precisão (Trimble Rx). Este levantamento é fundamental para a criação de um modelo digital de terreno que sirva de base aos processos de modelação que se pretendam realizar para as áreas em estudo. O elevado grau de precisão destes equipamentos contribui para que possamos criar um modelo da superfície do terreno de grande exatidão, aproximando-se bastante da realidade, tornando assim os resultados produzidos mais fiáveis.

Por forma a proceder à criação do modelo conceptual da IDE e avaliar as ferramentas mais adequadas à sua posterior implementação, foi necessário desenvolver um estudo aprofundado do *software* existente, desde os *softwares* SIG Desktop, aos SGBD (Sistema de Gestão de Bases de Dados) espaciais, servidores de mapas e editores de metadados, entre outras ferramentas indispensáveis à concretização das tarefas inicialmente previstas. Com base na informação recolhida procedeu-se à identificação e escolha das opções mais viáveis, quer do ponto de vista de integração na infraestrutura e total compatibilidade, quer do ponto de vista dos custos associados à sua implementação.

Também importante, foi a pesquisa e recolha de informação geográfica necessária para a integração na IDE, nomeadamente dados de referência (incluídos nos anexos I e II da Diretiva INSPIRE - Infrastructure for SPatial InfoRmation in Europe), essencialmente os correspondentes a informação estruturante e de inventário. Optámos pela seleção de informação disponibilizada por instituições oficiais produtoras de informação geográfica (Instituto Geográfico Português - IGP, Autoridade Florestal Nacional - AFN, Agência Portuguesa do Ambiente - APAmbiente) e com relevância para o âmbito do projeto.

Toda a informação espacial recolhida sofreu, posteriormente, um processo de normalização ou de harmonização, por forma a respeitar os parâmetros definidos para os dados (respeitando, de maneira geral, as normas estabelecidas ao nível da Diretiva INSPIRE).

# **1. ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO DA EROÇÃO DOS SOLOS IMEDIATAMENTE APÓS INCÊNDIOS FLORESTAIS**

## **1.1. Erosão dos solos na sequência de incêndios florestais**

As últimas quatro décadas foram marcadas, em Portugal, por um forte incremento dos incêndios florestais, que se traduziu também num aumento das áreas aridas anualmente (Bento-Gonçalves, 2011; Bento-Gonçalves *et al.*, 2011a). Os anos de 2003 e 2005 refletem um extremo desta realidade que, além de forçar a mobilização de avultados recursos financeiros, materiais e humanos, provoca elevadas e irrecuperáveis perdas humanas, ambientais e materiais.

Uma das consequências ambientais imediatas, observáveis na sequência dos incêndios florestais, é a perda de amplos recursos florestais e consequente perda de biodiversidade e de produção florestal. Contudo, apesar de menos visível, a perda e degradação do solo é talvez mais importante, uma vez que este constitui a base fundamental para o desenvolvimento da floresta e demais recursos bióticos.

Neste contexto, têm vindo a desencadear-se esforços no sentido de melhor conhecer os fatores envolvidos nesta problemática bem como as suas consequências. No que diz respeito aos efeitos negativos que os incêndios florestais têm nos solos, destacam-se alguns projetos de investigação, com financiamento nacional ou comunitário, que os têm procurado identificar, quantificar e avaliar de forma sistemática, sendo exemplo o projeto EROSFIRE.

Outros têm procurado encontrar soluções que possibilitem a minimização dos impactes, tentando contribuir para a definição de estratégias para a proteção do recurso solo, como por exemplo o projeto DESIRE, financiado pela União Europeia.

É nesta segunda linha de pesquisa que se desenvolve o projeto RECOVER. Este projeto tem como objetivo principal desenvolver, testar e implementar técnicas mitigadoras que conduzam à redução da degradação do solo e da água imediatamente após os incêndios florestais.

A pertinência deste tema é justificada, por um lado, pela importância que o recurso floresta representa para Portugal, ocupando mais de um terço da área do país. Efetivamente, é um sector da economia extremamente relevante, tendo apresentado “durante o século XX (...) um desempenho surpreendente” (DGRF, 2006, p. 4), através de produtos como a madeira, cortiça, resina, frutos, cogumelos, plantas aromáticas, apicultura, silvo-pastorícia, pesca, caça e atividades ligadas ao lazer/turismo. Por outro lado, a degradação do recurso solo constitui também um fator de relevo na justificação da investigação em curso, dada a fragilidade deste recurso e

a sua elevada vulnerabilidade, especialmente quando desprovido da sua proteção natural (a vegetação), na sequência dos incêndios florestais, por exemplo.

É, portanto, imperioso desenvolver estratégias que permitam mitigar o problema dos incêndios florestais, de forma a promover uma sustentável proteção do solo, dos recursos hídricos, da biodiversidade e demais valores ambientais, contribuindo para uma melhor qualidade do ambiente, em geral, e, em especial, para a redução dos impactos ao nível da poluição atmosférica e consequentes influências sobre o ‘aquecimento global’<sup>2</sup> (libertação de gases como dióxido de carbono, renovação dos níveis de oxigénio).

As mudanças climáticas que se têm vindo a verificar por todo o globo são, por sua vez, um fator com influência negativa sobre os incêndios florestais. De facto, crê-se que um dos principais impactos do aquecimento global estará relacionado com a alteração da frequência e intensidade dos eventos climáticos extremos, o que resultará num aumento do risco meteorológico de incêndio (Durão e Corte-Real, 2006, Bento-Gonçalves *et al.*, 2011b). A ‘Estratégia Nacional para as Florestas’ (DGRF, 2006, p. 12) refere que “desde a década de setenta a temperatura média subiu em Portugal cerca de 0,5°C/década, o que corresponde a mais do dobro do aumento verificado na temperatura média mundial”. Em Portugal as temperaturas tendem, assim, a ser cada vez mais elevadas e a precipitação cada vez menor, o que conduz a um aumento dos chamados períodos de seca e de condições extremas. Estas condições estão diretamente relacionadas com os incêndios florestais, influenciando a duração e severidade da época de incêndios, bem como a extensão das áreas de risco. Porém, não são apenas as condições climáticas que condicionam a ocorrência dos fogos. Existem outras causas, como sejam a influência de políticas públicas (como, por exemplo, o Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios) e iniciativas privadas (tanto por parte de entidades singulares como de associações/organizações), a cultura e os costumes, a formação/informação, entre outros.

O processo de êxodo rural que se tem vindo a observar nas áreas de interior e de montanha do território nacional desde os anos 60 do século XX tem constituído, igualmente, um fator determinante para a ocorrência de incêndios (Bento-Gonçalves *et al.*, 2010b; Ferreira-Leite *et al.*, 2010). Ao longo das últimas décadas a população mais jovem tem-se vindo a estabelecer nos meios urbanos, em busca de melhores oportunidades de emprego e melhores condições de vida. Este facto contribuiu para a redução da população rural e seu consequente envelhecimento, conduzindo ao abandono das atividades agrícola, pastoril e silvícola. Obviamente, esta nova realidade

---

<sup>2</sup> ‘Aquecimento global’ é o termo frequentemente utilizado para definir o fenómeno do aumento da temperatura média dos oceanos e do ar junto à superfície terrestre.

fez com que se verificasse uma diminuição do uso das florestas para a produção de matérias-primas, coleta de lenha, e outras atividades, que em muito contribuíam para a gestão de biomassa florestal e conseqüente prevenção dos incêndios florestais. Assim, o risco de ocorrência e propagação de incêndios tornou-se cada vez maior (Bento-Gonçalves *et al.*, 2010c; Ferreira-Leite *et al.*, 2011).

O Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios (2006) constitui um instrumento de gestão implementado com objetivos concretos ao nível da redução da incidência dos incêndios e da eficácia do ataque e da gestão dos incêndios, como o aumento da resiliência do território aos incêndios florestais, a redução da incidência dos incêndios, a melhoria da eficácia do ataque e da gestão dos incêndios, a recuperação e reabilitação dos ecossistemas e a adaptação de uma estrutura orgânica e funcional eficaz.

Neste sentido, é imperioso implementar medidas que, de alguma forma, contribuam para a redução do número e intensidade dos incêndios florestais. Algumas dessas medidas poderiam passar pela gestão do combustível orgânico através do pastoreio e do aproveitamento de biomassa para energia, pela formação/informação das populações e órgãos (públicos e privados) de gestão florestal, entre outras (Bento-Gonçalves *et al.*, 2009b).

Em Portugal estima-se que a negligência e a intencionalidade sejam as principais causas dos incêndios florestais. No período de 1993 a 2003, de acordo com dados da Agência para a Prevenção de Incêndios Florestais (APIF) e do Instituto Superior de Agronomia (ISA), estas foram responsáveis por cerca de 60% dos incêndios ocorridos, sendo os restantes provocados por causas naturais (2,5%) e dos restantes 38,3% não foram determinadas as causas (Bento-Gonçalves, 2011). Esta realidade leva-nos a concluir que o Homem tem um papel significativo na ocorrência dos incêndios florestais. Como é referido no *síte* do projeto Fireparadox “os seres humanos são a principal causa de incêndios” (fireparadox.org, 2010).

No entanto existem hábitos e costumes enraizados na sociedade, como é o caso das queimadas, um costume muito antigo de queimar vegetação de baixa estrutura, e apesar de pouco seguro (quando não efetuado com os devidos cuidados), este é um método que continua a ser muito utilizado, levando muitas vezes à destruição enormes áreas florestais, e não apenas aquela a que se destinavam de início. E apesar de existirem equipas de especialistas que sabem aplicar a técnica com segurança, devido a questões económicas, de falta de informação e outras, continuam a ser os proprietários a efetuá-la eles próprios. O recurso às queimadas é motivado, essencialmente, pela necessidade de renovação do pasto, embora outras causas lhe

estejam também associadas, como a caça ou conflitos de natureza diversa (Bento-Gonçalves *et al.*, 2009, 2010c).

De referir ainda que, no contexto do território nacional, quase dois terços dos solos apresentam uma aptidão essencialmente florestal (Ferreira, 1996), sendo por isso de extrema importância um investimento sério no sector florestal. Para isso, é necessário trabalhar no sentido da diminuição dos riscos em se apostar no sector florestal, por exemplo através da: modernização das empresas florestais; cooperação empresarial no sentido de promover e preservar os recursos existentes com sustentabilidade; inovação, apostando em novas explorações de produtos/serviços e novos mercados. Deste modo, é possível promover, ao mesmo tempo, a economia e a biodiversidade e preservação florestal.

Para podermos ter uma floresta vigorosa e com características de uma biodiversidade sustentável, é necessário cuidar dela e do seu solo, pois este é um elemento indispensável para a sustentabilidade da floresta, das atividades agropastoris e demais atividades humanas.

O solo “pode definir-se como meio natural para o desenvolvimento das plantas terrestres, tal como se formou (solo dito natural), ou mais ou menos modificado como resultado da sua utilização pelo Homem” (Botelho da Costa, 1995) e é a base da humanidade, da sua sobrevivência e de toda a biodiversidade global, sendo de extrema importância estimá-lo, para que possamos usufruir das suas características de forma sustentável.

A degradação dos solos e os processos de desertificação associados constituem problemas com impactes severos a nível mundial, com uma expressão generalizada a todos os pontos do globo e com perspetivas de agravamento acentuado, resultante não só da ação direta do Homem, mas também em consequência das já referidas mudanças climáticas. A Europa Mediterrânea é uma região particularmente afetada pelo problema da degradação dos solos devido às suas características ecológicas específicas, como a aridez, a precipitação irregular mas intensa, ou a frequência de eventos extremos, tais como cheias ou secas, por exemplo. Tais características, juntamente com inadequados padrões de uso do solo, contribuem para uma maior vulnerabilidade deste, conduzindo à sua degradação física, quer pela deterioração da sua estrutura, quer pela destruição do coberto vegetal (Ferreira, 1996/7).

A erosão do solo consiste, então, no desgaste e remoção de materiais essencialmente pedogénicos da crosta terrestre, levando à progressiva degradação do solo, constituindo, portanto, um dos mais graves problemas a nível mundial e condicionando o Ordenamento do Território.

A constituição superficial do solo é muitas vezes alterada e conseqüentemente degradada devido a usos inadequados efetuados pelo Homem, os quais são muitas vezes devidos a negligência e/ou conveniência, aliados à ausência de formação dos utilizadores deste bem essencial à vida.

O comportamento de uma superfície em relação à erosão depende da natureza da litologia (propriedades físicas e químicas) sob ação de diferentes meios morfoclimáticos, ou seja, os processos erosivos atuam de várias formas consoante o meio e as condições a que este está sujeito, sendo os fenómenos antrópicos importantes intensificadores dos fatores que levam à ocorrência de processos erosivos. No que diz respeito aos processos morfoclimáticos, estes são desencadeados por agentes exógenos que atuam de forma específica e influenciam de forma marcante o desgaste natural do solo, sobretudo através do agente água, que é um dos mais intensivos agentes erosivos nas zonas temperadas.

A erosão do solo, portanto, está intimamente ligada à sua ocupação, assim como a fatores geológicos, geomorfológicos e a fatores climáticos.

Assim, os principais fatores que influenciam o risco de erosão são: o clima, a geomorfologia (relevo), o tipo de geologia (características das partículas do solo, atividade tectónica e/ou sísmica, etc.), a biologia (vegetação, animais, ...) e a atividade antrópica que incide direta ou indiretamente sobre determinada porção de solo.

“Na Europa, e em particular na região mediterrânea, a erosão hídrica constitui o principal fator responsável pela degradação dos recursos edáficos” (Gobin *et al.*, 2002, cit. por Nunes, 2008).

A atuação dos mecanismos de erosão hídrica vai resultar num conjunto de efeitos nefastos sobre os solos, que se traduzem numa redução da superfície de terrenos cultiváveis. De facto, as conseqüências desta erosão vão-se traduzir numa diminuição da espessura da camada arável e profundidade efetiva do solo, levando à perda de partículas edáficas mais férteis, com a conseqüente diminuição da capacidade nutricional do solo. Além disso, os impactes vão-se fazer sentir, também, ao nível da degradação das propriedades físicas do ecossistema, das alterações do ciclo hidrológico e da deterioração da qualidade das águas superficiais e subsuperficiais.

Nunes (2008) refere que a erosão hídrica representa a forma mais completa e integral de degradação, ou seja, além da perda física do solo, verifica-se um decréscimo nos conteúdos orgânicos, o que implica uma redução da capacidade de retenção dos nutrientes e de água útil para as plantas, diminuindo o volume efetivo para o desenvolvimento radicular. Nestas circunstâncias, a perda de solo, provocada por ação das gotas de chuva, origina ecossistemas degradados e frágeis, com

correspondentes impactes no ciclo da água e, de uma maneira geral, em termos ambientais.

A erosão do solo leva a várias consequências negativas como a redução da produtividade do mesmo, por exemplo em termos agrícolas e florestais, que por sua vez leva à redução do valor económico do solo, e a consequências económicas negativas tanto para agricultores como para a economia nacional e até mundial, e à respetiva deterioração das condições de vida das populações. Tudo isto provoca importantes consequências ambientais e socioeconómicas negativas e representa riscos para as entidades agrícolas e florestais, que assim se veem reticentes quanto ao investimento em terrenos, produtos, serviços, etc..

Com efeito, podemos concluir que a erosão dos solos é considerada um problema natural potenciado pelo Homem, e devemos ter sempre em consideração que o solo é um recurso natural finito, sujeito não só à degradação física como química e biológica, em resultado de práticas de exploração impróprias, da erosão acelerada, etc. Por este motivo a gestão do solo deve visar a satisfação das necessidades atuais e futuras da sociedade (agricultura, silvicultura, urbanização, indústria, turismo e recreio), sem descurar o papel que os solos desempenham na conservação da paisagem e da vegetação com interesse ecológico, científico, estético, cultural, entre outros. A erosão do solo pode então originar consequências económicas, sociais e ecológicas negativas, logo, é necessário conhecer o meio físico e os riscos existentes para poder prever e prevenir danos futuros, diminuindo, assim, as vulnerabilidades que colocam em questão a sociedade e o ambiente.

Os incêndios florestais são um facto cada vez mais preocupante, pois, para além de muitos outros fatores negativos, todos os anos enormes áreas de floresta e mato, especialmente no Norte e Centro do país são devastadas, contribuindo para os padrões catastróficos revelados nas últimas décadas.

Relativamente aos impactes no solo, convém fazer referência a alguns aspetos de elevada importância.

No que diz respeito à questão da sustentabilidade dos ecossistemas, torna-se pertinente saber em que medida e de que forma os incêndios afetam os nutrientes do solo e sua repercussão ao nível da degradação do mesmo. É um facto que perda de nutrientes por ação direta e/ou indireta do fogo poderá afetar a fertilidade do solo, acarretando, assim, importantes implicações para a gestão florestal (Thomas *et al.*, 2000a).

Os efeitos da intensidade do fogo têm sido investigados por diversos autores, porém os resultados obtidos são ainda inconclusivos, tendo-se chegado, inclusivamente, a resultados contraditórios (Úbeda e Sala, 2001; Coelho *et al.*, 2004).

Por outro lado, Soto e Diaz-Fierros (1993) afirmam que a disponibilidade de nutrientes presentes nas cinzas é regulada pela temperatura atingida durante a combustão, e pelas características tanto da vegetação como do elemento em questão. Segundo os autores, a taxa de libertação de nutrientes é determinada sobretudo pela intensidade do fogo através dos seus efeitos sobre a volatilização e mineralização da matéria orgânica do solo, que geralmente atinge um pico a temperaturas entre os 350°/450°C.

Outro aspeto relevante é a destruição das camadas superiores do solo por ação do fogo, nomeadamente as camadas L e F e a camada H (quando presente) (figura 1). Neste processo grandes quantidades de nutrientes são mineralizadas e os materiais do solo expostos ao impacto das gotas da chuva, aumentando a erosão e escorrência (Shakesby *et al.*, 1993; Walsh *et al.*, 1994). A destruição da camada de manta morta e mato rasteiro produz uma mudança da vegetação e da estrutura da parte superior do solo, criando importantes impactes sobre o regime hidrológico (Walsh *et al.*, 1994; Ferreira *et al.*, 1997; Soto e Diaz-Fierros, 1998; Thomas *et al.*, 1999; 2000a, b; Coelho *et al.*, 2004; Cerdà e Doerr, 2005).

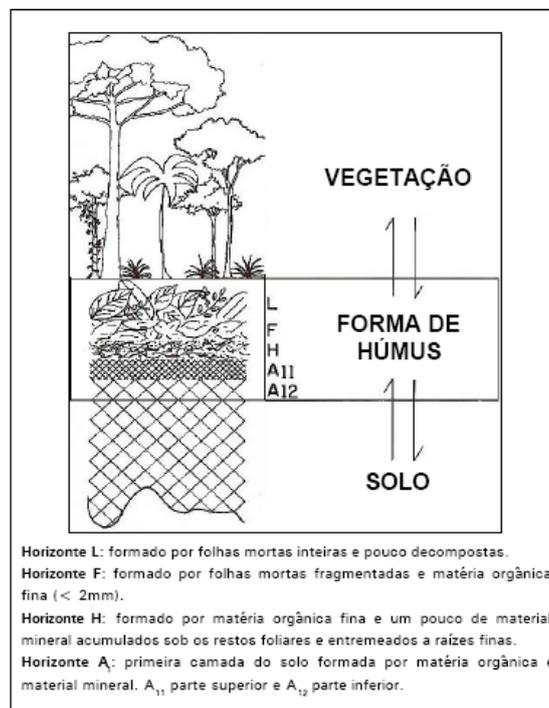


Figura 1. Esquema representativo da interação vegetação/solo, destacando-se os horizontes do perfil húmico em diferentes estádios de decomposição

Fonte: Kindel *et al.* (2003)

Outro fator determinante para a compreensão dos fenómenos de degradação do solo é a intensificação dos processos de repelência da água nos solos afetados por

incêndios (hidrofobicidade), na superfície imediatamente abaixo das cinzas (Giovannini, 1987; Giovannini *et al.*, 1988; Doerr *et al.*, 1996). De acordo com Giovannini (1994), os incêndios com temperaturas acima dos 450°C (aproximadamente) acentuam o aumento da escorrência e o risco de erosão, induzindo a repelência à água e, assim, dificultando a infiltração.

A severidade com que o fogo induz a repelência à água depende de um conjunto de características dos solos, incluindo principalmente a humidade, a textura e a quantidade e composição da matéria orgânica existente antes do fogo (Botelho *et al.*, 1994; Giovannini, 1994).

Em ambientes florestais queimados a escorrência pode ser reforçada pela redução da capacidade de infiltração e pelo desenvolvimento do reforço da eficácia da camada hidrofóbica (Sevink *et al.*, 1989; Imeson *et al.*, 1992; Doerr *et al.*, 1996).

A magnitude das alterações na erosão e nos processos hidrológicos depende, em parte, da severidade e variabilidade espacial da hidrofobicidade do solo (Jungerius e DeJong, 1989; Ritsema e Dekker, 1994; Coelho *et al.*, 2004; Ferreira *et al.*, 2005).

Com as cinzas à superfície do solo, as quais representam uma parte substancial do stock dos nutrientes, a ocorrência de escorrência logo após o incêndio, constitui um grave risco de degradação do solo (Ferreira *et al.*, 1997). A dinâmica e o significado dos solutos na escorrência em ambientes florestais queimados são muitas vezes negligenciados, apesar da sua importância na perda de nutrientes à escala dos ecossistemas.

Essas perdas de nutrientes são cruciais para a sustentabilidade das regiões de clima mediterrâneo com influência atlântica, uma vez que, não obstante da sua vegetação, elas coincidem com as zonas montanhosas onde os solos são geralmente pouco desenvolvidos e pobres em nutrientes. As montanhas de xisto em Portugal são caracterizados por apresentarem Cambissolos Húmicos pouco desenvolvido onde a única reserva de nutriente se situa nas camadas L, F e, quando presente, H orgânica, que são queimadas pelos incêndios florestais.

Como se evidenciou anteriormente, o fogo contribui para a ocorrência de uma série de fenómenos, como a destruição do coberto vegetal, a alteração da capacidade de infiltração das águas das chuvas (por alteração das propriedades do solo, como por exemplo o aumento da sua hidrofobicidade), o que leva à redução das reservas aquíferas subterrâneas e ao aumento da escorrência superficial, que por sua vez conduz a uma erosão mais acentuada dos solos.

Assim, é necessário implementar medidas de mitigação e para isso é necessário conhecer bem a área afetada, de forma a saber qual a medida mitigadora mais adequada e poder aplicá-la de forma a conseguir maior eficácia. Neste sentido, é

necessário conhecer um conjunto de fatores, determinantes para uma eficaz atuação na aplicação de medidas mitigadoras, como sejam: a dimensão da área afetada, a intensidade com que o fogo ocorreu, o relevo, a geologia, o tipo de ocupação do solo, as condições climáticas, entre outros. A escolha das medidas a aplicar depende das características destes e de outros fatores também a ter em conta, nomeadamente os económicos.

A implementação de medidas de mitigação da erosão na recuperação da floresta após incêndios florestais tem sido implementada há muito tempo, especialmente no “mundo mediterrâneo”, onde o fogo tem sido um fator natural e fundamental para a evolução da paisagem ao longo do tempo, mesmo antes da humanidade (Naveh, 1975; Pyne, 1982; Pausas *et al.*, 2008;. Mataix-Solera e Cerdà, 2009; Pausas e Keeley, 2009; Shakesby, 2011).

Nos Estados Unidos da América atividades de intervenção pós-fogo têm sido implementadas há já algumas décadas (desde a década de 1930, de acordo com Robichaud *et al.*, 2005), com equipas especializadas multidisciplinares que avaliam a necessidade e o tipo de medidas de tratamento para cada área queimada (Robichaud, 2009), aplicando programas específicos de avaliação para a intervenção em áreas de risco (BAER = Respostas de Emergência em Áreas Queimadas) (Napper, 2006). Também outros países afetados por incêndios florestais, tais como Austrália e Canadá, estão a promover amplas estratégias e planos de reabilitação pós-incêndios (Pike e Ussery, 2006; Robichaud, 2009).

As medidas a implementar podem passar por: aplicação de resíduos orgânicos<sup>3</sup> na área ardida, como ramos, serapilheira, palha, serradura, etc.; aplicação de sacos de areia; impulsionar o crescimento de vegetação, favorecendo a regeneração natural (através da fertilização dos solos e melhoria da sua qualidade física); terraceamento; entre outras. Por exemplo, na aplicação de resíduos orgânicos, o objetivo fulcral é o aumento da cobertura do solo para reduzir o impacto da chuva e a consequente erosão. Existem diversos tipos de materiais possíveis de utilizar neste tipo de aplicação, como os resíduos do abate de árvores (ex: ramos, casca, serradura) ou palha, devendo ser colocados em forma de cordões de retenção e orientados segundo as curvas de nível, em faixas regulares e paralelas.

O mulch é aplicado de forma superficial sobre o terreno e o objetivo primordial é proteger o solo do impacto das gotas de chuva<sup>4</sup>. Segundo Robichaud *et al.* (2000) a utilização de palha é o método mais rentável e a serradura o menos eficaz.

---

<sup>3</sup> Também denominada por “mulch”.

<sup>4</sup> Conhecido por efeito *splash*.

Existem muitas outras técnicas passíveis de aplicar no território após o fogo, como troncos, que apesar de ser um método dispendioso e de complexa aplicabilidade, necessitando de muita mão-de-obra, pode ser bastante eficaz. A sua aplicação é efetuada de forma perpendicular ao sentido de maior declive da vertente, sendo os mesmos enterrados no solo na diagonal, e do lado superior do terreno, sendo aberta uma vala ao longo dos mesmos, para que os sedimentos e cinzas (repletos de nutrientes) provindos da escorrência aí se depositem. Os troncos também ajudam a abrandar a escorrência evitando caudais torrenciais. No entanto, a permanência destas barreiras pode aumentar a carga combustível, aumentar o risco de incêndio e facilitar a propagação do fogo. Este método apenas é passível de ser utilizado em povoamentos florestais relativamente densos.

Outra medida de mitigação é o repovoamento do espaço por espécies vegetais autóctones, semelhantes às existentes antes do fogo, de forma manufacturada. Este é um método moroso, devido ao tempo necessário ao crescimento da vegetação, para que esta apresente uma estrutura suficientemente robusta para impedir a destruição do solo pelo *splash* e pela escorrência superficial.

A escolha e aplicação de cada método de remediação deve ser feita tendo em conta os fatores referidos e de acordo com os objetivos a atingir.

No entanto, os esforços não devem estar voltados apenas para as medidas de mitigação, mas também, e antes disso, estar voltados para a prevenção dos incêndios florestais, por exemplo através de uma boa gestão das políticas de planeamento territorial, agro-pastoris, florestais, etc.; realização de campanhas de informação às populações e incentivo à limpeza de matos de terrenos públicos e privados; otimização da metodologia e meios de vigilância florestal e combate aos fogos; entre outras medidas preventivas.

## **1.2. Âmbito do projeto RECOVER**

### **1.2.1. Objetivos gerais<sup>5</sup>**

Nas últimas décadas a frequência dos incêndios florestais em Portugal continental tem vindo a aumentar, fruto de fatores como as atividades antrópicas ou as mudanças climáticas, com severos impactes ao nível da fertilidade e estrutura dos solos, devido em grande parte à erosão da camada superior dos solos, onde se localizam, na maioria dos solos portugueses, os únicos nutrientes existentes.

É neste âmbito que surge o projeto 'RECOVER – estratégias de remediação de solos imediatamente após incêndios florestais', financiado pela FCT (PTDC/AGR-

---

<sup>5</sup> Este ponto foi elaborado com base na candidatura do projeto RECOVER, submetida à FCT.

AAM/73350/2006) e coordenado pela Universidade de Aveiro, em parceria com a Universidade do Minho (através do Núcleo de Investigação em Geografia e Planeamento) e a Escola Superior de Agrária de Coimbra, visando desenvolver estratégias de remediação de solos imediatamente após a ocorrência de incêndios florestais.

A frequência dos referidos incêndios florestais tem vindo a aumentar no território nacional, fruto do deficiente planeamento florestal e das mudanças climáticas em curso, com severos impactes ao nível da fertilidade e estrutura dos solos e conseqüente aumento da erosão dos mesmos. A mobilização de nutrientes ocorre principalmente nos primeiros eventos chuvosos outonais, e, como tal, a deslocação dos sedimentos e dos nutrientes, normalmente acontece nos primeiros 4 a 6 meses após o incêndio. A velocidade a que a perda de cada nutriente ocorre e a extensão dos incêndios florestais, são condicionantes em termos de custos e limita as soluções que se podem implementar para a redução da degradação do solo e da água.

Através do projeto RECOVER foi testado um conjunto de soluções praticáveis, de forma a reduzir a lavagem das cinzas e a perda física do solo. A metodologia proposta apresenta uma integração inovadora de técnicas quantitativas de campo e irá também proceder a análises de perceção junto de todos os intervenientes no planeamento florestal. Tal abordagem é essencial para a produção de soluções praticáveis, que poderão ser facilmente adotadas pelos planeadores florestais, bem como pelos proprietários florestais.

Este projeto apresenta uma abordagem integradora baseada em levantamentos de campo das propriedades do solo e da vegetação, após a ocorrência de incêndios florestais, cujos resultados foram utilizados para a construção de uma Base de Dados Espacial integrada em ambiente SIG que servirá para identificar os locais críticos à ocorrência de erosão.

O RECOVER tem uma forte dimensão participativa, uma vez que a investigação foi discutida e levou em conta os principais atores e intervenientes, e as soluções propostas.

As metodologias testadas pelas equipas de investigadores envolvidas no RECOVER tentaram definir um conjunto de soluções praticáveis que permitam reduzir a lavagem das cinzas e a perda física de solo, como sejam o uso de matéria orgânica, de sobras florestais, de troncos, a mobilização do solo, sementeiras, etc., quer individualmente, quer em associação. A avaliação da eficiência das diferentes metodologias foi realizada em termos dos resultados da conservação do solo e da água, custos e aceitabilidade pelos agentes locais e partes interessadas. Com efeito, no RECOVER procedeu-se a análises de perceção junto de todos os intervenientes no

planeamento florestal. Para melhor compreender os processos de degradação e como as diferentes técnicas melhoram a conservação do solo e da água em áreas áridas, desenvolveu-se uma experimentação com recurso a lisímetros, para estudar detalhadamente a escorrência e os fluxos de percolação (incluindo água e nutrientes), para diferentes intensidades de fogo, declives, exposições ou tratamentos.

O objetivo final é permitir às pessoas com responsabilidades na gestão de áreas queimadas, identificar rapidamente as áreas críticas onde as intervenções devem ser feitas, para obter os melhores resultados na conservação do solo ao preço mais baixo possível, o que terá um impacto significativo sobre conservação do solo, recuperação de vegetação e conseqüentemente sobre o funcionamento dos ecossistemas, bem como a redução dos impactes das cinzas provenientes da lavagem, a jusante.

Uma vez que os impactes dos incêndios florestais ocorrem geralmente em áreas de grandes dimensões, é impossível intervir em toda a área para reduzir a perda de nutrientes, que ocorre como resultado da remoção das cinzas nos primeiros meses após o incêndio. A natureza e a velocidade em que ocorrem os processos de degradação tornam problemática a perspectiva logística e custo de remediação das conseqüências negativas. Portanto, deve ser definido um quadro conceptual para identificar os pontos em que as intervenções são mais eficazes. As informações recolhidas ao longo do trabalho de campo foram incluídas num SIG e interpretadas com recurso a modelos de análise espacial.

O projeto RECOVER desenvolveu-se em diversas etapas, estando atribuídas às diferentes equipas que o constituem tarefas diferenciadas, mas intimamente inter-relacionadas. Assim, a primeira tarefa correspondeu à identificação de áreas de riscos, que consiste na monitorização de um determinado número de áreas áridas, com diferentes características, para identificar diferenças nos processos de erosão aí ocorridos após a ocorrência das primeiras chuvas, identificando a distribuição espacial e tipologia dos pontos críticos, bem como onde devem ser aplicadas as intervenções para minimizar a degradação do solo.

Foram utilizados métodos de análise semi-quantitativa e diferentes indicadores.

A segunda tarefa relaciona-se com o estudo do transporte de nutrientes do solo queimado com recurso a lisímetros. A terceira tarefa compreende a implementação de um sistema integrado de informação que possibilite a avaliação geomorfológica das áreas críticas.

Esta tarefa ficou a cargo da equipa de investigação da Universidade do Minho.

As informações recolhidas nas diversas tarefas foram armazenadas no sistema integrado de informação, que integrará também ferramentas de análise espacial (SIG), que permitem uma análise e interpretação dos referidos dados.

O objetivo fundamental deste sistema consiste em fornecer informações científicas sólidas relativas às áreas em que é mais viável intervir, de forma a reduzir a perda de nutrientes ao menor custo possível.

O resultado final desta tarefa foi a produção de uma ferramenta integrada de gestão da informação que permite, para cada área, a produção de dados geográficos que poderão ser utilizados para produzir cartas de risco e mapas de apoio à gestão, onde os pontos que necessitam de intervenção sejam realçados.

A tarefa quatro visava a realização de estudos de perceção e envolver de forma direta os atores-chave. Para promover a divulgação do projeto, este envolve os principais intervenientes (os gestores florestais) desde o princípio, através da aplicação de entrevistas semiestruturadas a um número significativo de gestores florestais, o que permite uma abordagem participativa, onde é consultada a opinião dos mesmos acerca dos seus pontos de vista sobre os processos de degradação do solo após incêndios florestais, das práticas atuais para reduzir a degradação do solo, e, especialmente, dos seus pontos de vista acerca da viabilidade e dos custos das técnicas de tratamento escolhidas para a mitigação dos danos nos solos das áreas de estudo.

O objetivo final é implementar uma abordagem 'bottom-up', que permita a definição de orientações participativas, para a mitigação da degradação ambiental (solo, água, vegetação e, portanto, o ecossistema florestal em geral). Assim, é importante a manutenção de uma abordagem participativa em todo o projeto, permitindo a discussão sobre a viabilidade e a relação custo/eficácia de cada solução, facilitando a aplicabilidade e divulgação das soluções encontradas.

Na tarefa cinco procedeu-se à avaliação da eficácia das diversas técnicas viáveis na retenção de sedimentos e nutrientes. Para reduzir a mobilização de solo e suas propriedades em áreas queimadas, existem várias técnicas. No entanto, não existem estudos científicos que comparem a eficiência de um elevado número de técnicas. Portanto, nesta tarefa foram avaliadas diversas técnicas de mitigação, como é o caso da utilização de lamas provenientes de estações de tratamento de águas residuais, a aplicação de vários tipos de resíduos orgânicos que foram eliminados (como restos de árvores cortadas) ou a combinação de várias técnicas para testar as melhores soluções, tendo em consideração a relação custo/eficácia.

A escala de ação e a complexidade das diferentes técnicas de mitigação, coloca graves problemas à formação e implementação de um projeto experimental, capaz de

avaliar plenamente a eficiência das técnicas escolhidas, sendo portanto necessário desenvolver uma abordagem complexa e com múltiplas metodologias, que incluía várias escalas de análise e a avaliação dos processos e relativas propriedades.

Na tarefa seis procedeu-se à avaliação dos impactes das diversas medidas mitigadoras nos diferentes tipos de solo e vegetação. Esta tarefa representa outro modo de avaliar a realização das diferentes técnicas de mitigação, avaliando as características do solo 4 meses após o incêndio (após as primeiras chuvas), e 1 a 2 anos depois do incêndio.

Nas diversas tarefas descritas pretendeu-se definir uma estratégia de implementação de técnicas de tratamento de mitigação da erosão do solo baseada na melhor relação custo/eficácia. Este objetivo passou pela abordagem participativa dos interessados, de forma a incluir as visões dos gestores florestais sobre a viabilidade da solução, contribuindo assim também na divulgação e aplicação das estratégias identificadas como sendo as mais eficazes.

#### 1.2.2. Enquadramento geográfico das áreas de estudo

De forma a implementar as metodologias de campo definidas no âmbito do projeto RECOVER, identificaram-se duas áreas de estudo localizadas no Centro de Portugal, em área florestal, e afetadas por incêndios florestais.

A escolha de duas áreas amostra com características distintas permitir-nos-ia avaliar as metodologias aplicadas a contextos geográficos diferentes, com um conjunto de características diversificadas, de forma a observar a sua influência nos resultados obtidos.

Dada a exiguidade espacial das áreas de estudo, procederemos de seguida à caracterização das áreas dos concelhos onde aquelas se localizam, analisando, posteriormente as suas características específicas.

#### Caracterização geográfica dos concelhos onde se localizam as áreas de estudo

Como foi referido anteriormente, as duas áreas de estudo selecionadas localizam-se na região Centro (NUT II) de Portugal Continental (figura 2). Uma das áreas localiza-se em Vale Torto, freguesia de Góis, concelho de Góis, sub-região do Pinhal Interior Norte (Nomenclatura das Unidades Territoriais (NUT) III), no Distrito de Coimbra. A segunda localiza-se na freguesia de Pessegueiro do Vouga, concelho de Sever do Vouga, sub-região do Baixo Vouga (NUT III), no Distrito de Aveiro.

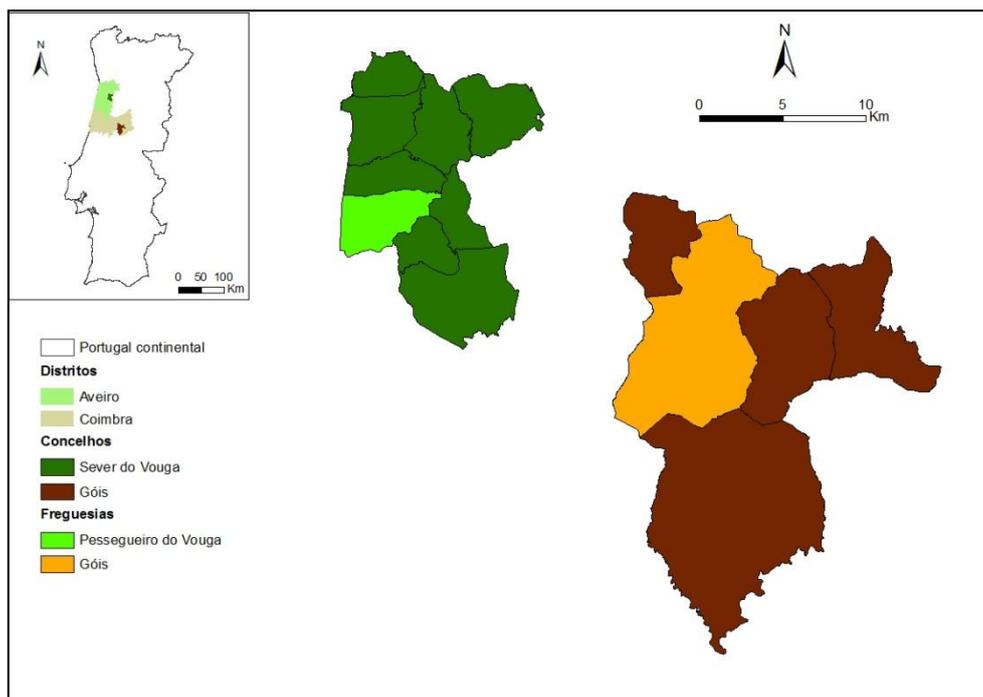


Figura 2. Localização geográfica dos concelhos onde se situam as áreas de estudo, com base na Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP)

Fonte: IGP

O relevo influencia, indiretamente, a distribuição das plantas e a progressão dos incêndios, através das suas características intrínsecas: a altitude, o declive e, naturalmente, a orientação das vertentes em relação ao Sol. Neste sentido, consideramos de extrema pertinência a caracterização e análise das características físicas das áreas em estudo, para a adequada compreensão dos fenómenos aí desencadeados

Nos concelhos das áreas de estudo a altitude varia entre os cerca de 20 m e os 840 m (em Sever do Vouga) e entre os 140 m e 1200 m (em Góis). São, portanto, concelhos com limites altitudinais distintos, com algumas implicações diretas na ocupação do espaço pelas espécies vegetais e mesmo pelas atividades humanas e seus impactes.



Fotografia 2. Área de estudo de Vale Torto



Fotografia 3. Área de estudo em Sever do Vouga

Relativamente aos relevos mais salientes, o concelho de Sever do Vouga integra a Norte a Serra de Salgueiros (831 m) e a Sudeste uma saliência designada Cruzes (805m). No concelho de Góis, encontramos a Serra da Lousã (1205 m), que o atravessa de forma transversal e ainda, a Nordeste do concelho, uma outra elevação de menor altitude, denominada Vieiro (859 m) (figura 3).

Este relevo, juntamente com as linhas de água que trespagam ambos os concelhos, dão forma à paisagem que caracteriza estes territórios.

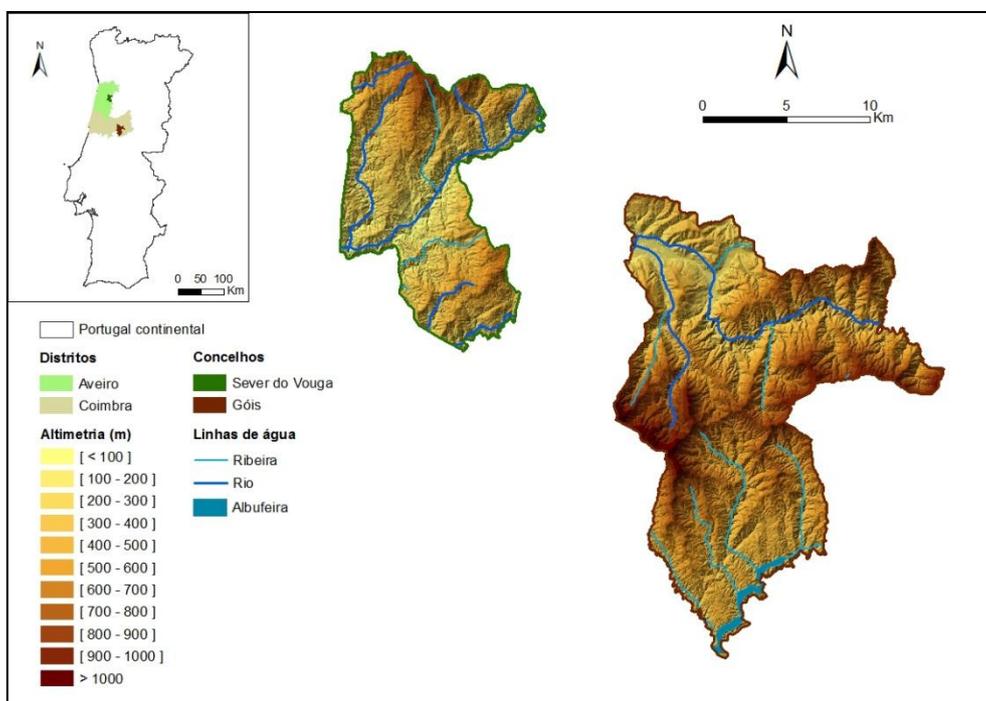


Figura 3. Altimetria (em metros) dos concelhos das áreas de estudo

Fonte: APAmbiente

No que diz respeito à exposição das vertentes, é outro dos fatores a ter em consideração numa análise do relevo, pois revela-nos a intensidade da insolação a que as vertentes estão expostas, mediante a sua orientação. Assim, as vertentes voltadas a Sul, no nosso território, são mais soalheiras que as voltadas a Norte, ou seja, as primeiras (voltadas a Sul) recebem uma maior quantidade de energia solar direta ao longo do ano.

Dos cerca de 130,7 Km<sup>2</sup> da área total do concelho de Sever do Vouga, cerca de 19Km<sup>2</sup> são vertentes voltadas a Oeste, sendo de notar que apenas cerca de 7 Km<sup>2</sup> (5%) correspondem a vertentes voltadas a Norte. De referir, ainda, a existência de uma maior percentagem de áreas voltadas a Oeste (15%) do que a qualquer outra orientação. Quanto ao concelho de Góis, também aqui existe uma maior quantidade de vertentes voltadas a Oeste que a qualquer outra orientação solar. Assim, dos cerca de 263,3 Km<sup>2</sup> da área total do concelho, cerca de 34 Km<sup>2</sup> (13%) são vertentes com exposição a Oeste (figura 4).

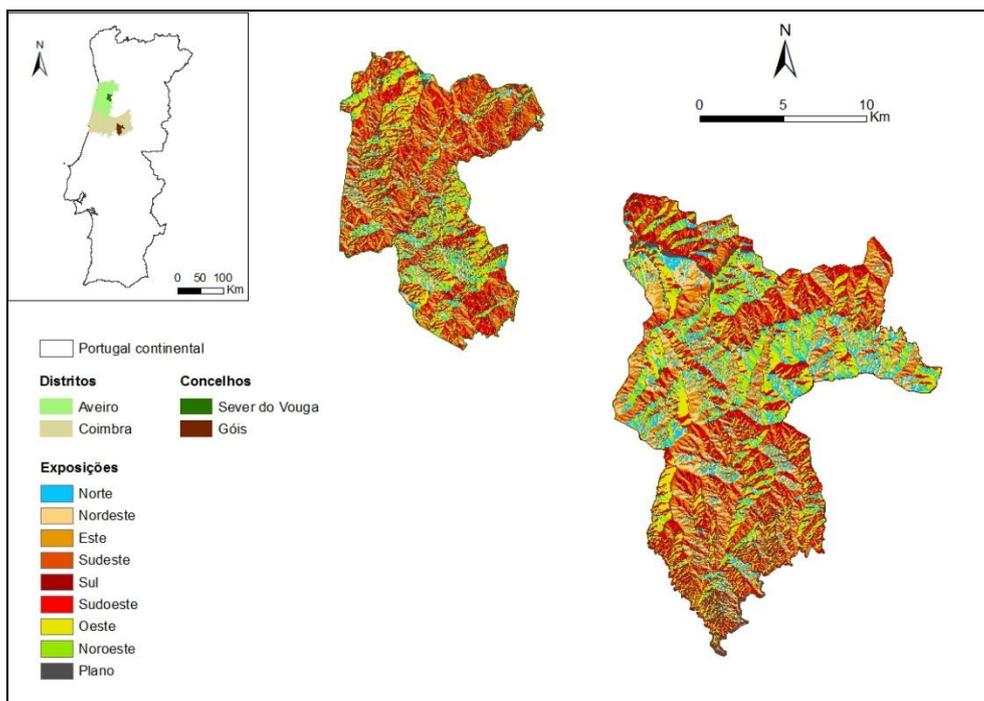


Figura 4. Exposições, baseadas na informação relativa à altimetria

Fonte: APAmbiente

Não deve ser menosprezado o facto de, para uma análise mais aprofundada das dinâmicas geomorfológicas da área de estudo, ser necessário observar vários fatores para além da hipsometria, como é o caso da distribuição dos declives das vertentes, pois estas influenciam fortemente a intensidade da erosão, sendo tanto maior a erodibilidade quanto maior a declividade da superfície.

Desta forma, o declive é dos parâmetros mais importantes do relevo no que diz respeito à erosão do solo, uma vez que condiciona fortemente a génese dos fenómenos erosivos e a intensidade com que estes se desenvolvem.

Relativamente à metodologia de organização/distribuição de valores pelas classes apresentadas, esta foi escolhida com base na distribuição de valores percentuais específicos da área em estudo, com o intuito de facilitar e otimizar a compreensão da realidade existente.

No que diz respeito às classes de declive, a sua definição varia de autor para autor, pois cada um, mediante as condições físicas e antrópicas correspondentes à sua área de estudo, elege os intervalos das classes mais adequados para uma melhor interpretação das características da mesma. As classes selecionadas para o nosso caso de estudo foram eleitas com base na evidente sinuosidade de ambas as áreas.

Tanto num concelho como noutra a classe que integra menor área é a dos 2 a 10%. Já a classe com maior área é a dos declives acima de 40 %, sendo as classes com maior declividade, aquelas que apresentam uma maior representatividade

territorial. Isto indica que ambos os concelhos possuem relevo bastante acidentado (figura 5), apresentando características morfológicas determinantes para o desencadear de processos de erosão dos solos acentuados.

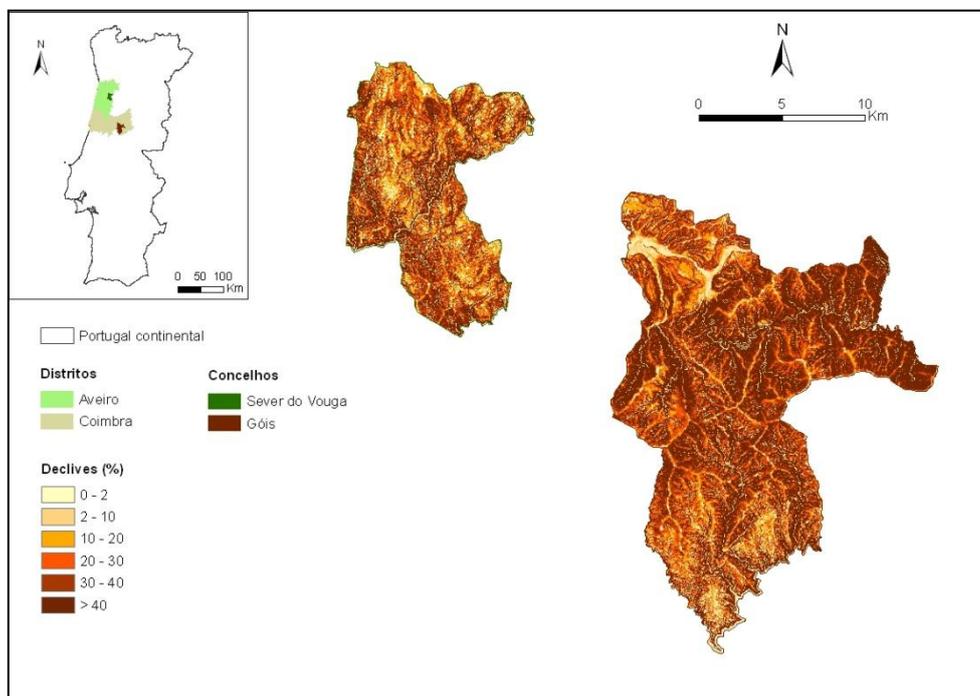


Figura 5. Declives (em percentagem), baseados na informação relativa à altimetria

Fonte: APAmbiente

Relativamente à rede hidrográfica do concelho de Sever do Vouga é constituída por exemplo pelos rios Alfusqueiro, Filvida, Gresso, Lordelo, Marnel, Mau, Teixeira e Vouga e pelas ribeiras Alombada, Beco e Salgueira. Quanto à rede hidrográfica do concelho de Góis é constituída pelos rios Ceira e Sotão, bem como pelas ribeiras Amioso, Mega, Pampilhosa, Porto, Sinhel, Carrima, Celavisa, Loisa, Mestras e Ponte do Sotão, localiza-se também neste concelho a Albufeira de Cabril, para a qual confluem as cinco últimas ribeiras referidas.

O concelho de Sever do Vouga é caracterizado, do ponto de vista litológico, pela presença de Granitos de duas micas, indiferenciados (rochas orogénicas sintectónicas da Zona Centro-Ibérica do Período Câmbrico) e por metassedimentos pertencentes ao Complexo Xisto-Grauváquico, do Período Câmbrico.

Relativamente ao concelho de Góis, este é predominantemente constituído por rochas características da Zona Centro-Ibérica, como é o caso do Complexo Xisto-Grauváquico, do Período Câmbrico, bem como a Formação de Quartzitos do Armoricano, composta por Quartzitos, Conglomerados e Xistos do Período Ordovício

(Termadociano-Arenigiano (Inferior)). Encontramos ainda materiais do Ordovícico, pertencentes ao Lanvirniano-Landeiliano (Médio) e ao Caradociano (Superior), nomeadamente Xistos Ardosíferos e Arenitos (respetivamente). Existem também materiais correspondentes ao Período Terciário (Pliocénico), tais como as Arcoses de Coja ou os Conglomerados de Folques. Ocorrem ainda materiais rochosos do Grés do Buçaco, do Período Cretácico (figura 6).

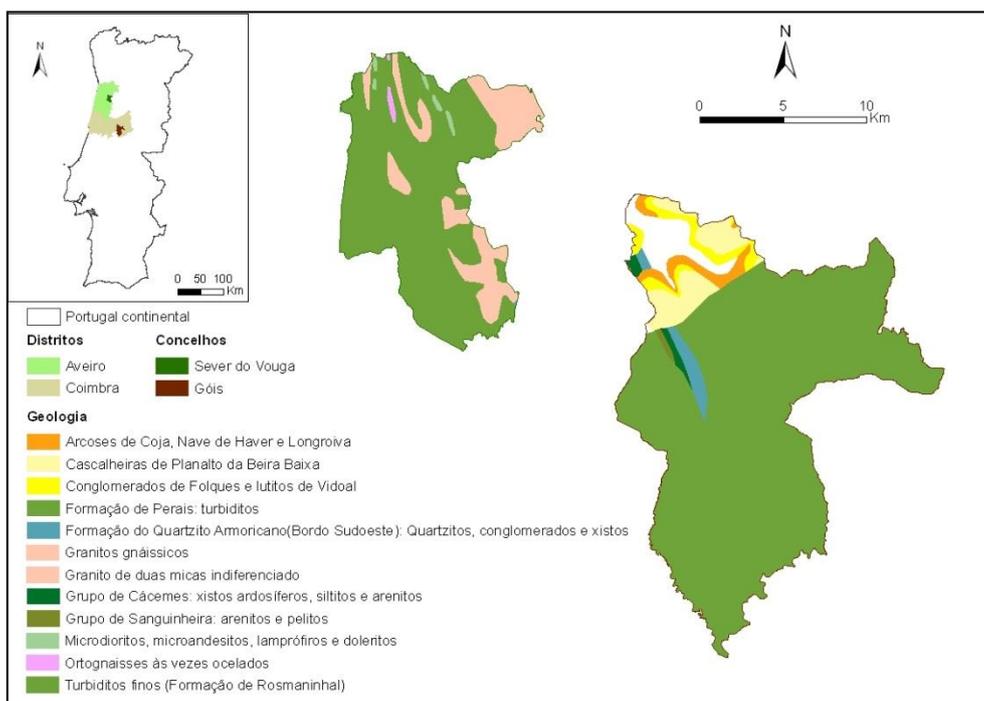


Figura 6. Carta Geológica das áreas de estudo

Fonte: Carta Geológica de Portugal, 1:500000 (IGM, 1992)

### Caracterização climática

A precipitação é um dos fatores que mais condiciona a erosão de um terreno, pois é na sequência das primeiras chuvas após um incêndio no período estival, que podem ocorrer os fenómenos erosivos mais intensos e a principal lavagem dos nutrientes. Assim, é fundamental referir os valores de precipitação média anual que ocorrem nas áreas de estudo, a fim de melhor perceber a ocorrência de tais fenómenos nestas áreas.

Sever do Vouga apresenta anualmente valores médios de precipitação entre os 1000 e 2000 mm, distribuídos de forma bastante homogénea pelo concelho, mediante os valores altimétricos, ou seja, os valores de precipitação vão aumentando desde a parte central do concelho em direção aos extremos Norte e Sul proporcionalmente ao aumento dos valores altimétricos (figura 7).

Em Góis a classe de precipitação média anual que possui maior representatividade no concelho vai dos 1400 a 1600 mm, localizando-se na parte central do concelho, na qual se localizam também os valores altitudinais mais elevados. Contudo, o concelho apresenta valores médios anuais de precipitação entre os 800 e 2000 mm. A área adjacente à Albufeira do Cabril bem como a parte mais a Norte do concelho, possuem os valores mais baixos de todo o concelho, que podem ser igualmente justificados pelos valores altimétricos mais baixos (figura 7).

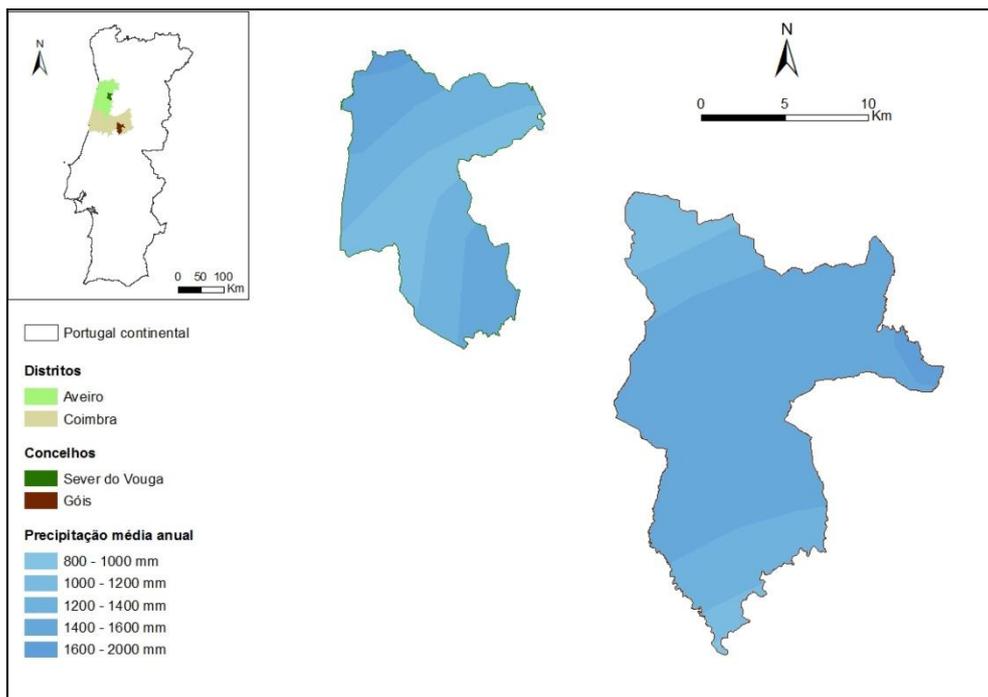


Figura 7. Precipitação média anual

Fonte: APAmbiente

O concelho de Sever do Vouga é abrangido maioritariamente por valores de temperatura média anual que rondam os 12,5 a 15°C. Quanto ao concelho de Góis, este é abrangido essencialmente por temperatura média anual de 10 a 12,5°C, embora na região central, em que se localizam as áreas de maior altitude, as temperaturas sejam inferiores, rondando os 7,5 a 10°C e nas áreas de menor altitude, a Norte e a Sul do concelho, as temperaturas sejam mais elevadas, rondando os 12,5 a 15°C (figura 8).

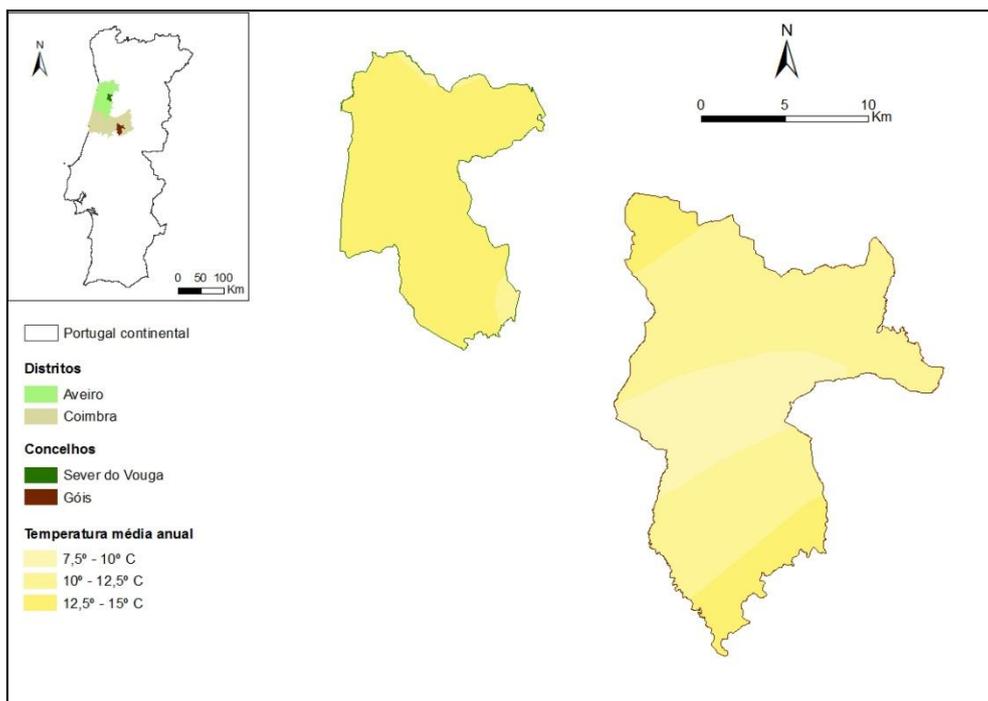


Figura 8. Temperatura média anual

Fonte: APAmbiente

#### Uso do solo e incêndios florestais

A ocupação do solo e os fatores antrópicos interferem na distribuição das espécies de vegetação em vastas áreas do país. No que diz respeito ocupação do solo (segundo a Carta de Ocupação do Solo (COS), 1990), o concelho de Sever do Vouga é constituído maioritariamente por área de Floresta (83,68 Km<sup>2</sup>), correspondente a 84 % dos 130,70 Km<sup>2</sup> de área total do concelho. O mesmo acontece no caso do concelho de Góis, que contabiliza cerca de 144,53 Km<sup>2</sup> de Floresta, correspondente a 55 % dos 263,31 Km<sup>2</sup> de área total do concelho. Porém, no concelho de Sever do Vouga regista-se uma maior percentagem de área agrícola do que no concelho de Góis, com valores de ocupação de cerca de 22 % e 8 % respetivamente. No que respeita a meios seminaturais ocorre o inverso, com 10 % em Sever do Vouga e 36 % em Góis (figura 9).

A ação antrópica no espaço natural força a redução das espécies espontâneas, substituindo-as por espécies cultivadas, ou simplesmente através da devastação do meio em que estas se inserem, com incêndios florestais (queimadas) que, para além de outras consequências, destrói a vegetação e consequentemente deteriora as características do solo, etc..

Atualmente, raras são as áreas do território nacional com vegetação natural original, tendo sido substituída por outras como o *eucalyptus globulus*, *acacia*

*melanoxylon*, *acacia sp.*, *arbutus unedo*, *erica ciliaris*, *erica arbórea*, *erica umbellata*, entre muitas outras espécies. Tanto o eucalipto como a acácia se destacam pelo seu carácter infestante, conseguindo colonizar áreas adjacentes, deslocando as espécies autóctones da sua área original e diminuindo a biodiversidade, constituindo assim, sérios problemas para os ecossistemas e alterando as propriedades do solo.

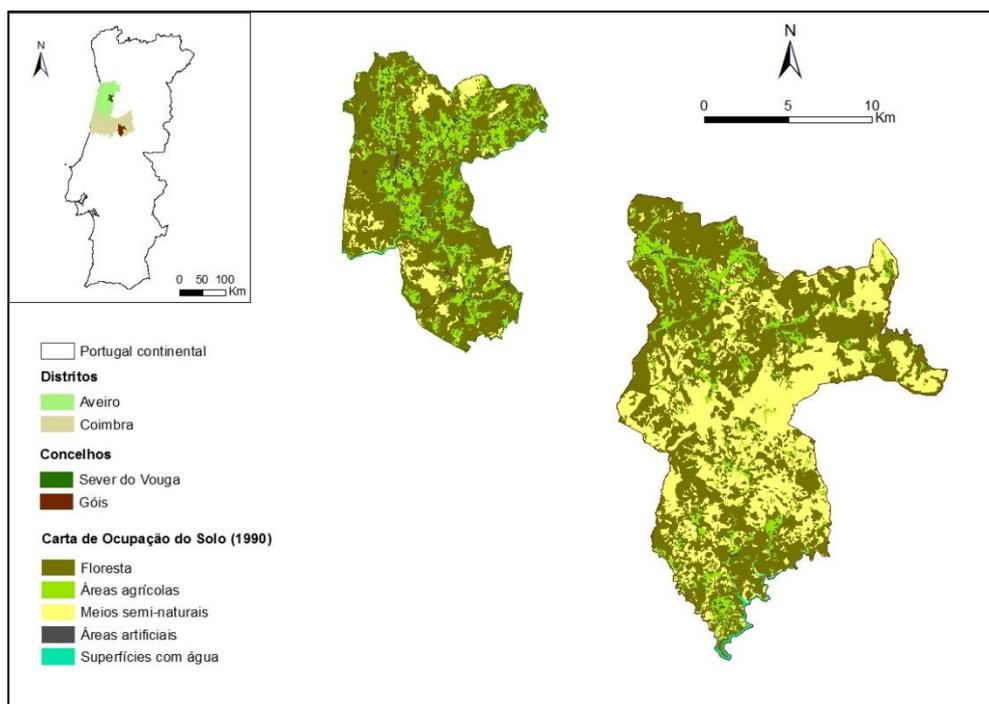


Figura 9. COS de 1990 dos concelhos das áreas de estudo

Fonte: Sistema Nacional de Informação Geográfica (SNIG)

Com o avanço científico descobriu-se que existem plantas *pirófitas*, como os sobreiros ou mesmo a carrasca de carvalho, que toleram o fogo, ou seja, árvores que são naturalmente resistentes ao fogo. No entanto, é fundamental manter um equilíbrio diversificado do meio ambiente e permitir-lhe evoluir da forma mais natural possível, facto este que inibe a utilização de *pirófitas* como forma de evitar a propagação do fogo nas áreas mais fustigadas pelos incêndios no território nacional.

No que diz respeito à ocorrência de incêndios florestais, os territórios em estudo têm-se mostrado vulneráveis, quer pelas suas características físicas (como foi referido anteriormente, relativamente aos declives acentuados que contribuem para a progressão do fogo e dificultam os acessos), quer pelo predomínio da ocupação florestal, pelo que tem vindo a ser frequentemente afetada por este flagelo.

A cartografia dos incêndios florestais tem sido realizada por instituições responsáveis (a entidade máxima responsável por esta tarefa é a Autoridade Florestal

Nacional), sendo a informação geográfica disponibilizada *online* (através do site [afn.min-agricultura.pt](http://afn.min-agricultura.pt)) de inestimável valor para quem investiga esta temática.

Convém salientar o facto de a dimensão mínima das áreas cartografadas pelas entidades competentes ter vindo a ser alterada ao longo dos anos. De 1990 (ano a partir do qual foi sistematicamente produzida e disponibilizada informação geográfica digital a nível nacional) a 1992 eram representadas apenas as áreas ardidas com dimensão superior a 25 ha (0,25 Km<sup>2</sup>). Em 1993 e 1994 passaram a ser cartografadas as áreas ardidas com dimensão superior a 15 ha (0,15 Km<sup>2</sup>). De 1995 até 2007 (ano em que se iniciou a recolha de dados nas áreas de estudo do projeto RECOVER) passaram a ser contabilizadas as áreas ardidas cuja dimensão seja superior a 5 ha (0,05 Km<sup>2</sup>). Com efeito, apesar da melhoria da qualidade dos dados levantados, estas sucessivas alterações metodológicas operadas na cartografia das áreas ardidas, vem levantar alguns problemas de análise da informação, adulterando, *a priori*, as conclusões a que se poderá chegar.

É também conveniente referir que a quantidade de áreas ardidas em determinado ano, não corresponde de forma diretamente proporcional à dimensão total de áreas ardidas, ou seja, por exemplo em 1991 no concelho de Sever do Vouga arderam 4 áreas correspondentes a cerca de 4,12 Km<sup>2</sup>, já em 1996 neste mesmo concelho arderam também 4 áreas, no entanto o total de área ardida corresponde a cerca de 0,21 Km<sup>2</sup>. Logo, o facto de ocorrer um elevado número de incêndios numa determinada área, em determinado período de tempo, não significa necessariamente que o total de área ardida seja elevado, não estando intimamente ligada a recorrência dos incêndios à dimensão do total de área ardida.

Assim, pela análise da informação disponível podemos constatar que no concelho de Sever do Vouga, os anos em que foram registadas mais áreas ardidas (durante o período em análise) foram 2004 e 2006, com 5 áreas ardidas em cada um dos anos, e o ano em que ardeu maior quantidade de área foi 1995, com cerca de 10,69 Km<sup>2</sup>. Já no concelho de Góis, foi em 1991 o maior registo de áreas ardidas, com 24 e em 2000 que ardeu a maior dimensão de área de todos os 17 anos em análise, com cerca de 38,71 Km<sup>2</sup> (figura 10).

A recorrência de um incêndio florestal é a ocorrência repetitiva de incêndios numa mesma área.

Assim, e tendo em conta que o concelho de Sever do Vouga possui cerca de 130,70 Km<sup>2</sup>, desde 1990 a 2007 arderam cerca de 31,24 Km<sup>2</sup>, dos quais 4,61 Km<sup>2</sup> arderam duas vezes. Já Góis, que conta com um valor de área concelhia total que ronda os 263,31 Km<sup>2</sup>, durante o mesmo período arderam cerca de 153,31 Km<sup>2</sup>, dos quais 21,33 Km<sup>2</sup> arderam mais que uma vez (figura 11).

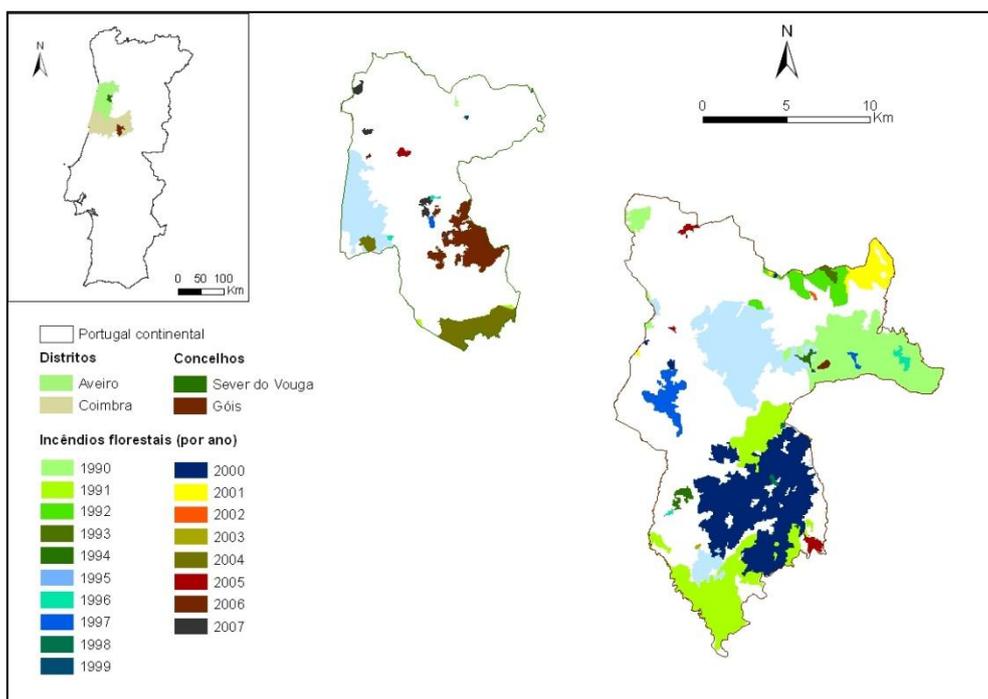


Figura 10. Incêndios florestais ocorridos nos concelhos das áreas de estudo, por ano (1990 - 2007)

Fonte: AFN

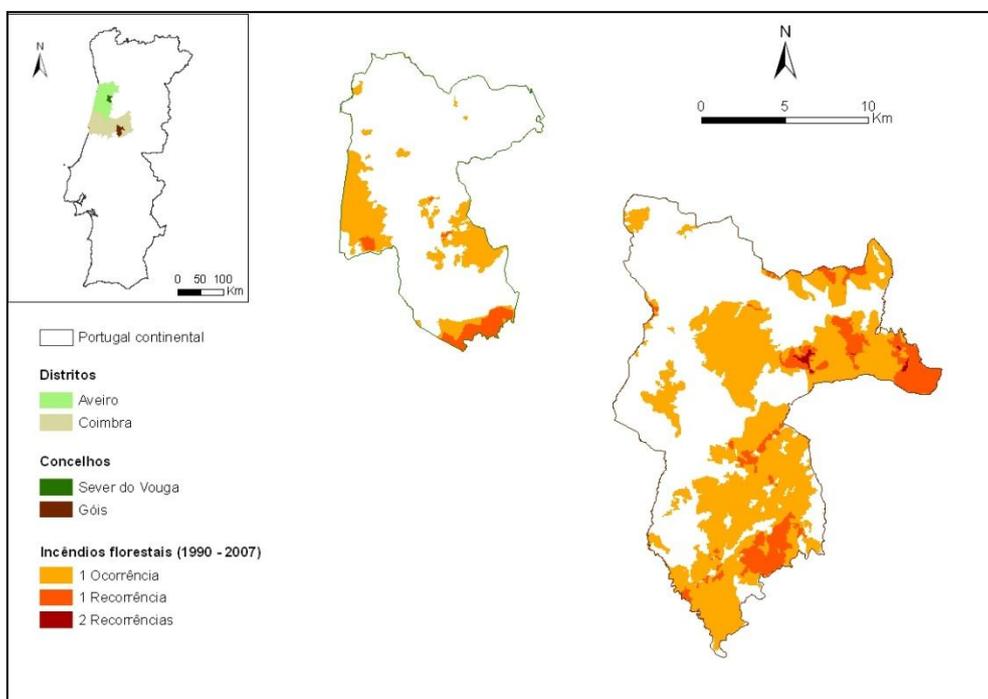


Figura 11. Recorrência dos incêndios florestais nos concelhos das áreas de estudo (1990-2007)

Fonte: AFN

## Áreas de estudo

A área de estudo em Sever do Vouga corresponde a uma área de eucaliptal atingida por vários incêndios florestais, dos quais destacamos o de 2007, por ter sido o último antes do início do estudo no terreno. Trata-se de uma pequena área com uma altitude máxima de cerca de 212 m e mínima que ronda os 50 m, onde a litologia é essencialmente xistosa. A maior parte da área possui declives acima dos 40 % e uma orientação da vertente predominantemente a Este. Estas vertentes fazem parte da bacia hidrográfica do Rio Vouga.



Fotografia 4. Área de estudo de Sever do Vouga, onde é possível perceber os elevados declives que a caracterizam

Quanto à área de estudo em Góis, era uma área de floresta de produção com pinheiro. Posteriormente ao desaparecimento do coberto florestal, foi realizado um fogo controlado, em 2007, enquadrado nos projetos de investigação a decorrer nesta área (nomeadamente o RECOVER). A litologia presente é também essencialmente xistosa, aflorando, no entanto, no sector sudoeste (e de maior altitude), uma importante mancha quartzítica, que é parte integrante das cristas quartzíticas de Góis (fotografia 5). A maior porção da área de estudo possui declives acima dos 30 %, encontrando-se a vertente também orientada predominantemente a Este. Quanto à

altitude máxima, ronda os 750m e a mínima 510 m. Esta área de estudo localiza-se nas vertentes de um dos vales que fazem parte da bacia hidrográfica do Rio Sotão.

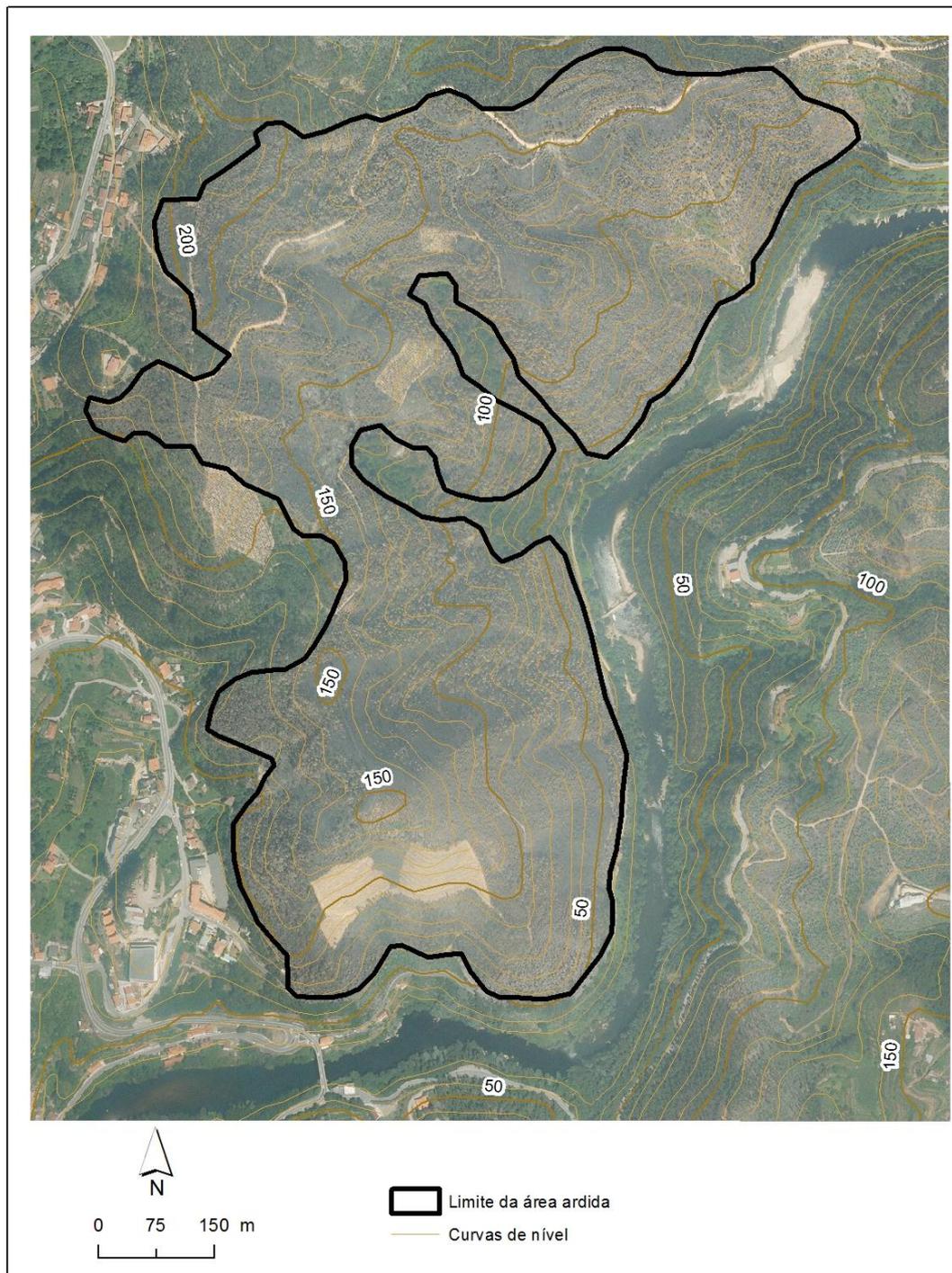


Figura 12. Localização geográfica da área de estudo em Sever do Vouga

Fonte: ESRI (ortofotomapa)



Fotografia 5. Área de Vale Torto, sendo visíveis, no sector mais elevado, as cristas quartzíticas

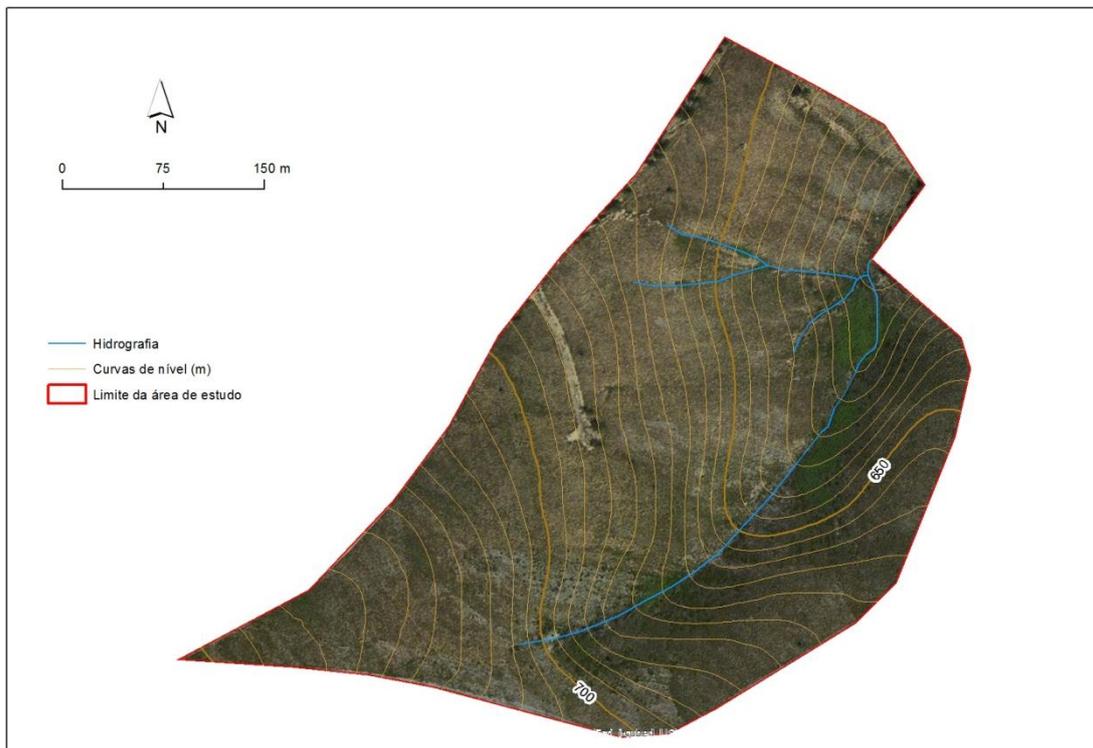


Figura 13. Localização geográfica da área de estudo em Góis

Fonte: ESRI (ortofotomapa)

### 1.2.3. Âmbito da investigação a desenvolver pelo NIGP

A necessidade de modelizar os fatores associados à degradação dos solos e a resposta dos mesmos às técnicas aplicadas na remediação dos seus efeitos instiga à implementação de soluções integradas de análise da informação, baseada em Sistemas de Informação Geográfica. Desta forma é possível desenvolver um diversificado conjunto de análises, tendo em consideração a interação espacial e temporal inerente aos vários fenómenos de base territorial, envolvidos no processo de degradação do solo e da implementação de medidas mitigadoras. De facto, uma das potencialidades dos SIG é a capacidade de incorporação de uma vasta quantidade de informação espacial e sua modelação.

Um dos objetivos que nos propúnhamos atingir no final dos trabalhos desenvolvidos pela equipa de investigação do NIGP era o da modelação dos processos envolvidos no fenómeno erosivo, para identificação de áreas de maior risco erosivo e identificação do comportamento das variáveis envolvidas neste processo relativamente à aplicação de técnicas de mitigação.

Para a possível prossecução deste objetivo tornou-se necessária a implementação de uma IDE que nos permitisse o armazenamento de um elevado volume de dados, a sua estruturação e disponibilização para os processos de análise espacial desenvolvidos em ambiente SIG. Este sistema teria que estar acessível às diversas equipas, localizadas em Guimarães, Aveiro e Coimbra (e eventualmente nos locais onde se localizam as parcelas de monitorização onde se efetua a recolha de dados) e permitir, posteriormente, a divulgação de informação produzida no decorrer do projeto, quer ao nível de relatórios e outros documentos, quer ao nível da cartografia produzida, publicada num ambiente Web SIG.

Neste sentido, a tarefa destinada à equipa da Universidade do Minho no RECOVER consistiu, numa primeira fase, em criar uma IDE que permitisse a gestão dos dados produzidos ao longo do projeto pelas diversas equipas que colaboram neste projeto de investigação.

Esta IDE integra uma Base de Dados com extensão espacial, indispensável para o armazenamento e gestão de dados com componente espacial (dados altimétricos, cartas litológicas, cartas de uso do solo, entre outras), além de dados alfanuméricos, relativos aos elementos monitorizados nas áreas de estudo e outros tipos de dados produzidos ao longo do projeto.

Uma segunda fase foi desenvolvida a par da anterior, com o intuito de proceder à caracterização geomorfológica das áreas de estudo, contemplando a elaboração de uma cartografia geomorfológica detalhada. Esta caracterização teve como base um

levantamento de campo exaustivo, seguido de modelação cartográfica com recurso a ferramentas SIG.



Fotografia 6. Levantamento topográfico de pormenor efetuado nas áreas de estudo

A fase final do trabalho a desenvolver correspondeu à análise e modelação em ambiente SIG, dos dados relativos aos processos erosivos monitorizados. A concretização desta fase esteve dependente do conjunto de tarefas a desenvolver ao longo do projeto, dependentes, em grande parte, das restantes equipas envolvidas no projeto.

O processo de modelação de variáveis ambientais tem vindo a ser desenvolvido na sequência da necessidade de tornar explícita a sua componente espacial. Neste sentido, tem sido privilegiada a integração dos SIG, pela sua capacidade de incorporação de tais modelos, bem como pela sua capacidade de gerir e analisar grandes quantidades de informação e, acima de tudo, pela sua capacidade de relacionar essa informação com base na sua expressão territorial, espacial.

Dada a relação íntima entre os processos geomorfológicos e a superfície em que se desencadeiam, consideramos adequada a aplicação das metodologias de modelação espacial disponibilizadas pelos SIG à análise dos processos de erosão operados na sequência dos incêndios florestais.

Assim, na sequência da instalação e monitorização das parcelas de erosão em vários sectores da vertente, em áreas de montanha ocupada com floresta de produção no Centro de Portugal, produziu-se um vasto conjunto de informação referente aos diversos parâmetros que se conjugam para a génese das dinâmicas geomorfológicas erosivas anteriormente referidas. Neste sentido, o desenvolvimento de processos de modelação dessas mesmas variáveis, permitiu a aferição e avaliação das inter-relações ocorridas entre elas e definição de padrões de comportamento capazes de nos conduzir a uma previsibilidade dos mesmos, de forma a determinar a validade e

efetividade das técnicas de remediação entretanto implementadas no decurso do projeto.

A implementação do processo de modelação, realizado com o recurso às tecnologias SIG, assentou na informação recolhida ao longo do trabalho de campo e após a avaliação da sua validade e fiabilidade, foi armazenada e estruturada na Base de Dados Espacial a implementar na IDE.

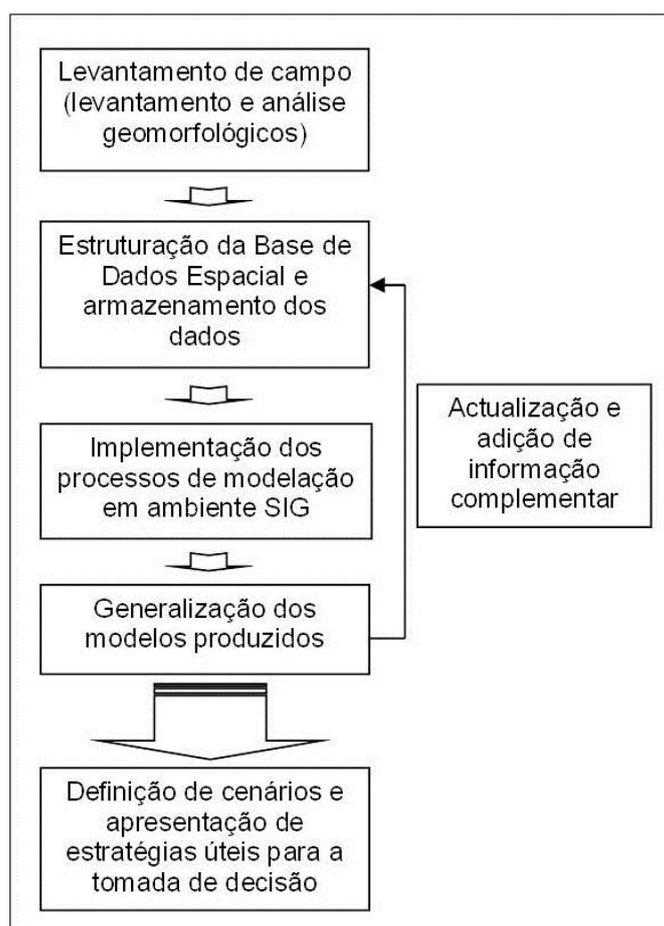


Figura 14. Esquema de implementação do processo de modelação

Fonte: Vieira *et al.* (2009)

A informação integrada na Base de Dados Geográfica (figura 14) permitiu desenvolver uma diversidade de operações de modelação, num primeiro momento direccionadas para as parcelas em estudo, conduzindo à elaboração de cenários preditivos. Os resultados da modelação são posteriormente generalizados à vertente, de forma a aferir sobre a validade de extrapolação dos dados e sobre a possibilidade de produzir indicadores de evolução gerais úteis para a tomada de decisão sobre as técnicas apropriadas à minimização dos efeitos erosivos sobre áreas áridas. Neste sentido, o processo de modelação (figura 15) incorpora uma fase inicial na qual se

procedeu à recolha e tratamento da informação respeitante às variáveis identificadas para o estudo, bem como a definição do modelo dos dados a implementar e estruturação da Base de Dados geográficos que armazena os dados.

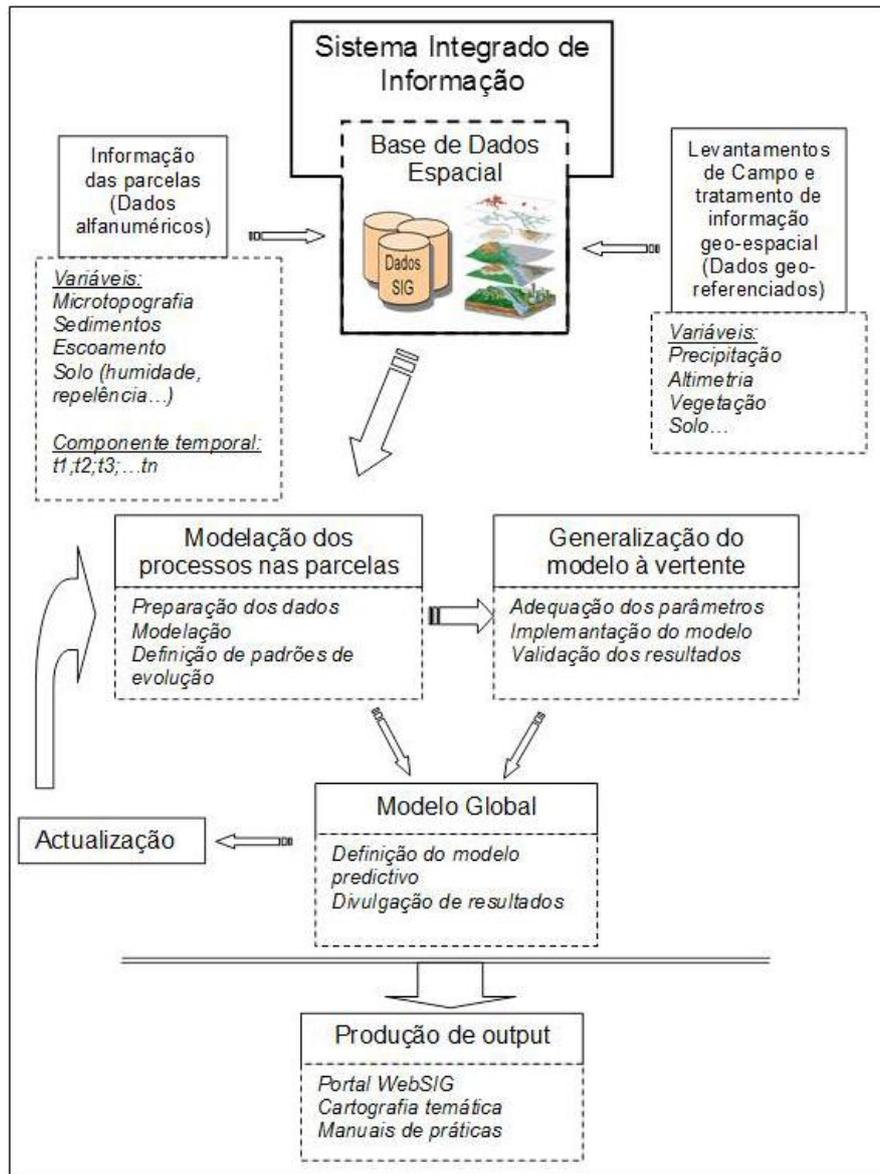


Figura 15. Esquema conceptual de aplicação do processo de modelação geomorfológica

Fonte: Vieira *et al.* (2009)

Consecutivamente desenvolveu-se um trabalho de levantamento topográfico da área em estudo e sua modelação tridimensional e modelação das superfícies de escorrência superficial. Desenvolve-se também uma análise ao nível da ocupação do solo e caracterização das diversas componentes do solo (estrutura, textura, humidade, porosidade, entre outros) ao nível da vertente, bem como uma análise dos fatores

relacionados com os incêndios florestais (intensidade, recorrência). Estes dados foram, igualmente, integrados na Base de Dados Geográfica, permitindo estabelecer as variáveis necessárias à implementação do modelo.

A construção de um modelo global que permita a predição dos fenómenos geomorfológicos atuantes nas vertentes após incêndios e a resposta dos processos degradativos face a diferentes mecanismos mitigadores, é um último objetivo deste projeto, permitindo produzir um conjunto valioso de informação para o auxílio aos agentes envolvidos no processo de produção florestal.

A impossibilidade de instalação de campos experimentais em áreas ardidas durante o primeiro ano do projeto resultou num grande atraso em todas as tarefas planeadas. Consequentemente, parte da tarefa a desenvolver pela equipa da Universidade do Minho, a respeitante à implementação do modelo geomorfológico, não foi possível concretizar. Contudo, procedeu-se a análise morfológica convencional, com base na informação produzida ao longo do projeto e analisada com recurso a SIG, identificando-se as áreas críticas à erosão na sequência dos incêndios florestais. Estes resultados finais não integrarão, no entanto, este trabalho.

## **2. AS TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA APLICADAS À ANÁLISE DE PROBLEMÁTICAS AMBIENTAIS**

A correta análise dos fenómenos que ocorrem na superfície terrestre é fundamental para uma gestão adequada do território, sendo para isso fundamental a utilização de ferramentas que nos permitam realizar essa análise de forma integrada. As tecnologias de Informação Geográfica constituem atualmente um conjunto de ferramentas capazes de auxiliar convenientemente nesta tarefa, reunindo potencialidades que vão da análise espacial através de SIG, à monitorização automática de grandes com recurso à Deteção Remota.

Em poucas décadas, os tradicionais mapas em papel foram superados pelas TIG, que proveram grandes avanços em termos de análise espacial, planeamento e ordenamento do território.

### **2.1. As Infraestruturas de Dados Espaciais**

#### **2.1.1. Conceito e componentes**

“Uma Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE) é uma plataforma informática distribuída pela internet que, de forma articulada e de acordo com determinados requisitos e normas, combina metadados, conjuntos e serviços de dados geográficos,

aplicações e utilizadores, com o objetivo de propiciar um melhor conhecimento e utilização dos dados espaciais” (SNIG, 2010).

O conceito Infraestrutura de Dados Espaciais surgiu na década de 90 na Europa, tendo-se efetuado, desde então, vários encontros mundiais com o objetivo de promover a discussão relativa à aplicação harmoniosa do mesmo a nível mundial. Assim, e como de país para país, e mesmo dentro do mesmo país, a cultura, economia e políticas podem diferir bastante, foram definidas regras, com o objetivo de homogeneizar as IDE, de maneira a possibilitar, de forma viável e fiável, a partilha e utilização de informação geográfica por parte de qualquer utilizador. Para tal foi necessário implementar um conjunto de políticas, acordos institucionais, tecnologias, dados e recursos humanos.

Para além do termo IDE, frequentemente utilizado, existem outros em uso em Portugal, nomeadamente Infraestrutura de Informação Geográfica (IIG), ou o internacionalmente utilizado Spatial Data Infrastructure (SDI), referindo-se todas as denominações ao mesmo conceito. A entidade nacional responsável pelo desenvolvimento destas infraestruturas, o SNIG, adotou também o termo Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE).

Em 2003 foi fundada a organização GSDI (Global Spatial Data Infrastructure Association), que para além de muitas outras tarefas, permitiu a muitos, agregar informação fiável, à escala mundial, relativa a variadíssimas temáticas, em contextos como o ambiente ou questões sociais.

Com a evolução da economia mundial evoluiu também a consciencialização relativa à evolução de temas como o ambiente, transportes e comunicações, segurança, etc. à escala mundial. Assim, é fundamental a existência e uma partilha de dados que permita gerir, não só a nível local como mundial, os diferentes temas.

Consequentemente, uma IDE deve conter:

- Dados geográficos e seus atributos;
- Metadados criados de forma harmonizada, oportunos e suficientes;
- Instrumentos para pesquisa, visualização e avaliação dos dados (Catálogos e Serviços de Mapas);
- Políticas de acesso aos dados geográficos eficazes;
- Serviços adicionais e/ou *software* de suporte às aplicações dos dados.

Para além disso uma IDE deve contribuir:

- para o incentivo da homogeneização das IDE em todo o mundo;
- para facilitar a partilha de dados e recursos (serviços);

- para a resolução do deficiente acesso aos dados existentes;
- para a resolução do problema da quantidade excessiva de dados que muitas vezes são repetidos;
- bem como muitos outros benefícios diretos ou indiretos.

Como as IDE podem conter dados de diferentes áreas geográficas e relativos a variadíssimos temas, sem uma Base de Dados (com os respetivos metadados) viável, o acesso à informação seria fruto do acaso ou de conhecimentos pessoais. Assim, na criação das IDE, os metadados têm um papel fundamental, permitindo aos interessados nos dados usufruir de informação fiável e viável, relativa aos mesmos.

No contexto da produção e disseminação de informação geográfica a nível mundial e da implementação de IDE, existe um deficiente acesso a este tipo de informação, associado à falta de normalização e harmonização das Base de Dados existentes. A estes juntam-se outros problemas relacionados com a sobreposição e duplicação de informação. De forma a ultrapassar estas dificuldades tem-se apostado na implementação de infraestruturas que facilitem e promovam a troca de informação geográfica e serviços a ela associados.

A implementação de uma IDE corretamente estruturada pode potenciar um conjunto diversificado de impactes positivos, quer diretos, quer indiretos, como sejam:

- a maior facilidade e menores custos de aquisição de dados geográficos;
- reutilização de dados;
- contribuir para organização dos dados dentro das próprias entidades;
- maior harmonização entre as entidades que adquirem e partilham os dados;
- melhoria nas tomadas de decisão por parte de utilizadores públicos e privados.

São muitos os países a desenvolver IDE a nível nacional, regional e/ou local na Europa, cada um agindo de acordo com a sua realidade e prioridades. Porém, como é normal, existem casos com maior ou menor sucesso. Isto pode ser explicado pela grande heterogeneidade a nível institucional, económico e cultural dos países europeus, bem como dos diferentes níveis de apoio político e investimento dedicados a esta matéria.

Neste sentido, para que possa existir maior organização, homogeneidade e harmonia, a gestão de uma IDE deve possuir uma hierarquização desenvolvida aos níveis local, regional, nacional, europeu e mundial. Além disso, este é um sistema que abrange não só entidades públicas como privadas, pelo que existe uma necessidade imperativa de criar entidades responsáveis pelas IDE a diferentes níveis hierárquicos.

Cada nível tem as suas próprias características, com relações de dependência em relação aos níveis hierarquicamente superiores ou inferiores (figura 16).

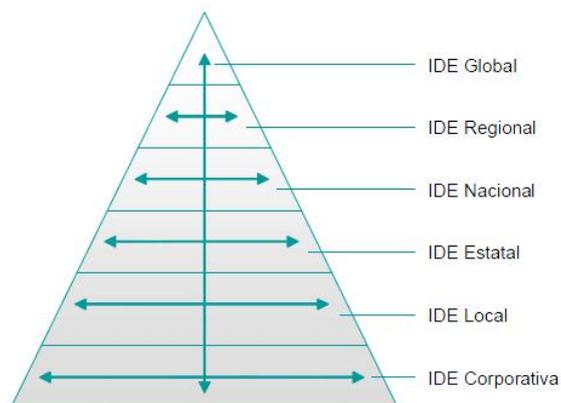


Figura 16. A relação das IDE dentro e entre diferentes níveis

Fonte: Rajabifard, 2002, cit. por Afonso, 2008

A articulação entre os diferentes níveis consiste no estabelecimento de relações de cooperação e dependência entre as organizações responsáveis pelas IDE. Um dos objetivos da estrutura hierarquizada é a diminuição do tempo de processamento do sistema, ou seja, quando estruturado hierarquicamente, o sistema evolui com mais rapidez, estabilidade e organização do que um sistema que apresente também este tipo de estrutura elementar mas sem hierarquia.

O desenvolvimento de uma IDE pressupõe, também, que se tenha em consideração um conjunto de pressupostos, nomeadamente, relativos aos seus objetivos, natureza, princípios ou componentes, que permitam a sua implementação de forma estruturada e sustentada.

Neste sentido, vários autores têm referido a necessidade de se definirem, *a priori*, os princípios globais orientadores da infraestrutura e os seus componentes (Coleman e McLaughlin, 1997, Jacoby *et al.*, 2002, Compvoets *et al.*, 2004, cit. por Afonso, 2008). Contudo, e como defende Loenen (2006), a sua definição deve adequar-se às próprias necessidades da iniciativa, devendo ter-se em conta as características específicas e a natureza de cada IDE, para que aos diversos componentes seja atribuído o papel adequado na infraestrutura.

Consequentemente, tendo em consideração a IDE que pretendemos implementar, consideramos fazer sentido a definição dos seguintes componentes: estrutura institucional; estrutura normativa; tecnologia; política de dados; dados; metadados; serviços; e pessoas.

A estrutura institucional compreende o conjunto de agentes e fatores que suportam o desenvolvimento de uma IDE, e que estão relacionados com as instituições que albergam e mantêm a infraestrutura, mas também com as entidades produtoras de informação geográfica, definindo o contexto institucional em que se desenvolve a IDE.

A estrutura normativa reflete o conjunto de normas e padrões, de implementação indispensável, que permite que os dados, as tecnologias e os serviços possam ser utilizados de forma harmoniosa e partilhados respeitando critérios de compatibilidade e interoperabilidade.

No que diz respeito à tecnologia para a implementação de uma IDE, são necessários diversos mecanismos informáticos, que abrangem diversas áreas distintas, e que permitirão uma gestão integrada da informação geográfica. Aqui se podem incluir os sistemas SIG Desktop, os SGBDE (Sistemas de Gestão de Bases de Dados Espaciais), as aplicações de aquisição de dados (deteção remota, GPS), os sistemas de serviços de dados espaciais e de edição de metadados ou demais aplicações auxiliares, como por exemplo as aplicações para serviços Web.

A política de dados constitui um componente que se torna importante sempre que nos referimos à disponibilização de dados geográficos ao público. De facto, é necessário que essa disponibilização respeite os direitos de propriedade dos dados, bem como outros aspetos legais a considerar. Para isso, devem ser estabelecidos, quando necessário, protocolos e acordos com as instituições produtoras da informação a disponibilizar.

No que diz respeito aos dados propriamente ditos, o foco deve prender-se com a pertinência dos mesmos relativamente aos objetivos, natureza e finalidade da IDE a implementar. A estruturação da IDE deve ser pensada com base nestes pressupostos e conseqüentemente, a definição dos dados a integra-la se coadunar de acordo com eles. Além disso, colocam-se outras questões na definição dos dados, de natureza mais técnica, e que se prendem com os modelos de dados a incorporar ou a tipologia dos dados e sua relação com os objetivos da IDE (aspetos a que nos referiremos mais pormenorizadamente de seguida).

Os metadados constituem um elemento fundamental para as IDE. De forma simples, correspondem à descrição da informação geográfica (Rocha, 2005). Os metadados são um recurso valioso para quem pretende disseminar informação geográfica e para quem a procura. Eles transmitem informação acerca do conteúdo, do formato, propriedade ou restrições de acesso aos dados geográficos, entre outras características. Encontram-se normalmente organizados em catálogos e devem obedecer a normas e padrões amplamente aceites e utilizados. A este respeito são de

referir as normas internacionais da família ISO 19100 ou a iniciativa 'Dublin Core Metadata'.

Os serviços correspondem às funcionalidades implementadas na IDE, disponíveis através de portais Web, e que permitem disseminar a informação (geográfica e outra), baseados nas especificações do OGC (Open Geospatial Consortium) para a criação de 'Web Services' (OGC, 2010). Os serviços Web mais comuns, no âmbito da informação geográfica, são o 'Web Map Service' (WMS), o 'Web Feature Service' (WFS), o 'Web Coverage Service' (WCS), o 'Gazetteer Service' (GS), o 'Web Catalogue Service' (CSW) e o 'Style Layer Descriptor' (SLD).

Por fim, mas não menos importante, as pessoas representam o componente fulcral das IDE. Não só pelo seu papel na sua implementação, mas porque a função primordial das IDE é, fundamentalmente, disseminar a informação geográfica para um número de utilizadores alargado. Quanto maior for este número de utilizadores, maior será o valor de determinada IDE.

#### 2.1.2. Contexto Europeu de implementação de IDE

No contexto europeu, das diversas iniciativas desenvolvidas neste contexto, destaca-se a promovida no seio da União Europeia, e consubstanciada na Diretiva INSPIRE. O projeto INSPIRE é uma iniciativa lançada em 2001 pela Comissão Europeia, desenvolvida através da cooperação entre Estados-Membros, países em vias de adesão e algumas outras entidades interessadas, tendo como objetivo fulcral tornar possível a disponibilização de informação geográfica de boa qualidade, de forma a permitir uma análise de todo o território como se não existissem fronteiras na União Europeia. O projeto tem um carácter legal, materializado na Diretiva INSPIRE, sendo hoje uma importante referência mundial e um dos projetos mais ambiciosos no contexto do desenvolvimento das IDE em toda a Europa.

A Diretiva INSPIRE 2007/2/EC do Parlamento Europeu e do Conselho de 14 de Março de 2007, entrou em vigor a 15 de Maio e veio criar uma estrutura normativa adequada ao desenvolvimento de IDE na Europa, a diferentes níveis administrativos, focando a atenção na necessidade e importância da informação geográfica para a avaliação de políticas ambientais.

Segundo o SNIG (2010) "esta diretiva pretende promover a disponibilização de informação de natureza espacial, utilizável na formulação, implementação e avaliação das políticas ambientais da União Europeia".



Figura 17. Página de acesso ao geoportal INSPIRE

Esta diretiva tem como finalidade, permitir aos cidadãos europeus encontrar informação útil, relativa a Ambiente e outros temas, permitindo também que autoridades públicas beneficiem mais facilmente de informação produzida por outras autoridades públicas, através da internet e de forma acessível.

Assim, e tal como a mesma diretiva prevê, os Estados Membros devem implementar e disponibilizar os dados e os serviços de informação geográfica de acordo com princípios e regras comuns.

Consequentemente, foram já inúmeros os países que implementaram ou se encontram a implementar IDE a nível nacional, regional ou inter-regional na Europa.

A IDE do SNIG é uma das IDE pioneiras a estar operacional e disponível na internet, a nível mundial. Foi criada em 1990, e a partir de 1995 passou a estar disponível *online*, procurando ser o centro de distribuição e acesso a dados espaciais a nível nacional. É também a entidade nacional que disponibiliza a informação relativa aos critérios e normas para a formatação de uma IDE, baseada nas normas Europeias (enunciadas na Diretiva INSPIRE).

O SNIG contém também um espaço de divulgação de IDE de vários âmbitos, um deles é o nacional, que nos remete ao *site* da DGOTDU, entidade que tem a seu cargo a realização e manutenção do Sistema Nacional de Informação Territorial (SNIT), em atividade desde 2008. O seu principal objetivo passa por possibilitar o acesso por parte dos cidadãos e outras entidades públicas e privadas a dados geográficos,

permitindo e incentivando a organização entre entidades, para uma otimização da gestão territorial.

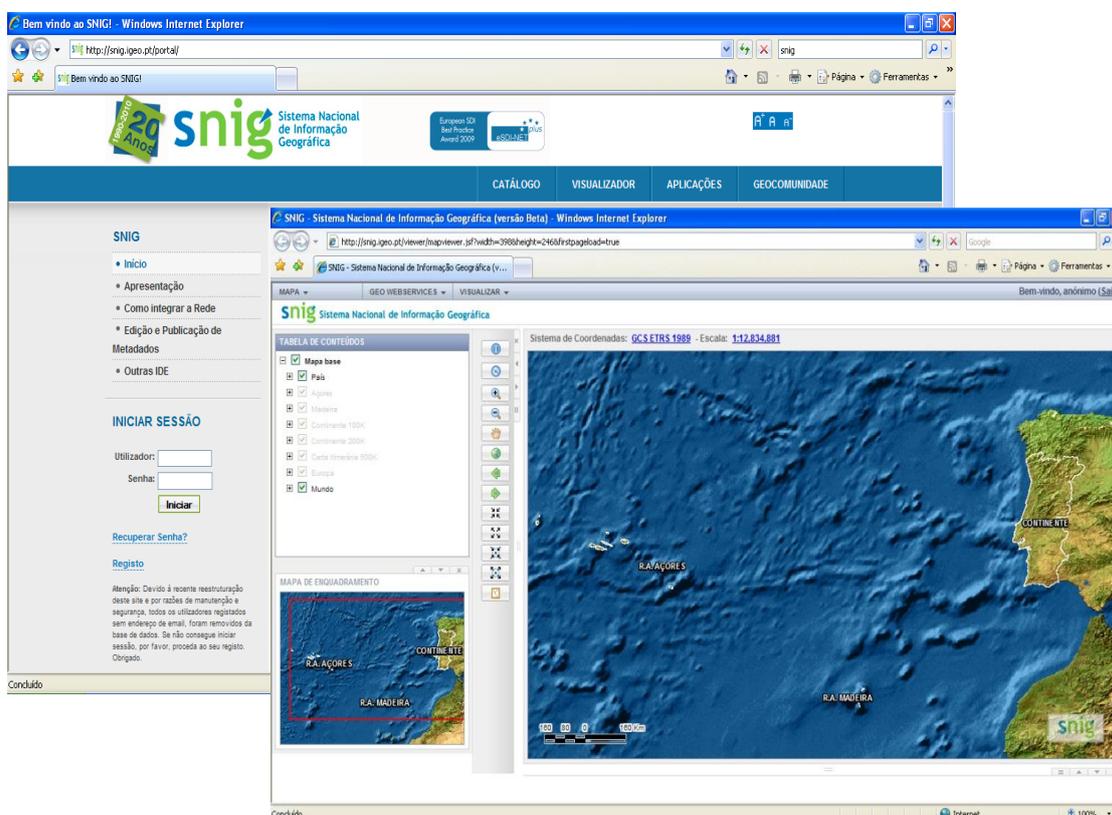


Figura 18. Página de acesso ao SNIG e conteúdo geoespacial do mesmo

O principal meio de financiamento do SNIG é de origem pública (Orçamento de Estado, PIDDAC e União Europeia) ou resulta de contratos de I&D com outras instituições (ex.: Eurostat, FCT, etc.).

A nível de conteúdos, o SNIG conta com a colaboração e parceria de diversas entidades públicas (institutos públicos, universidades, câmaras municipais, etc.) que disponibilizam dados e metadados, posteriormente aplicados ao site do SNIG, através de um conjunto de serviços online criados para esse efeito. Os dados disponibilizados (dados estatísticos e ambientais, mapas, ortofotomapas, etc.) podem ser visualizados e/ou descarregados de forma gratuita ou mediante pagamento (cada produtor de informação é responsável pela forma como os utilizadores acedem à mesma).

## 2.2. Os Sistemas de Informação Geográfica

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG ou GIS - Geographic Information System) é um sistema que integra elementos de *hardware* e de *software*, que permite

o manuseamento de informação espacial, e procedimentos tecnológicos. Este sistema permite a recolha, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados geográficos, representando-os em vários formatos e tornando possível um estudo mais simples e ao mesmo tempo mais diversificado, de uma ou um conjunto de variáveis que se distribuem numa determinada área, facilitando assim, a análise, gestão ou representação do espaço e dos fenómenos que nele ocorrem.

Os SIG compõem uma valiosa ajuda no fornecimento de informação pertinente para a tomada de decisão sobre problemas urbanos, rurais ou ambientais.

As potencialidades da tecnologia SIG proporcionam cada vez funcionalidades mais espantosas. Porém, a fiabilidade das soluções pode reduzir-se com o aumento da quantidade de dados se estes não possuírem metadados oportunos e suficientes. Assim, com o objetivo de solucionar esse problema, contribuir na partilha de dados entre diferentes entidades, homogeneização dos mesmos, entre outras medidas positivas, muito têm contribuído as Infraestruturas de Dados Espaciais.

A riqueza de Bases de Dados geográficos detalhadas, que podem ser automatizadas e atualizadas, contribui para que os SIG sejam um importante meio de reconhecimento da distribuição dos recursos naturais e antrópicos, e da própria organização social no espaço.

Os campos de aplicação dos SIG, dada a sua elevada versatilidade, são muito vastos, podendo utilizar-se na maioria das atividades com componente espacial, da cartografia a estudos de impacto ambiental, entre muitas outras áreas de estudo, constituindo Sistemas Espaciais de Apoio à Decisão. A profunda revolução provocada pelas novas tecnologias afetou definitivamente a evolução da análise espacial.

O conhecimento e organização do território tem uma enorme importância na política de desenvolvimento sustentável que se tem vindo a desenvolver. Sendo também importante, olhar para o território sem fronteiras, pois o meio natural possui uma constante interligação entre as variáveis que fazem parte do mesmo. Tudo está interligado de forma direta ou indireta, sendo então importante olhar para o meio como um todo, sem fronteiras. É certo que para um estudo pormenorizado e ao mesmo tempo simplificado e facilmente perceptível, é necessária a repartição do espaço em parcelas. Assim, “o ordenamento do território e o planeamento ambiental não são confináveis ao nível de uma região ou de um país. Abrangem hoje espaços muito mais vastos do que no passado e, nalgumas situações, como as que caracterizam os fenómenos atmosféricos, envolvem processos que atingem a dimensão dos continentes ou até uma escala global ou planetária” (Machado, 2000).

De qualquer forma, independentemente da escala considerada, é atualmente inquestionável a importância da aplicação dos SIG nas várias áreas da atividade humana e, muito particularmente, na análise ambiental.

De facto, os estudos ambientais apresentam, geralmente, um carácter multidisciplinar, podendo envolver inúmeras variáveis relativas a temas como a climatologia, geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, fauna, demografia, uso do solo, infraestruturas urbanas, etc..

Conjugando um grupo de temas predefinidos pode chegar-se a múltiplas conclusões, as quais podem contribuir para alcançar inúmeros objetivos e resolver diversos problemas.

Nas análises ambientais, direciona-se frequentemente a análise para variáveis que, em conjunto, possam transmitir informação qualitativa. Consequentemente, são utilizados muitas vezes mapas temáticos para o efeito, por permitirem análises a diferentes variáveis em simultâneo e permitirem efetuar uma análise quantitativa e sobretudo qualitativa, dos fatores ambientais.

Considerando-se a internet um meio de comunicação cada vez mais utilizado, em Portugal e no mundo inteiro, é também importante abordar a evolução dos SIG neste contexto e potenciá-la. Atualmente os SIG contêm um suporte baseado em redes, permitindo a partilha de informação e a utilização de serviços de informação geográfica pelas entidades interessadas, possibilitando-lhe assim, através de meios digitais interagir, visualizar e analisar informação geográfica.

A divulgação de resultados de forma simples e acessível é também uma vantajosa característica dos SIG, permitindo a partilha de informação e interação entre as partes interessadas, proporcionando assim o surgimento de informações pertinentes. A pensar em tudo isto foram criadas ferramentas para a disponibilização de conteúdos geográficos (informação geográfica) na internet, o designado WebSIG, que permite a divulgação e partilha de dados e informações relativas a um dado estudo num determinado local.

Os *Geo-Web Services* são peças fundamentais na criação de uma plataforma aberta de distribuição, manipulação e visualização de informação geográfica.

Pretende-se, assim, com o recurso às Tecnologias de Informação Geográfica, proceder à construção de uma IDE que permita a integração de dados produzidos ao longo do projeto, desenvolver análises espaciais com recurso aos SIG e disseminar os resultados obtidos através de um portal WebSIG e, concomitantemente, tentar construir um modelo passível de ser aplicado a outras áreas de investigação.

### 2.3. Bases de Dados Espaciais

Uma Base de Dados é um conjunto de dados armazenados informaticamente de forma estruturada e lógica. Esta permite, mediante determinadas normas para elaboração da mesma, controlar a repetição de informação quando se armazenam dados, possibilita a manutenção de dados a custos reduzidos, para além de armazenar dados que poderão ser vistos e manuseados pelo seu proprietário e dar a conhecer esses mesmos dados a potenciais utilizadores.

Uma Base de Dados é normalmente implementada e consultada por meio de um *software* conhecido como SGBD. Este é constituído por um conjunto de programas que permitem armazenar, modificar e extrair informação de uma Base de Dados. Há diferentes tipos de SGBD, desde pequenos sistemas que funcionam em computadores pessoais, a sistemas enormes que estão associados a mainframes<sup>6</sup>. Um Sistema de Gestão de Base de Dados implica a criação e manutenção de Bases de Dados, atuando como interface entre os programas de aplicação e os ficheiros de dados.

O modelo de dados mais utilizado em SGBD é o modelo relacional, onde as estruturas têm forma de tabelas, compostas por linhas e colunas. A maioria dos *softwares* SIG assume automaticamente que os dados alfanuméricos são armazenados em Bases de Dados relacionais, no entanto, embora todas as Bases de Dados partilhem o mesmo tipo de organização, existem vários modelos de Bases de Dados, permitindo organizar Bases de Dados de formas distintas. Assim, o modelo hierárquico, de forma muito resumida, é constituído por uma estrutura ramificada (tal como uma árvore genealógica), que liga entidades e em que cada entidade só pode estar relacionada com uma única entidade de hierarquia superior, o que implica duplicação de dados de forma a poderem ser representadas hipóteses de relações entre as múltiplas entidades.

Outro modelo de dados é o modelo em rede, que possui uma organização semelhante ao modelo hierárquico com a exceção de as entidades poderem estar relacionadas com várias outras, independentemente da hierarquia, ultrapassando assim o problema de duplicação de dados. Um dos problemas deste modelo é o facto de, para se conseguir navegar facilmente no sistema de forma a obter a informação desejada, ser necessário conhecer as ligações entre os registos, porém, só o autor/gestor da Base de Dados possui essa informação.

Tanto o modelo hierárquico como o modelo em rede são sistemas com evolução orgânica, inversamente ao modelo relacional que contém uma forte base teórica,

---

<sup>6</sup> São computadores de grande porte, utilizados normalmente para o processamento de um elevado volume de informação.

desenvolvida antes de ter sido construído qualquer *software* 'relacional'. Este modelo armazena os dados numa espécie de tabelas e as ligações entre as mesmas são estabelecidas através de colunas partilhadas. Assim, existe um elevado grau de independência dos dados, pois o utilizador não tem de conhecer as informações acerca da forma como os dados estão armazenados se o autor da Base de Dados não o quiser.

Porém, a simplicidade do modelo relacional, apesar de ser um dos motivos pelos quais este é muito solicitado para elaboração de Bases de Dados, pode significar uma enorme dificuldade na captura de determinados aspetos da realidade de uma forma relacional. Assim, segundo alguns autores, existem funcionalidades fundamentais ao modelo relacional, de forma que este permita disponibilizar plataformas mais adequadas para SIG, tornando-o num modelo relacional estendido. O modelo relacional impõe que cada atributo seja tratado de forma independente em relação aos restantes, no entanto é possível armazenar coordenadas X e Y em atributos separados, mesmo sabendo que serão processados sempre em conjunto. Existem muitas outras situações em que os utilizadores têm de recuperar combinações de atributos que no seu conjunto estão relacionadas como uma única entidade. Neste modelo a realidade a modelar é reduzida a estruturas tabelares, sendo deste modo, por um lado um modelo simples e fácil de compreender e por outro um modelo restrito, pois existem entidades no mundo real que não podem ser reproduzidas por uma tabela, obrigando a repartir a informação por um conjunto de tabelas relacionais, o que pode tornar a Base de Dados muito pesada e de processamento lento.

Nas últimas décadas, o interesse em resolver alguns problemas inerentes ao modelo de dados relacional conduziram ao desenvolvimento de outros modelos de dados. Destacam-se os modelos derivados do relacional, designados de modelos relacionais estendidos, e os modelos de dados orientados por objetos.

Os SGBD-OR (Sistemas de Gestão de Bases de Dados – Objeto Relacional) constituem um exemplo de aplicação de modelos relacionais estendidos (como é o caso do *software* utilizado neste projeto), apresentando diversas vantagens sobre o modelo relacional. De facto, eles estendem as capacidades do modelo relacional, nomeadamente ao nível dos dados geográficos, apresentando um sistema de tipo de dados rico e extensível, e oferecendo operadores que podem ser utilizados na linguagem de consulta (K. R. Ferreira *et al.*, 2005).

Apesar do desenvolvimento, a gestão e a utilização de Bases de Dados parecer complexa, existem inúmeras vantagens em optar pela execução de uma Base de Dados ao invés de outro método de armazenamento e gestão de dados, dentre as

quais se destacam: a redução da redundância, ou seja, a duplicação de dados é eliminada; a integridade dos dados, pois os dados são frequentemente armazenados uma única vez (como no modelo relacional), e dada a possibilidade de estabelecer regras de integridade nos SGBD, a consistência e solidez dos dados pode ser mantida; a independência dos dados, pois, devido à forma de armazenamento, é possível alterar a sua natureza física sem que os utilizadores se apercebam das mudanças, permitindo um ambiente estável para os utilizadores; a segurança que o SGBD proporciona, permite que apenas quem gere a Base de Dados dedicado à manutenção, tenha acesso a determinadas partes da mesma; uma manutenção eficiente, pois os dados estão armazenados centralmente e todas as aplicações os utilizam a partir desse repositório centralizado; e uma visão corporativa centralizada na abordagem da Base de Dados, sendo esta um recurso chave da organização, assim o seu estado e desenvolvimento futuro são planeados estrategicamente, em vez de se assistir a um crescimento *ad hoc*.

Porém, existem também algumas desvantagens, como: os elevados custos, pois as Bases de Dados devem estar permanentemente disponíveis e ser constantemente administradas, motivo este, que implica um considerável aumento dos requisitos em equipamento informático e recursos humanos; como a Base de Dados é constituída por camadas, sempre que se efetua uma questão à Base de Dados, é necessário ocorrer inúmeras execuções entre as diversas camadas e diferentes hierarquias existentes, o que torna o tempo de espera de resposta moroso. Assim, têm vindo a ser realizadas melhorias significativas no *software*, de forma a corrigir este e outros pontos negativos. Uma das soluções no sentido da redução do tempo de resposta, pode passar por uma aplicação de *software* que aceda diretamente aos ficheiros de dados; o tempo de desenvolvimento de uma Base de Dados é também muito elevado. Como consequência o resultado final (a Base de Dados totalmente construída e pronta a executar) pode ser de tal forma moroso, que a Base de Dados estará desatualizada aquando da concretização da sua finalização; o facto de os dados estarem armazenados numa única Base de Dados (um único local de armazenamento), obriga a constantes *backup*, normalmente efetuados pela equipe de administração da mesma; e como os dados não pertencem a um único utilizador, mas a todos, podem ocorrer problemas relacionados com a propriedade dos dados e de desresponsabilização pela manutenção dos mesmos.

Neste projeto a Base de Dados é um elemento fundamental, permitindo-nos gerir a informação que vai sendo produzida ao longo do trabalho. O modelo de dados utilizado é o Objeto Relacional, que é implementado pelo *software* SGBD

(PostgreSQL) utilizado no Sistema Integrado de Informação que se está a desenvolver. A integração de dados espaciais na Base de Dados será implementada com recurso à extensão espacial PostGIS, que serve de suporte ao PostgreSQL.

Com efeito, tratar-se-á de uma Base de Dados Espacial. Este tipo de Base de Dados difere das tradicionais pelo facto de permitir o armazenamento e manipulação de objetos espaciais, bem como de quaisquer outros objetos na Base de Dados.

A integração entre a Base de Dados Espaciais e o SIG será efetuada implementando uma arquitetura integrada (K. R. Ferreira *et al.*, 2005). Esta arquitetura integrada consiste no armazenamento de todos os dados (os espaciais e os alfanuméricos) no SGBD (figura 30). Desta forma, potenciam-se os recursos do SGBD para o “controle e manipulação de objetos espaciais, como gerência de transações, controle de integridade, concorrência e linguagens próprias de consulta. Sendo assim, a manutenção de integridade entre a componente espacial e alfanumérica é feita pelo SGBD” (K. R. Ferreira *et al.*, 2005, pág. 179).

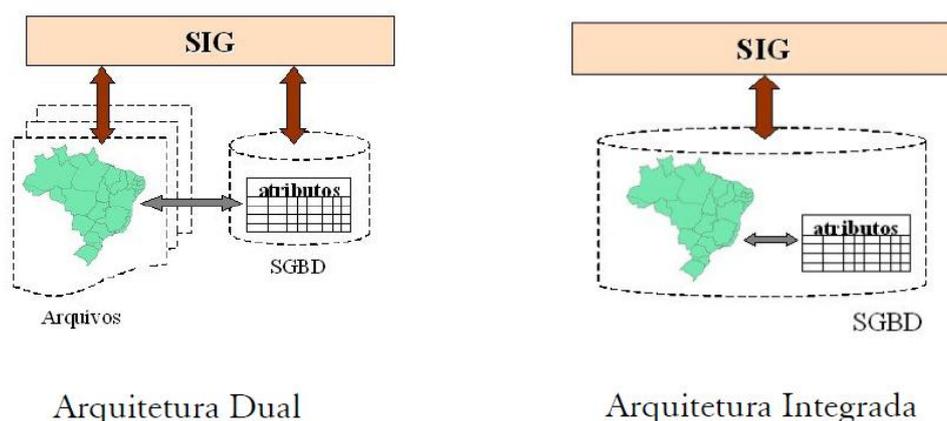


Figura 30. Distinção entre arquitetura dual e arquitetura integrada, na interação entre SIG e SGBD

Fonte: K. R. Ferreira *et al.*, 2005

Como foi referido, será implementada uma arquitetura integrada, a que será associada uma extensão espacial (no presente caso, associar-se-á a extensão PostGIS ao SGBD PostgreSQL). As extensões espaciais têm como principais vantagens, permitir definir tipos de dados espaciais, equipados com operadores específicos (operadores topológicos e métricos) e permitir definir métodos de acesso específicos para dados espaciais (K. R. Ferreira *et al.*, 2005).

### **3. SISTEMA INTEGRADO DE INFORMAÇÃO APLICADO À ANÁLISE AMBIENTAL**

#### **3.1. Definição de uma IDE para o estudo de estratégias de remediação de solos imediatamente após incêndios florestais**

##### **3.1.1. Enquadramento e objetivos**

O projeto RECOVER visou desenvolver estratégias de remediação de solos imediatamente após a ocorrência de incêndios florestais. O contributo da Universidade do Minho, nomeadamente o NIGP, passou principalmente pela caracterização geomorfológica das áreas de estudo e pela implementação de uma IDE. Esta última tarefa constitui-se, assim, como o objetivo do presente trabalho. Neste sentido, desenvolveu-se uma metodologia que permitisse a integração dos dados provenientes do trabalho (de campo e de laboratório) desenvolvido pelas diversas equipas presentes no projeto.

Os objetivos desta infraestrutura de dados espaciais podem ser considerados a dois níveis distintos: por um lado, permitir uma elevada inter-relação e dinâmica de partilha de informação no seio do projeto de investigação RECOVER, facilitando o armazenamento centralizado e acessível por todos os elementos das várias equipas de investigação envolvidas, potenciando a investigação sustentada e estabelecendo uma ponte permanente entre as diversas áreas de desenvolvimento do projeto; por outro lado, e indo mais ao encontro do objetivo fundamental das IDE, promover a disseminação de informação geográfica produzida no seio do projeto e facilitar o seu acesso por parte do público em geral, mas mais especificamente, aos agentes que estão diretamente relacionados com a problemática objeto de estudo do projeto – produtores florestais, planeadores florestais e demais instituições ligadas ao sector.

A Base de Dados Espacial permitirá uma total integração com as ferramentas de análise espacial (SIG), potenciando a execução de um variadíssimo conjunto de técnicas e processos utilizados no domínio da modelação cartográfica, tornando possível a implementação de análises espaciais adequadas à problemática em causa, bem como a produção de cartografia, quer temática, quer geral. Assim, poderemos, através da aplicação de modelos de análise espacial em SIG, identificar os locais críticos de perda de solo.

##### **3.1.2. Princípios e componentes**

Para a prossecução dos objetivos propostos, nomeadamente no que diz respeito à criação da IDE, procedemos à identificação dos componentes fundamentais à sua implementação. Como referimos anteriormente, os componentes considerados

refletem uma realidade muito específica e encontram-se adequados aos objetivos e necessidades identificados. Neste sentido foram considerados os seguintes componentes: estrutura institucional, estrutura normativa, tecnologia, política de dados, dados, metadados, serviços e pessoas.

### 3.1.2.1. Estrutura institucional

O facto de não se tratar de uma IDE tradicional (não se enquadrando no âmbito das instituições oficiais de produção de informação geográfica), reflete a diferente estrutura institucional que lhe está implícita. Assim, mais do que tentar fazê-la encaixar na tipologia hierarquizada a que fizemos referência no capítulo 2.1.1, poderemos antes considerá-la como uma IDE temática, pelo carácter bastante específico da informação geográfica que lhe está associada, mantendo todo o conjunto de objetivos e assumindo as adequadas normas presentes nas restantes IDE a que fizemos referência.

Neste sentido, esta IDE deve traduzir na sua implementação as diretrizes emanadas dos níveis superiores, quer ao nível do enquadramento europeu (traduzido na Diretiva INSPIRE), quer nacional (de acordo com a infraestrutura do SNIG).

Ao nível da própria IDE e sua implementação no âmbito do projeto RECOVER, há a considerar ainda o conjunto de instituições que se encontram ligadas, com responsabilidades distintas, a vários níveis. Assim, consideram-se: a Universidade de Aveiro (através do centro de investigação CESAM), como líder do projeto RECOVER e responsável pela produção de parte significativa da informação geográfica; a Escola Superior Agrária de Coimbra – Instituto Politécnico de Coimbra (através do centro de investigação CERNAS), como membro do projeto e também responsável pela produção de parte significativa da informação geográfica; a Universidade do Minho (através do centro de investigação NIGP), como membro do projeto e produtor de informação geográfica, sendo responsável e executor da IDE, estando a seu cargo igualmente a sua manutenção.

A necessidade de infraestruturas físicas para a implementação da IDE levou à interligação do projeto RECOVER com o LASICS<sup>7</sup>, laboratório partilhado por unidades de investigação do Instituto de Ciências Sociais da Universidade do Minho, de que o NIGP faz parte e que este tem utilizado para o desenvolvimento de iniciativas relacionadas com os SIG e a Informação Geográfica.

---

<sup>7</sup> O Laboratório de Sistemas de Informação para a Investigação em Ciências Sociais (LASICS), é um projeto do Programa Nacional de Re-Equipamento Científico promovido pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) (ref.<sup>a</sup> REEQ/619/SOA/2005), e com co-financiamento por parte do POCI 2010 (fonte FEDER).

### 3.1.2.2. Estrutura normativa

De forma a implementar nesta IDE um conjunto diversificado de serviços, tecnologias e dados, torna-se imprescindível o respeito pelas normas e padrões internacionalmente estabelecidos, de forma a obtermos a desejada coerência, compatibilidade ou interoperabilidade.

Neste sentido, ter-se-ão em conta as normas internacionais da família ISO 19100, os padrões definidos pelo OGC e demais recomendações enquadráveis no âmbito da IDE.

### 3.1.2.3. Tecnologia

A IDE RECOVER contará com um conjunto de tecnologias que compreendem diferentes áreas:

- ao nível do armazenamento, deve ser considerada a infraestrutura física e o *software* utilizado. Os dados produzidos no âmbito do projeto serão integralmente armazenados nos servidores SIG do LASICS, sendo de considerar, no entanto, os servidores de instituições onde se encontre alojada informação espacial estruturante ou dados de referência. No que diz respeito ao *software* para armazenamento e gestão dos dados, será implementado um SGBD-OR;

- ao nível da tecnologia de processamento de informação geográfica, além dos dispositivos periféricos de captura de dados, as tarefas de integração, manipulação e análise dos dados serão desempenhadas por aplicações SIG Desktop, essencialmente *opensource*. Neste campo, apesar da elevada diversidade de opções disponíveis, dar-se-á preferência ao *software* QuantumGIS, pelo seu interface amigável, pela sua robustez e pela disponibilização de elevado número de ferramentas de análise espacial. Apresenta, igualmente, um elevado grau de integração com os demais *softwares* utilizados na IDE, nomeadamente com o SGBD-OR PostgreSQL/PostGIS e com o servidor de mapas MapServer;

- na produção e gestão de metadados optou-se por utilizar uma aplicação de elevado desempenho, também *opensource*, muito bem conceituada. O Geonetwork é como um catálogo dos dados que tem ligação à Web para que os interessados na informação, ao visualizarem os dados na Web possam também, consultar os metadados, ou seja, é um *software* com ligação à Web que contém informação/metadados sobre os dados da Base de Dados. Este *software* permite a quem cria os dados, editar, introduzir e partilhar os respetivos metadados e aos interessados nos dados, visualizar os metadados da Base de Dados geográficos na

internet (colocada online através de *Web Services*), permitindo que diversas entidades compartilhem informações relativas às temáticas georreferenciadas online;

- no âmbito das tecnologias para a disponibilização de '*Web Services*' recorreremos, também a *softwares opensource*, amplamente disseminados e com garantia de elevada operacionalidade. Assim, utilizar-se-á o MapServer que é um *software opensource* que serve como plataforma de desenvolvimento na construção de aplicativos espaciais. Quando os dados já possuem as devidas condições para serem apresentados na Web, o visualizador de mapas na Web permite disponibilizar os dados espaciais (mapas temáticos, imagens espaciais) e possibilita o acesso aos respetivos dados vetoriais e correspondentes metadados por parte do utilizador *online*. Este serviço permite entre outros: a gestão de elementos de mapas (como: elementos a visualizar, escala e legenda); a produção de mapas temáticos baseada em expressões lógicas ou regulares (por exemplo através da execução de '*Queries*' em *rasters*, *layers* vetoriais e Bases de Dados); identificação de camadas de informação; elaboração de camadas de informação; entres outros, permitindo trabalhar em diversas plataformas (como: Linux, Windows, etc.) e com informação em vários formatos matriciais e vetoriais (como: TIFF/GeoTIFF, EPPL7, e vários outros através de Shapefiles ESRI, PostGIS, ESRI ArcSDE, etc.).

O esquema seguinte permite verificar de forma simplificada, a estrutura (do ponto de vista da tecnologia) idealizada para a IDE RECOVER.

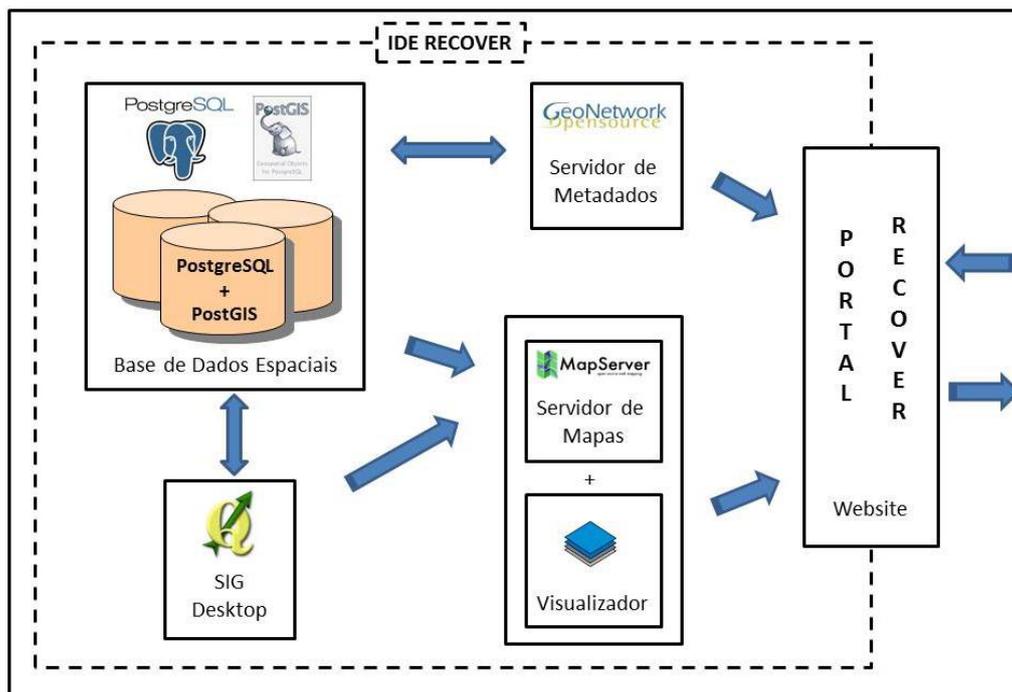


Figura 19. Estrutura da IDE RECOVER

Fonte: Vieira *et al.*, 2009

#### 3.1.2.4. Política de dados

Ao nível da política de dados na IDE RECOVER é necessário distinguir os princípios e regulamentos que vão nortear a partilha e utilização de dados pelas diversas equipas integrantes do projeto, e os protocolos ou acordos de cooperação com outras instituições produtoras e disseminadoras de informação geográfica.

Estes instrumentos serão implementados de forma a assegurar uma adequada utilização e disseminação da informação geográfica, tendo em consideração os direitos de propriedade intelectual e autoral ou demais direitos legais da mesma.

#### 3.1.2.5. Dados

Os dados a integrar na BDE são de dois tipos: dados geográficos e dados não geográficos (alfanuméricos).

No que diz respeito aos dados geográficos consideraram-se os dados produzidos pelas equipas do projeto (nomeadamente a equipa do NIGP - Universidade do Minho), especialmente os decorrentes da análise espacial implementada em ambiente SIG a partir da análise dos dados recolhidos no terreno. Consideram-se, também, os dados de natureza estruturante, disponibilizados por instituições oficiais de produção cartográfica geral e temática, em Portugal.

Relativamente aos primeiros, a propriedade intelectual e os direitos de autor pertencem às equipas do projeto RECOVER, enquanto os segundos, são essencialmente de disponibilização gratuita e propriedade das entidades que os produziram e disponibilizaram.

A listagem dos dados geográficos de base está presente no quadro que se segue.

Tema	Organização responsável	Escala/ Resolução	Metadados	Acessibilidade
Altimetria	NIGP - Universidade do Minho	1:5 000	Sim	"Visualização"
COS	Instituto Geográfico Português	1:25 000	Sim	"Download" "Visualização"
Incêndios Florestais	Autoridade Florestal Nacional	1:1 000 000	Sim	"Download" "Visualização"
Geologia	Serviços Geológicos de Portugal	1:500 000	Sim	"Visualização"
Rede hidrográfica	Instituto do Ambiente	1:1 000 000	Sim	"Download" "Visualização"
Temperatura	Instituto do Ambiente	1:1 000 000	Sim	"Download" "Visualização"
Precipitação	Instituto do Ambiente	1:1 000 000	Sim	"Download" "Visualização"
CAOP	Instituto Geográfico Português	1:1 000 000	Sim	"Download" "Visualização"
Cartas Militares	Instituto Geográfico do Exército	1:25 000	Sim	"Visualização"
Ortofotomapas	Instituto Geográfico Português	0,5 m	Sim	"Visualização"

Figura 20. Tabela com alguns dos dados geográficos a disponibilizar inicialmente na página Web da IDE RECOVER

Relativamente aos dados alfanuméricos, numa primeira fase serão integrados na BDE apenas os dados resultantes dos trabalhos de campo realizados pelas várias equipas ligadas ao projeto RECOVER.

Um conjunto de dados diz respeito aos dados climáticos, obtidos a partir dos diversos aparelhos de medição dos elementos do clima, instalados nas áreas de estudo, sendo especialmente importantes os dados relacionados com a precipitação e temperatura.

Também serão produzidos e integrados na BDE dados relativos ao uso do solo e caracterização da ocupação do solo ao momento dos incêndios florestais. De igual modo, será processada informação relativa à escorrência originada no interior das parcelas de erosão e quantidade de sedimentos produzidos, bem como relativa às metodologias utilizadas para a mitigação dessa mesma erosão.

Outros dados considerados relevantes serão também considerados, quer ao nível dos processos, quer ao nível dos fatores condicionantes. No capítulo 3.2. serão referidos criteriosamente os diversos dados que serão integrados na BDE.

### 3.1.2.6. Metadados

Uma das tarefas indispensáveis a realizar ao longo do processo de implementação e manutenção da IDE é a produção de informação sobre os dados – os metadados. Neste contexto, será utilizado o *software* Geonetwork (geonetwork-opensource.org) e serão referências as normas da família ISO 19100 e requisitos do OGC.

### 3.1.2.7. Serviços

Os serviços a implementar na IDE RECOVER são: o ‘*Web Map Service*’ (WMS), o ‘*Web Feature Service*’ (WFS), o ‘*Web Coverage Service*’ (WCS), o ‘*Gazetteer Service*’ (GS), o ‘*Web Catalogue Service*’ (CSW) e o ‘*Style Layer Descriptor*’ (SLD). O seu desenvolvimento e implementação serão faseados, sendo disponibilizados os serviços de acordo com a sua disponibilidade e regras de publicação definidas no âmbito do projeto.

A sua disponibilização será realizada a partir de um Portal Web, que integrará, por um lado, as aplicações relacionadas com os serviços de dados geográficos (ligados à IDE), e por outro lado, uma aplicação Web para disponibilização de conteúdos não geográficos relacionados com o projeto. Associada a este Portal estará uma intranet, que permitirá acesso privilegiado aos investigadores ligados ao projeto RECOVER, nomeadamente para carregamento de dados, acesso aos dados e manutenção do Portal e da IDE.

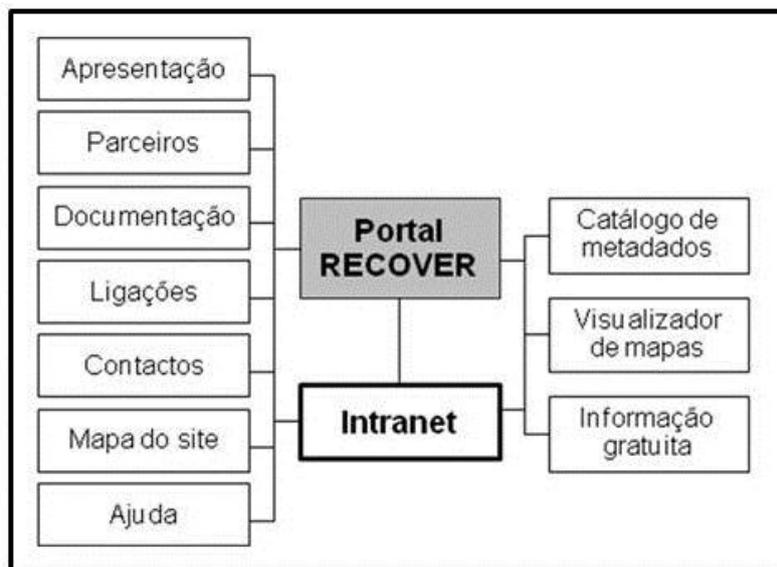


Figura 21. Esquema do Geoportal

### 3.1.2.8. Pessoas

No que diz respeito às pessoas, consideramos aqui não só os elementos que tornam este projeto possível, mas essencialmente aquelas a quem os resultados se dirigem. Deste modo, devemos aqui considerar um grupo bastante abrangente de potenciais utilizadores desta IDE:

- em primeiro lugar, as instituições de governo com responsabilidade no âmbito da gestão da agricultura e das florestas, da proteção civil, do ambiente e do ordenamento do território, a nível nacional, regional ou local;
- também os proprietários florestais e outros agentes privados relacionados com a atividade florestal;
- agentes da proteção civil, bombeiros ou mesmo ONG;
- outros interessados.

## 3.2. Implementação da Base de Dados Espacial

### 3.2.1. Objetivos e características da Base de Dados Espacial

A Base de Dados Espacial (BDE) implementada no âmbito da IDE RECOVER incorporou dados referentes a um conjunto de variáveis que refletem as dinâmicas naturais relacionadas com processos de erosão dos solos, em áreas florestais afetadas por incêndios florestais, e interferências (com resultados positivos ou negativos, no que à ação erosiva diz respeito) diretamente e intencionalmente realizadas pelo Homem, resultado da implementação de técnicas de remediação da erosão.

Esta BDE foi implementada e mantida pela equipa de investigadores do NIGP - Universidade do Minho, mas o carregamento dos dados e o acesso aos mesmos é da responsabilidade das diversas equipas envolvidas no projeto. O desenvolvimento de uma intranet associada ao Portal Web (figura 34) permitiu o estabelecimento de uma rede simples e de fácil acesso à BDE.

Como referimos anteriormente, o *software* utilizado para a produção da Base de Dados foi o SGBD-OR PostgreSQL. Associada a ele foi também instalada a extensão PostGIS<sup>8</sup>, que permite o tratamento da informação espacial e assim torna possível a ligação dos dados alfanuméricos com os dados geográficos.

---

<sup>8</sup> O PostGIS é uma extensão do SGBD PostgreSQL que permite a inserção, manipulação e análise de informação geográfica. Esta extensão adiciona ao PostgreSQL as três características fundamentais numa Base de Dados Geográfica: a informação acerca da geometria das 'features'; um conjunto de funções para interagir com as geometrias dos elementos e para desenvolver tarefas de geoprocessamento; e um mecanismo de indexação espacial, tornando mais eficiente a manipulação de dados geométricos.

Procedemos ao seu desenho e implementação de acordo com os processos de criação de Bases de Dados. Portanto, ao desenhar uma Base de Dados devem considerar-se as seguintes fases: a análise prévia; o desenho lógico; e o desenho físico. Por fim, deve realizar-se um teste e se os resultados forem positivos, deve dar-se início à implementação da ferramenta e à sua constante e frequente manutenção.

Nesta BDE foram integrados os dados adquiridos na tarefa 1 do projeto RECOVER e a informação referente às cartas topográficas (escala 1/25000) das áreas em estudo. Foram, conseqüentemente, produzidas e armazenadas na BDE informações relativas às características físicas da área em estudo, nomeadamente no que diz respeito à hipsometria, declividade, orientação e exposição das vertentes ou ao uso do solo, e outros relativos às características específicas do solo, como a resistência do solo, água no solo, repelência à distribuição e intensidade da mesma, tipo de vegetação e camadas remanescentes, características geomorfológicas, bem como as características climáticas.

Posteriormente foi implementado e desenvolvido um interface Web SIG para possibilitar a manipulação remota da Base de Dados por parte das diferentes entidades.

### 3.2.2. Opções tomadas na conceção da Base de Dados

Como referido anteriormente (capítulo 3.1.2.5.) esta BDE incorporou dados espaciais e dados alfanuméricos. No que diz respeito à sua estruturação, nomeadamente para os dados alfanuméricos, procedemos à implementação das técnicas de modelação indispensáveis à refinação do modelo conceptual de dados no seio do SGBD-OR.

Neste sentido, tivemos em consideração um conjunto de pressupostos, que nos permitiram definir mais concretamente o modelo conceptual da BDE.

A estrutura da BDE implementada na IDE RECOVER pretende representar um conjunto de processos erosivos (e fatores condicionantes) presentes em áreas de estudo previamente definidas.

O levantamento dos dados foi realizado a diferentes escalas: à escala da área de estudo, à escala da parcela e à escala da sub-parcela (estas sub-parcelas correspondem a quadrados de dimensão 5x5 cm, definidos no interior das parcelas). Está claramente definida a escala a que cada parâmetro foi monitorizado, nomeadamente ao nível da estrutura da BDE, pela adequada definição das relações entre entidades.

O atributo 'área', na tabela Area\_Estudo, corresponde à área ocupada por cada entidade, em Km<sup>2</sup>.

O atributo 'área', na tabela Area\_Ocupação, corresponde à área ocupada por cada entidade, em Km<sup>2</sup>.

O atributo 'designação', na tabela Ocupação\_Solo, diz respeito à tipologia dominante na parcela (decorrente da análise da ocupação do solo na parcela, realizada com recurso à divisão da mesma numa grelha com quadrados de 5x5 cm<sup>9</sup>) e pode assumir os seguintes valores: rocha mãe, pedras, solo nu, cinzas, *litter* e vegetação total.

Os atributos 'Solo\_Nu', 'Vegetação', 'Cinzas', 'Litter', 'Rocha Mãe' e 'Pedras', na tabela Coberto\_Parcels, serão expressos em Km<sup>2</sup>.

Aos atributos 'Sulcos' e 'Pedestais', na tabela Coberto\_Subparcela, faz-se apenas referência à presença ou ausência destes fenómenos.

O atributo 'DBH' (Diameter Breast Height), na tabela Cobertura\_Florestal, corresponde à medição do diâmetro de uma árvore à altura do peito (estabelecido à altura de 1,37 m).

Aos atributos 'Idade', 'Tamanho' e 'DBH', na tabela Cobertura\_Florestal, faz-se corresponder valores médios referentes aos indivíduos avaliados na parcela (ou área).

O atributo 'Quantidade', na tabela Protecção, corresponde à quantidade de material utilizado na protecção do solo em cada parcela, em Kg.

Os atributos 'Sedimentos >2 mm' e 'Sedimentos <2 mm', na tabela Sedimentos, correspondem à desagregação dos valores do atributo 'Total Sedimentos' da tabela Erosão, tendo em conta a dimensão dos sedimentos.

As tabelas Altimetria\_ET e Altimetria\_GPS correspondem aos levantamentos topográficos realizados com Estação Total e GPS, respetivamente.

O atributo 'Camada\_Cinzas', na tabela Distribuição\_Intensidade expressa-se em milímetros.

O atributo 'Altura\_Ramos\_Queimados', na tabela Distribuição\_Intensidade expressa-se em metros.

O atributo 'Queima\_Sub-coberto', na tabela Distribuição\_Intensidade expressa-se pela ocorrência ou não.

### 3.2.3. O modelo conceptual (EAR)

O modelo de dados idealizado e implementado neste projeto baseou-se no Diagrama Entidade-Atributo-Relação que se apresenta em seguida.

---

<sup>9</sup> Ver a este respeito Alegre, 2007.

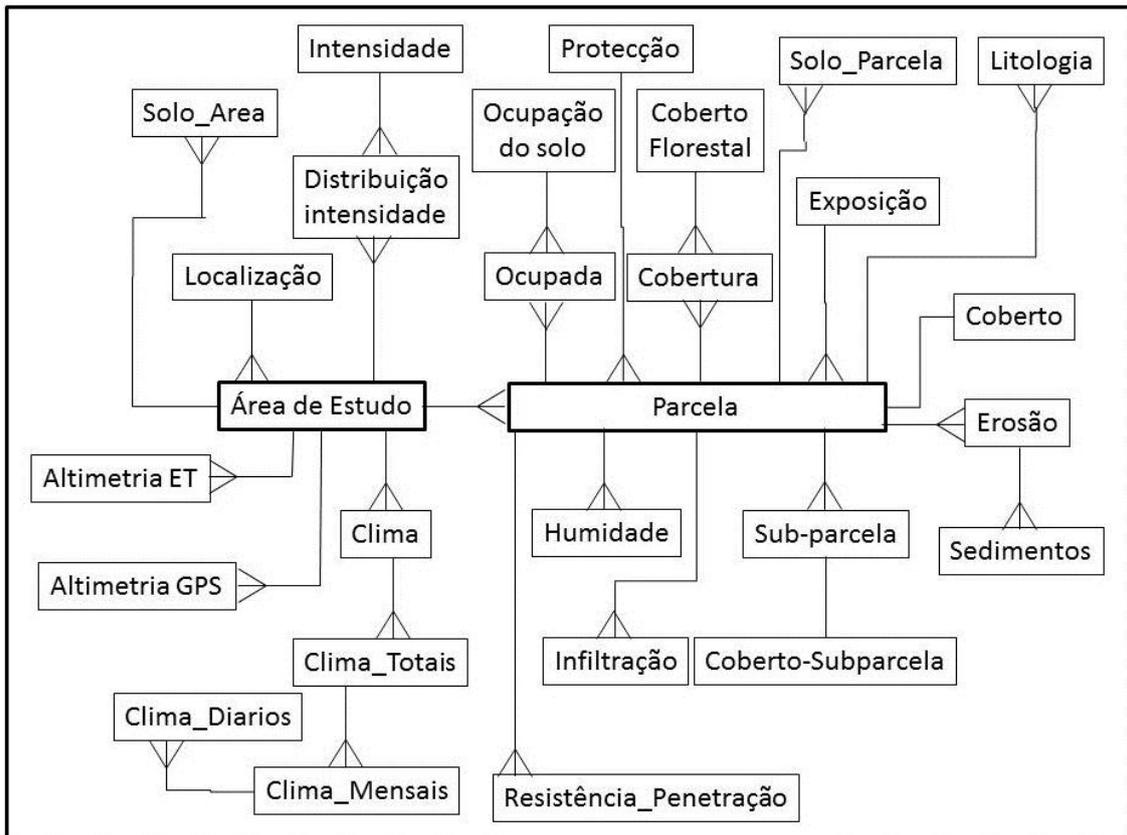


Figura 22. Diagrama Entidade-Atributo-Relação

Da análise ao diagrama identificaram-se as seguintes entidades, atributos e relações:

**Localização** (Local\_ID, Concelho, Freguesia)

**Area\_Estudo** (Area\_ID, Designação, Uso\_geral, Area)

**Parcela** (Parcela\_ID, Parcela\_Nome, *Proteção\_ID*, *Local\_ID*, *Exposição\_ID*, *Litologia\_ID*)

**Sub-parcela** (Sub\_Parcela\_ID, Sub\_Parcela\_Nome, *Parcela\_ID*)

**Area\_ocupação** (*Parcela\_ID*, *Tipo\_Ocupação\_ID*, Area)

**Ocupação\_Solo** (Tipo\_Ocupação\_ID, Designação)

**Coberto\_Parcela** (Coberto\_ID, *Parcela\_ID*, Solo\_Nu, Vegetação, Cinzas, Litter, Rocha\_Mãe, Pedras)

**Coberto\_Subparcela** (Coberto Sp\_ID, Sub\_Parcela\_ID, Coberto, Sulcos, Pedestais)

**Características\_vegetação** (Cobertura Florestal\_ID, *Parcela\_ID*, Idade, Tamanho, DBH)

**Cobertura Florestal** (Cobertura Florestal\_ID, Espécie)

**Proteção** (Proteção\_ID, Método, Quantidade)

**Solo\_Parcela** (Solo\_ID, *Parcela\_ID*, Densidade\_Aparente, Textura, Estrutura, Volume\_Raízes, Profundidade\_Solo, Tipo\_Solo)

**Solo\_Area** (Solo\_Area\_ID, *Area\_ID*, Densidade\_Aparente, Textura, Estrutura, Profundidade\_Solo, Tipo\_Solo)

**Resistência\_Penetração** (RP\_ID, *Parcela\_ID*, Profundidade, Valor\_Resistencia)

**Infiltração** (Infiltração\_ID, *Parcela\_ID*, Tempo, Valor médio)

**Humidade** (Humidade\_ID, *Parcela\_ID*, Profundidade, Humidade\_solo, Repelência)

**Erosão** (Erosão\_Solo\_ID, *Parcela\_ID*, Data, Escorrência, Total\_Sedimentos)

**Sedimentos** (Sedimentos\_ID, *Erosão\_Solo\_ID*, Sedimentos >2 mm, Sedimentos <2 mm, Taxa\_Sedimentos, Teor\_Matéria\_Orgânica)

**Litologia** (Litologia\_ID, Tipo, Período, Era)

**Exposição** (Exposição\_ID, Designação)

**Altimetria\_ET**(X, Y, Z, *Area\_ID*)

**Altimetria GPS** (X, Y, Z, *Area\_ID*)

**Intensidade\_Fogo** (Intensidade\_ID, Tipologia)

**Distribuição\_Intensidade** (X, Y, Camada\_Cinzas, Altura\_Ramos\_Queimados, Queima\_Sub-coberto, *Area\_ID*, *Intensidade\_ID*)

**Clima** (Clima\_ID, *Area\_ID*, X, Y, Z, Equipamento)

**Clima\_Totais** (Clima\_Totais\_ID, *Clima\_ID*, Ano, P\_Média\_Anual, P\_Intensidade, T\_Média\_Anual)

**Clima\_Mensais** (Clima\_Mensais\_ID, *Clima\_Totais\_ID*, Mês, P\_Média\_Mensal, P\_Intensidade, T\_Média\_Mensal)

**Clima\_Diarios** (Clima\_Diarios\_ID, *Clima\_Mensais\_ID*, Dia, P\_Diária, P\_Intensidade, T\_Diária)

Após a elaboração do modelo conceptual da BDE do RECOVER, procedeu-se à sua implementação, com recurso ao SGBD-OR PostgreSQL. A integração dos dados espaciais foi realizada com recurso à extensão espacial PostGIS e a ferramentas SIG, através de *software* SIG desktop.

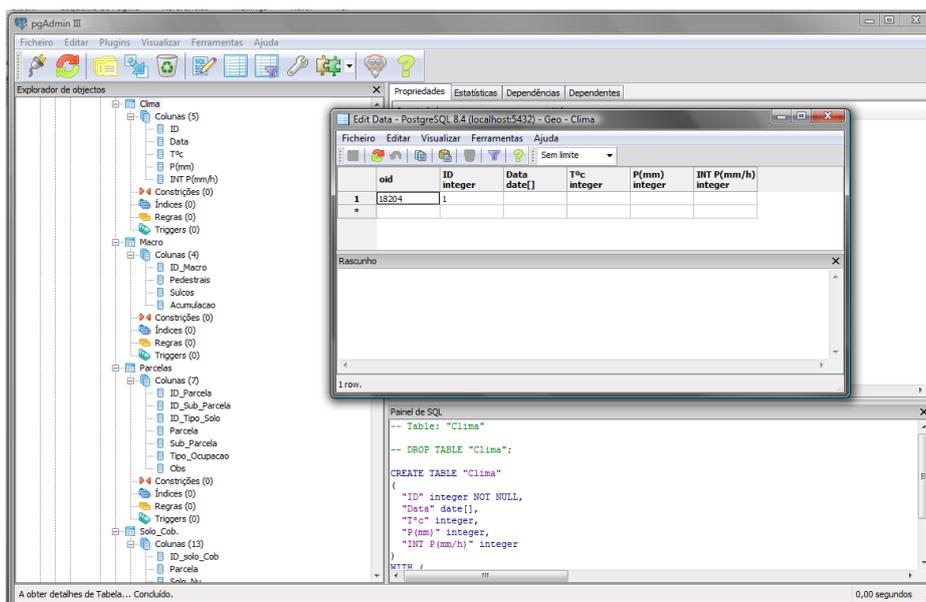


Figura 23. Implementação do modelo conceptual da BD no PostgreSQL (através do interface pgAdminIII)

De seguida iremos apresentar alguns exemplos da integração dos diversos componentes tecnológicos da IDE, demonstrando, precisamente, esta interação entre a BDE e os componentes de inserção de dados espaciais.

### 3.3. Interação entre os componentes tecnológicos do SII

#### 3.3.1. Integração entre os componentes tecnológicos do Sistema Integrado de Informação – IDE RECOVER

De forma a exemplificar a operacionalização dos diversos componentes tecnológicos da IDE RECOVER, apresentamos de seguida algumas tarefas que realizámos ao longo do processo da sua implementação. Neste sentido, achámos pertinente mostrar os processos de interação entre o SIG Desktop e a BDE, ao nível do carregamento de dados espaciais e também no seu processamento e análise espacial. Na sequência deste último processo, ilustramos também as tarefas de preparação de dados no servidor de mapas, com interação do SIG Desktop. Relativamente aos metadados, faz-se uma breve referência à sua manipulação no Geonetwork.

Por fim, apresentamos a vertente não geográfica do Portal dedicado ao projeto RECOVER, aplicação já implementada, disponibilizando informações sobre o mesmo.

### 3.3.2. Interação do *software* SIG com a BDE

Além dos dados alfanuméricos, inseridos na BDE essencialmente através do interface do SGBD, os dados geográficos que a integrarão, já referidos anteriormente, serão carregados através de ferramentas presentes no SIG Desktop que utilizamos nesta IDE ou através de funcionalidades existentes no SGBD. Faremos, de seguida, uma breve descrição do processo implementado para o carregamento de dados espaciais na BDE.

A interação entre o SIG Desktop e a BDE tem como principal vantagem a simplificação de processos, permitindo, por outro lado, a definição de critérios de adequação de dados geográficos, aumentando o rigor e valor dos mesmos. Através do QuantumGIS, o SIG Desktop utilizado na IDE RECOVER, e das suas diversas ferramentas disponíveis para interação com SGBD, é possível proceder à adequação e conversão de dados de diversos formatos para o SGBD-OR PostgreSQL/PostGIS.

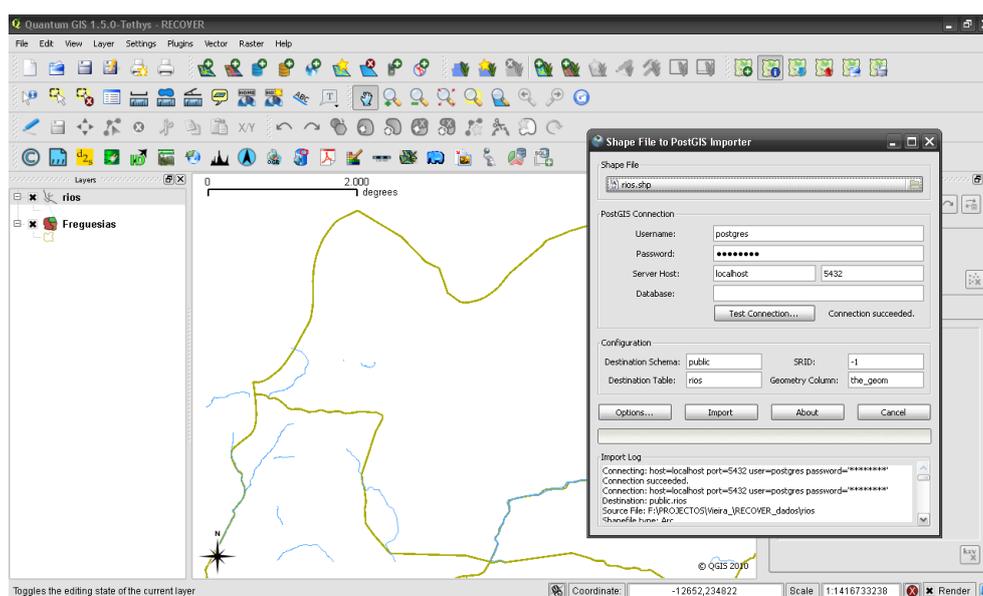


Figura 24. Importação de *layers* espaciais para o PostGIS através do interface do QuantumGIS

Uma primeira tarefa consiste em adicionar uma conexão à BDE PostgreSQL, definindo os parâmetros de configuração da ligação através do item 'Layer' da barra de ferramentas.

Para realizar essa operação selecionamos o comando  'Shapefiles to PostgresSQL Import', o qual nos permite aceder a uma ferramenta para importar dados para a BDE. Após o processo de seleção da Base de Dados e configuração dos parâmetros de ligação à Base de Dados escolhida, selecionamos os *layers* de

informação espacial que pretendemos colocar na BDE e executamos a importação dos dados.

Através desta metodologia a informação é adicionada ao PostgreSQL/PostGIS de forma simples e rápida, sem a necessidade de executar na Base de Dados tarefas acrescidas para estruturação dos dados, como acontece com outras ferramentas disponíveis noutros *softwares*. É de referir que previamente se procedeu à correta definição dos diversos parâmetros inerentes aos *layers* de informação, no que diz respeito ao sistema de referência, entre outros.

Para adicionar dados da BDE ao QGIS o processo é igualmente simples.

Utilizando-se a ferramenta  'Add a PostGIS Layer', acedemos a uma janela onde se estabelece a ligação à Base de Dados a que se pretende aceder, escolhendo-se os dados a carregar no QGIS.

### 3.3.3. Preparação dos dados para o servidor de mapas através do SIG Desktop

O QuantumGIS possui ferramentas que permitem a interação com o servidor de mapas Mapserver, simplificando e automatizando a produção de *Mapfiles* para publicação.

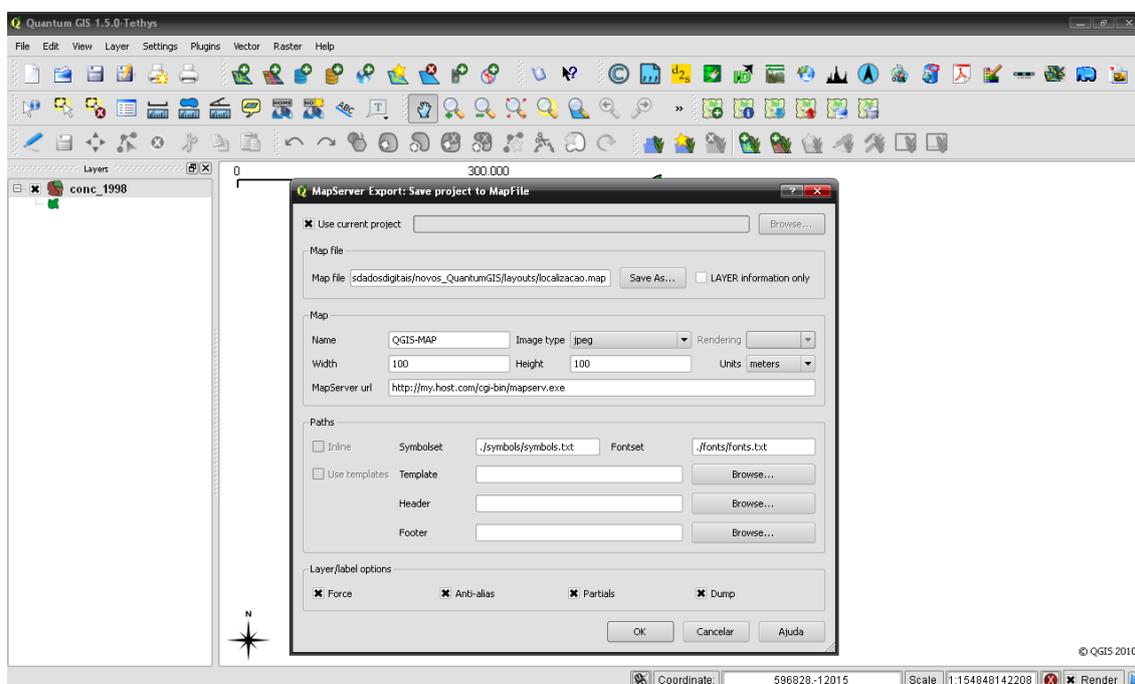


Figura 25. Criação de uma imagem para o MapServer no QuantumGIS

Para criar uma imagem passível de ser utilizada no MapServer, selecionamos o item 'Plugins' da barra de ferramentas. Seguidamente utilizámos o comando 'MapServer Export', que nos permite definir os parâmetros pretendidos, como o tipo de formato da imagem.

Este processo, extremamente simples, reduz significativamente o tempo necessário à produção dos mapas, tarefa que, realizada exclusivamente no Mapserver, se torna mais demorada e exige um conhecimento mais aprofundado do referido *software*.

### 3.3.4. Gestão de metadados

A produção dos metadados relativos à informação geográfica e alfanumérica integrada na IDE RECOVER é processada, como se referiu anteriormente, com recurso do *software* Geonetwork, cumprindo os parâmetros ISO e OGC.

Todos os dados geográficos foram catalogados no Geonetwork, sendo registados os metadados considerados indispensáveis e alguns acessórios, quando disponíveis. A ferramenta permite, também, a disponibilização de uma visualização básica da informação geográfica a que se refere.

Os metadados produzidos no Geonetwork estão interligados aos dados que caracterizam, presentes na BDE.



Figura 26. Visualização dos dados no Geonetwork (exemplo com uma camada de dados genérica)

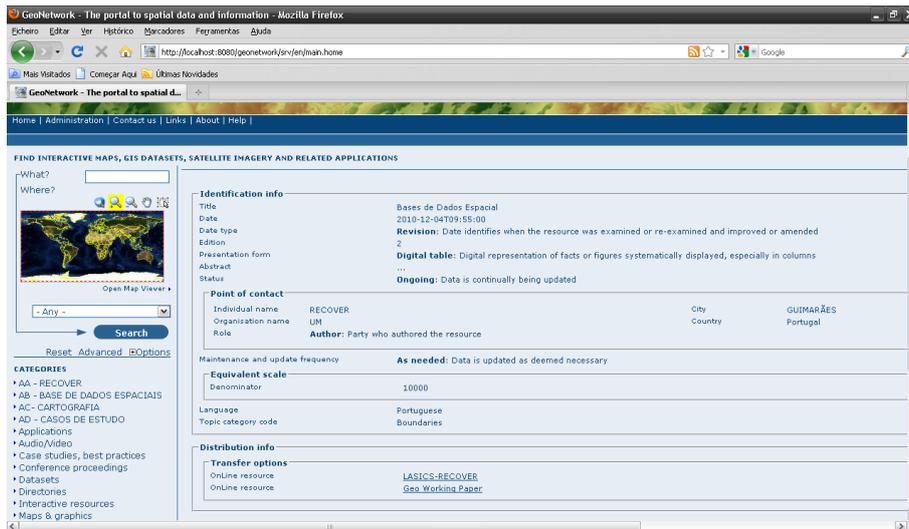


Figura 27. Metadados relativos a um *layer* de dados espaciais

### 3.3.5. Portal RECOVER

Além dos dados espaciais servidos pela IDE, o Portal RECOVER permite a disponibilização de informações não geográficas, relativas ao projeto de investigação. Esta página Web disponibiliza informações relativas a vários aspetos do projeto.

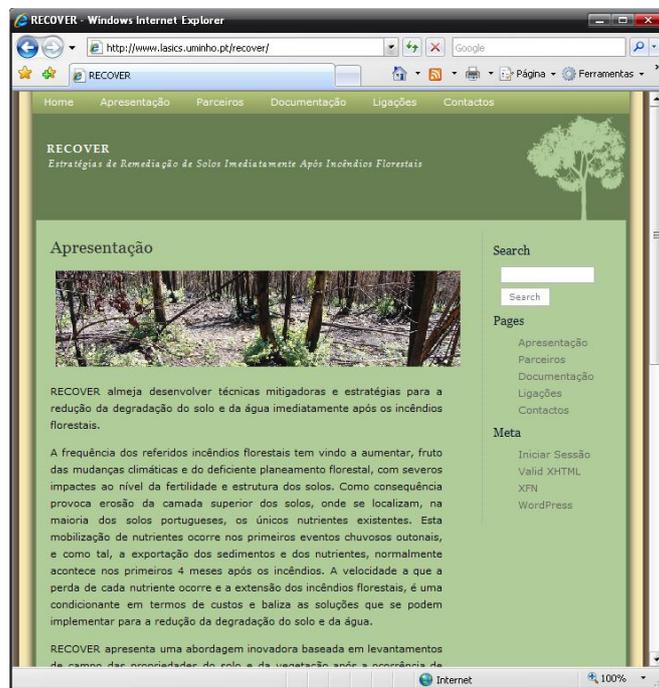


Figura 28. *Website* do projeto RECOVER, alojado no LASICS

O separador 'Apresentação' disponibiliza informações sobre os objetivos e pressupostos inerentes ao projeto.

O separador 'Parceiros' apresenta as instituições envolvidas no projeto, bem como os investigadores e seus dados académicos.

O separador 'Documentação' disponibiliza documentos produzidos no âmbito do projeto e informação acerca da produção científica realizada ao longo do projeto (artigos, livros e outras publicações).

Segue-se o separador 'Ligações' que inclui indicação de outros projetos de investigação, instituições e outras ligações relacionados com a temática do RECOVER.

Por fim o separador 'Contactos' apresenta os contactos das instituições envolvidas no projeto RECOVER.

## ASPETOS CONCLUSIVOS

Os processos de erosão dos solos na sequência de incêndios florestais constituem um fator determinante para a degradação do recurso solo. De facto, o período de chuvas que se segue à ocorrência da destruição do coberto vegetal pelo fogo, constitui o momento de maior fragilidade do solo e aquele em que se observa uma acentuada erosão do mesmo, quer pelo destacamento e transporte dos sedimentos, quer pela remoção dos nutrientes aí existentes.

Os resultados da investigação científica têm confirmado estes factos, tendo-se desenvolvido esforços no sentido da investigação e identificação de estratégias para a mitigação deste fenómeno.

Neste contexto se integra o projeto RECOVER, desenvolvido através da cooperação entre unidades de investigação da Universidade de Aveiro, da Universidade do Minho e da Escola Superior Agrária de Coimbra, cujo objetivo principal é desenvolver estratégias de remediação de solos imediatamente após a ocorrência de incêndios florestais. A elevada produção de dados e a necessidade da sua correta estruturação e análise, bem como a importância da sua partilha pelas diferentes equipas integrantes do projeto, conduziu à necessidade, previamente identificada, de implementação de um sistema integrado de informação (uma IDE), capaz de permitir uma eficiente gestão da informação, geográfica ou não geográfica.

Consequentemente, ao longo deste trabalho pretendemos demonstrar a utilidade da aplicação de uma metodologia para a implementação de uma IDE específica para a problemática da erosão dos solos na sequência dos incêndios florestais. O principal objetivo desta IDE será o de permitir integrar um conjunto de dados relativos ao solo e demais fatores e processos monitorizados ao nível da erosão sobre ele atuante e torná-los disponíveis para a sua análise em ambiente SIG, de forma a contribuir para uma melhor tomada de decisão na escolha da tipologia de medidas de mitigação a aplicar no pós-fogo, evitando, a custos reduzidos e de forma o mais eficaz possível, as perdas de solo provocadas essencialmente pelos primeiros fenómenos pluviosos após o fogo.

Assim, tendo como base de trabalho o conjunto de informação produzida pelas equipas de investigação do projeto RECOVER, e contando com o suporte físico fornecido pela infraestrutura cedida pelo LASICS, estruturámos a IDE RECOVER, respeitando um conjunto de pressupostos, quer de natureza estrutural e normativa, quer de natureza tecnológica, indispensáveis para a sua eficaz e adequada implementação.

A estrutura física da IDE ficou, então, assegurada pela integração de uma base de dados espacial, para a qual se utilizou o *software* PostgreSQL 8.4, a que se associou a extensão PostGIS 1.1, conferindo capacidades acrescidas para gestão de dados espaciais. Desta forma foi possível incorporar dados alfanuméricos recolhidos durante o trabalho de campo realizado ao longo do projeto e os dados geográficos referentes às áreas de estudo. De referir que foram selecionadas duas áreas de estudo, uma no concelho de Sever de Vouga e outra no concelho de Góis, nas quais foram implementadas metodologias de monitorização da erosão dos solos em áreas ardidas.

Estes dados foram armazenados adequadamente na BDE, seguindo o modelo conceptual da estrutura de dados criado para o efeito.

Foi também integrada na IDE um servidor de metadados, recorrendo ao *software* Geonetwork, com o objetivo de disponibilizar informações relativas aos dados produzidos e publicados na IDE, cumprindo desta forma as normas ISO e requisitos do OGC referentes aos metadados.

Outra componente importante desta infraestrutura é o servidor de mapas, tendo-se selecionado o *software* Mapserver. Desta forma, é possível disponibilizar um conjunto de serviços relativos à difusão de dados geográficos, cumprindo-se um dos requisitos do projeto RECOVER, que era a disseminação dos resultados obtidos para a sociedade, nomeadamente para os agentes envolvidos na gestão da floresta e dos solos.

Importante na estruturação e articulação dos vários componentes da IDE é ainda a integração do SIG Desktop, que contribui de forma decisiva para a gestão dos dados geográficos, sua integração na base de dados espacial e interligação com o servidor de mapas. Porém, é especialmente indispensável nos processos de modelação espacial e produção cartográfica temática, constituindo-se como um elemento chave neste processo.

Este componente integra um conjunto de ferramentas de grande utilidade para a análise de processos ambientais, permitindo, além disso, a visualização e manuseamento de informação espacial pelas entidades interessadas de forma relativamente rápida e simples, sendo, conseqüentemente, possível o cruzamento de informação espacial, contribuindo desta forma para uma análise mais integral da área em estudo, possibilitando a identificação de relações, padrões e tendências.

Apesar da grande diversidade de *softwares* disponíveis, optou-se pela utilização do QuantumGIS, que apresenta uma grande versatilidade, facilidade de utilização e integração com os demais componentes da IDE, contendo um conjunto diversificado e numeroso de ferramentas de análise espacial e modelação.

Desta forma, pode-se desenhar uma estrutura fiável para armazenar, analisar e difundir dados geográficos e alfanuméricos, disponibilizados a partir do Portal web do projeto RECOVER, onde se integram as tecnologias SIG para uma eficaz apresentação da informação geográfica produzida.

Não obstante a concretização dos objetivos a que nos havíamos proposto no início deste trabalho, alguns obstáculos dificultaram a sua prossecução. Com efeito, a definição tardia das áreas a intervencionar, por ausência de áreas ardidadas no primeiro ano do projeto, comprometeu a recolha de dados no terreno por um período mais longo, comprometendo a parte final das tarefas a desenvolver pela equipa do NIGP. Este facto impossibilitou a implementação do modelo de análise geomorfológica e sua posterior validação, pelo que apenas se procedeu à avaliação das áreas de risco de erosão por métodos geomorfológicos clássicos.

Esta experiência permitiu, no entanto, estabelecer as bases do modelo a desenvolver, o qual será desenvolvido em trabalhos futuros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Obras consultadas

- Afonso, C. S. P. V. 2008. Infra-estruturas de Dados Espaciais nos Municípios – Contributo para a definição de um modelo de implementação. Dissertação de Mestrado em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica, Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa, 125 p.
- Alegre, S. P. 2007. Simulações de chuva para a medição e modelação da erosão do solo em áreas florestais recentemente ardidadas. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Universidade de Coimbra, 105 p.
- Almeida, S. M. S. M. 2006). Disseminação da Informação Geográfica nas Autarquias Locais. Dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação, Universidade do Minho, 175 p.
- Bento-Gonçalves, A. J. 2011. Geografia dos incêndios em espaços silvestres de montanha. Textos Universitários de Ciências Sociais e Humanas, FCG/FCT, 545 p.
- Bento-Gonçalves, A. J., Vieira, A. A. B., Ferreira, A. J. D., Coelho, C. O. A 2008a. Caracterização geomorfológica e implementação de um sistema integrado de informação, em ambiente SIG, no âmbito do projecto RECOVER (estratégias de remediação de solos imediatamente após incêndios florestais). Revista Geografia Ensino & Pesquisa, Anais do V Seminário Latino-americano de Geografia Física, Vol. 12, Nº 1, Santa Maria – RS, pp. 3721-3735.
- Bento-Gonçalves, A., Vieira, A., Coelho, C., Ferreira, A. 2008b. Caracterização geomorfológica e implementação de um sistema integrado de informação, em ambiente SIG, no âmbito do projecto RECOVER (Estratégias de remediação de solos imediatamente após incêndios florestais). Geo-Working Papers do NIGP, nº 17, Série Investigação, Núcleo de Investigação em Geografia e Planeamento, Univ. do Minho, Guimarães, 24 p. ISSN: 1645-9369
- Bento-Gonçalves, A., Vieira, A., Coelho, C., Ferreira, A. 2009a. Mitigation of soil loss after forest fires: a geomorphological approach based in GIS modelling. Livro de resumos do II International Meeting of Fire Effects on Soil Properties, organizado pelas Universidades de Ancara e Hacettepe, em Marmaris (Turquia), pp. 30.
- Bento-Gonçalves, A. J., Vieira, António, Martins, Carla, Ferreira-Leite, F., Costa, Francisco 2009b. A criação de Garranos na Serra da Cabreira (Vieira do Minho) e o uso do fogo. Geo-Working Papers, Número especial 2009/1, Núcleo de

Investigação em Geografia e Planeamento, Universidade do Minho, Guimarães, 96 p. ISSN: 1645-9369.

- Bento-Gonçalves, A. J., Vieira, A., Ferreira-Leite, F. 2010a. Mitigation of erosion after forest fires: a geomorphological approach based in GIS modeling. "Jornadas Internacionais – Investigación y gestión para la protección del suelo y restauración de los ecosistemas forestales afectados por incendios forestales", 6 a 8 de Outubro de 2010, FuegoRed, Santiago de Compostela, 111-114. ISBN: 978-84-8408-583-6.
- Bento-Gonçalves, A. J., Vieira, A., Ferreira-Leite, F., Martins, C., Costa, F. 2010b. A desestruturação do mundo rural em áreas de montanha e o risco de incêndio. O caso da Serra da Cabreira (Vieira do Minho). *Territorium*, nº 17, Riscos – Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, Lousã, 109-117. ISSN: 0872-8941.
- Bento-Gonçalves, A. J., Vieira, A., Martins, C., Ferreira-Leite, F., Costa, F. 2010c. A desestruturação do mundo rural e o uso do fogo - o caso da Serra da Cabreira (Vieira do Minho). In *Caminhos nas Ciências Sociais – memória, mudança social e razão. Estudos em homenagem a Manuel da Silva Costa*, ICS, Braga, 87-104. ISBN: 978-989-8377-07-4.
- Bento-Gonçalves, António, Vieira, António, Ferreira-Leite, F., Lourenço, L., Botelho, H., Fernandes, P., Úbeda, X., Cerdà, A. 2011a. Field trip guidebook. 3rd international meeting of fire effects on soil properties. Núcleo de Investigação em Geografia e Planeamento, CEGOT, Universidade do Minho, Guimarães, 69 p. ISBN: 978-989-97214-1-8.
- Bento-Gonçalves, A., Vieira, A., Ferreira-Leite, F., Martins, J., Silva, D., Soares, V. 2011b. ADAPTA CLIMA - Adaptation to the effects from climate change in the AVE. Fire Effects on Soil Properties. Proceedings of the 3rd international meeting of fire effects on soil properties, Núcleo de Investigação em Geografia e Planeamento, CEGOT, Universidade do Minho, Guimarães, 175-180. ISBN: 978-989-97214-0-1.
- Botelho da Costa, J. 1995. Caracterização e constituição do solo. Fundação Calouste Gulbenkian, 5ª edição, 527 p.
- Botelho, H., Veja, J., Fernandes, P., Rego, F. 1994. Prescribed fire behaviour and fine fuel consumption in Northern Portugal and Galiza maritime pine stands. In: 'Proceedings 2nd International Conference on Forest Fire Research', 21-24 Nov. 1994, Coimbra, 343-353 pp.

- Cerdà, A., Doerr, S. H. 2005. The influence of vegetation recovery on soil hydrology and erodibility following fire: an eleven-year research, *International Journal of Wildland Fire*, nº 14, 423-437 pp.
- Charman, J. (s/d). *Methods and Materials in Soil Conservation*. AGLL, FAO, 127 p.
- Coelho, C. O. A., Ferreira, A. J. D., Boulet, A. K., Keizer, J. J. 2004. Overland flow generation processes, erosion yields and solute loss following different intensity fires. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 37, 3, 233-240 pp.
- Davis, S. (s/d). *GIS For Web Developers – Adding Where to Your Web Applications*. The Pragmatic Programmers, 262 p.
- Dias, R. M. P. 2006. *Infra-Estruturas Municipais da Dados Espaciais*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação, Universidade Nova de Lisboa, 127 p.
- Direcção Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano e Direcção Geral de Desenvolvimento Rural (Org.) 1999. *Vocabulário de Ordenamento do Território*. Direcção de Serviços de Estudos e Planeamento Estratégico, Colecção Informação 5, 189 p.
- Direcção Geral dos Recursos Florestais 2006. *Estratégia Nacional para as Florestas*. Autoridade Florestal Nacional, 189 p. (acesso em 6 de Março de 2010) versão on-line, disponível em <http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/gestao-florestal/ppf/enf>.
- Doerr, S. H., Shakesby, R. A., Walsh, R. P. D. 1996. Soil hydrophobicity variations with depth and particle size fraction in burned and unburnt *Eucalyptus globulus* and *Pinus pinaster* forest terrain in the Águeda basin, Portugal. *Catena* 27, 25-47 pp.
- Durão, R. M. & Corte-Real, J. 2006. Alterações climáticas: futuro dos acontecimentos extremos e do risco de incêndio. In Pereira, J., Pereira, J., Rego, F., Silva, J. & Silva, T. (Ed.), *Incêndios florestais em Portugal, Caracterização, impactes e prevenção*, ISA Press, Lisboa, 231-255 pp.
- Faria, N. A. S. 2006. *Suporte à edição cooperativa de Informação Geográfica em ambiente Web*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Informática, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, 108 p.
- Fernandes, H. C. M. 2009. *Medição e modelação da erosão do solo a micro-escala, após incêndios florestais*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, 101 p.
- Ferreira, A. J. D. 1996. *Processos hidrológicos e hidroquímicos em povoamentos de Eucalyptus globulus Labill. e Pinus pinaster Aiton*. Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, 383 p.

- Ferreira, A. J. D., Coelho, C. O. A., Shakesby, R. A., Walsh, R. P. D. 1997. Sediment and solute yield in forest ecosystems affected by forest fire and rip-ploughing techniques, central Portugal. A plot and catchment analysis approach, *Physics and Chemistry of the Earth*, nº 22, 309-314 pp.
- Ferreira, A. J. D., Coelho, C. O. A., Ritsema, C. J., Boulet, A. K., Keizer, J. J. 2008. Soil and water degradation processes in burned areas: Lessons learned from a nested approach. *Catena* 74, 273-285 pp.
- Ferreira, A. J. D., Silva, J. S., Maia, M. J., Catry, F., Moreira, F., Arianoutsou, M. 2005. Gestão Pós-fogo – Extração da madeira queimada e protecção da floresta contra a erosão do solo. Direcção-Geral dos Recursos Florestais, Projecto - Recuperação de Áreas Ardidas – Centro PHOENIX do Instituto Florestal Europeu, Lisboa, 8 p.
- Ferreira, C. C. G. 1996/7. Erosão hídrica em solos florestais. *Revista da Faculdade de Letras da Universidade do Porto, Geografia, Separata, I Série, Vol. XII/XIII*, 145-244 pp.
- Ferreira, C. C. G. 2008. Degradação do solo no concelho de Gondomar: Uma perspectiva geográfica, Contribuição para a definição de estratégias de planeamento e ordenamento do território. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 270 p.
- Ferreira, K. R., Casanova, M. A., Queiroz, G. R., Oliveira, O. F. 2005. 5. Arquiteturas e linguagens. In Marco Casanova, Clodoveu Davis, Lúbia Vinhas, Gilberto Ribeiro de Queiroz e Gilberto Câmara (Organizadores), Bancos de Dados Geográficos, versão online, disponível em [www.dpi.inpe.br/livros/bdados/cap5.pdf](http://www.dpi.inpe.br/livros/bdados/cap5.pdf), 33 p.
- Ferreira-Leite, F., Bento-Gonçalves, A., Vieira, A., Martins, C. 2010. A recorrência dos incêndios na Serra da Cabreira como manifestação do risco de incêndio florestal. *Territorium*, nº 17, Riscos – Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, Lousã, 93-98. ISSN: 0872-8941.
- Ferreira-Leite, F., Bento-Gonçalves, A., Vieira, A., da Vinha, L. 2011. The frequency of fires and land degradation - Cabeço da Vessada do Monte, Serra da Cabreira. Fire Effects on Soil Properties. Proceedings of the 3rd international meeting of fire effects on soil properties, Núcleo de Investigação em Geografia e Planeamento, CEGOT, Universidade do Minho, Guimarães, 198-202. ISBN: 978-989-97214-0-1.
- Giovannini, G. 1987. Effect of fire and associate heating wave on the physicochemical parameters related to the soil potential erodibility. *Ecologia Mediterranea*, nº 13, 111-117 pp.

- Giovannini, G. 1994. The effect of fire on soil quality. In: M. Sala and J.L. Rubio (Ed.), Soil erosion and degradation as a consequence of forest fires. Geoforma Ediciones, Logroño, Espanha, 15-27 pp.
- Giovannini, G., Lucchesi, S., Giachetti, M. 1988. Effect of heating on some physical and chemical parameters related to soil aggregation and erodibility. Soil Science, nº 146, 255- 261 pp.
- Gonçalves, P. 1997. Structure and Scale of Forest Fires Patterns. Seminário de Revisão de Projectos de Doutoramento, Grupo de Análise de Sistemas Ambientais, FCT/UNL, 8 p.
- González, V. H. D., Lamas, F. M., Fabre, J. N. J. 2001. Curso de Bases de Datos y PostgreSQL. Facultad de Ciencias, Universidade Nacional Autónoma de México, México, 121 p.
- Heywood, I., Cornelius, S., Carver, S. 2002. An introduction to Geographical Information Systems. 2nd ed., Prentice Hall, 295 p.
- Imeson, A. C. (s/d). Introdução Geral à Degradação da Terra e à Desertificação. Lucinda, Land Care In Desertification Affected Areas, From Science Towards Application, série do fascículo A, nº1, 15 p.
- Imeson, A. C. & Curfs, M. (s/d). Erosão do solo. Lucinda, Land Care in Desertification Affected Areas, From Science Towards Application, série do fascículo B, nº1, 15 p.
- Imeson, A. C., Verstraten, J. M., Mullingen, E. J. V., Sevink J. 1992. The effects of fire and water repellency on infiltration and runoff under Mediterranean type forests. Catena 19, 345-361 pp.
- Jungerius, P. D. & DeJong, J. H. 1989. Variability of water repellency in the dunes along the Dutch coast. Catena 16, 491-497 pp.
- Kindle, A., Garay, I., Santana do Carmo, C. A. e Lima, J. A. S. 2003. Quantificação dos horizontes húmicos e dinâmica da decomposição de material foliar em solos florestais. Comunicado Técnico 21, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Rio de Janeiro, Brasil, 8 p.
- Llopis, J. P. 2006. Sistemas de Información Geográfica aplicados a la gestión del territorio. ECU, Alicante, Espanha, 310 p.
- Loenen, B. 2006. Developing geographic information infrastructures. The role of information policies. DUP Science, Delft University Press, 390 p.
- Longley, P., Goodchild, M., Maguire, D., Rhind, D. 2004. Geographic Information Systems and Science. Wiley, 519 p.
- MacDonald, L. H., & Larsen, I. J. (s/d). Effects of Forest Fires and Post-Fire Rehabilitation: A Colorado Case Study. Chapter in review for A. Cerda and P.

- Robichaud (eds.), *Restoration Strategies after Forest Fires*, Science Publishers, Inc., Enfield, New Hampshire, USA, 45 p.
- Machado, J. A. R. 2000. *A Emergência dos Sistemas de Informação Geográfica na Análise e Organização do Espaço*. Fundação Calouste Gulbenkian.
- Martins, Carla 2011. *Implementação de um sistema integrado de informação aplicado à erosão dos solos na sequência dos incêndios florestais*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, 104 p.
- Mataix-Solera, J., Cerdà, A., 2009. Incendios forestales en España. Ecosistemas terrestres y suelos, in: Cerdà, A., Mataix-Solera, J. (Eds.), *Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España. El estado de la cuestión visto por los científicos españoles*. FUEGORED, Cátedra Divulgación de la Ciencia, Universitat de Valencia, Spain, pp. 27-53.
- Matos, P. M. M. P. 2006. *As Tecnologias de Informação Geográfica no apoio à Avaliação do Planeamento Territorial – Potencialidades e limitações face a desafios*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 192 p.
- Ministério da Indústria e Energia, Secretaria de Estado da Indústria, Direcção-Geral de Geologia e Minas – Serviços Geológicos de Portugal (Org.) 1992. *Carta Geológica de Portugal*. Escala 1:500 000.
- Moreira, F., Arianoutsou, M., Fernandes, P., Mazzoleni, S., Rigolot, E., R., Vallejo 2006. *Que fazer depois de um fogo? A contribuição do Centro Temático PHOENIX para a gestão pós-fogo*. V Conferência Internacional de Investigação em Fogos Florestais, D. X. Viegas (Ed.), Instituto Superior de Agronomia, University of Athens, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Università degli Studi di Napoli Federico II, Institut National de la Recherche Agronomique, Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo, 8 p.
- Napper, C. 2006. *Burned Area Emergency Response treatments catalog*. USDA Forest Service. National Technology and Development Program. Watershed, Soil, Air Management 0625 1801-SDTDC.
- Naveh, Z., 1975. The evolutionary sequence of fire in the Mediterranean region. *Vegetatio* 29, 199–208.
- Nearing, M. A., Jetten, V., Baffaut, C., Cerdan, O., Couturier, A., Hernandez, M., Bissonnais, Y. L., Nichols, M. H., Nunes, J. P., Renschler, C. S., Souchère, V., Oost, K. 2005. Modeling response of soil erosion and runoff to changes in precipitation and cover. *Catena* 61, 131-164 pp.

- Novo, E. M. & Ferreira, J. P. L. 2009. Metodologias de Mitigação dos Impactos dos Fogos - Avaliação de Estratégias de Acção. 7º Seminário sobre Águas Subterrâneas, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 19 p.
- Nunes, A. 2008. Abandono do espaço agrícola na “Beira Transmontana”: extensão, causas e efeitos ambientais. Colecção Iberografias, Vol. 13, Campo de Letras - Editores S.A., 430 p.
- Nunes, J. P., Lima, J. L. M. P., Singh, V. P., Lima, M. I. P., Vieira, G. N. 2006. Numerical modeling of surface runoff and erosion due to moving rainstorms at the drainage basin scale. ELSEVIER, ScienceDirect 330, 709-720 pp.
- Nunes, J. P., Vieira, G. N., Seixas, J., Gonçalves, P., Carvalhais, N. 2005. Evaluating the MEFIDIS model for runoff and soil erosion prediction during rainfall events. Catena 61, 210-228 pp.
- Oliveira, M. G. A. 2005. Propagação do Fogo e Dinâmicas Florestais. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 101 p.
- Paré, R. C., Santillán, L. A. C., Costa, D. C., Ginestà, M. G., Escofet, C. M., Mora, O. P. 2005. Bases de datos. Fundació per a la Universitat Oberta de Catalunya, Material realizado por Eureka Media, SL, Barcelona, Espanha, 460 p.
- Pausas, J.G., Llovet, J., Rodrigo, A., Vallejo, V.R., 2008. Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? A review. International Journal of Wildland Fire 17, 713–723.
- Pausas, J.G., Keeley, J.E., 2009. A Burning Story: The Role of Fire in the History of Life, BioScience 59, 593–601.
- Pike, R.G., Ussery, J.G., 2006. Key points to consider when pre-planning for post-wildfire rehabilitation. FORREX Forest Research Extension Partnership, FORREX Series 19, Kamloops, Canada.
- Pyne, S.J., 1982. Fire in America: a cultural history of wildland and rural fire. Seattle: University of Washington Press. 654 p.
- Ramos, M. A. B. 2008. Matos do Parque Natural de Montesinho - Erosão Hídrica e Dinâmica do Carbono: Um estudo à micro-escala com Simulação de Chuva. Tese de Mestrado em Gestão e Conservação da Natureza, Universidade dos Açores, Instituto Politécnico de Bragança, 143 p.
- Resende, S. S. O. 2005. GeoPlanos: Sistema Geográfico de Monitorização de Planos Municipais de Ordenamento do Território. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 167 p.

- Ribeiro, G. P. (s/d). Padronização da informação geográfica e metadados geoespaciais digitais. Universidade Federal Fluminense, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil, 12 p.
- Riera, P., Mavasar, R., Mogas, J. (s/d). A economia dos fogos florestais: questões e prática. Universitat Autònoma de Barcelona, Slovenian Forestry Institute, Universitat Rovira i Virgili, Espanha, 27 p.
- Ritsema, C. J. & Dekker, L. W. 1994. How water moves in a water-repellent sandy soil – 2. Dynamics of fingered flow, *Water Resources Research*, nº 30, 2519-2531 pp.
- Robichaud, P., 2009. Post-fire stabilization and rehabilitation, in: Cerdá, A., Robichaud, P. (Eds.), *Fire effects on soils and restoration strategies*. Science Publishers, Enfield, New Hampshire, pp. 299-320.
- Robichaud, P. R., Beyers, J. L., Neary, D. G. 2000. Evaluating the Effectiveness of Postfire Rehabilitation Treatments. United States Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain, Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-63, 89 p.
- Robichaud, P.R., Beyers, J.L., Neary, D.G., 2005. Watershed Rehabilitation, in: *Wildland fire in ecosystems. Effects of fire on soil and water*. USDA Forest Service. General Technical Report RMRS-GTR 42-4.
- Rocha, J. G. P. B. 2005. Informação Geográfica: Meta-Informação, Codificação e Visualização. Dissertação de Doutoramento, Departamento de Informática, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, 154 p.
- Sevink, J., Imeson, A. C., Verstraten, J. M. 1989. Humus form development and hillslope runoff, and the effects of fire and management, under Mediterranean forest in NE Spain. *Catena* 16, 461-475 pp.
- Shakesby, R.A., 2011. Post-wildfire soil erosion in the Mediterranean: Review and future research directions. *Earth-Science Reviews* 105, 71–100.
- Shakesby, R. A., Coelho, C. O. A., Ferreira, A. J. D., Terry, J. P., Walsh, R. P. D. 1993. Wildfire impacts on soil erosion and hydrology in wet Mediterranean forest, Portugal. *International Journal of Wildland Fire*, 3, 95-110pp.
- Sherman, G. E. (s/d). Desktop GIS – Mapping the Planet with Open Source Tools. The Pragmatic Programmers, 358 p.
- Soto, D. & Diaz-Fierros, F. 1993. Interactions between plant ash leachates and soil. *International Journal of Wildland Fire*, 3 (4), 207-216 pp.
- Soto, D. & Diaz-Fierros, F. 1998. Runoff and soil erosion from areas of burnt scrub: comparison of experimental results with those predicted by the WEPP model. *Catena* 31, 257-270 pp.

- Thomas, A. D., Walsh, R. P. D., Shakesby, R. A. 1999. Nutrient losses in eroded sediment after fire in eucalyptus and pine forests in the wet Mediterranean environment of northern Portugal. *Catena* 36, 283-302 pp.
- Thomas, A. D., Walsh, R. P. D., Shakesby, R. A. 2000a. Post-fire forestry management and nutrient losses in eucalyptus and pine plantations, northern Portugal. *Land Degradation & Development*, nº 11, 257-271 pp.
- Thomas, A. D., Walsh, R. P. D., Shakesby, R. A. 2000b. Solutes in overland flow following fire in eucalyptus and pine forests, northern Portugal. *Hydrological Processes*, nº 14, 971-985 pp.
- Úbeda, X., Sala, M. 2001. Chemical concentrations in overland flow from different forested areas in a Mediterranean Environment: burned forest at different fire intensity and unpaved road. *Zeitschrift fur Geomorphologie*, nº 45, 225-238 pp.
- Universidade de Sheffield (USFD), Open GIS Consortium Europe (OGCE), European Umbrella Organisation for Geographic Information (EUROGI), Joint Research Centre of the European Commission (JRC) (Org.) 2000. Infra-estruturas de Dados Espaciais: Recomendações de actuação. GINIE: Rede Europeia de Informação Geográfica, 8 p.
- Vallejo, R. 2006. Ferramentas e metodologias para o restauro de áreas ardidadas. Laboratório Euro-Mediterrânico para o estudo dos fogos florestais, EUFIRELAB, 90 p.
- Vieira, A. A. B. 2004. Património Cultural da Serra de Montemuro. Projecto final para a disciplina de Bases de Dados, Pós-graduação em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica, Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação, Universidade Nova de Lisboa, 19 p.
- Vieira, A. A. B., Gonçalves, A. J. B., Martins, C. O., Loureiro, E. 2009. Sistema integrado de informação, em ambiente SIG, aplicado à erosão de solos na sequência de incêndios florestais. *Geo-Working Paper*, Série de Investigação 2009/20, Núcleo de Investigação em Geografia e Planeamento, Universidade do Minho.
- Vieira, A., Bento-Gonçalves, A. J., Martins, C., Ferreira Leite, F. 2010. An integrated information system to support research on soil erosion mitigation techniques after forest fire. "Actas do V Congresso Nacional de Geomorfologia", 8 a 11 de Dezembro de 2010, Apgeom, Porto, CD-Rom. ISBN: 978-989-96462-2-3
- Vieira, A., Bento-Gonçalves, A., Martins, C., Ferreira-Leite, F., Mendes, L. 2011. Geographical Information Technology to support research on forest fires and soil erosion. *Fire Effects on Soil Properties. Proceedings of the 3rd international meeting of fire effects on soil properties*, Núcleo de Investigação em Geografia e

Planeamento, CEGOT, Universidade do Minho, Guimarães, 186-191. ISBN: 978-989-97214-0-1.

Walsh, R. P. D., Boakes, D. J., Coelho, C. O. A., Gonçalves, A. J. B., Shakesby, R. A., Thomas, A. D. 1994. Impact of fire-induced hydrophobicity and post-fire forest litter on overland flow in northern and central Portugal. Proceedings of the Second International Conference on Forest Fire Research, Coimbra, Volume II, 1149-1159 pp.

Weber, E., Anzolch, R., Filho, J. L., Costa, A. C., Iochpe, C. 1999. Qualidade de Dados Geoespaciais. Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 37 p.

### **Recursos online**

Agência Portuguesa do Ambiente – Atlas do Ambiente (acesso em 27 Novembro de 2009). Disponível na internet: <http://www.iambiente.pt/atlas/est/index.jsp>

Autoridade Florestal Nacional - Áreas ardidas (acesso em 5 de Maio de 2010). Disponível na internet: <http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/cartografia/cartograf-nac-areas-ardidas-1990-2008>

DAO - projecto EROSFIRE (acesso em 22 de Agosto de 2010). Disponível na internet: <http://www2.dao.ua.pt/RECNATUR/EROSFIRE/>

DGOTDU - Sistema Nacional de Informação Territorial (acesso em 22 de Agosto de 2010). Disponível na internet: <http://www.dgotdu.pt/channel.aspx?channelID=144EE72D-18A4-4CCA-9ABA-7303CDEAA0C6>

DGPR - projecto Lucinda (acesso em 9 Janeiro de 2010). Disponível na internet: [http://geografia.fcsh.unl.pt/lucinda/default\\_pt.html](http://geografia.fcsh.unl.pt/lucinda/default_pt.html)

European Commission - Directiva INSPIRE (acesso em 10 Janeiro de 2010). Disponível na internet: <http://inspire.jrc.ec.europa.eu/>

ESRI Portugal – ESRI Portugal (acesso em 24 de Junho de 2010). Disponível na internet: <http://www.esriportugal.pt>

ESRI – Serviço de dados on-line (acesso em 7 de Janeiro de 2011). Disponível na internet: <http://services.arcgisonline.com/arcgis/services>

Fireparadox (acesso em 6 de Março de 2010). Disponível na internet: [http://www.fireparadox.org/forest\\_fires.php?PHPSESSID=d09c545e3ffcf8259f9c95513531c36c](http://www.fireparadox.org/forest_fires.php?PHPSESSID=d09c545e3ffcf8259f9c95513531c36c)

ISA - Regional Project Centre PHOENIX (acesso em 9 Janeiro de 2010). Disponível na internet: <http://www.phoenixefi.org/content/2/17/homepage>

ISO – Geographic information (acesso em 10 de Setembro de 2010). Disponível na internet: <http://www.isotc211.org/>

Open Geospatial Consortium (OGC) - (acesso em 10 de Setembro de 2010). Disponível na internet: <http://www.opengeospatial.org/>

PostgreSQL Global Development Group - PostgreSQL (acesso em Janeiro de 2010). Disponível na internet: <http://www.postgresql.org/>

SNIG. 2010 - Sistema Nacional de Informação Geográfica (acesso em 22 de Agosto de 2010). Disponível na internet: <http://snig.igeo.pt>

### **Outras fontes**

Carta Militar de Portugal, Escala 1/25000, número 164, Instituto Geográfico do Exército, Lisboa, 1998.

Carta Militar de Portugal, Escala 1/25000, número 165, Instituto Geográfico do Exército, Lisboa, 1999.

Carta Militar de Portugal, Escala 1/25000, número 175, Instituto Geográfico do Exército, Lisboa, 2001.

Carta Militar de Portugal, Escala 1/25000, número 176, Instituto Geográfico do Exército, Lisboa, 2001.

Carta Militar de Portugal, Escala 1/25000, número 186, Instituto Geográfico do Exército, Lisboa, 2002.

Carta Militar de Portugal, Escala 1/25000, número 187, Instituto Geográfico do Exército, Lisboa, 2002.

Carta Militar de Portugal, Escala 1/25000, número 231, Instituto Geográfico do Exército, Lisboa, 2001.

Carta Militar de Portugal, Escala 1/25000, número 232, Instituto Geográfico do Exército, Lisboa, 1993.

Carta Militar de Portugal, Escala 1/25000, número 242, Instituto Geográfico do Exército, Lisboa, 2001.

Carta Militar de Portugal, Escala 1/25000, número 243, Instituto Geográfico do Exército, Lisboa, 1992.

Carta Militar de Portugal, Escala 1/25000, número 252, Instituto Geográfico do Exército, Lisboa, 2000.

Carta Militar de Portugal, Escala 1/25000, número 253, Instituto Geográfico do Exército, Lisboa, 1993.

Carta Militar de Portugal, Escala 1/25000, número 264, Instituto Geográfico do Exército, Lisboa, 2003.

Carta Militar de Portugal, Escala 1/25000, número 265, Instituto Geográfico do Exército, Lisboa, 1993.