

ATAS DA  
**CONFERÊNCIA  
NACIONAL DE  
GEODECISÃO**

2014



ATAS DA  
**CONFERÊNCIA  
NACIONAL DE  
GEODECISÃO**  
2014

#### COMISSÃO CIENTÍFICA

Alexandra Fonseca  
Ana Fonseca  
Ana Paula Falcão  
Bruno Meneses  
Cristina Catita  
Cristina Oliveira  
Edgar Barreira  
Jorge Rocha  
Luís Cerqueira  
Maria João Henriques  
Miguel Baio  
Nuno Charneca  
Paula Redweik  
Sandro Batista

#### COMISSÃO ORGANIZADORA

Edgar Barreira  
Maria João Henriques  
Miguel Baio  
Rita Brito

#### FICHA TÉCNICA

**TÍTULO** Atas da Conferência Nacional de Geodesição 2014

**EDITORES** Edgar Barreira, Maria João Henriques, Miguel Baio, Rita Brito

**EDIÇÃO** Escola Superior de Tecnologia do Barreiro do Instituto Politécnico de Setúbal

**PRODUÇÃO GRÁFICA** Gi.COM-IPS – Gabinete de Imagem e Comunicação do Instituto Politécnico de Setúbal

**DATA** julho 2014

**TIRAGEM** Documento online

**ISBN:** 978-989-20-4966-3

#### Patrocinadores



#### Apoios



#### Organização

©2014 Escola Superior de Tecnologia do Barreiro do Instituto Politécnico de Setúbal  
Reservados todos os direitos de acordo com a legislação em vigor.  
Os textos são da responsabilidade dos seus autores.

#### ÍNDICE

- 5** Nota da Comissão Organizadora
- 7** O significado de “GEODECIDIR”
- 9** A importância dos sistemas de informação geográfica como suporte à gestão estratégica e eficiência operacional dos serviços de água: a solução G/InterAqua  
MÓNICA CALÇADA, CARLOS MARIANO, CARLOS GODINHO
- 17** Contributo da informação geográfica na gestão operacional de entidades gestoras de serviços de águas  
JOÃO COELHO, RITA ALMEIDA, ALICE GANHÃO, ANA SANTOS, JOÃO FELICIANO
- 24** SIG3D no processo de decisão  
RUI DIAS, ANTÓNIO FRANCO, ANA MARQUES, JOSÉ DIAS
- 31** A informação geográfica na revisão dos PDM's  
RUI FLORENTINO
- 32** O SIG da SANEST – ferramenta de integração da informação de gestão de infraestruturas  
CÁTIA GOMES, JOÃO SANTOS SILVA, CONCEIÇÃO GRANGER
- 38** Barreiro, um SIG para a gestão  
MANUEL LANDUM
- 45** SIG open source na gestão ambiental municipal  
ALEXANDRE NETO
- 51** Heat-app! uma rede social móvel para compreender as cidades  
ANDRÉ SÁ, SANDRO BATISTA
- 52** Tendências dos sistemas de informação geográfica  
RUI SANTOS
- 53** Identificação do potencial renovável urbano para produção de electricidade  
TERESA SIMÕES, ANA ESTANQUEIRO, J. MAIA ALVES
- 63** Uso e ocupação do solo obtidos a partir de fotografias aéreas vs imagens de satélite de alta resolução  
BRUNO M. MENESES, FILIPE MARCELINO, RAQUEL SARAIVA, MARIA J. VALE, RUI REIS, MARCELO RIBEIRO
- 69** Extração de sombra a partir de imagens de satélite de alta resolução  
MORNA NANDAIA, RICARDO SILVA
- 76** Calibração de modelos de inundação com imagens de radar de abertura sintética (SAR) no Baixo Tejo  
RITA PESTANA, MAGDA PARAÍSO MATIAS, RICARDO CANELAS, DORA ROQUE, AMÉLIA ARAÚJO, EMÍLIA VAN ZELLER, ANTÓNIO TRIGO-TEIXEIRA, ANA PAULA FALCÃO, ALEXANDRE B. GONÇALVES, RUI FERREIRA, SANDRA HELENO
- 83** Remote sensing applications based on satellite open data (LANDSAT8 and SENTINEL-2)  
NUNO DURO SANTOS, GIL GONÇALVES
- 93** Blackbridge – value-added information services and products for agriculture and forestry monitoring based on rapideye imagery  
DIRK TILSNER, ERIKA PAASCHE, ALEXANDER MARX
- 101** Construção de uma geo-ontologia aplicada à monitorização de estruturas: primeiros resultados  
ANA RITA TOMAZ, MARZIEH BAKHSHANDEH, ANA PAULA FALCÃO

- 108 Sistema de aquisição de imagens para análise de pavimentos rodoviários**  
PAULO VILELA, SÉRGIO MADEIRA, RICARDO BENTO, ANTÓNIO SOUSA
- 115 Aplicação de referenciação linear à rede hidrográfica no contexto da harmonização de dados INSPIRE**  
EDGAR BARREIRA, ALEXANDRA FONSECA, ANDRÉ SERRONHA, MARISA SILVA, PAULO PATRÍCIO
- 122 A geo-visualização como ferramenta para a participação no planeamento urbano**  
LUÍS PEDRO CERQUEIRA
- 130 A utilização de modelos Geo-BIM na representação interativa de centros urbanos**  
SÓNIA ILDEFONSO, ANA PAULA FALCÃO, HELENA RUA
- 137 Cadastro predial do município de Oliveira de Azeméis, um meio responsável de gerir**  
LISBETH MARQUES E RICARDO PINHO
- 138 Infra-estruturas de dados espaciais: aplicação prática**  
RAQUEL SARAIVA, BRUNO MENESES, MARIA JOSÉ VALE, RUI REIS
- 144 WEBTRANSCOORD**  
HENRIQUE SILVA, ANA MEDEIRO, MANUELA VASCONCELOS
- 149 Erosão costeira e cenários de rotura dunar: uma ferramenta de modelação tridimensional baseada em SIG**  
JORGE ALMEIDA, FERNANDO VELOSO-GOMES, CLAUDINO CARDOSO
- 155 O avanço do mar e os processos destrutivos da linha de costa**  
CARLOS ANTUNES
- 161 Avaliação do efeito de bacias de retenção descentralizadas no caudal de ponta de cheia de áreas urbanas**  
OCTÁVIO CUNHA, ANA GALVÃO, FILIPA FERREIRA
- 168 Análise da influência das características do modelo digital de terreno em simulações hidrodinâmicas: o caso do rio Tejo**  
ANA PAULA FALCÃO, MAGDA MATIAS, RITA PESTANA, ALEXANDRE GONÇALVES, AMÉLIA ARAÚJO, SANDRA HELENO
- 173 Influência dos modelos altimétricos em simulações hidrodinâmicas – metodologia aplicada ao rio Tejo**  
MAGDA PARAÍSO MATIAS, ANA PAULA FALCÃO, ALEXANDRE B. GONÇALVES, RITA PESTANA, SANDRA HELENO, TERESA ALVARES, EMÍLIA VAN ZELLER, VICTOR RODRIGUES
- 181 Intervenção e medidas de emergência pós sismo**  
CRISTINA OLIVEIRA, FRANCISCO SURRECIO
- 193 Validação do potencial de utilização de informação geográfica produzida voluntariamente para a análise espacial de percursos de transportes públicos em Lisboa**  
NUNO CHARNECA, JOÃO DIAS COSTA
- 203 SIRCUL – ferramenta interativa de planeamento de percursos para ciclistas e de apoio à gestão da mobilidade em Lisboa**  
ROSA FÉLIX, ALEXANDRE B. GONÇALVES, JORGE B. SILVA
- 211 A modelação geográfica das perturbações ambientais como instrumento de apoio à decisão na área do planeamento da conservação**  
ANA LUISA GOMES, LARA NUNES, ALEXANDRA FONSECA
- 218 Construção de indicadores de atratividade e acessibilidade pedonal para medição da “caminhabilidade” em sistemas de informação geográfica – aplicação ao caso de Lisboa**  
ALEXANDRE B. GONÇALVES, PAULO CAMBRA, FILIPE MOURA

## Nota da Comissão Organizadora

A primeira Conferência Nacional de Geodesição foi um fórum organizado pela Escola Superior de Tecnologia do Barreiro, nos dias 15 e 16 de maio de 2014, nesta Escola do Instituto Politécnico de Setúbal. O público-alvo da conferência foi composto por decisores, técnicos, empresários e investigadores na área da informação geográfica. Proporcionou um momento de reflexão e de divulgação sobre o modo como a informação geográfica deve ser utilizada na tomada de decisão em diferentes áreas de atividade no nosso país.

A enorme quantidade de informação geográfica, disponível na internet e o aumento de ferramentas grátis que permitem manipular essa informação, levou também a decisão até aos utilizadores menos experientes. A democratização da informação geográfica implica que a mesma seja nuclear para milhões de pessoas, com menor utilização da informação geográfica em formato físico.

O esforço na organização da informação geográfica digital, a criação de infraestruturas de dados geográficos, a normalização da informação geográfica e a geração de negócio a partir da sua utilização, são objetivos modernos e cada vez mais atuais.

O contributo das ciências clássicas apoia as novas tendências, constituindo-se novas formas de análise da informação geográfica. O esforço europeu em completar as iniciativas Copernicus (programa da observação da Terra), Diretiva INSPIRE (normalização europeia de informação geográfica) e Galileo (GNSS europeu para posicionamento geográfico), foram áreas de interesse abordadas na primeira Conferência Nacional de Geodesição.

A Comissão Organizadora agradece aos patrocinadores, aos expositores, à Escola Superior de Tecnologia do Barreiro, ao Instituto Politécnico de Setúbal, à Câmara Municipal do Barreiro e à Direcção Geral do Território, por terem acolhido o evento e apoiado a sua organização.

Edgar Barreira

Maria João Henriques

Miguel Baio

Rita Brito

## O SIGNIFICADO DE “GEODECIDIR”

Edgar BARREIRA  
Escola Superior de Tecnologia do Barreiro

No processo de definição de uma nova palavra deve-se procurar não só o seu significado mas também o seu emprego pelo Homem inserido numa sociedade. No âmbito da Conferência Nacional de Geodesição procurou-se o significado para um novo verbo, que pretende distinguir-se do conhecido verbo “decidir”, que possa substituir a longa frase “informação geográfica no apoio à decisão”. Porque não uma “geodesição”, porque não a aplicação do verbo “geodecidir”?

O verbo “geodecidir” é uma palavra composta por duas palavras bem conhecidas dos dicionários. “Geo” vem do grego e é um prefixo que significa “Terra”. “Decidir” é um verbo da língua portuguesa que está associado ao que deve ser feito, a toma de uma decisão específica, que em sentido menos objetivo significa resolver ou deliberar sobre algo. A Tabela 1 contém várias palavras no dicionário de língua portuguesa com prefixo “geo”.

Tabela 1 – Várias palavras da Língua Portuguesa que começam com o prefixo “geo”.

Geobiologia	Geoblasto	Geocentrico	Geocíclico
Geociência	Geocinético	Geóclase	Geoclimático
Geocodificação	Geocodificar	Geocoristas	Geocrático
Geocultural	Geodesia	Geodésica	Geodésico
Geodesígrafo	Geodeta	Geodinâmica	Geoeconómico
Geoestacionário	Geoestratégia	Geofagia	Geofísica
Geofísico	Geofone	Geogenia	Geognosia
Geografia	Geográfico	Geógrafo	Geóglifo
Geóide	Geolocalização	Geologia	Geológico
Geólogo	Geomagnético	Geomagnetismo	Geomancia
Geomante	Geomecânica	Geomecânico	Geometral
Geometricismo	Geometria	Geometricidade	Geométrica
Geométrico	Geomineiro	Geomorfogenia	Geomorfologia
Geomorfológico	Geopitecos	Geoplano	Geopolítica
Geopolítico	Geopolitólogo	Geoponia	Geoposicionamento
Geoquímica	Geoquímico	Georama	Georreferenciação
Georreferenciar	Geossauro	Geotectónica	Geotermia
Geotérmico	Geotermometria	Geotermómetro	Geoparque
Geopitecos	Geopolítica	Geopolítico	Geoponia
Geoquímica	Geoquímico	Georama	Geossauro
Geotectónica	Geotermia	Geotérmico	Geotermometria
Geotermómetro	Geoturismo	Geosfera	Geostática
Geotermal	Geotropismo		

Entre as palavras que constam na Tabela 1 poucas são verbos sendo que um dos que pode ser encontrado é precisamente o ato de georreferenciar. Este é um verbo transitivo, tal como “geodecidir” deve ser categorizado enquanto verbo transitivo, mas também intransitivo, em conformidade com o verbo “decidir”.

### Definição de “geodecidir”

Sendo uma palavra que não existe em nenhum dicionário e não duvidando da utilidade deste verbo no dia-dia dos profissionais que lidam e decidem com informação geográfica, este artigo pretende definir com alguma clareza o ato de geodecidir.

No decorrer da Conferência Nacional de Geodesição, evento que decorreu a 15 e 16 de maio de 2014 na Escola Superior de Tecnologia do Barreiro, os participantes foram inquiridos sobre qual deveria ser o significado do verbo “geodecidir”. As respostas se encontram transcritas na Tabela 2.

Tabela 2 – Definições da palavra “geodecidir” dadas pelos participantes da Conferência Nacional de Geodesisção

Decidir com base em informação com carácter geográfico
Escolher a opção mais favorável para desenvolver uma ação sobre o território
Decidir com base em conhecimento geográfico
Toma de decisões que afetam as políticas e a sociedade, baseadas no estudo e tratamento de informação geográfica
Ter os pés no chão e a cabeça bem aberta e arrumada
É tirar vantagem na utilização de informação geográfica para tomar decisões informadas e sustentadas
Decidir com os pés na Terra
Tomar decisão de forma ponderada e sustentável, sobre todo o planeta
Utilizar a informação geográfica no seio da política central, de forma a possibilitar uma decisão ponderada e qualitativa para todo o território
Pensar espacialmente
É tirar proveito dos dados do território para os transformar em informação útil e fiável para a tomada de decisão. É o não decidir às cegas
Utilizar a informação geográfica de forma eficiente e credível, nos processos de intervenção sobre o território
Tomar decisões para solucionar questões associadas ao território, com base em informação geográfica fiável
Processo de seleção da solução mais adequada, em diferentes domínios de atuação, recorrendo a dados espaciais georreferenciados

Tendo em conta as diferentes necessidades de significado de uma palavra, este artigo pretende fornecer duas definições: abreviada e completa.

**Definição abreviada (geodecidir):** ato de decidir com recurso a informação georreferenciada

**Definição completa (geodecidir):** ato de decisão ou de resolução com base em informação georreferenciada que representa fenómenos ou observações relativamente ao planeta Terra. Uma geodesisção influencia políticas e a sociedade em geral, com base na regulamentação e nas normas para a representação da informação geográfica existente em cada país, região ou local. A seleção criteriosa desta informação permite explorar conclusões que auxiliam o ato de geodecidir.

A conjugação do verbo é semelhante ao verbo “decidir”, acrescentando apenas, em todas as possibilidades de conjugação, o prefixo “geo”.

**Primeira publicação de “geodecidir”**

A palavra “geodecidir” foi registada pela primeira vez na internet no dia 15 de janeiro de 2014, num artigo de anúncio da Conferência Nacional de Geodesisção no blog AllAboutLocation.net (Barreira, 2014). Até aí os motores de busca de referência (Google, Yahoo, Bing, Sapo) não continham qualquer referência à palavra. Até à data todas as ocorrências da palavra “geodecidir” acontecem por cópias de textos produzidos no âmbito da Conferência Nacional de Geodesisção, publicadas em vários blogs e contas de redes sociais (Facebook e Google+).

Não existem referências conhecidas à palavra “geodecidir” noutras línguas.

REFERÊNCIAS

Barreira, E. (2014). A discussão da Geodesisção no próximo mês de Maio. AllAboutLocation, disponível no URL: <http://www.allaboutlocation.net/2014/01/a-discussao-da-geodesiscao-no-proximo.html> . (consultado a 22 de maio de 2014).

CONTACTO

Edgar BARREIRA: [edgar.barreira@gmail.com](mailto:edgar.barreira@gmail.com)

**A IMPORTÂNCIA DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA COMO SUPORTE À GESTÃO ESTRATÉGICA E EFICIÊNCIA OPERACIONAL DOS SERVIÇOS DE ÁGUA: A SOLUÇÃO G/INTERAQUA**

Mónica CALÇADA, Carlos MARIANO e Carlos GODINHO  
AQUASIS, Sistemas de Informação, S.A.

**RESUMO:** Atualmente, a informação é considerada como o principal bem que uma organização possui, de imediato. Para decidir sobre qualquer coisa, é necessária informação, preferencialmente clara, rigorosa e disponibilizável. Na chamada Sociedade da Informação ou do Conhecimento, mais do que nunca, a informação é vital para o processo de tomada de decisão.

Neste contexto, para as Entidades Gestoras de sistemas de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais, o conhecimento das características das infraestruturas que operam (ativos da Empresa) é essencial para uma gestão que se pretende eficaz e eficiente.

A necessidade de se conhecer, por exemplo, onde se encontram as condutas de distribuição de água, as válvulas que permitem proceder às operações de suspensão de abastecimento de uma área, ou os coletores onde se devem ligar os ramais, é inquestionável. A questão que se coloca é como este conhecimento deve estar consubstanciado na Empresa:

- se na memória dos encarregados que durante anos operam os sistemas;
- se em plantas com o traçado das infraestruturas e ficheiros de características, atualizadas por metodologias tradicionais;
- se num Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Numa análise meramente qualitativa, é fácil concluir que a última opção, ou seja, a implementação de um SIG numa Empresa gestora de sistemas de abastecimento de água e drenagem de águas residuais conduz a um conjunto de benefícios, diretos e indiretos, dos quais são de salientar os seguintes:

- garantia de uma sistematização e racionalização da informação sobre as redes, frequentemente dispersa por diversas fontes de informação e departamentos da entidade gestora e com procedimentos de arquivo vulneráveis;
- facilidade de manutenção (atualização) dos dados progressivamente disponibilizados, de forma a garantir-se um sistema de informação permanentemente atualizado, aspeto que nem sempre é atingido, em tempo oportuno, pelos processos tradicionais;
- melhoria significativa da qualidade da informação necessária às atividades de planeamento, remodelação/ampliação, exploração e manutenção dos sistemas;
- aumento da eficácia na manipulação e na transmissão de informação entre departamentos da entidade gestora, com a consequente racionalização de recursos em meios humanos e financeiros;
- conhecimento integrado e detalhado da informação sobre os sistemas, o que garante uma maior eficácia na análise dos problemas que se colocam, nomeadamente nos que se referem à exploração dos mesmos (intervenção de piquetes, substituição de coletores, gestão de stocks, aviso de clientes, etc.);
- ampliação do espectro de possibilidades de análise dos problemas de gestão técnica das redes de serviços, nomeadamente tratamento histórico, estatístico e temático da informação;
- diminuição do risco de dependência, para a operação do sistema, do conhecimento de apenas alguns técnicos, potenciais únicos detentores de informação importante para a gestão das redes.

**Palavras-chave:** SIG, abastecimento, saneamento, sistema, informação.

**ABSTRACT:** Currently, information is regarded as the main asset an organization possesses, in the immediate. To decide, clear, rigorous and available information is required. At the Information or Knowledge Society, more than ever, information is vital to the decision making process.

In this context, Water supply systems and Waste water Management Companies, the knowledge of the operating characteristics of the infrastructure (Company assets) is essential for a management that is designed to be effective and efficient.

The need to know, for example, where the water distribution pipes are, which valves allow proceeding with the suspension of supply of an area, or collectors where they should call the extension operations, is unquestionable. The question that arises is how this knowledge must be embodied in the Company:

- at the commissioners memory who for years operated systems;
- at blue prints with the layout and characteristics of the infrastructure, updated by traditional methodologies;
- at a Geographic Information System (GIS).

In a purely qualitative analysis , it is easy to conclude that the latter option , namely, the implementation of a GIS in a holding company for water supply and wastewater disposal systems leads to a number of benefits , direct and indirect , where the following are highlighted:

- ensuring the systematization and rationalization of network information, often dispersed by various information sources and departments of the managing entity with vulnerable filing procedures;
- maintainability ( update) of progressively available data, to ensure a system of information constantly updated, that aspect is not always achieved in a timely manner, by traditional processes;
- significant improving the quality of information needed to planning, remodeling/expansion, operation and maintenance of systems activities;
- increased efficiency in the handling and transmission of information between departments of the manager, with the consequent rationalization of human resources and financial resources;
- integrated and comprehensive knowledge of information systems, ensuring greater efficiency in the analysis of the problems that arise , particularly that referring to the exploitation thereof (intervention paddocks, replacing collectors, inventory management, warning customers, etc.).
- spectrum broadening of possibilities examining the problems of technical management of network services, including historical, statistical and thematic treatment of the information spectrum;
- decreased risk of dependence, for the operation of the system, the knowledge of only a few technicians, potential individual holders of important information for network management

**Keywords:** GIS, water, sewerage, system, information.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a informação é considerada como o principal ativo que uma organização possui. Para a tomada de decisão é necessária informação, preferencialmente clara, rigorosa e capaz de ser disponibilizada.

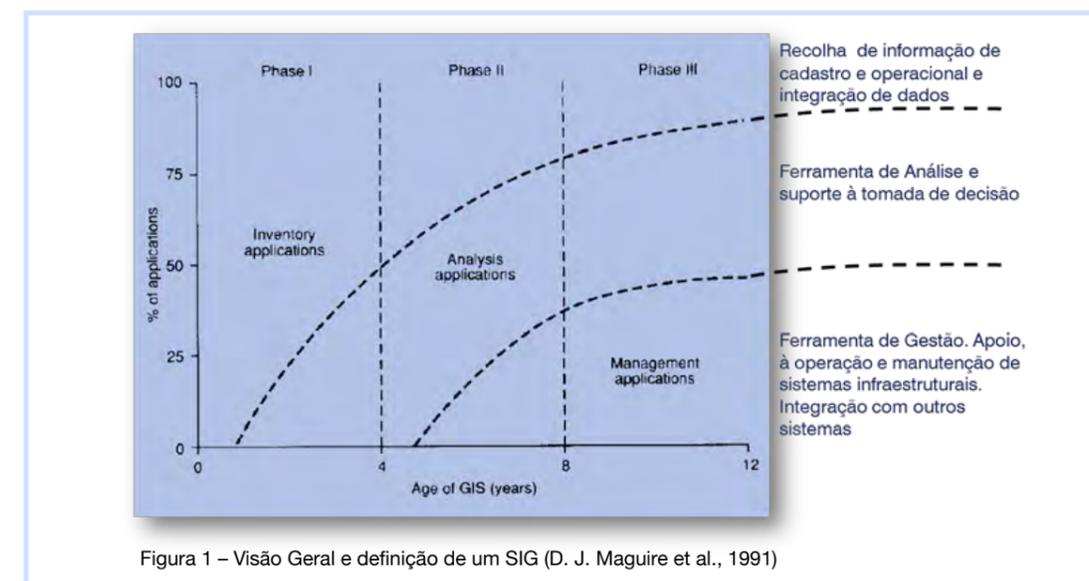
Na chamada Sociedade da Informação ou do Conhecimento, mais do que nunca, a informação é vital para o processo de tomada de decisão.

Neste contexto, para as Entidades Gestoras de sistemas de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais, o conhecimento das características das infraestruturas que operam (ativos da Empresa) é essencial para uma gestão que se pretende eficaz e eficiente.

A necessidade de se conhecer onde se encontram as condutas de distribuição de água, as válvulas que permitem proceder às operações de suspensão de abastecimento de uma área, os ramais que abastecem os clientes, os coletores onde se devem ligar os ramais, é inquestionável. A questão que se coloca é como consubstanciar este conhecimento na Entidade Gestora:

- se na memória dos encarregados que durante anos operaram os sistemas;
- se em plantas com o traçado das infraestruturas e ficheiros de características, atualizadas por metodologias tradicionais (papel, CAD, folhas de cálculo);
- se num Sistema de Informação Geográfica (SIG) (Cowen, 1988).

Numa análise meramente qualitativa, poder-se-á concluir que a última opção, a implementação de um SIG (Figura 1) numa Entidade Gestora de sistemas de abastecimento de água e drenagem de águas residuais, conduzirá a um conjunto de benefícios, diretos e indiretos.



## 2. OBJETIVOS

Na iniciativa de implementação de um SIG numa Entidade Gestora, vários objetivos devem ser fixados para garantir o seu sucesso:

- garantir a sistematização e racionalização da informação sobre as redes, frequentemente dispersa por diversas fontes de informação e departamentos da Entidade Gestora e com procedimentos de arquivo vulneráveis;

- facilitar a manutenção (atualização) dos dados progressivamente disponibilizados, de forma a garantir um sistema de informação permanentemente atualizado, aspeto que nem sempre é atingido, em tempo oportuno, pelos processos tradicionais;
- melhorar significativamente a qualidade da informação necessária às atividades de planeamento, remodelação/ampliação, exploração e manutenção dos sistemas;
- aumentar a eficiência na manipulação e na transmissão de informação entre departamentos da entidade gestora, com a consequente racionalização de recursos em meios humanos e financeiros;
- ter o conhecimento integrado e detalhado da informação sobre os sistemas, para garantir uma maior eficiência na análise dos problemas que se colocam, nomeadamente nos que se referem à exploração dos mesmos (intervenção de piquetes, substituição de coletores, gestão de stocks, aviso de clientes, etc.);
- ampliar o espectro de possibilidades de análise dos problemas de gestão técnica das redes de serviços, nomeadamente o tratamento histórico, estatístico e temático da informação;
- diminuir o risco de dependência, para a operação do sistema, do conhecimento de apenas alguns técnicos, potenciais detentores exclusivos de informação importante para a gestão das redes.

### 3. METODOLOGIA



Figura 2 – Arquitetura da solução de SIG G/InterAqua

A solução de SIG G/InterAqua foi desenvolvida para atingir os objetivos propostos e permitir disponibilizar uma base sólida para a gestão integrada de infraestruturas, numa lógica de multiutilizador.

No seu desenvolvimento foram considerados como fundamentais as definições de:

- arquitetura modular;
- escalabilidade / flexibilidade na constituição da solução;
- modelo de dados robusto e configurável;
- funcionalidades de análise dedicadas à indústria.

Como principais características diferenciadoras da solução de SIG G/InterAqua, destacam-se as seguintes:

- o princípio orientador de criação da solução;
- a arquitetura informática utilizada;
- a estruturação de dados;
- a integração de dados;
- a integração de sistemas;
- as funcionalidades de análise.

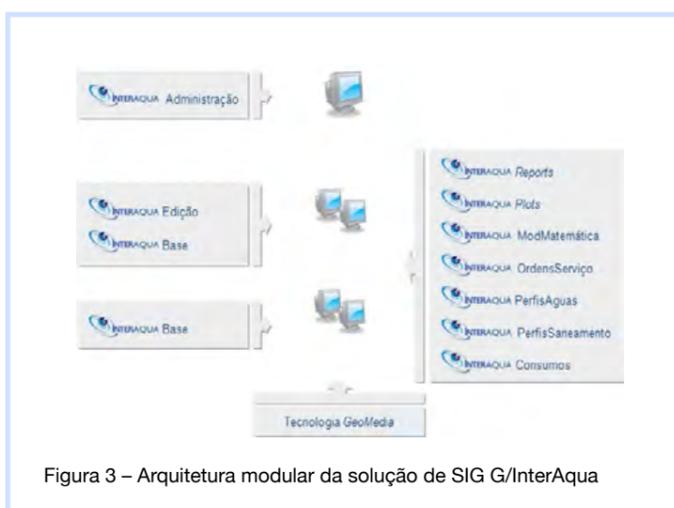


Figura 3 – Arquitetura modular da solução de SIG G/InterAqua

**Princípio orientador de criação da solução** – O SIG G/InterAqua constitui-se como uma solução integrada, incluindo componentes de Desktop, Web e de Mobilidade, que se adequam aos processos de planeamento, exploração e manutenção desenvolvidos na generalidade das Entidades Gestoras.

O princípio orientador da solução baseia-se na criação uma arquitetura minimalista ao nível da estrutura de informação que visa permitir a integração futura de informação numa Entidade Gestora de água e saneamento, minimizando os custos de desenvolvimento de interfaces entre sistemas, contribuindo para a gestão de informação empresarial.

**Arquitetura informática utilizada** – Com o objetivo de fornecer uma solução multiutilizador e escalável, a arquitetura adotada é do tipo servidor cliente e foi desenhada para tratar informação em três ambientes distintos (Figura 2):

- em gabinete, G/InterAqua Desktop, georreferenciação, preparação, manipulação e análise avançada da informação de base;
- em campo, G/InterAqua Mobilidade, disponibiliza o apoio à exploração das redes, com disponibilização de funcionalidades de análise de rede, de gestão de ordens de serviço e de navegação com GPS acoplado;
- na web, G/InterAqua Web, a democratizar a informação disponibiliza a consulta de uma forma transversal numa Entidade Gestora, podendo os acessos ser adotados na perspetiva da intranet ou da internet.

Com o objetivo de fornecer uma solução escalável e de custos controlados a solução foi construída assente numa lógica de módulos (Figura 3) que permitem efetuar diferentes combinações de modo a atingir o objetivo proposto.

Os clientes da solução podem ser configurados para utilizarem apenas os módulos necessários para a construção de postos mais genéricos ou mais especializados, consoante as necessidades, conjugando situações de consulta e de edição, transversalmente com os módulos disponíveis.

**Estruturação de dados** – Com o objetivo de criar uma plataforma base a visar posteriores integrações de dados e de sistemas, a solução disponibiliza um modelo de dados, desenvolvido em conjunto com as principais Entidades Gestoras e empresas do sector, que proporciona uma forma simples de criação de representações das realidades hidráulicas dos sistemas de abastecimento e de saneamento. A perspetiva destas representações da realidade aplica-se a Entidades Gestoras de infraestruturas em Alta, em Baixa ou em situações mistas.

Toda a estrutura de dados está construída numa lógica de peças de encaixe, metainformação, podendo estas peças residirem sob diversas formas, em diferentes fontes de informação, e serem apresentadas aos utilizadores finais de uma forma transparente. Este princípio básico que esteve na origem da construção da solução deixa em aberto as mais diversas possibilidades de integração, de dados e de sistemas, contribuindo para o Sistema de Informação de uma empresa ou entidade gestora como uma peça integrante e não como apenas o mundo geográfico alheado das realidades das outras peças do Sistema de Informação, como sejam o CRM, o ERP, o sistema de gestão e manutenção de ativos ou o sistema de gestão da operação.

A estruturação de dados foi concebida para atuar em dois níveis distintos:

- no nível lógico, permitindo, através da existência e manutenção de metainformação, gerir o comportamento de todas as ontologias (T. Gruber 2008) tratadas e influenciar o seu comportamento;
- no nível físico, guardando dados em contentores apropriados, dividindo-os em dados comuns, específicos e repetitivos.

**Integração de dados** – Com o objetivo de maximizar a usabilidade da informação disponível e minorar a redundância de dados existentes em vários sistemas da empresa gestora, a integração de dados do SIG com outros sistemas de uma Entidade Gestora são um primeiro passo para tornar mais eficiente e sustentável a utilização do SIG.

A integração de dados foi concebida para permitir, a partir da metainformação definida, guardar e manipular dados:

- na sua própria base de dados;
- em bases de dados externas, configuradas por metainformação, para serem acedidas diretamente ou através de serviços web.

**Integração de sistemas** – A integração de sistemas com o SIG encontra-se emergente, dado que este é o único que representa a informação no espaço, abrindo novas oportunidades de análise e negócio (Gestão de Clientes, Gestão de Ordens de Serviço, Gestão de percursos).

Como corolário para a criação de um conceito de base de dados empresarial, focada na eliminação de redundância e orientada para os processos de negócio, no seu envolvimento na Entidade Gestora e em consonância com as suas práticas mais consolidadas, os tipos de Sistemas de Informação de carácter corporativo seleccionados para a integração de sistemas (Figura 4) com a solução de SIG G/InterAqua são os seguintes:

- ERP – Enterprise Resource Planning;
- CRM – Customer Relationship Management;
- SIG – Sistema de Informação Geográfica;
- SOMA – Sistema de Operação e Manutenção de Ativos;
- SCADA – Sistema de Automação e Controlo (Telegestão).



A definição dos objetivos a atingir com cada integração, a análise e definição de especificações são o passo seguinte para, na sequência e tirando partido da lógica de suporte da solução de SIG G/InterAqua, se proceder à ação de integração.

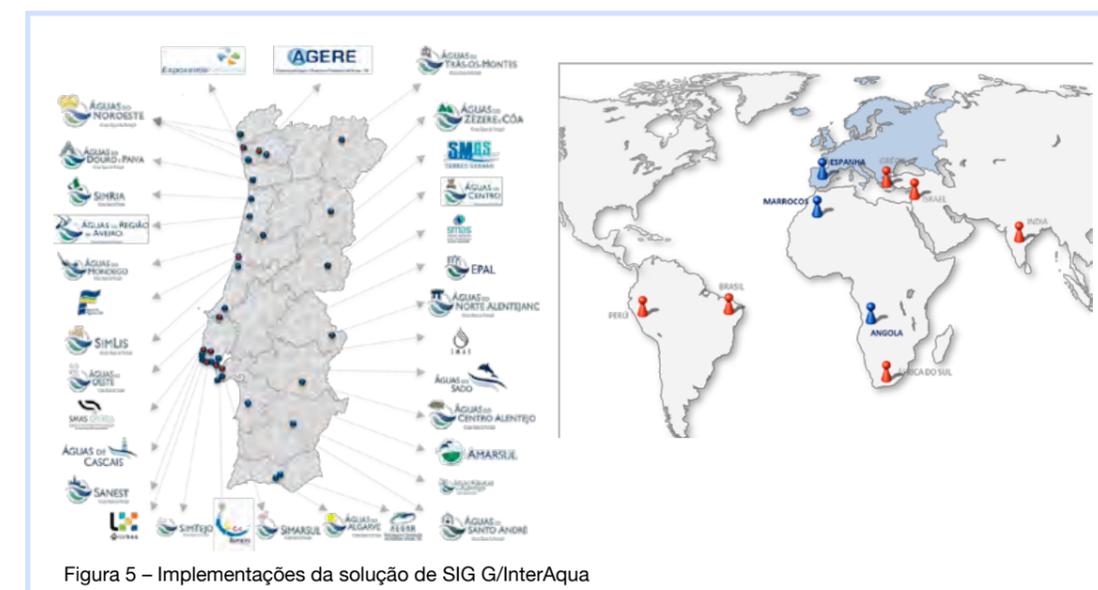
Em larga medida, os diferentes Sistemas de Informação em questão necessitam utilizar os mesmos dados de base e, em alguns casos, a informação produzida por alguns desses Sistemas de Informação é indispensável à modelação de processos realizados por outros Sistemas de Informação. Assim, a integração de sistemas é decisiva para rentabilizar ao máximo as capacidades de cada um deles e reduzir as situações de replicação de dados.

Embora o princípio da integração seja uma preocupação constante, a implementação dos Sistemas de Informação mencionados não é necessariamente simultânea, ocorrendo de acordo com os ciclos de desenvolvimento das Entidades Gestoras.

#### 4. PRINCIPAIS RESULTADOS E CONTRIBUTOS

Apresentam-se, alguns casos de sucesso na utilização da solução de SIG G/InterAqua e uma análise do retorno do investimento que se pode obter com a implementação da solução de SIG G/InterAqua.

A solução G/InterAqua encontra-se atualmente implementada em de 35 empresas do sector (Figura 5), com cerca de 200 postos instalados, excluindo o G/InterAqua Web e o G/InterAqua Mobilidade, cobrindo mais de 12 000 km de produção, transporte e distribuição de água, 9 000 km de recolha de águas residuais em alta e em baixa e mais de 18 milhões de pessoas, em Portugal, Espanha e Angola.



A homogeneização da informação existente e catalogada, por via da solução desenvolvida e apresentada, tem contribuído largamente para a disponibilização à Entidade Reguladora do sector, em Portugal, permitido às Entidades Gestoras responder atempadamente e com fiabilidade aos atuais desafios que lhe são atualmente colocados

O retorno do investimento das Entidades Gestoras, numa fase inicial, tem-se traduzido pelo reduzido tempo de implementação desta solução, disponibilizando a diferentes níveis de decisão a perceção geográfica do seu património. Esta informação base permite aumentar, em fases posteriores, a velocidade de implementação de sistemas SOMA, SCADA, CRM e ERP.

Estabelecida a informação de base, com a inserção da mobilidade na exploração de um sistema, a não imputação de custos referentes a tempos perdidos, deslocações duplicadas, gera retorno na análise de redução de custos de deslocações, fecho de válvulas para reparação de roturas, minimização de água perdida em função de manobra de válvulas, gerando igualmente o respetivo aumento de qualidade de serviço. A título exemplificativo, numa entidade gestora de dimensão considerável em Portugal, foi possível reduzir custos em cerca de 900 000 €/ano por via de implementação do ambiente de mobilidade do seu SIG.

#### 5. CONCLUSÕES

Em conclusão verifica-se que a disponibilização da informação a toda a Entidade Gestora, possibilita o contributo de todos os colaboradores para a caracterização fina das infraestruturas, resultando num acréscimo de conhecimento necessário à gestão e exploração das infraestruturas.

Para o controlo de ativos, o conhecimento da sua localização, o controlo do valor patrimonial, dos custos associados à exploração, operação e manutenção da rede com o valor acrescido da sua visualização, fundamental para os gestores permite ter uma visão global do sistema.

Para os programas de controlo de perdas e fugas, o conhecimento da rede via SIG, dos seus consumos via CRM, da telegestão via SCADA e da integração entre estes, permite atuar sobre as infraestruturas, através de metodologia apropriada, apoiada nesta informação fundamental, e chegar a valores de 10% de perdas, em cidades como Lisboa.

Face ao exposto é possível obter:

- economia de tempo e de recursos financeiros e humanos na organização;
- aumentar a eficiência e da produtividade;
- maior sistematização e rigor da informação;
- melhorar a qualidade na comunicação e colaboração interdepartamentais;
- um melhor serviço ao Cliente.

#### REFERÊNCIAS

Cowen (1988). Um sistema de apoio à decisão que envolve a integração de dados georeferenciados num ambiente orientado para a resolução de problemas.

Gruber, T. (2008). Uma ontologia define um conjunto de primitivas representacionais com as quais modela um domínio do discurso ou de conhecimento. As primitivas representacionais são tipicamente

classes (ou grupos), atributos (ou propriedades) e relacionamentos (ou relações entre membros das classes)". Resumo e tradução livre do texto. *Ontology, Encyclopedia of Database Systems*, Ling Liu and M. Tamer Özsu (Eds.), Springer-Verlag, 2008.

Maguire, D. J., Goodchild, M. F. e Rhind, D. W. (1991). In An Overview and Definition of GIS. In *Geographical Information Systems, Principles and Applications*. Longman Scientific & Technical, U.K.

#### CONTACTOS

Mónica CALÇADA, licenciada em Engenharia do Território, Mestre em Sistemas de Informação Geográfica, responsável da Área de Sistemas de Informação Geográfica da AQUASIS: monica.costa@aquasis.pt

Carlos MARIANO, licenciado em Informática, Pós-graduado em Sistemas de Informação, diretor de Desenvolvimento Empresarial da AQUASIS: carlos.mariano@aquasis.pt

Carlos GODINHO, frequência do curso de Engenharia Informática, diretor de Desenvolvimento de Negócio da AQUASIS: carlos.godinho@aquasis.pt

## CONTRIBUTO DA INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NA GESTÃO OPERACIONAL DE ENTIDADES GESTORAS DE SERVIÇOS DE ÁGUAS

João COELHO, Rita ALMEIDA, Alice GANHÃO, Ana SANTOS, João FELICIANO

AGS – Administração e Gestão de Sistemas de Salubridade, S.A.

**RESUMO:** A gestão sustentável das infra-estruturas de abastecimento e drenagem de águas exige um elevado grau de conhecimento dos activos, obrigando a análises complexas de informação, baseadas em dados precisos e fiáveis e sistemas de informação adequados que assegurem sustentabilidade nos processos de decisão. Com este artigo pretende-se descrever a cultura técnica do Grupo AGS na implementação e gestão dos sistemas de informação base para apoio às entidades gestoras do grupo, incluindo-se a apresentação de três ferramentas distintas de apoio à gestão, e a importância da componente geográfica nas mesmas.

**Palavras-chave:** sistemas de informação geográfica, análise integrada de dados, geodesição, data mining, geoprocessamento

**ABSTRACT:** Sustainable management of water and wastewater infrastructures relies on deep knowledge of the assets, requiring complex analysis of information, based on accurate and reliable data and appropriate information systems to ensure sustainability in decision-making. With this paper we intend to describe the technical culture of the AGS Group in the implementation and management of information systems to support AGS utilities, including the presentation of three different tools to support management, and the importance of geographical component in them.

**Keywords:** geographic information systems, integrated data analysis, geodesion, data mining, geoprocessing

### 1. INTRODUÇÃO

A gestão eficiente dos sistemas de abastecimento de água (AA) e de drenagem de águas residuais (AR) constitui um dos principais objectivos das entidades gestoras (EG) de serviços de água. Por outro lado, as crescentes necessidades de racionalização dos recursos ambientais e financeiros e as exigências actuais ao nível da qualidade do serviço prestado promoveram uma mudança de paradigma na abordagem à gestão operacional das EG. Estas necessidades exigem análises precisas, cada vez mais complexas, baseadas em dados rigorosos e em sistemas de informação adequados que possam assegurar a sustentabilidade nos processos de decisão.

A actividade diária das EG requer elevadas quantidades de dados, com origens distintas, abrangendo vários sectores de actividade como o financeiro, o comercial e o técnico. As questões relacionadas com os dados e informação que deverão estar disponíveis nas EG têm sido abordadas regularmente (Alegre e Covas, 2010; Almeida e Cardoso, 2010) pelo impacto que a qualidade destes dados e informação possuem nos processos de decisão, desde o nível estratégico ao nível operacional.

A AGS é uma empresa vocacionada para a gestão, operação e manutenção de infra-estruturas de águas e de águas residuais em regime de Concessão, Empresas Municipais ou de prestações de serviços. Actualmente é responsável pela gestão de 14 (EG) em Portugal e duas no Brasil. Nas suas empresas participadas, tem dado especial importância à integração da informação dos vários sistemas existentes e à utilização destas ferramentas de forma concertada e consistente, sempre com a preocupação de promover a eficácia no apoio de engenharia, por parte da Holding, e com a percepção que deverão ser criadas e melhoradas as condições da integração da informação, tanto ao nível interno das empresas como ao nível inter-empresarial.

## 2. CULTURA TÉCNICA E DE INFORMAÇÃO NA AGS

Existe cada vez mais a necessidade de dados de suporte à actividade para: responder ao regulador, promover a eficiência nas actividades desenvolvidas e controlar e optimização da gestão. A única forma de o conseguir é através da capacidade de analisar os dados certos, uniformizar processos e estruturas de dados e ter acesso contínuo à informação necessária.

É importante estabelecer alguns princípios orientadores relativamente à gestão da informação: desenvolvimento e manutenção de dados que satisfaçam a necessidades das ferramentas de suporte à decisão; implementação de métricas de qualidade (com base em referências como a International Water Association - IWA, Entidade Reguladora de Águas e Resíduos, etc.) permitindo avaliação de performance e condição; criação de standards de dados; transferência contínua de dados entre todos os actores no processo; considerar sempre a necessidade de ligar bases de dados (com a tecnologia disponível actualmente não faz sentido não o fazer); validação contínua dos dados (monitorização e testes de controlo de qualidade são essenciais); formar e treinar quem recolhe os dados, promovendo um acompanhamento dos dados e da informação produzida; ser objectivo e simples (demasiados dados para recolher criam ineficiências e dificuldades na análise e no controlo de qualidade dos dados).

Tendo em conta estes princípios, a AGS em conjunto com parceiros tecnológicos, iniciou em 2005 a definição dos sistemas i) Sistema de Informação Geográfica (SIG); ii) SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Nos anos seguintes, implementaram-se os sistemas de gestão de ordens de serviço e o sistema waterWISE (plataforma dinâmica de análise de dados). Durante esta implementação foi promovida de uma forma contínua: a auditoria; a monitorização (controlo de qualidade dos dados) e a evolução dos sistemas implementados, tal como ilustra a Figura 1.

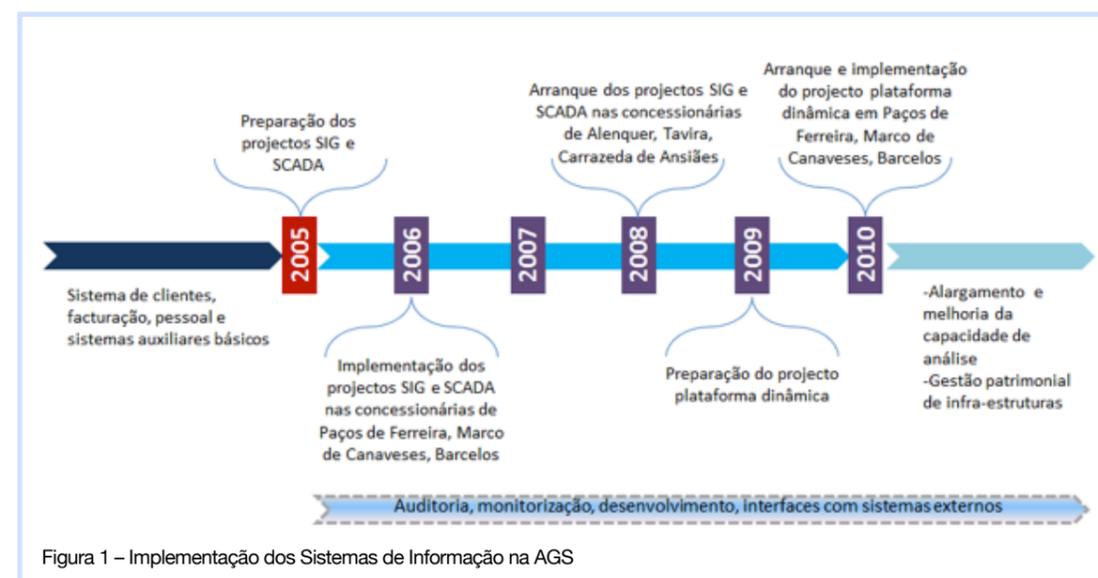


Figura 1 – Implementação dos Sistemas de Informação na AGS

Todos os sistemas foram implementados de uma forma estruturada e faseada, permitindo a associação entre os sistemas e dados disponíveis e simultaneamente permitir escalar, assegurando a evolução técnica e tecnológica das ferramentas aplicacionais utilizadas.

## 3. A COMPONENTE GEOGRÁFICA NOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

### 3.1. SIG

Um dos pilares mais importantes da actividade operacional é o SIG. Um SIG pode revelar informações importantes que levam a uma melhor tomada de decisão (Hughes, 2006). O SIG, além da sua componente geográfica funciona também como um “ponto-chave” na consulta de informação agregada, proveniente de vários sistemas como o sistema de clientes, o sistema SCADA, o sistema de gestão de ordens de serviço, entre outros (Figura 2). O cruzamento de dados com outros sistemas, aliado à capacidade geográfica, promove uma melhoria da gestão das EG, nomeadamente na Gestão Patrimonial de Infra-estruturas (GPI) e na análise de gestão e eficiência operacional.

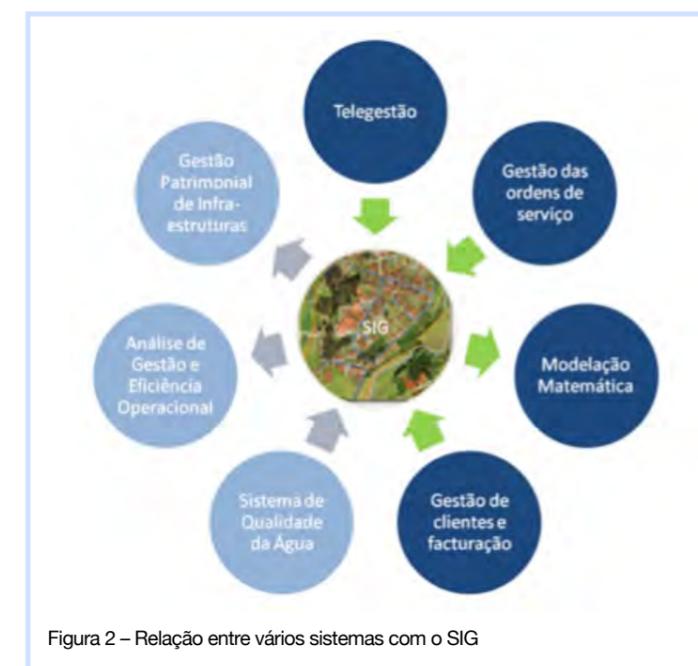


Figura 2 – Relação entre vários sistemas com o SIG

Na fase inicial do processo de implementação do SIG foram definidos os requisitos base e as condições de implementação e posteriormente foi elaborado um caderno de encargos com as principais actividades a desenvolver no âmbito do projecto com o objectivo de criar um sistema aplicável a todas as participadas AGS. A solução escolhida inclui um modelo de dados robusto e muito completo e um conjunto de ferramentas fundamentais para gestão de informação geoespacial das infra-estruturas, destacando-se as seguintes:

- Análises de rede, que tiram partido do uso das ligações topológicas entre objectos (com base no modelo topológico) de forma a permitir realizar vários tipos de análise sobre as redes geométricas (proximidade, trace, verificação topológica, sentidos de escoamento, etc);
- Gestão de manobras de água: permite localizar uma rotura, identificando as válvulas a fechar e os clientes afectados;
- Ferramentas avançadas de avaliação e controlo de qualidade dos dados (QA/QC), que permitem verificar as ligações topológicas e analisar a qualidade dos dados carregados no sistema;
- SIGWEB, que permite o acesso de consulta a todos os utilizadores na rede interna da AGS via internet;
- Interfaces para cálculo de balanço hídrico e de caudais indevidos.

O sistema inclui ligações a bases de dados externas e interfaces gráficos para pesquisas avançadas sobre os dados associados no SIG, nomeadamente:

- Base de dados SCADA, que permite realizar consultas sobre qualquer equipamento representado no sistema de telegestão, nomeadamente a dados dos caudais médios/mínimos/máximos, valores de qualidade/pressão/nível dos reservatórios – é importante para análise integrada com dados do sistema de clientes;
- Base de dados do sistema de Gestão de Ordens de Serviço (GOS), para consulta e georreferenciação de ocorrências com associação a componentes das redes de AA e AR;
- Base de dados do sistema de Gestão de Clientes e Facturação: permite realizar consultas sobre clientes e consumos a partir dos clientes cadastrados no SIG.

A implementação do sistema envolveu a aquisição de toda a informação do cadastro (recolha e análise da informação existente, execução e validação de levantamentos de cadastro de rede). A actualização do cadastro é um processo contínuo e é suportado por procedimentos internos rigorosos e eficientes, existindo uma especificação técnica detalhada para a elaboração e entrega das telas finais.

### 3.2. Ordens de Serviço

Ao nível da actividade operacional a gestão das intervenções na rede, ordens de serviço, é um dos sistemas base, que suporta as principais actividades das EG. A AGS iniciou um processo de desenvolvimento interno do sistema GOS em 2005 que foi evoluindo nos anos subsequentes, apresentando actualmente funcionalidades essenciais para apoio à gestão operacional como o controlo de recursos, pessoal, custos, cadastro e apoio ao planeamento. A informação geográfica tem um papel de destaque nesta versão: a aplicação disponibiliza interfaces gráficos para a consulta do cadastro das redes de água e águas residuais e para a associação da ocorrência às componentes de rede intervencionadas com base no cadastro SIG.

As intervenções nas infra-estruturas constituem uma oportunidade para a actualização constante da informação dos sistemas e nesse sentido a ferramenta promove um levantamento completo do estado e das características das infra-estruturas existentes, informação essencial para a actualização do cadastro. A aplicação permite a associação da ocorrência com as infra-estruturas do SIG (Figura 3), sendo desta forma possível analisar avarias por tipo de material, localização (zona de medição e controlo ou bacia de drenagem associada), pressão de serviço, entre outras. Esta informação e capacidade de análise servirão de base para a construção de modelos preditivos e análise de risco ajustados a cada EG, componentes essenciais no desenvolvimento de um Plano de GPI (actualmente obrigatório em EG com mais de 30.000 habitantes – Decreto Lei 194/2009).



Figura 3 – Aplicação workwise 2.0 – registo de uma OS

### 3.2. Plataforma Dinâmica

Depois de implementados os sistemas base, desenvolvidos os interfaces e produzida toda a informação associada, tornou-se evidente a necessidade de existir uma ferramenta eficaz para complementar todos estes sistemas, promovendo a integração de informação de todos os silos de conhecimento (Moddemeyer, 2011). Por conseguinte, em 2009 a AGS iniciou a definição e o desenvolvimento de uma plataforma web dinâmica e interactiva, reunindo os dados dos sistemas de informação chave numa base única e fiável, permitindo aos utilizadores em qualquer momento obterem a informação correcta e providenciando a integração entre as diferentes origens de dados na organização.

A solução desenvolvida permitiu adquirir a capacidade de: analisar dados de qualquer fonte disponível numa plataforma centralizada; permitir análises dinâmicas através de qualquer parâmetro disponível de qualquer sistema; disponibilizar indicadores de performance; produzir relatórios e análises específicas de forma simplificada, baseados em informação fiável; possibilitar uma monitorização dos dados disponíveis em qualquer sistema, permitindo a detecção de erros; e criar standards dentro da empresa e na relação com o exterior (p.e. Regulador).

A Plataforma Dinâmica permite então a integração e sistematização da informação e o conhecimento profundo dos dados disponíveis e da qualidade da informação, promovendo a descoberta de erros, padrões e relações entre dados (data mining).

O desenvolvimento desta ferramenta de apoio à actividade foi ainda um motor importante para a implementação de um plano de GPI, suportando em grande medida as necessidades de informação que sustentam estes planos.

A integração da informação geográfica permite relacionar dados dos diferentes sistemas de informação (e.g. Facturação, SIG, Avarias) associando clientes, padrões de consumos, ramais, indicadores, performance, etc., por localização, limites administrativos ou áreas de medição e controlo, entre outros (Figura 4).



Figura 4 – Plataforma Dinâmica: exemplo de análise de avarias e extensões de rede

#### 4. NOTAS FINAIS

As EG de serviços de águas além de serem responsáveis pela prestação de serviço público considerado essencial, gerem um conjunto importante de activos, na sua maioria infra-estruturas lineares enterradas, que necessitam de ser mantidas de forma eficiente, assegurando a prestação de um serviço de qualidade, e neste sentido, a informação geográfica assume especial importância na gestão dos activos e nos processos de tomada de decisão.

A integração da componente geográfica nos sistemas de informação descritos permitiu não só melhorar a gestão operacional das EG como também promover uma evolução técnica e tecnológica mais sustentada e a qualidade da informação. Destaca-se de seguida alguns dos benefícios alcançados em cada um dos sistemas.

Com a implementação do SIG, foi possível armazenar, actualizar e partilhar toda a informação do cadastro das infra-estruturas das redes de água e águas residuais, bem como de outros dados importantes, tais como ocorrências e sua associação a componentes de rede interveniada. Também serviu para promover a uniformização e o controlo de qualidade dos dados, e implementar standards ao nível de procedimentos, estruturas de dados e produção de análises espaciais e indicadores técnicos. Por outro lado o SIG serviu como uma base de desenvolvimento para diversos projectos de eficiência operacional, como por exemplo: a redução de água não facturada, o controlo das afluências indevidas e a modelação hidráulica.

Ao nível da gestão de ordens de serviço, a informação geográfica associada aos restantes dados registados permitirá a construção de modelos de previsão robustos e precisos para apoio ao planeamento de investimentos de reabilitação. Além disso, a informação obtida contribuirá para uma abordagem adequada à análise de risco e para o apoio no planeamento das actividades de operação e manutenção. O sistema GOS promoveu a gestão da informação integrada do cadastro SIG e a georreferenciação das ocorrências, conferindo credibilidade e exactidão aos processos de gestão.

Por fim, a Plataforma Dinâmica promoveu a análise transversal e integrada de informação possibilitando novas dimensões de análise, nomeadamente a geo-decisão nas vertentes técnica, operacional, comercial e financeira no grupo AGS. A integração de informação geográfica na Plataforma Dinâmica permite a análise a diferentes níveis de informação como os consumos, facturação, qualidade da água, ocorrências e infra-estruturas, entre outros, promovendo e suportando os processos de tomada de decisão.

No sentido de promover a melhoria dos processos de recolha, processamento e publicação de informação geográfica, prevêem-se no futuro os seguintes desenvolvimentos:

Revisão dos modelos de dados dos diferentes sistemas de informação considerando o histórico de dados e necessidades identificadas (novos objectos, atributos e funcionalidades);

Implementação de uma solução para o registo e consulta do histórico de alterações no SIG (é fundamental conseguir 'recuar no tempo' e consultar a realidade tal como caracterizada num determinado instante no passado);

Implementação de uma solução de mobilidade disponibilizando ferramentas de consulta e edição de informação geográfica no âmbito da gestão operacional das EG, incentivando a partilha de dados e a colaboração nos processos de recolha e actualização de informação;

Implementação uma solução para a publicação de dados geográficos para consumo dos sistemas de informação existentes via web services.

#### REFERÊNCIAS

HUGHES, J., (2006). GIS combines Geography and information for effective utility management, American Water Works Association Journal, 32(12), 10-11

ALEGRE, H.; COVAS, D. (2010) – Gestão patrimonial de infra-estruturas de abastecimento de água - Uma abordagem centrada na reabilitação. Guia Técnico n.º16. Lisboa (Portugal), Série de Guias Técnicos ERSAR, 2010.

ALMEIDA, M.C.; CARDOSO, M.A. (2010) – Gestão patrimonial de infra-estruturas de águas residuais e pluviais - Um abordagem centrada na reabilitação. Guia Técnico n.º17. Lisboa (Portugal), Série de Guias Técnicos ERSAR, 2010.

Moddemeyer, S. (2011), Shifting to the Fifth Paradigm – a time for change. Water 21, 13(1), 13-14.

Decreto-Lei n.º 194/2009, de 20 de Agosto (2009) – Regime Jurídico dos Serviços Municipais de Abastecimento Público de Água, de Saneamento de Águas Residuais Urbanas e de Gestão de Resíduos Urbanos

#### CONTACTOS

João COELHO: jcoelho@ags.pt

Rita ALMEIDA: ralmeida@ags.pt

Alice GANHÃO: aganhao@ags.pt

Ana SANTOS: asantos@ags.pt

João FELICIANO: jfeliciano@ags.pt

## SIG3D NO PROCESSO DE DECISÃO

Rui DIAS, António FRANCO, Ana MARQUES e José DIAS

Instituto Geográfico do Exército

**RESUMO:** O Instituto Geográfico do Exército (IGeoE), enquanto Unidade do Exército, tem entre as suas competências prover com informação geográfica o Exército que, por sua vez, tem como missão principal participar, de forma integrada, na defesa militar da República. Para garantir a defesa de qualquer território é fundamental o conhecimento do mesmo. Em Portugal, esse conhecimento é obtido a partir da Carta Militar, escala 1:25 000. O Processo de Decisão Militar integra o estudo do terreno para que o planeamento das operações militares atinja o seu objetivo, visto que, em qualquer processo de decisão, o sucesso depende da concretização dos pressupostos que nele são definidos. O IGeoE, consciente dessa responsabilidade, tem desenvolvido, ao longo dos seus 81 anos de história, as metodologias mais adequadas que permitem a representação do território português, de forma precisa e exata, de tal modo que os utilizadores mais experientes conseguem visualizar o terreno a partir da simples observação da Carta Militar. Face à inovação tecnológica e ao desenvolvimento de novas formas de explorar a informação geoespacial, o IGeoE continua empenhado em fornecer à cadeia de comando do Exército informação que lhes permita tomar a decisão adequada, em tempo oportuno, de forma a garantir o cumprimento da missão, maximizando o uso dos recursos humanos e materiais e procurando minimizar danos. Nesse sentido, iniciou o processo de produção da Carta Militar com recurso a um Sistema de Informação Geográfica (SIG), logo desde a aquisição dos dados por processos fotogramétricos a 3 dimensões (3D), que constituem a informação de base para a Carta Militar, escala 1:25 000. Deste modo, consegue-se tirar uma maior rentabilidade da informação da Carta Militar, pois para além de toda a análise que se pode efetuar num SIG2D (proximidade, vizinhança, inclusão, etc.), essa análise passa a ser possível nas 3 dimensões do espaço, quer no natural, quer no resultante das modificações pela ação humana. Este artigo pretende dar a conhecer, não só, os resultados obtidos até ao momento, como também, os trabalhos futuros, nomeadamente o modelo de dados a implementar, o Guia de Extração a utilizar na aquisição dos dados e a integração de todos os dados na Base de Dados Geográfica (BDG) - geometria dos objetos, toponímia, Cadastro Militar - a qual pretende constituir um SIG de “base” de todo o território nacional e, desse modo, ser “os olhos” do Comandante do Exército, aquando da tomada de decisão, e dos decisores que tenham necessidade de ter uma perspetiva única de todo o Território Nacional.

**Palavras-chave:** SIG 3D, Cartografia de base, Fotogrametria, Imagens Aéreas, Fotointerpretação

**ABSTRACT:** The Army Geographic Institute (IGeoE), as a Army unit, has among its responsibilities to provide geographic information for the Army being its greatest goal the production of the Military Chart of Portugal, 1:25 000. This paper aims to show the importance/relevance of having a precise knowledge of the terrain, which is represented in the IGeoE cartography, both on military operations and during the military decision process. The modulation of the Geographical Database in 3D GIS format and its several applications for civilian use make these technologies suitable for dual use.

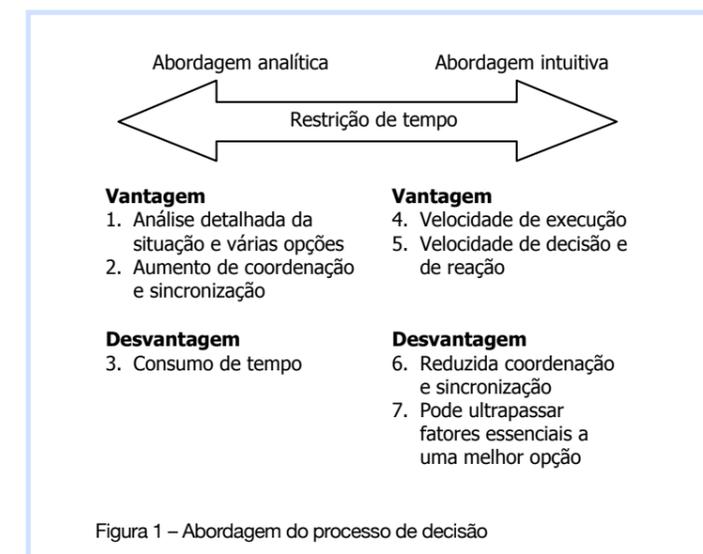
**Keywords:** 3D GIS, Base Maps

### 1. INTRODUÇÃO

Decidir é escolher a opção mais favorável para atingir o objetivo. A complexidade do processo está dependente da oposição existente ao nosso objetivo e das opções que se deparam para a prossecução do mesmo.

Pode ser um processo intuitivo, baseado no conhecimento, experiência e personalidade do decisor ou um processo analítico, em que o problema é resolvido de forma sistemática, através de um

método previamente definido. Geralmente combinam-se os dois processos, eles completam-se, pois uma abordagem intuitiva permite colmatar lacunas de uma abordagem analítica (Figura 1). A escolha da abordagem mais adequada deve ser efetuada de acordo com a experiência do decisor, informação e tempo disponíveis.



A incerteza e o risco são inerentes à tomada de decisão. É durante o processo de decisão que se estabelecem as ações que permitem fazer-lhes face e minimizá-los, se avalia a eficácia do decisor, ao lidar com a incerteza e ao assumir os riscos e explorar as vantagens e oportunidades que daí advêm. A incerteza é intrínseca a qualquer situação, pelo que qualquer decisão tem um determinado nível de risco. Cabe ao decisor determinar qual o nível de risco aceitável e introduzir factores que o minimizem, tais como o conhecimento do território onde se desenvolve a ação.

Os aspectos do território a conhecer, a introduzir na matriz de decisão e a valorizar, dependem da área de atuação humana sobre a qual se vai decidir. No entanto, qualquer que seja essa área, é exigido um conhecimento, que pode variar entre o superficial e o muito detalhado, da realidade física desse território, tal como o Relevo, Vias de Comunicação, Hidrografia, Aglomerados Populacionais, etc. A Guerra e o processo de decisão que envolve, aos vários níveis, é talvez aquele que exige um mais completo conhecimento do território e para o qual, em última análise, se destina a cartografia, às várias escalas, produzida no IGeoE.

## 2. O TERRITÓRIO NO PROCESSO DE DECISÃO

### 2.1. Resenha histórica

Face à missão do IGeoE e à instituição onde este se insere, o Exército, desde sempre a Cartografia Militar foi essencial para manter a mais antiga fronteira terrestre de todas as Nações.

Na Batalha de Aljubarrota, a escolha criteriosa do terreno para o posicionamento das hostes portuguesas em terreno dominante, valorizado pela preparação prévia do campo de batalha, permitiu maximizar o potencial de combate das forças portuguesas que foi determinante para o desenlace final. Já durante as invasões francesas, várias representações de Portugal “deitado”, em que a orientação vertical da carta é a direção W-E, as quais permitiam aos mais altos decisores concluir sobre os principais corredores de aproximação (Beiras e Alentejo) das tropas de Napoleão e posicionar os meios disponíveis de modo a retardar o movimento das mesmas e vencê-las decisivamente nas Linhas de Torres Vedras, onde também o conhecimento e preparação do terreno foi fundamental nos intentos portugueses. Ainda, hoje, as Linhas de Torres fazem parte de qualquer plano que pretenda garantir a defesa de Lisboa.

## 2.2. Análise do Terreno - a perspectiva Militar

Em operações militares os fatores de decisão a analisar são a Missão, o Inimigo, o Terreno e Condições Meteorológicas, os Meios, o Tempo Disponível e as Considerações de Natureza Civil. É no factor Terreno, que se insere a Carta Militar e mais genericamente a informação geográfica produzida pelo IGeoE, que é de uma importância fundamental, como já vimos anteriormente.

A análise do terreno e das condições meteorológicas ajudam a identificar e a caracterizar os principais aspectos militares da Área de Operações (AOp): a Observação e campos de tiro, os Cobertos e abrigos, os Obstáculos ao movimento de forças, os Pontos importantes e os Eixos de aproximação (OCOPE). O terreno inclui as alterações resultantes da acção do homem (cidades, aeroportos, pontes, caminhos de ferro, portos, etc.), parte integrante do IPB (Intelligence Preparation of the Battlespace) e visa determinar a influência destas características nas ações a tomar. A observação prende-se com a influência do terreno para vigiar uma determinada área, quer visualmente, quer por meios de vigilância, como os radares. Já o estudo do terreno, no que diz respeito a campos de tiro, permite concluir sobre a sua influência na ação das armas de tiro direto e indireto. Os cobertos conferem proteção contra a observação e os abrigos contra os fogos. A distinção entre arvoredo denso, arvoredo esparsos, mato ou arbustos, na Carta Militar, tem origem na importância deste estudo. Também as rochas, pedreiras, grutas, muros, troços de estrada em túnel, aterros, que possibilitam a proteção dos fogos integram o catálogo de objetos da informação da Carta Militar. Os obstáculos são acidentes de terreno (naturais ou artificiais) que detêm ou retardam o movimento das tropas. São exemplo os terrenos pantanosos, o tipo de vegetação, encostas com declive muito acentuado, estando estes dependentes do tipo de força, podendo ser potenciados ou minimizados pelas condições meteorológicas. Um ponto importante é um local e/ou uma área cujo controlo confere nítida vantagem a qualquer das forças opositoras, estando a sua escolha dependente do nível de decisão. Um eixo de aproximação é um itinerário que uma determinada força pode utilizar para alcançar um objetivo, de acordo com o tipo e as dimensões da força em causa (terrestre ou aérea). Nos mais altos níveis de decisão é frequente a análise de fatores sociológicos, psicológicos, políticos e económicos da área de operações, informação que constava dos dados do Cadastro Militar até ao final do século passado.

## 2.3. Sistemas de Informação Geográfica - do início à atualidade

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), há muito que são utilizados no processo de decisão militar. Inicialmente os SIG analógicos, em que a informação era registada em transparentes por temas (layers), que quando utilizados em conjunto, permitem operações de análise tais como inquirição/selecção, de forma a concluir sobre a melhor forma de potenciar os meios disponíveis, com o objectivo de cumprir a missão, ou seja decidir.

Os primeiros desenvolvimentos nos SIG, tal como os conhecemos hoje, aplicados ao processo de decisão militar foram efetuados face à necessidade dos chefes militares em terem informação, integrada, atualizada, passível de análise, para poderem decidir num ambiente hostil, altamente dinâmico, em que o acesso à informação, primeiro que o opositor, poderá fazer diferença entre o sucesso e o insucesso.

Na atualidade os SIG integram, com naturalidade toda a ação humana, mesmo sem que tenhamos consciência disso. Desde a gestão do património, cultural ou vinícola, à escolha do melhor trajeto para nos deslocarmos do ponto A ao ponto B, face a condicionantes permanentes ou limitadas no tempo, ou à seleção da melhor localização para implementar uma atividade, são tudo situações em que aplicamos os SIG no processo de decisão analítico ou intuitivo.

Os dados que integram o SIG devem ser os estritamente necessários para responder às questões do problema. Numa sociedade da informação, como a atual, é frequente ter acesso dados em excesso, os quais podem dar origem a resultados tão erráticos como a omissão de dados ou a existência de dados incorretos. No entanto, ter cartografia de base, de qualidade, é fundamental no processo de decisão e para a uma boa gestão do território, devendo esta ser exata, precisa e homogênea de modo a dar uma perspectiva única da situação, atual e futura.

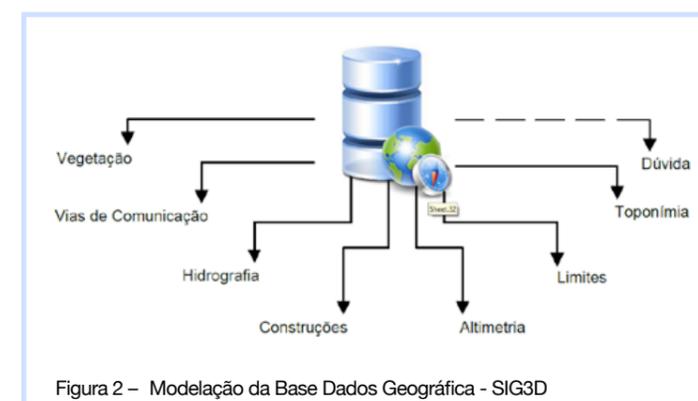
## 3. BASE DE DADOS GEOGRÁFICA - SIG3D

O IGeoE, consciente das suas responsabilidades para com o Exército e o País, sempre adequou o seu processo de produção e a sua informação às necessidades do utilizador e potenciando as capacidades das ferramentas disponíveis, mantendo um olhar único sobre todo o território ao longo dos tempos. Nesse sentido, obtiveram-se evidências claras da exequibilidade da aquisição dos dados da Carta Militar em ambiente SIG, por processos estereofotogramétricos, utilizando imagens aéreas, com recurso à fotointerpretação dos seus operadores de fotogrametria, mantendo os níveis de produtividade com a mesma qualidade temática e posicional inerentes à Carta Militar. É também, objetivo manter a informação altimétrica dos elementos, na Base de Dados Geográfica (BDG). No seguimento deste desafio foi efetuada a modelação da estrutura de dados, a qual integra a geometria dos elementos (vetor), o Cadastro Militar (informação alfanumérica, de interesse militar, que caracteriza a informação da Carta Militar) e a Toponímia (atualmente processada em paralelo), numa única estrutura de dados, em ambiente SIG.

A BDG, em implementação, é constituída por 7 temas (Vias de Comunicação, Hidrografia, Construções, Vegetação, Altimetria, Limites e Toponímia), que correspondem a superclasses. A diferenciação de toda a informação da Carta Militar é obtida por tipos, sub-tipos e atributos. Assim, espera-se obter uma informação de base, que potencie a sua análise em ambiente SIG e contribua de forma eficaz para a tomada de decisão, dos Comandantes, Chefes e Gestores que tenham a audácia de ver mais além.

O tema VIAS DE COMUNICAÇÃO engloba todos os objetos que integram a rede ferroviária e rodoviária, desde que permitam a movimentação de pessoas e/ou viaturas. As dimensões de algumas dessas vias passam a estar associadas à geometria do elemento. Todos os elementos que, de alguma forma, permitam o escoamento, a condução ou o armazenamento de água estão inseridos no tema HIDROGRAFIA. Nas CONSTRUÇÕES inserem-se todas as obras de engenharia, que alteram de forma significativa a morfologia do terreno, como é o caso das casas, barragens, pontes e túneis. Os objetos que definem o terreno e possibilitam a análise de zonas vistas e não vistas (Observação e Campos de tiro) fazem parte do tema ALTIMETRIA. A VEGETAÇÃO integra todos os elementos deste tema da Carta Militar, que possibilitam a análise de cobertos e obstáculos, no processo de decisão militar. Os limites administrativos e do terreno, que de alguma forma possam aumentar o potencial de uma força, estão inseridos no tema LIMITES. Por fim e apesar de todos os objetos terem a possibilidade de ser caracterizados pelo seu nome, o topónimo, existe um conjunto de acidentes do terreno e regiões, que são conhecidos pelo respetivo nome, não existindo qualquer objeto na Carta Militar caracterizado por esse mesmo nome. Para esses foi criado o tema TOPÓNIMOS, de forma a que todos possam utilizar o mais antigo sistema de georeferenciação, ainda em uso pelo homem, o nome dos locais. Exemplo disso é o “Vale Cimeiro” ou o “Monte Baixo”, que também descrevem o território ou têm uma história associada ao local.

Numa reflexão sobre a modelação final, podemos constatar que nem todos os elementos da Carta Militar estão colocados no tema mais indicado e que nem todos os requisitos de uma estrutura desta envergadura estão cumpridos. No entanto, é a estrutura que garante continuar a manter um olhar único sobre todo o território e simultaneamente maximizar as potencialidades das ferramentas SIG.



## 4. APLICAÇÕES

O potencial da informação de base, com informação altimétrica, de um território é tão vasto que depende apenas de dois fatores, refletidos no provérbio popular: “A necessidade aguça o engenheiro”.

De um modo geral, todas as decisões são fundamentais em qualquer projecto, até mesmo aquelas que são mais simples e tomadas por intuição. A capacidade de decidir corretamente e em tempo oportuno, é fundamental antes, durante e após qualquer atividade humana, que se desenrole sobre a superfície terrestre, em que o conhecimento dessa mesma superfície, com mais ou menos detalhe, com maior ou menor rigor, poderá fazer a diferença.

### 4.1. Planeamento

Entende-se por planeamento, a operação que precede toda a ação humana. Um bom planeamento deverá responder sempre às questões Quem?, O Quê?, Quando? Onde? Para quê?, sendo que a resposta à pergunta Onde? obriga sempre a um conhecimento do território, à escala adequada, de acordo com o nível de decisão.

Face às características da Carta Militar de Portugal, o seu grau de pormenor, exatidão posicional / temática, a própria escala, 1:25 000, dimensões da Folha, homogeneidade de informação (os critérios utilizados são aplicados em todo o território nacional), fazem com que esta seja considerada, por muitos, a cartografia mais adequada para decidir sobre o território nesta fase do processo de decisão, o planeamento. Já a informação vetorial, da carta militar, supera o exigido a esta escala, o que permite mesmo que seja utilizada em detrimento de escalas superiores.

Para além das operações militares, em que a Carta Militar é utilizada em todas as fases do planeamento das operações (exercícios e reais), é utilizada em áreas tão diversas como o lazer, em que o utilizador antes de efetuar determinado percurso planeia antecipadamente o seu trajeto, prevendo obstáculos, equacionando como os ultrapassar, etc. Outra área de aplicação é a construção de vias de comunicação/grandes obras de engenharia, sendo estas planeadas sobre a Carta Militar e onde se infere sobre a viabilidade ou não das mesmas, permitindo assim minimizar recursos aquando da fase de elaboração dos estudos necessários antes da implementação destas obras.

### 4.2. Sistemas de alerta

Numa sociedade moderna, não é suficiente a existência de uma boa infraestrutura de suporte às populações. Face aos desafios a que atualmente as sociedades estão sujeitas, alterações climáticas, desequilíbrios demográficos, entre muitos outros, é crítico que estas tenham ferramentas que permitam criar cenários e prever situações de emergência, de forma a garantir um uso mais eficaz dos meios.

Durante o tempo de utilização dessas infraestruturas, mais ou menos longo, as entidades gestoras de cada uma delas deverá ter conhecimento das situações e ou condições em que estas deixam de garantir as condições de segurança aos seus utilizadores. Por exemplo, para uma via de comunicação a meia encosta, com declive acentuado, deve-se ter em consideração a partir de que nível de saturação de água no solo existe o perigo de deslizamento de terras, tendo em conta o tipo de solo e a vegetação sobre o mesmo, de forma a interditar a via antes que esse deslizamento ocorra e provoque vítimas humanas. Outras situações em que os sistemas de alerta, são essenciais são as cheias ou os incêndios, em que o conhecimento antecipado das condições mais desfavoráveis à atividade humana, permite tomar medidas em tempo oportuno, baseadas em simulações, que evitem e minimizem o risco de danos.

A prevenção e redução dos riscos para a saúde humana, o ambiente, o património cultural e atividade económica, num determinado território, apenas são eficazes quando na elaboração dos respetivos planos de prevenção existe um conhecimento desse mesmo território. Declives, bacias hidrográficas, derivados da informação da Carta Militar, complementados com dados meteorológicos, Carta de Ocupação do Solo, dados das Barragens, entre outros, são fundamentais na construção de sistemas de alerta, que efetivamente protejam pessoas e bens.

O projeto SIG3D, em que a informação altimétrica está disponível permite, também, que essa mesma informação altimétrica seja passível de análise e estudo. Assim, qualquer sistema de alerta que utilize a informação vetorial da Carta Militar, pode beneficiar dela e modelar a realidade em todo o espaço intervencionado pela ação humana. Os cenários criados a partir dessa informação serão, certamente, mais fidedignos e fiáveis do que outros criados a partir de informação bidimensional.

### 4.3. Situações de Emergência

A diminuição de situações “reais” de emergência é uma consequência direta da utilização da cartografia de base nas ações de gestão e planeamento do território. Mas se, no entanto, as situações de emergência ocorrerem, a cartografia de base será também, essencial na gestão das mesmas. Apenas desse modo, o empenhamento dos meios disponíveis será efetuado de acordo com realidade que se vive no terreno. Situação idêntica às Operações Militares, em que as incongruências entre o esperado no terreno e a realidade, levam a uma desarticulação dos meios, uma má gestão dos mesmos e consequente aumento dos danos.

Com a informação providenciada pelo SIG3D é possível, por exemplo, inferir quais as áreas e as vias de comunicação afetadas por determinado nível de cheia, de forma mais rigorosa do que análises efetuadas sobre modelos digitais do terreno. No que diz respeito a construções, pode-se saber quais é que são afetadas e até que nível, como se pode constatar na Figura 3 – Cheia Reguengo do Alviela, 28FEV2014.



Figura 3 – Cheia Reguengo do Alviela, 28FEV2014

### 4.4. Tendências – análises demográficas

Conforme já referido, um dos desafios das sociedades atuais são os desequilíbrios demográficos. A Carta Militar ao longo dos seus 81 anos de história, sempre representou o território da mesma forma. Esse facto, permite tirar conclusões acerca do desenvolvimento e das tendências das cidades, no que respeita, por exemplo, ao edificado e às vias de comunicação (rodoviárias e ferroviárias), como se constata na comparação entre a 1.ª Edição da Folha 374, Torres Vedras e a 5.ª Edição da mesma Folha, Figura 4.

Portugal, possuidor de uma representação do território, com o grau de detalhe e homogeneidade territorial e temporal como o da Carta Militar, não pode deixar de fazer uso dessa informação para corrigir desequilíbrios atuais, evitar desequilíbrios futuros e garantir a sustentabilidade das cidades e vilas portuguesas, mantendo os necessários equilíbrios ambientais e aumentando a qualidade de vida das populações.

A informação 3D, em ambiente SIG, quando utilizada em conjunto com outros dados, como o da população, da indústria, etc, permite alargar o espaço de análise a todo o espaço alterado devido à ação humana.



Figura 4 – 1.ª Edição e 5.ª Edição da Folha 374 (Torres Vedras)

## 5. CONCLUSÃO

Decidir será talvez, por um lado, o processo mental mais vulgar, e por outro, o mais complexo que ocorre em cada indivíduo. Pois para cada situação gozamos de várias opções, existe liberdade de escolha e subsiste a incerteza no resultado final da decisão. O processo torna-se mais complexo numa sociedade da informação, como a atual, em que se tem acesso a grande quantidade de informação, por vezes incompleta e de fiabilidade duvidosa, dependente de subjetividade na sua interpretação. Com a globalização passamos a ter múltiplos stakeholders, em que há muitas pessoas, grupos, segmentos comunitários e instituições com interesses na decisão, a qual obriga a um processo coletivo de decisão, sendo na generalidade dos casos tomada, não a mais adequada para todos, mas apenas a que melhor serve os propósitos dos mais apodíticos.

Quando se decide sobre e/ou sob o território, a qualidade da informação geográfica utilizada no processo é fundamental, pois as consequências dessas decisões podem refletir-se sobre o território ao longo de várias gerações, aumentando ou deteriorando a qualidade de vida das populações, influenciando o desenvolvimento e produtividade dos países. Face ao espetro de aplicações que podem tirar proveito da Carta Militar e da sua informação vetorial, com dados relativos à cota dos seus elementos (SIG3D), concluímos que esta é um produto militar, totalmente enquadrado no conceito de “duplo uso”.

O Instituto Geográfico do Exército, ao produzir a Carta Militar de Portugal, ao disponibilizar informação geográfica de todo o território nacional, de forma homogénea, espacial e temporalmente, serve não apenas o Exército e as Forças Armadas, mas também Portugal. Aos decisores, militares e civis, resta-lhes utilizar essa informação, para “geodecidir” fazendo uso do seu “engenho”.

### REFERÊNCIAS

- Dias, R.; Marques, A.; Dias, J. (2011). Aquisição de Dados em SIG3D no IGeoE. VII Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia. Porto.
- EXERCITO PORTUGUÊS (2007). Planeamento Tático e Tomada de Decisão, Lisboa.
- EXERCITO PORTUGUÊS (2010). Estudo do Espaço de Batalha pelas Informações (IPB), Lisboa.
- MATOS, V. A. A. (2010). A “Batalha de Dois Portos”, uma batalha “quase” esquecida: Revista Militar at [http://www.revistamilitar.pt/artigo.php?art\\_id=611](http://www.revistamilitar.pt/artigo.php?art_id=611) (consultado em 01-03-2014).
- MOTTA, P. R. (1991). Gestão Contemporânea: A Ciência e a Arte de Ser Dirigente. Rio de Janeiro: Editora Record.

### CONTACTO

Rui DIAS: [ruidias@igeoe.pt](mailto:ruidias@igeoe.pt)  
[www.igeoe.pt](http://www.igeoe.pt)

## A INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NA REVISÃO DOS PDM'S

Rui FLORENTINO

Centro de Sistemas Urbanos e Regionais, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

**RESUMO:** Para o planeamento territorial, é hoje fundamental poder dispor de uma informação georreferenciada de qualidade, que conduza a melhores decisões, considerando os objetivos definidos a cada escala de trabalho. Na presente revisão dos Planos Diretores Municipais (PDM's), a sua elaboração baseia-se em fontes e programas de informação geográfica, o que se traduz em importantes mudanças, em relação aos documentos em vigor. Por um lado, é certo que um estudo mais rigoroso do território aumenta os níveis de exigência dos serviços prestados pela administração. Por outro, a reflexão coletiva em sede de planeamento tem vindo a motivar igualmente a evolução dos próprios sistemas de informação, em termos normativos.

Neste quadro, o presente artigo tem por objetivo identificar as contribuições da informação geográfica para a melhoria do planeamento municipal, através de alguns exemplos da revisão de PDM's, no caso dos concelhos de Alcanena, na região do Oeste e Vale do Tejo, de Castro Daire, no Centro, e de São Brás de Alportel, no Algarve. Para além da elaboração da proposta de Ordenamento em si, aborda-se a relevância dessa informação para os processos complementares de Avaliação Ambiental Estratégica (AAE) e das delimitações da Reserva Agrícola e da Reserva Ecológica.

Considerando embora as diferenças dos casos em análise, verifica-se, em todos eles, que um sistema de informação geográfica de qualidade, devidamente integrado, permite articular os instrumentos de trabalho que correspondem às diversas áreas de competência dos municípios (planeamento, projeto e licenciamento) e os seus sectores de atividade (urbanismo, obras, proteção civil, etc.). De igual modo, o rigor dessa informação permite reduzir os conflitos entre as áreas a proteger, de maior sensibilidade ecológica ou potencial agrícola, e a proposta de expansão de infraestruturas, contribuindo assim para um desenvolvimento mais equilibrado e sustentável.

**Palavras-chave:** planeamento municipal, informação geográfica, avaliação ambiental estratégica, ordenamento do território.

### CONTACTO

[rui florentino@gmail.com](mailto:rui florentino@gmail.com)

## O SIG DA SANEST – FERRAMENTA DE INTEGRAÇÃO DA INFORMAÇÃO DE GESTÃO DE INFRAESTRUTURAS

Cátia GOMES, João SANTOS SILVA e Conceição GRANGER

SANEST – Saneamento da Costa do Estoril, S.A.

**RESUMO:** A SANEST – Saneamento da Costa do Estoril, S. A., é a empresa multimunicipal, responsável pela gestão do Sistema de Saneamento da Costa do Estoril (SSCE), em regime de concessão, até ao ano de 2020, e trata as águas residuais provenientes dos Municípios de Amadora, Cascais, Oeiras e Sintra.

Para auxiliar na operação e manutenção do SSCE, a SANEST possui um Sistema de Informação Geográfica (SIG) que integra todas as infraestruturas sob a sua gestão, designadamente: Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR), Estações Elevatórias (EE), Rede de Drenagem e emissário submarino. O SIG está implementado na SANEST desde 1999, com o nível de informação regional, tendo entrado em funcionamento o nível de informação local, em 2002. A SANEST atualizou a ferramenta do SIG em 2005 com a aquisição do módulo G/InterAqua, que possibilita funcionalidades específicas para as infraestruturas de saneamento.

Destaca-se na presente comunicação a componente do SIG da SANEST relativa à Rede de Drenagem, que inclui, entre outros aspetos, os resultados das inspeções anuais sistemáticas realizadas às câmaras de visita (atualizações de cadastro e fotografias) e das inspeções por CCTV, que são realizadas com regularidade desde 2005, com a possibilidade de visualizar os respetivos vídeos.

O módulo “G/InterAqua Inspeções CCTV” foi desenvolvido para a SANEST, na sequência da necessidade de agregar num único local todos os vídeos das inspeções CCTV. Desta forma, garante-se o arquivo e a rastreabilidade desta informação, o acesso à base de dados de informação sobre a condição estrutural da Rede de Drenagem (escala de 1 a 5), a localização geográfica das anomalias, relatórios e a simplificação da análise para efeitos de gestão de ativos.

Foi também desenvolvido um módulo para servir de suporte à inspeção realizada às ribeiras do SSCE, que permite a identificação geográfica dos pontos de amostragem das ribeiras e a localização das descargas identificadas nas inspeções sistemáticas às ribeiras, indicando o seu grau de gravidade.

Desde setembro de 2013, após a entrada em funcionamento na SANEST da ferramenta AQUAMAN (software de manutenção), é possível georreferenciar as Ordens de Trabalho (OT) no SIG, podendo daí resultar relatórios e plantas de localização.

Encontra-se em desenvolvimento o módulo relativo às “Parcelas Cadastrais”, que permitirá identificar as áreas de servidão das infraestruturas sob gestão da SANEST, assim como toda a informação inerente ao registo cadastral, e o(s) respetivo(s) proprietário(s). Este projeto é transversal na SANEST, pois abrange várias áreas da empresa, e encontrou no SIG o local ideal para integrar essa informação.

**Palavras-chave:** SIG, Integração, Infraestruturas, Inspeção CCTV, Operação, Manutenção.

**ABSTRACT:** SANEST – Saneamento da Costa do Estoril, S. A., is responsible for operating and managing the Estoril Coast Sewage System, under concession until 2020, and for the collection, treatment and disposal of the wastewater from the municipalities of Amadora, Cascais, Oeiras and Sintra. To assist the System’s operation and maintenance, SANEST implemented, since 1999, a Geographic Information System (GIS) that includes all the infrastructures under its management, namely: Waste Water Treatment Plant (WWTP), Pumping Stations and the Sewer Network. GIS also aggregates the results of sewer network and streams inspections, the CCTV inspections module and the cadastral parcels module.

**Keywords:** GIS, Integration, Infrastructures, CCTV Inspection, Operation, Maintenance

## 1. INTRODUÇÃO

A SANEST tem uma área de intervenção de cerca de 220 km<sup>2</sup>, abrangendo parte dos municípios de Amadora, Oeiras e Sintra, e a totalidade do município de Cascais. A Rede de Drenagem da SANEST é constituída por cerca de 150 km de coletores gravíticos, cujos diâmetros variam entre os 200 mm e os 2.500 mm, e por aproximadamente 3.900 câmaras de visita aos coletores. É de salientar a existência de um Intercetor Geral, com cerca de 25 km de extensão, situado paralelamente à linha de costa, e que conduz graviticamente os caudais desde Linda-a-Velha (Oeiras) até à Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) da Guia, em Cascais, dimensionada para uma população equivalente de cerca de 800.000 e.p..

Do SSCE fazem ainda parte nove Estações Elevatórias (EE), que recebem o caudal produzido abaixo da linha de cota do Intercetor Geral, e que o elevam para esta infraestrutura, e um emissário submarino que lança as águas residuais tratadas a cerca de 3 km da costa, à profundidade de cerca de 40 m, na zona da Guia.

Na ETAR da Guia foi tratado, em 2013, um caudal médio diário de 147.000 m<sup>3</sup>/dia, correspondendo a um caudal médio de 1,7 m<sup>3</sup>/s.

A crescente complexidade dos sistemas de saneamento de águas residuais e a sua grande dispersão territorial, a necessidade de avaliar e prever as consequências das decisões, em conjugação com a necessidade de gerir e disponibilizar grandes volumes de informação, são fatores que justificam a criação do SIG da SANEST.

Neste contexto, o SIG da SANEST permite armazenar, aceder, visualizar, analisar e manipular informação georreferenciada, assumindo-se como imprescindível para um bom conhecimento do território e para a adequada gestão das infraestruturas que compõem o SSCE.

Na presente comunicação serão salientados os aspetos do SIG da SANEST relativos à Rede de Drenagem, incluindo o módulo “G/InterAqua Inspeções CCTV”, a inspeção às ribeiras do SSCE e o módulo das “Parcelas Cadastrais”, os quais se descrevem seguidamente.

## 2. O SIG DA SANEST

### 2.1. Considerações gerais

A SANEST adotou, como solução de SIG, a solução G/InterAqua, desenvolvida pela AQUASIS - Sistemas de Informação, S.A., que inclui funcionalidades de: edição e consulta de cadastro; pesquisa e análise, com produção de mapas temáticos; impressão em vários formatos e escalas; produção de relatórios e estatísticas; gestão das intervenções de manutenção; e, suporte à modelação matemática.

### 2.2. Rede de Drenagem no SIG

A Rede de Drenagem da SANEST é representada em SIG por várias entidades de cadastro, designadamente: câmaras de visita, câmaras de descarga, troços de emissário, troços de coletor municipal (ramais), troços de condutas elevatórias, medidores de caudal e recintos. Por sua vez, a cada uma destas entidades é atribuído um conjunto de atributos parametrizáveis, que são passíveis de analisar espacialmente, através da utilização de queries e produção de relatórios.

Indica-se como exemplo de relatórios produzidos a realização de perfis longitudinais para a análise hidráulica dos troços de emissário, a exportação do cadastro para AutoCAD e a análise da sua compatibilização e disponibilização para resposta a pedidos de informação exteriores à empresa.

Outra vantagem do SIG é a rastreabilidade da Rede de Drenagem com a possibilidade de, periodicamente, tirar uma “fotografia” às infraestruturas, através da criação de um ficheiro com informação vetorial. Desta forma, garante-se o histórico do cadastro e é possível verificar a evolução das infraestruturas ao longo do tempo.

### 2.3. Módulo “G/InterAqua Inspeções CCTV”

Desde 2005, a SANEST realiza de forma sistemática a limpeza e a inspeção CCTV à Rede de Drenagem, sendo gerada uma crescente quantidade de informação (decorridos 9 anos, existem cerca de 10.000 vídeos de inspeções CCTV), que houve que organizar e sistematizar de uma forma integrada.

O módulo “G/InterAqua Inspeções CCTV” foi desenvolvido para a SANEST e compreende a organização de todos os vídeos (MPEG), fotografias (JPEG) e ficheiros de base de dados (MDB), relativos às inspeções CCTV dos troços de emissário, e seu arquivamento num servidor. Com uma ligação a este servidor, é possível através do SIG carregar, validar e disponibilizar a informação através de uma janela específica (ver Figura 1).

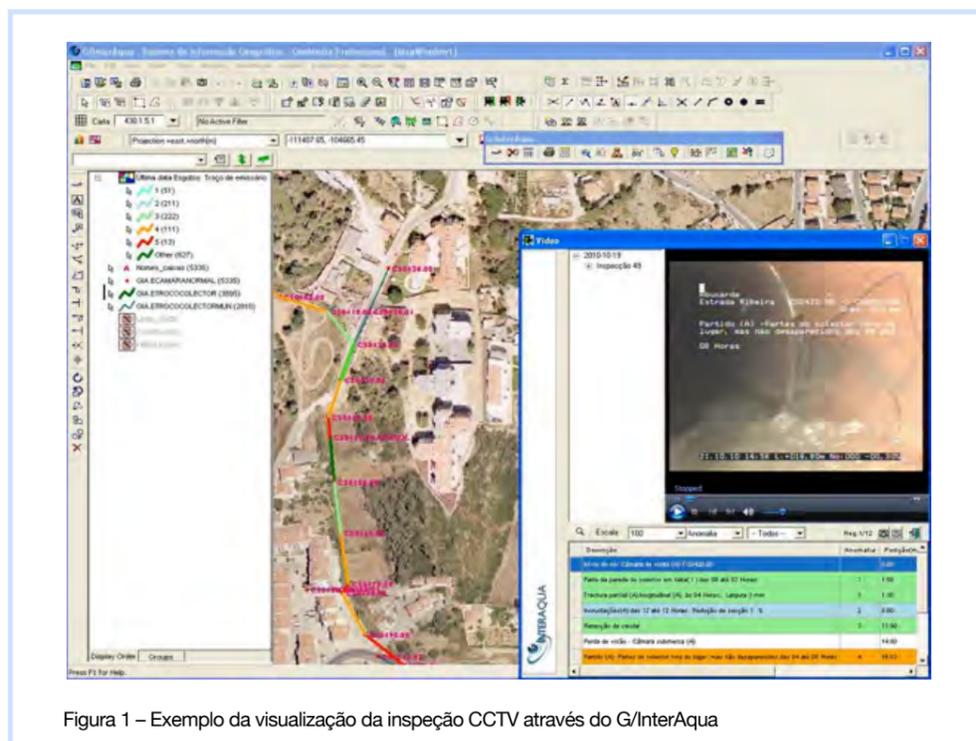


Figura 1 – Exemplo da visualização da inspeção CCTV através do G/InterAqua

Para além do arquivamento e rastreabilidade das inspeções CCTV, a integração desta informação no SIG garante uma sistematização e rapidez de acesso à informação.

As inspeções CCTV têm como objetivos a verificação da qualidade das operações de limpeza dos troços de emissário e a verificação do estado estrutural e de funcionamento dos coletores e das câmaras de visita. A codificação das anomalias observadas é efetuada com base na norma EN 13508-2:2003+A1 e a classificação das condições estrutural e funcional é realizada com base na metodologia do WRc (Water Research Center – Reino Unido).

Relativamente à classificação da condição estrutural, a pontuação total para cada troço de emissário é calculada com base nas pontuações associadas a cada um dos códigos das observações. Posteriormente, esta pontuação é convertida em classes de condição estrutural, ou seja, em classes de probabilidade de colapso, numa escala de 1 a 5 (ver Tabela 1). Esta classificação serve de base à definição das prioridades de inspeção e reabilitação da Rede de Drenagem, contribuindo para uma gestão de ativos mais eficaz.

Tabela 1 – Classificação segundo a Metodologia do WRc

Condição Estrutural	Pontuação (WRc)	Probabilidade de colapso
1	<10	Boa condição estrutural
2	10-39	Probabilidade de colapso mínima
3	40-79	Colapso improvável num futuro próximo
4	80-164	Colapso provável num futuro próximo
5	≥165	Colapsado ou colapso iminente

Este módulo também permite criar relatórios de forma rápida, quer pela identificação da classe de probabilidade de colapso, quer pela identificação das anomalias ao longo dos troços de emissário.

### 2.4. Inspeção às ribeiras do SSCE

Os emissários que constituem a Rede de Drenagem da SANEST desenvolvem-se, regra geral, paralelamente às ribeiras da Costa do Estoril. Nestas condições, quando se realiza a inspeção sistemática anual aos emissários, inspecionam-se também as ribeiras, com o objetivo de detetar a ocorrência de eventuais descargas pontuais de águas residuais.

Na sequência de um levantamento exaustivo, realizado há alguns anos, das descargas/tubos existentes nas margens das ribeiras, e após a sua caracterização (código nominal, diâmetro, material, com ou sem escorrências, etc.), esta informação foi carregada no SIG (ver Figura 2).



Figura 2 – Identificação de descargas em ribeiras (visualização através do SIG Web)

### 2.5. Módulo “Parcelas Cadastrais”

As infraestruturas sob gestão da SANEST, nomeadamente os emissários e o Intercetor Geral, estão instalados ou atravessam terrenos de privados, sendo alguns deles objeto de constituição de áreas de servidão de aqueduto ou faixas de proteção. Por outro lado, para uma eficaz operação e manutenção das infraestruturas é importante conhecer a informação relativa ao registo cadastral e aos proprietários dos referidos terrenos.

Neste contexto, está em implementação o módulo “Parcelas Cadastrais”, atualmente em fase de validação da informação recolhida no âmbito do levantamento da situação cadastral do SSCE, processo esse que tem sido moroso face à dificuldade de obtenção dessa informação junto das conservatórias do registo predial e dos serviços de finanças e à enorme quantidade de informação a tratar (cerca de 1.300 parcelas e mais de 4.000 proprietários/interessados). Dada a sua transversalidade e importância para a empresa, a base de trabalho para a integração da informação é o SIG.

Relativamente ao registo cadastral é possível identificar diversos atributos (ver Figura 3), como por exemplo:

- Código da parcela cadastral para o SIG;
- N.º da parcela e respetiva Conservatória;
- N.º da descrição predial e respetiva Repartição de Finanças;
- Confrontações da parcela (norte, sul, este e oeste);
- Tipo de aquisição (expropriação, ocupação temporária, oneração ou servidão);
- Despacho de publicação da aquisição;
- Natureza da parcela e qualificação no PDM;
- Área, largura e comprimento da parcela;
- Infraestruturas da SANEST abrangidas pela parcela;
- Valor da avaliação.

No que se refere ao campo “proprietários/interessados”, são registados o(s) nome(s), o cônjuge, a morada e o contacto telefónico, constituindo-se uma ficha por cada proprietário. A uma mesma parcela cadastral podem estar atribuídos vários proprietários, podendo referir-se, a título de exemplo, a existência de parcelas cadastrais na SANEST com cerca de 100 proprietários.

A introdução no SIG da informação acima referida pode ser conseguida através do preenchimento de ficheiros excel pré-definidos, que por sua vez são automaticamente carregados no SIG. Em termos de output do SIG, também é possível tirar vários tipos de relatórios sobre esta informação complementar.

## 2.6. Disponibilização do SIG

É de salientar que o software SIG da SANEST, para além dos postos de “edição” e “consulta” de dados de cadastro, está também acessível a todos os colaboradores da SANEST através da sua intranet (SIG Web, ver como exemplos as Figuras 2 e 3). Neste ambiente, apesar das funções de análise reduzidas, é possível o acesso à informação que se encontra carregada/integrada no SIG, resultando numa mais-valia para todos os colaboradores.

O SIG da SANEST tem sido também disponibilizado, quando necessário, a prestadores de serviço ou entidades externas, através do formato KML, do Google Earth. Esta exportação também permite a disponibilização das características das entidades da Rede de Drenagem (por ex.: cotas, profundidades, diâmetros, comprimentos).

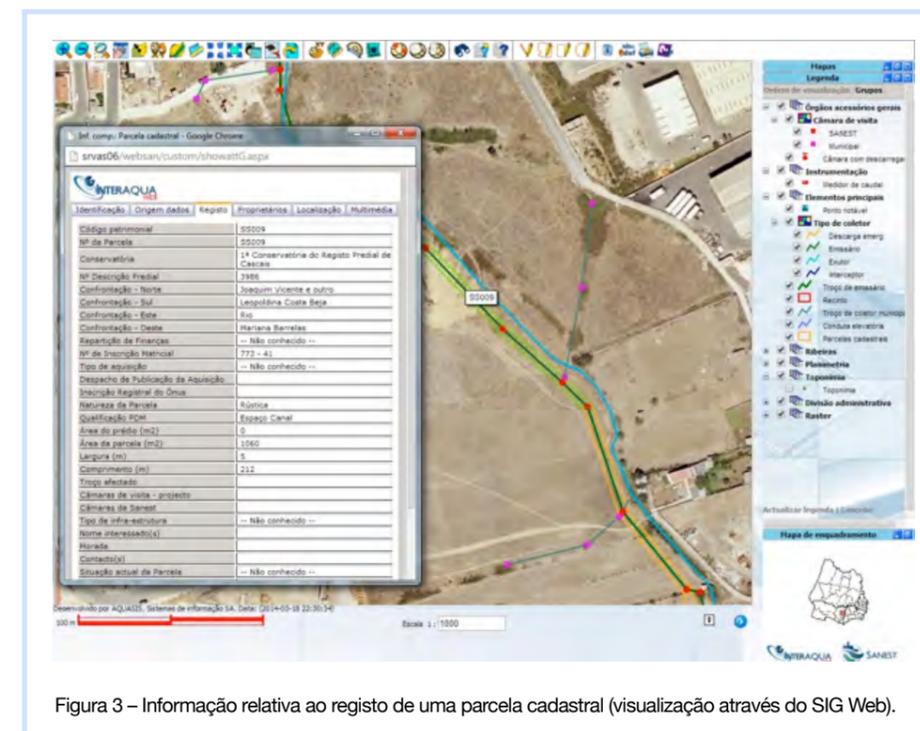


Figura 3 – Informação relativa ao registo de uma parcela cadastral (visualização através do SIG Web).

## 3. CONCLUSÕES

De um modo geral, o SIG da SANEST tem-se revelado uma ferramenta dinâmica na importação, gestão e exportação da informação, integrando-a de uma forma eficiente e sem limites à melhoria contínua da operação e manutenção do SSCE, facilitando a aquisição e transmissão de know-how.

O SIG constitui uma base de conhecimento estruturada e atualizada do cadastro dos sistemas geridos pela SANEST e um instrumento de apoio à decisão e à elaboração de estudos e projetos de expansão e reabilitação do sistema, permitindo dotar os decisores e técnicos de informação estratégica, destinada à definição de linhas de orientação estratégica, gerais e setoriais, de gestão dos sistemas concessionados à SANEST e controlar a sua execução.

## REFERÊNCIAS

- LNEC – DHA/NES (2012). Apoio à elaboração de especificação de ficha de registo de observações de inspeção CCTV em coletores e classificação da sua condição.
- WRc – Water Research Center (2004). Manual of Sewer Condition Classification (fourth edition). Reino Unido.
- European Standard EN 13508-2:2003+A1 (2003). Conditions of drain and sewer systems outside buildings – Part 2: Visual inspection coding system.

## CONTACTOS

- Cátia GOMES: tcgomes@sanest.pt  
 João SANTOS SILVA: tjsilva@sanest.pt  
 Conceição GRANGER: tcgranger@sanest.pt

## BARREIRO, UM SIG PARA A GESTÃO

Manuel LANDUM

Câmara Municipal do Barreiro

**RESUMO:** Apesar da situação socioeconómica que se vive em Portugal e que diretamente afeta também as autarquias, estas necessitam cada vez mais de ter uma visão integrada do seu território e de ferramentas que lhes facilite o planeamento, gestão e apoio na tomada de decisão. Este é o papel que cabe aos Sistemas de Informação Geográfica permitindo a georreferenciação da informação sobre o seu território de forma integrada com os sistemas de informação existentes na autarquia. Hoje em dia, com o avanço das Tecnologias de Informação e Comunicação, verifica-se uma maior exigência na procura de informação, onde, desde os decisores aos munícipes, se nota que os mesmos são ávidos de informação geolocalizada, pretendendo analisar, cruzar e interpretar as diversas variáveis disponíveis, colocando novos desafios e alteração nos métodos tradicionais de funcionamento. A autarquia do Barreiro, não difere neste aspeto das suas congéneres, como tal no ano 2001 e por forma a acompanhar a dinâmica territorial do concelho, decidiu pela implementação do seu novo sistema de informação, de forma modular, virando a página do antecessor que era em formato analógico e já de difícil gestão. Atualmente estão em funcionamento alguns módulos para as áreas do urbanismo, infraestruturas de redes municipais, rede viária, proteção civil, plantas de localização, entre outros, permitindo com muita celeridade a pesquisa e confrontação de entidades gráficas através de instrumentos de gestão territorial. No seu papel dinamizador dentro da sociedade de informação, a autarquia criou ferramentas que permitem aos munícipes, ou turistas, a consulta de informação diversificada acerca do concelho, através do Mapa Interativo do Barreiro, disponibilizando temáticas como sejam história e monumentos, educação, desporto, restauração, toponímia, entre outras. Para uma área mais técnica existe ainda outra ferramenta, que possibilita a interação entre munícipes e autarquia, o WebPDM, permitindo a visualização e cruzamento de informação referente ao Plano Diretor Municipal do Barreiro, nas várias temáticas existentes, onde os munícipes podem enviar contributos, reclamações ou sugestões utilizando sempre informação georreferenciada. O Sistema de Informação Geográfica assume, deste modo, um papel integrador da informação da autarquia e preponderante na disponibilização de informação, rapidez de consulta, localização e apoio na tomada de decisão/ geodesição, permitindo simultaneamente o aumento de produtividade e respostas mais céleres quer internamente, quer aos munícipes, aumentando o grau de satisfação perante a autarquia. Num futuro próximo pretende-se a implementação de novos módulos, integração de mais serviços e massificação desta ferramenta pela autarquia, de modo a aumentar a sua eficiência e contribuindo para uma maior partilha de informação. Num horizonte a longo prazo prevê-se que este sistema possa evoluir no sentido das smart cities, dotando a autarquia e o território de ferramentas que permitam uma gestão integrada e inteligente, promovendo o desenvolvimento de soluções urbanas inovadoras.

**Palavras-chave:** SIG, Geodesição, Georreferenciação, Autarquias Locais, smart cities

**ABSTRACT:** Municipalities are also affected by the economic situation in our present. So, they increasingly need an integrated view of the territory and tools that facilitate their planning, management and support decision making through analysis, crossing and interpretation of several variables that are available.

Barreiro's municipality, in order to monitor the territorial dynamics, implemented a new information system, modular and created tools that allow residents or tourists, to consult information about Barreiro. In the near future we intend to implement new modules, integration services and more massification of this tool. In the long term it is expected that this system might evolve in the direction of smart cities.

**Keywords:** GIS, Geodesion, Georeferencing, Local Government, smart cities

## 1. INTRODUÇÃO

A situação socioeconómica que se vive em Portugal e particularmente nas Autarquias Locais (AL), em nada abona a favor do desenvolvimento, entre outros, dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), contudo as autarquias necessitam cada vez mais de ter uma visão integrada do seu território e de ferramentas que lhes facilite o planeamento, gestão e apoio na tomada de decisão. A necessidade premente de ter a informação, sobre o seu território, georreferenciada e de forma integrada com os sistemas de informação existentes na autarquia dá aos SIG um papel relevante dentro da organização.

Hoje em dia “as exigências colocadas pelos cidadãos aos diferentes organismos públicos são cada vez maiores, quer em termos da qualidade e diversidade dos serviços, quer em termos da rapidez da resposta [Severino, 2006]”, exigências essas que se verificam também ao nível dos decisores, notando-se também estes ávidos de informação geolocalizada, pretendendo analisar, cruzar e interpretar as diversas variáveis disponíveis.

Deste modo, “sendo as Autarquias Locais as entidades mais vocacionadas para o Planeamento e Ordenamento do Território, os SIG afirmam-se cada vez mais como um poderoso instrumento de análise e de gestão de informação, capazes de assegurar a eficácia dos modelos organizacionais que lhe estão subjacentes, contribuindo para uma aproximação ao cidadão [Almeida e Santos, 2006]”, onde a autarquia através do Mapa Interativo do Barreiro, disponibiliza variadas temáticas como sejam história e monumentos, educação, desporto, restauração, toponímia, entre outras.

No entanto, não será unicamente este o seu papel, “mas os SIG também podem ser decisivos para a transparência da Administração Pública e contribuir para a credulidade do estado/poder local junto do cidadão/munícipe, disponibilizando toda a informação sobre os Instrumentos de Gestão, nomeadamente os PDM's online através de WebSIG [Gonçalves, 2012]”, sendo que nesta área mais técnica a autarquia do Barreiro disponibiliza uma outra ferramenta, possibilitando a interação entre munícipes e autarquia, o WebPDM, a qual permite a visualização e cruzamento de informação referente ao Plano Diretor Municipal do Barreiro.

## 2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Os SIG são “Sistemas de Informação por Excelência, com grande margem de progressão e implementação, uma vez que todo o nosso pensamento está organizado em torno da geografia. A tecnologia SIG pode ser integrada em múltiplos sistemas de informação, de qualquer tipo de empresa [Esri, 2013]”, sendo os mesmos baseadas em hardware, software, dados e recursos humanos, preponderando a georreferenciação da informação.

A Câmara Municipal do Barreiro foi uma das pioneiras em Portugal a implementar um SIG para a gestão, no longínquo ano de 1984, em formato analógico, o qual em 1989 se tornou pouco funcional devido ao grande volume de informação que era necessária tratar, vindo mesmo a terminar no ano de 1990 pois o mesmo já era de difícil gestão.

### Evolução do SIG na autarquia do Barreiro

Como já foi referido a autarquia do Barreiro iniciou a construção do SIG em 1984, fruto das necessidades sentidas pela Divisão de Planeamento (DP) no tratamento, localização e cruzamento da informação. Este Sistema de Informação (SI) começou pela recolha, registo e cadastro de informação alfanumérica, tratamento e localização da mesma em cartografia analógica, onde se desenhavam os polígonos e se etiquetavam com os números dos respetivos processos, ou outra chave necessária para a referenciação à informação alfanumérica, conforme a Figura 1.

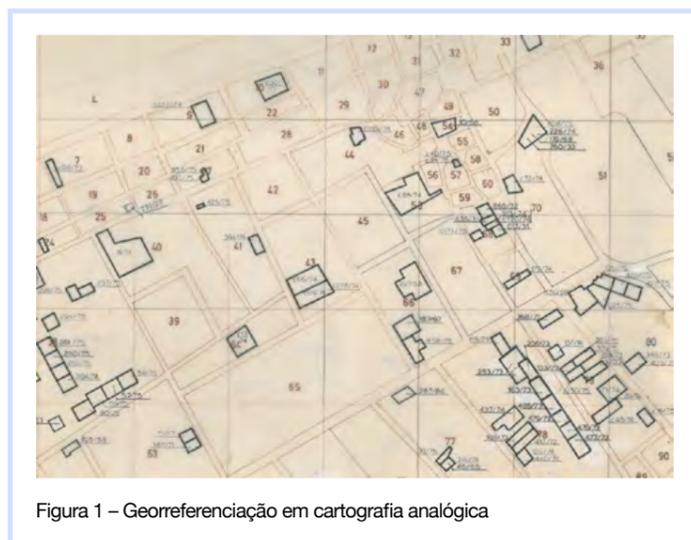


Figura 1 – Georreferenciação em cartografia analógica

Na Figura 1 podem-se observar os diversos polígonos georreferenciados e as referências para a informação alfanumérica, a qual se encontrava arquivada em pastas de arquivo, sendo essa a sua forma de manuseio e consulta.

O SIG assentava num modelo, gerido pela DP, onde a alimentação da informação era efetuada através da recolha de diversos elementos no terreno, através do serviço de atividades económicas, responsável pela informação relacionada com esta atividade e através dos resultados dos Censos de 1981. Após o tratamento/ cruzamento dos dados, a informação era disponibilizada para o apoio á gestão e localização de atividades económicas no concelho, assim como para o planeamento e apoio na elaboração do Plano Diretor Municipal do Barreiro (PDMB), conforme se pode verificar na Figura 2.

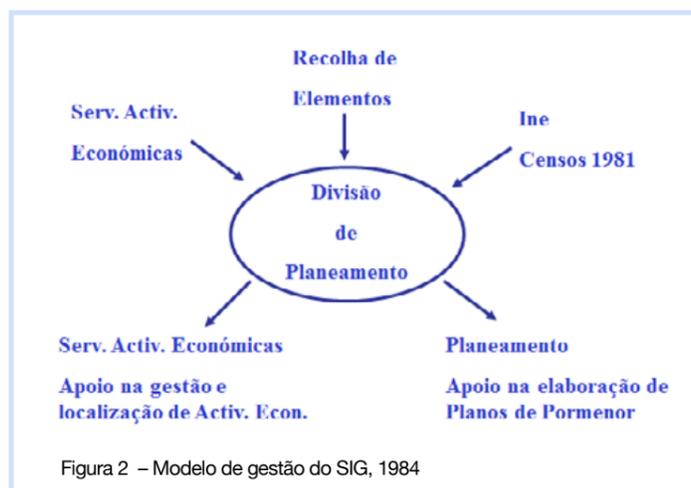


Figura 2 – Modelo de gestão do SIG, 1984

O modelo de gestão representado na Figura 2 funcionou até ao ano de 1989, onde a quantidade de informação recolhida e registada analogicamente, até então, era já demasiada para um tratamento e gestão neste modelo de SIG. Assim, e sem perder de vista a sua futura evolução para um formato digital, a autarquia manteve o objetivo de prosseguir a recolha de informação, dando primazia à constante nos processos de construção, onde a mesma conjuntamente com outro tipo de informação recolhida, iria alimentar o novo modelo perspetivado.

Devido a todos os constrangimentos identificados o SIG acabou por cair no ano de 1990, fruto da sua difícil gestão, pois a quantidade de informação era imensa e intratável analogicamente.

No ano 2000, com a criação da Divisão de Informação Geográfica (DIG), e por forma a acompanhar a dinâmica territorial do concelho, aproveitando as necessidades até então identificadas pela Divisão de Planeamento em obter rapidamente a geolocalização de parcelas de terreno, quer integradas no domínio público ou domínio privado do município, quer de uso particular, cruzando-as com os Instrumentos de Gestão Territorial (IGT) através de ferramentas que obtivessem automaticamente este cruzamento de informação, aumentando a celeridade de resposta aos munícipes e a conformidade nos pareceres técnicos, deu-se a evolução para a criação do novo SIG em formato digital, virando deste modo a página do seu antecessor.

Foi necessário congregiar esforços no sentido de reunir toda a informação dispersa, desde o vegetal à informação contida na memória dos funcionários mais antigos e nunca antes transposta para qualquer elemento gráfico ou alfanumérico.

Pretendia-se um sistema democratizado, fora dos gabinetes de SIG, acessível e participado por todos, envolvendo desde os decisores, aos técnicos, técnico profissionais e administrativos, considerando que “Acima de tudo porque os SIG estão cada vez mais fáceis de utilizar e mais próximos do cidadão comum, e não apenas de uma comunidade restrita de utilizadores [Lisboa, 2012]”.

Analisando agora este novo modelo, apresentado através da Figura 3, verifica-se que a génese mudou relativamente ao modelo precedente, deixando de ser gerido pela DP e passando a gestão a ser da responsabilidade da DIG. A integração com outras divisões ou serviços aumentou substancialmente, sendo agora efetuada bidireccionalmente, passou a ter inputs dos censos de 1981, 1991, 2001 e 2011 e disponibiliza informação de modo automático para os dados estatísticos do Instituto Nacional de Estatística (INE), informação na web para o Mapa Interativo do Barreiro e consulta de processos ou requerimentos na internet através dos serviços online e também para o WebPDM.

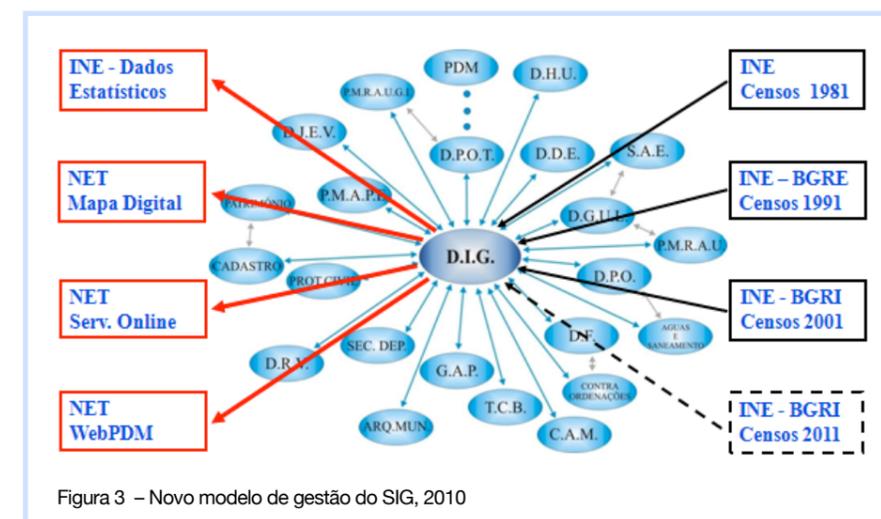


Figura 3 – Novo modelo de gestão do SIG, 2010

Este novo modelo, representado na Figura 3, já abrange as áreas de gestão urbana, serviço de trânsito, infraestruturas com ligação às águas e saneamento, fiscalização, com forte ligação às contra ordenações, cadastro e património, proteção civil, actividades económicas, entre outras, notando-se uma evolução na transversalidade a toda a autarquia.

As ferramentas de suporte ao SIG na sua componente alfanumérica são três Enterprise Resource Planning (ERP), assentes num Sistema de Gestão de Base de Dados (SGBD) da Oracle, um para o Urbanismo/ SIG, outro para a Gestão Administrativa de Processos e outro para os Sistemas de Abastecimento de Água, Saneamento e Resíduos. Para a parte vetorial e/ ou matricial, são utilizadas ferramentas da Autodesk onde se destaca o Autodesk MAP para execução, limpeza e preparação de informação para integrar o SIG e o Autodesk MapGuide para a disponibilização da informação, quer internamente, quer aos munícipes através da página web da autarquia, onde estão disponíveis o mapa interativo do Barreiro e o WebPDM.

O SIG obviamente que evoluiu, aumentou a sua abrangência e a sua área de influência, ampliou a sua transversalidade, ou seja, passou a chegar a mais divisões e/ ou serviços, sempre de forma faseada e modular, permitindo uma melhor gestão e eficácia.

#### A realidade atual

Em Janeiro de 2014 e por força de lei, a autarquia do Barreiro teve que proceder à sua reestruturação, reduzindo o número de unidades orgânicas e para tal teve que aglutinar algumas divisões ou serviços. A DIG e a Divisão de Informática e Novas Tecnologias (DINT) foram aglutinadas e deram origem ao Gabinete de Tecnologias de Informação (GTI) que atualmente, entre outras, tem a responsabilidade de gestão de todos os sistemas de informação da autarquia.

Estes sistemas na realidade não são estáticos e como tal pretende-se continuar a prover os utilizadores com ferramentas que lhes permitam no seu dia-a-dia uma maior rentabilidade e eficácia na gestão dos processos inerentes e uma maior base de conhecimento.

Integrar é neste contexto, e no atual momento, a palavra-chave. O SIG e o Customer Relationship Management (CRM) são duas soluções que podem coexistir e serem catapultadores desta integração, permitindo alcançar este objetivo de modo a que toda a informação esteja facilmente acessível, sem duplicações ou perda de sinergias, com ganhos para a autarquia e maior celeridade para os munícipes.

Na Figura 4 podemos ver informação georreferenciada sobre cartografia digital, na aplicação de gestão urbanística, através da integração com o ERP do Urbanismo/ SIG.

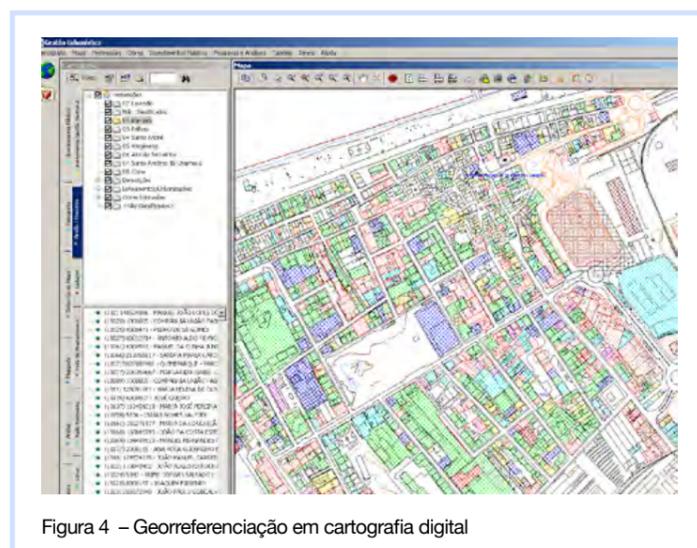


Figura 4 – Georreferenciação em cartografia digital

### 3. A IMPORTÂNCIA DO SIG NA AUTARQUIA

O SIG dentro da autarquia do Barreiro assume um papel de enorme relevância, pois o mesmo deverá prosseguir o seu papel de integrador de soluções, preponderante na disponibilização de informação, rapidez de consulta, localização e apoio na tomada de decisão/ geodesição, facilitando a “complexa gestão deste conjunto de sistemas de informação, existindo vontade para uma integração dos mesmos apesar das dificuldades esperadas e do contexto económico-financeiro não ser o mais favorável devido à conjuntura económica que se vive em Portugal e na Europa. No entanto, e mesmo com essas adversidades, está em curso a implementação de um CRM, que permitirá à autarquia fazer uma gestão integrada, multicanal, da sua relação com os cidadãos, o qual visa uma maior eficácia e eficiência no atendimento presencial de pessoas e empresas.

O grande objetivo deste projeto é o foco no atendimento ao munícipe utilizando um conjunto de canais, que se complementam e interligam para um conhecimento integrado do cidadão e suas necessidades, facilitando o conhecimento a quem tem de tomar opções estratégicas de gestão. [Landum, 2012]”.

O CRM deverá integrar diversos canais de comunicação, para além da informação relevante constante dos ERP’s, como sejam, a internet, telefone, fax, email, sms, e-payment, call-center e serviços online, entre outras funcionalidades.

Conjuntamente está ainda a ser implementada uma solução de gestão documental assente em tecnologia Microsoft, utilizando o Sharepoint, o que a curto/ médio prazo dará ainda uma maior abrangência e integração das soluções existentes, promovendo a massificação e o uso intensivo das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), colocando-as ao serviço dos munícipes.

### 4. UM SIG PARA O FUTURO

A autarquia está continuamente a ganhar experiência nesta área, dotando-se de ferramentas que permitam uma maior eficácia e celeridade de processos, consolidando a sua informação georreferenciada, tendo no horizonte uma evolução tecnológica significativa, ou seja, a evolução no sentido de integração na rede das cidades inteligentes, dotando a autarquia e o território de ferramentas que permitam uma gestão integrada, inteligente e acima de tudo sustentável, promovendo o desenvolvimento de soluções urbanas inovadoras.

O concelho do Barreiro é um território pequeno, mas suficientemente amplo para poder vir a ser um grande caso de estudo, questões como a gestão inteligente da cidade, relatório de incidentes, mobilidade, economia de recursos, os transportes, entre outros, podem catapultar este território como integrador de empresas tecnológicas, parceiras neste projeto e torná-lo um caso de sucesso.

### 5. CONCLUSÕES

Considera-se que o SIG na autarquia do Barreiro tem um papel relevante, integrador de soluções e que conjuntamente com o CRM poderá aumentar os níveis de eficácia e celeridade de processos. Os avanços tecnológicos contribuem significativamente e em simultâneo para o atingir destes objetivos, onde a exigência na procura de informação georreferenciada se faz notar desde os decisores aos munícipes, pretendendo analisar, cruzar e interpretar as diversas variáveis disponíveis.

Após a congregação de esforços para manter este processo contínuo, e de reunir toda a informação dispersa, torna-se agora necessário manter a dinamização destas ferramentas, a sua massificação pelos serviços, o apoio constante aos utilizadores e o desenvolvimento de novas funcionalidades como fatores decisivos para o sucesso.

No horizonte perspectiva-se a evolução de todo o sistema e a integração na rede de cidades inteligentes, dotando o concelho de ferramentas que permitam a gestão inteligente e sustentável do território.

## SIG OPEN SOURCE NA GESTÃO AMBIENTAL MUNICIPAL

Alexandre NETO

Cascais Ambiente

**RESUMO:** Enquanto empresa municipal de ambiente, a Cascais Ambiente opera em todo o concelho de Cascais nas áreas de gestão de resíduos urbanos, espaços verdes urbanos e espaços naturais. Para uma gestão adequada e eficaz, a informação geográfica tem um papel de grande importância e é amplamente usada. Com o aumento interno da base de utilizadores e de produtores de informação geográfica, o uso de soluções open source para Sistemas de Informação Geográfica apresentou-se como uma alternativa viável e sustentável em relação à aquisição de software proprietário. O presente artigo pretende relatar a nossa experiência através da apresentação de exemplos da utilização de software open source na organização, avaliando as vantagens (e desvantagens) das opções tomadas. São apresentados 4 exemplos de utilização: O estudo de acessibilidade a parques infantis, a produção de cartografia de apoio à gestão da manutenção de espaços verdes urbanos, o cálculo de métricas da paisagem sobre dados de ocupação do solo e a base de dados espaciais e interface para o plano de gestão de habitat e paisagem. Vários software open source são usados em conjunto para superar as necessidades impostas, nomeadamente: QGIS, gvSIG mobile, PostgreSQL/Postgis e R.

**Palavras-chave:** sig, open source, análise espacial, base de dados espaciais, ocupação do solo.

**ABSTRACT:** As a municipal environmental company, Cascais Ambiente operates through all Cascais's municipality territory in the field of urban waste managing, urban green spaces and natural spaces. For a suitable and efficient management, geographic information has a significant role and is broadly used. With the increase of internal users and producers of geographic information data, the free and open source for geographic information systems solutions revealed to be a viable and sustainable alternative against acquiring proprietary software. The following paper aims to present our experience through a few use cases of open source within our organization, evaluating the advantages (and disadvantages) of the made decisions. The presented examples are: The playgrounds accessibility study; The cartographic production to support the management of green urban spaces maintenance; The landscape metrics with Land Cover data; And the spatial data database and interface for a habitat and landscape management plan. Several open source software was used together to overcome the imposed needs, namely: QGIS, gis mobile, PostgreSQL, Postgis and R.

**Keywords:** gis, open source, foss4g, spatial analysis, spatial database, land use.

### 1. INTRODUÇÃO

A CASCAIS AMBIENTE é a marca dos serviços prestados pela EMAC - Empresa Municipal de Ambiente de Cascais, E.M., S.A., cujo capital social é detido na sua totalidade pelo Município de Cascais.

Para além dos serviços de limpeza urbana e recolha de resíduos com que iniciou a sua actividade, a Cascais Ambiente é também responsável pela gestão de espaços públicos verdes urbanos, de jogo e recreio do concelho. Após absorver as agências municipais Cascais Atlântico e Cascais Natura, alargou as suas competências à gestão dos recursos naturais e da orla costeira. O seu trabalho inclui ainda a promoção e realização de actividades destinadas à preservação, qualificação e valorização do ambiente, à educação ambiental e ao conhecimento.

Para uma gestão adequada e eficaz das funções que detém responsabilidade, a informação geográfica teve, desde sempre, grande relevância no planeamento de acções, na sua monitorização e seu

#### REFERÊNCIAS

Almeida, S., Santos, M. (2006). Disseminação de Informação Geográfica nas Autarquias Locais: O caso da Câmara Municipal da Póvoa de Varzim.

URL:[http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/6221/1/ESIG2006\\_SIG\\_CMPVarzim\\_Artigo.pdf](http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/6221/1/ESIG2006_SIG_CMPVarzim_Artigo.pdf) (consultado em 2014.03.01).

Esri (2013). O que são os SIG? URL: <http://www.esriportugal.pt/para-comecar/conceitos-basicos/o-que-sao-os-sig/> (consultado em 2014.03.01).

Gonçalves, C. (2012). SIG em Código Aberto e Património Urbano. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa, Portugal. URL: <http://www.rcaap.pt/detail.jsp?id=oai:www.repository.utl.pt:10400.5/5450> (consultado em 2014.02.27).

Landum, M. (2012). Cloud na Administração Local, estudo de caso. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Ciências Empresariais, Instituto Politécnico de Setúbal, Setúbal, Portugal. URL:[http://comum.rcaap.pt/bitstream/123456789/3999/1/Dissertacao%20Manuel%20Landum\\_100313014\\_MSIO.pdf](http://comum.rcaap.pt/bitstream/123456789/3999/1/Dissertacao%20Manuel%20Landum_100313014_MSIO.pdf), (consultado em 2014.02.01).

Lisboa, A (2012). Governação participativa: O contributo dos sistemas de informação geográfica. URL: <http://www.semanainformatica.xl.pt/opini%C3%A3o/418-governa%C3%A7%C3%A3o-participativa-o-contributo-dos-sistemas-de-informa%C3%A7%C3%A3o-geogr%C3%A1fica.html> (consultado em 2014.02.27).

Severino, E. (2006). Sistemas de Informação Geográfica nas Autarquias Locais: Modelo de Implementação. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa, Portugal. URL: <http://run.unl.pt/bitstream/10362/3633/1/TSIG0015.pdf> (consultado em 2014.03.03).

#### CONTACTO

Manuel LANDUM: [manuel.landum@cm-barreiro.pt](mailto:manuel.landum@cm-barreiro.pt) – <http://www.cm-barreiro.pt>

Licenciado em Engenharia Informática de Gestão, pela Escola Superior de Tecnologia de Setúbal/IPS

Mestre em Sistemas de Informação Organizacionais, pela Escola Superior de Ciências Empresariais/IPS

estudo, sendo usada em toda a área de actuação da empresa. Por outro lado, em projectos compostos por equipas multidisciplinares de áreas diversas de actuação, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) tiveram muitas vezes uma função agregadora, originando um aumento do número de utilizadores e de produtores de informação geográfica.

Em termos de software SIG, à data da fusão das 3 entidades, a empresa detinha duas licenças de ArcView 9.3 com extensões (Spatial analyst e 3D Analyst) e uma licença de Geomedia 6.2 com contrato anual de manutenção, estando os dados guardados em diferentes servidores e em vários formatos. Assim, era desejável homogeneizar e centralizar os dados geográficos da empresa, assim como disponibilizar as ferramentas SIG a mais técnicos/máquinas.

As soluções open source para SIG, em inglês, Free and Open Source Software for Geospatial (FOSS4G) apresentaram-se então como uma alternativa viável, sustentável em relação à aquisição de novo software proprietário.

O presente artigo pretende relatar a nossa experiência através da apresentação de exemplos da utilização de FOSS4G na organização, avaliando as vantagens (e desvantagens) das opções tomadas.

## 2. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

### 2.1. Apoio à gestão de espaços públicos verdes urbanos

A Cascais Ambiente é responsável por garantir a gestão de, à data, 3051 espaços públicos verdes urbanos (EPVU), somando cerca de 11 hectares de área de intervenção. Em termos de manutenção, estes espaços são atribuídos a equipas internas ou a prestadores de serviços contratados consoante a freguesia e a tipologias do espaço ou de manutenção.

No sentido de auxiliar as diferentes equipas a identificar os espaços verdes que lhes competem, os espaços estão agrupados em 265 zonas, sendo criados mapas individuais para cada uma delas, que as equipas levam para o terreno. Mensalmente, parte dos dados dos EPVU's são actualizados, resultando na necessidade de actualização dos respectivos mapas.

Para otimizar todo este processo, todos os dados foram colocados numa base de dados PostgreSQL com a extensão espacial Postgis, ficando a edição, a visualização e a impressão a cargo do QGIS.

Em PostgreSQL, para além da tabela como toda a informação sobre cada espaço verde (incluindo a zona a que pertence e a geometria do polígono), foi criada uma tabela com as 265 zonas, respectivos nomes, prestadores e datas de actualização. Foram ainda gravadas consultas SQL (Structured Query Language) para determinar a extensão de cada zona e respectivo formato (landscape ou portrait).

Através do uso das funcionalidades de criação de "atlas" do QGIS, foi possível criar automaticamente (ou quase) todos os mapas de zona usando apenas dois layouts como base (portrait e landscape). A funcionalidade de "atlas" permite ajustar a extensão de cada mapa à respectiva zona, assim como adaptar os seus elementos (escala, título, rodapés) sem intervenção do utilizador. Em casos específicos em que a área de abrangência da zona originava uma extensão demasiado díspar das restantes, houve necessidade de adaptar as configurações da escala gráfica.

Com a introdução de triggers na base de dados para registar a data de alteração dos espaços verdes e das respectivas zonas torna-se possível determinar quais os mapas que necessitam de ser actualizados em qualquer altura.

À parte da comodidade e rapidez na criação inicial dos mapas de zona, estima-se que a metodologia adoptada tenha permitido reduzir em cerca de 70% o tempo despendido na actualização mensal dos espaços, tarefa que era, até aqui, realizada de forma manual, zona a zona.

### 2.2. Apoio à gestão de parques infantis

A Cascais Ambiente é a responsável pela gestão e manutenção de 60% dos 88 dos parques infantis (PI) públicos do município de Cascais. No sentido de melhorar essa gestão e obter indicadores

que permitam adaptar a oferta de equipamentos à sua necessidade, realizou-se um inventário aos 88 parques infantis públicos no concelho, registando o seu estado de conservação, a entidade responsável e a sua localização. Embora a simples visualização da dispersão dos parques infantis já permitisse tirar algumas conclusões, procedeu-se a diversas análises espaciais para quantificar a dispersão dos espaços e cruzá-la com a população residente.

Todos os dados foram armazenados numa base de dados PostgreSQL, recorrendo às extensões Postgis e PgRouting para execução da análise espacial e cabendo ao QGIS as funções de edição, visualização e parte da análise espacial.

Considerou-se que a área de influência de cada equipamento abrange uma distância de acesso inferior a 400m. Assim, utilizou-se a extensão PgRouting do Postgis para efectuar análise de redes sobre a rede viária, criando polígonos com a representação dessas áreas, permitindo identificar zonas de sobreposição entre equipamentos e zonas sem acesso pedonal (a menos de 400 m) a PI's.

Em Postgis, por sobreposição das áreas de influência com a distribuição da população do concelho (INE, 2011) e tendo em consideração o estado de conservação do respectivo parque, foi possível estimar quais as zonas mais carenciadas deste tipo de equipamentos, e priorizar a recuperação de equipamentos danificados (Figura 1).

Usando o Postgis, PgRouting e o QGIS, calculou-se ainda, para todo o concelho, a distância pela rede viária ao parque infantil mais próximo. Esta análise permitiu visualizar as zonas do concelho com maior dificuldade de acesso aos parques infantis. Por sobreposição à distribuição da população no concelho (INE, 2011), foi possível distribuir a população por classes de distância aos espaços (Figura 2). Como referência, foi possível constatar que os residentes do concelho de Cascais se encontram, em média, a uma distância de 644 m de um parque infantil.

Na análise acima descrita considerou-se essencial a componente de análise de redes. A solução proprietária para esse fim obrigaria a um investimento considerável devido à necessidade de actualização do software base e à aquisição de uma nova extensão. O uso da extensão PgRouting para PostgreSQL\Postgis, permitiu executar a análise pretendida sem a necessidade de custos acrescidos. No entanto, a sua aprendizagem exigiu um maior envolvimento técnico e alguma criatividade para obter os resultados da forma desejada. Ainda assim, este facto foi atenuado pela excelente documentação disponível, tanto de PgRouting como de PostgreSQL e Postgis. Por outro lado, o facto de a análise ser executada através de scripts com comandos SQL (e não um interface gráfico), embora pareça mais complicado num primeiro contacto, torna-a facilmente adaptável e reutilizável em análises semelhantes

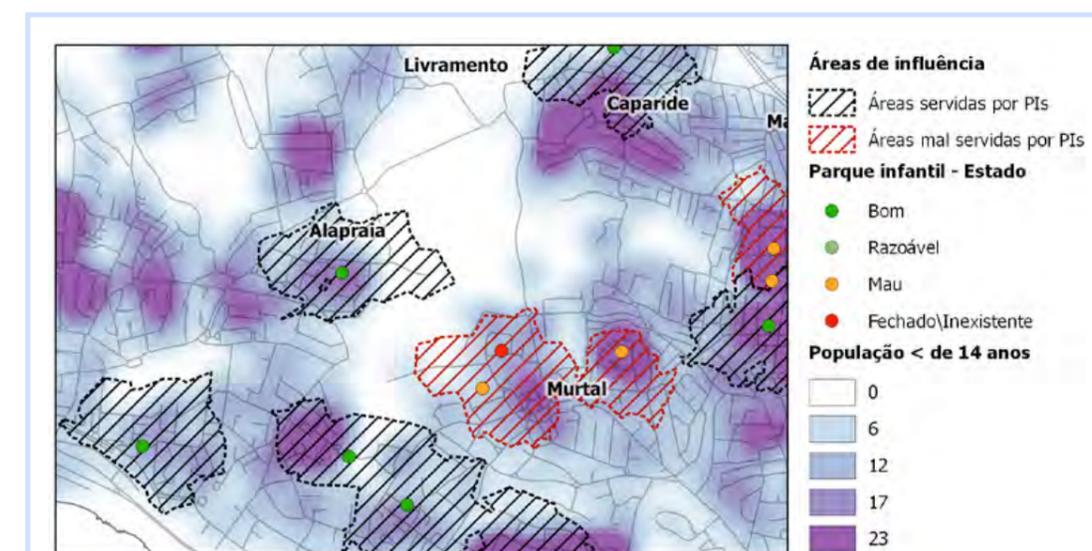


Figura 1 – Áreas de influência dos PI's sobre distribuição da população com menos de 14 anos

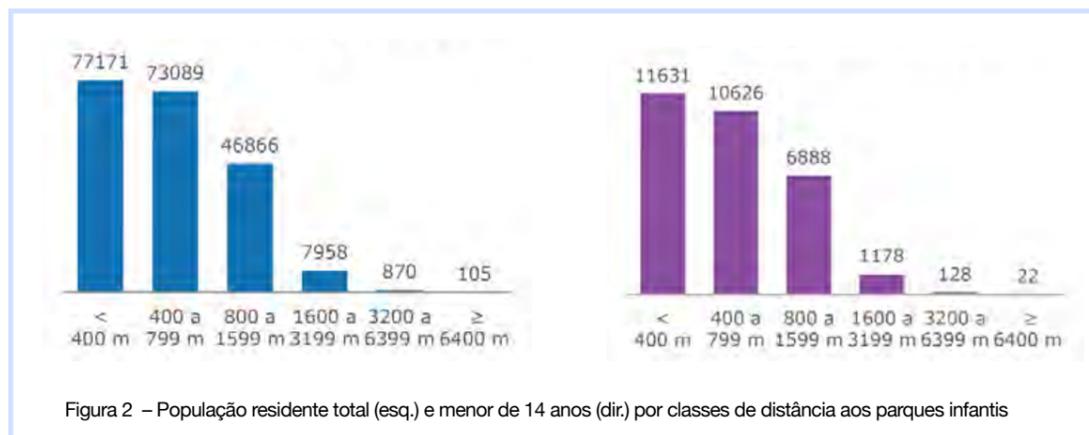


Figura 2 – População residente total (esq.) e menor de 14 anos (dir.) por classes de distância aos parques infantis

### 2.3. Cartografia de Ocupação do Solo

No âmbito da revisão do Plano Director Municipal de Cascais, foi-nos requisitada a produção de cartografia de ocupação do solo. Esta cartografia foi elaborada com base nas especificações técnicas da Carta de Ocupação/uso do Solo de Portugal Continental (IGP, 2010), adaptadas à escala municipal (escala 1/10000, unidade mínima de 0,5 ha e distância mínima entre linhas de 10m) e utilizando os 3 primeiros níveis de nomenclatura (5, 15 e 43 classes respectivamente), em conformidade com a cartografia CORINE Land Cover (EEA, 2007). A classificação das manchas foi feita por interpretação visual de fotografia aérea ortorectificada.

Para controlo de qualidade, criou-se, em QGIS, uma amostragem estratificada baseada na taxa de ocupação das classes de ocupação. Usando um receptor de GPS com o software open source gvSIG Mobile, todos os pontos de amostra foram (re)classificados no terreno (desconhecendo a classificação anteriormente atribuída). Comparando as duas classificações através do software open source de estatística R, determinou-se a exactidão temática da cartografia.

Tabela 1 – Exactidão temática da classificação.

Nível de agregação	Exactidão temática	Intervalo de confiança a 95%
Nível 1	0.9568	[0.9341, 0.9734]
Nível 2	0.8920	[0.8601, 0.9187]
Nível 3	0.7883	[0.7482, 0.8247]

Também através do R, foi possível visualizar as matrizes de confusão para cada nível de classificação e determinar o grau de exactidão temática por classe. A título de curiosidade, ao nível 3, as classes de as florestas abertas e vegetação arbustiva e herbácea (3.2.x) foram as que mais contribuíram para uma degradação da exactidão temática.

De forma a expandir a riqueza de informação obtida por esta cartografia, pretendeu-se calcular as 10 métricas da paisagem sugeridas por André Botequilha Leitão et al. (2006) para os 3 níveis de classificação. Estas métricas permitem fornecer indicadores concretos sobre a organização do território que sirvam de apoio à tomada de decisão em sede de planeamento e ordenamento do território, nomeadamente no que respeita a medidas de conservação de natureza, fortemente influenciada por questões de disponibilidade e fragmentação de habitats.

As métricas foram calculadas usando as capacidades de análise espacial do Postgis para os diferentes níveis de análise (à mancha/polígono, à classe e à totalidade da paisagem/território), nomeadamente, Patch Richness, Class Area Proportion, patch number e patch density, patch size, Patch Shape, Edge Contrast, Patch Compaction ou gyrate, Euclidean Nearest Neighbor Distance, Proximity Index e Contagion.

Embora tenha sido possível calcular todas as métricas propostas, este procedimento não foi isento de dificuldades. Em primeiro lugar, o formato nativo dos dados (vectorial) dificultou o cálculo de algumas métricas (por exemplo o gyrate) que, na sua essência de cálculo, pressupõe um formato de dados matricial. Em segundo lugar, o desenho inicial das consultas SQL levantou problemas de performance, sendo, em alguns casos, necessárias horas para completar o cálculo de uma só métrica ao nível 3, tendo sido melhoradas progressivamente.

O objectivo do cálculo das métricas de paisagem visava permitir antever as implicações na paisagem de propostas de alterações ao uso do solo. As limitações anteriormente descritas ainda não nos possibilitaram fazê-lo de forma instantânea, mas cremos que existe margem técnica e conceptual para melhorias significativas, eventualmente pela introdução de soluções de pré-processamento ou por abordagens diferentes usando as (agora disponíveis) capacidades de análise matricial e topologia em Postgis.

Ainda assim, o uso do software open source demonstrou mais uma vez ser adequado à tarefa proposta. A interoperabilidade dos dados e a facilidade de comunicação entre os vários softwares teve um papel muito relevante permitindo executar tarefas específicas nos softwares mais adequados (e.g., o uso do R), sem a necessidade de conversão e duplicação de dados. Como nos casos anteriores, o facto de a análise ser realizada em scripts SQL, torna-a facilmente adaptável e reutilizável noutros contextos ou áreas geográficas.

### 2.4. Base de dados espaciais e interface para plano de gestão de habitat e paisagem

Na vertente natural do concelho (que representa cerca de 50% do município de Cascais) são anualmente planeadas e executadas diversas acções de conservação de natureza. Estas acções são realizadas ao abrigo de diversos programas, com diferentes responsáveis e incidindo por vezes sobre o mesmo território. Posto isto, surgiu a necessidade de ter uma ferramenta que permitisse organizar e coordenar as acções. Dada a forte componente espacial, decidiu-se desenvolver uma base de dados espaciais com respectivo interface gráfico que permitisse aos vários responsáveis pelos projectos planear, consultar e registar as suas acções.

A nível conceptual, no território são identificadas macro unidades, as unidades territoriais, que representam áreas ou projectos geridos pela Cascais Ambiente (e.g., Parque de Natureza da Quinta do Pisão). Essas áreas são posteriormente divididas em subunidades homogêneas mais pequenas, as unidades de gestão. Para cada unidade de gestão é identificada a ocupação actual e a proposta de ocupação futura, sendo-lhes posteriormente atribuídas, devidamente datadas, todas as acções que se preconizam para atingir o objectivo proposto. Também as infra-estruturas (sinalização, controlo de acessos, edifícios,...) dessas unidades territoriais são georreferenciadas, mantendo-se o registo do seu estado de conservação, assim como as medidas de acção a realizar.

Em termos técnicos, a estrutura de dados foi criada numa base de dados relacional Postgres/Postgis, de forma a possibilitar a edição simultânea por vários utilizadores, mas também a garantir a integridade e segurança dos dados. Assim, para além do uso de várias restrições nos dados, foi criado um sistema de controlo de versões que permitisse registar todas as alterações executadas por cada utilizador e possibilitasse, em caso de necessidade, recuperar o estado da base de dados a dada altura do tempo.

Para edição, visualização e impressão da informação, foi criado um projecto QGIS que é partilhado na rede. O QGIS permitiu criar, para cada camada de informação, formulários com widgets (e.g., listas de valores e calendários) para introdução e actualização dos dados de uma forma prática e evitando erros. Todas as propriedades de cada camada, incluindo a sua simbologia, foram gravadas na própria base de dados de forma a poderem ser usadas individualmente noutros projectos QGIS.

Tecnicamente, um dos desafios que surgiu foi gerir dados com tipos de geometria diferentes embora com objectivos conceptuais idênticos. Por exemplo, unidades de gestão representadas por polígonos e por linhas. Desafio superado de forma elegante através do conceito de herança de tabelas (inheritance) do PostgreSQL, que permite que tabelas herdem atributos de outras. No exemplo anterior, a tabela mãe (e.g. unidadesgestao) detém todos os atributos dos elementos à excepção das restrições à geometria, que é imposta apenas nas tabelas filhas (unidadesgestao\_linhas e unidadesgestao\_poligonos). Através de regras e triggers, quando através do interface gráfico (neste caso o QGIS) se tenta

escrever na tabela principal, os registos são devidamente encaminhados para a tabela adequada ao tipo de geometria.

O uso do open source permitiu, sem custos financeiros, criar um sistema de base de dados espaciais robusto o suficiente para permitir a edição simultânea a vários utilizadores, com um interface simples e garantindo a segurança e coerência dos dados.

### 3. CONCLUSÕES

Na maioria dos casos, o software open source utilizado demonstrou ter funcionalidades, estabilidade e performance adequada às necessidades por nós impostas.

Com a adopção de software open source para SIG, foi-nos possível disseminar a informação geográfica pela empresa e disponibilizar ferramentas de sistemas de informação geográfica adequados a todos os colaboradores que delas necessitassem. Permitiu-nos também iniciar um processo de organização dos dados espaciais num sistema de armazenamento único, rápido e acessível a todos, com backups e controlo de acessos para evitar a perda de informação.

Para além dos objectivos iniciais propostos, o uso de várias soluções open source permitiu ultrapassar limitações que tínhamos ao nível das análises espaciais e estatísticas que não estavam disponíveis no software proprietário que detínhamos licenças, como por exemplo a análise de redes e a análise estatística.

Não havendo necessidade de investir em licenças e em contractos de manutenção, a verba (ou uma fracção da mesma) pode ser usada em melhorias no hardware (servidores ou desktop) ou na formação dos utilizadores.

#### REFERÊNCIAS

European Environment Agency (2007). CLC2006 technical guidelines. URL: [http://www.eea.europa.eu/publications/technical\\_report\\_2007\\_17](http://www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2007_17) (consultado em 2014.04.21)

Instituto Geográfico Português (2010). Carta de Uso e Ocupação do Solo para Portugal Continental para 2007 (COS2007) – Memória descritiva. URL: [http://www.igeo.pt/nivel/memoria\\_descritiva\\_cos2007.pdf](http://www.igeo.pt/nivel/memoria_descritiva_cos2007.pdf) (consultado em 2014.04.21)

Instituto Nacional de Estatística (2011). Censos 2011 Resultados Definitivos – Portugal. Lisboa. URL: <http://www.ine.pt> (consultado em 2014.05.20)

Leitão, A. B., Miller, J., Ahern, J. MacGarigal, K. (2006). Measuring Landscapes – A Planner's Handbook. Washington. Island Press.

Site do projecto PgRouting. URL: <http://pgrouting.org/> (consultado em 2014.04.21)

Site do projecto Postgis. URL: <http://postgis.refractor.net/> (consultado em 2014.04.21)

Site do projecto PostgreSQL. URL: <http://www.postgresql.org/> (consultado em 2014.04.21)

Site do projecto QGIS. URL: <http://www.qgis.org> (consultado em 2014.04.21)

Site do projecto R. URL: <http://www.r-project.org/> (consultado em 2014.04.21)

Site do projecto gvSIG Mobile (2014) URL: <http://www.gvsig.org/web/projects/gvsig-mobile> (consultado em 2014.04.21)

#### CONTACTO

[alexandre.neto@cascaisambiente.pt](mailto:alexandre.neto@cascaisambiente.pt)

## HEAT-APP! UMA REDE SOCIAL MÓVEL PARA COMPREENDER AS CIDADES

André SÁ<sup>1,3</sup> e Sandro BATISTA<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> ESTG, Instituto Politécnico da Guarda

<sup>2</sup> FOCUS BC

<sup>3</sup> heat-app

RESUMO: “We are at the point where, between the geolocation capability of the phone and the power of the phone’s browser platform, it is possible to deliver personalized information about where you are, what you could do there right now, and so forth – and to deliver such a service at scale” (Eric Schmidt, CEO Google). A crescente procura por parte dos utilizadores em obter informação localizada em tempo real tem ditado tendências no mercado/desenvolvimento das aplicações para dispositivos móveis. A heat é uma nova aplicação que pretende ir ao encontro das necessidades do utilizador padrão de dispositivos móveis. A heat oferece uma experiência inovadora na exploração dos locais, baseada numa rede social onde a contribuição dos vários utilizadores é agregada e utilizada na criação de mapas de calor representativos da dinâmica dos espaços. O conhecimento e caracterização dos espaços e exploração dos mesmos, de acordo com os interesses do utilizador dá a capacidade de geodecidir. Pretende-se com este artigo espelhar as tendências das novas aplicações para dispositivos móveis e a relação com a Geodecisão.

**Palavras-chave:** Web-location, heatmaps, dispositivos móveis, rede social

#### CONTACTOS

André SÁ: [andre\\_sa@ipg.pt](mailto:andre_sa@ipg.pt)

Sandro BATISTA: [sandro.batista@gmail.com](mailto:sandro.batista@gmail.com)

Contactos relacionados com heat-app:

[info@heat-app.com](mailto:info@heat-app.com)

## TENDÊNCIAS DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Rui SANTOS

Esri Portugal – Sistemas e Informação Geográfica S.A.

**RESUMO:** As tendências SIG e tópicos relacionados são disponibilizados pela Esri para informar os seus utilizadores e a comunidade SIG sobre a sua visão e como são/irão ser incluídas nas suas soluções. Iremos focar-nos nos seguintes tópicos: SIG 3D – Visualize o mundo da forma que é suposto em três dimensões; Grandes volumes de dados – Visualização e análise espacial levam a melhores resultados de negócios; SIG na web – Alargue o alcance do seu SIG; Realidade Aumentada – Dados da ciência dos SIG encontram-se com o mundo real; GeoDesign – Encontro da ciência geográfica e do design; SIG para Mobilidade – torne a sua força de trabalho de campo mais eficiente; GIS e CAD – Ligação entre tecnologias complementares; Código Aberto – Suporte de modelos híbridos; Jogos – a interação de SIG e jogos de vídeo; Cartografia – Crie mapas de grande qualidade para impressão e publicação na web; Standards e Interoperabilidade – Plataforma aberta e tecnologia de suporte.

**Palavras-chave:** Tendências SIG, SIG 3D, Grandes volumes de dados, SIG na web, SIG para Mobilidade, Standards e Interoperabilidade.

**ABSTRACT:** GIS trends and topics are available from Esri to inform their users and the GIS Community about their vision and how they are/will include them in their solutions. We will focus on the following topics: 3D GIS - Visualize the world the way it was meant to be-in three dimensions; Big Data - Geospatial visualization and analysis drive better business outcomes; Web GIS - Extend the reach of your GIS; Augmented Reality - GIS data science meets the real world; Geodesign – Geographic science meets design; Mobile GIS - Making the mobile workforce more efficient; GIS and CAD - Linking complementary technologies; Open Source - Supporting a hybrid mode; Gaming - The intersection of GIS and video games; Mapping - Create high-quality printed and Web maps; Standards and Interoperability - Open platform and technology support.

**Keywords:** GIS Trends, 3D GIS, BIG Data, Web GIS, Mobile GIS, Standards and Interoperability.

### Agradecimentos

À Esri Portugal por me permitir participar na Conferência Nacional de Geodesição. Ao meu colega António Marques, pela constante partilha de novidades e esclarecimentos de dúvidas.

### REFERÊNCIAS

Esri Inc. (2013). GIS Trends and Topics at URL: <http://www.esri.com/products/technology-topics> (consultado a 2014-05-06).

Oliveira, T. et al. (2013). Desenvolvimento de um Plano de Emergência para Lisboa, na eventualidade de um ataque Zombie! Apresentação proferida no 11.º Encontro de utilizadores Esri Portugal. [http://www.esriportugal.pt/files/8313/7226/6297/06\\_EUE2013\\_S3\\_UNL-ISEGI\\_TiagoOliveira.pdf](http://www.esriportugal.pt/files/8313/7226/6297/06_EUE2013_S3_UNL-ISEGI_TiagoOliveira.pdf) (consultado a 2014-05-06).

### CONTACTO

Rui SANTOS: [rui.santos@esri-portugal.pt](mailto:rui.santos@esri-portugal.pt)

## IDENTIFICAÇÃO DO POTENCIAL RENOVÁVEL URBANO PARA PRODUÇÃO DE ELECTRICIDADE

Teresa SIMÕES<sup>1</sup>, Ana ESTANQUEIRO<sup>1</sup>, J. MAIA ALVES<sup>2</sup>

<sup>1</sup>LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P.

<sup>2</sup>Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, SESUL

**RESUMO:** O reconhecimento do impacto da actividade humana no aquecimento global do planeta conduziu, nos últimos anos, ao lançamento de várias iniciativas nacionais e europeias com vista à redução das emissões de gases promotores de efeito de estufa, bem como da dependência de combustíveis fósseis. A preocupação em tornar mais eficiente a utilização de energia em geral, e da energia eléctrica em particular, tem conduzido à procura de novas soluções para a geração de energia e à adopção de medidas com vista à sensibilização das sociedades para a utilização eficiente dos recursos, incluindo os energéticos. Neste contexto, surgiram nos anos mais recentes conceitos tais como, Cidades Inteligentes e Cidades Sustentáveis, os quais recorrem, de forma natural, a sistemas de energias renováveis para produção de electricidade. O desenvolvimento do conceito de Cidades Inteligentes não foi, contudo, acompanhado do necessário desenvolvimento e disponibilização de metodologias de caracterização e quantificação do potencial energético dos recursos renováveis nas cidades, por forma a promover uma gestão e planeamento adequados dos recursos existentes e o desejável desenvolvimento urbano sustentável. Este trabalho apresenta uma metodologia baseada em tecnologias de informação geográfica que permite a quantificação do potencial renovável existente em meio urbano para a produção de electricidade (eólico e solar fotovoltaico). A metodologia desenvolvida foi aplicada a dois casos de estudo tendo os resultados permitido identificar, de forma simples e estruturada, os locais nas áreas urbanas que apresentam indicadores favoráveis à instalação de sistemas de produção de electricidade a partir de sistemas de microgeração renovável. Este trabalho pretende dar uma contribuição para o futuro planeamento do aproveitamento de energias renováveis em áreas urbanas e construídas num contexto de Cidades Inteligentes.

**Palavras-chave:** ‘SIG’, ‘Energias renováveis’, ‘Geodesição’, ‘Cidades inteligentes’.

**ABSTRACT:** The concern for more efficient electricity use, has motivated the appearance of concepts such as Smart Cities and Sustainable Cities, which naturally lead to the use of renewable energy systems for electricity production. In this context, the need to identify the renewable potential in urban areas in a simple and structured way has motivated the development of a GIS methodology for this purpose. This paper presents a methodology that allows the quantification of the renewable potential in existing urban areas for the production of electricity (wind and PV) and its application to two case studies.

**Keywords:** ‘GIS’, ‘Renewable Energies’, ‘Geodesion’, ‘Smart cities’.

### 1. INTRODUÇÃO

De acordo com as Nações Unidas, hoje em dia metade da população mundial vive em cidades onde uma parte significativa da energia é usada para aquecimento ou arrefecimento dos espaços habitacionais, transporte de bens essenciais e pessoas e alimentação de equipamentos utilitários eléctricos. O aumento da eficiência dos processos de produção e utilização de energia, com particular incidência nas cidades, bem como o uso generalizado de energias renováveis, são assim consideradas imprescindíveis para mitigar os efeitos do sector energético no aquecimento global. As cidades utilizam uma elevada quantidade de energia, exigindo para si mais de 75% da produção

de energia mundial e gerando cerca de 80% dos gases promotores de efeito de estufa à escala global. É neste contexto que surge o conceito de Cidade Inteligente, o qual corresponde a uma comunidade de dimensão tecnológica média, interligada e sustentável, confortável, atractiva e segura, e capaz de gerir a utilização de recursos da forma mais eficiente. A optimização dos recursos endógenos disponíveis, a utilização de novos recursos e também a realização de novos investimentos, aliadas aos conceitos de reutilização e reciclagem de matérias-primas, constituem as bases fundamentais para se atingir em pleno o modelo de Cidade Inteligente. Batagan [2012] refere que as cidades que implementaram soluções inteligentes tiveram em vista, como principal objectivo, o melhoramento da vida quotidiana dos seus habitantes. Nos casos estudados por Batagan [2012] desenvolveram-se várias iniciativas, entre as quais se salientam: a aposta na investigação e no desenvolvimento científico e tecnológico e a redução das emissões de gases promotores de efeito de estufa aumentando a quota de energias renováveis na utilização final de energia, conseguindo assim, uma maior eficiência energética global do sistema. No contexto de Cidades Inteligentes e do incentivo ao uso de sistemas de aproveitamento de energias renováveis de escala doméstica (i.e. microgeração) torna-se necessário desenvolver ferramentas de planeamento da instalação destes sistemas, que permitam a quantificação dos recursos renováveis mais relevantes à escala urbana.

O presente trabalho pretende contribuir para a disseminação do conceito de Cidades Inteligentes, concretamente através do desenvolvimento de uma ferramenta que permita a quantificação dos recursos renováveis mais relevantes para a produção de electricidade em ambiente urbano, i.e. os recursos eólico e solar (para aplicações fotovoltaicas). Neste contexto, é apresentada uma metodologia para a identificação do potencial renovável disponível em meios urbanos tendo como base ferramentas simples de informação geográfica. Os resultados obtidos são ilustrados em dois casos de estudo.

## 2. METODOLOGIA DE IDENTIFICAÇÃO DO POTENCIAL RENOVÁVEL URBANO PARA PRODUÇÃO DE ELECTRICIDADE

A metodologia desenvolvida assenta na utilização de um sistema de informação geográfica (SIG) onde se construíram ferramentas para a automatização dos procedimentos necessários à identificação e quantificação do potencial renovável urbano. Nos subcapítulos que se seguem, apresenta-se uma descrição da metodologia desenvolvida para cada tecnologia renovável. No caso presente importa tratar as fontes renováveis para produção de electricidade mais relevantes do ponto de vista das cidades – Energia Eólica e Energia Solar Fotovoltaica. As ferramentas foram desenvolvidas em SIG de forma a permitir uma maior interactividade com o utilizador, permitindo a variação dos dados de entrada e dos parâmetros de selecção de pontos de interesse, tornando assim, o processo de obtenção de resultados mais optimizado. O sistema de informação geográfica seleccionado para este trabalho foi o ArcGIS [ESRI, 2012] desenvolvido pela ESRI tendo-se recorrido ao programa Model Builder [ESRI, 2010] aí incluído para desenvolvimento das ferramentas de análise e obtenção de resultados.

### 2.1. Quantificação do Potencial Eólico Urbano

A quantificação do potencial eólico é efectuada com recurso a um sistema de informação geográfica onde são introduzidos diversos tipos de informação, entre os quais o mapeamento do potencial eólico da zona urbana de interesse. Este mapeamento pode ser obtido de diversas formas, tendo o aqui utilizado sido obtido com recurso a um modelo de microescala de base numérica (CFD) e utilizando a descrição do terreno e malha urbana através de um modelo digital de superfície [Simões et al, 2009] com resolução de 4 x 4m.

O modelo digital de superfície foi desenvolvido com base num modelo digital de terreno obtido com base em informação de satélite [USGS, 2014] e na descrição da malha urbana (polígonos dos edifícios e respectivas cotas de cobertura), tendo como objectivo a integração dos edifícios no terreno urbano e área envolvente. Como resultado obteve-se um modelo de superfície que integra

as descrições do terreno e dos edifícios. Este modelo de superfície foi então simulado com base num modelo de avaliação do potencial eólico de base CFD (Computational Fluid Dynamics) sendo tratado como terreno muito complexo. Os dados de vento utilizados no modelo simulação foram obtidos no Atlas do Potencial Eólico de Portugal continental [Costa et al, 2006] para uma altura de 10m. O Atlas permite a obtenção de vários conjuntos de dados em diversos pontos incluídos na área a estudar de forma a garantir uma boa representatividade espacial. Para a quantificação do potencial eólico urbano, para além do mapeamento do potencial eólico nas suas variáveis velocidade média e fluxo de potência incidente, é necessário introduzir no sistema de informação geográfica as variáveis geometria dos edifícios e descrição do terreno envolvente.

No que diz respeito aos parâmetros do vento, há que definir os limites mínimos para a viabilidade da instalação de turbinas eólicas de pequena capacidade. Neste caso, considerou-se importante seleccionar como parâmetros condicionantes a velocidade média anual do vento e o fluxo de potência incidente. Os valores limites foram estabelecidos tendo em conta o factor de capacidade padrão de uma turbina eólica, cujo valor se situa entre 10% e 20% [Trust, 2008]. Neste caso assumiu-se um valor médio de igual a 15%, o qual corresponde, em média, à produção de uma turbina eólica à potência nominal durante 1300h anuais. Este valor corresponde aproximadamente a uma velocidade média anual da ordem de 5.0 m/s e um valor de fluxo de potência incidente da ordem de 130W/m<sup>2</sup>. Da mesma forma, Weis e Ilinca [2010] referem igualmente este valor para h=30m, muito embora refiram que pode ser insuficiente do ponto de vista económico. No entanto, dado que no caso presente, os mapeamentos do potencial eólico são obtidos para h=10m, considera-se que 5.0 m/s é um valor adequado para ambiente urbano, tendo assim, sido considerado como valor mínimo. A selecção de pontos de interesse é efectuada sobre os mapeamentos através da aplicação de operações de álgebra de mapas e da reclassificação dos mapeamentos do potencial eólico (equações (1) e (2):

$$\text{Se } v_i \geq 5.0 \frac{m}{s}; \xrightarrow{\text{reclassificação}} v_{i,rec} = 1; \text{senão } v_{i,rec} = 0; \quad (1)$$

$$\text{Se } FPI_i \geq 130 \frac{W}{m^2}; \xrightarrow{\text{reclassificação}} FPI_{i,rec} = 1; \text{senão } FPI_{i,rec} = 0; \quad (2)$$

onde  $v_i$  e  $FPI_i$  representam os valores de velocidade e fluxo de potência incidente dos mapeamentos correspondentes e  $v_{i,rec}$  e  $FPI_{i,rec}$  os mesmos valores após reclassificação. Os mapeamentos reclassificados são posteriormente multiplicados obtendo-se um mapa intermédio. A área ocupada pelos pontos que obedecem às condições impostas vai permitir quantificar o potencial eólico disponível da região em análise. Para tal é definida uma área mínima de controlo que depende da tecnologia a instalar, em particular do diâmetro do rotor da turbina de referência, e do número de diâmetros de espaçamento entre cada turbina a instalar. Esta área mínima corresponde à área de um quadrado cujos lados têm o comprimento igual ao n° de diâmetros de espaçamento entre cada turbina na direcção normal e paralela ao escoamento dominante (equação (3)).

$$A_{min} = (N_1 \times D) \times (N_2 \times D); \quad (3)$$

onde  $A_{min}$  é a área mínima a considerar,  $D$  é o diâmetro da turbina seleccionada e  $N_1$  e  $N_2$  são o número de diâmetros considerado mínimo para espaçamento inter-turbina nas direcções normal e paralela ao escoamento dominante, respectivamente. O potencial eólico disponível é dado pela equação (4).

$$Pot_{disp} = \frac{A_{tot} \times Pot_{WT}}{A_{min}}; \quad (4)$$

onde  $Pot_{disp}$  é o potencial disponível da área estudada (em kW),  $A_{tot}$  é a área total ocupada pelos pontos que obedecem a todas as condições impostas e  $Pot_{WT}$  é a potência nominal do modelo de turbina que serviu de referência ao estudo.

## 2.2. Quantificação do Potencial Solar Fotovoltaico

O procedimento para a componente solar é semelhante ao da componente eólica. Neste caso o mapeamento do potencial solar foi efectuado com recurso a uma ferramenta incluída no SIG seleccionado, que permite estimar e mapear a radiação solar global numa dada área geográfica. Para tal, recorre ao modelo digital de superfície da área geográfica em análise e utiliza a informação referente à latitude onde se insere, bem como a outras variáveis de entrada que o utilizador pode introduzir (e.g. percentagem de radiação difusa). A quantificação do potencial solar fotovoltaico (PV) pode ser efectuada de várias formas, sendo factor comum a área disponível para instalação de sistemas de aproveitamento solar para produção de electricidade. Tendo como base o mapeamento do potencial solar numa dada área urbana, é possível estabelecer condições para a determinação de pontos adequados ao aproveitamento fotovoltaico. Ao contrário do caso da tecnologia eólica, a área disponível para dispor os painéis fotovoltaicos configura-se da maior importância para a determinação do potencial solar fotovoltaico disponível. Por outro lado, a distribuição espacial dos painéis fotovoltaicos será afectada pelo sombreamento induzido pelo edificado, que deve estar presente no mapeamento utilizado, e ainda pela inclinação dos telhados onde serão instalados os sistemas PV. No caso presente pretende-se efectuar uma avaliação do potencial solar fotovoltaico global considerando a máxima ocupação do espaço disponível, pelo que se optou por utilizar a simplificação de admitir que este valor pode ser calculado considerando a insolação na horizontal sobre a totalidade da área disponível [Brito et al, 2012].

Como valores limite para a selecção de áreas de interesse, considerou-se um valor mínimo de irradiação igual a 1.54 MWh/m<sup>2</sup>/ano e uma área mínima de ocupação dos painéis solares fotovoltaicos igual a 29m<sup>2</sup>. O valor mínimo de irradiação foi seleccionado tendo como base o valor mínimo para um ano padrão em Portugal continental de acordo com a base de dados PVGIS [Suri, et al., 2007]. O valor mínimo da área ocupada por um painel PV foi estimado com base na ocupação de um sistema típico de 3.64kW onde se descontou 10% de ocupação para outros usos. Estas condições são aplicadas ao mapeamento da irradiação na área em análise sendo o procedimento semelhante ao apresentado para o caso da tecnologia eólica. Neste caso só é contabilizada a área ocupada pelos edifícios uma vez que a introdução das fachadas traria complexidade acrescida à metodologia aqui desenvolvida, a qual se pretende de aplicação simples. As equações (5) e (6) descrevem o processo aplicado.

$$P_{to_{disp}} \equiv Irr > 1.54 \text{ [MWh/m}^2\text{/ano]} \text{ e } A_{min-roof} > 29 \text{ [m}^2\text{]} ; \quad (5)$$

onde  $P_{to_{disp}}$  é o ponto que obedece às condições impostas (ponto “disponível”),  $Irr$  é a irradiação no ponto e  $A_{min-roof}$  é a área mínima da cobertura de um edifício considerada para a instalação dos painéis fotovoltaicos. A área total corresponde à área ocupada por todos os pontos que obedecem às condições impostas reduzida de 10%, de forma a considerar a presença de eventuais obstáculos presentes nas coberturas (e.g., antenas, aparelhos de ar condicionado, chaminés ou outras estruturas de dimensão reduzida). A potência fotovoltaica que tipicamente se poderá obter a partir desta área utilizando a tecnologia dominante, correspondente a mais de 85% do mercado, ou seja, a tecnologia de silício cristalino, será dada por:

$$A_{tot} = \sum_{i=1}^N A_{pol_i} \times 0.90 ; P_{PV} = 1000 \times A_{tot} \times \eta_{painel} \times \eta_{sistema} ; \quad (6)$$

onde  $A_{tot}$  é a área de cada polígono formado pelos pontos seleccionados,  $P_{PV}$  é a potência disponível (em W),  $\eta_{painel}$  representa a eficiência do painel fotovoltaico, e  $\eta_{sistema}$  representa a eficiência do resto do sistema fotovoltaico (cablagem, inversor, etc.). Para a tecnologia de silício cristalino as eficiências em questão são tipicamente da ordem de 15% para os painéis, e de 75% para o restante sistema. O potencial solar fotovoltaico disponível é dado pela equação (7) onde  $A_{tot}$  se refere neste caso à área mínima ocupada por um painel PV e  $P_{PV}$ , corresponde à potência nominal do painel PV.

$$Pot_{disp} = \frac{A_{tot} \times P_{PV}}{A_{min}} . \quad (7)$$

## 2.3. Quantificação do Potencial Renovável Integrado

Foi ainda desenvolvida uma metodologia para determinação do potencial renovável integrado (eólico + solar fotovoltaico) numa perspectiva da partilha de espaços entre ambas as tecnologias. Neste caso optou-se por considerar uma redução de 10% da área de interesse comum a qual se refere à “reserva” do espaço para a não interferência de uma tecnologia na outra. Neste caso o potencial solar fotovoltaico permanecerá quase inalterado, uma vez que no seu cálculo, já foi aplicada uma redução de 10% para outros usos à área disponível. Os procedimentos a seguir passam pela aplicação das equações (8) e (9) a cada ponto dos mapeamentos do potencial renovável, no caso dos mapeamentos do potencial eólico e no caso dos mapeamentos do potencial solar:

$$p_{i,eólica} = \begin{cases} 1, & \text{Se } p_{i,eólica} \in \{E\} \\ 0, & \text{Se } p_{i,eólica} \notin \{E\} \end{cases} ; p_{i,solar} = \begin{cases} 2, & \text{Se } p_{i,solar} \in \{S\} \\ 0, & \text{Se } p_{i,solar} \notin \{S\} \end{cases} ; \quad (8)$$

$$p_{i,total} = p_{i,eólica} + p_{i,solar} ; \quad (9)$$

onde  $E$  e  $S$  representam os conjuntos que incluem os parâmetros definidos como limites mínimos adequados aos aproveitamentos eólico e solar fotovoltaico, respectivamente. O potencial renovável integrado é dado pela equação (10).

$$P_{disp_{E+S}} = \left[ \left( \frac{(A_3 \times 0.90) + A_1}{A_{tec,E}} \times P_{nom,E} \right) + \left( \frac{(A_3 + A_2) \times 0.90}{A_{tec,PV}} \times P_{nom,PV} \right) \right] ; \quad (10)$$

onde  $P_{disp_{E+S}}$  é o potencial disponível eólico e solar fotovoltaico;  $A_1$  é a área ocupada pelos pontos onde ambas as tecnologias apresentam potencial adequado;  $A_2$  é a área ocupada pelos pontos com potencial solar adequado e  $A_3$  é a área ocupada pelos pontos com potencial eólico adequado.  $P_{nom,E}$  e  $P_{nom,PV}$  são respectivamente as áreas ocupadas por uma turbina eólica e por um painel PV.  $e$  e  $s$  representam a potência nominal da turbina e do painel PV seleccionados, respectivamente.

## 3. POTENCIAL RENOVÁVEL URBANO – CASOS DE ESTUDO

Para demonstrar a metodologia desenvolvida, foram seleccionadas duas áreas urbanas, ambas situadas no concelho de Cascais – freguesia de Estoril e freguesia de São Domingos de Rana – para as quais foi possível obter a descrição da malha urbana e do terreno envolvente. Com esta informação foi possível construir uma superfície de cotas representando os edifícios sobre o terreno existente, a qual permitiu obter mapeamentos bastante precisos do potencial eólico e solar da região [Simões et al, 2009]. A figura 1 representa a maquete digital do concelho de Cascais da qual foram extraídas as zonas urbanas aqui estudadas.

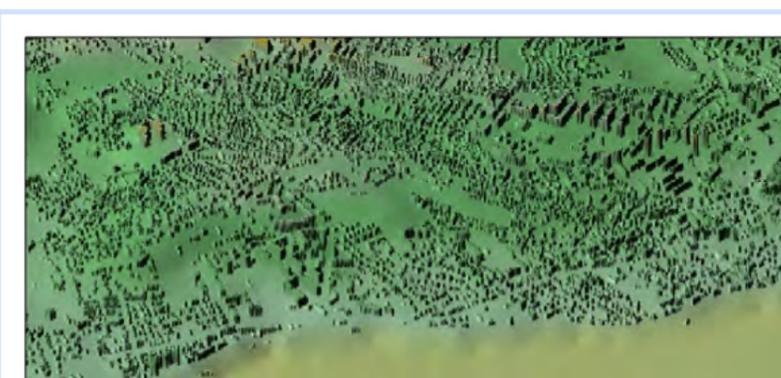


Figura 1 – Excerto da maquete digital da malha urbana (edifícios + terreno envolvente).

A título ilustrativo apresentam-se nas figuras 2 e 3 os mapeamentos do potencial eólico (para h=10m acima da superfície gerada – modelo digital de superfície) e solar (à superfície) utilizados como base para a selecção das áreas de interesse para as freguesias de Estoril e São Domingos de Rana.

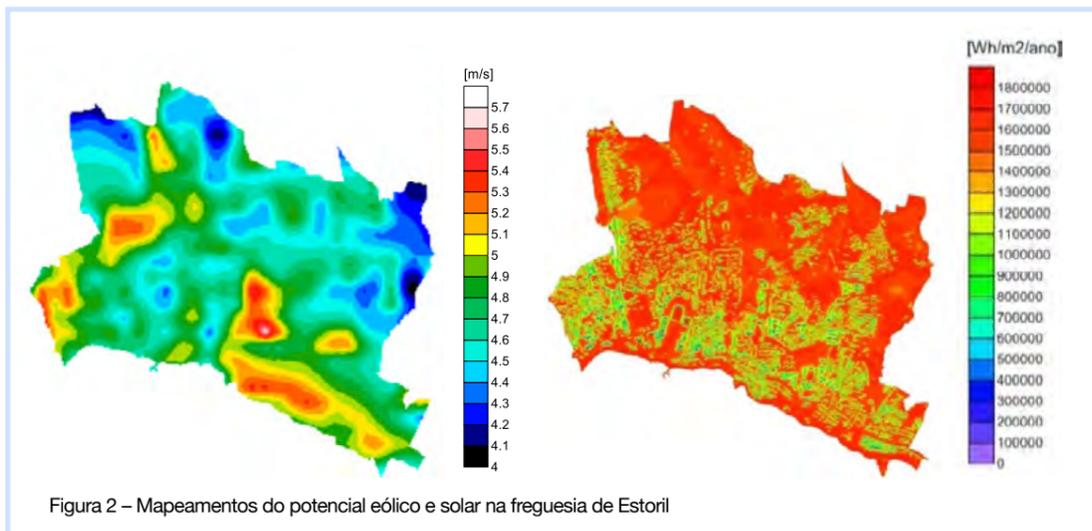


Figura 2 – Mapeamentos do potencial eólico e solar na freguesia de Estoril

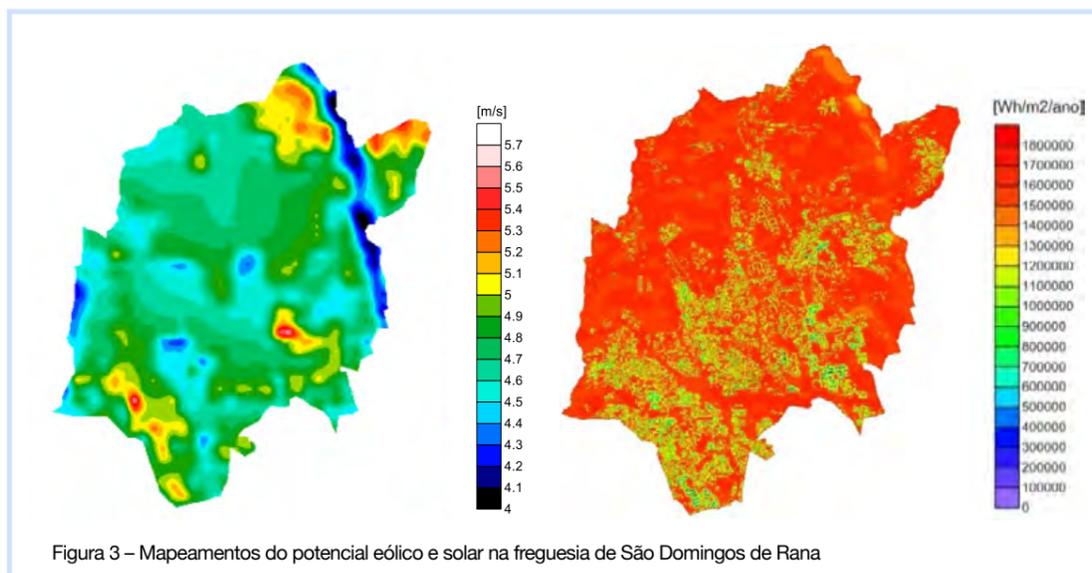


Figura 3 – Mapeamentos do potencial eólico e solar na freguesia de São Domingos de Rana

O cálculo do potencial eólico disponível foi feito tendo em conta uma turbina padrão com 3.72m de diâmetro e 2.4kW de potência nominal, tendo-se considerado um espaçamento entre turbinas igual a 5 diâmetros. No caso do potencial solar fotovoltaico, considerou-se um modelo padrão de silício cristalino com 170W de potência nominal e 1.26m<sup>2</sup> de área. A tabela 1 apresenta os resultados obtidos após aplicação da metodologia desenvolvida.

Tabela 1 – Resultados obtidos para as freguesias de Estoril e São Domingos de Rana após aplicação da metodologia desenvolvida.

Freguesia	Potencial Eólico disponível [MW]	Potencial solar fotovoltaico disponível [MW]	Potencial Renovável Integrado [MW]
Estoril	11.152	45.670	56.770
S. D. Rana	3.749	100.455	103.801

Analisando os resultados apresentados na tabela 1, pode ver-se que as duas zonas urbanas apresentam resultados contrários no que respeita ao potencial eólico e solar. A freguesia de Estoril apresenta maior potencial eólico e menor potencial solar, verificando-se o contrário na freguesia de São Domingos de Rana. No que respeita ao potencial eólico, a freguesia de Estoril apresenta mais pontos com potencial adequado do que a freguesia de São Domingos de Rana (figura 4) reflectindo-se num maior potencial eólico disponível. No que respeita ao potencial solar, este depende fortemente da área disponível uma vez que de uma forma geral, a maioria dos edifícios apresenta potencial solar adequado. Sendo a freguesia de São Domingos de Rana de maior dimensão em termos de área do que a freguesia de Estoril, o resultado reflecte-se num maior potencial solar fotovoltaico disponível. A tabela 2 apresenta as áreas totais e disponíveis das duas freguesias em análise.

Tabela 2 – Áreas totais e disponíveis correspondentes às freguesias de Estoril e São Domingos de Rana.

Freguesia	Área total [m <sup>2</sup> ]	Área disponível Eólica [m <sup>2</sup> ]	Área disponível Solar [m <sup>2</sup> ]	Área disponível comum [m <sup>2</sup> ]
Estoril	8891376	1607856	376112	78768
S. D. Rana	20442544	540544	827280	36288

A Figura 4 e a Figura 5 apresentam os mapeamentos obtidos após aplicação da metodologia representando os pontos de interesse resultantes. Para melhor entendimento do recurso energético existente nos pontos seleccionados, as figuras apresentam os pontos de interesse representados por intermédio de variáveis de recurso energético, i.e., velocidade média anual no caso do potencial eólico e irradiação anual no caso do potencial solar fotovoltaico.

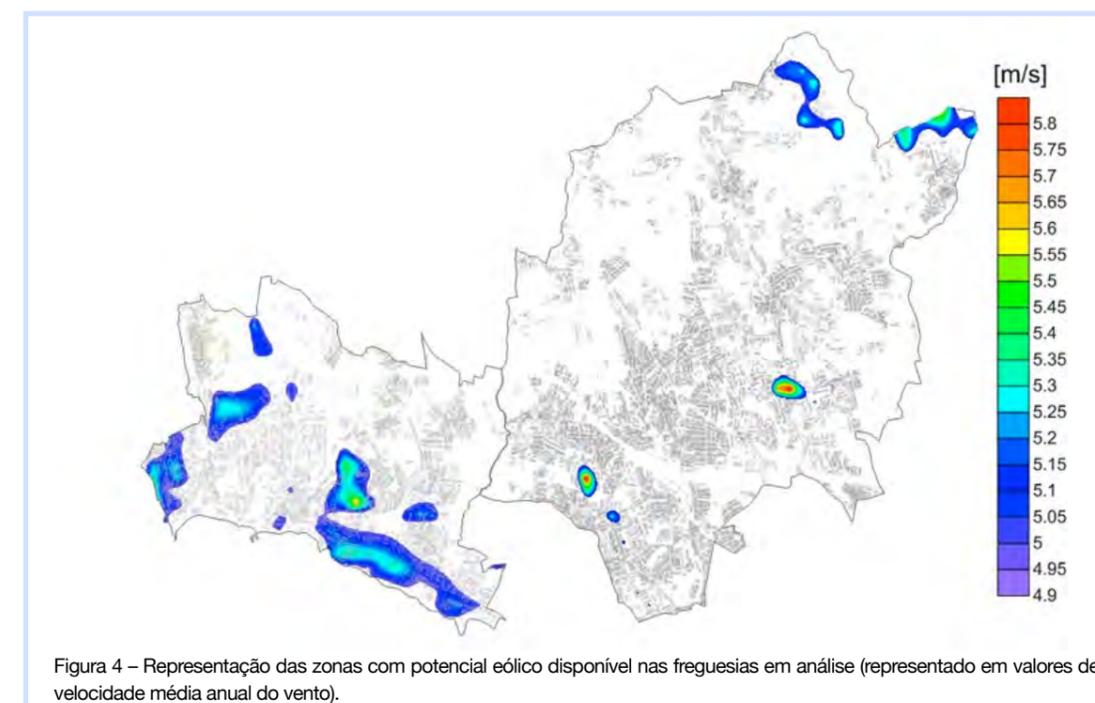
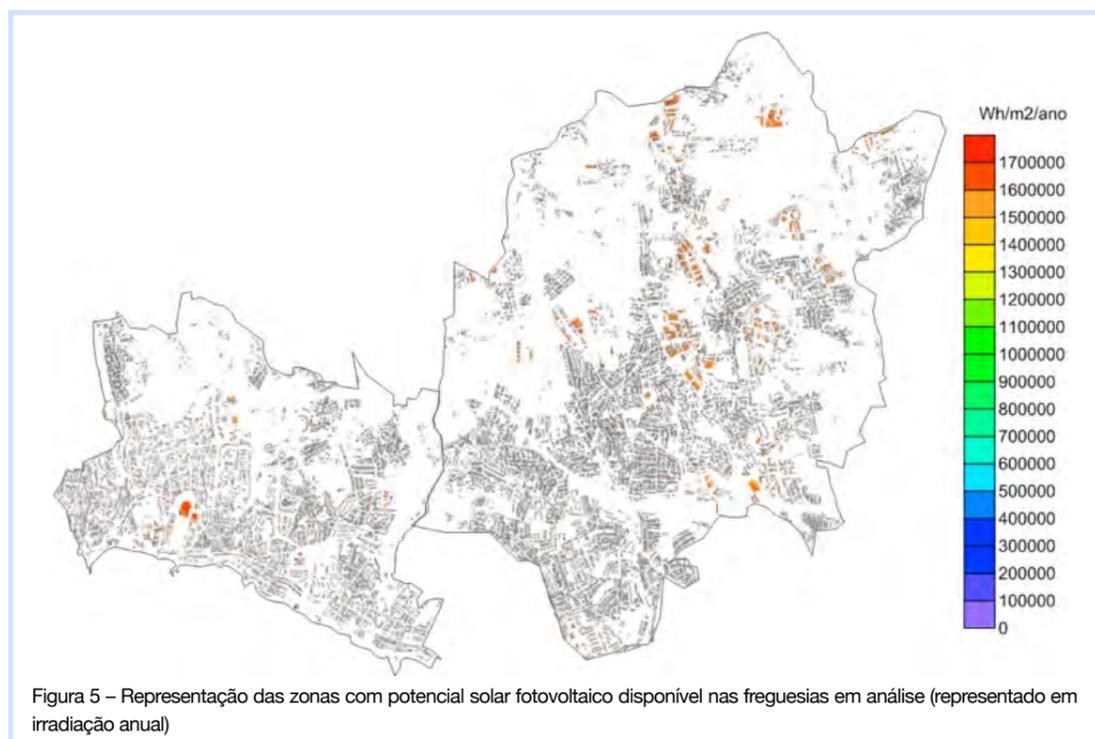
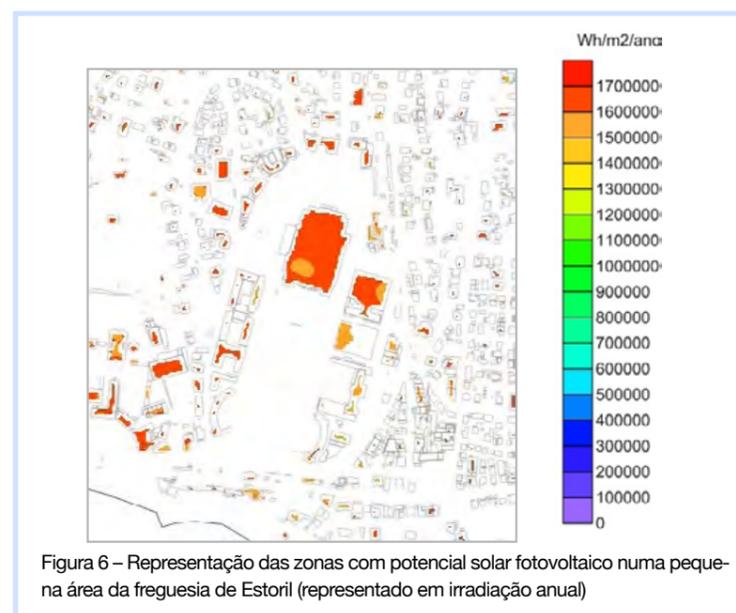


Figura 4 – Representação das zonas com potencial eólico disponível nas freguesias em análise (representado em valores de velocidade média anual do vento).



A Figura 6 apresenta em maior detalhe as zonas com potencial solar fotovoltaico disponível numa pequena área da freguesia de Estoril.



Relembra-se que neste estudo foram consideradas coberturas planas do edificado pelo facto de se pretender o desenvolvimento de uma metodologia de aplicação simples. Muito embora, no caso do potencial solar PV se tenha tido em conta a aproximação a coberturas planas, não sendo de esperar desvios significativos face à situação real conforme refere o estudo de Brito et al [2012],

é no entanto de referir que, a introdução das fachadas dos edifícios em estudos deste tipo foi já efectuada por Redweik et al [2013] para uma pequena zona urbana, tendo sido introduzido o detalhe dos edifícios num sistema de informação geográfica. Ainda assim, e tal como já foi referido anteriormente neste trabalho, a introdução das fachadas torna a metodologia mais complexa e pouco acessível para o utilizador menos experiente, saindo assim fora dos objectivos pretendidos.

No caso do potencial eólico a introdução do detalhe das coberturas poderá influenciar de forma mais relevante os resultados obtidos. No entanto, a metodologia pretende ser aplicada ao planeamento urbano sustentável onde o objectivo principal é a identificação em macroscale do potencial renovável, pelo que o estudo detalhado do potencial eólico poderá ser efectuado caso a caso nos pontos de interesse resultantes. Ainda no que respeita ao potencial solar PV considerou-se unicamente a área ocupada pelos edifícios não tendo sido contabilizado o espaço exterior. Muito embora nesta fase do trabalho este não fosse o objectivo principal, é importante identificar, no futuro, zonas exteriores onde se possam adaptar soluções para a instalação de sistemas solares PV (Parques de estacionamento com aproveitamento de estruturas de sobreamento para a integração destes sistemas, parques de recreio, etc) desde que se possua informação adequada.

#### 4. CONCLUSÕES

Neste trabalho, apresenta-se uma metodologia para a identificação e quantificação do potencial renovável disponível em meio urbano. Para tal desenvolveram-se numa primeira fase, duas ferramentas, uma para identificação do potencial eólico disponível e outra para o potencial solar fotovoltaico disponível. Estas ferramentas foram programadas de forma a possibilitar a variação dos dados de entrada (mapeamentos dos parâmetros eólicos e solares) e os parâmetros de selecção (velocidade média, fluxo de potência, irradiação anual, etc). Numa segunda fase foi ainda desenvolvida uma outra ferramenta com vista à identificação de áreas de interesse para a instalação conjunta das duas tecnologias em análise. A metodologia aqui apresentada e as ferramentas desenvolvidas permitem ainda a introdução de diversas restrições à instalação de sistemas de produção de electricidade por fontes renováveis, desde que estas possam ser adaptadas aos formatos aceites pela plataforma SIG seleccionada.

A metodologia desenvolvida foi aplicada a duas áreas urbanas, Estoril e São Domingos de Rana, tendo-se identificado e quantificado o potencial eólico e solar fotovoltaico disponível. Foi ainda obtido o potencial renovável integrado (eólico + solar fotovoltaico) assumindo-se a partilha de espaços para a instalação de sistemas eólicos e solares fotovoltaicos. No que respeita aos resultados obtidos, é de salientar que estes se referem à totalidade da região analisada numa perspectiva de planeamento urbano em macroscale, i.e., interessa apresentar uma estimativa global da região e não o detalhe. Pelo mesmo motivo, a análise em termos de recurso energético foi efectuada considerando o recurso anual e não foram consideradas as variações sazonais do mesmo.

A metodologia desenvolvida pode ser aplicada a zonas de maior e relevante dimensão, i.e. concelhos ou distritos e permite a sua generalização a qualquer área urbana, constituindo assim uma contribuição para o planeamento dos recursos energéticos urbanos num contexto de cidades inteligentes.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem à Câmara Municipal de Cascais e ao IGOT – Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa, pela disponibilização da malha urbana.

## REFERÊNCIAS

Batagan, L. (2012). The use of intelligent solutions in romanian cities. *Informatica Economica*, vol. 16, nr. 4, pp. 37-43, Bucharest.

ESRI (2012). ArcGIS, Copyright © 1995-2012.

ESRI (2010). Model Builder - ArcGIS, Copyright © 1990-2010

USGS, (2014). United States Geological Survey, Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) database website. Available: [http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2\\_1/SRTM3/](http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3/) [Accessed 09 June 2008].

Costa, P.; Miranda, P.; Estanqueiro, A., (2006). Development and Validation of the Portuguese Wind Atlas. Athens, EWEA, pp. 1-9.

Simões, T.; Costa, P.; Estanqueiro, A. (2009). A first methodology for wind energy resource assessment in urbanised areas in Portugal. Proceedings of the European Wind Energy Conference – EWEC 2009, 16 to 19 de Março 2009, Marseille, França.

Carbon Trust (2008). Carbon Trust. Small-scale wind energy. Policy insights and practical guidance: WindPower. Pp 1-40. [http://www.carbontrust.com/media/77248/ctc738\\_small-scale\\_wind\\_energy.pdf](http://www.carbontrust.com/media/77248/ctc738_small-scale_wind_energy.pdf)

Weis, Timothy M.; Ilinca, Adrian (2010). Assessing the potential for a wind power incentive for remote villages in Canada. *Energy Policy*, 38, pp5504-5511, Elsevier.

Brito, M., Gomes, N.; Santos, T.; Tenedório, J. (2012). Photovoltaic potential in a Lisbon suburb using LIDAR data. *Solar Energy*, 86, pp. 283-288, Elsevier.

Suri, M.; Huld, T. A.; Dunlop, E. D.; Ossenbrink, H. A. (2007). Potential of solar electricity generation in the european union member states and candidate countries. *Solar Energy*, 81, pp. 1295-1305. Elsevier.

Redweik, P.; Catita, C.; Brito, M., (2013). Solar energy potential on roofs and facades in an urban landscape. *Solar Energy*, 11, Volume 97, pp. 332-341.

## CONTACTO

teresa.simoos@lneg.pt

## USO E OCUPAÇÃO DO SOLO OBTIDOS A PARTIR DE FOTOGRAFIAS AÉREAS VS IMAGENS DE SATÉLITE DE ALTA RESOLUÇÃO

Bruno M. MENESES, Filipe MARCELINO, Raquel SARAIVA,

Maria J. VALE, Rui REIS e Marcelo RIBEIRO

Direção-Geral do Território

**RESUMO:** Na atualidade existem diversos tipos de informação para a obtenção de cartografia de ocupação do solo, como é o caso dos ortofotomapas (ou fotografias aéreas ortoretilizadas) e as imagens de satélite. Nas diversas abordagens metodológicas para a classificação/caraterização do uso e ocupação do solo num determinado território é importante perceber qual a informação a considerar (no input), de modo a atingir-se os objetivos propostos. Esta é uma discussão atual entre todos os atores que produzem e utilizam a informação do uso e ocupação do solo, num quadro de melhoria da eficiência metodológica, mas também ao nível da eficácia temporal e espacial na obtenção de informação atualizada (ortofotomapas ou imagens de satélite), temas que interagem com a temática da sustentabilidade económica (custo-benefício).

Na Direção-Geral do Território têm-se utilizado diversas metodologias para a obtenção de cartografia de uso e ocupação do solo a partir de diversas fontes de dados. Têm-se vindo a avaliar as vantagens e desvantagens, tanto das metodologias utilizadas como dos dados de input que servem de base à identificação e caraterização da ocupação do solo. Destaque para as metodologias de elaboração da Carta de Ocupação do Solo (COS), Carta CORINE Land Cover (CLC) e também de informação amostral que permite a extrapolação para uma determinada área de estudo (e.g. Projeto Landyn, metodologia apresentada em Meneses et al., 2014).

Nesta comunicação apresentam-se as vantagens e desvantagens da utilização de ortofotomapas e imagens de satélite de alta e muito alta resolução (IRS LISS III e SPOT 5) na obtenção de cartografia de ocupação do solo em duas áreas distintas (urbana e agrícola). Os resultados obtidos permitiram perceber que a informação dos satélites é suficiente na produção de cartografia de menor detalhe, embora esta deva ser complementada com outros dados (e.g. ortofotomapas) para confirmação de determinados tipos de ocupação. Assim, deve adotar-se a metodologia em função dos objetivos do trabalho, e, consoante o grau de pormenor (unidade mínima cartográfica) da cartografia a obter e sua periodicidade, devem selecionar-se os dados de suporte à identificação do uso e ocupação do solo.

**Palavras-chave:** uso e ocupação do solo, SIG, deteção remota, ortofotomapas, imagens de satélite.

**ABSTRACT:** In this communication we present the advantages and disadvantages of using orthophotomaps and satellite images of high (IRS LISS III) and very high resolution (SPOT5) for mapping land use/land cover in two different types of areas (urban and rural setting).

The results allow for a better understanding on which type of data base can be considered best for the production of a thematic map (land use/land cover), the definition of a methodology for different work objectives and for the development of criteria to establish the best spatial resolution for photo interpretation.

**Key words:** land use land cover, GIS, remote sensing, orthophotomaps, satellite images.

## 1. CARTOGRAFIA DE OCUPAÇÃO DO SOLO

O conhecimento do uso e ocupação do solo (em inglês land use land cover – LULC) é imprescindível para qualquer intervenção no território, nomeadamente em ações de planeamento ou ordenamento, definição de planos de emergência (reação ou prevenção), avaliação do risco (natural, tecnológico), avaliação ambiental ou das alterações climáticas, entre outros.

As alterações de LULC são um dos processos mais relevantes nas alterações que ocorrem na superfície da Terra (Lambin et al., 2001). A necessidade de compreensão de como o LULC evoluiu no passado e quais os fatores ou agentes que mais influência tiveram nessa evolução, mas também a projeção da evolução para o futuro, têm sido temáticas amplamente estudadas pela comunidade científica (e.g. Bush, 2006; Alcamo et al., 2011; Schirpke et al., 2012; Meneses, 2013) com o intuito de compreender estas mudanças de LULC, mas também de construir ou otimizar metodologias para a quantificação das mesmas, e assim permitir intervenções adequadas num quadro sustentável.

Atualmente, é cada vez mais importante a obtenção de informação de LULC com o menor espaçamento temporal para determinadas intervenções no território, por exemplo, a determinação das áreas com vegetação para ações de prevenção e reação no caso dos incêndios florestais, ou a monitorização de alterações em solos agrícolas (Esch et al., 2014). A redução temporal para a aquisição deste tipo de informação põe em evidência questões relacionadas com o custo-benefício e desta análise surgem questões relacionadas com o detalhe da informação a obter.

A cartografia obtida por métodos automáticos e semiautomáticos a partir de imagens de satélite tem sido amplamente utilizada em avaliações de LULC (Ehsani e Quiel, 2009), sendo preferível por vezes obter menor detalhe (dependendo dos objetivos), mas dispor de uma sequência temporal mais completa (diária, semanal, mensal ou sazonal), em detrimento de informação com elevado detalhe mas com espaçamento temporal muito grande (anos), pensando na perspetiva de compreensão dos vários fenómenos que ocorrem no território, determinantes na evolução do LULC. Assim, surgem questões ligadas à recolha de informação de LULC, nomeadamente, o detalhe necessário para se atingir determinado fim, o que põe desde logo em evidência a escala de trabalho e a escala de elaboração da respetiva informação. Atualmente, existem múltiplas fontes de informação de suporte à produção de cartografia de LULC, como os ortofotomapas, imagens de satélite (devendo ser retificadas), inventários de campo ou outra cartografia com informação de LULC. Esta multiplicidade de informação contribui para o conhecimento mais detalhado do uso e ocupação dos territórios. No entanto, atualmente, procura-se eficiência tanto na aquisição de informação de LULC como na sua aplicação, o que requer uma avaliação do custo-benefício.

## 2. METODOLOGIA

Nesta comunicação, comparam-se diferentes tipos de informação geográfica (ortofotomapas e imagens de satélite ortoretificadas) com a cartografia temática (LULC) produzida na Direção-Geral do Território (DGT), neste caso, a Carta de Ocupação do solo de 2010 (COS2010) e o Corine Land Cover 2012 (CLC2012) atualmente em elaboração.

A COS e CLC utilizam diferentes metodologias e diferentes tipos de informação base na sua conceção, além de diferentes escalas de representação, a unidade mínima cartográfica (umc) também é diferente (1 e 25 ha, respetivamente). Os tipos de LULC também variam entre os dois tipos de cartografia, conforme se pode observar nas especificações técnicas apresentadas na Tabela 1. A nomenclatura da COS é igual ao 3º nível da nomenclatura do CLC.

Considerando a informação de base utilizada na produção da cartografia anteriormente referida, os ortofotomapas são os que apresentam a resolução espacial mais elevada, com 0,5 m no terreno (DGT, 2014), enquanto as imagens do satélite SPOT5 e IRS LIS III apresentam a resolução de 2,5 e 20 m, respetivamente (Tabela 2). As imagens IRS LIS III constituem os dados base utilizados na produção do CLC2012, servindo os ortofotomapas e as imagens SPOT5 como informação auxiliar na identificação de determinados tipos de LULC.

Tabela 1- Especificações técnicas dos produtos COS2010 e CLC2012

Designação	Carta de Ocupação do Solo 2010	CORINE Land Cover 2012
Acrónimo	COS2010	CLC2012
Escala	1/25 000	1/100 000
Unidade mínima cartográfica (UMC)	1ha	25ha
Data de referência	2010	2012
Modelo de dados	Vectorial	Vectorial
Representação espacial	Polígonos	Polígonos
Distância mínima entre linhas (DMEL)	20m	100m
Dados de base (resolução espacial)	Fotografias aéreas	Imagens satélite
	0,5 m	20 m
Nomenclatura	Hierárquica (5 níveis)	Hierárquica (3 níveis)
	225 classes	44 classes
Método de Produção	Interpretação visual	Interpretação visual

Tabela 2 – Características das orto-imagens e das imagens de satélite IRS LISS III e SPOT5.

Tipo de Informação	Características	IRS LISS III	SPOT 5
Imagens de satélite	Ano de referência	2011	2011
	N.º de bandas	4	3
	Canais	Green, red, NIR, SWIR	Green, red, NIR
	Resolução	20 m	2,5 m
Orto-imagens (cobertura aérea produzida em 2010)	Direitos de propriedade	DGT	
	Câmara	Ultracam XP da Vexcel / DMC - Intergraph	
	Altura de Voo	Ultracam XP – Aproximadamente 8400m DMC – Aproximadamente 5500m	
	Formato das imagens	TIFF	
	Seccionamento de cada orto-imagem	4 km X 5 km	
	Resolução espacial	0,5 m no terreno	
	Resolução radiométrica	8 bits por banda	
	Resolução espectral	RGB e Infravermelho próximo	
	Sistema de georreferência	ETRS89/PT-TM06	
Datas das imagens	agosto, setembro e outubro de 2010		

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Cartografia obtida por ortofotomapas e imagens de satélite

Na área urbana considerada nesta comunicação (Figura 1) é possível observar a importância de uma melhor resolução espacial na identificação de várias classes de LULC. A utilização de ortofotomapas (0,5m) para além de permitir uma melhor distinção entre tecido urbano contínuo (111) e tecido urbano descontínuo (112), pode servir para a identificação de áreas industriais, áreas de comércio, equipamentos públicos e privados, parques e jardins, cemitérios, etc. A identificação destas classes poderá não ser exequível numa imagem de satélite com 20m de resolução (IRS LIS III), facto já referido por diversos autores.

Ao compararmos a imagem de satélite SPOT5 (2,5m) com os ortofotomapas (0,5m) verificamos que é possível identificar grande parte das classes acima referidas, o que revela que uma imagem de satélite de muito alta resolução pode ser uma alternativa à fotografia aérea, tendo presente a nomenclatura e umc.

Mediante o nível de detalhe que se deseje, conclui-se que a resolução espacial afecta directamente a capacidade de produção cartográfica.

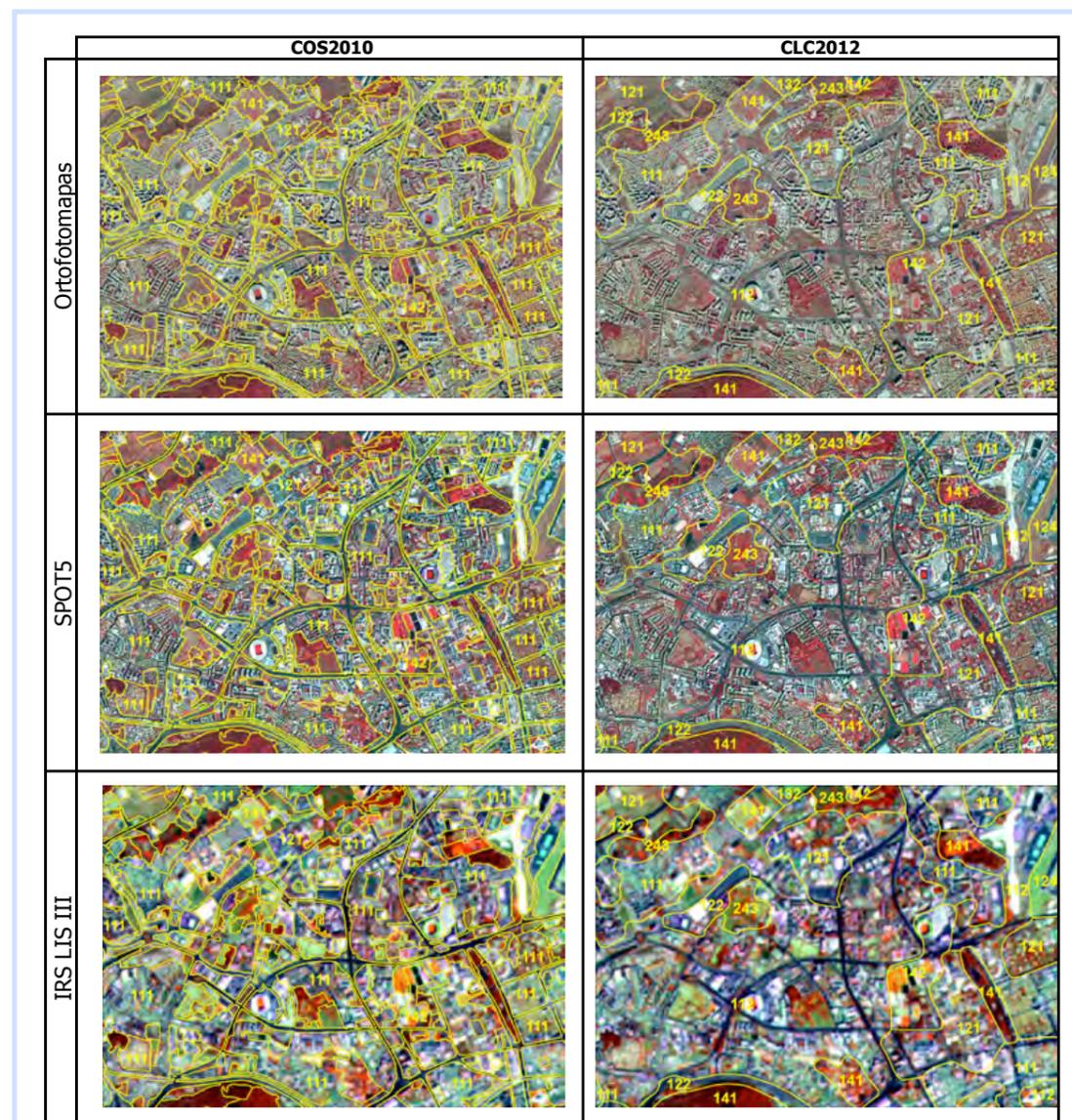


Figura 1 – COS2010 e CLC2012 sobrepostos em ortofotomapas e em imagens de satélite com diferentes resoluções numa área urbana (Lisboa)

Na área agrícola considerada nesta comunicação (Figura 2), observa-se alguma heterogeneidade nos tipos de ocupação agrícola (várias culturas), sendo os seus limites facilmente identificados nas imagens de satélite. Estas imagens evidenciam a percepção das dinâmicas agrícolas, sobretudo por permitirem a identificação e a caracterização de diversos tipos de ocupação agrícola num determinado território em diferentes momentos, o que permite por exemplo o acompanhamento da sua evolução ao longo do ano. As imagens IRS LIS III permitem a fácil diferenciação espacial de culturas de sequeiro e culturas de regadio, sendo estas últimas (código 212 na COS2010 e CLC2012) também bem diferenciadas de outras culturas que necessitem de água, como é o caso dos arrozais (213 na COS2010 e CLC2012).

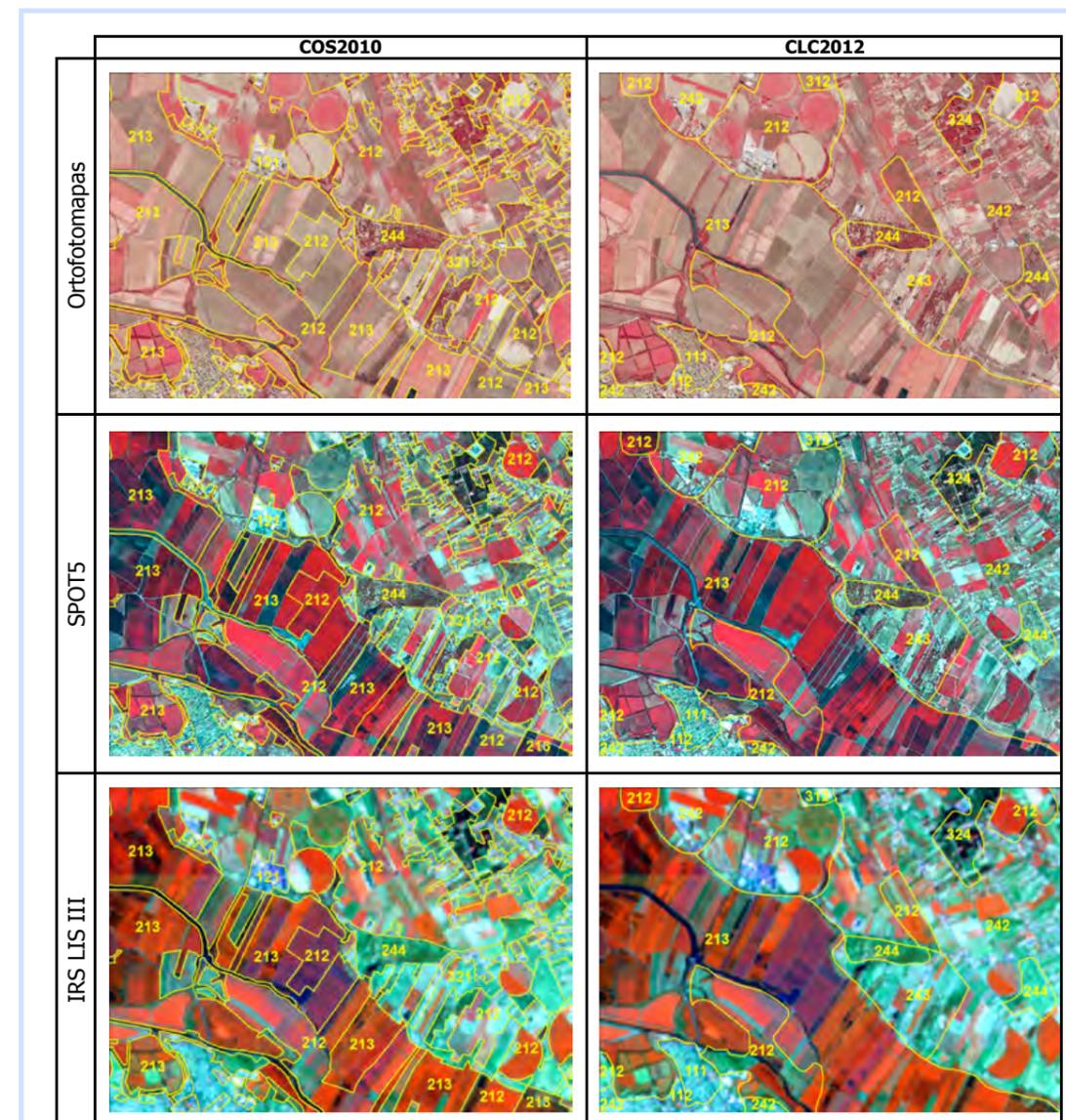


Figura 2 – COS2010 e CLC2012 sobrepostos em ortofotomapas e em imagens de satélite com diferentes resoluções numa área agrícola localizada a E da localidade de Samora Correia e S de Benavente

No exercício de fotointerpretação dos vários tipos de ocupação nestas áreas agrícolas, as imagens de satélite de menor resolução facilitam o processo, ao permitirem identificar as várias atividades agrícolas e respetivos tipos de ocupação resultantes no território, remetendo as imagens de maior resolução (ortofotomapas e imagens de satélite de alta resolução) para um plano secundário, i.e., devido à maior fragmentação da informação, identificar a distribuição espacial das culturas e os limites da área ocupada pelas mesmas torna-se um processo mais complexo, nomeadamente na COS.

Assim, na Tabela 3, apresenta-se um resumo com as vantagens e desvantagens da utilização de diferentes tipos de informação geográfica, na elaboração de cartografia de LULC. Consoante os objetivos do trabalho, deve optar-se pela informação que irá servir de suporte à identificação de LULC.

Tabela 3 - Análise das vantagens e desvantagens de cartografia obtida por diferentes tipos de informação geográfica

	Vantagens	Desvantagens
<b>Imagens de satélite</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informação multitemporal e multiespectral</li> <li>• Algumas imagens são disponibilizadas gratuitamente</li> <li>• Permite classificações automáticas e semiautomáticas de LULC</li> <li>• Permite otimização do tempo de processamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Custos de aquisição</li> <li>• Menor exatidão temática</li> </ul>
<b>Ortofotomapas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informação multitemporal (dependendo dos voos) e multiespectral</li> <li>• Elevada resolução</li> <li>• Permite elaborar cartografia de LULC com elevado detalhe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevados custos de aquisição</li> <li>• Exige elevados recursos para a sua aquisição</li> <li>• Menor disponibilidade temporal</li> </ul>

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta comunicação, evidencia-se a importância das imagens de satélite e dos ortofotomapas na elaboração de cartografia de ocupação e uso do solo e identificam-se as vantagens e desvantagens de cada informação de base na elaboração deste tipo de cartografia temática.

Na produção de cartografia em contexto urbano verifica-se a necessidade de obter uma melhor resolução espacial no sentido de se poder identificar mais classes (dependendo da nomenclatura). Assim, torna-se evidente que os ortofotomapas (0,5m) são a melhor ferramenta para este processo, sendo que, as imagens de satélite de muito alta resolução (SPOT5), ou outras imagens de satélite de muito alta resolução atualmente disponíveis, podem ser uma alternativa a considerar. No que respeita à produção de cartografia em contexto agrícola verifica-se que a existência de uma elevada resolução das imagens não é tão determinante para a fotointerpretação.

#### REFERÊNCIAS

- Alcamo, J., Schaldach, R., Koch, J., Kölling, C., Lapola, D., Priess, J. (2011). Evaluation of an integrated land use change model including a scenario analysis of land use change for continental Africa. *Environmental Modelling & Software*, 26, pp.1017-1027.
- Bush, G. (2006). Future European agricultural lands-capes-What can we learn from existing quantitative land use scenario studies? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 114, pp. 121-140.
- DGT (2014). *Evolução do Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental: 1995, 2007 e 2010. Trabalho de Suporte ao Reporte de Emissões e Sequestro de Carbono no Setor do Uso e Alterações de Uso do Solo. Protocolo de Kyoto e Convenção Quadro das Nações Unidas de Combate às Alterações Climáticas. Relatório V1.0, Direção-Geral do Território, Lisboa.*
- Ehsani, A.H., Quiel, F. (2009). A semi-automatic method for analysis of landscape elements using Shuttle Radar Topography Mission and Landsat ETM+ data. *Computers & Geosciences*, 35 (2), pp. 373-389.
- Esch, T., Metz, A., Marconcini, M., Keil, M. (2014). Combined use of multi-seasonal high and medium resolution satellite imagery for parcel-related mapping of cropland and grassland. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 28, pp. 230-237.
- Lambin, E.F., Turner, B.L., Geist, H.J., Agbola, S.B., Angelsen, A., Bruce, J.W., Coomes, O., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P.S., Homewood, K. (2001). The causes of LU and land-cover change: Moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11, p. 261-269.
- Meneses, B.M. (2013). Análise das alterações do uso e ocupação do solo no Vale do Varosa (Portugal) mediante imagens Landsat-TM e sua influência na conservação do solo. *GeoFocus*, 13(1), pp. 270-290.
- Meneses, B.M.; Vale, M.J.; Reis, R.; Marrecas, P.; Barreira, E. (2014). Metodologias para a Avaliação do Uso e Ocupação do Solo em Diferentes Épocas. In DGT (eds.), *Uso e Ocupação do Solo em Portugal Continental: Avaliação e Cenários Futuros. Projeto LANDYN*. Lisboa, pp. 19-28.
- Schirpke, U., Leitingner, G., Tappeiner, U., Tasser, E. (2012). SPA-LUCC: Developing land-use/cover scenarios in mountain landscapes. *Ecological Informatics*, 12, pp. 68-76.

#### CONTACTOS

bmeneses@dgterritorio.pt, fmarcelino@dgterritorio.pt, rsaraiva@dgterritorio.pt, mvale@dgterritorio.pt, rui.reis@dgterritorio.pt, marceloribeiro.augusto@gmail.com

## EXTRACÇÃO DE SOMBRA A PARTIR DE IMAGENS DE SATÉLITE DE ALTA RESOLUÇÃO

### Classificação Não Supervisionada, Reclassificação de Imagem e Classificação Orientada a Segmento

Morna NANDAIA, Ricardo SILVA

Departamento de Geografia e Planeamento Regional,

Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa

**RESUMO:** A sombra é um elemento presente em imagens de satélite, especialmente nas imagens de alta resolução, ocultando ou modificando informação relativa ao espaço e elementos sobre os quais incide. O comportamento individual da sombra e a respectiva interdependência com outros objectos e/ou fenómenos, aspectos multi-escalares para a Detecção Remota, têm contribuído para que a mesma seja alvo de tentativas para a sua eliminação, no momento da aquisição, ou para a diminuição do seu impacto na imagem-produto, nos processos de integração, análise e visualização de informação geográfica de interesse. No entanto, com potencial para diversas aplicações técnicas e científicas, a sombra é um elemento que deve ser considerado no processamento digital e análise espacial de imagens de satélite, sendo relevante desenvolver metodologias que permitam a sua detecção, extracção e vectorização.

Neste contexto, desenvolveu-se um estudo que incidiu sobre a detecção e extracção de sombra, a partir das bandas pancromáticas e RGB (Red, Green, Blue) de duas imagens de satélite de alta resolução (WorldView-2 e IKONOS), de uma porção do município de Lisboa, recorrendo a processamento digital de imagem (classificação não supervisionada, reclassificação de imagem e classificação orientada a segmento), em ambiente de software Idrisi Taiga (©Clark Labs). Estes processos baseiam-se, sobretudo, nos Níveis Digitais dos pixels das imagens e são relativamente simples e céleres, não dependendo de algoritmos complexos para classificação de sombra.

Os resultados mais satisfatórios obtiveram-se utilizando a banda pancromática do WorldView-2, correspondente à maior resolução espacial dos dados de input. Quanto aos métodos empregues, apesar de satisfazerem o objectivo de aquisição de sombra, no geral, revelaram resultados superficialmente diferentes, nomeadamente ao nível da distinção espectral com diferentes objectos patentes nas imagens, facto eventualmente associado à intervenção do operador e à forma como os Níveis Digitais representativos da sombra foram processados em cada técnica.

**Palavras-chave:** detecção remota, sombra, classificação não supervisionada, reclassificação de imagem, classificação orientada a segmento

**ABSTRACT:** Shadow projected by territorial elements must be considered in spatial analysis, as it is an object with individual behavior and with relations with other spatial objects/phenomena. Remote Sensing is a way to study shadow in urban and non-urban environment, with applications in a variety of science fields. In this context, this article focus on the identification and extraction of shadow, from two high resolution satellite images (IKONOS and WorldView-2), representative of a portion of the municipality of Lisbon, using techniques of digital image processing (Automatic Classification, Image Reclassification and Object-Oriented Image Classification) in Taiga software Idrisi (©Clark Labs).

**Keywords:** remote sensing, shadow, automatic classification, image reclassification, object-oriented image classification

## 1. INTRODUÇÃO

As primeiras investigações à extração de sombra a partir de imagem de satélite surgiram nos finais da década de 80, inícios da década de 90, do século XX, sobre trabalhos de Huertas et al. (1988) e de Irvin et al. (1989), que alcançaram informação relativa à sombra em imagens de satélite, possibilitando o seu uso na detecção de construções urbanas e na determinação das suas características. Desde então, embora considerada muitas vezes como um obstáculo à aquisição de informação espacial por detecção remota, a sombra tem sido reconhecida como um elemento da imagem com aplicações ao nível do conhecimento de diversos temas presentes nas imagens, nomeadamente a obtenção da altura dos edifícios (Dare, 2005; Peeters, 2010), em abordagens ao comportamento evolucionar de objectos (Ma et al., 2008), ou ainda na determinação de variáveis climatológicas (Glunch et al., 2006; Nichol, 2005). Recentemente foram também desenvolvidos alguns métodos mais específicos para a identificação de sombra em imagens de satélite ou fotografias aéreas, viabilizando a análise da informação que a mesma oculta (Ma et al., 2008; Massalabi et al., s.d.; Polidório et al., 2005; Yamazaki et al., 2009; Zhang et al., 2010).

Assim, o objectivo do presente projecto foi o de testar uma metodologia que conduzisse à detecção e digitalização da sombra patente em duas imagens de satélite de alta-resolução, WorldView-2 e IKONOS, recorrendo a classificação não supervisionada, reclassificação de imagem e classificação orientada a segmento das respectivas bandas pancromáticas e RGB.

## 2. METODOLOGIA

O principal propósito deste projecto consistiu, essencialmente, em testar métodos e técnicas para extração de sombra, a partir de imagens de duas imagens de satélite específicas (WorldView-2 e IKONOS). O projecto iniciou-se com a revisão bibliográfica em torno da temática, que permitiu concluir três ideias-chave:

- As imagens empregues no estudo de sombra remetem essencialmente para alta resolução (espacial, radiométrica, temporal e espectral), onde a sombra adquire a noção de objecto;
- Conseguiram-se melhores resultados com a banda pancromática, pois aumenta a resolução espacial e diminui a confusão espectral com outros elementos do espaço, sendo as bandas RGB utilizadas para efeitos de validação ou recuperação da informação oculta por sombra;
- Os processos de classificação foram, no geral, automatizados, ou com pouca intervenção por parte do operador, sem recurso a métodos e técnicas complexos.

Assim, para este projecto, seleccionaram-se as bandas pancromáticas e as bandas multispectrais RGB, em formato matricial raster, de duas imagens de alta resolução, WorldView-2 (sector R1C2) e IKONOS (sector 002003), adquiridas a 29 Junho 2010 às 11h:46min e a 24 Junho 2008 às 11h:27min, respectivamente. Correspondendo a uma área localizada na franja Norte do Município de Lisboa (~16 km<sup>2</sup>), as imagens seleccionadas demonstram um território heterogéneo do ponto de vista da ocupação do solo, o que possibilitou o processamento de dados em contexto urbano e não urbano. Testou-se o método de classificação não supervisionada, de reclassificação de imagem e de classificação orientada a segmento, sobre a combinação multispectral (bandas RGB) e sobre a banda pancromática, da imagem WorldView-2 e da imagem IKONOS, em ambiente de software de SIG Idrisi Taiga (©Clarck Labs).

### 2.1. Classificação não supervisionada

A classificação não supervisionada, entendida como um procedimento que não utiliza áreas ou segmentos de treino como base da criação de assinatura espectral para a classificação de imagens (Lillesand et al., 2000), foi uma das opções exploratórias para a extração do objecto sombra, a partir das imagens WorldView-2 e IKONOS. A técnica utilizada foi a de K-means, que possibilita ao operador, segundo Lillesand et al. (2000) e Rollet et al. (1998), definir o número máximo de

classes (clusters) a extrair, localizando um centróide arbitrário automático para estas, às quais serão associados os pixels com Nível Digital mais próximo da média desse centro, correndo de novo o processo até que não existam modificações na localização do centro médio dos clusters – distância euclidiana. Portanto, agrupa automaticamente os pixels numa classe, de acordo com a similaridade espectral, conforme o número de iterações e classes definidos pelo operador. Testaram-se modificações no número de classes e no número máximo de iterações pedidos ao software, a fim de alcançar resultado satisfatório, a nível visual, a partir da classificação não supervisionada das bandas espectrais RGB e pancromática. No software IDRISI Taiga, de acordo com Eastman (2009), o algoritmo K-means é processado segundo:

$$d_{ik} = (\sum |X_{in} - C_{kn}|^2)^{1/2} \quad (1)$$

$d_{ik}$  – distância do pixel  $i$  até ao centróide  $k$ ;  $X_{in}$  – vector do pixel  $i$ ;

$C_{kn}$  – vector do centróide  $k$ ;  $n$  – número de bandas.

### 2.2. Reclassificação de imagem

A reclassificação de imagem foi outro método testado para efeitos de identificação de sombra a partir das bandas RGB e pancromática de WorldView-2 e de IKONOS. Este processo permitiu classificar ou reclassificar Níveis Digitais ou intervalos de Níveis Digitais de uma imagem em novos valores ou intervalos de valores, consoante critérios definidos pelo operador. O objectivo foi o de conceber uma nova imagem, onde os valores correspondentes a sombra assumem valores específicos de interesse e todos os restantes objectos assumem valores nulos. Por meio de reclassificação das bandas em questão, testou-se a parametrização da assinatura espectral da sombra, através de sucessivas experiências.

### 2.3. Classificação orientada a segmento

Outro método utilizado para a obtenção de sombra a partir das bandas espectrais em questão foi a classificação orientada a segmento, que se divide comumente em duas fases: a segmentação e a classificação (Campbell et al., 2011). Os mesmos autores definem a segmentação como um meio para identificar as fronteiras que separam espectralmente diferentes regiões da imagem – os segmentos. Em IDRISI Taiga, a segmentação baseia-se na seguinte conduta automática (Eastman, 2009): segmentação baseada em watershed, onde uma janela digital em movimento, com número de células determinado pelo operador, é centrada em cada pixel da matriz, arrastando-se ao longo de toda a imagem para cada banda de input e respectivo peso na segmentação; novos segmentos são criados e o processo repete-se até que o software encontre homogeneidade espectral, promovida por uma interação entre o desvio-padrão e a média dos pixels, dentro da tolerância estabelecida pelo operador.

Os métodos de classificação orientada a segmento diferem da classificação pixel a pixel, sendo consideradas, de igual modo, supervisionadas, embora o processo de distinção entre classes (segmentos) com homogeneidade espectral seja automatizado. Numa primeira fase, o operador influencia a segmentação, decidindo sobre os dados de input e respectivo peso no algoritmo de segmentação, a tolerância da similaridade espectral, o tamanho da janela com que a análise à variância se processa e o peso do factor média e do factor variância. Seguidamente, a partir da imagem segmentada, o operador supervisiona a classificação, seleccionando segmentos amostrais, ou de treino, assumindo que a resposta espectral agregada nos mesmos categorizam a resposta de um objecto em toda a imagem, criando-se a respectiva assinatura espectral (Campbell et al., 2011; Lillesand et al., 2000). Por fim, a assinatura espectral é utilizada como input num dado algoritmo classificador, que permite categorizar os objectos de toda a imagem, a partir de segmentos amostrais.

A assinatura espectral foi sendo corrigida com completude ao nível dos segmentos amostrais e optou-se por seguir o classificador da Máxima Verosimilhança, que, baseado no Teorema de Bayes, possibilitou que cada pixel da imagem fosse alocado à classe a que pertence, conforme a

assinatura espectral das amostras adquiridas (Campbell et al., 2011; Lillesand et al., 2000; Eastman, 2009), de acordo com o seguinte princípio:

$$p(e|h) * p(h) \quad (2)$$

$$\sum p(e|h_i) * p(h_i)$$

$p(h|e)$  – probabilidade da hipótese ser verdadeira, dada a evidência (probabilidade posterior);

$p(e|h)$  – probabilidade de encontrar a evidência, dada a hipótese ser verdadeira (derivada de dados locais de treino);

$p(h)$  – probabilidade de a hipótese ser verdadeira, independentemente da evidência (probabilidade anterior).

O classificador Máxima Verosimilhança avalia quantitativamente a variância e a covariância da assinatura espectral de cada segmento de treino, para determinar a probabilidade que os pixels com valor desconhecido detêm em pertencer a uma assinatura espectral  $e$ , em última instância, a uma classe. Essa probabilidade é determinada pela comparação (verosimilhança) entre a média e a matriz de covariância desta última, sendo que a distribuição da resposta espectral é, geralmente, Gaussiana (Lillesand et al., 2000). Para o software computar o algoritmo, o operador decide, ainda, a prioridade de probabilidade atribuída à assinatura espectral, no caso, equitativa para a sombra, e o valor de classificação de mínima verosimilhança, zero, neste projecto.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Classificação não supervisionada

No geral, visualmente, a classificação não supervisionada com o algoritmo K-means satisfaz mais a extracção de sombra no pancromático de WorldView-2 (Figura 2a) do que no de IKONOS (Figura 3a) e do que nas bandas RGB de ambos os sensores. Através da banda pancromática de WorldView-2, a classe representativa de sombra é extraída com maior detalhe, resultando em menor número de pixels dispersos, com a técnica de K-Means processada em IDRISI Taiga para 10 classes e 100 iterações máximas. Contudo, os resultados obtidos através da classificação não supervisionada com o algoritmo em questão permitiram alguma mistura entre o objecto sombra e objectos como asfalto, água ou relva sintética, devido à sua proximidade espectral, facto reconhecido e assinalado por Dare (2005) e por Polidório et al. (2005). Refira-se também que, apesar de se denotarem alguns pixels aparentemente difusos e deslocados de áreas de sombra, em ambas as imagens, estes não deixam de representar correctamente o objecto em questão. Com a sobreposição entre as imagens raster criadas pela classificação não supervisionada K-means e as imagens pancromáticas de cada sensor, concluiu-se, por exemplo, que em IKONOS detectavam-se sombras de veículos e em WorldView-2 sombras de alguns arbustos, por vezes só representados numa única célula da matriz, sendo, portanto, possível a extracção do objecto até ao nível do pixel em ambas as imagens.

#### 3.2. Reclassificação de imagem

A reclassificação dos Níveis Digitais das bandas revelou que, em termos qualitativos, a banda pancromática do WorldView-2 (Figura 2b, confrontar com Figura 3b) permitiu obter melhores resultados, sendo que o comportamento radiométrico da sombra variou entre 100 e 260 Níveis Digitais. Embora com menor número de pixels difusos e com maior identificação de sombra de objectos de pequenas dimensões, o resultado da reclassificação da banda pancromática de WorldView-2 revela alguma confusão espectral entre pixels de sombra e pixels de asfalto, água ou relva sintética, tal como se sucedeu com a classificação não supervisionada. A reclassificação

provocou a perda de alguma informação da classe sombra, comparativamente à classificação não supervisionada, nomeadamente na sombra representada em superfícies com tonalidades de cor mais clara, como edifícios, e a perda de representatividade de sombra de vegetação.

#### 3.3. Classificação orientada a segmento

Na imagem WorldView-2, a classificação orientada a segmento originou resultados bastante satisfatórios para a extracção de sombra, a partir da respectiva banda pancromática (Figura 2c). Em IDRISI Taiga, o melhor resultado de segmentação de imagem remetia para peso de 100% da banda pancromática, factor de tolerância de 5 Níveis Digitais, tamanho da janela de 3 por 3 pixels, factor média e factor variância de 0,5. A assinatura espectral dos segmentos de treino de sombra variaram entre 145 e 300 Níveis Digitais, com pico de frequência de pixels entre os 170 e os 190 Níveis Digitais com máximo em 1620 e mínimo em 145, perfazendo uma média de Níveis Digitais de aproximadamente 195 e desvio padrão de 34 (Figura 1).

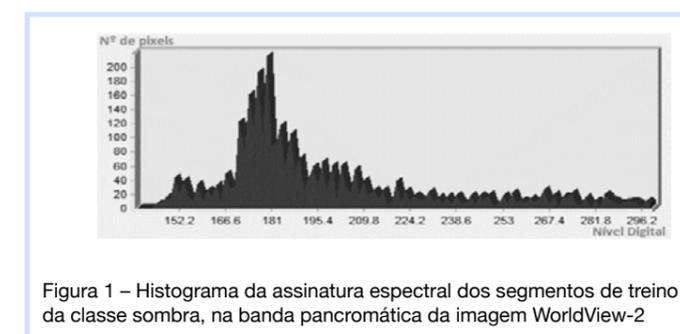


Figura 1 – Histograma da assinatura espectral dos segmentos de treino da classe sombra, na banda pancromática da imagem WorldView-2

A sombra surgiu delimitada de forma visualmente coincidente com a representação na banda pancromática da imagem, embora se tenha denotado alguma perda de informação. No entanto, mesmo com a aplicação de correcções ao nível amostral, a sombra continuou a associar-se à classe espectral de outros elementos, como relva sintética, e alguns tipos de sombra não foram representados, especialmente em comparação com o resultado da classificação não supervisionada.

Já na classificação orientada a segmento sobre as bandas RGB da imagem WorldView-2, existe maior perda de informação, devido à diminuição da resolução espacial, embora a mistura espectral do objecto sombra com alguns elementos diminua. Nas bandas pancromática e RGB de IKONOS (Figura 3c), o método de classificação orientada a segmento não satisfaz a extracção de sombra, de acordo com os parâmetros de segmentação, ainda que tenham sido aplicadas correcções ao nível amostral.

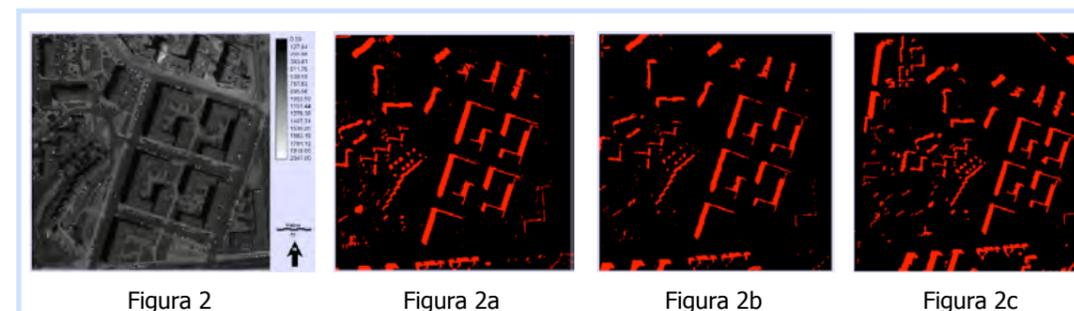
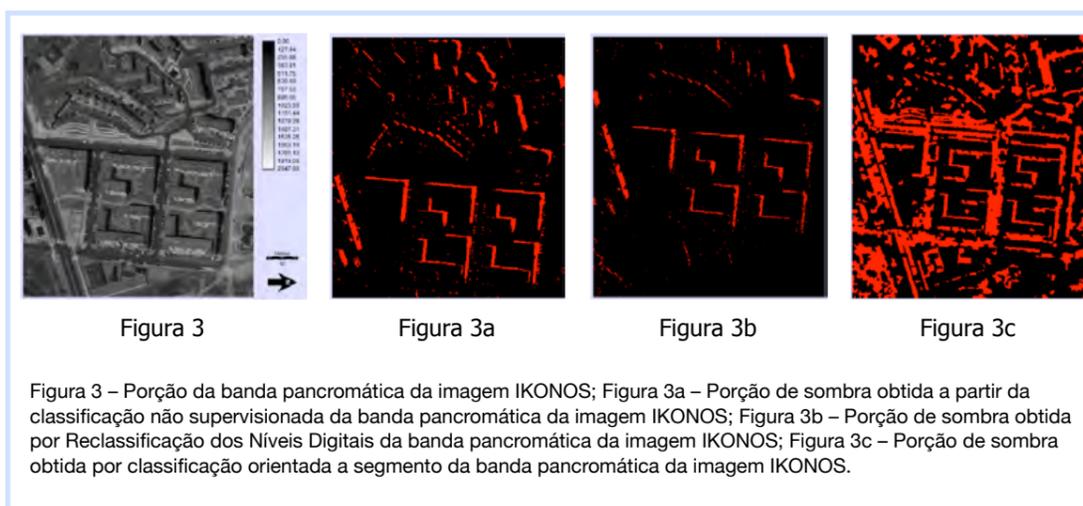


Figura 2 – Porção da banda pancromática da imagem WorldView-2; Figura 2a – Porção de sombra obtida a partir da classificação não supervisionada da banda pancromática da imagem WorldView-2; Figura 2b – Porção de sombra obtida por Reclassificação dos Níveis Digitais da banda pancromática da imagem WorldView-2; Figura 2c – Porção de sombra obtida por classificação orientada a segmento da banda pancromática da imagem WorldView-2.



#### 4. DISCUSSÃO

A classificação não supervisionada, a reclassificação de imagem e a classificação orientada a segmento foram testadas neste projecto com o intuito de atingir resultados que permitissem digitalizar sombra projectada por objectos presentes no território, a partir de imagens de satélite de alta resolução (WorldView-2 e IKONOS). Os Níveis Digitais tidos como representativos de sombra foram a principal propriedade da imagem considerada nas técnicas testadas. Embora os métodos seguidos tenham cumprido o objectivo inicial de detecção e extracção de sombra para posterior vectorização, os resultados apresentaram ligeiras diferenças.

Por um lado, é necessário referir que todos os métodos testados neste projecto recaem apenas sobre as bandas pancromáticas e RGB de duas imagens, com resoluções e momentos de aquisição específicos, com influência de factores atmosféricos, como o ângulo solar e a presença de nuvens. Como tal, todos os processos testados estão dependentes do comportamento espectral dos objectos e da resolução radiométrica e espacial das imagens, para momentos espaciais e temporais particulares. Os resultados de extracção de sombra mais satisfatórios foram obtidos através da banda com maior resolução espacial, a pancromática, do satélite também com maior resolução espacial, o WorldView-2. Desta forma, a sombra é representada com maior detalhe, conhecendo-se o seu comportamento espectral (Níveis Digitais) de forma mais aproximada e com menor mistura com outros elementos. Ainda assim, a sombra assume um comportamento espectral bastante similar ao de vários objectos presentes no espaço em questão, aspecto que talvez pudesse ser contrariado, se se empregassem imagens, de satélite ou não, com resoluções superiores.

Por outro lado, os processos empregues diferem e podem explicar algumas das diferenças nos resultados: a classificação não supervisionada e a reclassificação de imagem são métodos mais automatizados, conferindo-lhes celeridade, eficácia e capacidade de replicação em diferentes imagens ou bandas; a classificação orientada a segmento é mais precisa e eficiente, mas a sua aplicação a diferentes imagens e bandas é mais morosa e subjectiva, com técnicas que envolvem mais o operador e, conseqüentemente, a sua capacidade de intervenção nas fases de segmentação de imagens e de criação de assinatura espectral de classes, a partir de segmentos de treino. De algum modo, os diferentes métodos e técnicas complementam-se, devendo-se optar por classificações híbridas para extracção de sombra, que empreguem processos automáticos ou semi-automáticos, permitindo comparação e avaliação de resultados.

Por fim, resta afirmar que, futuramente, devem ser considerados métodos e técnicas que permitam avaliar com maior exactidão os resultados concebidos com a metodologia deste projecto. Tal como o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) está para a vegetação, meios para conceber maior exactidão temática ao objecto sombra ou algoritmos que permitam a sua classificação deverão

também ser desenvolvidos. Em ambiente de SIG, será possível testar a exactidão temática da metodologia seguida neste projecto, através de análise visual de imagem ou da aplicação de algoritmos próprios para esse efeito.

Com aplicações na óptica do ordenamento e planeamento territorial, a vectorização da sombra projectada no espaço é um processo de extrema importância, nomeadamente no estudo do uso/ocupação do solo, na criação de espaços verdes urbanos, na determinação de variáveis climatológicas ou na avaliação do potencial solar de espaços, por exemplo, para a instalação de painéis solares. Os resultados alcançados revelam-se bastante satisfatórios, baseados em processos céleres e simples, que podem ser aplicados para Portugal. Contudo, a sombra é um fenómeno ainda por explorar no domínio da Detecção Remota e da Gestão do Território, mas terá, decerto, um contributo fundamental para a Geodesição.

#### BIBLIOGRAFIA

- Campbell, J. and Wynne, H. (2011). Introduction to Remote Sensing. New York: The Guildorf Press, p. 335-350 e 371-372.
- Dare, P. (2005). Shadow Analysis in High-Resolution Satellite Imagery of Urban Areas. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2, p. 169-177.
- Eastman, J. (2009). IDRISI Taiga. Guide to GIS and Image Processing. USA: Clark University.
- Glunch, R., Quattrochi, D. and Luvall, J. (2006). A multi-scale approach to urban thermal analysis. Remote Sensing of Environment, 104, p. 123-132.
- Huertas, A., Nevatia, R. (1988). Detecting Buildings in Aerial Images. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 41, p. 131-152.
- Invin, R., McKeown, M. (1989). Methods for Exploiting the Relationship Between Buildings and Their Shadows in Aerial Imagery. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 19, 6, p. 1564-1575.
- Lillesand, T., Kiefer, R. (2000). Remote Sensing and Image Interpretation. USA: John Wiley & Sons, Inc., p. 532-560.
- Ma, H., Qin, Q., Shen, X. (2008). Shadow Segmentation and Compensation in High Resolution Satellite Images. Geoscience and Remote Sensing Symposium
- Massalabi, A., He, D., Bénié, G., Beaudry, É. (sem data). Restitution of Information under Shadow in Remote Sensing High Space Resolution Images: Application to Ikonos Data of Sherbrooke City.
- Nichol, J. (2005). Remote Sensing of Urban Heat Islands by Day and Night. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 71, 5, p. 613-621.
- Peeters, A. (2010). A GIS-Based Object Recognition Model for Analyzing the Morphology of Urban Form. International Association for Urban Climat, 37.
- Polidoro, A. (2003). Automatic Shadow Segmentation in Aerial Color Images. Proceedings of the XVI Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing.
- Richards, J., JIA, X. (2006). Remote Sensing Digital Image Analysis. Germany: Springer.
- Rollet, R., Benie G., Li, W., Wang, S., Boucher, J. (1998). Image classification algorithm based on the RBF neural network and Kmeans. International Journal of Remote Sensing, 19, 15, p. 3003-3009.
- Yamazaki, F, Liu, W., Takasaki, M. (2009) Characteristics of Shadow and Removal of Its Effects for Remote Sensing Imagery. Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), pp. 426-429.
- Zhang, Z., Chen, F. (2010). A Shadow Processing Method of High Spatial Resolution Remote Sensing Image. 3rd International Congress on Image and Signal Processing, pp. 816-820.

#### CONTACTOS

Morna NANDAIA: m.nandaia@students.fcsh.unl.pt

Ricardo Morgado SILVA: r.silva@students.fcsh.unl.pt

Departamento de Geografia e Planeamento Regional <http://www.fcsh.unl.pt/faculdade/departamentos/geografia/apresentacao>

Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa – <http://www.fcsh.unl.pt/>

## CALIBRAÇÃO DE MODELOS DE INUNDAÇÃO COM IMAGENS DE RADAR DE ABERTURA SINTÉTICA (sar) NO BAIXO TEJO

Rita PESTANA<sup>1</sup>, Magda Paraíso MATIAS<sup>1</sup>, Ricardo CANELAS<sup>1</sup>, Dora ROQUE<sup>2</sup>,  
Amélia ARAÚJO<sup>1</sup>, Emília VAN ZELLER<sup>3</sup>, António TRIGO-TEIXEIRA<sup>1</sup>, Ana Paula FALCÃO<sup>1</sup>,  
Alexandre B. GONÇALVES<sup>1</sup>, Rui FERREIRA<sup>1</sup>, Sandra HELENO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

<sup>2</sup>Laboratório Nacional de Engenharia Civil

<sup>3</sup>Agência Portuguesa do Ambiente

**RESUMO:** As cheias constituem 40% de todos os desastres naturais mundiais e, na última década do século XX, foram responsáveis pela perda de 100 mil vidas humanas, afetando mais de 1400 milhões de pessoas. Nos últimos cem anos têm sido o fenómeno natural mais mortífero em Portugal, sendo o Baixo Tejo o local onde ocorrem as maiores cheias em termos de área inundada, com intervalo médio de 2,5 anos. A elevada frequência de cheias torna o Baixo Tejo adequado como região piloto para um trabalho sistemático de calibração de modelos de inundação. Este artigo centra-se na calibração de modelos 2D de simulação de cheias para eventos de 2001 e 2006, no troço de 70 km do Rio Tejo entre Tramagal e Ómnias, recorrendo ao modelo numérico Tuflow, que resolve as equações bidimensionais de superfície livre em águas pouco profundas.

Os modelos de inundação foram baseados num modelo digital de terreno (MDT) adquirido em 2008 por técnicas de radar (resolução espacial de 5 m), em medições in situ de nível de água em Ómnias (condição-fronteira a jusante) e no caudal em Tramagal e Zêzere (condições-fronteira a montante). Cinco diques foram introduzidos nos modelos. Todos os modelos têm as mesmas condições-fronteira e resolução da malha de 30 m. Um estado estacionário inicial foi garantido. Utilizaram-se classes de ocupação do solo CORINE Land Cover 2006, combinadas com coeficientes de rugosidade obtidos na literatura.

Mapas de inundação obtidos a partir da segmentação de imagens de radar de abertura sintética (SAR) nas classes água/terra permitiram a calibração dos modelos para as cheias de 2001 e 2006. Estes mapas foram comparados com os mapas de inundação simulados e os coeficientes de Manning (rugosidade) foram alterados em conformidade. Os modelos foram também calibrados pelo nível de água medido na estação hidrométrica de Almourol, a 12 km a jusante de Tramagal. Obtiveram-se, assim, mapas de coeficientes de rugosidade. E foi efetuada uma simulação para a maior cheia do século XX (fevereiro de 1979), para a qual não existe imagem de radar de abertura sintética; neste caso, a validação do modelo foi feita usando os valores de nível de água na estação de Almourol e as marcas de cheia distribuídas pela planície de inundação.

As imagens de radar de abertura sintética foram fornecidas pela Agência Espacial Europeia ao abrigo do projeto CAT-1, n.º 9441. Este estudo foi desenvolvido no âmbito do projeto RIVERSAR – “Exploração de Imagens SAR para Aperfeiçoar Modelos de Inundação no Rio Tejo” (PTDC/CTE-GIX/099085/2008), financiado pela FCT. Os resultados foram entregues à Agência Portuguesa do Ambiente, parceira do projeto, no âmbito da implementação em Portugal da Diretiva Europeia 2007/60/EC, refletindo a importância deste tipo de estudos na Geodecissão.

**Palavras-chave:** inundações fluviais, calibração de modelos hidrodinâmicos, imagens SAR, Rio Tejo

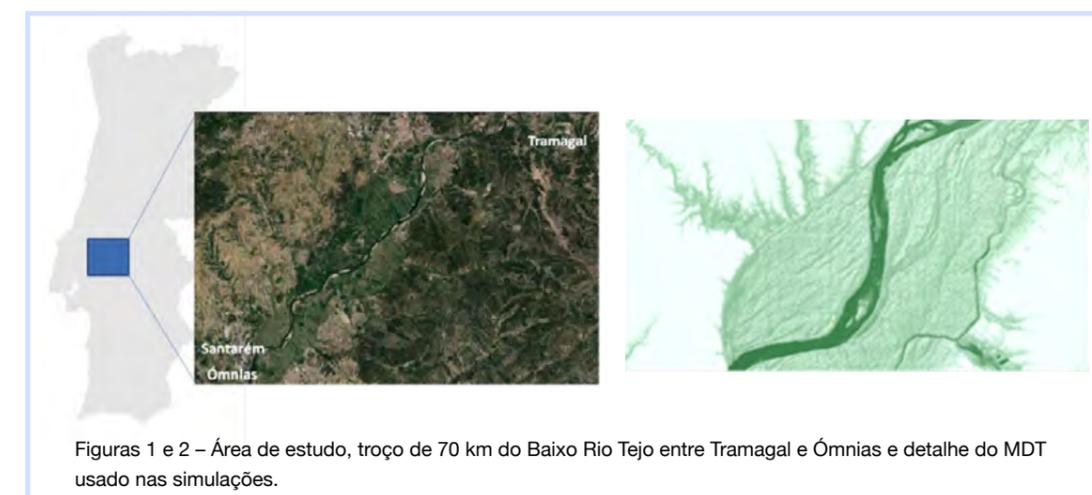
**ABSTRACT:** In terms of inundated area, the largest floods in Portugal occur in the Lower Tagus River. On average, the river overflows every 2.5 years, causing important socioeconomical impacts. This paper focus on the calibration of 2D-horizontal flood simulation models for floods of 2001 and 2006 on a 70-km stretch of the LT River. Flood extent maps, derived from SAR imagery were compared with simulated flood extent maps, to calibrate roughness coefficients. The combination of the calibration results provided a preliminary Manning coefficient map of the study area which was applied to simulate the flood of February of 1979.

**Keywords:** fluvial inundations, calibration of hydraulic models, SAR imagery, Tagus River

## 1. INTRODUÇÃO

As cheias são um dos desastres naturais mais mortais a nível mundial e o mais mortal em Portugal nos últimos 100 anos (Di Baldassarre et al., 2011; Azevêdo et al., 2004). É no Baixo Tejo que ocorrem as maiores cheias em termos de área inundada, com intervalo médio de 2,5 anos, causando bloqueio de estradas e importantes prejuízos agrícolas (Figura 1). A sua relevância económica e a elevada frequência dos eventos de cheia tornam o Baixo Tejo uma boa região piloto para um trabalho sistemático de calibração de modelos de inundação.

Este artigo centra-se na calibração de modelos 2D de simulação de cheias para eventos de janeiro de 2001 e novembro de 2006, no troço de 70 km do Rio Tejo entre Tramagal e Ómnias, usando mapas de extensão de inundação obtidos a partir da segmentação de imagens SAR (ERS SAR e ENVISAT ASAR WS, respetivamente com 12,5 m e 75 m de resolução espacial e adquiridas às 11h18min de 5/1/2001 e às 22h32min de 25/11/2006) e recorrendo ao modelo numérico Tuflow, que resolve as equações bidimensionais de superfície livre em águas pouco profundas. O mapa de coeficientes de rugosidade com 100 m de resolução obtido foi aplicado para simular a maior cheia do século XX – em fevereiro de 1979 – para a qual não existe imagem SAR disponível.



Figuras 1 e 2 – Área de estudo, troço de 70 km do Baixo Rio Tejo entre Tramagal e Ómnias e detalhe do MDT usado nas simulações.

## 2. DADOS E MÉTODOS

Para as simulações foi utilizado o software comercial Tuflow que resolve as equações bidimensionais de superfície livre em águas pouco profundas, baseado no método das diferenças finitas e no método da direção implícita alternada (Stelling, 1984). O modelo permite a introdução de estruturas uni e bidimensionais, tais como diques, que limitam o fluxo da água. O meio que utiliza é a água e a malha é estruturada. As condições-fronteira foram: caudal a montante e nível da água a jusante.

Os modelos hidráulicos usaram um Modelo Digital de Terreno com 5 m de resolução (Figura 2), produzido pela Intermap©. O MDT foi obtido com tecnologia IFSAR durante um período de seca (em março/abril de 2008), o que permitiu uma melhor definição das margens do rio, mouchões e bancos de areia (Matias et al., 2013).

Nas simulações foram usadas medições in situ do nível da água em Ómnias (condição-fronteira a jusante) e caudal em Tramagal (condição-fronteira a montante) (localizações na Figura 1). Devido à existência de diques neste troço do Baixo Tejo, inexistentes no MDT disponível, foram introduzidos no modelo aqueles que mais afectam o escoamento, pelo seu tamanho e disposição no rio, e para os quais estava disponível a altura (5 dos 23 diques públicos). Todas as simulações decorreram com as mesmas condições-fronteira e em todos os casos os estados estacionários iniciais foram garantidos. A resolução da malha foi de 30 m.

Os mapas de extensão de inundação (Figura 3), possibilitaram a informação espacial necessária para a calibração dos modelos hidráulicos. Os mapas de extensão de inundação obtidos para cada simulação foram comparados com os obtidos das imagens SAR e os coeficientes de rugosidade ajustados. Diversas medidas de semelhança entre os mapas de inundação simulados e os baseados nas imagens SAR (precisão global, coeficiente kappa, erros de omissão e comissão) foram obtidas a partir das matrizes de confusão, utilizando o software ENVI. Os modelos foram igualmente calibrados por comparação dos níveis na estação hidrométrica de Almourol, localizada 12 km a jusante de Tramagal.

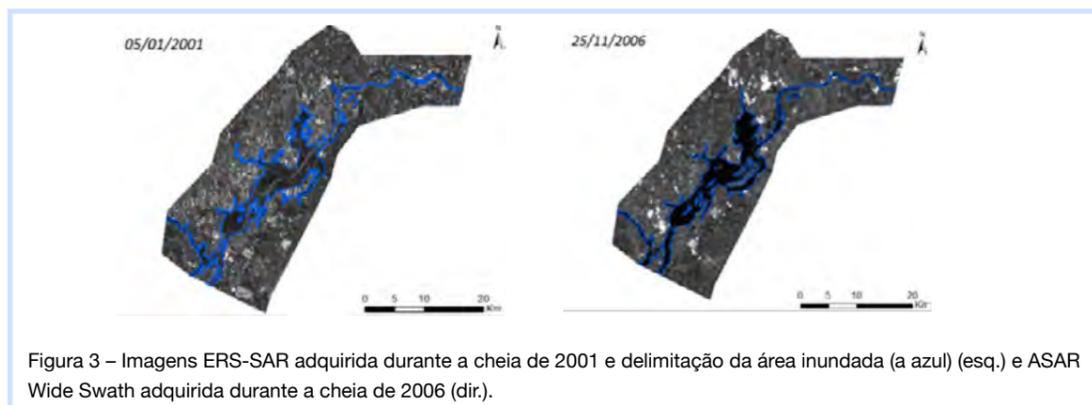


Figura 3 – Imagens ERS-SAR adquirida durante a cheia de 2001 e delimitação da área inundada (a azul) (esq.) e ASAR Wide Swath adquirida durante a cheia de 2006 (dir.).

Utilizaram-se dados de ocupação do solo (CORINE Land Cover 2006 – CLC) para modelar a componente de rugosidade. Optou-se por utilizar o CLC mais recente, uma vez que a ideia era criar um mapa de rugosidades calibrado que pudesse ser usado em várias cheias, independente do ano em que ocorreram, dependendo apenas da ordem de grandeza da mesma. Dado não existirem valores de coeficientes de rugosidade para a área de estudo, o mapa de coeficientes utilizado nas simulações foi baseado nas classes CLC cruzadas com valores de coeficientes de rugosidade retirados da literatura para outras áreas de estudo (p. ex. De Roo, 1999; Kalyanapu et al., 2009; Kotani et al., 1998; Mattocks et al., 2006). As classes mais comuns na várzea do Baixo Tejo são as áreas agrícolas. A mais frequente é a classe 212 (culturas temporárias de regadio) e a classe 221 (vinhas). Para a classe pastagens permanentes (231), encontraram-se diferentes valores na literatura: 0,03 e 0,26. Neste tipo de situações optou-se por usar o valor médio. Para outras classes não se encontraram classes equivalentes na literatura, pelo que se optou por utilizar, por omissão, o valor 0,05 para o coeficiente de Manning. Na Figura 4 pode ver-se um detalhe das classes CLC para a várzea. Note-se que somente um pequeno número de classes estão presentes na área de estudo. Foram estas as escolhidas para o ajuste dos valores dos coeficientes de Manning.

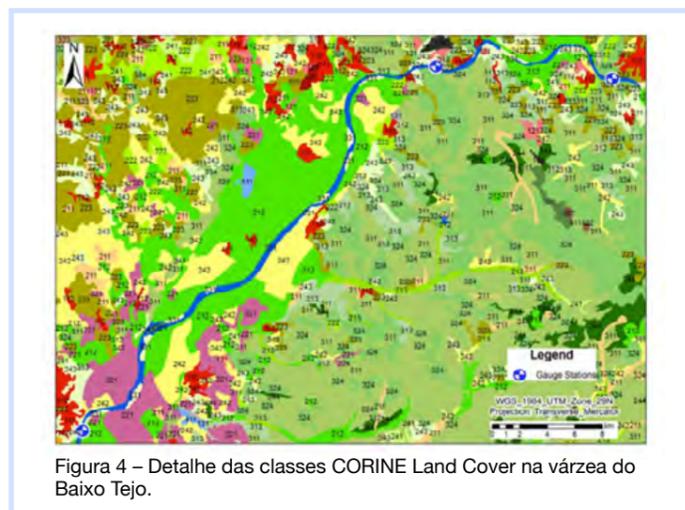
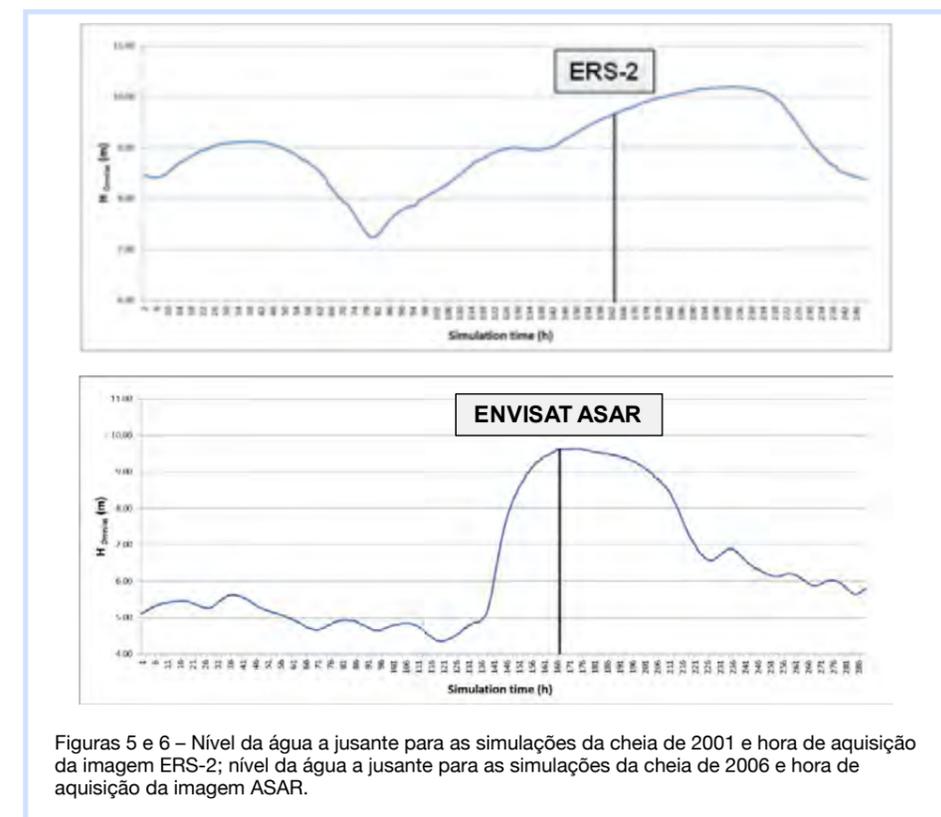


Figura 4 – Detalhe das classes CORINE Land Cover na várzea do Baixo Tejo.

Na Figura 5 está representada a condição-fronteira a jusante para as simulações da cheia de 2001. O caudal de ponta de cheia no Tramagal foi 4675 m<sup>3</sup>/s. A simulação cobre o período entre 29/12/2000 às 17 h e 9/1/2001 à 1 h. Na Figura 6 está representado o nível da água em Ómnias para as simulações de novembro de 2006. O caudal de ponta de cheia no Tramagal foi de 3266 m<sup>3</sup>/s. Correiu-se a simulação para o período entre 18/11/2006 às 12 h e 3/12/2006 às 12 h.



Figuras 5 e 6 – Nível da água a jusante para as simulações da cheia de 2001 e hora de aquisição da imagem ERS-2; nível da água a jusante para as simulações da cheia de 2006 e hora de aquisição da imagem ASAR.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 resume os resultados da calibração para as diversas simulações efetuadas para a cheia de janeiro de 2001, com as respetivas medidas de semelhança entre os mapas de extensão de inundação simulados e os resultantes da classificação da imagem de satélite. Para além de se ajustarem os valores dos coeficientes de Manning individualmente para algumas classes, também se alteraram como um todo os valores para todas as classes (exemplos destacados na Tabela 1). A Figura 7 ilustra as extensões de inundação resultantes da diminuição de 30% dos valores dos coeficientes de rugosidade (a azul na Tabela 1) e do aumento em 15% (a amarelo na Tabela 1) para todas as classes. Note-se que o aumento dos coeficientes de Manning causa a diminuição da área inundada.

As medidas de semelhança foram interpretadas como um todo. Os erros de omissão medem as áreas que surgem inundadas na imagem SAR, mas não nas simulações. Os erros de comissão medem as áreas que aparecem inundadas nas simulações e não na imagem SAR. O critério utilizado para priorizar a redução dos erros de omissão, uma vez que os resultados serão utilizados para produzir mapas de risco. Assim, para a cheia de janeiro de 2001, o melhor resultado foi obtido quando o coeficiente de Manning da classe 212 foi alterado para 0,20. Para este caso os erros de omissão (15,93%) e de comissão (24,63%) são relativamente baixos, e a precisão global é alta (96,15%). Também o coeficiente kappa é relativamente alto (0,77). A Figura 8 mostra os erros de omissão/comissão para este melhor caso.

Tabela 1 – Resultados de calibração para as simulações da cheia de janeiro de 2001 e medidas de semelhança entre os mapas de extensão de inundação.

Manning Coefficient						overall accuracy (%)	k coefficient	omission (%)	comission (%)
212	221	242	511	512	...				
0.200	-	-	-	-	-	96.15	0.77	15.99	24.63
0.015	-	-	-	-	-	95.86	0.73	27.98	20.54
-	0.200	-	-	-	-	95.98	0.75	22.00	22.95
-	0.015	-	-	-	-	96.12	0.75	24.37	20.34
-	-	0.200	-	-	-	95.73	0.74	23.79	24.22
-	-	0.015	-	-	-	96.13	0.76	23.37	20.92
-	-	-	0.020	0.020	-	96.25	0.74	32.83	12.30
-	-	-	0.040	0.040	-	95.71	0.76	13.50	28.69
-	-	-	0.050	0.050	-	94.96	0.73	9.51	34.29
0.100	-	-	0.020	0.020	-	96.33	0.75	30.91	13.13
0.150	-	-	0.025	0.025	-	96.46	0.78	22.56	18.25
-30.00%						96.20	0.73	37.12	8.37
15.00%						95.74	0.75	16.46	27.37
30.00%						95.43	0.75	11.68	31.08
0.015	30.00%					95.90	0.72	32.40	16.97
-						96.10	0.76	23.52	21.11
0.050						94.76	0.66	32.26	30.42

O mesmo processo de calibração foi repetido para a cheia de 2006. Comparando os resultados para ambos os eventos, conclui-se que um aumento de 15% dos valores dos coeficientes de Manning para todas as classes resultou nas melhores medidas de semelhança entre as extensões de inundação simuladas e baseadas nas imagens SAR. As Figs. 9a e 9b ilustram os melhores casos, para os quais as medidas de semelhança são apresentadas na Tabela 2.

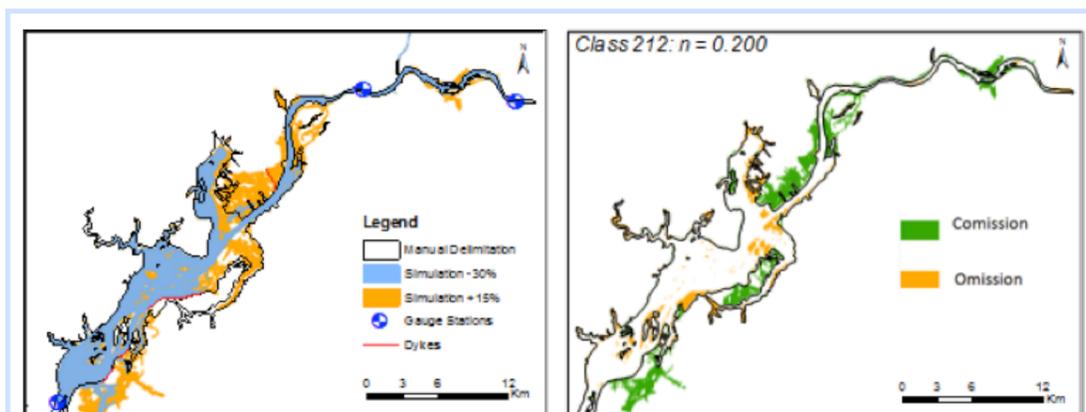
Tabela 2 – Medidas de semelhança para as simulações da Figura 9.

Flood	overall accuracy (%)	k coefficient	omission (%)	comission (%)
05-01-2001	95.74	0.75	16.46	27.37
25-11-2006	95.60	0.78	8.09	29.08

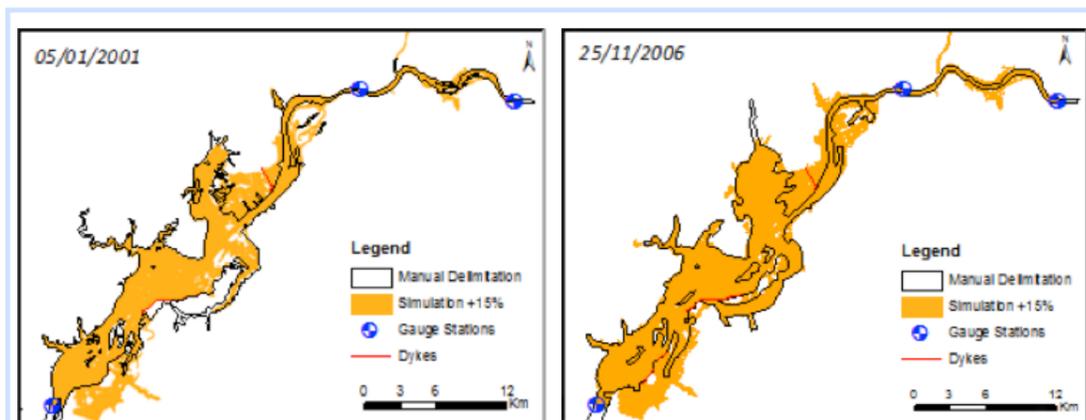
Na Tabela 3 estão os valores preliminares dos coeficientes de rugosidade para as classes CLC na região do Baixo Tejo. No entanto, é preciso salvaguardar que há erros associados com o modelo altimétrico, uma vez que data de 2008 e as cheias estudadas ocorreram em 2001 e 2006. Também as imagens SAR têm diferente resolução espacial, o que poderá ter introduzido erros na delimitação. Deve ainda ser tido em conta que a calibração do coeficiente de Manning permite compensar outras incertezas no processo de simulação.

Tabela 3 – Valores dos coeficientes de rugosidade (n) para as classes CLC no Baixo Tejo.

Code	Designation	n	Code	Designation	n
111	Continuous urban fabric	0.230	242	Complex cultivation patterns	0.023
112	Discontinuous urban fabric	0.115	243	Agriculture, w/significant natural vegetation	0.058
121	Industrial or commercial units	0.230	244	Agro-forestry areas	0.058
122	Roads and rail networks and associated land	0.038	311	Broad-leaved forest	0.230
124	Airports	0.230	312	Coniferous forest	0.127
131	Mineral extraction sites	0.104	313	Mixed forest	0.230
132	Dump sites	0.115	321	Natural grasslands	0.039
133	Construction sites	0.115	322	Moors and heathland	0.058
142	Sport and leisure facilities	0.023	323	Sclerophyllous vegetation	0.058
211	Non-irrigated arable land	0.043	324	Transitional woodland-shrub	0.058
212	Permanently irrigated land	0.043	331	Beaches, dunes, sands	0.138
213	Rice fields	0.023	332	Bare rocks	0.104
221	Vineyards	0.043	333	Sparsely vegetated areas	0.104
222	Fruit trees and berry plantations	0.043	334	Burnt areas	0.104
223	Olive groves	0.043	411	Inland marshes	0.115
231	Pastures	0.298	511	Water courses	0.035
241	Annual crops associated w/permanent crops	0.043	512	Water bodies	0.035



Figuras 7 e 8 – Extensões de inundação resultantes da diminuição de 30% (a azul) e do aumento de 15% (a amarelo) dos valores de Manning, e delimitação manual da cheia de 2001 (a preto). Erros de omissão e comissão para a melhor simulação da cheia de 2001.

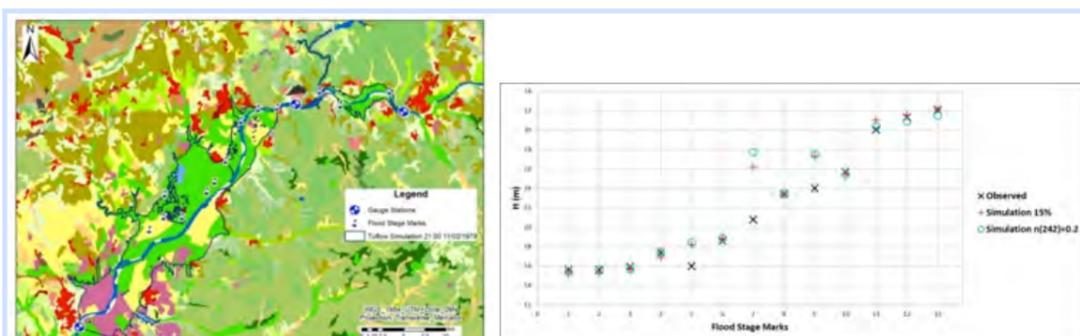


Figuras 9a e 9b – Extensão de inundação simulada resultante do aumento de 15% dos valores de Manning e comparação com as delimitações das imagens SAR para as cheias de 2001 e 2006.

O mapa de coeficientes de rugosidade obtido foi então usado na simulação da cheia de 1979 que teve um caudal de ponta de cheia em Tramagal de 11042 m³/s. A validação foi efetuada comparando os níveis observados e simulados na estação hidrométrica de Almourol e em marcas de cheia distribuídas pela várzea. Os resultados encontram-se na Figura 10 e na Figura 11. Note-se a concordância entre os valores dos níveis da água simulados e os observados nas marcas de cheia. A discrepância para as marcas 7 e 9 relaciona-se com a sua localização muito próxima dos diques introduzidos no modelo, o que provoca instabilidades nas simulações.

#### 4. CONCLUSÕES

O software Tuflow simulou com êxito cheias na área de estudo (troço de 70 km do Baixo Tejo). O presente estudo mostra a importância da modelação dos coeficientes de rugosidade: pequenas alterações no valor deste coeficiente numa classe de ocupação do solo alteram significativamente



Figuras 10 e 11 – Extensão de inundação simulada para a cheia de 1979. Comparação entre os níveis observados e simulados para as marcas de cheia.

os resultados das simulações. Foi possível chegar a um melhor caso de mapa de coeficientes de rugosidade para as classe CLC e aplicá-lo com êxito à maior cheia na região no século XX.

Os resultados deste estudo foram entregues à Agência Portuguesa do Ambiente, parceira do projeto RIVERSAR, no âmbito da implementação em Portugal da Diretiva Europeia 2007/60/EC de 23 de outubro de 2007, referente à avaliação e gestão do risco de inundação na Europa. Mais especificamente, estes resultados contribuirão para a elaboração futura de mapas de risco de inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Tejo.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) pelo financiamento do projeto RIVERSAR (PTDC/CTE-GIX/099085/2008), e ao SNIRH pelos dados hidrométricos. Imagens SAR fornecidas pela ESA através dos projetos categoria-1, n.º 9441 e n.º 11576.

#### REFERÊNCIAS

Azevedo T.M., Nunes E., Ramos C. (2004). Some morphological aspects and hydrological characterization of the Tagus floods in the Santarém region, Portugal. *Natural Hazards*, 31, p.587-601.

De Roo, A.P.J. (1999). LISFLOOD: a rainfall-runoff model for large river basins to assess the influence of land use changes on flood risk. In Balabanis, P. et al. (Eds.), *Ribamod: River Basin Modelling, Management and Flood Mitigation*. Concerted Action, European Commission.

Di Baldassarre G et al. (2011) Timely low resolution SAR imagery to support floodplain modelling: a Case study review. *Surv Geophys*, 32, p.255-269.

Kalyanapu, A., Burian, S. e McPherson, T. (2009). Effect of land use-based surface roughness on hydrologic model output. *Journal of Spatial Hydrology*, 9(2).

Kotani, M., Imamura F. e Shuto., N. (1998). Tsunami run-up simulation and damage estimation by using GIS. *Proc. of Coastal Eng.*, JSCE, 45 (1), p. 356-360.

Matias, M.P., Falcão, A.P., Gonçalves, A.B., Alvares, T., Pestana, R., Van Zeller, E., Rodrigues, V. e Heleno, S (2013). A methodology to generate a digital elevation model by combining topographic and bathymetric data in fluvial environments. *European Space Agency Special Publication SP-722. Proceedings of the ESA Living Planet Symposium 2013, Edinburgh, Reino Unido.*

Mattocks, C., Forbes, C e Ran, L. (2006). Design and Implementation of a Real-Time Storm Surge and Flood Forecasting Capability for the State of North Carolina, UNC-CEP Technical Report. Novembro 30, 2006.

Stelling, G.S. (1984). On the construction of computational methods for shallow water flow problems. *Rijkswaterstaat Communications*, no. 35/1984. The Hague, The Netherlands.

#### CONTACTOS

rita.pestana@tecnico.ulisboa.pt; magda.matias@tecnico.ulisboa.pt; ricardo.canelas@tecnico.ulisboa.pt; droque@lnec.pt; amelia.araujo@tecnico.ulisboa.pt; emilia.vanzeller@apambiente.pt; trigo.teixeira@tecnico.ulisboa.pt; ana.p.falcao@tecnico.ulisboa.pt; alexandre.goncalves@tecnico.ulisboa.pt; ruimteixeira@tecnico.ulisboa.pt; sandra.heleno@tecnico.ulisboa.pt

## REMOTE SENSING APPLICATIONS BASED ON SATELLITE OPEN DATA (LANDSAT8 AND SENTINEL-2)

Nuno DURO SANTOS<sup>1</sup>, Gil GONÇALVES<sup>2, 3</sup>

<sup>1</sup>Bluecover

<sup>2</sup>Universidade de Coimbra

<sup>3</sup>INESC-Coimbra

**RESUMO:** A Deteção Remota tem evoluído bastante com o lançamento de vários satélites de Observação da Terra, cada vez com melhores imagens em termos de resolução radiométrica, temporal, espacial e espectral. Apesar dos múltiplos operadores internacionais, que vão desde os EUA à Europa e Ásia, a política de distribuição gratuita de dados deve, no entanto, ser o principal catalisador do desenvolvimento de serviços de deteção remota, em particular com o lançamento do Landsat-8 e o Sentinel-2. O estudo efetuado teve por objetivo fazer uma análise dos novos produtos abertos, identificando potenciais novas aplicações de deteção remota, assim como avaliar a viabilidade de implementar uma cadeia de produção rápida de mapas temáticos, como por exemplo mapas de uso e ocupação de solo. Esta avaliação centrou-se em Portugal Continental. A análise de Landsat-8 foi realizada com duas estações do ano dado que existem imagens adquiridas desde 2013. A análise do Sentinel-2 foi efetuada comparativamente com os resultados do Landsat-8 dado que as primeiras imagens só deverão estar disponíveis em 2015 existindo apenas dados simulados de algumas regiões específicas. Os resultados da avaliação apontam para a viabilidade de obter mapas rápidos de ocupação de solo, com base na automatização do processo de produção e usando dados de treino pré-definidos. A qualidade final dos produtos poderá ainda ser analisada com maior detalhe. O Sentinel-2 deverá introduzir algumas melhorias relativamente ao Landsat-8, com mais bandas nos red-edge e infravermelhos, para além de uma maior resolução temporal (5 dias de revisita) e espacial (10 metros). Considerando que ambos os programas têm a visão de garantir continuidade das suas missões, a implementação de um serviço de cartografia rápida baseado em dados abertos poderá fazer sentido como sistema de apoio à geodesição em domínios aplicativos específicos.

**Palavras-chave:** Landsat-8, Sentinel-2, deteção remota, ocupação de solo, dados abertos

**ABSTRACT:** Remote Sensing has greatly evolved with the launch of several Earth Observation satellites from multiple international operators from U.S. to Europe and Asia. More images are available with better temporal, spatial and spectral resolution. Despite increasing number of images, the free data policy should be one of the main catalyst for the development of remote sensing services in particular with Landsat and Sentinel programs. The analysis conducted aimed to make an assessment of the new EO open data from optical domain, identifying the potential new remote sensing services and also to investigate the feasibility to produce rapid mapping from Landsat-8 and Sentinel-2, such as land use and land cover maps. This assessment targets in Portugal Continental. The evaluation of Landsat8 data was performed using images from two seasons since this satellite is making acquisitions since 2013. The evaluation of Sentinel-2 was performed comparatively with Landsat-8 since for the time being data is not yet available and only simulated data exists from specific regions. The analysis of the results indicate that it is feasible to quickly obtain land cover maps, based on the automation of the production process and using pre-defined training data. The quality of products has to be analysed. Sentinel-2 will introduce some improvements, with more bands in the red edge and infrared frequency range, in addition to better spatial 10 meters resolution. Whereas both programs have the vision to ensure continuity of its missions, the implementation of a rapid mapping service based on open data can make sense to support geo-decision systems in specific application domains.

**Keywords:** Landsat-8, Sentinel-2, remote sensing, land cover, open data.

## 1. INTRODUCTION

Remote sensing has greatly evolved with the launch of several satellites for Earth Observation (EO), from multiple international operators from U.S. to Europe and Asia. More images are now available with better temporal, spatial, radiometric and spectral resolution.

However, the free policy of the data distribution should be one of the main catalyst for the development of remote sensing services, particularly Landsat and Sentinel programs. Other open-data government initiatives, such as open-data.europa.eu, Data.gov and Data.gov.uk, will also encourage the production of new services resulting from the fusion of EO data with these open datasets.

In addition, the data continuity strategy of these open data programs assure the sustainability of services developed by the researchers and industry. Landsat is now the longest continuous Earth imaging program, starting with the launch of Landsat-1 in 1972 through Landsat-8 in March 2013 and Sentinels program will also provide enhanced continuity to Envisat and Landsat data. Considering this panorama there is also a need to know the span of the new available products and which of them best fit the evolution of existing services.

### 1.1. Objectives

The paper aims to analyse the new open EO data from high-resolution optical domain and create awareness for its usage and application on other sectors rather than the traditional government sector. The analysis focus on Open Data from Landsat-8 and Sentinel-2 on the following two areas:

- Analysis of the new products, including spatial and spectral features, and identification of new potential applications
- Evaluation of the feasibility to produce rapid mapping from these open data sets (such as Land Cover mapping)

The analysis will not cover validation activities but only identify the potential indicators to be produced that will then require a proper validation.

## 2. COMPARISON ANALYSIS OF LANDSAT-8 AND SENTINEL-2

Landsat8 and Sentinel-2 will produce high-resolution optical imaging following their predecessors Landsat-7, Landsat-5 and Envisat. Therefore, this analysis not only compares Landsat-8 and Sentinel-2 but also Landsat-7 that was the latest reference on satellite's open data (see comparison Table 1).

Table 1 – Landsat-7, Landsat-8 and Sentinel-2 overview

	Launch	Revisit Time (No. of Satellites)	Instrument (Spectral Bands)	Instrument (Thermal bands)
Landsat-7	April, 1999	every 16 days (1 satellite)	ETM+ MS (6 bands)	ETM+ thermal (1 band)
Landsat-8	March, 2013	every 16 days (1 satellite)	OLI (8 bands)	TIRS (3 bands)
Landsat-2	2014 (date to be confirmed)	every 5 days (2 satellites)	MSI (12 bands)	—

Landsat-8 and Sentinel-2 introduce new bands and provide narrowed bands. In addition, both Landsat8 and Sentinel-2 have radiometric quantization of 12-bits higher than the previous 8-bit from Landsat instruments and Sentinel-2 also provides better spatial resolution. A summary comparison is presented in Table 2.

Table 2 – Comparison of Landsat and Sentinel-2 images specification

Parameter	Landsat-7 ETM+		Landsat-8 OLI		Sentinel-2 MSI	
	Band	Wavelength µm	Band	Wavelength µm	Band	Wavelength µm
Spectral bands	-	-	1 (coastal / aerosol)	0.43-0.45	B1 (blue)	0.43-0.45
	1 (blue)	0.45-0.52	2 (blue)	0.45-0.52	B2 (blue)	0.46-0.52
	2 (green)	0.52-0.60	3 (green)	0.52-0.60	B3 (green)	0.54-0.58
	3 (red)	0.63-0.69	4 (red)	0.63-0.68	B4 (red)	0.65-0.68
	-	-	-	-	B5 (red edge)	0.70-0.71
	-	-	-	-	B6 (red edge)	0.73-0.75
	4 (NIR)	0.77-0.90	-	-	B7 (red edge)	0.77-0.79
	-	-	-	-	B8 (NIR)	0.78-0.90
	-	-	5 (NIR)	0.84-0.88	B8a (NIR)	0.86-0.88
	-	-	-	-	B9 (water vapor)	0.93-0.95
	-	-	9 (cirrus)	1.36-1.39	B10 (cirrus)	1.37-1.39
	5 (SWIR1)	1.55-1.75	6 (SWIR1)	1.56-1.66	B11 (SWIR1)	1.57-1.66
	7 (SWIR2)	2.09-2.35	7 (SWIR2)	2.10-2.30	B12 (SWIR2)	2.10-2.28
	8 (PAN)	0.52-0.90	8 (PAN)	0.50 - 0.68	-	-
L7 ETM+ thermal		Landsat8 TIRS		-		
6 (TIR)	10.40-12.50	10 (TIR1)	10.3-11.3	-		
		11 (TIR2)	11.5-12.5	-		
GSD at nadir	30 m VNIR 15 m Pan 100 (30) m TIR	30 m VNIR 15 m Pan 100 (30) m TIR	10 m (B2, B3, B4, B8) 20 m (B5, B6, B7, B8a, B11, B12) 60 m (B1, B9, B10)			
Quantization	8 bit		12 bit		12 bit	
Onboard Calibration	Yes		Yes		Yes	
Off-axis viewing	Up to 7.5° off nadir		Up to 7.5° off nadir		Up to 10.3° off nadir (w/o pointing)	
Orbit altitude	705 km		705 km		786 km	
Swath width	185 km		185 km		290 km	

The target applications of Landsat-8 and Sentinel-2 are similar. Landsat-8 focus on natural processes (volcanic eruptions, glacial retreat, floods and forest fires) and human-induced processes such as urban expansion, crop irrigation and forest clear-cutting [Landsatnews, 2013]. Sentinel-2 preparatory activities are being supported by five European Space Agency (ESA) projects [Arino, 2013], each on a specific target sector, namely agriculture, wetlands, coastal zones, forest and food security. Each project included user consultation activities to gather product requirements from each user community.

### 3. POTENTIAL REMOTE SENSING APPLICATIONS FOR PORTUGAL

#### 3.1. Image Data Procurement for the Area of Interest

The area of interest under analysis focuses on Continental Portugal.

Landsat-8 has images available since 2013 and thus two complete acquisitions from a dry and a wet season were made constituting the analysis baseline. Additional historical Landsat images were used and new acquisitions were made in some of the analysis.

Sentinel-2 is planned to be launched shortly and, since only simulated data is available from specific regions, no data has been used. The analysis of Sentinel-2 was performed comparing the specifications with Landsat-8 analysis results.

#### 3.2. Product Mosaic Portugal 2013/2014

Two full mosaics of Portugal from Landsat-8 were acquired for Dry Season 2013 (from 20th of June 2013 to 23rd of August 2013) and Wet Season 2014 (from 20th November 2013 to 23rd January 2014).

The spectral bands available and the radiometric capability allow multiple RGB band combinations. The common combinations have been defined over the years and mapped to Landsat-8 bands by [Butler, 2013]. The results applied to Portugal Mosaic have an impressive visual effect as presented in Figure 1 and 2.

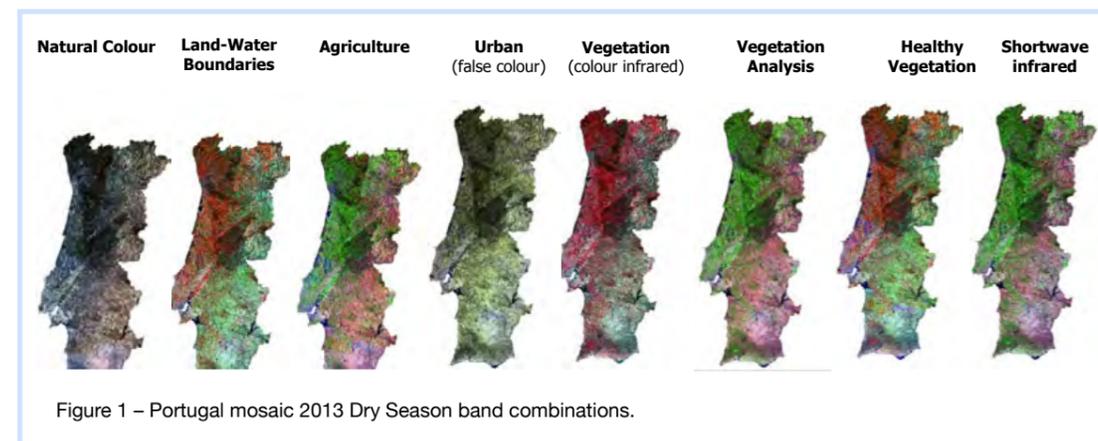


Figure 1 – Portugal mosaic 2013 Dry Season band combinations.

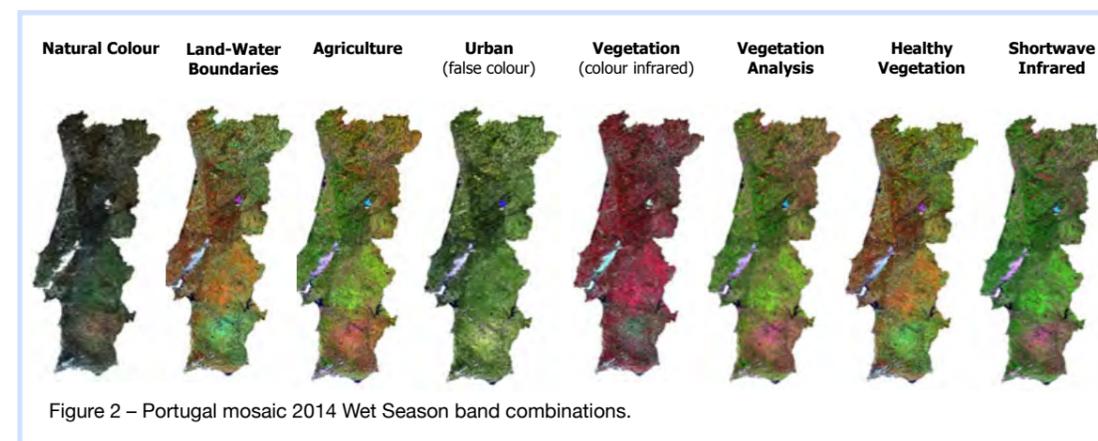


Figure 2 – Portugal mosaic 2014 Wet Season band combinations.

### 3.3. Analysis of new spectral and spatial features

#### 3.3.1. Land and Ocean

Although both satellites are more oriented to land than sea, Landsat-8 is providing an impressive picture of band combinations on coastal zones at regional scales mapping (Figure 3).



Figure 3 – Aveiro, Sagres and Alqueva band combinations from Portugal 2014 Wet Season.

Also the new band1, called coastal/aerosol band, will allow closer investigations of coastal waters and make imaging on shallow water.

#### 3.3.2. Pan-sharpening

The pan-sharpening using panchromatic band is possible in Landsat-7 and it continues being supported in Landsat-8, allowing merging high-resolution panchromatic band of 15 meters and lower resolution multispectral imagery of 30 meters to create a single high-resolution colour image. An image detail of Lisbon is presented in Figure 4.

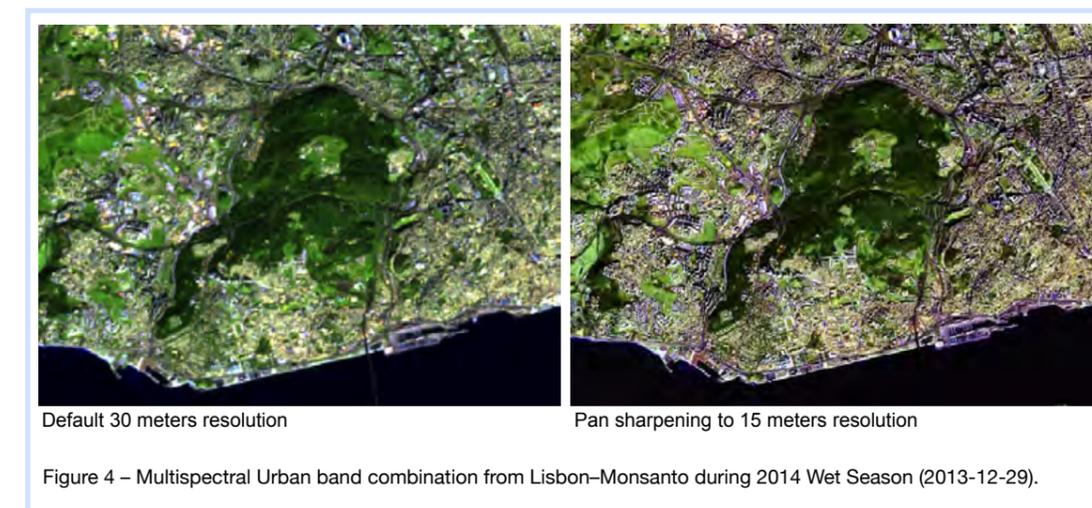


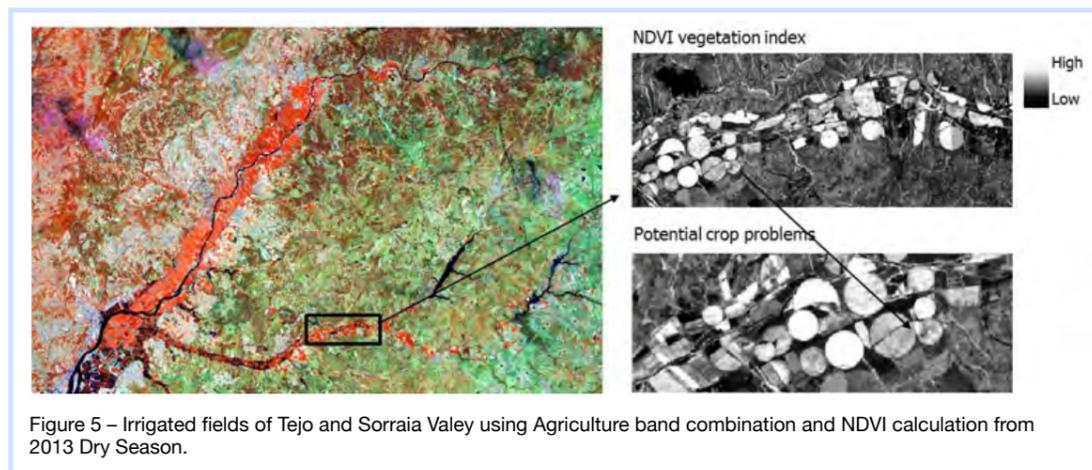
Figure 4 – Multispectral Urban band combination from Lisbon–Monsanto during 2014 Wet Season (2013-12-29).

The pan-sharpening with panchromatic band may be particularly useful to improve the classification accuracy, for instance for improving urban change detection rates (Forsythe, 2004).

#### 3.4. Agriculture

Landsat is being used in agriculture for local and global decision-making, in particular North and South America, for monitoring and managing crops, forecasting crop production, managing water use and monitoring drought.

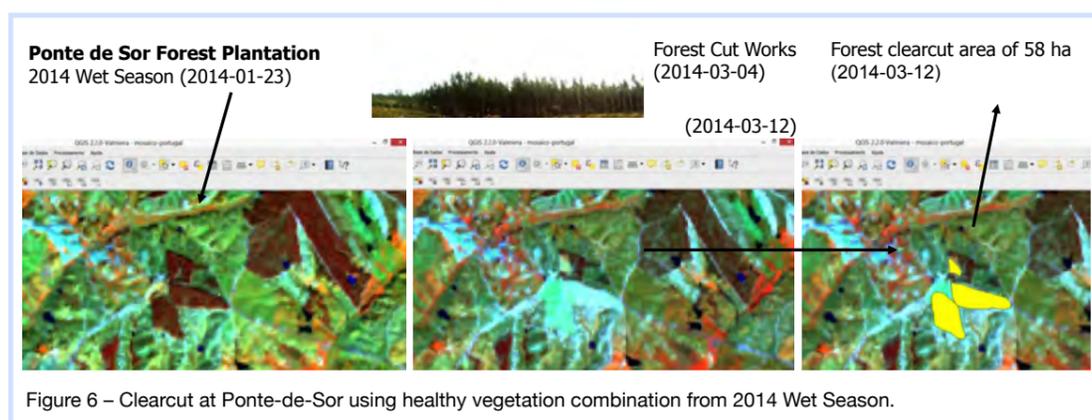
Landsat-8 continues to support these services. One of the services is computing vegetation indexes (such as Soil Adjusted Vegetation Index - SAVI or Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) for making initial assessments of an area. These assessments allow highlighting possible problems derived by low vegetation areas cover and signs of possible stress (Figure 5).



The possible problems can be then complemented with more detailed resolution images, such as Rapideye, or insitu visits.

### 3.5. Forest Clearcut

Forest clear cuts are visible in healthy vegetation combinations where bright blue areas represent recently clearcut areas as demonstrated on the assessment (see middle image from Figure 6).



Change-detection techniques can be automated to make rapid detections not only of clearcuts but also burnt areas [Bastarrika, 2011].

### 3.6. Coastline changes

Due to both natural and anthropogenic causes the coastline, boundary between land and sea, keeps changing dynamically and continuously its shape and position over the time. Detection, extraction and monitoring the coastline is an important issue for Portugal where 85% of its GDP

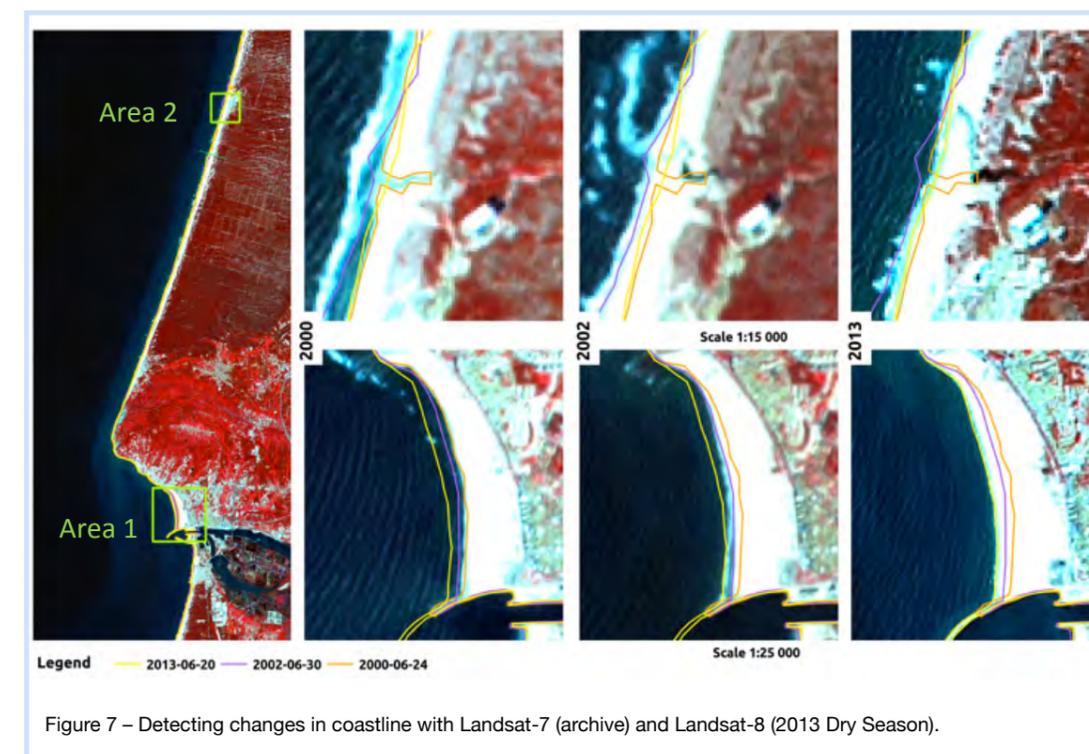
(Gross Domestic Product) is generated in the coastal zone in which more than 75% of its population lives there. Moreover, delineate automated procedures for detecting changes in coastline using free available remote sensing data sources and software is also an important issue nowadays.

Table 3 – Tidal conditions during data acquisition

Images			Acq. Time	Tide max.	Tide min	Tide estim.
Date	Sensor	Im Numb.	GMT	GMT – h (m)	GMT – h (m)	h (m)
2000-06-24	ETM+	L7-2000	11:05:52	07:42 – 2.62	13:40 – 1.26	1.60
2002-06-30	ETM+	L7-2002	11:02:33	06:26 – 2.71	12:19 – 1.12	1.23
2013-06-20	OLI	L8-2013	11:16:02	12:01 – 3.11	05:41 – 0.94	1.05

Although the development of an automatic monitoring system is currently being developed by the authors, is worth to show how the multi-temporal and multi-resolution satellite images of Landsat archive can be used to detect changes in the coastline. In fact, using 3 satellites images whose characteristics are given in Table 3 we can observe visually some significant coastline changes (see Figure 7). First, an important accretion issue is revealed in Praia do Relógio beach (Area-1) between the years 2000 and 2013. Second, an erratic path can be observed in the pond ditch (Area-2).

Finally is worth to note that the planimetric position of the coastline derived from a satellite image depends on tidal height at the satellite overpass. Therefore, for monitoring the coastline with satellite images, they need to be acquired at similar tidal heights. In this study, the tidal heights for the 3 images at the time of satellite overpass are interpolated using a two-point cosine interpolator (Table 3). Because the difference in tidal heights for the image differ by only 0.55m and take in consideration the pixel resolution (15m for pansharpenned images) and the slope for the beach areas we can conclude that the images are adequate for this analysis.



### 3.7. Geoscience

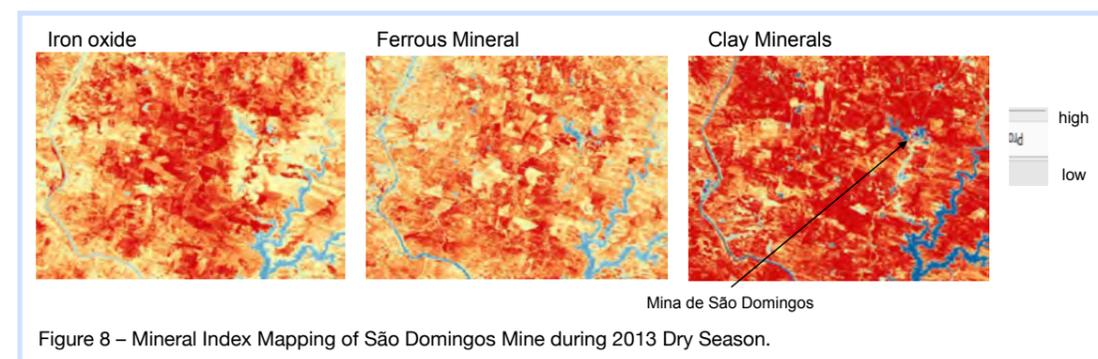
The mineral composite index mapping is being performed by researchers using multispectral satellite images to support the identification of minerals, rocks and soils.

Landsat-7 has also been studied in articles such as [Dogan, 2009] by using ratios of spectral bands (Table 4). For example, iron oxide reflects more strongly in band 3 than in band 1, so that a Band-3/Band-1 ratio provides a mechanism for searching iron oxides. Other ferrous minerals can be found using a Band- 5/Band-4 ratio. Clay minerals reflect more strongly in band 5 than in band 7, so that a Band-5/Band-7 ratio is a means of separating them from other minerals.

Table 4 – Mineral Indexes with Landsat

Feature	Band Ratio Landsat7	Band Ratio Landsat8
Clays	5/7	6/7
Ferrous oxides (goethite)	5/4	6/5
Iron oxide (hematite)	3/1	4/2

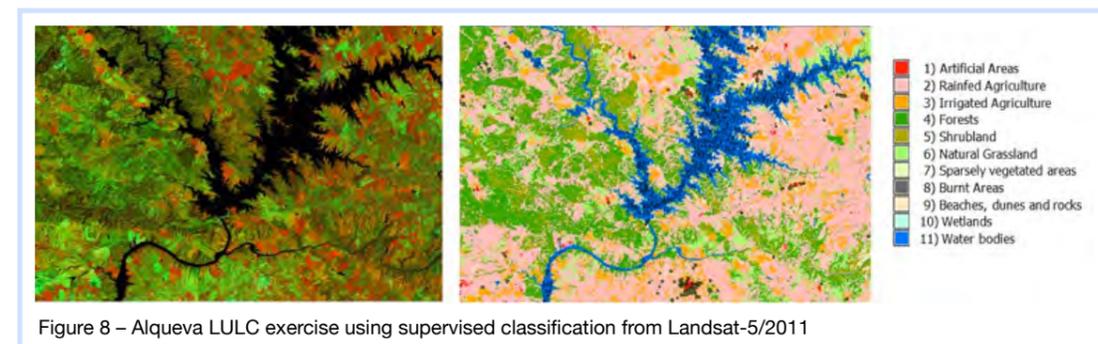
These ratios (Table 4) were applied to Portugal 2013 dry season and classified into 5 classes. The results are described in the Figure 8.



Although the mineral index classification could have better results with more narrow spectral bands of Landsat-8, at this stage no conclusion can be achieved until scientific analysis are performed.

### 3.8. Land Cover

The analysis conducted aimed making a preliminary assessment of remote sensing services to quickly produce land use and land cover (LULC) maps from Landsat-8 open data. This assessment used existing open source processing chains from Landsat-5 and 7 (refer to Figure 8). Acquisitions from dry and wet season are used by these processing chains in order to distinguish between rainfed and irrigated agriculture.



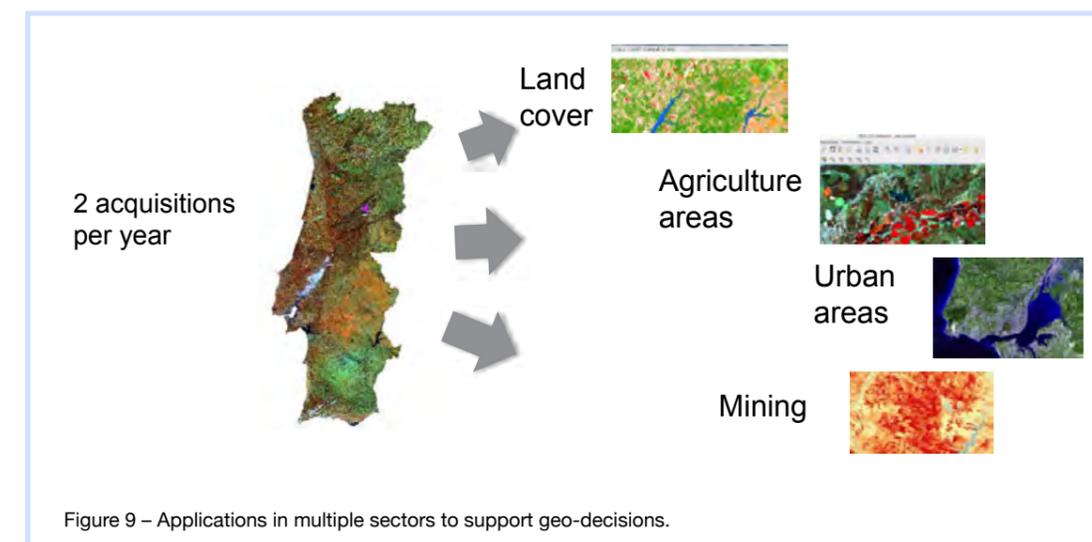
The analysis results indicate that some adaption effort is needed to support the new features of Landsat-8 (e.g. 16bit images) but it is feasible to produce rapid land cover mapping based on an automated process and using pre-defined training data.

The quality of products has to be analysed but according to classification tests, conducted by Curtis Woodcock of Boston University, the classification results were 19.5 percent more accurate than those developed from Landsat-7 [Landsat News, 2014].

## 4. CONCLUSIONS

### 4.1. Applications in multiple sectors

The demonstration for Portugal used two open datasets from Landsat-8 providing valuable information to produce different information. These baseline datasets, complemented with historical or new acquisitions, were used for making different spatial, spectral, temporal analysis. The analysis results demonstrated that the two baseline datasets per year is technically feasible to acquire and to produce indicators that complemented with a validation process can be very useful to support geo-decisions in multiple sectors (see Figure 9).



At a first level the high resolution Landsat-like imagery is still driven by government entities since its specification is more adequate to public needs. But at a second level the same data can be exploited by other sectors, such as industry and energy that are more demanding in terms of spatial and temporal resolution but could be complemented with other sources (e.g. aerial data, very high resolution data).

The implementation of geo-decisions processes on each sector will required specific validations. The validation of thematic Landsat process chains has been developed over the years with various programs but it has not been the subject of this analysis. Nevertheless, the implementation of Landsat-8 validation processing with insitu and auxiliary data is possible and, in some cases, can be performed automatically.

Considering the Sentinel-2 specification, and based on the Landsat-8 results, it is expectable that Sentinel-2 will bring significant improvements to the users of open data. The three major improvements are: more narrow bands in the red edge and infrared frequency range, better spatial resolution (10meters) and better temporal resolution (5 days revisit). The better temporal resolution theoretically allows 3 times more acquisitions than Landsat that will allow to acquire more successfully baselines and/or perform more monitoring detections. The spatial resolution of

10 meters will get closer to the current commercial satellites while the narrow bands in the red-edge and infrared may provide better vegetation monitoring services. These three features enhancements makes Sentinel-2 more promising for usage in agriculture and forest sectors.

#### 4.2. Rapid Prototyping feasibility

In addition of having good sensors, the satellite success depends on the existence of good tools and support of developers/providers to produce the final user applications.

Landsat8 has inherit most of the formats, techniques and applications from its predecessors with some features enhancements. Commercial and open source tools are gradually supporting the new features, in particular the 16 bits data images derived from 12-bits sensors. Commercial tools reacted more rapidly, such as ArcGIS (support Landsat-8 since v10.2, September 2013) and PCI Geomatics. Open Source tools support were not so straight forward, some difficulties were encountered in this work. Nevertheless, the automation is possible with OTB, QGIS and GRASS to produce rapid mapping.

With respect to Sentinel-2, ESA program is now developing a specific toolbox based on BEAM open-source toolbox to support S2 product analysis and processing.

As a final remark, it is the authors believe that open data and open source tools will create a wider development community that may boom the development of new applications and solutions.

#### 5. OTHER INFORMATION

Bluecover Technologies is a start-up organization that is evaluating the market opportunities to produce a rapid mapping service from Open Datasets such as Landsat-8 and Sentinel-2.

Acknowledgments to Vasco Nunes (Forest Engineer and Remote Sensing specialist) and José Carvalho (Geologist).

#### REFERENCES

Landsat Missions - Frequently Asked Questions at [http://landsat.usgs.gov/tools\\_faq.php](http://landsat.usgs.gov/tools_faq.php)

Landsat News 2014, NASA-USGS Landsat 8 Satellite Celebrates First Year of Success, [http://www.nasa.gov/content/goddard/nasa-usgs-landsat-8-satellite-celebrates-first-year-of-success/#.UyIv1vI\\_spo](http://www.nasa.gov/content/goddard/nasa-usgs-landsat-8-satellite-celebrates-first-year-of-success/#.UyIv1vI_spo)

Arino, Olivier (2013), DUE Preparatory Activities for Sentinel 2 Exploitation, ESA symposium 2013.

Butler, Kevin (2013), ESRI band combination, URL: <http://blogs.esri.com/esri/arcgis/2013/07/24/band-combinations-for-landsat-8/>

Bastarrika, Aitor (2011), Mapping burned areas from Landsat TM/ETM+ data with a two-phase algorithm: Balancing omission and commission errors. Remote Sensing of Environment, Volume 115, Issue 4, 15 Abril, Páginas 1003-1012

Dogan, Hakan Mete (2009), Mineral composite assessment of Kelkit River Basin in Turkey by means of remote sensing. Journal of Earth System Science, Volume 118, Issue 6, pp 701-710

Forsythe, K. W. (2004). Pansharpened Landsat 7 imagery for improved urban area classification. Geomatica, 58(1), 23-31.

#### CONTACTS

Nuno DURO SANTOS: [nduro@bluecover.pt](mailto:nduro@bluecover.pt)

Gil GONÇALVES: [gil@mat.uc.pt](mailto:gil@mat.uc.pt)

## BLACKBRIDGE – VALUE-ADDED INFORMATION SERVICES AND PRODUCTS FOR AGRICULTURE AND FORESTRY MONITORING BASED ON RAPIDEYE IMAGERY

Dirk TILSNER<sup>1</sup>, Erika Paasche<sup>2</sup>, Alexander Marx<sup>2</sup>

<sup>1</sup>EDISOFT

<sup>2</sup>BlackBridge

**SUMMARY:** This paper presents a range of innovative, value-added products based on BlackBridge's RapidEye imagery in the areas of agriculture and forestry monitoring. The RapidEye satellite observation system, launched in 2008, was conceived to serve agricultural, forestry and environmental markets, offering a Red Edge band as a unique feature that distinguishes RapidEye from most other high-resolution multispectral satellites. The operational benefit of using the spectral information contained by the Red Edge band has been corroborated by a wide range of studies and practical applications all over the globe and has further been recognized in other application areas such as environmental monitoring, energy & infrastructure, emergency management, climate change and others. Moreover, the large collection capacity allowing for imaging large areas in short periods of time and the capability to provide multi-temporal datasets at 5-meter resolution makes it an ideal solution for agriculture and forest monitoring. Today, BlackBridge provides its customers with a lot more than the conventional set of data image products, aiming to present additional value to partners and customers by offering an enhanced suite of solutions which build on in-house research into new applications of RapidEye imagery, as well as cloud solutions. Placing the focus on the traditional areas given by agriculture and forestry, this paper provides an overview of agricultural value-added products that can be created with RapidEye imagery, presents a new and innovate agriculture monitoring program for the agricultural community (cloud-based and powered with the EyeFind Agriculture™ tool or a Search API alternatively), and describes a new service for forest health monitoring developed under the EUFODOS project (Copernicus Downstream Service).

We first summarise the main characteristics of the RapidEye Multispectral Imager and explain how the bands cover the portion of the spectrum where the leaf cell structure produces a strong reflection, thus capturing variations in both the chlorophyll content and the leaf structure and additional information which are key to agricultural and forestry applications, allowing for the identification of plant and tree types, nutrition and health status, the characterisation of plant cover and abundance, among other features. This technical introduction is followed by the presentation of value-added data products, which can be created using RapidEye imagery. For agricultural applications for instance, input data can be obtained through an Agriculture Monitoring Program running over your region of interest. Subscribed users can browse and download multi-temporal imagery through a dedicated online search and visualization tool: EyeFind Agriculture™, also constituting the interface of an outstanding new cloud service. This provides an excellent source of imagery needed to calculate vegetation indices and derive spatial information products for agriculture such as percent Ground Cover, relative chlorophyll maps, relative soil brightness maps, Plant Senescence Reflectance Index (PSRI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), and the Normalized Difference Red Edge Index (NDRE). This information is critical to support farmers who desire detailed information on crop condition and variations in their fields. The final section of our paper highlights the Forest Vitality & Change Monitoring Service developed under the FP7 EUFODOS (European Forestry Downstream Services) project. The service provides reliable spatial information about the relative vitality status of the forest canopy at a given point of time and the relative change between two dates – both applicable in a wide range of forest disturbance situations. The provided digital map products support foresters in locating suspicious sites in his management district. In case of defoliating insect infestations location, extent and damage magnitude are mapped accurately replacing the time consuming ground sampling.

**Key words:** RapidEye imagery, remote sensing, agriculture monitoring programs, forest vitality & change monitoring

## 1. INTRODUCTION

The RapidEye satellite observation system, today owned and operated by BlackBridge, was launched in 2008 (becoming commercially operational in 2009) with a daily image collection capacity of up to 5 million square kilometres and over 1 billion square kilometres per year. Conceived to primarily serve agricultural insurance, precision farming, forestry and other markets, this system produces high-resolution imagery in five spectral bands: Red, Green, Blue, Red Edge and Near Infrared, with a Red Edge band as a distinct feature that distinguishes RapidEye from most other multispectral satellites. The operational value of this observation system further stems from a unique constellation of five identical satellites that provides unprecedented multi-temporal capabilities as well: the daily revisit at low view angle is never more than 20° whereas seventy percent (70%) of RapidEye imagery is taken at 10° off nadir or less. Larger regions and even entire countries can be imaged in a remarkably short time.

Having reached 5 billion square kilometres in archive in January this year, RapidEye imagery is traditionally offered in form of a 1B Basic Product (6.5 metres) and a 3A Ortho Product (5 metre pixel size). Apart from these standard products, the recent integration of RapidEye into the BlackBridge group has stimulated the inclusion of new value-added products into the portfolio, namely country mosaics, extended ortho suit products and very recently digital surface models from Intermap NEXTMapWorld 30 DSM.

The operational benefit of using the spectral information contained by the Red Edge band has been corroborated by a wide range of studies and practical applications all over the globe and has further been recognized in other application areas such as environmental monitoring, energy & infrastructure, emergency management, climate change and others. In this paper, we place the focus on a range of innovative, value-added data products and services in the areas of agriculture and forestry monitoring.

## 2. THE RAPIDEYE MULTISPECTRAL IMAGER AND THE RED EDGE BAND

The RapidEye Multispectral Imager (MSI) acquires image data in five different spectral bands; each one with a geometric pixel resolution (or ground sampling distance, GSD) of 6.5m (at nadir). As shown in Figure 1, the Red Edge (RE) band is spectrally located between the Red band (R) and the Near Infrared (NIR) band without overlap. In a typical spectral response of green vegetation (green line in Figure 1), the Red Edge band covers the portion of the spectrum where reflectance drastically increases from the red portion towards the NIR plateau. The red portion is one of the areas where chlorophyll strongly absorbs light and the NIR is where the leaf cell structure produces a strong reflection:

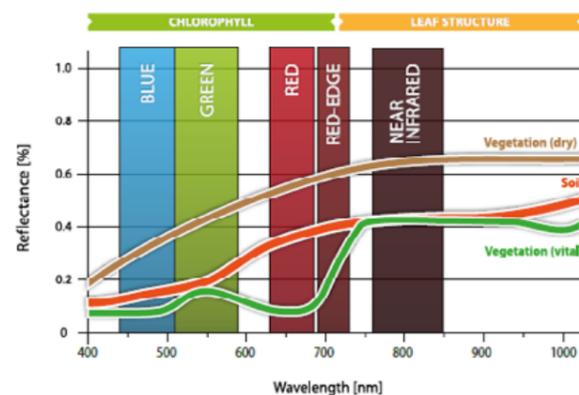


Figure 1 – Typical spectral reflectance curves in relation to the RapidEye spectral bands (BlackBridge White Paper).

Therefore, variations in both the chlorophyll content and the leaf structure are often reflected in the Red Edge band. Accordingly, several studies have suggested that this band is able to provide additional information in order to identify plant types, nutrition and health status, and characterize plant cover and abundance, among other features.

## 3. AGRICULTURE INFORMATION PRODUCTS

### 3.1. Overview

Farmers throughout the world are constantly searching for ways to maximize their returns. An active way of achieving this is through the adoption of more cost effective agricultural practices, which ultimately need to be based on a solid knowledge of the conditions at which crops are being grown and managed. With the development of precision agriculture cost-effectiveness can be further enhanced by specifically managing different areas of fields according to their properties and needs. This requires a more detailed knowledge of variations within a field. Satellites with high spatial and temporal resolution capacities are suitable for obtaining detailed information about the distribution in space and time of crop field properties.

Therefore, satellites represent an alternative to traditional ground-based assessment of crop and soil status, providing indirect information at larger scales and reducing costs, time and labour. RapidEye imagery has been applied for agricultural monitoring and insurance purposes since the very beginning and has given rise to a variety of information products and the RapidEye Agriculture Monitoring Program presented hereafter.

### 3.2. RapidEye Agriculture Information Products (Examples)

#### 3.2.1. NDVI Map

The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) is a commonly known measure of the difference between the absorption peak of sunlight at the red wavelength, and the reflectance peak at the near infra-red. NDVI increases with the amount of green plant tissue present on the ground, so it can be used to measure and monitor plant growth (vigour), vegetation cover, and biomass production.

#### 3.2.2. Chlorophyll Map

Crop yield strongly depends on an adequate supply of nitrogen (N) which is why knowledge about N-status represents an important factor for agricultural management. Additionally, N-fertilizer is one of the largest input cost factors of many crops such as corn, wheat and rice, which makes the assessment of the N-status of a crop critical for optimum fertilizer management. Since N-status cannot be directly measured through remote sensing, an indirect indicator is needed; this can be achieved through Chlorophyll (Chl) measurements, exploring the close correlation between nitrogen status and chlorophyll content in plants, the main plant pigment involved in the production of material for growth and reproduction.

The Chlorophyll Map depicts relative differences in Chlorophyll (Chl) content per unit surface area within single fields. As Chl uses blue and red light and reflects green light, it makes plants look green. Therefore the “greenness” of plants is an indicator of the amount of Chl, and consequently, of plant growth capacity and health. Conversely, any factor that hinders growth also reduces the amount of Chl, therefore, causing “yellowing” or “chlorosis”. As Chl content in plants correlates well with some bands of multispectral optical sensors, especially in the near-infra red and the red edge portions of the spectrum, the RapidEye sensors were particularly suitable to develop a Chlorophyll index to be used in a map product (RedEdge Chlorophyll Index =  $(NIR / RE) - 1$ ).

Since the relationship between canopy “greenness” and the satellite’s Chlorophyll index may vary between crop types or different areas, it is more appropriate to restrict the comparisons to individual crop fields. For this reason the Chlorophyll Map focuses on differences within single fields, thus providing a relative Chl level scale (values 1-100).

### 3.2.3. Ground Cover Map

The Ground Cover Map is a field map which indicates the percentage of ground covered by vegetation at each image pixel. Ground cover is a good indicator of potential productivity and yield. Most commonly, ground cover maps are used to create zones for targeted soil sampling and nutrient management. The ground cover value is an absolute value (for example, a pixel value of 83, means a ground cover of 83%).

Maps are generated by combining the spectral bands in the visible and near-infrared spectral ranges, and using the “bare soil line” principle, as described by (Maas and Rajan, 2008). Values displayed at each pixel of the Ground Cover Map raster range from 0, where no green vegetation covering the ground is detected, to 100, where the ground is entirely covered with green vegetation. Maps can be used to make comparisons between several fields as well as within one single field.

### 3.2.4. Soil Brightness Map

Soil brightness includes the combined effects of soil type (type of clay minerals), organic matter content and actual soil moisture content of the field at the time of image acquisition. Soil type and organic matter content are largely stable over time; however, soil moisture of the surface layer is highly variable.

The Soil Brightness Map indicates how intensely the surface of a bare soil reflects incoming sunlight. These maps are generated by combining the spectral reflectance of bare soil surfaces in the visible and near-infrared spectral range (B + G + R + NIR) and are useful for creating management zones, designing soil sampling or planning cultivation steps. Since Soil Brightness represents a relative measurement of the field soil properties, it is designed to show the greatest level of variability present within a field.

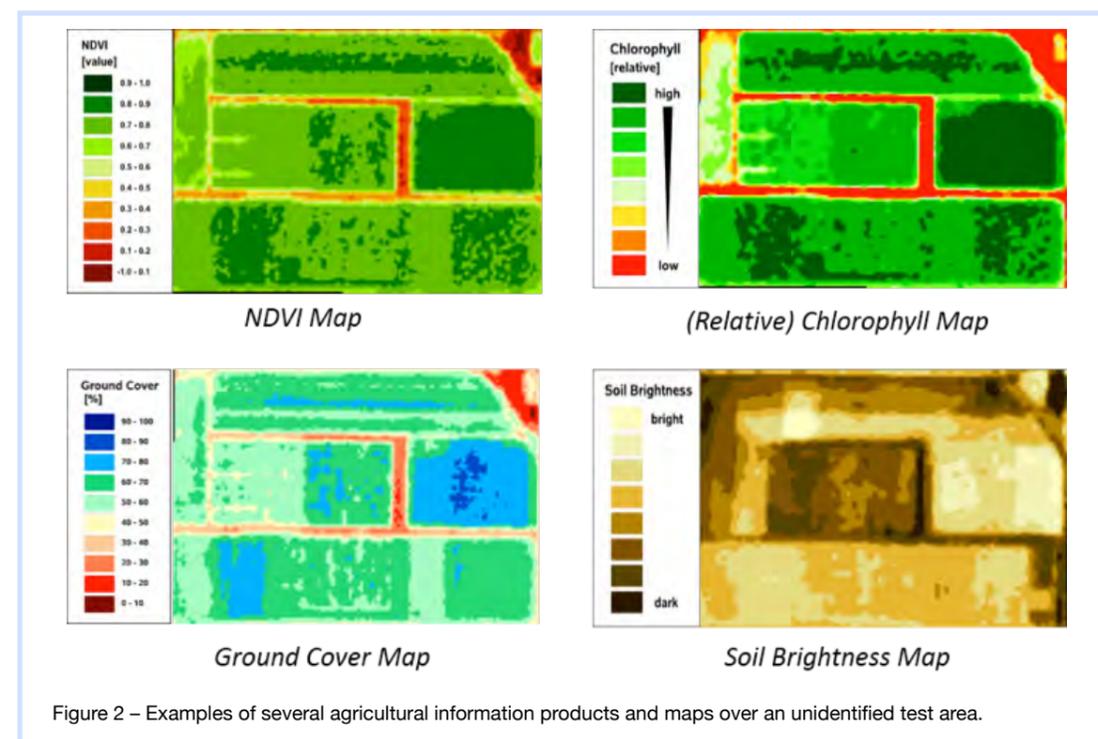


Figure 2 – Examples of several agricultural information products and maps over an unidentified test area.

### 3.2.5. Monitoring Programs for Agriculture with dedicated EyeFind Agriculture™ tool

BlackBridge’s monitoring programs for agriculture provide access to an enormous pool of 5-meter, 5-band in-season imagery allowing for accurate and timely extraction of crop-relevant information. This cloud-based delivery and discovery solution lets subscribers have fast and easy access to the acquired imagery over their areas of interest shortly after collection in addition to archived imagery from previous seasons. In order to grant fast access to the data a dedicated EyeFind Agriculture™ tool was developed through which subscribers can search and directly download the data.

Upon successful completion of the 2013 North American agricultural monitoring program, BlackBridge officially launched February this year its agriculture solutions on a global level. These programs are the result of BlackBridge responding to the needs of the agricultural market: large-area collection, multiple in-season coverages, 5-meter resolution, quick delivery and easy access, customizable programs.

## 4. FOREST MONITORING APPLICATIONS

### 4.1. Introduction

Forest inventory, forest health monitoring, and forest change mapping have been key application areas of optical satellite earth observation for the last decades and are of immanent interest not only for private forest managers and state forest institutions, but also for government programs and international initiatives such as the large-scale forest condition (Level I) monitoring of the International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests (ICP-Forests; <http://icp-forests.net/page/largescale-forest-condition>). Taking advantage of the unique selling features of the RapidEye system, i.e. large area coverage at high (5 m) resolution, high temporal resolution and the 5 spectral bands including the Red Edge band, BlackBridge’s RapidEye imagery has been successfully employed in a wide range of related projects such as forest health mapping, illegal logging monitoring, and MRV (Monitoring, Reporting and Verification) activities for the REDD+ (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation) initiative. In direct conjunction with forest health or forest protection monitoring typical monitoring needs derive from the fact that commercially managed forests and forest plantations are often subject to a wide range of natural and human caused disturbances which may result in distinct economic damages. Such disturbances include storm, fire and hail damages, damages from insect calamities, and snow breakage damages. Traditional monitoring techniques involve ground-based estimations and measurements or visual interpretation of aerial photographs. Another commonly applied method is aerial sketch-mapping (Wulder, 2005). The larger the area to be monitored the more costly and less feasible these methods may become. Although aerial sketch mapping is a quick and comparably inexpensive method it suffers inadequacies, in particular inaccurate geographic location of defoliated areas and unreliable estimation of levels of defoliation (Lecki, Teillet, & Ostaff, 1988). Ground sample data collection, on the other hand, enables for more accurate estimates on a tree basis but allows only for point sampling. Additionally, if different persons are involved in the sampling and the estimation of the crown condition, individual biases may distort the results. The BlackBridge Forest Vitality & Change Monitoring service has proven to solve the mentioned problems.

### 4.2. Forest Vitality & Change Monitoring

#### 4.2.1. The EUFODOS Project

BlackBridge successfully participated as a service and imagery provider in the FP7-funded project EUFODOS which as a consortium aimed at developing operationally applicable Forest Downstream Services (FDS) that are urgently required by regional European users and which utilize the Copernicus (GMES) HR Forest Core products as a basis for development (<http://www.eufodos.info/>). A variety of remote sensing data sources and algorithms were examined for technical utility. The involvement of users such as forest research centers and regional forest offices assured the definition of specific user requirements and the estimation of economic viability for the user as well as the commercial viability for the service providers. As an outcome of this process BlackBridge has developed one enhanced

RapidEye data product and 2 fully operational services. The data product “Custom RapidEye Ortho Image Maps” could already be commercialized during the EUFODOS project and sold to a Polish customer. The highly valuable and flexibly applicable FDS “Forest Vitality Mapping”, meanwhile renamed to “Forest Vitality & Change Monitoring”, which is based on multi-temporal RapidEye data, was ordered by German State Forest authorities only one month after the finalization of the project for the monitoring and mapping of forest damages in pine plantations induced by defoliating insects. After the first successful production cycle and service delivery (analysis for 2013, 98% area coverage) BlackBridge’s “Forest Vitality & Change Monitoring” is now not only a fully accepted and appreciated long-term service but also the first optical earth observation satellite based service at all integrated into the well-established existing forest protection monitoring approach.

#### 4.2.2. Approach for the Detection and Mapping of Biotic Damages

The operational purpose of the monitoring service is to detect disturbances of any kind and, in case of known insect calamity areas, to locate and record the particular infestation nests, to measure their area, and to estimate the relative defoliation intensities as well as the defoliation classes defined by state forest regulations. Additionally the binary change (change/no change) and the change magnitude (20 change classes) are calculated based on the comparison of imagery from two dates (years) is calculated. The imagery is acquired at the end of the vegetation season, i.e. when the damage is done and the larvae have terminated feeding and pupate. Only then the damage intensities etc. are recorded as they provide a clear image about the population development and spreading pattern of the concerned insect species. The maps are produced by utilizing the NDRE as a spectral derivative of the NIR band and the Red Edge band:  $(NIR - RE) / (NIR + RE)$ . The resulting damage maps are then, together with a lot of other variables, analysed and used to plan, if necessary, the application of insecticides for the onset of the following vegetation season.

#### 4.2.3. The Forest Vitality & Change Monitoring Service

The Forest Vitality & Change Monitoring service helps the forest manager to identify potential sites subject to defoliating insects and other pests, diseases, forest fire, storm, or illegal logging or other human induced disturbances. In cases of severe attack of defoliating insects, location, spatial distribution, extent and magnitude of the potential infestation “nests” are mapped. This map can guide forest managers directly to the suspect sites without the need for searching on the ground. The individual products (maps) associated with the service can support precision insecticide application planning as well as insecticide application success control. The Layers can also be integrated into current monitoring procedures. They facilitate reporting tasks and can be visualized and used for further analyses in Forest Information Systems. The following figures show three products of the service for a real situation in the South of the German federal state Brandenburg which suffers from an ongoing Nun-moth (*Lymantria monacha*) calamity: Firstly, the Relative Forest Vitality product (Figure 3), secondly, the Change Polygons product, and finally the Defoliation Classes product (both are overlaid in Figure 4). The relative forest vitality map results from a classification and colour scheme applied to the NDRE. In this example, four maps in 4 consecutive years are shown. Note the increasing damage and population proliferation between 2011 and 2012.

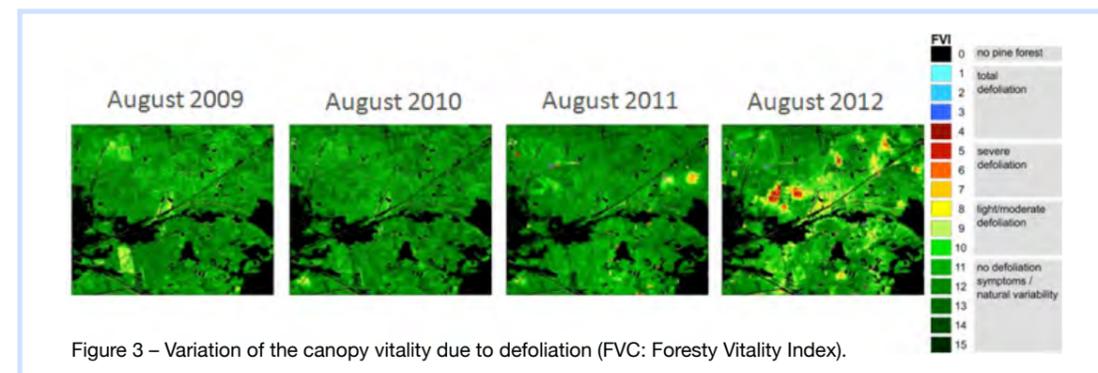


Figure 3 – Variation of the canopy vitality due to defoliation (FVC: Foresty Vitality Index).

On the basis of these maps, the change maps are derived which delineate the geographical areas of particularly severely affected sites. The magnitude of damages is recorded in the Defoliation Classes product as 3 defoliation classes: moderate, severe, and total. These maps are provided in vector format and can be overlaid in other GIS based applications with other maps for analysis purposes.

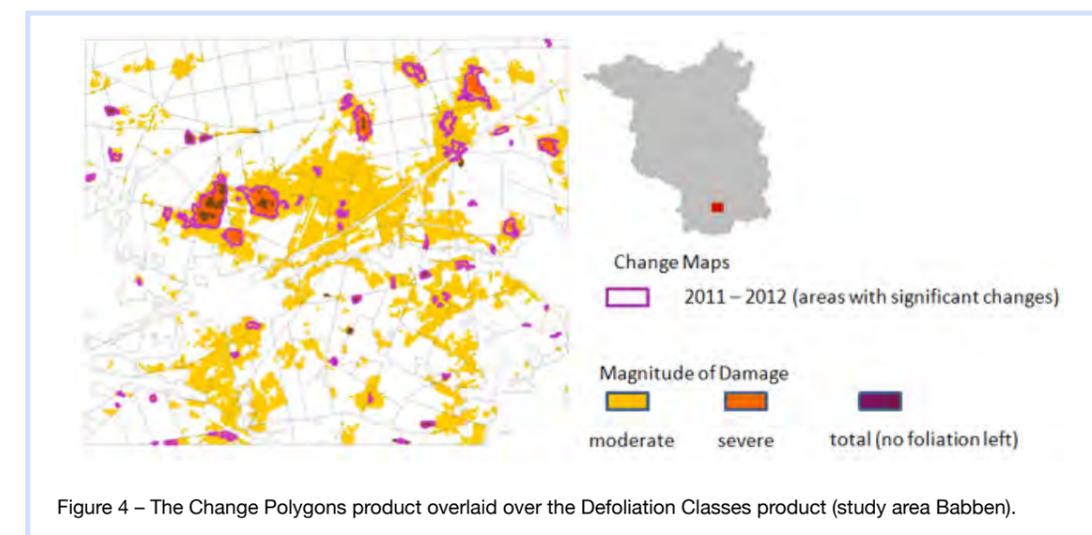


Figure 4 – The Change Polygons product overlaid over the Defoliation Classes product (study area Babben).

## 5. CONCLUSIONS

The provided examples of value added products and services emphasize the ideal suitability of the RapidEye constellation of satellites for the needs of agriculture and forestry: it's a single data source, which provides useful information about vegetation in general and field crops in particular over large areas in high temporal frequency. The system design allows for derivation of status information with satisfying for agricultural needs spatial resolution.

Today, as precision agriculture techniques become more and more prominent in the worldwide food production, a regular monitoring of field status is necessary to make the right decisions about crop type selection, delineation of management zones at fields, individual application rates for fertilizer and pesticides and much more. Together with the technical infrastructure behind it, namely an imaging program, especially designed for the needs of agriculture, and a GeoCloud, which enables fast processing and delivery of the required data and information products to the growers, the RapidEye satellite system is a first choice for such information supply for precision agriculture techniques.

The services and maps for forestry further show the multitude of applications, for which RapidEye data can be used. These are only a few selected examples, where modern satellite based monitoring helps to serve the practical needs or even to solve the current problems of forestry in Europe.

For sure further research will lead to a much wider variety of applications, making use of the unprecedented features of the RapidEye constellation of satellites.

## CONSTRUÇÃO DE UMA GEO-ONTOLOGIA APLICADA À MONITORIZAÇÃO DE ESTRUTURAS: PRIMEIROS RESULTADOS

Ana Rita TOMAZ<sup>1</sup>, Marzieh BAKHSHANDEH<sup>1</sup>, Ana Paula FALCÃO<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa,

<sup>2</sup>ICIST – IST

**RESUMO:** As ontologias são formas de representação do conhecimento muito utilizadas em domínios muito variados da ciência como as ciências médicas ou as áreas de inteligência artificial, mas muito menos aplicadas nos domínios da informação geográfica onde, pelas características e natureza da informação, são designadas como geo-ontologias.

O objetivo deste trabalho consiste na representação do conhecimento entre dois domínios tradicionalmente trabalhados de forma pouco integrada, a topometria e a análise estrutural, onde o primeiro é responsável pela aquisição de informação geográfica e o segundo é responsável pela sua interpretação. A articulação entre estas valências, através de uma representação do conhecimento que considere a diversidade e características das diversas técnicas de aquisição de informação (métodos clássicos da topografia, GNSS ou métodos avançados de interferometria radar) com as principais características dos edifícios (estruturas de betão, de alvenaria, aço, pombalinos ou gaioleiros) afigura-se como um tema muito pertinente na monitorização de estruturas em tempo-real, nomeadamente como sinal de aviso e alerta. Do ponto de vista da análise estrutural foram considerados os princípios da classificação de Burland, segundo os quais o edifício é assimilado a um viga com comportamento elástico linear ideal, descrito pelo comprimento e altura e adaptado perfeitamente ao perfil de assentamento do terreno, isto é, não há deslocamento entre as fundações e o mesmo.

A área de estudo escolhida corresponde à zona da grande Lisboa onde foram identificados 15 hospitais públicos e privados e descritos nos seus principais atributos geométricos (forma, área, altura total e altura entre pisos) e uma série temporal com valores de deslocamentos verticais recolhidos com a técnicas PSinSAR, no período compreendido entre 1992-2010, além de dados complementares como a geologia. A implementação desta geo-ontologia recorreu à ferramenta CMAP.

**Palavras-chave:** Geo-ontologia, monitorização de estruturas, métodos de aquisição de informação, Classificação de Burland

**ABSTRACT:** The paper intends to present the first results of an integrated approach that combines two different areas of scientific knowledge – Topography and Structural analysis, by the use of a geo-ontology. The main purpose is to combine the relevant concepts to assess the structural safety of a building, according to Burland criteria. Several methods to acquire geo-referenced data, such as the PSinSAR, were considered and related with types of structures and geometry. The study was conducted for several Hospitals in the city of Lisbon.

**Keywords:** Geo-ontology, structural assessment, methods for data acquisition, Burland Criteria

### REFERENCES

BlackBridge White Paper. The RapidEye Red Edge Band. available at the WWW at <http://www.blackbridge.com/rapideye/about/resources.htm>

Lecki, D., Teillet, P., & Ostaff, D. F. (1988). Sensor Band selection for Detecting Current Defoliation Caused by the Spruce Budworm. *Remote Sensing of Environment*, 26:31-50.

Maas, S.J. & Rajan, N. (2008): Estimating ground cover of fields crops using medium-resolution multispectral satellite imagery. *Agronomy Journal*, 100:320-327.

Michael A. Wulder, C. C. (2005). Remote sensing in the survey of mountain pine beetle impacts: Review and recommendations. Victoria, British Columbia: Natural Resources Canada • Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre - Information Report.

### CONTACTOS

Dirk Tilsner, EDISOFT: [dirk.tilsner@edisoft.pt](mailto:dirk.tilsner@edisoft.pt)

Erika Paasche, BlackBridge: [erika.paasche@blackbridge.com](mailto:erika.paasche@blackbridge.com)

Alexander Marx, BlackBridge: [alexander.marx@blackbridge.com](mailto:alexander.marx@blackbridge.com)

## 1. INTRODUÇÃO

As ontologias são formas de representação do conhecimento que se podem traduzir por um conjunto estruturado de termos e conceitos [Gómez-Pérez *et al.*, 1999]. Formalmente as ontologias são descritas por ligações esquemáticas próximas dos diagramas de classes, onde os conceitos são representados por classes. Cada classe é descrita por um conjunto de atributos, podendo estes tomar um valor ou um intervalo de valores, sujeito às devidas restrições [Bakhshandeh *et al.*, 2013].

Existem diversos critérios da classificação das ontologias: com base no domínio de aplicação [Uschold *et al.*, 1996], grau de complexidade [McGuinness, 2001] e o grau de intemporalidade [Fikes *et al.*, 2002].

A sua aplicação é transversal a várias áreas do saber entre as quais as ciências médicas [Schrim *et al.*, 2012], as ciências biológicas [Walls *et al.*, 2012], as ciências da computação [Bakhshandeh *et al.*, 2013] e as ciências da Terra [Janowicz, 2012; Xu *et al.*, 2014].

As ontologias relativas a fenómenos de natureza geográfica, designadas por geo-ontologias, são mais exigentes do ponto de vista da sua completa descrição, pois implicam a introdução de considerações sobre a sua qualidade posicional, sistemas de coordenadas e referenciais entre outras [Smith *et al.*, 1998].

## 2. METODOLOGIA

A construção de uma geo-ontologia inicia-se com a identificação dos conceitos principais e as relações entre eles, combinando a representação do conhecimento com a capacidade de análise, tanto da relação semântica entre os conceitos (relações data-data) como dos valores atribuídos a algumas propriedades (relações data-property). Nesta fase final, e com base nos critérios de Burland, introduzimos na ontologia os valores utilizados como limite de decisão.

### 2.1. Construção do mapa conceptual (conceitos chave, cmap)

Um mapa conceptual é uma representação gráfica de conceitos, tipicamente representados em células, e do tipo de relações estabelecidas entre eles. Nesse sentido, um conceito que se relacione com muitos outros torna-se um conceito-chave do mapa conceptual e pode ser destacado com uma célula de cor diferente. Esta representação facilita a visualização e a rápida perceção dos conceitos envolvidos.

A motivação para este trabalho está centrada na exploração dos conceitos de topografia e de análise de estruturas. O mapa conceptual completo foi realizado no programa CMap COE (Figura 1) e a sua interpretação é facilitada pela descrição seguinte, onde os termos em itálico representam os conceitos utilizados no mapa:

A deficiência estrutural de um edifício é evidenciada pela alteração da sua geometria, isto é, pela *variação temporal* da posição relativa de alguns pontos. Assim sendo torna-se essencial determinar as *coordenadas* de um certo conjunto de pontos estratégicos. A determinação de coordenadas é um tema vasto a que se dedica a topografia, existindo variados tipos de coordenadas (como as *coordenadas topográficas*) e vários *métodos* para as obter, entre os quais a *topografia convencional*, o posicionamento GNSS, a fotogrametria, o *Laser Scanning* ou o *PSInSAR*.

Por outro lado, uma mesma alteração geométrica não conduz ao mesmo grau de alarme para todas as *estruturas de edifícios*. Tornando-se assim necessário algum conhecimento além das características geométricas: a *idade da construção*, a *localização* aliada ao *tipo geológico do terreno* e a sua *sismicidade*, a *função* a que se destina (pois pode estar sujeito a regulamentação mais apertada que os destinados a *habitação*, veja-se os *hospitais*, *escolas* ou *prisões*) e o *tipo de estrutura*. Na construção típica portuguesa, em Lisboa, podemos identificar períodos da hegemonia dos tipos mais correntes, como são a *alvenaria*, a *gaiola pombalina*, o *gaioleiro*, as *estruturas metálicas* e o *betão armado*.

Finalmente é essencial quantificar a *variação* relativa dos pontos, e para tal utilizamos parâmetros como os *drifts*, *índices de deflexão* e *extensão*, o *assentamento* e a *dimensão das fissuras*. Todos estes indicadores tomaram a designação de *deslocamentos* e são os conceitos chave.

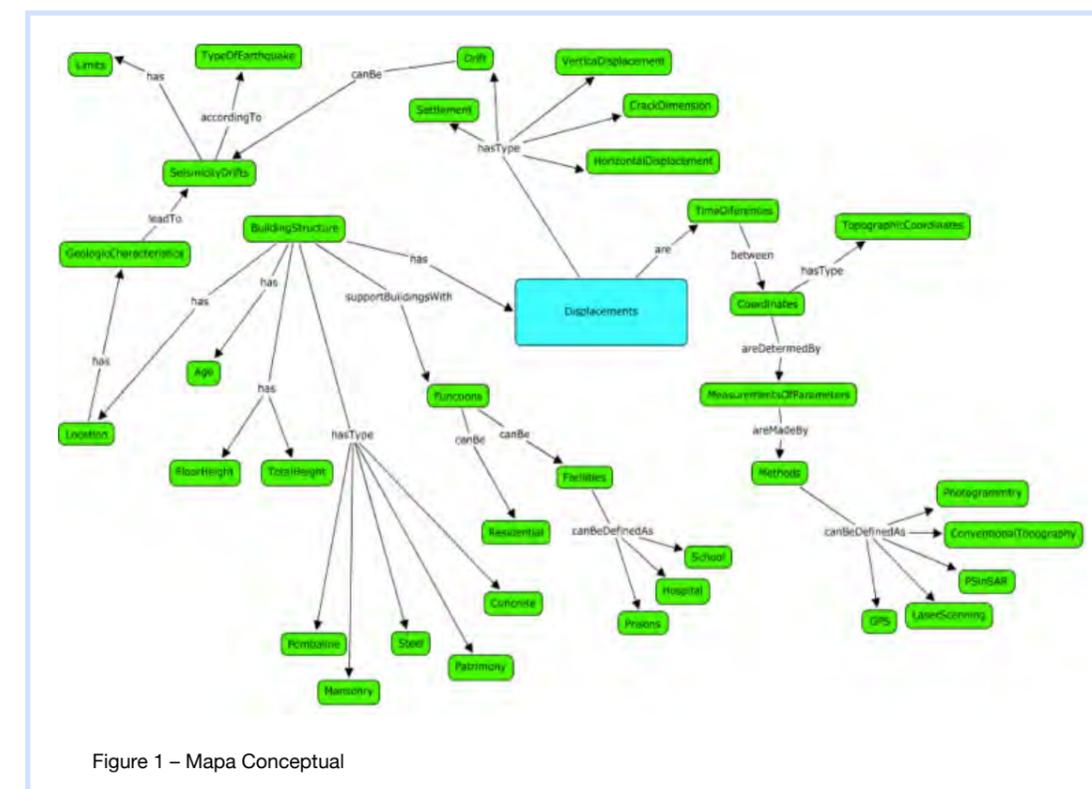


Figure 1 – Mapa Conceptual

### 2.2. Criação da Ontologia

As ontologias distinguem-se de um mapa conceptual ou de uma base de dados por serem representações gráficas do conhecimento que introduzem a capacidade de análise das relações da rede, isto é, a formulação de perguntas à ontologia que podem ter por base os conceitos presentes ou um cenário concreto com exemplos para cada conceito que se adicione à ontologia. Por esse motivo estão atualmente muito em voga no âmbito da internet semântica.

#### 2.2.1. Programa, relações data-data, definições

A construção prévia do mapa conceptual no programa CMap COE é bastante útil quando se prossegue para a implementação da ontologia. Às relações diretas entre dois conceitos dá-se o nome de relação *data-data*. Para completar esta etapa foi ainda preciso definir os vários conceitos de modo a que a ontologia seja acessível a todos quantos a queiram utilizar e não apenas a quem está familiarizado com a terminologia.

#### 2.2.2. Limites (relações data-property, Classificação de Burland)

O outro tipo de relações existentes numa ontologia são as relações *data-property*, que associam a cada conceito um atributo e quantificam-no. Esse tipo de relação é fundamental para esta ontologia por definir os limites de deslocamentos aceitáveis.

A quantificação destes valores é uma tarefa complexa e, numa primeira fase, baseámo-nos na classificação de Burland [Lopes, 2012]. Esta classificação assenta em duas hipóteses simplificativas: a primeira aproxima o edifício a uma viga com comportamento elástico linear ideal, de comprimento  $L$ ; a segunda assume que essa viga é solidária com o perfil de assentamento do terreno, pelo que não existirão deslocamentos entre as fundações e o terreno. Dadas estas premissas verifica-se que a classificação é aplicável a estruturas em alvenaria de granito ou tijolo e às construções porticadas de betão armado, dotadas de fundações contínuas. A classificação apresenta cinco categorias de risco associadas ao tipo de dano no edifício e estabelece para cada categoria limites para o assentamento máximo, o índice de deflexão, de extensão e ainda a dimensão das fissuras.

Índice de deflexão:  $\delta_i/L_i = (S_{v1} - S_{v2})/L_i$  Svi – deslocamentos verticais iniciais e finais (1)

Extensão máxima:  $\epsilon_h = (S_{H1} - S_{H2})/L_i$  SHi – deslocamentos horizontais iniciais e finais (2)

Tabela 1 – Classificação de Burland (1995)

CATEGORIA DE RISCO	ABERTURA FISSURAS [mm]	EXTENSÃO MÁXIMA [%]	ÍNDICE DE DEFLEXÃO	ASSENTAMENTO MÁXIMO [mm]
0 Estético	>0,1	0 – 0,05		
1 Estético	>1,0	0,05 – 0,075	Menor que 1:500	Menor que 10
2 Estético	<5,0	0,075 – 0,15	1:500 a 1:200	10 a 50
3 Estético/ Funcional	5 - 16	0,15 – 0,3	1:200 a 1:50	50 a 75
4 Funcional	15 – 25	>0,3	1:200 a 1:50	Superior a 75
5 Estrutural	>25	>0,3	Superior a 1:50	Superior a 75

Descrição dos danos associados a cada Categoria de Risco:

Categoria 0 – Irrelevante: Pequenas fissuras muito finas e insignificante, que podem ser desprezadas;

Categoria 1 – Muito ligeiro: Eventuais fissurações isoladas no interior da edificação. As fissuras na alvenaria de pedra (ou tijolo) no exterior da edificação só podem ser percebidas através de uma inspeção muito cuidadosa;

Categoria 2 – Ligeiro: Muitas fissurações no interior da edificação. As fissuras são visíveis também no exterior. Portas e janelas podem apresentar dificuldades em ser movimentadas;

Categoria 3 – Médio: Danos a portas, janelas e tubagens. Danos ligados à infiltração de humidade;

Categoria 4 – Elevado: Distorção das caixilharias, soalhos inchados, muros com ondas e inchados. Alguma perda de capacidade portante das vigas. Tubagem danificada, não utilizável;

Categoria 5 – Muito elevado: Perda notável de capacidade portante das vigas. Muros inchados e instáveis. Janelas deformadas e partidas. Perigo de instabilidade das estruturas.

### 2.2.3. Obtenção de Resultados

A principal questão que pretendemos ver respondida é se a variação de coordenadas dos pontos de controlo está dentro dos limites de segurança. Poderá ainda ser pertinente avaliar a relação existente entre os elementos em estudo que registam maiores variações e o tipo de solo em que estão implantados ou o seu tipo de solução estrutural. A Figura 2 ilustra uma pergunta, feita no programa Protégé, aplicada ao caso de estudo que se apresenta de seguida.

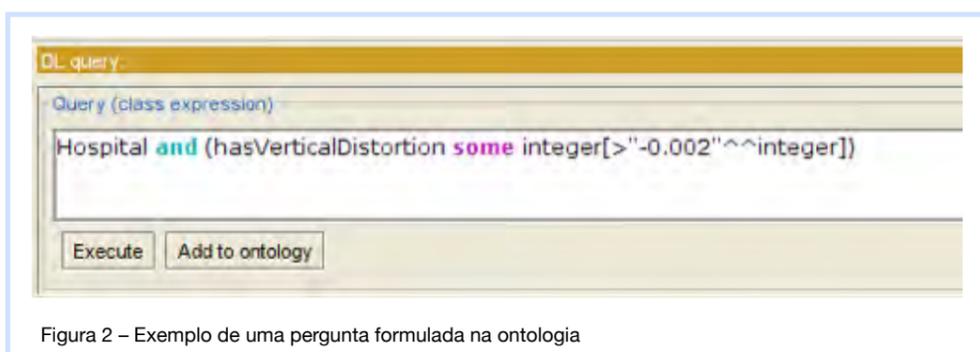


Figura 2 – Exemplo de uma pergunta formulada na ontologia

### 3. CASO DE ESTUDO

Adotámos como caso de estudo um conjunto de 15 hospitais (ver Figura 3) na região metropolitana de Lisboa que pretendemos que fosse variado quando à localização, data de construção, tipo de estrutura e entidade responsável (pública ou privada).



Figura 3 – Hospitais em estudo na área da grande Lisboa

A determinação dos deslocamentos foi feita com a técnica avançada de interferometria radar [Sandra *et al.*, 2012], PSinSAR, com base numa série de imagens SAR recolhidas entre 1992-2010. Com base nestes valores foram calculados os índices de deflexão e os assentamentos. Uma vez que os pontos monitorizados não foram escolhidos previamente, estes podem não ser os que merecem mais atenção no edifício. Para efeitos deste estudo agruparam-se os vários pontos com informação pertencentes a cada hospital e de entre esses selecionaram-se os pontos com deslocamento vertical máximo e mínimo (em módulo). Considerou-se que esses definiam a viga em estado mais crítico e ainda que o seu comprimento seria a distância entre esses dois pontos (L).

Tabela 2 – Valores de assentamento e distorção vertical

Hospitais	Assentamento [mm/ano]			Distâncias [m]	Distorção Vertical [L] 10 anos
	Máx	Min	Delta		
S. Maria	-4	-1,2	-2,8	146	-0,0002
S. José	0,3	2,2	-1,9	26	-0,0007
Estefânia	-0,2	1,3	-1,5	97	-0,0002
Egas Moniz	-0,3	2,5	-2,8	271	-0,0001
Pulido Valente	-1,7	-0,2	-1,5	118	-0,0001
Curry Cabral	-0,7	1,1	-1,8	216	-0,0001
Ordem Terceira	0,7	1	-0,3	32	-0,0001
Cruz Vermelha	-2,5	-1,6	-0,9	23	-0,0004
CUF Infante Santo	0,7	1,4	-0,7	68	-0,0001
CUF Descobertas	0	1	-1	47	-0,0002
Miguel Bombarda	-0,3	1,6	-1,9	96	-0,0002
Militar principal	0,2	1,9	-1,7	96	-0,0002
Forças Armadas	-1,5	0,7	-2,2	74	-0,0003
Júlio Matos	-2,7	0,8	-3,5	336	-0,0001
Jesus	1	1,9	-0,9	51	-0,0002

Os resultados obtidos (Tabela 2) foram comparados com a classificação de Burland, de modo que a cada hospital fosse atribuída uma categoria de risco com base no parâmetro da distorção vertical.

Todos os hospitais estudados estão na categoria de risco 0. Note-se que o valor de distorção mais elevado pertence ao Hospital de São José e o assentamento máximo ao Hospital de Santa Maria. Não é de estranhar que não coincidam uma vez que podem traduzir fenómenos diferentes: este último representa o assentamento do edifício como um bloco e a distorção o movimento relativo de vários pontos da estrutura.

Na Figura 4 apresenta-se um mapa de síntese cujo esquema cromático subdivide a categoria de risco 0, para uma melhor percepção.



#### 4. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

As diferenças entre as aplicações reais desta metodologia e a apresentada do caso de estudo residem na possibilidade de escolha do método de obtenção de coordenadas.

Por um lado, porque essa escolha influencia a frequência da recepção de informação e de atualização dos resultados. Dada a diversidade de métodos existentes, será certamente possível encontrar aquele cujo intervalo se adequa às exigências do projeto.

Por outro, porque pode permitir que os pontos a monitorizar sejam selecionados pelo utilizador, tendo em atenção que estes se devem localizar nos cantos de modo a aproximarem a localização das vigas.

A possibilidade de automatização e de funcionamento permanente tornam este tipo de metodologia indicada para monitorizar edifícios de especial importância devido às funções que desempenham, como sejam os hospitais e escolas, ou para acompanhar construções que se encontrem na área de influência de obras posteriores, tais como escavações, reabilitação de fundações, etc.

Nesse sentido evoluirá para uma ferramenta que complemente projetos de grande envergadura.

Poderá ser explorada a vertente gráfica de visualização de resultados, sendo possível a criação de simulações 3D das deformações verificadas, ou mapas que registem as categorias de risco associadas aos vários parâmetros calculados, ou mesmo ainda que guardem a evolução temporal desses parâmetros e categorias de modo a poder fazer previsões (quando relevante) sobre os momentos de potencial alarme.

#### REFERÊNCIAS

- Bakhshandeh, M., Antunes, G., Mayer, R., Borbinha, J., Caetano, A. (2013). A Modular Ontology for the Enterprise Architecture Domain. 2013 17th IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference Workshops.
- Couclelis, H. (2010) Ontologies of geographic information. *International Journal of Geographical Information Science*, 24:12, pp. 1785-1809.
- Gómez-Pérez, Benjamins, R. (1999) Overview of knowledge sharing and reuse components: Ontologies and problem-solving methods. *Proceedings of the IJCAI-99 workshop on Ontologies and Problem-Solving Methods (KRR5)*. Stockholm, Sweden, August 2, 1999.
- Helena, S., Oliveira, L., Henriques, M., Falcão, A., Lima, J. Cooksley, G., Ferretti, A., Fonseca, Lobo-Ferreira, J. (2011). Persistent Scatterers Interferometry detects and measures ground subsidence in Lisbon Remote Sensing of Environment, Vol. 115, pp. 2152-2167.
- Janowicz, K. (2012). Observation-Driven Geo-Ontology *Engineering Transactions in GIS*, 2012, 16(3), pp. 351-374.
- Lopes, O. (2012). Soluções de escavação e contenção periférica em meio urbano. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior técnico- Universidade de Lisboa
- McGuinness D. (2002). *Ontologies Come of Age. Spinning the Semantic Web: Bringing the World Wide Web to Its Full Potential*. MIT Press In Dieter Fensel, Jim Hendler, Henry Lieberman, and Wolfgang Wahlster, editors., 2002.
- Qing Zhou, R.F. (2002) A reusable time ontology. *AAAI Technical Report WS-02-11*.
- Schriml, L.M., Arze, C., Nadendla, S., Y-W W Chang, Y-W. W., Mazaitis, M., Felix, V., Feng, G., Kibbe, W. A. (2012). Disease Ontology: a backbone for disease semantic integration. *Nucleic Acids Research*, Vol. 40, p. 940-946.
- Smith, B., Mark, D. M. (1998) *Ontology and geographic kinds*. [Conference Paper] (In Press)
- Uschold, M., Gruninguer, M. (1996). *Ontologies: principles, methods and applications*. Knowledge Engineering Review, Vol11. N 2.
- Walls, R., Athreya, B., Cooper, I., Elser, J., Gandolfo, M.A., Jaiswal, P., Mungall, C.J., Preece, J., Rensing, S., Smith, B., Stevenson, D.W. (2013) *Ontologies as integrative tools for plant science 1 American Journal of Botany* 99(8): 1263-1275. 2012.
- Xu, J., Nyerges, T.L., Nie, G. (2014). Modeling and representation for earthquake emergency response. *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 28, No. 1, pp. 185-205.

#### CONTACTOS

ana.rita.tomaz@hotmail.com  
marzieh.bakhshandeh@ist.utl.pt  
ana.p.falcao@tecnico.ulisboa.pt

## SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE IMAGENS PARA ANÁLISE DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

Paulo VILELA<sup>1</sup>, Sérgio MADEIRA<sup>2</sup>, Ricardo BENTO<sup>2</sup>, António SOUSA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

<sup>2</sup>INESC/TEC e Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

**RESUMO:** O principal objetivo é a conceção e implementação de um Sistema Móvel de Levantamento de baixo custo, dotado de uma câmara de vídeo e de um recetor GPS / GNSS, com a finalidade de obter informação vídeo georreferenciada adequada para efetuar análise de pavimento rodoviário. O sistema, sendo de utilização simples e não necessitando de um veículo com características especiais, permite uma recolha regular de informação para inventariar o estado do pavimento ao nível das suas patologias e também ao nível do estado das marcações em que cada ocorrência estará devidamente georreferenciada, podendo assim analisar-se a evolução do estado de conservação das rodovias ao longo do tempo. Para implementar o sistema de aquisição selecionou-se de entre o material disponível aquele que reunia as melhores características para o efeito, nomeadamente uma câmara digital de resolução 1024x768 e um recetor DGPS. Ainda nesta fase foi desenvolvido um sistema de fixação da câmara de vídeo ao veículo de levantamento, bem como delineado o esquema de aquisição da informação em levantamento. Foi desenvolvido software para efetuar a georreferenciação e orientação das imagens e para permitir a visualização, georreferenciação e análise de defeitos observados no pavimento. É ainda possível a exportação da informação recolhida para possibilitar a sua visualização em software disponível online, como seja o Google Maps ou o Google Earth.

**Palavras-chave:** levantamento móvel, vias de comunicação, fotogrametria.

**ABSTRACT:** The main objective is the design and implementation of a low cost Mobile Mapping System, equipped with a video camera and a receiver GPS / GNSS in order to obtain information to perform georeferenced video analysis of road pavement. The system is simple and allows a regular gathering information to inventory the state of the pavement, thus being able to analyze the evolution of the condition of the roads over time. To implement it was selected a digital camera 1024x768 resolution and a DGPS receiver. Software was developed to perform the georeferencing and orientation of the images and to allow visualization, georeferencing and analysis of defects observed on the pavement. It is also possible to export the collected information to enable their visualization available online, such as on Google Maps or Google Earth.

**Keywords:** Mobile mapping, Roads, Photogrammetry.

## 1. INTRODUÇÃO

O principal objetivo deste trabalho é a conceção e implementação de um Sistema Móvel de Levantamento (SML), dotado de uma câmara de vídeo e de um recetor GPS / GNSS, com a finalidade de obter informação vídeo georreferenciada adequada para efetuar análise de pavimento rodoviário. O contexto e pressupostos em que surge esta ideia são os seguintes:

Um SML pode definir-se como uma plataforma móvel na qual se colocam um conjunto de sensores cuja finalidade é a obtenção de informação georreferenciada dos objetos capturados pelos sensores [Madeira et al., 2012]. Existem atualmente SML no mercado, por exemplo da Applanix, da Topcon ou da Mitsubishi Electric, mas baseiam-se em equipamento de elevado custo, tendo portanto preços elevados tanto ao nível dos sistemas como dos serviços fornecidos.

Ao nível das aplicações os sistemas terrestres permitem obter dados adequados na gestão de infraestrutura urbana ou rodoviária, podendo ser otimizados para aplicações específicas tais como infraestrutura urbana, sinalização vertical e horizontal, análise de pavimento rodoviário, etc. A análise de pavimentos rodoviários a partir de imagens é um assunto que vem sendo estudado pelo menos desde os anos 90, por exemplo, Georgeopolus et al., 1995, Cheng & Miyojim, 1998, havendo bastante trabalho apresentado no âmbito da análise automática, por exemplo Aoki et al., 2012, Shahbazi, et al., 2012, Mulsow, 2012, Mohammadi, 2012, etc. O grande progresso ocorrido nos últimos 20 anos nas tecnologias informática e eletrónica tem permitido a implementação de sistemas cada vez mais baratos e simples de operar quer durante o levantamento, quer ao nível do pós-processamento.

Atualmente, existe no nosso país uma grande necessidade de informação atualizada referente ao estado de manutenção das rodovias de forma que as empresas do setor e outras entidades com responsabilidade em infraestrutura municipal possam efetuar a gestão deste equipamento da forma mais prática e eficiente possível. Estamos em crer que sistemas simples ao nível da operação e pós-processamento têm enquadramento neste esforço de manutenção, até porque o país possui uma das redes viárias mais densas, complexas e de boa qualidade em todo o mundo, sendo necessário dar resposta à necessidade de informação continuamente atualizada para dezenas de milhares de quilómetros de rodovias. Neste trabalho apresentamos um SML de baixo custo que permite obter imagens georreferenciadas adequadas para análise de pavimento rodoviário. Foi desenvolvido paralelamente software de processamento da informação que para já requer processos apenas manuais na identificação de patologias de pavimento.

## 2. METODOLOGIA

A metodologia seguida consistiu em desenvolver um sistema de aquisição de imagens, simples e robusto de forma a permitir levantamentos regulares para aferir a qualidade dos pavimentos rodoviários. Foi necessário implementar: um sistema de fixação da câmara e dispositivo de aquisição de coordenadas, definir a melhor arquitetura informática para a aquisição das imagens sincronizadas temporalmente com o sistema de georreferenciação e ainda o modelo matemático para a obtenção final de coordenadas cartográficas de regiões visionados nas imagens. Adicionalmente foi ainda necessário desenvolver um software que permitisse um eficiente levantamento das patologias de pavimento observadas nas imagens e a apresentação sugestiva dos resultados. Estes aspetos serão apresentados no que se segue.

### 2.1. Levantamento

Relativamente às condições do levantamento, este deve ser efetuado em boas condições de luminosidade. A situação de dia claro, nublado e sem chuva é a preferível dada a ocorrência de uma luminosidade uniforme, em dia de Sol deve evitar-se a situação de Sol baixo dado que tal favorece a sobre ou sub-exposição. Deve ainda ajustar-se o ângulo da câmara para favorecer a imagem do pavimento garantindo alguma sobreposição entre frames consecutivas.

## 2.2. Descrição do equipamento

A recolha de dados para análise de pavimento rodoviário requer o uso de material adequado bem como operar em condições propícias. Relativamente ao material falamos do sistema de aquisição de imagem, do equipamento de georreferenciação e ainda do computador usado em campo para armazenar os dados. Neste último caso, usou-se um PC portátil com características adequadas para o efeito, incluindo porta de comunicação para o protocolo firewire.

### 2.2.1. Câmara

A câmara a usar deve ser de CCD progressivo e permitir a aquisição de várias frames por segundo sem interrupção. É desejável que a geometria da imagem adquirida favoreça a resolução do pavimento. As características do sistema de aquisição de imagens utilizado é o seguinte:

Câmara	Lente
Sensor: Sony – ICX-204AK	Distância focal: 6 mm
Dimensões do sensor: 1/3" (4,8x3,6mm)	Ângulo de visão: 43° (H), 33° (V), 53° (D).
Dimensões do pixel: 4,65x4,65 mm	Abertura: 1.4 – C.
Nº de píxeis máximo: 1024x768	
Comunicação Firewire – até 400 Mbit/seg	

### 2.2.2. Sistema de georreferenciação direta

Neste tipo de levantamento a obtenção de um posicionamento com uma precisão da ordem 1 ou 2 metros é adequado porque o que se pretende identificar são regiões do pavimento e não pontos em concreto. Para esse efeito pode usar-se equipamento de observação GPS que opere apenas em modo código. Este tipo de equipamentos está bastante divulgado, é acessível, e podendo aceder a uma rede SBAS (como é o caso do EGNOS na zona europeia) as coordenadas obtidas terão o tipo de precisão anteriormente referido. Utilizou-se um equipamento deste tipo, que tem as seguintes características:

- Sensor MTK MT3329 chipset
- Channels 66 parallel satellite-search channels.
- Receiver L1, C/A code.
- Reacquisition 0.1 second.
- Comunicação: Mensagens NMEA via Bluetooth

A Figura 1 mostra o equipamento montado em veículo, pronto para o levantamento.

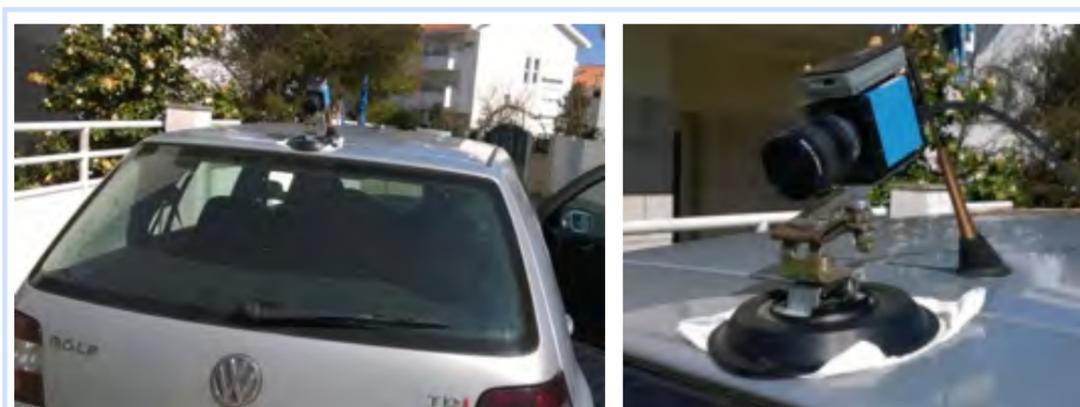


Figura 1 – Câmara + receptor GPS, instalado em veículo ((b) – grande plano).

O recetor utilizado obtém as posições no sistema WGS84 em cada segundo inteiro de tempo UTC, comunicando-as para o computador de armazenamento através de mensagens NMEA (este formato é standard na comunicação de informação GPS/GNSS). Para obter as posições e orientações de cada imagem obtida é necessário efetuar a interpolação dos dados adquiridos pelo recetor para os instantes em que as imagens foram obtidas. Para isso, é necessário que o sistema de tempo do computador coincida com o tempo UTC, o que é conseguido através de um software que utiliza as mensagens NMEA para sincronizar automaticamente a hora do computador. Além do mais, a informação temporal das frames (hora de criação) é acedida com precisão de milissegundo, o que é imprescindível neste tipo de interpolação.

### 2.3. Determinação da atitude horizontal de cada frame

A atitude horizontal para um ponto genérico da trajetória é calculado tal como indicado na Figura 2. É traçada a corda à trajetória pelos pontos imediatamente anterior e posterior, sendo o ângulo de orientação  $\kappa_n$  no ponto  $P_n$  o calculado para a referida corda. O ângulo de orientação  $\kappa_n$  pode então calcular-se da seguinte forma:

$$\kappa_n = \arctg \frac{E_{P_{n-1}} - E_{P_{n+1}}}{N_{P_{n-1}} - N_{P_{n+1}}} \quad (1)$$

A fórmula (1) requer ainda a redução ao quadrante correto. O ângulo de inclinação da câmara é também necessário para o transporte de coordenadas. No entanto este ângulo,  $w$ , é aferido no início do levantamento com um inclinómetro e considerado constante no cálculo de coordenadas.

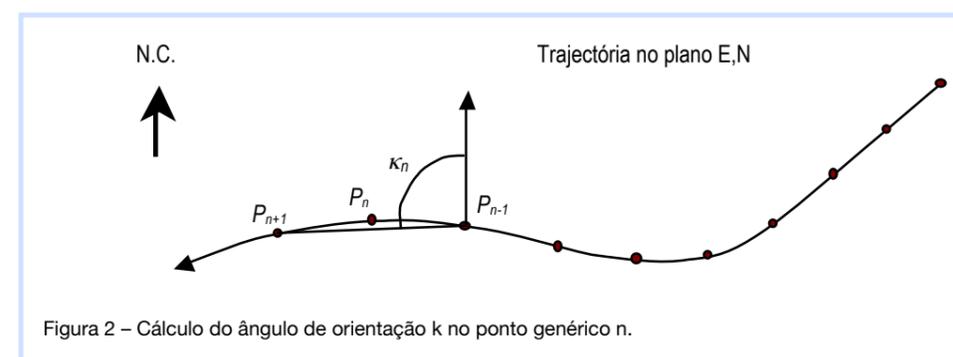


Figura 2 – Cálculo do ângulo de orientação  $\kappa$  no ponto genérico  $n$ .

### 2.4. Obtenção de coordenadas do pavimento

Para obter coordenadas do pavimento é necessário efetuar transporte de coordenadas a partir das posições e orientações obtidas para cada frame. As coordenadas cartográficas de um ponto  $P$  observado numa imagem, através das suas coordenadas imagem, obtêm-se através de uma equação fotogramétrica baseada no princípio da colinearidade [Madeira et al., 2010]:

$$X = \frac{m_{11}(x - x_0) + m_{21}f + m_{31}(z - z_0)}{m_{13}(x - x_0) + m_{23}f + m_{33}(z - z_0)}(Z - Z_L) + X_L \quad (2)$$

$$Y = \frac{m_{12}(x - x_0) + m_{22}f + m_{32}(z - z_0)}{m_{13}(x - x_0) + m_{23}f + m_{33}(z - z_0)}(Z - Z_L) + Y_L \quad (3)$$

em que as componentes XL, YL, ZL são as coordenadas da posição da câmara, obtidas por interpolação e as componentes mij fazem parte da matriz de rotação que contém os ângulos de orientação k e w. Adicionalmente, considera-se o plano de projeção horizontal ao nível da estrada (cerca de 1,8 m abaixo da posição da câmara (coordenada Z), o que simplifica, não inserindo erros sensíveis no processo. Relativamente a este ponto deve dizer-se que ao substituir a estrada por um plano de interseção horizontal e ainda o considerar-se fixos os outros dois ângulos de orientação além da atitude horizontal, insere um erro nas coordenadas obtidas, na ordem dos cm ou poucos decímetros (dependendo da variação de inclinação do pavimento), o que não tem significado neste caso dado a precisão do Sistema de Georreferenciação Direta utilizado - cerca de 2 m. Finalmente x0, y0 são as coordenadas do ponto principal da câmara e f a sua distância focal, parâmetros estes obtidos por calibração, e x z são as coordenadas imagem obtidas pelo utilizador ao referenciar o ponto.

### 3. TESTES E RESULTADOS

Foi efectuado um teste em que se percorreu uma via secundária próxima de Vila Real estando todas as componentes do sistema em perfeita operação. O levantamento durou 35 min tendo-se recolhido 9285 frames a uma taxa de aproximadamente 4,5 frames/segundo, a velocidades entre 40 e 60 km/h (média de 50 km/h), o que implica, aproximadamente, 25 km de percurso e uma imagem recolhida a cada 3 m. A câmara foi colocada na parte traseira do tejadilho do automóvel com um ângulo de inclinação de cerca de 23°, com a iris fixa e prioridade à exposição. O recetor GPS foi colocado junto da câmara, na sua parte superior. Estes aspetos podem observar-se na Figura 1, a qual diz respeito a este levantamento. Durante o levantamento, além do armazenamento das frames, foi recolhido o ficheiro com as mensagens NMEA e efectuada a sincronização temporal do PC a partir dessas mesmas mensagens. Após o fecho do levantamento verificou-se que o ficheiro NMEA continha informação de todos os segundos decorridos e sempre com qualidade elevada tendo em conta o tipo de observação.

Já em gabinete, os dados foram tratados tendo-se interpolado as posições do ficheiro NMEA para os instantes de aquisição de cada frame (estes com precisão de milissegundo). Resultou um ficheiro de texto em que cada linha contém o nome de cada imagem e as respetivas coordenadas e orientações.

Esse ficheiro de texto constitui, juntamente com as imagens, os dados de entrada para o software desenvolvido para o processamento do levantamento, do qual se mostra uma imagem na Figura 3. O seu funcionamento consiste em correr as imagens como se de um vídeo se tratasse, podendo o operador controlar o visionamento (avançar, recuar, parar, mais rápido, mais lento). Ao visionar algo considerado um defeito o “vídeo” é parado na imagem mais significativa e o operador, com o rato, “clica” na imagem num ponto considerado central ao defeito. Imediatamente as coordenadas imagem indicadas são transformadas em coordenadas cartográficas por intermédio da equação (2) e o operador armazenará esse defeito preenchendo um menu-lista.

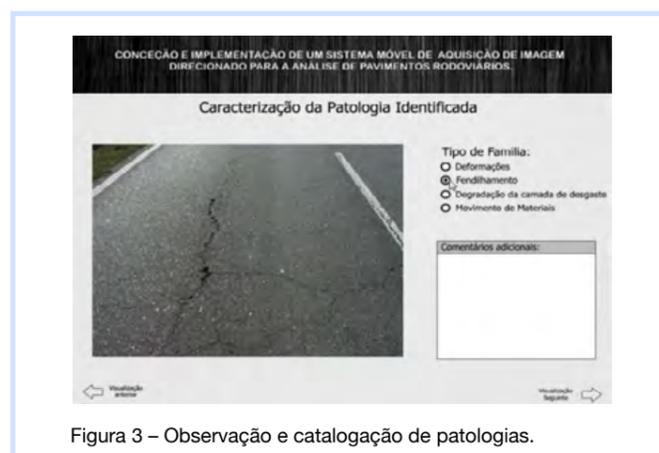


Figura 3 – Observação e catalogação de patologias.

O levantamento, efetuado em modo manual, permitiu constituir uma base de dados, georreferenciada e datada, sendo um elemento de auxílio à decisão muito valioso para a entidades com responsabilidades na manutenção rodoviária. Consideraram-se irregularidades dos seguintes tipos: Deformações, fendilhamento, degradação da camada de desgaste, movimento de materiais, tendo cada um outros sub-tipos. No armazenamento da informação estará patente a severidade do defeito.



Figura 4 – Apresentação de resultados em formato kml (Google Earth).

O software permite ainda exportar o levantamento para o formato kml do Google Earth. Resulta deste passo um ficheiro que mostra os ícones georreferenciados de todas as imagens, tendo cada um deles a respetiva imagem associada de forma a poder ser visualizada por um utilizador. Todas as imagens em que foram detetadas patologias de pavimento estão devidamente sinalizadas no kml, pela cor ou forma diferenciada do ícone, estando um pequeno relatório desse evento disponível através de uma pequena janela popup. Um exemplo apresenta-se na Figura 4.

Os testes efetuados permitiram identificar situações a melhorar: a catalogação manual dos defeitos de pavimento pôde fazer-se em cerca de 3 horas de trabalho para estes 25 km de estrada, o que nos parece tornar viável a operação manual, mas reconhece-se que algum nível de automatização poderá melhorar este aspeto; na aquisição de dados verificou-se que será aconselhável progredir mais lentamente, ao nível dos 40 km/h, para evitar situações de “arrastamento” da imagem e para minimizar frames mal expostas nas situações de mudança abrupta de luminosidade; ao nível do software, este deve permitir identificar defeitos que se estendem por várias dezenas de metros, armazenando-os não como pontos mas como linhas.

### 4. CONCLUSÃO / PERSPECTIVAS

No trabalho aqui apresentado foi implementado um sistema de aquisição de imagens georreferenciadas direcionadas para análise de pavimentos. Foi desenvolvido o sistema de aquisição e sincronização temporal das imagens com a informação de georreferenciação, o processo de interpolação das posições das imagens e o software que posteriormente permite efetuar a análise (manual) das deficiências do pavimento e catalogar essa informação. Adicionalmente, foi apresentada uma forma de visualização sugestiva do resultado do levantamento através da exportação para o formato kml.

Foram efetuados testes em situação real, tendo sido aqui apresentado um deles em mais pormenor, sendo os resultados obtidos plenamente satisfatórios, na linha dos objetivos inicialmente propostos.

O trabalho aqui apresentado abre uma linha de investigação na instituição, pretendendo os autores prosseguir no sentido de melhorar o sistema de aquisição e de introduzir processos de análise automática de imagem aproveitando a investigação entretanto já publicada neste campo. No entanto, consideram os autores nunca abandonar a linha semi-automática, isto é, o operador manterá sempre um controlo absoluto sobre a operação automática. Esta é a única forma de tornar mais eficiente e célere a operação e garantir ainda o pleno de identificação de patologias de pavimento.

#### REFERÊNCIAS

Aoki, K. Yamamoto, K. and Shimamura, H., (2012): Evaluation model for pavement surface distress on 3d point clouds from mobile mapping system, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XXXIX-B3, p. 87-90. URL: <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XXXIX-B3/87/2012/isprsarchives-XXXIX-B3-87-2012.pdf> (consultado em 2014.03.20).

Cheng, H., Myiojim, M., (1998): Automatic pavement distress detection system, *Journal of Information Sciences*. Volume 108, p.219-240.

Georgopoulos, A., Loizos, A., Flouda, A., (1995): Digital image processing as a tool for pavement distress evaluation, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 50, issue 1, p. 23-33.

Madeira, S., Gonçalves, J. A. and Bastos, L (2012). Sensor Integration in a Low Cost Land Mobile Mapping System. *Sensors*, Vol. 12, p.2935-2953.

Madeira, S., Gonçalves, J, Bastos, L., (2010): Photogrammetric mapping and measuring application using MATLAB, *Computers & Geosciences*, Volume 36, Issue 6, June 2010, p. 699-706.

Mohammadi, M., (2012): ROAD CLASSIFICATION AND CONDITION DETERMINATION USING HYPERSPECTRAL IMAGERY, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XXXIX-B7, 2012, p. 141-146. URL: <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XXXIX-B7/141/2012/isprsarchives-XXXIX-B7-141-2012.pdf> (consultado em 2014.02.13).

Mulsow, C., (2012): Determination of the degree of gravel aggregate-bitumencoverage by multi-directional reflectance measurements, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XXXIX-B5, 2012, p. 39-43. URL: <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XXXIX-B5/39/2012/isprsarchives-XXXIX-B5-39-2012.pdf> (consultado em 2014.02.20).

#### CONTACTO

Paulo VILELA: paulojcvilela@gmail.com

## APLICAÇÃO DE REFERENCIAÇÃO LINEAR À REDE HIDROGRÁFICA NO CONTEXTO DA HARMONIZAÇÃO DE DADOS INSPIRE

Edgar BARREIRA, Alexandra FONSECA, André SERRONHA,  
Marisa SILVA, Paulo PATRÍCIO

Direção Geral do Território

**RESUMO:** A Diretiva INSPIRE surge como uma oportunidade para mudar estratégias, melhorar processos e métodos na produção, gestão e manutenção de dados geográficos. A Direção-Geral do Território (DGT) é a entidade responsável pela prossecução da política de ordenamento do território e de urbanismo e tem a responsabilidade de produção e manutenção de dados geográficos de referência. Como tal, é responsável por proceder à harmonização dos dados da sua responsabilidade, segundo as normas da referida Diretiva.

Para os temas que requerem o envolvimento da DGT, têm sido desenvolvidos, de forma faseada, trabalhos de análise de especificações de dados e realizados estudos de estratégias a adotar para a sua aplicação no processo de harmonização de conjuntos de dados geográficos. Os diferentes temas que compõem a cartografia oficial, enquadram-se nos Anexos I, II e III da Diretiva INSPIRE. Nestes temas identificam-se os objetos relativos às Séries Cartográficas Nacionais, a diferentes escalas, bem como produtos de cartografia temática (e.g. Carta de Uso e Ocupação do Solo).

A criação de um caso de estudo prático em torno do tema Hidrografia permitirá evoluir no sentido de consolidar planos de atuação para a respetiva harmonização de dados. Antes da harmonização dos atributos de cada componente vetorial deste tema, é necessário estudar a forma de representação destas redes. Respeitando as orientações da Diretiva INSPIRE, recorrendo nomeadamente ao documento Generic Network Model (GNM), as redes devem adotar o método de referenciação linear para a identificação de diferentes eventos que as caracterizem. Para este fim foi desenhado um fluxo de trabalho, em open source, que inclui a utilização de bases de dados geográficas (PostgreSQL/PostGIS), ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (QuantumGIS) e desenvolvimentos recentes de um módulo de referenciação linear (LRS).

Este artigo pretende discutir as implicações da Diretiva INSPIRE na cartografia oficial produzida pela DGT e apresentar os requisitos da Diretiva para o tema Hidrografia, centrando-se na aplicação do método de referenciação linear, necessário à harmonização de dados geográficos em rede. O objetivo do artigo incide sobre a promoção de uma reflexão sobre a problemática de harmonização dos dados das séries cartográficas nacionais, inserida no contexto da Diretiva INSPIRE.

**Palavras-chave:** Referenciação Linear, Hidrografia, Diretiva INSPIRE, Harmonização, SIG

**ABSTRACT:** The INSPIRE Directive is changing the cartographic production across Europe. The Directorate-General for Territorial Development is developing research on the most suitable procedures applicable to the national cartographic series. Linear Reference System (LRS) is used to manage the hydrographic network, according to the INSPIRE General Network Model. All the used procedures were developed using open-source tools.

**Keywords:** Linear Reference System, Hydrography, INSPIRE Directive, Harmonization, GIS

## 1. INTRODUÇÃO

A Informação Geográfica (IG) ocupa neste momento um lugar preponderante na gestão do dia-a-dia de qualquer indivíduo. Para qualquer atividade de lazer, comercial ou política o seu papel é indiscutivelmente fulcral.

Durante séculos as atividades ligadas à criação da IG concentraram-se nas instituições de carácter público ou privado que dispunham de elevados conhecimentos científicos e capacidade técnica. De forma semelhante, também o uso deste tipo de informação estava confinado a círculos de utilizadores muito restritos. Esse paradigma alterou-se de forma radical. No momento que vivemos, a informação dissemina-se não à velocidade da luz mas à velocidade da ligação Internet que esteja ao nosso alcance. Para além do acesso “simples”, neste momento, qualquer utilizador pode também assumir o carácter de fornecedor. Esta nova realidade aliada à evolução tecnológica potenciou a possibilidade de utilização de dados com as mais diversas fontes, métodos e critérios de aquisição e, assim, criou-se o caos. Mas do caos surgem as novas ordens e a Diretiva INSPIRE não é senão uma ideia visionária para uma nova ordem, da qual todos possam fazer parte.

A Diretiva INSPIRE prevê o estabelecimento de regras universais para a representação cartográfica, harmonizando os conceitos, a organização e a estrutura da informação, bem como a metainformação associada aos dados. Podemos dizer que a implementação da Diretiva INSPIRE pretende ter um papel de facilitador nas sinergias inerentes à aquisição e uso da IG.

Os Estados Membros (EM) são assim “obrigados” a gerirem e a disponibilizarem os respetivos conjuntos e serviços de dados geográficos de acordo com princípios e disposições comuns estabelecidas de forma faseada e calendarizada, para as várias componentes INSPIRE (e.g. metadados, conjuntos de dados geográficos, serviços). A Diretiva incide sobre informação espacial da responsabilidade das instituições públicas dos EM enquadrada num conjunto de temas distribuídos por três Anexos.

A Direção-Geral do Território (DGT) tem um duplo papel no contexto da Diretiva INSPIRE – é o Ponto de Contacto Nacional (PCN) para a Diretiva e é também uma entidade produtora e, como tal, é responsável por proceder à harmonização dos seus dados e serviços de dados geográficos.

A cartografia oficial produzida na DGT, inclui Conjuntos de Dados Geográficos (CDG) enquadráveis em diferentes temas dos Anexos I, II e III da Diretiva, como são, por exemplo, os casos da Série Cartográfica Nacional na escala 1:10 000 (SCN10k), da Série Cartográfica Nacional na escala 1:50 000 (SCN50k) ou da Carta de Portugal continental na escala 1:500 000.

A participação em projetos europeus, centrados na harmonização de dados geográficos e no desenvolvimento de serviços, tem representado uma oportunidade para aquisição de conhecimentos e experiência, relevantes na aplicação das exigências da Diretiva e sua partilha com as outras instituições públicas responsáveis pela produção e disseminação de dados geográficos em Portugal.

De referir a participação em projetos como o Humboldt – *Development of a Framework for Data Harmonisation and Service Integration*, que conduziu à produção de uma ferramenta de suporte à harmonização de dados geográficos (HALE – *Humboldt Alignment Editor*); o NatureSDIplus – *Best practice Network for European SDI in Nature Conservation* que focado na temáticas da conservação da natureza, produziu um conjunto de boas práticas para a harmonização de metadados, dados e serviços de dados geográficos e ainda o projecto GIS4EU – *Provision of interoperable datasets to open GI to EU communities* que, iniciado em 2007, estudou a disponibilização de dados cartográficos de base para a Europa, concretizando a transformação dos modelos de dados dos produtores nacionais para o modelo de dados INSPIRE disponível à data, nas temáticas divisão administrativa, rede de transporte e hidrografia. Para este último tema foram utilizados os CDG: ERMPT 1:250 000 e EGMPT 1:1 000 000 [De Zorzi, 2010].

Este artigo centra-se no estudo de estratégias de harmonização das séries cartográficas nacionais para o tema Hidrografia, no contexto atual da Diretiva INSPIRE, considerando agora escalas maiores do que as estudadas anteriormente no projeto GIS4EU.

## 2. A DIRETIVA INSPIRE NAS SÉRIES CARTOGRÁFICAS NACIONAIS

A Cartografia Oficial é composta por diversas séries cartográficas que caracterizam o território de acordo com um conjunto de regras e representações. Essas regras e representações estão estreitamente relacionadas com a escala associada e são o garante da primordial legibilidade da informação. Como consequência a representação das entidades geográficas tende para uma maior generalização cartográfica na direta proporção da diminuição da escala em uso. Apesar da diversidade de representações, as diferentes escalas têm habitualmente um denominador comum: a cor. A organização cromática de uma carta permite ensaiar um primeiro paralelismo com o conceito de tema da Diretiva INSPIRE. Tome-se o exemplo da utilização das cores azul e castanho e os temas INSPIRE Hidrografia e Altitude, respetivamente. Todavia este paralelismo não é efetivo, por exemplo uma área pantanosa não tem representação no tema Hidrografia mas sim no tema Ocupação do Solo. Encontrar todas estas correspondências é um primeiro e exigente exercício que implica um perfeito conhecimento tanto do modelo de dados de partida como do modelo de dados INSPIRE.

Para além das características gráficas que permitem a adequação à estrutura do modelo de dados proposto, a Diretiva apela ainda para uma normalização da geometria. No caso de elementos lineares como vias de comunicação ou linhas de água é consensual a necessidade de recorrer ao uso de redes, em particular, como sugerido na Diretiva, que se usem redes com segmentação dinâmica. Também neste caso será complexa a adaptação das entidades lineares presentes na cartografia tradicional, especialmente no que concerne aos seus atributos. O que se configurava como um atributo gráfico passa a ser um “evento” que ocorre num determinado segmento dessa rede. Esta nova formulação implicará um enorme esforço para uma concretização efetiva e funcional.

A harmonização da informação no âmbito da Diretiva INSPIRE configura-se como um trabalho de alguma complexidade que exige um profundo conhecimento tanto dos dados existentes e as suas especificações, como de toda a documentação produzida no âmbito da Diretiva INSPIRE, nomeadamente as Especificações de Dados para cada tema. Distinguem-se três importantes tarefas: a identificação dos temas que estão presentes nas séries cartográficas, referindo-se aqui os temas de Hidrografia (Anexo I), Rede de Transportes (Anexo I), Toponímia (Anexo I), Unidades Administrativas (Anexo I), Altitude (Anexo II), Ocupação do Solo (Anexo II), Ortoimagens (Anexo II) e Edifícios (Anexo III); a criação de redes geométricas e topologicamente consistentes; a identificação dos atributos passíveis de serem obtidos a partir da informação existente no CAD ou nas base de dados dessas Séries (no primeiro caso através dos atributos gráficos, no segundo através da conversão dos atributos alfanuméricos. Para ambos a partir da análise com outros objetos de outros temas).

## 3. HARMONIZAÇÃO DE DADOS DO TEMA HIDROGRAFIA

Os primeiros temas analisados no âmbito dos INSPIRE Thematic Working Groups (TWG) pertencem ao Anexo I, onde o tema Hidrografia foi um dos primeiros a dispor de Especificações de Dados. Estas especificações procedem à definição dos modelos de dados para cada tema, com base em documentação de natureza transversal como é o caso do Generic Conceptual Model (GCM) [INSPIRE,2014] e do Generic Network Model (GNM) [INSPIRE,2013], este último para os temas com dados disponibilizados numa rede.

Os temas da Hidrografia e das Rede de Transporte abrangem grande parte da informação de base presente nas Séries Cartográficas, que terão de ser adaptadas ao novo paradigma da informação geográfica, impulsionado pela Diretiva INSPIRE. Ambos partilham o conceito de rede, traduzido no documento GNM, pelo que parte do exercício de estudo aqui apresentado servirá também ao tema Rede de Transportes e a todos aqueles que tenham associada esse tipo de representação.

A criação de um modelo de dados implica a consideração de diferentes casos de utilização dos CDG, que no tema Hidrografia inclui: (1) CDG como referência cartográfica de base, abrangendo

a representação das principais entidades classificadas como águas físicas e objetos relacionados; (2) elaboração de relatórios sobre quantidade e qualidade da água (ação imposta no contexto da Diretiva do Quadro da Água - WFD); (3) modelação e análise espacial, com base na rede hidrográfica, através da utilização de sistemas de informação geográfica.

Os casos de utilização acima referidos traduzem-se em três schemas fundamentais na Especificação de Dados da Hidrografia: Physical Waters, Management and Reporting Units e Network Model. Este artigo não considerará a análise do schema Management and Reporting Units, por não se enquadrar no contexto da cartografia de base. De referir que este schema foi já objeto de análise para a realidade nacional em alguns trabalhos de investigação [Charneca, 2012].

A análise realizada à Especificação de Dados do tema Hidrografia implica a compreensão das dependências com outros temas INSPIRE, dado que todo o ciclo da água é expresso parcialmente e de forma dispersa por mais do que um tema.

O schema Network Model baseia-se, fundamentalmente, no que está documentado no GNM, que se centra nos aspetos topológicos e de segmentação dinâmica por referenciação de eventos. A segmentação dinâmica é um método de referenciação direto, fundamental para localizar eventos na rede (lineares ou pontuais), aspeto que é particularmente relevante no contexto da Diretiva Quadro da Água (WFD) e do Water Information System for Europe (WISE).

O schema Physical Waters é particularmente interessante do ponto de vista cartográfico, dado que inclui a definição de muitas das entidades geográficas existentes nos diversos Catálogos de Objetos que deram origem à cartografia nacional. A Especificação de Dados do tema Hidrografia [INSPIRE,2010] indica quais os tipos de dados considerados e o tema a que pertencem, devendo-se considerar as dependências deste schema com os outros que são definidos para temas como a Ocupação do Solo (Land Cover), as Zonas de Risco Natural (Natural Risk Zones) e as Regiões marinhas (Sea regions).

Outros casos de utilização não contemplados nas especificações de dados INSPIRE para o tema Hidrografia poderão ser considerados pelas entidades responsáveis aquando da definição do respetivo modelo de dados, podendo ser objeto de expansão ao modelo INSPIRE, de acordo com essas necessidades específicas (e.g. planeamento e licenciamento, programas de monitorização). De facto, a especificação de dados INSPIRE para o tema Hidrografia não fornece todos os elementos requeridos pela legislação nacional pelo que, em caso de necessidade, as expansões ao modelo INSPIRE têm que recorrer forçosamente às especificações de dados de outros temas.

#### 4. O PAPEL DAS REDES NO TEMA HIDROGRAFIA

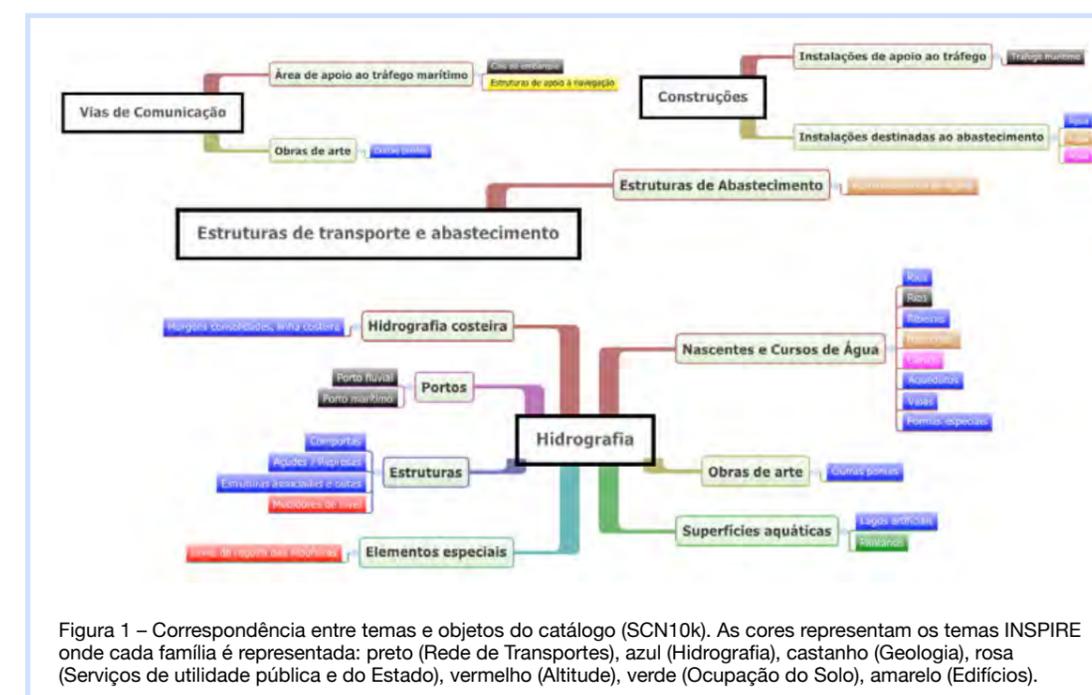
Os Sistemas de Referenciação Linear (SRL) constituem um caso particular da Segmentação Dinâmica, relativamente a redes (linhas). Os SRL são fundamentais para o processo de armazenamento de informação através de posições relativas ao longo de elementos lineares. A utilização dos SRL é uma recomendação da Diretiva INSPIRE, definida no GNM. A sua implementação garante maior rapidez na atualização da informação geográfica e a sua interoperabilidade com outros CDG que se relacionem com a rede, criada no âmbito de um tema específico. A referenciação linear é utilizada para associar diferentes conjuntos de atributos ao mesmo elemento geográfico, sem que seja necessário proceder à sua segmentação, sempre que ocorram alterações dos valores dos atributos. Utilizando a Segmentação Dinâmica gere-se a localização dos elementos por referência à sua posição sobre um determinado segmento, através de métricas (distância métrica a uma determinada origem). Desta forma substitui-se a tradicional localização dos elementos com base nas suas coordenadas (x,y,z), de forma a localizar eventos (do tipo linear ou pontual) ao longo de uma rede. Isto significa que a rede geométrica é independente dos fenómenos (ou atributos) que nela ocorrem.

Tome-se como exemplo o atributo navegabilidade e a largura de um rio: ao invés de se quebrar cada arco onde haja uma diferença nestes atributos, referenciam-se no segmento que representa o rio os diversos eventos, pela sua posição métrica (tipicamente quilométrica) nesse segmento.

Desta forma inúmeros tipos de evento podem integrar a rede, sem que esta deixe de ser coerente do ponto de vista geométrico e topológico. Enquanto que um evento pontual é caracterizado por ter uma métrica única (representa o centróide do objeto), um troço tem duas métricas associadas: as métricas das duas extremidades do troço. Desta forma o ponto ou o troço representam a projeção do evento sobre o elemento linear (também definido por route).

#### 4.1. Caso de estudo: tema Hidrografia na SCN10k

No presente caso de estudo tentou identificar-se de que forma as séries cartográficas nacionais estão preparadas para facilmente se proceder à sua adaptação em conformidade com a Diretiva INSPIRE. Assim, foi analisado o Catálogo de Objetos para a produção da cartografia à escala 1:10000 (SCN10k) e identificadas as possíveis correspondências com diferentes temas da Diretiva INSPIRE. Foram identificados os temas relativos às diferentes famílias de objetos (inseridas em domínios e subdomínios, no âmbito do Catálogo de Objetos SCN10k) (Figura 1). Por exemplo dentro do domínio “Hidrografia” existem vários sub-domínios. No sub-domínio “Portos” existem as seguintes famílias de objetos: “Porto fluvial” e “Porto marítimo”, ambos afetos ao tema Rede de Transportes.



No âmbito dos trabalhos realizados foi ensaiado um cenário de teste para aplicação de segmentação dinâmica aos elementos de Hidrografia presentes na SCN10k. Todas as operações são realizadas numa cadeia de procedimentos maioritariamente constituída por ferramentas open-source, uma das condições iniciais definidas para este trabalho. A implementação de um SRL tem em conta a necessidade da geometria de base das linhas de água ter as suas métricas bem estabelecidas a partir da foz de cada um dos cursos de água representados. Este é um requisito que aponta já para a interoperabilidade com dados de outras fontes, por exemplo os que têm como objetivo a análise de impactos ambientais (e.g. a existência de uma fonte poluente numa determinada métrica do curso de água que influenciará toda a rede hidrográfica).

Uma das dificuldades registadas foi o estabelecimento das métricas, já que o QGIS não prevê, como outros software o permitem, o uso de uma coordenada suplementar (“M” no caso do ArcGIS),

para além das coordenadas tridimensionais (x,y,z) relativas ao posicionamento dos objetos. Outra das limitações identificadas é a incapacidade desta ferramenta associar os atributos de um CDG de linhas (e.g. rede hidrográfica), com os atributos de um CDG do tipo pontual (e.g. marcações métricas), quando exatamente coincidentes. Estas características limitam a utilização do plugin LRS. Este plugin (<http://blazek.github.io/lrs>), disponível no repositório oficial do QGIS, foi desenvolvido pela MPA Solutions para a Província Autónoma di Trento – Dipartimento Infrastrutture e Mobilità.

Ultrapassadas as dificuldades, foi testada a inserção de eventos (geométricos e não geométricos) para avaliar as potencialidades do plugin do ponto de vista da referenciação linear dos mesmos. Estes eventos podem, no tema da Hidrografia, representar diferentes tipos de objetos, características físicas ou outras (e.g. cruzamentos com estradas, fontes de poluição, captações de água, entre outros). Desta forma podem ser referenciados diferentes tipos de informação geográfica (por ponto, ou por troço) que se relacionem com o tema Hidrografia, por forma a tornar mais simples e organizado todo o processo de conjugação dos dados interoperáveis e da sua utilização para fins de decisão. No presente caso de estudo, o processo de trabalho criado utiliza as bases de dados geográficas (PostgreSQL/PostGIS) como repositório de dados, adequando-as às necessidades do processo de harmonização dos CDG e da sua publicação em Serviços [Barreira et al.,2012]. A Figura 2 identifica as componentes envolvidas na aplicação de LRS à produção e harmonização dos CDG relativos ao tema “Hidrografia”, consideradas neste exemplo de teste.

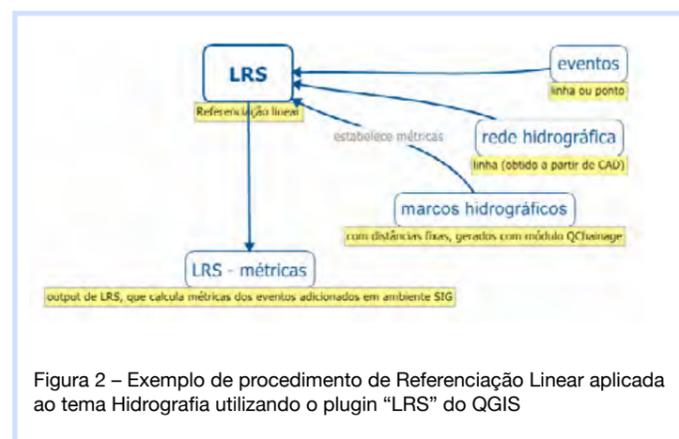


Figura 2 – Exemplo de procedimento de Referenciação Linear aplicada ao tema Hidrografia utilizando o plugin “LRS” do QGIS

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresenta os requisitos INSPIRE para o tema Hidrografia, centrando-se na aplicação de segmentação dinâmica, obrigatória para a representação da rede hidrográfica, presente na série cartográfica SCN10k (na escala 1:10 000). Os produtos cartográficos evoluíram rapidamente da sua forma estática e analógica, para um meio dinâmico e digital. O legado da gestão de dados espaciais produzidos e organizados em plataformas CAD (para fins de impressão) ou em bases de dados deve agora ser transformado para sistemas de gestão de bases de dados (SGBD), em conformidade com a Diretiva INSPIRE.

Para os CDG que necessitam de uma análise em rede (e.g. Hidrografia), os SRL permitem, de forma eficiente, gerir relações múltiplas (e.g. um rio com diversas propriedades associadas em diferentes localizações do seu trajeto), assim como realizar operações de sobreposição de outro tipo de geometrias (localizado sobre uma linha dessa rede), sem implicar uma modificação da informação de base. Como sinalizado anteriormente, a utilização de ferramentas open source ou de distribuição gratuita apresenta ainda algumas limitações, apesar dos desenvolvimentos recentes. Como vantagem universal, estas ferramentas têm perspetivas de melhoria na sua eficácia, além de permitirem ao utilizador o desenvolvimento próprio de novas funcionalidades, mais adequadas às suas necessidades.

A harmonização de dados geográficos do tema Hidrografia e de outros temas inter-relacionados, bem como a sua disponibilização através de Serviços, viabilizará uma exploração eficaz da IG em utilizações diversas. Atividades como a análise do estado atual das massas de água e a partilha de informação geográfica entre instrumentos de gestão territorial, permitindo por exemplo o cálculo de novas áreas de interdição, condicionamento à edificação ou zonas de risco, poderão ser geridas sobre uma rede partilhada, onde cada entidade caracteriza a informação de acordo com os requisitos para a sua atividade, certificando-se sempre que o nível de representação é o exigido para as suas análises. Até esta fase não foi ainda testada a harmonização deste produto cartográfico em termos conceptuais, dados os desafios relativos à componente geométrica e topológica dos CDG.

Para tal, é necessário um esforço nacional, de colaboração entre as entidades, que permita criar e implementar os modelos de dados e disponibilizar serviços de dados geográficos das temáticas em causa, para usufruto de uma comunidade cada vez mais vasta de produtores e utilizadores de IG.

## REFERÊNCIAS

- Barreira, E., Fonseca, A., Gomes, A.L., Furtado, D. (2012). Harmonização de dados INSPIRE em Portugal: uma abordagem à temática da Conservação da Natureza, JIIDE 2012 – III Jornadas Ibéricas de Infra-estruturas de Dados Espaciais, Madrid, Outubro 2012
- Charneca, N. (2012). Modelação de Dados geográficos aplicada ao planeamento e gestão de recursos hídricos, 242 f. Tese (Doutoramento em Ciências Geofísicas e da Geoinformação) – Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
- De Zorzi, S. (2010). D8.5 – Compendium. Sintesis of the major Project results, Version 1.0, GIS4EU,
- INSPIRE (2010). Data Specification on Hydrography – Guidelines, Version 3.0.1
- INSPIRE (2013). D2.10.1: INSPIRE Data Specifications – Base Models – Generic Network Model, Version 1.0rc3
- INSPIRE (2014). D2.5: Generic Conceptual Model, Version 3.4

## CONTACTOS

- Edgar BARREIRA: ebarreira@dgterritorio.pt
- Alexandra FONSECA: afonseca@dgterritorio.pt
- André SERRONHA : aserronha@dgterritorio.pt
- Marisa SILVA : marisas@dgterritorio.pt
- Paulo PATRICIO : ppatricio@dgterritorio.pt

## A GEO-VISUALIZAÇÃO COMO FERRAMENTA PARA A PARTICIPAÇÃO NO PLANEAMENTO URBANO

Luís Pedro CERQUEIRA

Escola Superior de Tecnologia do Barreiro – Instituto Politécnico de Setúbal

**RESUMO:** A participação pública ao ser entendida como a via que assegurará que todos os interessados farão valer os seus direitos e razões, também será a via conducente ao empenhamento daqueles que nela participarão. Tem por objetivo que estes assumam convictamente as regras, conhecendo as suas finalidades e consequências. Para isso pressuporá a existência de uma clara e permanente informação sobre o desenvolvimento urbanístico ao longo de todo o processo de planeamento, mesmo durante o período de implementação / monitorização.

A elaboração de planos suporá o início de um processo de planeamento, só possível quando existir empenho por parte do sector político de modo a assegurar a participação de associações representativas da população e dos vários agentes que operam no território.

A administração local ao assumir um papel determinante como agente de transformação, pressuporá o surgimento de um nível de ações que têm escapado à consciência dos cidadãos e consequentemente não têm tido capacidade de as reivindicar.

“... não devemos considerar a cidade simplesmente como uma coisa em si mas tal como os cidadãos a percebem.” (Lynch, 1960)

Compreender a cidade e os seus objetos permite aos cidadãos julgarem o ambiente em que vivem, para formularem as propostas mais adaptadas às suas necessidades enquanto exigências da vida particular e coletiva, o que pressuporá um melhor desenvolvimento e o aumento da dignidade da vida.

Assegurar a participação, a compressão das propostas e dos projetos e garantir que o resultado da participação corresponda à perceção e vontade dos cidadãos é determinante para uma boa decisão. A geo-visualização é um contributo fundamental para assegurar a independência na participação e dos resultados dessa participação nos processos de planeamento urbano.

O processo de planeamento associado à geo-visualização contribuirá para o aumento da qualidade da intervenção pública, face às vias de decisão mais importantes na administração pública local. Deste modo, o recurso à geo-visualização nos instrumentos de planeamento e ordenamento terão de refletir maior envolvimento dos municípios e o desenvolvimento de processos e ferramentas que garantam aos outros agentes a participação na realização dos planos.

**Palavras-chave:** Participação; Geo-visualização; Processo de Planeamento; Planeamento Urbano.

## 1. INTRODUÇÃO

O Ordenamento do Território é uma política pública cuja finalidade é, acima de tudo, a mediação de conflitos relacionados com o uso do solo e o planeamento.

As bases legais da política de ordenamento do território são definidas por lei. Cabe à administração pública a responsabilidade de as implementar e contribuir para o desenvolvimento das políticas de gestão do território, tendo como objetivo a sua utilização de forma concertada.

O conceito de democracia participada tem o objetivo de responder às expetativas das populações e de grupos de interesses mais heterogêneos, questionando as decisões tomadas apenas por propostas de especialistas. Os processos participativos também são considerados uma ameaça para o conhecimento técnico dos especialistas.

O interesse das autoridades públicas pela participação corresponde a novos desafios que devem permitir alcançar uma negociação, ou até mesmo uma maior legitimidade dos projetos. Muitas vezes são vistos como um instrumento retórico para atrair a atenção para as políticas.

## 2. O PLANEAMENTO URBANO

### 2.1. A atitude face às atribuições da Administração Municipal

Administrar a transformação do uso do solo e o seu processo de desenvolvimento são preocupações do planeamento e do ordenamento do território. Aos municípios, através da lei das atribuições e competências dos respetivos órgãos, cabe a sua execução no espaço do território municipal.

A gestão do solo como recurso caro e limitado implica que a administração local adquira um papel ativo no processo de planeamento. Terá de responder, por um lado, às solicitações de carácter urbanístico, sabendo como as integrar no processo (modelo) para o desenvolvimento que propôs e clarificar em instrumentos as políticas constantes no seu programa eleitoral; por outro lado, importa que incentive os agentes locais, dando-lhes confiança através da divulgação.

O processo de planeamento terá de especificar os aspetos conducentes ao desenvolvimento económico e social em concertação com outros agentes locais (mesmo supra municipais), isto é, criar condições para gerir e animar as intervenções dos agentes que apresentam, ou poderão vir a apresentar, interesse na área do município.

Assim, a administração local, ao assumir um papel determinante como agente de transformação promoverá o desenvolvimento de processos e um nível de consciência nos cidadãos, que atribuam a estes e também aos outros agentes, a participação na realização dos planos.

Deste modo o processo de planeamento, partilhando o envolvimento dos municípios, cidadãos e outros agentes, contribuirá decisivamente para o aumento na qualidade da intervenção pública (não pressupõe o aumento nas atribuições da administração local), criando condições para que naturalmente surjam novas formas de organização e posicionamento, face às vias de decisão mais importantes.

### 2.2. O processo de planeamento

Um plano é um documento político. Na Legislação Urbanística Portuguesa é encarado como um regulamento administrativo, que adquire eficácia depois de publicado em Diário da República.

O planeamento entendido como um processo, para além do ato de elaborar um plano e torná-lo eficaz, é uma atitude preocupada em gerir a conceção e formulação de natureza contínua das políticas normativas que influenciam em sentido positivo a previsão do futuro. Assim, planear será também um mecanismo de controlo aplicável a uma ampla variedade de situações, na regulação do sistema espacial.

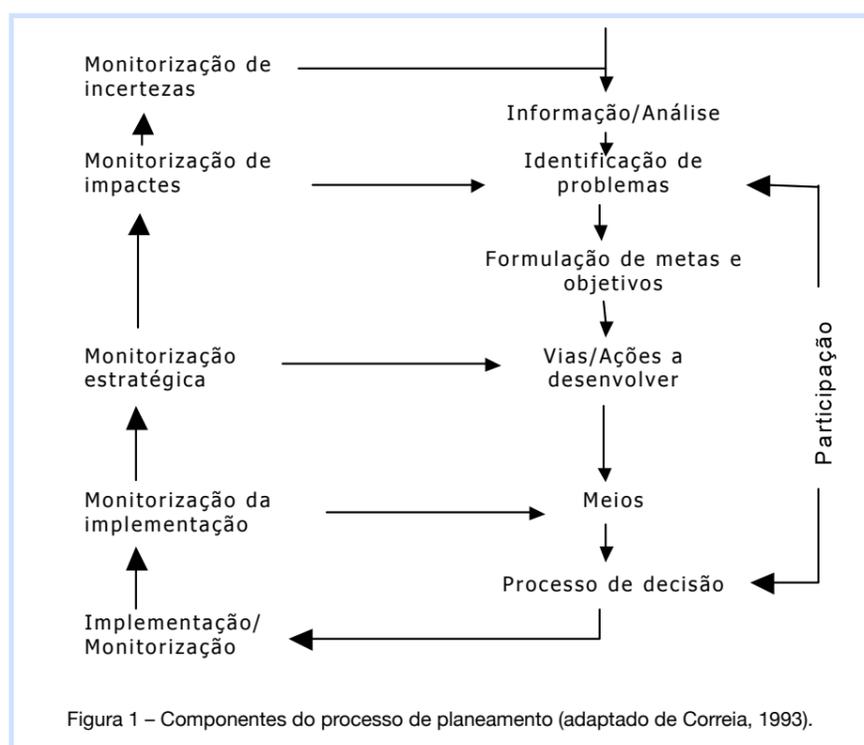
As abordagens tradicionais têm-se limitado a produzir planos estáticos, desligados do processo iterativo e iterativo de decisão e dirigidos para a produção de um documento final. A avaliação das alternativas é reduzida a um exercício de comparação, não procura exercícios de simulação. Limitam a participação dos outros agentes e o processo de avaliação posterior da aplicabilidade das políticas no alcance das metas.

O processo de planeamento é dinâmico, resulta da sua iterabilidade. Em função dos resultados da monitorização permite iniciar novos ciclos, formular novas propostas e obter novas decisões mesmo após a conclusão do plano. A diversidade e complexidade da formulação e resolução permitem adaptar as propostas à realidade (com problemas e não estática). Este processo cíclico pretende dar resposta a um sistema dinâmico, como é o urbano, o qual tem sido praticamente impossível controlar com planos de ordenamento estáticos.

O planeamento apresentado como um sistema conceptual geral, com o qual se pretende criar um modelo correspondente à realidade, terá por objetivo compreender o funcionamento dos processos e transformações, detetando-as antes de acontecerem e por último avaliá-las com o fim de otimizar o sistema real através da informação resultante da operacionalização do modelo conceptual.

Na elaboração de um processo de planeamento fundado nestes princípios poderemos identificar as seguintes facetas:

- Informação / Análise
- Identificação de problemas
- Formulação de metas e objetivos
- Estratégia / Ações a desenvolver
- Meios
- Tomada de decisão
- Monitorização
- Participação



### 3. A PARTICIPAÇÃO

Compreender a cidade e os seus objetos, como ler e escrever, permite aos cidadãos julgarem o ambiente em que vivem, para formularem as propostas mais adaptadas às suas necessidades enquanto exigências da vida particular e coletiva, o que pressuporá um melhor desenvolvimento e o aumento da dignidade da vida.

A participação pública poderá ser definida como a via que assegurará que todos os interessados farão valer os seus direitos e razões e também será a via conducente ao empenhamento daqueles que nela participarão. Tem por objetivo que estes assumam convictamente as propostas, conhecendo as suas finalidades e consequências. Para isso pressupõe-se a existência de uma clara e permanente informação sobre o desenvolvimento urbanístico ao longo de todo o processo de planeamento, incluindo o período de implementação/monitorização.

A divulgação deve incluir ações pedagógicas prolongadas pelo tempo necessário a assegurar o enraizamento das regras e o empenhamento dos agentes na vida local. A população em geral é o primeiro sujeito da participação, embora o processo de planeamento deva integrar também formas organizadas de participação ativa e direta sobre questões de uso do solo.

A participação organizada contará com o envolvimento de diferentes agentes, ou organizações representativas de grupos de interesses.

O planeamento deverá explicitar os processos para a participação no que se refere a (Correia e Costa Lobo, 1991):

- definição das prioridades de desenvolvimento por setor, em termos de definição das metas acordadas entre promotores e o município e da distribuição e programação correspondentes das iniciativas a empreender;
- explicitação das relações entre os serviços da Câmara Municipal e as ações a empreender para a implementação do plano no sentido de assegurar a sua implementação em todas as vertentes, ou seja, nas atividades municipais de:
  - Atendimento e divulgação;
  - Licenciamento e negociação;
  - Fiscalização;
  - Realização de obras municipais;
  - Monitorização;
  - Elaboração de estudos, projetos e planos complementares;
  - Articulação com outros organismos da administração pública;
  - Planeamento e controle estratégicos.

Deliberadamente a participação não foi incluída em nenhuma das facetas, pois desempenha um papel importante, como se viu, ao longo do processo de planeamento, embora este se torne ativo especialmente em duas fases:

- Formulação de metas e objetivos

Nesta faceta a informação proveniente da participação pública contribui para a construção progressiva do sistema de informação, bem como para a definição de metas, fruto dos anseios dos vários grupos da comunidade.

- Tomada de decisão

Nesta faceta a participação manifesta-se sobre as políticas e ações definidas no projeto de Plano e referentes ao desenvolvimento urbano.

#### 4. A GEO-VISUALIZAÇÃO COMO FERRAMENTA

A geo-visualização como ferramenta de planeamento releva, principalmente, duas utilizações, a saber:

- Apoio iconográfico para o debate com a participação do público;
- Envolvimento das comunidades na conceção das propostas a registar na cartografia.

O debate é provavelmente o modelo mais difundido, geralmente associado a um modo de “manipulação” da opinião pública. O segundo refere-se ao princípio de que o envolvimento das comunidades na conceção da proposta melhora a sua qualidade.

Métodos cartográficos são utilizados para incentivar a participação no planeamento e no desenvolvimento local a partir do desenho. Usam ferramentas simples para criar modelos tridimensionais, ou para produzir informação georreferenciada (utilizando um Sistema de Informação Geográfica – SIG), integrando tecnologias multimédia e de realidade aumentada.

O planeamento encontrava-se limitado a elites políticas, a especialistas, ou a grandes empresas. A sua democratização foi devida ao crescente aumento do envolvimento dos cidadãos e de vários interessados, a fim de influenciar as políticas públicas, tendo sido acompanhado de novos modelos de produção de informação geográfica, pontuada por novas aplicações de geo-visualização. O conteúdo gerado pelas contribuições decorrentes da participação concretizada por especialistas, ou por comunidades de utilizadores mais ou menos estruturadas, decorre de um processo colaborativo que inclui uma grande quantidade de utilizadores – produtores e consumidores.

A produção do planeamento de modo participativo recorre a plataformas tecnológicas do tipo Wiki, segue um processo iterativo e iterativo, diferente do processo tradicional, tornando-se difícil identificar os autores. Cada utilizador é um produtor espontâneo de informação, assegurada pela difusão e democratização de meios tecnológicos de comunicação. Marca assim uma era de dissonância entre a participação institucional enquadrada por profissionais e a participação iterativa e interativa construída sobre a dinâmica dos media e das redes sociais.

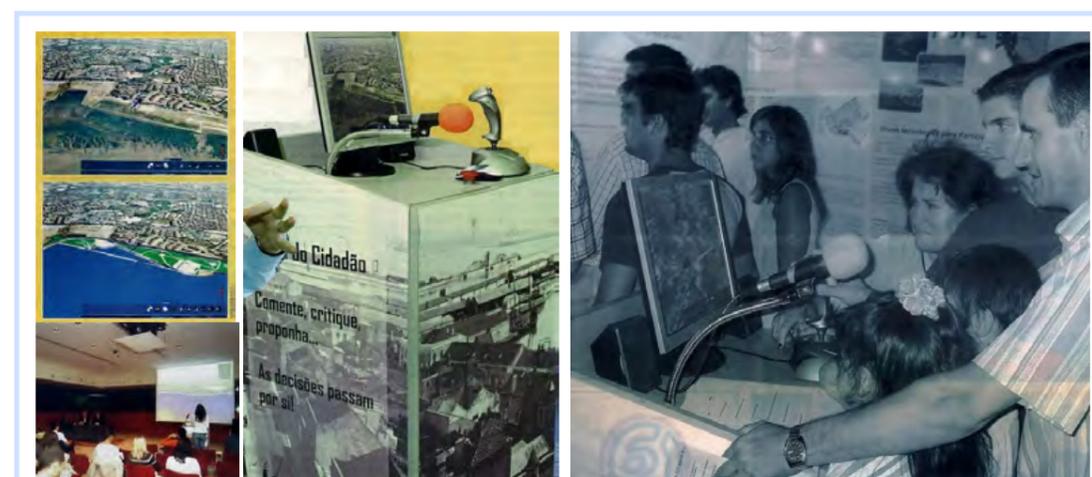


Figura 2  
Coluna 1 – Voo virtual apresentando o território da frente ribeirinha do Rio Coina, sem e com projeto de intervenção do Polis Barreiro, e sessão de apresentação.  
Coluna 2 – Quiosque multimédia para utilização individual.  
Coluna 3 – Sessão de participação utilizando o quiosque multimédia.

#### 5. O VOO VIRTUAL SOBRE O BARREIRO

##### 5.1. O desafio

O desafio de propor um modelo territorial como suporte a uma estratégia de desenvolvimento, associando territórios tão distintos como o parque industrial da Quimiparque, a frente ribeirinha do Tejo e do Coina ou a mata da Machada, motivou o município do Barreiro a recorrer à revisão do Plano Diretor Municipal (PDM). Os procedimentos deste processo incluem, de acordo com a legislação em vigor, a participação pública baseada na consulta formal aos cidadãos, os quais podem apresentar comentários e objeções.

De notar que não abundam experiências de participação pública. A administração pública não tem beneficiado das oportunidades que apresenta a sua implementação no planeamento local. Em Portugal a participação pública tem sido dificultada por um sistema político centralizador e pela concentração das decisões no nível nacional. Contudo têm-se feito esforços para promover a participação pública no planeamento local.

Como poderá um município estimular e facilitar a participação dos cidadãos nas várias facetas do planeamento espacial e promover soluções conjuntas? Conhecimento e troca de informações são meios importantes a alcançar? Quais são as melhores técnicas?

Organizar sessões públicas e questionários, que normalmente têm lugar em fases avançadas do processo de decisão, são as técnicas habituais. Estes processos encorajam a resistência às propostas, traduzem-se em desinteresse e conflitos, podendo muitos deles serem prevenidos, se os cidadãos e as entidades forem envolvidos desde o início e por consequência se integrar o seu conhecimento.

Desde o início se relacionou o sucesso da revisão do PDM do Barreiro com a alteração aos hábitos participativos da população. Prosseguindo este esforço, a Câmara Municipal do Barreiro esteve envolvida no projeto “Participatory Spatial Planning in Europe” (PSPE), com a Universidade Nova de Lisboa e a Ydreams, resultando desta experiência a introdução nas consultas públicas de novas técnicas de participação. A relação com a Universidade Nova de Lisboa permitiu que no processo de revisão do PDM se integrasse a elaboração da “Agenda Local 21” (2004/2006).

“A CMB tenta ter uma atitude proactiva para a falta da participação pública (Luisa Schmidt, Expresso 2005). Para mostrar que estas alterações construtivas podem ser feitas decidiu participar no projeto PSPE. Um argumento adicional foi o de que a revisão do PDM iria beneficiar com esta experiência” (PSPE network, Banza et al., 2007).

##### 5.2. Os objetivos PSPE

O objetivo geral do projeto PSPE foi fomentar a troca de informações nos processos de participação pública no planeamento com expressão territorial, fazendo uso da geo-visualização, como uma ferramenta inovadora. O ponto de partida foi que este poderia ser atingido adotando contributos ainda pouco desenvolvidos na maioria dos estados membros da UE. A mais-valia deste projeto seria o de consolidar o conhecimento existente e incrementar a utilização de processos de geo-visualização.

O projeto ficou com a responsabilidade de apresentar uma perspectiva dos conceitos, baseados nos estudos prévios, experiências e desenvolvimentos, identificar formas de participação e avaliar informação multimédia utilizando técnicas de realidade virtual baseada nos dados georreferenciados e medir os seus efeitos no público, devendo daí resultar um efetivo contributo para a interação nas tomadas de decisão entre os diferentes atores públicos e privados.

Um consórcio formado por cinco países da EU (Portugal, Espanha, Bélgica, Holanda e Polónia) no âmbito do programa INTERREG III assegurou o desenvolvimento deste projeto e os seus resultados foram divulgados através de conferências, documentos e no livro “Geo-visualisation for Participatory Spatial Planning in Europe – Imaging the future”.

### 5.3. A implementação

O incremento do uso de simulações em computador sobre desenvolvimentos territoriais facilita a visualização de alterações na paisagem e são consideradas mais valias para a participação dos cidadãos nos processos de tomada de decisão.

O Voo Virtual sobre a cidade do Barreiro foi uma ferramenta que mostrou um modelo virtual do território municipal. Inclui algumas possibilidades para os utilizadores interagirem com o ambiente virtual, sobrevoando sobre um ortofotomapa, como se estivessem a voar sobre a cidade.

Os utilizadores puderam fazer zoom, ver áreas em detalhe, com e sem os projetos ou propostas de intervenção, e deixar a sua opinião em forma de mensagem falada georreferenciada, usando um microfone. Posteriormente estas mensagens foram ouvidas e interpretadas, proporcionando contributos para o processo de planeamento, para resolver problemas específicos, ou introduzir novas ideias.

A ferramenta foi apresentada em forma de quiosque multimédia constituído por um computador portátil com um écran, um teclado e um joystick, o que permitiu a oportunidade de livremente viajar no espaço, aumentando e reduzindo a velocidade e interagir com os objetos associados por referências geográficas (projetos ou propostas de intervenção).

O Voo Virtual sobre a cidade do Barreiro foi apresentado em dezembro de 2004. A ferramenta foi usada numa sessão pública no Plano Municipal de Ambiente e em Agosto 2005 o Voo Virtual esteve disponível para a participação pública durante as Festas da Cidade. De outubro a dezembro 2005 a ferramenta foi apresentada nas escolas para encorajar os jovens na participação cívica.

Banza e Camacho, referem em “Getting involved in spatial planning issues – A virtual flight over de city of Barreiro” incluído no livro “Geo-visualisation for participatory spatial planning in Europe – Imaging the future” (2007) que, durante as apresentações públicas do Voo Virtual foi percebido que o cidadão comum compreendia rapidamente as propostas, mas muitos tinham dificuldades em usar ferramentas baseadas em computador, o que impediu que as possibilidades de interatividade disponibilizadas fossem todas utilizadas. Para ultrapassar estes problemas foi decidido proceder a melhorias para facilitar o uso individual, estando presente um elemento do staff para ajudar, fornecendo apoio sobre a utilização e encorajando à participação. Na segunda versão do quiosque foram incluídas algumas instruções básicas e uma imagem mais atraente.

## 6. CONCLUSÃO

A visualização de uma forma realista de propostas, ideias ou planos para o desenvolvimento ou regeneração facilita a sua compreensão e permite uma maior identificação, aumentando a oportunidade de envolvimento das partes. O Voo Virtual provou ser uma ferramenta que promove a recolha de comentários e sugestões relacionados com diferentes áreas, projetos e problemas.

O entusiasmo de quem participou foi evidente. A ferramenta atraiu a atenção dos cidadãos, que facilmente se envolveram. A questão passou a ser como responder-lhes. Para o conseguir e fomentar a interação no processo de planeamento, será necessário criar um sistema eficiente que integre os departamentos relevantes do município.

A participação é responsabilidade dos cidadãos e dos governos. O conhecimento adquirido e a ferramenta poderão ser uteis em processos de informação que pressuponham a receção de contributos sobre os futuros desenvolvimentos. É uma interação da geo-visualização com os diferentes aspetos do quotidiano, relacionando-os com o território nas suas múltiplas dimensões.

Banza e Camacho referem, nas conclusões do mesmo artigo, que o projeto produziu resultados positivos. O projeto PSPE no Barreiro revelou ser possível estimular uma atitude participativa, atraindo o interesse para a participação pública, fazendo uso de tecnologias inovadoras.

Hoje e no futuro o que pretendemos desta ferramenta?

Um passo importante a dar será a sua disponibilização a todos os cidadãos, tornando o Voo Virtual também acessível a partir dos websites dos municípios para fins de consulta pública e participação, permitindo isenção de influências e maior independência. Tem a vantagem de permitir uma interação entre os atores públicos e privados e garante que os interessados são informados se os seus comentários e/ou propostas foram considerados.

### REFERÊNCIAS

- Brink, A., Lammeren, R., Velde, R., Däne, S., (2007). Geo-visualisation for participatory spatial planning in Europe – Imaging the future, The Netherlands: Wageningen Academic Publishers.
- Correia, P., (1993). Políticas de Solos no Planeamento Municipal, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Cerqueira, L., (1997) O Desenho Urbano no Planeamento Local, dissertação de mestrado na UTL orientada por Prof. Paulo V. D. Correia.
- Lobo, C., Pardal, S., Correia, P., Lobo, M., (1990). Normas Urbanísticas, vol. I, DGOT e UTL.
- Lobo, C., Pardal, S., Correia, P., (1991). Normas Urbanísticas, vol. II, DGOT e UTL.
- Lobo, C., Pardal, S., Correia, P., (1993). Normas Urbanísticas, vol. III, DGOT e UTL.
- Lobo, C., Pardal, S., Correia, P., (2000). Normas Urbanísticas, vol. IV, DGOTDU e UTL.
- Lynch, K. (1988). A Imagem da Cidade, Coleção Arte e Comunicação, Lisboa: Edições 70.

### CONTACTOS

Luís Pedro CERQUEIRA: cerqueiralps@sapo.pt e lpcerqueira@mun-montijo.pt

## A UTILIZAÇÃO DE MODELOS GEO-BIM NA REPRESENTAÇÃO INTERATIVA DE CENTROS URBANOS

Sónia ILDEFONSO, Ana Paula FALCÃO e Helena RUA

Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

**RESUMO:** O rápido crescimento das cidades e o aumento do volume de dados associados aos elementos geográficos que as representam, em aquisições cada vez mais frequentes, tornam a modelação digital tridimensional de áreas urbanas simultaneamente num desafio e numa exigência. Muitas são as cidades do mundo que têm investido na modelação 3D do seu espaço físico, pois vêm no resultado um instrumento eficaz e um suporte sólido à decisão e não apenas um fim em si próprio. A modelação 3D em ambiente Geo-BIM associa as tradicionais capacidades de um SIG (Sistemas de Informação Geográfica), nas vertentes de armazenamento, gestão, visualização e análise de informação, às capacidades de um BIM (*Building Information Model*), que lhes são homólogas, mas que dizem respeito à escala do edifício e aos domínios da arquitectura, da engenharia e da construção. Por conseguinte, representa um salto significativo no campo das metodologias aplicadas à gestão do território, na medida em que permite descrever e documentar espacial, qualitativa e quantitativamente o espaço geográfico, simular cenários do passado e do futuro e ainda estudar aspectos do comportamento ambiental através de operações de análise espacial. O modelo Geo-BIM, enquanto representação digital da realidade e base de dados multi-escala, pode ser disponibilizado na Internet, integrando, de forma previamente controlada, informação específica por entidade, pontos de vista estratégicos (snapshots), percursos animados, links externos, um motor de busca e ainda um espaço para submissão de ocorrências. É, neste sentido, uma ferramenta de promoção global das cidades e de apelo à participação cívica. Pretende-se, com este estudo, apresentar uma metodologia para a criação de modelos 3D de centros urbanos, com recurso a técnicas de modelação procedimental assentes no princípio das gramáticas de forma, e demonstrar as suas valências enquanto ferramenta de apoio à elaboração, revisão e implementação de instrumentos de gestão territorial que operam à escala do edificado, do espaço público e da sua definição física. O caso de estudo escolhido é um troço do centro histórico da cidade de Lisboa que incorpora as zonas de intervenção dos Planos de Pormenor de Salvaguarda da Baixa Pombalina e de Reabilitação Urbana da Madragoa. O software CityEngine, da ESRI, foi a principal ferramenta utilizada para a construção e a manipulação do modelo.

**Palavras-chave:** Geo-BIM, City Information Modeling, modelação procedimental, planeamento urbano, centro histórico, Lisboa.

**ABSTRACT:** Geo-BIM models are used to virtually represent large urban extensions because they naturally associate the abilities of GIS and BIM, allowing to get an interactive research basis that reflects the dynamic and procedural changes of an urban fabric: in a unique dynamic geodatabase that reflects the changes and evolution of a city, it's possible to deploy spatial analysis operations, as well as to visualize diverse (past and future) scenarios. Lisbon downtown was chosen as case-study where a 3D model suitable for land management was generated, and where some of the legal constraints imposed by the plans were tested.

**Keywords:** Geo-BIM, City Information Modeling, procedural modeling, urban planning, historic centre, Lisbon.

## 1. INTRODUÇÃO

A modelação digital tridimensional do espaço urbano tem sido, cada vez mais, o instrumento utilizado pelos municípios das principais cidades mundiais, desde a Europa<sup>1</sup> à América<sup>2</sup>, Austrália<sup>3</sup> e Oriente<sup>4</sup> (Chiu and Chengzhi, 2005).

Apesar do resultado constituir uma base sólida de apoio à decisão, a sua implementação prática corresponde a um desafio, não só porque requer o domínio do software de modelação mas também porque implica capacidade informática de forma a que o modelo consiga acompanhar o rápido crescimento das cidades e o aumento exponencial do volume de dados disponíveis, associados aos elementos geográficos que representam.

Da modelação 3D em ambiente Geo-BIM resultam modelos interativos (smart models) que, ao associarem as tradicionais vertentes de um SIG (Sistemas de Informação Geográfica) – armazenamento, gestão, visualização e análise de informação – às capacidades de um BIM (Building Information Model) – geometria paramétrica e associativa –, nos permitem dispor de uma base de trabalho que favorece a permuta e a partilha de dados à escala da cidade.

A presente comunicação diz respeito ao trabalho de modelação desenvolvido de forma a obter uma base virtual representativa de um troço de malha urbana, a partir da qual se consegue, através de análise espacial, extrair nova informação muito significativa em processos de elaboração/revisão de planos de reabilitação e de projetos de energia.

Como caso de estudo, foi delimitado um troço do centro histórico da cidade de Lisboa que incorpora as zonas de intervenção dos Planos de Pormenor de Salvaguarda da Baixa Pombalina e de Reabilitação Urbana da Madragoa. Em síntese, pretende-se apresentar uma metodologia para a criação semi-automática de modelos virtuais 3D de centros urbanos, com recurso a técnicas de modelação procedimental assentes no princípio das gramáticas de forma, e demonstrar as suas valências enquanto ferramenta de apoio à elaboração, revisão e implementação de instrumentos de gestão territorial que operam à escala do edificado, do espaço público e da sua definição física.

## 2. ENQUADRAMENTO

O termo Geo-BIM usado no presente estudo corresponde, na bibliografia atual, à designação corrente City Information Model (CIM) ou 3DCIM, e é o resultado da evolução natural dos SIG tradicionais para a realidade tridimensional com características análogas às do BIM, das áreas da Arquitectura, Engenharia e Construção (AEC), aplicadas ao urbanismo. De acordo com Stojanovsky (2013), o CIM é simultaneamente uma conceptualização e uma introdução ao debate das teorias, definições e representações neste campo, permitindo várias aplicações no planeamento urbano (Chen, 2011), na gestão de cenários de catástrofe e de emergência, de instalações e de equipamentos (Rich and Davis, 2010), e ainda na cultura e no turismo.

As recentes aplicações de modelos 3D ao tema da eficiência energética focam sobretudo a análise do potencial solar das coberturas (Santos et al., 2011) (Caamaño-Martin et al., 2012) (Hofierka and Zlocha, 2012). Em troços de cidade mais extensos, a identificação de unidades tipo-morfológicas (áreas urbanas homogéneas, ao nível da caracterização do edificado e da morfologia do terreno) permite estudar o comportamento de variáveis ambientais, tais como a insolação e a velocidade/direcção dos ventos.

Em ambiente Geo-BIM, a geração de geometrias 3D é automática, embora implique elaborar previamente um conjunto de regras e atribuí-las aos respetivos dados SIG (na sua génese,

<sup>1</sup> Londres, Sheffield, Bath, Liverpool, Glasgow, Edinburg, Helsinki, Berlin e Gaz.

<sup>2</sup> Washington DC, NYC, Philadelphia, Boston, Seattle, San Francisco e LA.

<sup>3</sup> Sydney, Melbourne e Adelaide.

<sup>4</sup> Seoul, Tokyo, Kyoto, Osaka, Taipei, Tainan, Kaohsiung, Beijing, Shanghai, HongKong, Putrajaya e Singapore.

visualizados a 2D). As regras baseiam-se em técnicas de modelação procedimental e no princípio das gramáticas de forma (shape grammars) e materializam-se numa estrutura sequencial de operações que envolve uma linguagem de programação própria designada CGA (Computer Generated Architecture). Por sua vez, as gramáticas de forma consistem num método de geração automática de linguagens alternativas ao desenho, apoiado em regras aplicadas a uma forma inicial, vocabulário próprio e relações espaciais (Andrade et al, 2012). A regra CGA constituiu, assim, parte integrante e fundamental do modelo, na medida em que determina o objecto a representar.

Esta forma de gerar geometria permite, do ponto de vista do utilizador, uma mais fácil manipulação dos modelos, bem como o controlo direto do seu nível de detalhe (LOD – Level of Detail) (Chen, 2011), que pode ser maior ou menor, sem que os conteúdos (atributos descritivos e quantitativos) sejam alterados. Há todo um potencial campo de aplicação destes modelos à avaliação da influência dos factores geo-ambientais, considerando a tridimensionalidade dos dados, que urge explorar.

### 3. DESCRIÇÃO METODOLÓGICA

A primeira fase do trabalho consiste na recolha e no tratamento dos dados, CAD e SIG, referentes à área de estudo, designadamente, a altimetria (curvas de nível, linhas de água e pontos cotados), os polígonos de implantação dos edifícios e os eixos de via. A geração automática dos conteúdos 3D implica a prévia compatibilização dos formatos e dos sistemas de referência.

O primeiro passo da construção do modelo Geo-BIM traduz-se na importação do modelo digital do terreno e dos dados geográficos, seguida da translação automática dos polígonos que representam os edifícios para as respetivas cotas de implantação, utilizando-se como referência a menor altitude ortométrica da projeção do polígono sobre o terreno. A geração automática do modelo 3D implica a elaboração de uma regra CGA, que é depois aplicada sobre os referidos dados, e que envolve necessariamente, por um lado, o conhecimento da informação disponível e dos objetivos a atingir, e por outro, a obtenção de imagens destinadas à texturização das volumetrias.

### 4. CASO DE ESTUDO

O caso de estudo consiste num troço do centro histórico da cidade de Lisboa contido num rectângulo de 3670 x 2300 m<sup>2</sup> (11602 edifícios), que engloba as áreas de intervenção dos Planos de Pormenor de Salvaguarda da Baixa Pombalina (PPSBP) – Zona 1 – e de Reabilitação Urbana da Madragoa (PPRUM) – Zona 2 – conforme apresentado na Figura 1. Ao edificado envolvente, que serviu para enquadrar e contextualizar as áreas anteriores, deu-se o nome de Zona 3.



Figura 1 – Perspetiva geral do modelo Geo-BIM. Zonas 1 (amarelo), 2 (laranja) e 3 (branco).

Na Zona 1, elegeu-se um conjunto central, homogéneo – Zona 1A (na Figura 1, delimitada pelo polígono a amarelo) – a desenvolver com um maior nível de detalhe. Esta divisão possibilita, já na fase de utilização do modelo enquanto ferramenta, autonomizar unidades de planeamento e gestão diferenciadas.

A escolha do presente caso de estudo justifica-se, não só pelo elevado valor histórico e patrimonial do centro urbano em questão e disponibilidade bibliográfica das fontes documentais que a ele respeitam, mas também pelo aspeto da modularidade bem patente na zona da Baixa Pombalina, desde o traçado urbano ao desenho das fachadas, o que constitui uma boa oportunidade para a aplicação dos conceitos Geo-BIM.

#### 4.1 Dados Geográficos e Elementos de Representação Gráfica

Foram utilizados os dados geográficos relativos ao edificado e à estrutura viária, na escala 1/1000, e à altimetria, nas escalas 1/1000 e 1/25000. Relativamente ao edificado, foram selecionados os atributos: n° total de pisos, n° de pisos acima e abaixo da superfície do terreno, estado de ocupação do edifício, respetiva designação, uso, tipo de revestimento e cor das fachadas.

Em paralelo, recolheram-se elementos gráficos – fotografias e desenhos dos alçados – bem como textos descritivos, orientados para a descrição das fachadas pombalinas (Guerreiro, 2007). Com base nesta informação, tornou-se possível, utilizando ferramentas de CAD/BIM, analisar, descrever e padronizar os elementos arquitetónicos dos edifícios, do ponto de vista da forma e da métrica construtiva. Foram ainda utilizadas ferramentas de edição de imagem para a preparação de alçados de conjunto (CML, 2011), desenhos fotorealistas dos vários tipos de vão e texturas dos revestimentos (paramentos e outros elementos construtivos), a projectar mais tarde sobre as fachadas.

#### 4.2. Construção do Modelo

Para a geração tridimensional do modelo, foi programada uma regra CGA, onde se consideraram os diferentes LOD e as temáticas a associar às várias zonas delimitadas.

Partindo de uma operação básica de extrusão para a representação volumétrica simples (LOD1) de toda a área de estudo, nas Zonas 1 e 2 programaram-se adicionalmente representações temáticas da construção real, tais como a subdivisão das volumetrias em pisos (Figura 2a), a distinção entre aqueles que estão acima e abaixo da superfície do terreno, a diferenciação cromática relativa à orientação geográfica das fachadas (Figura 2b), a classificação tipológica, a identificação do estado de ocupação e a representação do tipo (e cor) dos revestimentos das fachadas e coberturas.

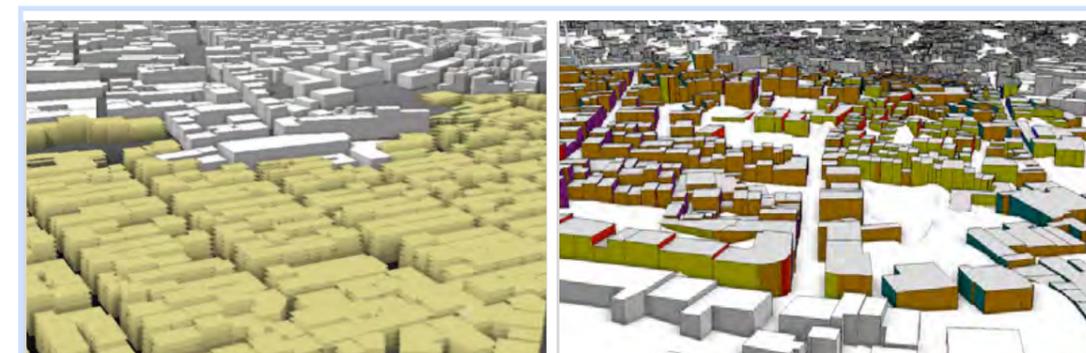


Figura 2a - Volumetrias/pisos (Zona 1) e Figura 2b - Orientação geográfica das fachadas (Zona 2).

A Zona 1A foi parcialmente desenvolvida com um LOD2 e integralmente com um LOD3. Programaram-se, para o primeiro, a projecção sobre os planos verticais, dos alçados retirados do

PPSBP e para o segundo, a parametrização das fachadas dos edifícios e das coberturas (Figuras 3a e 3b), em função dos elementos construtivos que configuram a linguagem arquitectónica pombalina – vãos e suas cantarias, frisos, socos, cunhais, sacadas, etc. Partindo da tese de José-Augusto França (1989), que categoriza as fachadas – tipologias A, B e C – atendendo à relação direta que estas mantêm com os vários níveis hierárquicos da estrutura viária – ruas principais, secundárias e outras – definiram-se três sub-regras com os respectivos elementos arquitectónicos e seu dimensionamento.



Figura 3a e Figura 3b – Parametrização das fachadas e coberturas (Zona 1A).

Foram ainda desenvolvidas rotinas de programação específicas, quer para o desenvolvimento de um cenário hipotético de aproximação à versão original construída do Plano de Reconstrução da Baixa Pombalina, invocando-se as alturas originais dos edifícios (quatro pisos e cobertura de águas-furtadas), quer para a extração automática de relatórios a partir dos elementos 3D automaticamente gerados. São exemplos os indicadores urbanísticos: área de implantação, nº de pisos, área bruta e índice de construção.

#### 4.3. Resultados

O resultado é uma representação digital multi-escala da realidade, materializado num único modelo interativo tridimensional, disponível para futuras alterações pelo utilizador ativo (técnico, gestor) em CE, e para consulta por qualquer utilizador passivo (cidadão comum) em CE Web Viewer.

Várias foram as dificuldades associadas à insuficiência de informação de dados SIG, apontando-se a geração da estrutura viária, que não foi possível, bem como a implantação e o dimensionamento dos edifícios sem o acesso às cotas de soleira e às alturas reais dos mesmos. Conclui-se, pois, a extrema importância da qualidade da informação na construção de um modelo completo e eficaz. Relativamente à gramática de forma do edifício-tipo da Baixa Pombalina (desenvolvida com um LOD3), por não constarem dos dados de origem, não foram introduzidos determinados detalhes, ao nível dos pisos superiores e das coberturas, que ajudariam a quebrar a monotonia do modelo.



Figura 4 – Comparação entre o projecto original (verde) e o estado actual (encarnado) da Zona 1A.

Em conclusão, o modelo demonstrou capacidade para incorporar alguns dos elementos convencionais que integram os planos de pormenor, conferindo-lhes novas potencialidades. Merece especial relevância a capacidade de integração da generalidade das cartas temáticas que passam, neste ambiente, a poder suportar conteúdos de natureza tridimensional (informação por piso).

Da comparação volumétrica apresentada na Figura 4, entre o projeto original e a situação actual, conclui-se que apenas cerca de 20% dos edifícios respeitam ainda a volumetria original.

## 5. CONCLUSÕES

O Geo-BIM é um modelo dinâmico, escalável, em oposição aos modelos 3D estáticos. Representa um salto significativo no campo das metodologias aplicadas à gestão do território, na medida em que permite descrever e documentar o espaço geográfico. Poder dispor de uma base representativa de um troço urbano, onde implementar operações de análise espacial, permitiu alcançar os objectivos propostos no início do trabalho.

Da simbiose entre modelação procedimental, gramáticas de forma, parametrização e geração automática, resultam as principais valências da metodologia apresentada, como a rapidez de geração do modelo, a possibilidade de simular cenários (passados e futuros) e ainda, de estudar aspetos do comportamento ambiental através de operações de análise espacial.

A sua versão web possibilita a disseminação, devidamente controlada, de cidades digitais, com informação específica por entidade (quarteirão, edifício, rua, etc.), pontos de vista estratégicos (snapshots), percursos animados predefinidos, links externos, motor de busca e ainda espaço para submissão de ocorrências. O que constitui uma promissora ferramenta de promoção e de apelo à participação cívica.

Como desenvolvimento futuro, pretende-se orientar o estudo para a análise do comportamento ambiental, mais especificamente para a medição dos níveis de insolação ou de radiação solar incidente sobre os paramentos exteriores dos edifícios, por unidade-piso, e em limite, por unidade-fração.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Câmara Municipal de Lisboa, em especial ao Arq. Rui Ricardo, da Divisão de Informação Urbana Georreferenciada, o incentivo que deu ao desenvolvimento deste trabalho.

## CADASTRO PREDIAL DO MUNICÍPIO DE OLIVEIRA DE AZEMÉIS, UM MEIO RESPONSÁVEL DE GERIR

Lisbeth MARQUES e Ricardo PINHO

Núcleo de competências em Informação Geográfica, cartográfica, cartográfica e cadastro (NIG), Equipa Multidisciplinar de Planeamento, Gestão Urbanística e Ambiente (EMPGUA).  
Município de Oliveira de Azeméis

**RESUMO:** Na ausência de uma infraestrutura nacional de cadastro predial, as entidades que necessitam de cadastro mandam executar à sua medida. Como estas iniciativas servem um fim específico, a informação não é integrada em nenhum repositório cadastral, perdendo-se o seu valor por rapidamente tornar desatualizado. Esta prática conduz a que a mesma área geográfica possa ser cadastrada várias vezes, ao longo do tempo, por diferentes entidades.

Desta lacuna aliada à necessidade de uma gestão de território responsável, o município de Oliveira de Azeméis optou, no ano de 2007, por dar início ao registo de cadastro predial do município, atuando em várias frentes, como estratégia que assegure uma transparente execução das suas ações.

O desenvolvimento deste trabalho, envolveu diversas divisões municipais, bem como as juntas de freguesias, e ainda, o empenho de muitos dos técnicos aos quais lhes passa esta informação diariamente pelas mãos. Junto dos munícipes foram desenvolvidas campanhas de levantamento em campo, e as equipas de topografia do município desdobraram-se em funções no terreno.

Assim, algumas das áreas que estão a beneficiar destes registos são: a prevenção de fogos florestais; o licenciamento de intervenções urbanísticas (garantindo que o seu planeamento é realizado sobre informação fiável referente à propriedade imobiliária); disponibilizar informação fiável sobre os prédios abrangidos por servidões e restrições de utilidade pública (nomeadamente RAN, REN, Domínio Público Hídrico, etc.); informar corretamente os instrumentos de gestão do território sobre a estrutura da propriedade; garantir a proteção do proprietário e do comprador, no momento de transação, aluguer ou expropriação; etc. No geral, criou-se uma base transversal de Informação de interesse a todos os serviços da Câmara (água, saneamento, toponímia); o que leva a procedimentos mais dinâmicos e evitando assim duplicações de registos, aumentando a eficiência dos serviços, como um meio responsável de gerir o território.

### REFERÊNCIAS

Andrade, M., Mendes, L., Godoi, G. e Celani, G. (2012). Shape Grammars for Analysing Social Housing – The case of Jardim São Francisco low-income housing development. In Andrade, M. et al. (Eds.) Digital Physicality - Proceedings of the 30th eCAADe Conference, Vol. 1, Czech Technical University in Prague, Faculty of Architecture, Czech Republic, September 12-14, 2012, pp. 451-458. ISBN 978-9-4912070-2-0

Caamaño-Martin, E., Higuera, E., Neila, F. J., Useros, I., Masa-Bote, D., Tortora, F., Díaz-Palacios, S., Marrero, X., Alonso, A., Saade, A., Jedliczka, M., Mique, C., de l'Epine, M., Willdbrett, E., Kjellsson, E., Cornander, A. and Fernandes, J. (2012). Solar potential calculation at city and districts levels. In Pacetti, M., Passerini, G., Brebbia, C. A., Latini, G. (2012). In Pacetti, M. et al. (Eds.), The Sustainable City VII: Urban Regeneration and Sustainability, Vol. 2. Southampton, UK: WIT Press, 2012.

Chen, R. (2011). The development of 3D city model and its applications in Urban Planning. In Proceedings of 19th International Conference on Geoinformatics, Shanghai, June 24-26. China: IEEE, 2011, pp. 1-5. ISBN 978-1-61284-849-5

Chiu, M.-L. and Chengzhi, P. (2005). Insights of 3D Digital Cities: The Past, Present and Futures, In CAAD Talks, Vol. 4. Taipei, Taiwan: Archidata Co., Ltd., 2005, pp. 13-36.

Câmara Municipal de Lisboa (2011). Regulamento do Plano de Pormenor de Salvaguarda da Baixa Pombalina.

França, J.-A. (1989). A reconstrução de Lisboa e a Arquitectura pombalina. Lisboa: Instituto de Cultura e Língua Portuguesa, Biblioteca Breve.

Guerreiro, I. M. (2007). Tipologias de Fachadas Pombalinas – Edifícios de Rendimento na Baixa Pombalina. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Arquitectura. Lisboa: Instituto Superior Técnico, edição policopiada.

Hofierka, J. and Zlocha, M. (2012). A new 3-D Solar radiation model for 3-D city models. Transactions in GIS, 16(5), pp. 681-680.

Rich, S. and Davis, K. H. (2010). Geographic Information Systems (GIS) for Facility Management. Houston, USA: IFMA Foundation. (Consultado em Novembro de 2013)

Santos, T., Gomes, N., Brito, M., Freire, S., Fonseca, A. e Tenedório, J. A. (2011). Solar Potential Analysis in Lisbon Using LiDAR Data. In Halounová, L. (Ed.), EARSeL: Proceedings of the 31st EARSeL Symposium, Prague, May 30 - Jun 2, 2011. Prague, Czech Republic: Faculty of Civil Engineering, Czech Technical University in Prague, 2011.

Stojanovsky, T. (2013). City Information Modeling (CIM) and Urbanism: Blocks, Connections, Territories, People and Situations. In Khan, A. et al. (Eds.), 2013 Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design, San Diego, April 7-10, 2013. USA: Society for Computer Simulation International, 2013, pp. 111-118.

### CONTACTOS

sonia.ildefonso@ist.utl.pt

ana.p.falcao@tecnico.ulisboa.pt

hrua@civil.ist.utl.pt

### CONTACTOS

lisbeth.marques@cm-oaz.pt

ricardo.pinho@cm-oaz.pt

## INFRA-ESTRUTURAS DE DADOS ESPACIAIS: APLICAÇÃO PRÁTICA

Raquel SARAIVA, Bruno MENESES, Maria José VALE e Rui REIS

Direcção-Geral do Território

**RESUMO:** A definição e implementação de políticas públicas nos países desenvolvidos para promover o desenvolvimento territorial exige a produção e manutenção de bases de dados oficiais adequadas e actualizadas. Avaliar a aptidão desses conjuntos de dados oficiais para determinado fim é essencial.

A Direcção-Geral do Território (DGT) para além de produtor e utilizador de dados geográficos, desenvolve trabalho de investigação no âmbito desta temática, nomeadamente dentro de três projectos de investigação (TER-Água, LANDYDIN e eENVplus), os quais exploram a integração de dados em Infra-estruturas de Dados Espaciais (IDE) para uso público.

Tanto no espaço continental Português, como na Europa, verifica-se, nos últimos anos, o crescimento da população urbana e das actividades em áreas de génese urbana e, conseqüentemente, o planeamento e a gestão eficiente destas áreas tem uma importância crucial para todos os países.

Portanto, a gestão e planeamento das áreas urbanas devem estar em linha com a estratégia de serviço público e, em particular, com o saneamento e energia. Assim, garantir a disponibilidade de informação e construir o conhecimento é essencial para criar boas abordagens para resolver os problemas complexos que os governos têm de lidar nas diferentes áreas que interferem.

Para implementar uma IDE de forma partilhada e interoperável é necessário fornecer funcionalidades acessíveis pela internet., através de geoportais criados para o efeito.

É nesta linha de ideias que surge o projecto eENVplus, financiado pela União Europeia no âmbito do Programa-Quadro para a Competitividade e a Inovação - Programa de Apoio à Política de Tecnologias de Informação e Comunicação (CIP-ICT-PSP), o qual visa a criação de uma infra-estrutura interoperável aberta capaz de integrar as infra-estruturas existentes de acordo com os requisitos da directiva INSPIRE e normas internacionais existentes.

Neste contexto, a DGT desenvolverá um piloto em Portugal, abrangendo três Municípios (Tomar, Abrantes e Loures), que permita testar a infra-estrutura a criar no âmbito do projecto de acordo com os requisitos e especificações INSPIRE. Pretende-se avaliar a aptidão para a utilização de diferentes conjuntos de dados oficiais disponíveis para lidar com a evolução do crescimento urbano e construir indicadores que ajudem a compreender a relação entre a evolução da qualidade da água e do ar com o crescimento urbano e o uso do solo.

Os indicadores desenvolvidos permitem orientar o desenvolvimento de políticas e permitem uma análise quantitativa e qualitativa do território, com relatos mais objectivos da realidade que se quer planear. O seu desenvolvimento, e posterior disponibilização através de webservices, assenta na construção de um sistema de gestão de informação, o qual funcionará como suporte à monitorização.

**Palavras-chave:** SIG, infra-estrutura de dados espaciais, planeamento urbano, INSPIRE

**ABSTRACT:** Defining and implementing public policies to develop and promote strategic development requires the production and maintenance of appropriate and updated official geographic information datasets. The eENVplus project includes a pilot build by DGT that integrates the implementation of web services related to environmental and territorial management indicators namely indicators which will help to understand the growth of urban areas, urban sprawl and evaluate balanced economic grow. The developed work gives a relevant contribution for the implementation of the INSPIRE Directive, using Portugal as case study, and contributes to a deeper reflection among EU countries in the years to come regarding good governance and cost effective data sharing policy.

**Keywords:** GIS, SDI, urban planning, INSPIRE

## 1. INTRODUÇÃO

A produção de diferentes fontes de informação coloca à disposição do utilizador um conjunto infinito de dados com diferentes propósitos.

A Agenda Territorial 2020 discute a relevância da partilha da informação de modo a chegar à coesão territorial. O mesmo documento aponta a criação de infraestruturas de dados espaciais de modo a minimizarem-se as barreiras do conhecimento e do acesso, melhorando o desenvolvimento territorial dentro da União Europeia.

O trabalho apresentado procura avaliar a adequabilidade de diferentes conjuntos de dados para apoiar ações de planeamento, tais como o crescimento urbano e/ou rural, a dimensão deste crescimento e avaliar o impacte destas dinâmicas.

Conhecer as deficiências resultantes da crescente disponibilização da informação é essencial para promover investimentos mais sustentáveis e para promover um planeamento mais eficaz.

Torna-se importante existir uma melhoria permanente na adequação dos dados públicos que permita melhorias relevantes para as instituições que, como DGT, têm a função de produzir informação geográfica para fins de gestão e planeamento.

O projeto referido dará uma contribuição na aplicação da diretiva INSPIRE, em particular em Portugal, permitindo uma reflexão mais profunda entre os países da União Europeia, sobre a relação entre a gestão de dados e as tecnologias baseadas em webservices.

Esta diretiva deverá ser encarada como uma oportunidade para melhorar as estruturas de dados espaciais, pois a mesma indica a necessidade das instituições produtoras de dados obedecerem a um conjunto de especificações, normas e linguagens comuns a todos os estados-membros. Apesar de já existir algum esforço nesse sentido, revela-se ainda necessário desenvolver muito mais trabalho.

Considerando a concentração progressiva das populações em áreas urbanas (de acordo com o observatório das Nações Unidas (ONU, Observatório Global de saúde, GHO, 2013), em 2030, 6 em cada 10 pessoas vão viver na cidade e, em 2050, essa proporção aumentará para 7 em cada 10 pessoas) e tendo em conta os problemas originados pelo crescimento urbano desequilibrado que os países desenvolvidos têm que enfrentar neste contexto, existe um aumento do interesse em construir ferramentas para promover a gestão eficiente destas áreas.

Além de crescimento urbano, a qualidade ambiental surge como outra preocupação internacional. O planeamento interfere com muitas outras áreas e deve ser alinhada com outros sectores económicos.

Deste modo, é importante ter uma boa base de informação, a qual deve ser obtida, organizada e mantida atualizada e disponível aos utilizadores.

O trabalho a produzir-se no âmbito dos projectos de investigação levados a cargo da DGT procuram mostrar como a informação pode ser organizada numa infra-estrutura de dados espaciais construída para promover a colaboração, integração das contribuições dos utilizadores e produtores, de forma responsável, de modo a garantir que a informação obtida é consistente com as necessidades dos utilizadores e respeita os critérios de descrição da qualidade dos dados necessários para a avaliar a sua aptidão.

## 2. AS INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS E A DIRECTIVA INSPIRE

O Mundo necessita de um sistema de informação bem estruturado que permita, a cada estado-membro, região e município, capacidade em discutir, numa abordagem baseada no conhecimento, os problemas do uso do solo e ambientais que têm de enfrentar e de que maneira estas preocupações interferem com o ambiente e a economia local.

Para reforçar a democracia é essencial construir repositórios de informação partilhada consistentes e integrados em redes de conhecimento.

Para resolver problemas complexos é importante acessar a informação bem estruturada e acessível, a qual permitirá construir um conhecimento que ajudará a descrever o problema e a construir possíveis soluções.

A Directiva INSPIRE (Directiva 2007/2/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 14 de março de 2007) visa criar uma Infra-estrutura de Dados Espaciais, com o objectivo de permitir a partilha de informação georreferenciada entre as organizações e promover a normalização e o acesso a informação pública em toda a Europa.

Associada à implementação desta directiva está subjacente a ideia de criação de uma infra-estrutura de Dados Espaciais Europeia capaz de apoiar a formulação e implementação de políticas no espaço europeu nos mais diversos domínios.

Tendo presente este objectivo, a informação espacial considerada relevante por esta directiva, é extensa e inclui uma grande variedade de assuntos e temas técnicos.

Esta directiva veio destacar a importância em tornar os dados disponibilizados mais estruturados em diferentes áreas temáticas, permitindo aos governos uma consciência sobre a informação oficial existente e uma capacidade em avaliar a adequabilidade destes dados oficiais.

A directiva INSPIRE e os dados que aborda podem ser vistos, juntamente com o projecto eENVplus, como um primeiro passo para uma abordagem de gestão de informação europeia coerente para apoiar a implementação das políticas europeias.

### 3. APLICAÇÃO PRÁTICA

É neste sentido, e tendo por base a preocupação com a disponibilização de dados, que se encontra em desenvolvimento o projecto europeu, eENVplus, financiado pela União Europeia no âmbito do Programa-Quadro para a Competitividade e a Inovação - Programa de Apoio à Política de Tecnologias de Informação e Comunicação (CIP-ICT-PSP), o qual visa a criação de uma infra-estrutura interoperável aberta capaz de integrar as infra-estruturas existentes de acordo com os requisitos da directiva INSPIRE e normas internacionais existentes.

#### 3.1. eENVplus - eEnvironmental services for advanced applications within INSPIRE

O projecto eENVplus visa desbloquear uma quantidade enorme de dados ambientais, geridos pelas agências ambientais nacionais e regionais envolvidas e outros stakeholders públicos e privados, através da integração e harmonização dos serviços existentes. Estes dados não são recolhidos somente para responder às obrigações ambientais na União Europeia, mas também para apoiar as políticas e acções nacionais e locais.

O projecto não visa criar novos serviços, mas procura, a partir dos resultados de experiências europeias anteriores (como projectos financiados, boas práticas, experiências nacionais e locais da União Europeia), integrar as infra-estruturas existentes numa estrutura operacional capaz de superar barreiras transfronteiriças e linguísticas.

O eENVplus fornece não só uma infra-estrutura de tecnologia de informação e comunicação, como também a descrição e o apoio à realização de uma infra-estrutura operacional e rentável através da criação de um modelo organizacional e de um quadro de formação acompanhado.

De modo a explorar os resultados obtidos no âmbito do eENVplus, em diversos contextos e tendo em conta diferentes necessidades dos utilizadores, vão-se desenvolver nove cenários em 10 pilotos.

Estes pilotos permitirão agilizar as ferramentas disponíveis para o projecto e para o cumprimento da directiva INSPIRE, com implicações evidentes sobre a interoperabilidade entre as aplicações existentes ou planeadas.

#### 3.2. Apresentação do piloto português

Neste âmbito a DGT pretende desenvolver um piloto em Portugal, abrangendo três Municípios (Loures, Abrantes e Tomar), que integra a implementação de webservices relacionados com a construção de indicadores ambientais e territoriais, ou seja, indicadores que ajudem a compreender o crescimento das áreas urbanas.

Estes indicadores ambientais e territoriais ajudarão a monitorizar o crescimento e a expansão urbana durante um período de tempo. Os indicadores são extraídos através de um conjunto de serviços web GIS construídos para ajudar o utilizador a entender a evolução do crescimento urbano e a qualidade ambiental e a sua relação com as atividades humanas.

Este piloto pretende também avaliar a adequação dos diferentes conjuntos de dados oficiais disponíveis para lidar com a evolução do tecido urbano.

Ao longo do projecto serão providenciadas acções de treino, implementadas através de uma plataforma de e-learning open source que oferece um pacote de formação, com diferentes caminhos de aprendizagem, com o objectivo de maximizar a reutilização de ferramentas já existentes e materiais de treino testados com sucesso no quadro de projectos anteriores.

##### 3.2.1. Harmonização de dados a testar

A harmonização de dados é um processo fundamental para o desenvolvimento de infra-estruturas de dados espaciais. O seu objectivo é transformar diferentes conjuntos de dados no que diz respeito à geometria como à semântica. Pretende-se que o utilizador, que serve-se de dados de diferentes produtores, tenha uma visão unificada, onde os conflitos nos conjuntos de dados sejam removidos.

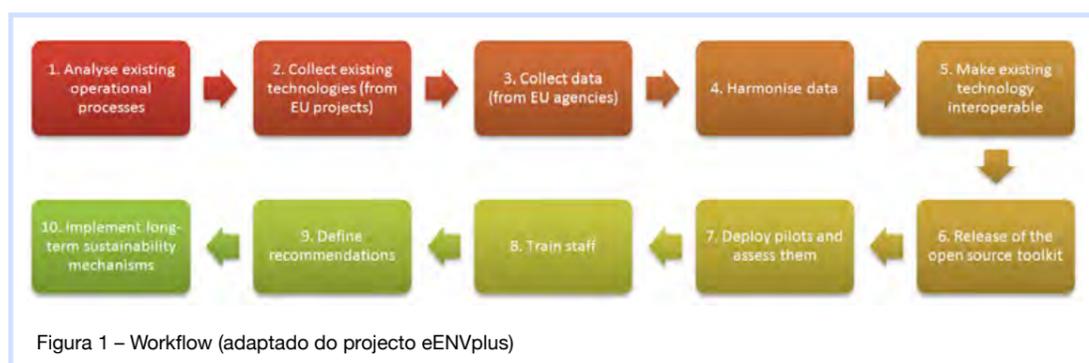
Tabela 1 – Conjunto de dados do piloto segundo os temas INSPIRE.

INSPIRE Data Theme	Content	Metadata	IPR/ Open data
I. 4. AU: Administrative units	Administrative units of the country: CAOP dataset	ISO 19115	Open data
II. 3. OI: Orthoimagery	Ortho imagery	ISO 19115	IPR, data available for eENVplus use
III. 1. SU: Statistical units	official statistics related to housing and demography	ISO 19115	IPR, data available for eENVplus use
III. 4. LU: Land use/II. 2. LC: Land cover	COS90	ISO 19115	Open data
III. 4. LU: Land use/II. 2. LC: Land cover	COS2007	ISO 19115	IPR, data available for eENVplus use

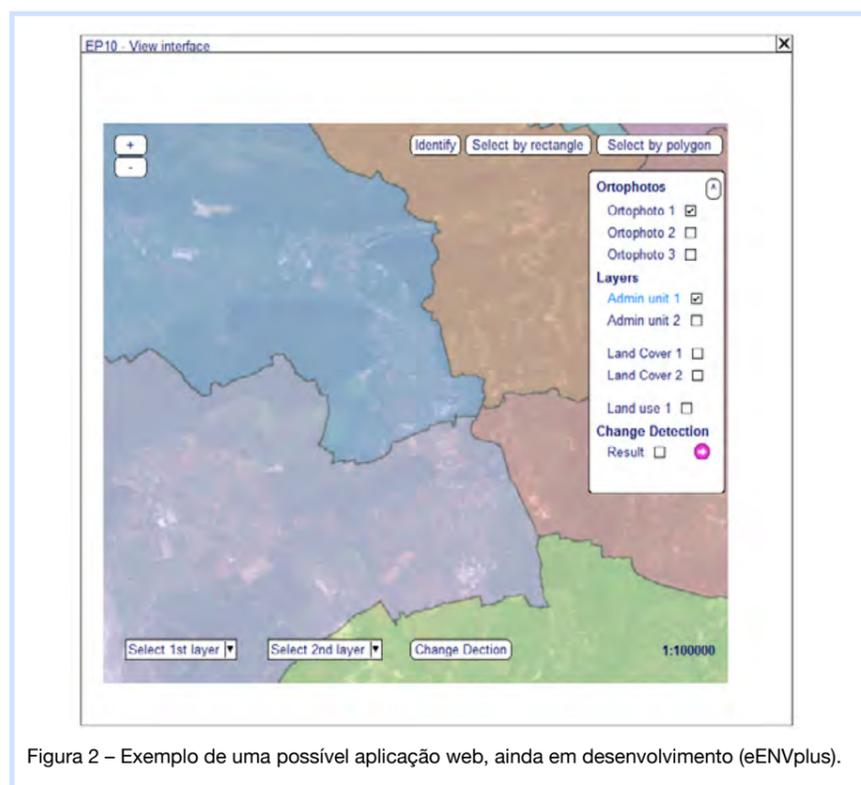
Precisamente nesse sentido, a DGT encontra-se actualmente em fases de testes no que respeita à harmonização da Carta de Ocupação do Solo para 1990 e 2007.

### 4. TRABALHO A DESENVOLVER

Por se tratar de um projecto em fase inicial, ainda há muito trabalho a ser produzido no seu âmbito. Da análise da Figura 1, verificamos as diversas tarefas a serem ainda executadas. Numa primeira fase procedeu-se à identificação e selecção dos dados, os quais serão harmonizados e disponibilizados, através de webservices, através de uma tecnologia interoperável. Este processo antecederá a fase de aplicação dos pilotos. Onde serão aplicados treinos para exploração dos dados e observação de resultados. Todo este processo resultará em discussões abertas de melhoria futura.



Para implementar uma IDE de forma partilhada e interoperável é necessário fornecer funcionalidades acessíveis pela internet, através de geoportais criados para o efeito (Figura 2). Os principais serviços a ser desenvolvidos para aplicação do piloto português são: (1) Serviços de mapas na web (WMS); (2) Serviço de entidades geográficas na web (WFS).



## 5. BREVE APONTAMENTO FINAL

Compreender o crescimento urbano depende da qualidade de dados e da sua disponibilidade e integração. Considerar o factor tempo dentro dos conjuntos de dados, neste caso, é difícil, mas essencial.

O trabalho desenvolvido dentro da DGT, nomeadamente, os resultados dos projectos serão essenciais para avaliar o crescimento urbano, em diferentes contextos de paisagem.

Ser capaz de os explorar dentro de ferramentas desenvolvidas no âmbito de cada projeto em sintonia com as preocupações das entidades públicas com atribuições nas matérias abordadas, permitirá uma demonstração da contribuição do desenvolvimento destas ferramentas para lidar com os problemas complexos que pretendem ajudar a resolver e caminhar no sentido da progressiva melhoria de abordagem.

O trabalho apresentado permite perceber ainda como é essencial a avaliação da utilidade de diferentes conjuntos de dados para apoiar a acção governativa e avaliar a aptidão de informação disponível para cada fim de forma a melhorar a adequabilidade da informação.

Além deste objectivo, o trabalho aqui apresentado contribui para compreender melhor em que medida o processo de planeamento tem sido relevante na promoção da qualidade ambiental em áreas urbanas e subúrbios.

É dado um bom contributo para a implementação da Directiva INSPIRE, nomeadamente no contexto Português, e poderá ser possível propor-se melhorias relevantes que lidam com a produção de informação geográfica. Os dados espaciais utilizados correspondem a vários temas de dados INSPIRE, e são organizados por unidades administrativas para as áreas de estudo. Abrange uso e ocupação do solo, ortos e as dados estatísticos, dados ambientais e socioeconómicos, são harmonizadas de acordo com as regras INSPIRE.

Os protótipos desenvolvidos contribuem para compreender a relevância da qualidade da informação e sua confiabilidade para compreender correctamente a delimitação urbana, essencial ao desenvolvimento da futura política de cidades, a qual procura «responder aos desafios crescentemente complexos que se colocam às cidades, superar as debilidades do sistema urbano nacional e transformar as nossas cidades em motores efectivos do desenvolvimento das regiões e do País». (DGOTDU, 2008)

Em termos de normalização de dados e estatística para áreas urbanas, este trabalho constitui um passo importante para enfrentar um novo paradigma de informação que significa fazer abordagens estatísticas capazes de dar aos utilizadores a possibilidade de explorar os dados e conjuntos de dados, e sua qualidade, com o objectivo de clarificar quais as questões que a informação veiculada poderia suportar.

Finalmente, considerando a progressiva concentração das populações no espaço urbano e a crescente relevância da gestão eficiente destas áreas, a abordagem apresentada é bastante relevante como suporte aos programas de investimentos futuros para as grandes cidades no contexto europeu.

### REFERÊNCIAS

- CEC (2011) Territorial Agenda 2020 – Towards an Inclusive, Smart and Sustainable Europe of Diverse Regions. Agreed at the Informal Ministerial Meeting of Ministers responsible for Spatial Planning and Territorial Development on 19th May 2011, Gödöllő, Hungary.
- Direcção-geral do ordenamento do território e desenvolvimento urbano. (2008). Política de cidades 2007-2014. Lisboa.
- Inspire Directive (2007). Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE). 14.03.2007.
- Nações Unidas (2013). UN Global Health Observatory, at URL: [http://www.who.int/gho/urban\\_health/situation\\_trends/urban\\_population\\_growth\\_text/en](http://www.who.int/gho/urban_health/situation_trends/urban_population_growth_text/en) (consultado em 2013.12.20)

### CONTACTOS

- Raquel SARAIVA: [rsaraiva@dgterritorio.pt](mailto:rsaraiva@dgterritorio.pt)
- Bruno MENESES: [bmeneeses@dgterritorio.pt](mailto:bmeneeses@dgterritorio.pt)
- Maria José VALE: [mvale@dgterritorio.pt](mailto:mvale@dgterritorio.pt)
- Rui REIS: [rui.reis@dgterritorio.pt](mailto:rui.reis@dgterritorio.pt)

Direcção Geral do Território: <http://www.dgterritorio.pt>

## WEBTRANSCOORD

Henrique SILVA, Ana MEDEIRO e Manuela VASCONCELOS  
Direção-Geral do Território

**RESUMO:** O WebTransCoord é a nova versão do TransCoord PRO, agora desenvolvido como uma solução de internet para transformação de coordenadas dos sistemas de referência por coordenadas (SRC) portuguesas, com parâmetros calculados pela Divisão de Geodesia da Direção-Geral do Território para as transformações Bursa-Wolf e grelhas (NTv2), assim como o cálculo das altitudes ortométricas utilizando o geóide GeodPT08 para o continente e o modelo matemático baseado em harmónicas esféricas para as ilhas. Adicionalmente, permite visualizar os pontos coordenados nos mapas da Google. O WebTransCoord é baseado no software livre Geotoolkit e OpenLayers.

**Palavras-chave:** sistemas de referência, transformação de coordenadas, software livre, Geotoolkit, OpenLayers

**ABSTRACT:** The WebTransCoord is the new version of TransCoord PRO, now developed as a internet solution for coordinate transformation of coordinate reference systems (CRS) Portuguese, with parameters calculated by the Division of Geodesy of the Directorate-General for Territorial Development for Bursa-Wolf and grid (NTv2) transformations, as well as calculation of orthometric heights using the geoid GeodPT08 to the mainland and the mathematical model based on spherical harmonics for the islands. Additionally, displays the coordinated points in Google maps. The WebTransCoord is based in the libre software Geotoolkit and OpenLayers.

**Keywords:** reference systems, coordinate transformation, libre software, Geotoolkit, OpenLayers

### 1. ARQUITETURA

O WebTransCoord corre no browser de internet e é baseado em linguagem Java e Javascript, servida como Java Server Pages (JSP) através do Apache Tomcat 6.

Os cálculos para a transformação de coordenadas são feitos no servidor, utilizando a biblioteca Java Geotoolkit. O interface para o utilizador é feito em HTML e Javascript, para efeitos da escolha de parâmetros, inserção e validação de listas de pontos coordenados e visualização dos pontos, neste último caso, utilizando a biblioteca Javascript OpenLayers.

Os sistemas de referência e os parâmetros de transformação são carregados no formato WKT (Well Known Text), de forma normalizada.

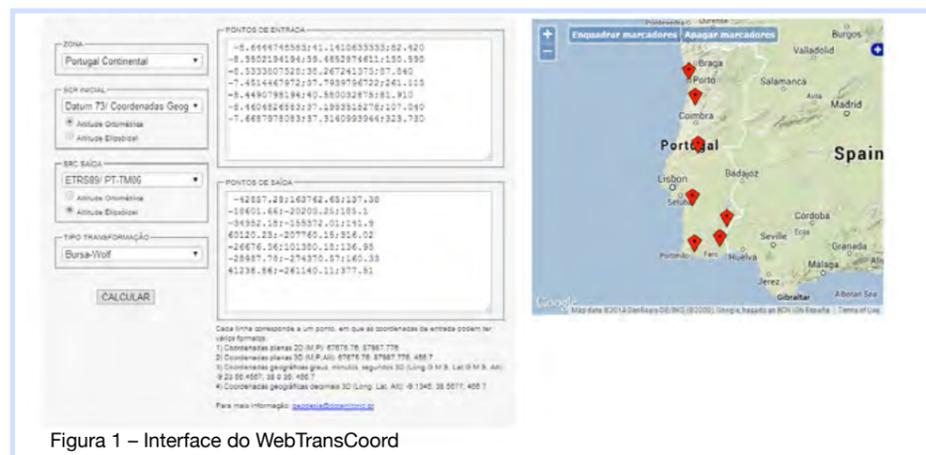


Figura 1 – Interface do WebTransCoord

### 1.1. Bibliotecas Geotoolkit e OpenLayers

O Geotoolkit é uma biblioteca livre em código Java para o desenvolvimento de aplicações geoespaciais. Foi desenvolvida por Martin Desruisseaux a partir do código da biblioteca Geotools.

É uma biblioteca muito vasta abrangendo vários domínios da informação geográfica. Alguns dos módulos mais importantes são:

- Metadata core – Metadata structures (ISO 19115) and their XML representation (ISO 19139)
- Referencing core – Coordinate Reference Systems (CRS) and operations
- Referencing 3D – Transformation between ellipsoidal and geoidal heights
- EPSG database – The database from OGP Surveying & Positioning Committee
- Coverage core – Grid coverage services (rasters)
- Coverage I/O – Grid coverage readers and writers

O WebTransCoord apenas usa os módulos relativos aos SRC e respectivas transformações e conversões (Referencing core e 3D). Estes dois módulos foram utilizados para todas operações, inclusive a transformação por grelhas, à excepção do cálculo da ondulação do geóide para o continente, em que foi desenvolvido um pequeno módulo com base num algoritmo de interpolação bilinear.

O OpenLayers é uma biblioteca Javascript que permite a criação de mapas dinâmicos na internet. Assim como o Geotoolkit, é uma biblioteca extensa que incorpora muitas das funcionalidades habitualmente disponíveis nos SIG. No WebTransCoord esta biblioteca é utilizada para a visualização dos pontos coordenados sobre os mapas do Google.

### 1.2. Normas e especificações

O Geotoolkit é uma implementação estrita da especificação OGC “GeoAPI 3.0” que define a funcionalidade existente e o interface da biblioteca. Esta especificação, fundada na especificação OGC “CTS – Coordinate Transformation Services” e na norma ISO 19111, é constituída por um largo conjunto de interfaces para a criação de aplicações Java para a manipulação de informação geográfica de forma normalizada e coerente.

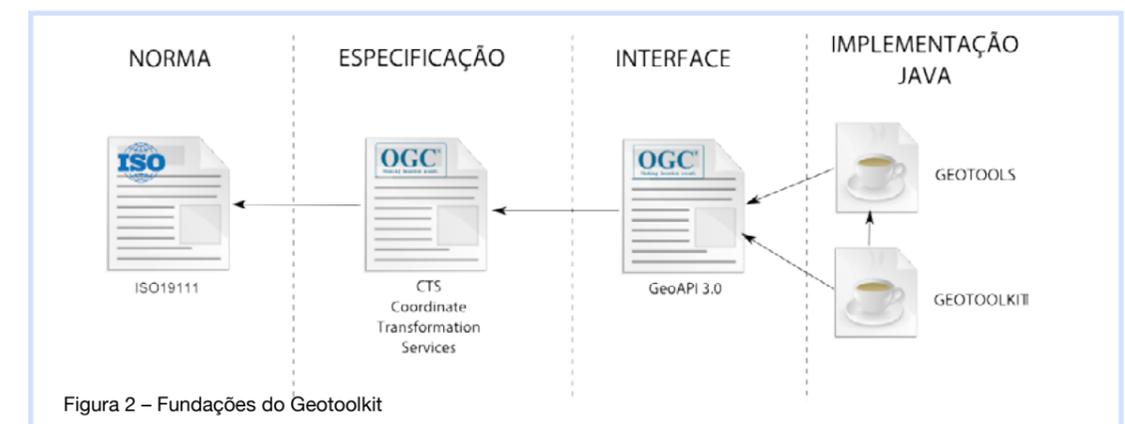


Figura 2 – Fundações do Geotoolkit

O Geotoolkit cria internamente os SRC a partir da sua definição em formato WKT segundo a especificação OGC já referida anteriormente “CTS – Coordinate Transformation Services”. Este formato permite uma definição normalizada dos SRC.

Os parâmetros de transformação Bursa-Wolf são especificados no elemento TOWGS84. Ou seja, todas as transformações Bursa-wolf são definidas relativamente ao datum WGS84, que funciona como pivot. Os data WGS84 e o ETRS89 são considerados coincidentes, nesta aplicação.

```
PROJCS["Datum 73 / Modified Portuguese Grid",
GEOGCS["Datum 73",
DATUM["Datum_73",
SPHEROID["International 1924", 6378388.0, 297.0,
AUTHORITY["EPSG","7022"]],
TOWGS84[-230.994,102.591,25.199,0.633,-0.239,0.9,1.95],
AUTHORITY["EPSG","6274"]],
PRIMEM["Greenwich", 0.0, AUTHORITY["EPSG","8901"]],
UNIT["degree", 0.017453292519943295],
AXIS["Geodetic longitude", EAST],
AXIS["Geodetic latitude", NORTH],
AUTHORITY["EPSG","4274"]],
PROJECTION["Transverse_Mercator"],
PARAMETER["central_meridian", -8.131906111111112],
PARAMETER["latitude_of_origin", 39.666666666666664],
PARAMETER["scale_factor", 1.0],
PARAMETER["false_easting", 180.598],
PARAMETER["false_northing", -86.99],
UNIT["metre", 1.0],
AXIS["x", EAST],
AXIS["y", NORTH],
AUTHORITY["EPSG","27493"]]
```

Figura 3 – Exemplo de sistema de referência em WKT

## 2. PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO

Nesta aplicação utilizam-se dois tipos de transformação de coordenadas, a de Bursa-Wolf e a transformação por grelhas de diferenças de coordenadas, que de momento apenas está disponível para Portugal Continental. A Direção-Geral do Território disponibiliza os parâmetros de transformação de coordenadas entre os principais sistemas utilizados em Portugal.

### 2.1. Transformação de Bursa-Wolf

No método de Bursa-Wolf a transformação de coordenadas realiza-se no espaço recorrendo a 7 parâmetros, que traduzem a translação da origem do sistema de partida ( $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ ), as rotações em torno dos eixos (RX,RY,RZ) e um factor de escala ( $\alpha$ ), relacionado com a forma dos dois elipsóides.

Nesta aplicação, o método de Bursa-Wolf pode ser utilizado entre os sistemas Datum Lisboa e Datum 73 e o sistema PT-TM06/ETRS89, no caso de Portugal Continental. Na Madeira este método transformação é utilizada entre o sistema Datum Base SE e o sistema PTRAO8-UTM/ITRF93. Nos Açores esta transformação pode ser utilizada entre os sistemas Datum Forte de São Braz, Datum Base SW e Datum Observatório e o sistema PTRAO8-UTM/ITRF93.

Tabela 1 – Resíduos obtidos na transformação de Bursa-Wolf.

Zona	Transformação	Máximo Absoluto (m)			E.M.Q. (m)		
		M	P	h	M	P	h
Continente	DLx PT-TM06	5.099	4.146	1.060	1.404	1.493	0.251
	D73 PT-TM06	1.351	1.080	1.017	0.381	0.359	0.239
Madeira	Base SE PTRAO8	0.122	0.106	1.122	0.051	0.044	0.539
Açores Oriental	S. Braz PTRAO8	0.081	0.068	0.388	0.024	0.022	0.085
Açores Central	Base SW PTRAO8	0.362	0.092	0.966	0.184	0.044	0.236
Açores Ocidental	Observatório PTRAO8	0.058	0.056	0.160	0.031	0.023	0.077

## 2.2. Transformação por Grelhas de Diferenças de Coordenadas

Este método está implementado para a transformação dos sistemas Datum Lisboa e Datum 73 para o PT-TM06/ETRS89, utilizando grelhas no formato standard NTV2, permitindo obter precisões normalmente superiores às outras transformações.

Para a elaboração das grelhas NTV2 foram utilizados 1129 vértices da 1ª, 2ª e 3ª ordens da Rede Geodésica Nacional observados com GPS. Através de uma interpolação por kriging, geraram-se as grelhas de diferenças de longitude e latitude com espaçamento de 1',2.

A precisão da transformação foi estimada com base em 225 vértices geodésicos, observados em RTK, que não entraram para a criação das grelhas.

Tabela 2 – Estatísticas das diferenças entre as coordenadas PT-TM06/ETRS89 oficiais e as resultantes da transformação por grelhas de diferenças de coordenadas (m).

Resíduos	Datum Lisboa	Datum 73
Máximo	0.779	0.171
Média	0.162	0.051
Mínimo	0.007	0.001
E.M.Q.	0.200	0.063

## 3. MODELOS DE GEÓIDE

A transformação entre altitudes elipsoidais e ortométricas é realizada com base no modelo de geóide GeodPT08 para Portugal continental e um modelo global para os arquipélagos da Madeira e dos Açores.

O GeodPT08 (Figura 4) é um modelo gravimétrico de geóide para Portugal Continental, elaborado pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa em colaboração com a DGT. Foi determinado com base nas observações gravimétricas existentes para o Continente e posteriormente ajustado às redes geodésica e de nivelamento, tendo para tal sido efetuadas observações GNSS em 137 marcas de nivelamento (MN) e 1020 vértices geodésicos (VG) uniformemente distribuídos pelo país. Para a aferição da qualidade do GeodPT08 realizaram-se observações GNSS RTK em VG e MN. O E.M.Q. das amostras das diferenças entre as altitudes ortométricas oficiais e as resultantes da aplicação do GeodPT08 às altitudes elipsoidais é de 9 cm.

Nas regiões autónomas dos Açores e da Madeira a transformação entre altitudes ortométricas e elipsoidais está a ser executada a partir do modelo geopotencial global EGM96, uma vez que era este o método de transformação pré-definido na biblioteca do Geotoolkit e a DGT não dispõe ainda de modelos gravimétricos para as ilhas.

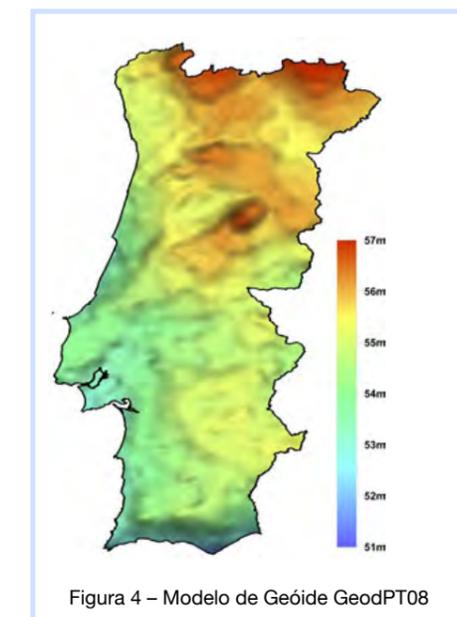


Figura 4 – Modelo de Geóide GeodPT08

#### 4. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

Apresenta-se aqui a primeira versão do programa WebTransCoord, desenvolvida seguindo as normas ISO, especificações do OGC e utilizando software livre. Esta aplicação irá certamente crescer e ser aperfeiçoada, nomeadamente com a utilização de outros métodos de transformação de coordenadas, sistemas de referência e modelos de geóide.

##### REFERÊNCIAS

Open Geospatial Consortium (2009). Coordinate Transformation Services.  
Open Geospatial Consortium (2011). GeoAPI 3.0 Implementation Standard.  
Geotoolkit, URL: <http://www.geotoolkit.org/> (consultado em 2014.03.10).

##### CONTACTOS

Henrique SILVA: [hsilva@dgterritorio.pt](mailto:hsilva@dgterritorio.pt)  
Ana MEDEIRO: [amedeiro@dgterritorio.pt](mailto:amedeiro@dgterritorio.pt)  
Manuela VASCONCELOS: [mvasconcelos@dgterritorio.pt](mailto:mvasconcelos@dgterritorio.pt)

# EROSÃO COSTEIRA E CENÁRIOS DE ROTURA DUNAR: UMA FERRAMENTA DE MODELAÇÃO TRIDIMENSIONAL BASEADA EM SIG

Jorge ALMEIDA<sup>1</sup>, Fernando VELOSO-GOMES<sup>2</sup> e Claudino CARDOSO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ISEC-Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, jalmeida@isec.pt

<sup>2</sup>Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, vgomes@fe.up.pt

<sup>3</sup>Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, claudino@ua.pt

**RESUMO:** A zona costeira, compreendida entre a Barra de Aveiro e Praia de Mira, apresenta riscos consideráveis de inundação e galgamento, inerentes à progressiva erosão cujos efeitos se têm vindo a sentir de forma assinalável. Neste trabalho, apresenta-se uma ferramenta baseada num SIG (Sistema de informação Geográfica) associado a um modelo numérico para gerir a informação: numérica (altura significativa de onda, agitação marítima, tipologia dos sedimentos) e geográfica (levantamentos topográficos, ortofotomapas, fotografia aérea) para posterior obtenção de cenários de rotura dunar.

**Palavras-chave:** erosão costeira, SIG, fotogrametria, cenários de rotura dunar, volumetria, modelos numéricos.

## 1. INTRODUÇÃO

A zona costeira compreendida entre a Barra de Aveiro, a norte, e a Praia de Mira, a sul, está exposta a diversos riscos associados à erosão costeira, dos quais se destacam a potencial inundação, o galgamento das dunas, a rotura dunar e a destruição das zonas, urbanas e não urbanas, situadas a cotas pouco elevadas neste trecho de costa. A aludida zona de estudo que contém frentes urbanas marítimas, situadas em zona de possível ocorrência de galgamento e subsequente rotura dunar, apresenta elevados riscos, pelo que importa, naturalmente, conhecer e modelar, num SIG, os mecanismos de governo destes processos para conhecer e identificar as zonas de maior risco de erosão numa lógica de monitorização dos processos erosivos e riscos associados aos mesmos.

O modelo proposto pretende determinar o volume de sedimentos presentes entre perfis consecutivos ou grupos de perfis tridimensionais para dessa forma obter a resistência dos mesmos ao risco de rotura dunar provocado pela energia das ondas correlacionando um potencial energético (ondas) ao potencial de erosão e risco de rotura dunar.

Neste trabalho, foi desenvolvida uma ferramenta SIG para avaliar o risco de rotura dunar a partir de vários parâmetros: altura significativa de onda (dados reais), agitação marítima (dados reais), tipologia dos sedimentos (dados reais), duração do episódio de tempestade, entre outros, obtendo-se assim a simulação pretendida. O ponto de partida para o modelo são as equações de Navier-Stokes com simplificação do fundo de cota variável, optimização de pontos na malha tridimensional, ajustamento de pontos na vertical no modelo de agitação marítima e com conservação de massa e quantidade de movimento, supondo constante o diâmetro dos sedimentos presentes.

Para a determinação da volumetria de sedimentos disponíveis, foram utilizados registos fotogramétricos (1958, 2002, 2006) e levantamentos topográficos (2007 e 2010) por forma a obter uma estimativa do volume de sedimentos disponíveis.

O presente trabalho tem como objectivo principal construir uma ferramenta baseada em SIG para determinação do volume de sedimentos presentes, na duna, através da medição volumétrica entre perfis, ou entre grupos de perfis, e obter cenários de risco de rotura dunar bem como a subsequente produção de cartografia de risco.

## 2. DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA SIG

O desenvolvimento do SIG utilizou, como estrutura de referência, a CAOP (Carta Administrativa Oficial de Portugal) na qual se inseriu o acervo de dados geográficos disponíveis, nomeadamente fotografia aérea de 1958, 2002 e 2006. Foram também inseridos os diversos levantamentos topográficos efectuados na zona de estudo.

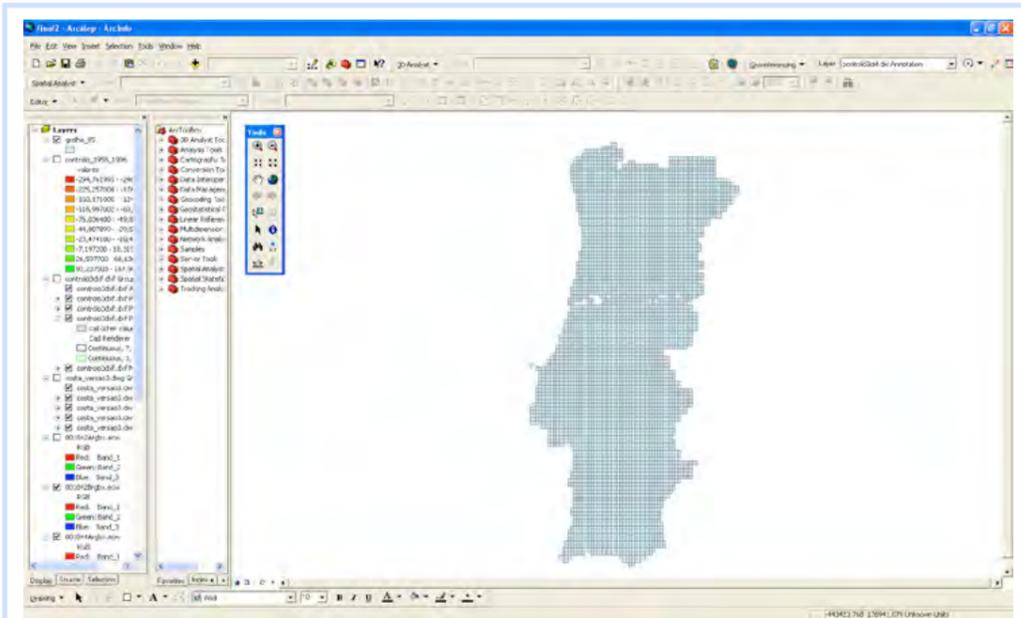


Figura 1 – Criação faseada do SIG: utilização da CAOP.

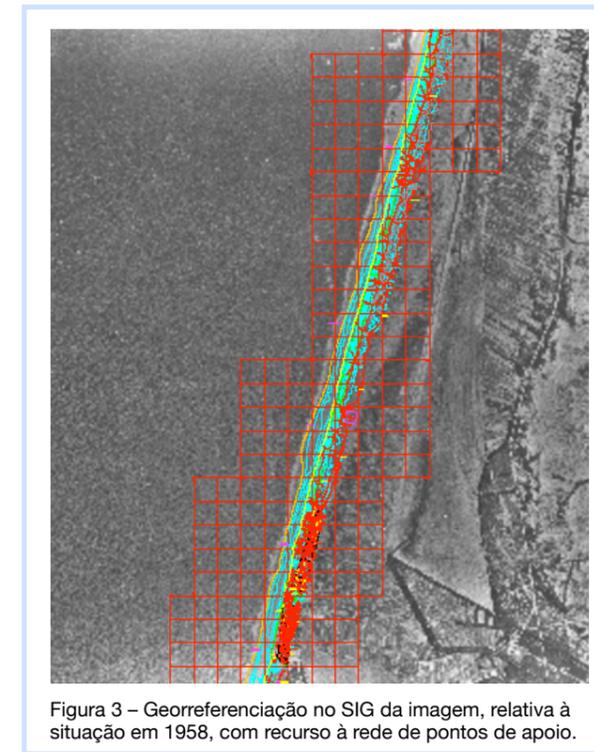


Figura 3 – Georreferenciação no SIG da imagem, relativa à situação em 1958, com recurso à rede de pontos de apoio.

Foi criada uma rede de pontos, com coordenadas conhecidas, com o duplo objectivo de georreferenciar a informação geográfica disponível bem como servir de apoio ao modelo numérico, que determina a evolução, em termos de balanço sedimentar, dos perfis transversais. O SIG permite comparar épocas consecutivas, entre perfis, e também obter valores entre períodos de tempo mais alargados (por exemplo: entre 1998 e 2008) em termos de disponibilidade volumétrica de sedimentos.

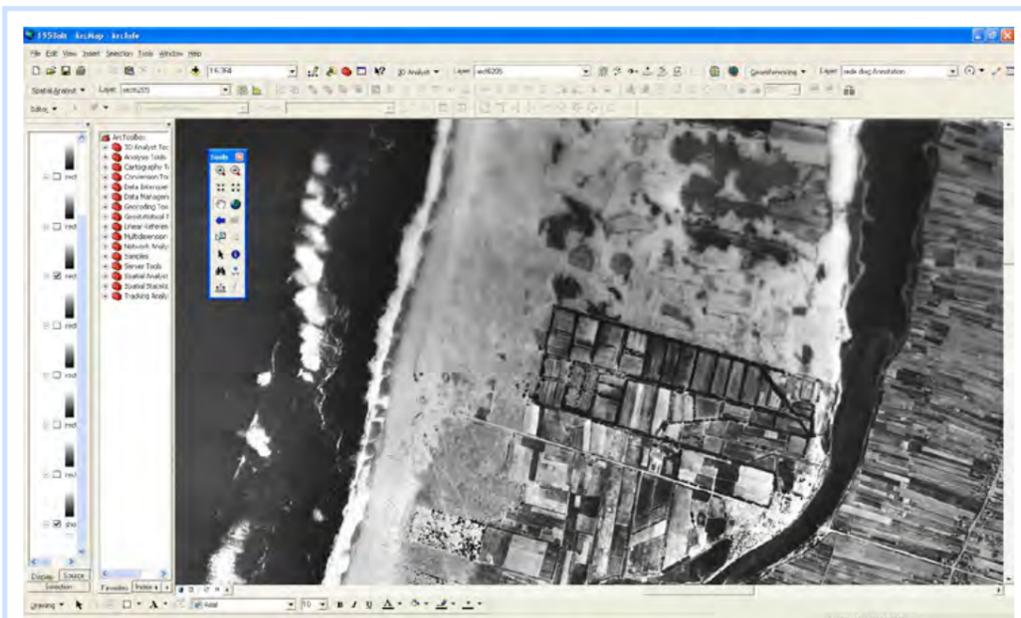


Figura 2 – Inserção de imagem aérea da zona de estudo, no SIG, relativa à situação em 1958.

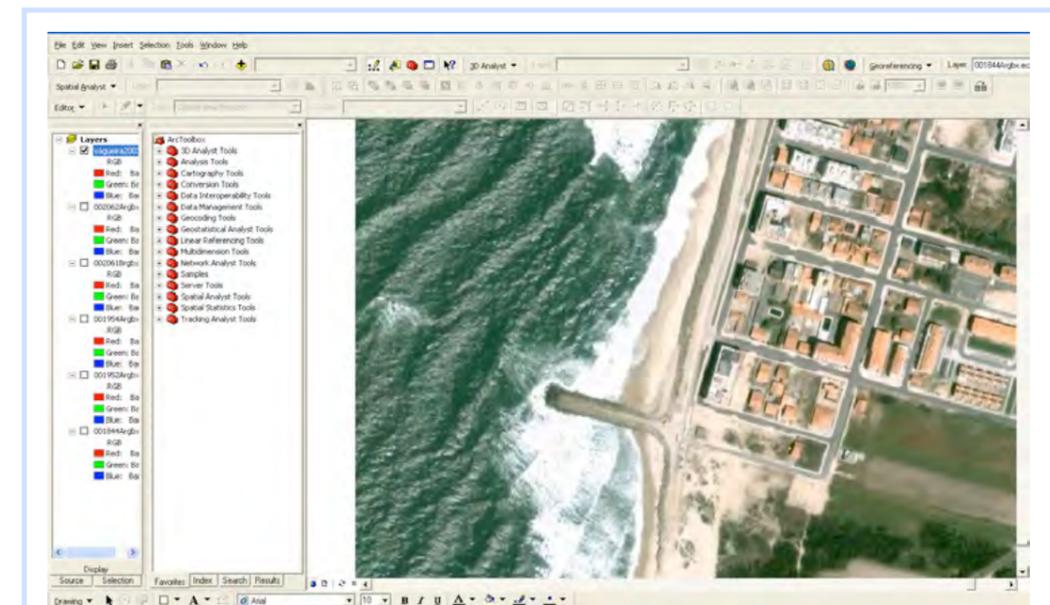


Figura 4 – Introdução de imagem relativa à situação em 2008.

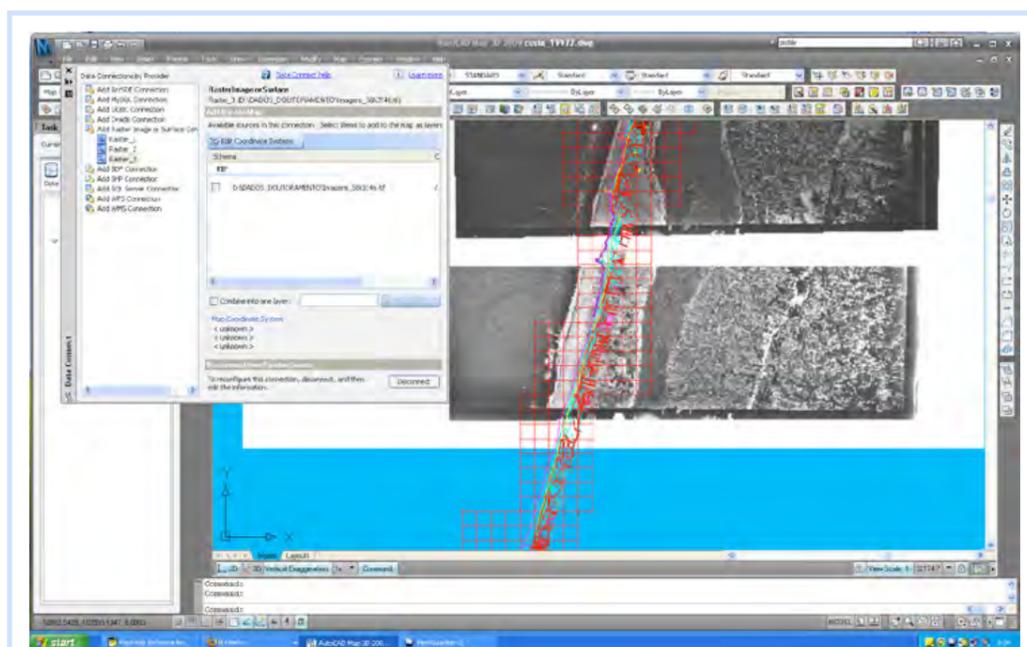


Figura 5 – Obtenção dos perfis transversais e determinação do volume de sedimentos entre perfis transversais.

### 3. RESULTADOS

A zona de estudo tem sofrido, nas últimas décadas, uma assinalável erosão de que constituem prova os levantamentos fotogramétricos considerados. Como resultado, do modelo apresentado, pode concluir-se que o transporte sedimentar responsável pela progressiva diminuição de sedimentos na restinga, agravado pelos episódios de sobrelevação do mar em períodos de tempestade, deu origem a um processo de enfraquecimento do cordão dunar. Este processo foi comprovado pela análise tridimensional efectuada pelo SIG ao cordão dunar através da comparação entre perfis transversais de épocas diferentes. Os modelos digitais de terrenos gerados entre diferentes épocas e a observação dos referidos perfis transversais permite, pois, concluir que existe uma evidente e progressiva diminuição na volumetria de sedimentos em todas as épocas, sendo naturalmente mais notória esta diminuição se se compararem os ortofotomapas entre períodos mais extensos. Esta conclusão é particularmente vincada, se se atender à comparação entre os anos de 1958 e 2002. Se por um lado o transporte de sedimentos, longitudinal e transversal, enfraquece o cordão dunar, reduzindo-o volumetricamente, são os períodos de grande agitação marítima e de sobrelevação, associados ou não a tempestades, que induzem os processos de rotura. Na utilização do modelo proposto, jamais resultou, na simulação efectuada, uma rotura, com valores reduzidos de altura significativa de onda ou de velocidade da onda incidente, até porque neste cenário não existiria sequer possibilidade de galgamento do cordão dunar, face ao reduzido espriamento. Comprova-se na utilização do modelo proposto, que é necessária velocidade para que a onda tenha potência para provocar galgamento. O impacto energético, provocado pela onda, ou melhor pela sequência de ondas incidentes tem um efeito cumulativo de desgaste e redução volumétrica até à provável rotura. Na produção de cenários de rotura da restinga, através do SIG, a altura significativa de onda, a velocidade do espriamento, a tipologia dos sedimentos e o ângulo de incidência das ondas são, pois, parâmetros que conjugados permitem fixar um quadro de probabilidade de ocorrência de rotura. Existe, pois, um limiar a partir do qual ficam reunidas as condições para a rotura da restinga. Este limiar varia conforme o perfil considerado, dada a variabilidade ao longo deste trecho de costa, dos sedimentos disponíveis. Ou seja, é possível que as mesmas condições hidrodinâmicas induzam uma rotura numa zona mais frágil, por ter menor volumetria, e que no modelo proposto,

noutra zona essa rotura, não tivesse lugar dada a maior volumetria disponível. Há assim, neste modelo energético e volumétrico uma enorme variabilidade de cenários possíveis.

Verifica-se que a forte rebentação origina o levantamento dos sedimentos finos, do fundo, e a corrente longitudinal encarrega-se de os transportar para sul. Não havendo suficiente aporte de sedimentos a norte, tem-se um quadro de défice permanente de sedimentos. A falta de sedimentos resulta da progressiva diminuição de sedimentos na Foz do Douro, pelos múltiplos aproveitamentos hidroeléctricos a montante, mas também pelos molhes da Barra do Porto de Aveiro. No entanto, este trecho de costa, pelo forte impacto energético que sofre, devido à rebentação, a tempestades, e sobrelevação do nível médio das águas do mar, nesses períodos, induz um processo de erosão dunar desgastando a volumetria de sedimentos disponíveis, enfraquecendo, assim, continuamente a resistência do cordão dunar. A ocorrência de vários fenómenos, num reduzido intervalo de tempo - horas ou dias - contribui para uma adição de efeitos de redução de sedimentos que conduzem a cenários de risco de rotura. A tendência actual e a que se pode obter da análise, desde 1958, comprova a progressiva redução espacial de áreas emersas e a restituição fotogramétrica permite concluir a tendência dominante de redução da volumetria sedimentar disponível, não obstante as intervenções mitigadoras, realizadas (construção e reconstrução de esporões).

Necessariamente, devido à tipologia sedimentar desta zona, é fácil iniciar-se um processo de rotura que assenta na adição de vários sub-processos que, a ocorrerem em simultâneo, podem desencadear a referida rotura, tais como sobrelevação do nível do mar devido, por exemplo, a uma tempestade e a grupos de ondas com altura significativa muito elevada durante um longo período.

O transporte longitudinal de sedimentos é mais importante que o transversal, no desgaste do cordão dunar até ficar em causa a estabilidade da restinga. Os únicos dados de agitação marítima disponíveis, a partir da bóia-ondógrafo de Leixões, permitem concluir, com as necessárias e prudentes adaptações, dado não se conhecerem dados de agitação marítima específicos para uma localização mais próxima do Porto de Aveiro, a existência numerosos períodos de agitação marítima associados a estados de elevada energia. A análise dos dados permite observar alturas de onda significativa superiores a 8 metros durante períodos de tempo assinaláveis.

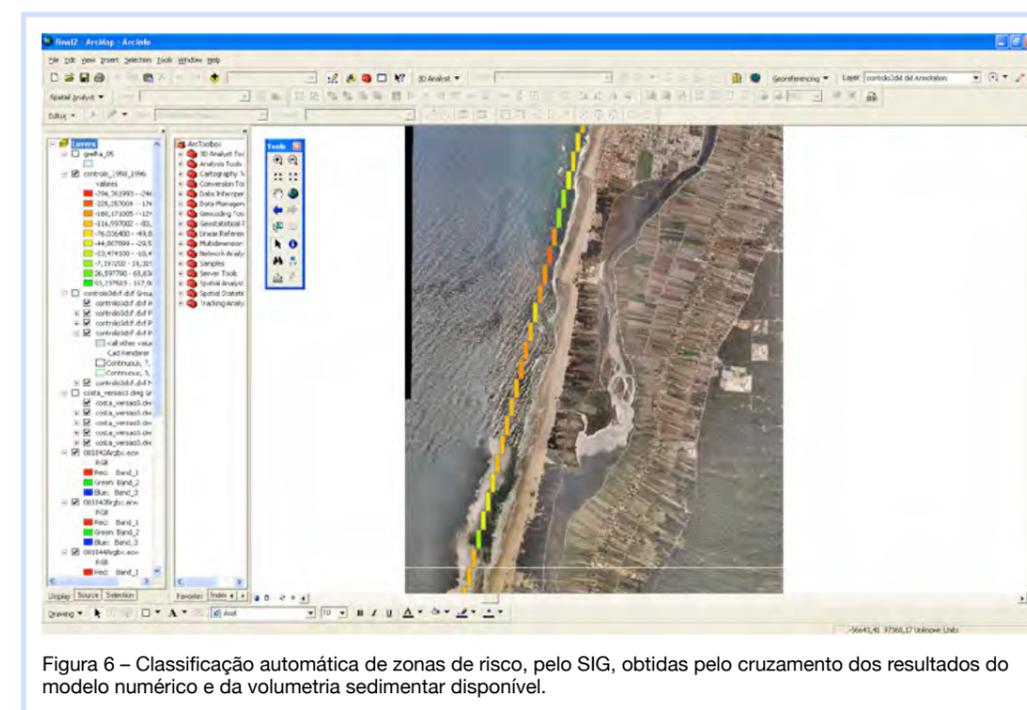


Figura 6 – Classificação automática de zonas de risco, pelo SIG, obtidas pelo cruzamento dos resultados do modelo numérico e da volumetria sedimentar disponível.

#### 4. CONCLUSÃO

A utilização do modelo proposto para diferentes tamanhos de sedimentos permite concluir que este factor deve também ser tido em conta e que a inclinação da face da praia e o tamanho do sedimento estão correlacionados. Na utilização do modelo constatou-se que a variação do tamanho do sedimento altera o comportamento da restinga e a sua resistência à rotura. Por outro lado, o estreitamento da restinga e o seu consequente enfraquecimento potenciam um cenário mais favorável à ocorrência de uma rotura na mesma, ou seja, está-se perante um processo iterativo em que a redução volumétrica da duna propicia ainda mais o seu enfraquecimento progressivo. As obras realizadas (Praia de Mira-Sul, Poço da Cruz e Vagueira), permitiram que houvesse acreção do lado norte das mesmas protegendo assim as praias e consequentemente a restinga, apesar da natural e previsível erosão a sul destas estruturas aderentes. Entre os perfis P12 a P17 e P36 a P41 verificou-se através da utilização do modelo que a restinga não apresenta um volume de sedimentos que lhe permita resistir a um episódio prolongado de sobre-elevação da maré cheia. Nesta zona, a rotura apresenta uma probabilidade mais elevada. Entre os perfis P17 a P23 verifica-se uma vulnerabilidade elevada, mas inferior à anteriormente descrita. A aplicação do modelo permitiu obter uma correlação aproximada entre a erosão nos perfis e erosão calculada pelo modelo XBeach, não obstante existirem algumas limitações à comparação directa entre os modelos. Na comparação entre resultados obtidos com o XBeach e o modelo proposto, verificam-se diferenças no volume erodido. Esta conclusão baseia-se na comparação entre os perfis gerados no XBEACH e os perfis gerados no modelo proposto. A diferença de volume foi obtida pela intersecção de áreas, entre perfis, e integração ao longo da distância longitudinal ao perfil mais próximo a sul.

O modelo proposto permitiu, através dos parâmetros considerados, gerar cenários que propiciem a rotura da restinga caso se reúnam, em simultâneo, os factores de risco analisados. A rotura da restinga traduz-se, assim, num processo dinâmico de evolução constante. Os processos erosivos costeiros, aqui tratados com recurso a um modelo cujos resultados são importados e exportados para o SIG, são fenómenos de elevadíssima complexidade e cuja interação entre as suas variáveis ocorre a escalas e tempos diferentes, não cobertos totalmente pelo modelo desenvolvido que tende a ser um modelo adaptado e otimizado para uma determinada zona de características melhor conhecidas como é o caso da zona de estudo.

#### REFERÊNCIAS

- Alessandro, Felice, Tomasicchio, Giuseppe, Ricca, Andrea (2012). Dune Erosion Physical, Analytical and Numerical Modelling'. Coastal Engineering Conference.
- Andrews, Brian D., Gares, Paul A., Colby, Jeffrey D. (2002). Techniques for GIS modeling of Coastal Dunes'. *Geomorphology*, Vol. 48, pp. 289-308, Elsevier.
- Cooper, Nicholas J., Hooke, Janet M., Brayb, Malcolm J. (2001). Predicting Coastal Evolution using a Sediment Budget Approach: a Case Study from Southern England. *Ocean and Coastal Management*, Vol. 44, pp. 711-728.
- Dabees, Mohamed, Kamphuis, J. William (2000). 'NLine : Efficient Modeling of 3-D Beach Change'. Coastal Engineering , ICCE, Sydney, Australia.
- Donnelly, Chantal, Kraus, Nicholas, Larson, Magnus (2006). State of Knowledge on Measurement and Modeling of Coastal Overwash, *Journal of Coastal Research*, Vol. 22, pp. 965-991.
- Green, David R., King, Stephen D. (2003). Progress in Geographical Information Systems and Coastal Modeling : An Overview. *Advances in Coastal Modeling*, Elsevier Science B.V.
- Kraus, Nicholas C. (2003). Analytical Model of Incipient Breaching of Coastal Barriers. *Coastal Engineering Journal*, Vol. 45, pp 511-531, World Scientific Publishing Company and Japan Society of Civil Engineers.
- Larson, Magnus, Donnelly, Chantal, Hanson, Hans (2004). An Analytical Model to Predict Dune Erosion due to Wave Impact. *Coastal Engineering*, Vol. 51, pp.675-696. Elsevier.
- Kraus, Nicholas C., Wamsley, Ty (2003). Coastal Barrier Breaching, Part 1 : Overview of Breaching Processes', US Army Corps of Engineers. ERDC/CHL CHETN-IV-53, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MN, USA.
- Kriebel, David, Dean, Robert (1985). Numerical Simulation of Time-Dependent Beach and Dune Erosion, *Coastal Engineering*, Vol. 9, pp. 221-245, Elsevier.
- Kuriyama, Yoshiaki, Nakatsukasa, Toshiyuki (2004). A One-Dimensional Model for Undertow and Longshore Current on a Barred Beach, *Coastal Engineering*, Vol. 51, pp. 207-221, Elsevier.
- McCall, R. T., de Vries, J.S.M. Van Thiel, Plant, N.G., Van Dongeren, A. R., Roelvink, J. A., Thompson, D. M., Reniers, A. J. H. M. (2010). Two-Dimensional Time Dependent Hurricane Overwash and Erosion Modeling at Santa Rosa Island, *Coastal Engineering*, Vol. 57, pp 668-683, Elsevier.
- Tuan, Thieu Quang, Oumeraci, Hocine (2010). A Numerical Model of Wave Overtopping on Seadikes. *Coastal Engineering* Vol. 57, pp 757-772, Elsevier.

## O AVANÇO DO MAR E OS PROCESSOS DESTRUTIVOS DA LINHA DE COSTA

Carlos ANTUNES

IDL – Instituto Dom Luís, Faculdade de Ciências da U.L.

**RESUMO:** As variações do Nível do Mar dão-se por variadas razões, algumas de forma rápida, outras de forma lenta mas contínua. As variações podem ser locais, regionais ou globais. A diferentes escalas, mesmo que pequenas, todas estas variações têm como consequência uma contínua alteração da linha de costa. A elevada actividade e ocupação humana na zona costeira, devido à sua forte vulnerabilidade, obriga a: um estudo detalhado dos mecanismos geofísicos e geológicos que constituem a causa de eventos extremos de moderada e elevada perigosidade; e, uma adequada caracterização das zonas de risco através das tecnologias de aquisição e gestão da informação geográfica. Uma informação geográfica de qualidade destas zonas de riscos e um estudo de todos os seus mecanismos forçadores da sua dinâmica na zona de interface terra-mar permitem uma capacidade de decisão robusta ao nível do planeamento, do ordenamento e de uma gestão sustentável do território litoral. Nesta apresentação abordaremos: as variações do longo período da subida do Nível Médio do Mar (NMM); as variações de curto e médio período, correspondente à oscilação periódica do fenómeno de maré; e, as variações irregulares resultantes do forçamento atmosférico com origem na interacção dinâmica entre circulação atmosférica e oceânica. Os registos do marégrafo de Cascais mostram a evidente subida do NMM que se está a verificar como consequência do aquecimento global. A subida do NMM é um fenómeno com graves consequências nas zonas costeiras de baixa elevação e elevada exposição ao risco de erosão. Estes dados têm também permitido a análise da série de sobre-elevações meteorológicas que assolam a costa portuguesa com um impacto idêntico de risco costeiro. Os resultados mais recentes indicam um ligeiro aumento na amplitude e frequência destes eventos, apesar de não ser expectável que se venham a verificar no futuro sobre-elevações superiores aos 60-70 cm. A correta modelação da maré astronómica tem permitido uma monitorização constante destes fenómenos de sobre-elevação meteorológica e de agitação marítima em tempo real, através de um sistema automático de monitorização com envio de emails de aviso de alerta. A subida do NMM e os eventos extremos têm como consequência: 1) aumento significativo da erosão costeira, recuo da linha de costa e a destruição de infraestruturas costeiras; 2) inundações mais frequentes e mais catastróficas de zonas ribeirinhas; 3) aumento dos riscos de intrusão salina e consequente salinização de aquíferos; 4) aumento do assoreamento nas zonas estuarinas e lagunares; e, 5) acentuar da regressão de áreas de sapal. As soluções para fazer face aos riscos costeiros podem-se dividir em: reforço da protecção costeira; adaptação das infraestruturas nas zonas de risco reduzido a moderado; e migração de pessoas e bens dos locais de risco moderado a elevado, para zonas mais interiores. A decisão deverá sempre ser apoiada na informação geográfica actualizada e rigorosa, de forma a minimizar os custos e aumentar a eficiência.

**Palavras-chave:** subida do nível médio do mar, sobre-elevação meteorológica, marégrafo de Cascais, erosão costeira, vulnerabilidade e riscos costeiros.

**ABSTRACT:** The sea level change occurs for different reasons, some changes occur quickly, others slowly but continuously. The variations may be local, regional or global. At different scales, even very small, all these changes cause a continuous alteration of the shoreline. The high activity and human occupation in the coastal zone due to their high vulnerability, requires: detailed geophysical and geological studies of the mechanisms that cause extreme events of moderate and high hazard, and an adequate characterization of risk areas through acquisition and management technologies of geographic information. A good geographic information of these risk areas and a study of all forcing mechanisms in the dynamics of land-sea interface zone permit a robust capacity planning, decision making and sustainable management of the coastal territory. This presentation will cover: changes of long term, the Sea Level Rise (SLR); the variations of short and medium term, corresponding to the periodic oscillation of the tidal phenomenon; and the irregular variations resulting from atmospheric forcing, as a result of the dynamic interaction between atmospheric and ocean circulation. The Cascais tide gauge records show a clear rise in the SLR that is occurring as a result of global

warming. The SLR is a phenomenon with serious consequences in coastal areas of low elevation and high exposure to erosion. These data have also allowed the analysis of the time series of storm surges affecting the Portuguese coast with a similar impact of coastal risk. The most recent results indicate a slight increase in amplitude and frequency of these events, although it is not expected that it will occur, in the future, storm surges greater than 60-70 cm. The correct modeling of astronomical tide has allowed real time monitoring of these surge phenomena and sea waves in through an automated monitoring system to send warning alert emails. The rise of SL and extreme events causes: 1) significant increase in coastal erosion, retreat of the shoreline and the destruction of coastal infrastructure; 2) more frequent and catastrophic flooding of coastal areas; 3) increased risk of saline intrusion and consequent salinization of aquifers; 4) increased sedimentation in the estuarine and lagoon areas; and 5) enhance the regression of areas of saltmarsh. The solutions to tackle coastal risks can be divided into: strengthening coastal protection; adaptation of infrastructure in areas of low to moderate risk; and migration of people and infrastructures from moderate to high risk areas into further inland. The decision should always be supported by actual and accurate geographic information in order to minimize costs and increase efficiency.

**Keywords:** sea level rise, storm surges, Cascais tide gauge, coastal erosion, vulnerability and coastal risks.

## 1. INTRODUÇÃO

A actual e evidente alteração da linha de costa tem sido causada por alterações bem conhecidas da variação do nível do mar. A compreensão desta relação causa-efeito exige um estudo aprofundado dos mecanismos geradores dessas variações a diferentes escalas temporais. Estas variações são perfeitamente conhecidas à escala geológica, larga escala temporal, da centena de milhares a milhões de anos, devido a sua forte correlação com os ciclos glaciares. O nível médio do mar (NMM) apresenta variações médias de 120 metros em períodos médios de 100 a 120 mil anos, com o seu mínimo no final de cada período glacial (fase de arrefecimento global) e o seu máximo no final do período interglacial (fase de aquecimento global). O período actual do desenvolvimento da humanidade (homem social) corresponde à fase final do último período interglacial e a um período de estabilidade climática, onde o nível do mar e a temperatura média global se têm mantido praticamente estáveis (subida do NMM < 3 cm/Séc.) nos últimos 8 mil anos.

A oscilação média do nível do mar de 120 m corresponde a uma oscilação média de 8 °C de temperatura global e de 120 ppm de concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera. O período actual, em termos históricos, corresponde à temperatura média global de aproximadamente 14 °C e de 300 ppm de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Desde que se tem verificado uma subida da concentração de CO<sub>2</sub> (e outros gases de efeito estufa GEE) na atmosfera desde o início do Séc. XX, dos 320 ppm para os actuais 400 ppm, a temperatura média global, devido ao efeito estufa, já aumentou 0.6 °C. Este aquecimento tem provocado o degelo das regiões geladas e o aumento da temperatura média dos oceanos. Estes dois efeitos combinados estão a contribuir para o aumento de volume do mar, designada por variação eustática, de aproximadamente 17 cm desde o início do último século, registado no marégrafo de Cascais.

Considerando que o equilíbrio na inter-relação mar-atmosfera se está a alterar, a subida da temperatura média global devido ao desequilíbrio energético (entre o fluxo radioactivo solar absorvido e o fluxo radioactivo emitido pela Terra no infravermelho) causado pelo efeito estufa dos GEE, irá, não só, causar a subida do NMM, como também aumentar a ocorrência de eventos extremos devido à dinâmica de transferência de energia entre o mar e a atmosfera nesta fase de aquecimento global. De acordo com o relatório IPCC (2007) são expectáveis períodos de seca severa, bem como, períodos de fortes tempestades causando sobre-elevações meteorológicas (SM – subidas esporádicas do NMM) e forte agitação marítima. O efeito combinado destes eventos causa inevitavelmente uma aumento de situações de inundação, galgamentos e de forte erosão, resultando num recuo da linha de costa e consequente aumento de vulnerabilidade e risco para as populações e infraestruturas costeiras.

## 2. SUBIDA DO NMM

A série temporal dos registos maregráficos de Cascais tem mostrado uma clara colagem aos modelos globais de variação do NMM. Por esta razão, o marégrafo de Cascais tem-se revelado uma fonte fiável no estudo da variação do NMM. A relativa estabilidade vertical desta região da Península Ibérica, em termos de neotectónica e de ajustamento isostático pós-glacial, indicada pelas observações GPS (0.3 mm/ano) justificam estes resultados. Por outro lado, a contínua manutenção e observação do marégrafo por parte da entidade nacional proprietária, a actual Direção Geral do Território (DGT), tem garantido o seu valor e importância no conjunto de marégrafos da rede internacional GLOSS (Global Sea Level Observing System) que contribuem para o estudo da variação global do NMM.

Através da série de médias anuais obtém-se uma taxa de 2.1 mm/ano para as últimas 2 décadas do Séc. XX, resultante de uma regressão linear aplicada à média móvel de 10 anos (curva azul da Figura 1). Dado que a média móvel atualizada, centrada nos dados de médias anuais, reflecte um atraso de 5 anos devido ao respectivo período de cálculo, a taxa actual de subida do NMM tem de ser estimada por outra via, que não esta série de dados (Antunes, 2011).

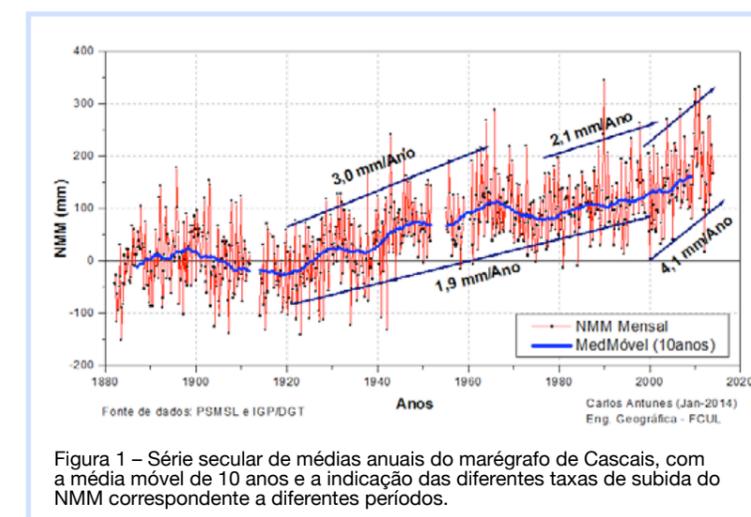


Figura 1 – Série secular de médias anuais do marégrafo de Cascais, com a média móvel de 10 anos e a indicação das diferentes taxas de subida do NMM correspondente a diferentes períodos.

A taxa actual da variação do NMM em Cascais é assim estimada por uma série decadal de médias diárias, sobre a qual são removidos os efeitos de variação barométrica e a variação periódica sazonal do NMM. Considerando os valores dessa série corrigida, entre 2000 a 2013, obtém-se a taxa de 4.1 mm/ano, superior à taxa estimada para o período anterior, entre 1980 a 2000. Estes valores evidenciam a presença de uma aceleração da taxa de subida do NMM compatível com as estimativas resultantes da combinação da observação de satélite (Topex/Pseidon e Jason I e II) e da rede de flutuadores Argo. Considerando estes dois valores consecutivos da taxa de subida do NMM, consegue-se inferir uma aceleração da subida do NMM de 0.073 mm/ano<sup>2</sup> para o início deste século (Antunes, 2011). Com estes valores de taxa e aceleração da subida do NMM é possível projectar a subida do NMM relativo em Cascais para as próximas décadas (Figura 2).

A Figura 2 mostra a variação média do NMM observado entre 1970 e 2013 (curva azul) sobreposta à projecção até 2100 (curva verde), limitada pelas curvas de incerteza estimada a 95% de confiança (curvas a vermelho).

Dado que a variação do NMM tem um comportamento não linear, com flutuações e oscilações de diferentes escalas provocadas por diferentes factores, esta estimativa aqui apresentada reflecte o comportamento dos dados considerados até 2013. A actualização desta série de dados indica uma contínua alteração nos valores da taxa de subida do NMM devido, por um lado, ao efeito de

aceleração que se está a verificar, e por outro, pela incerteza das estimativas e pela variação de fenómenos de forçamento atmosférico e oceânico (sistemas globais e regionais de circulação). Pelo que é expectável que no futuro próximo se possam vir a verificar valores diferentes aos que aqui são apresentados, podendo este resultado servir apenas como indicador da subida do NMM.

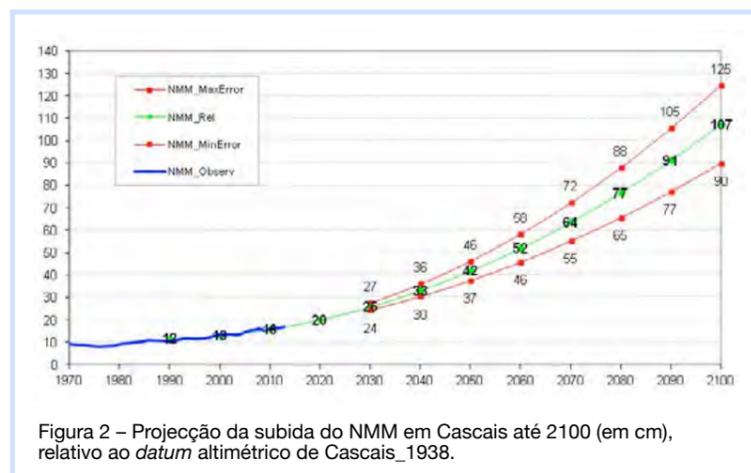


Figura 2 – Projecção da subida do NMM em Cascais até 2100 (em cm), relativo ao datum altimétrico de Cascais\_1938.

### 3. EVENTOS EXTREMOS

A ocorrência de eventos extremos não é recente na história da humanidade, pois ao longo de registos encontram-se eventos extremos de grande magnitude equivalente ou superior aos eventos mais recentes. Contudo, as alterações climáticas que se estão a verificar indiciam uma alteração do equilíbrio de circulação atmosférica e oceânica que, de acordo com modelo de previsão, estarão a alterar o padrão de eventos extremos, nomeadamente, ao nível da amplitude e frequência.

#### 3.1. Sobre-elevação meteorológica

Uma das alterações do nível do mar em relação à oscilação periódica previsível da maré astronómica é a sobre-elevação meteorológica (SM), resultante de um forçamento atmosférico associado à passagem de tempestades caracterizadas por uma grande depressão atmosférica e ventos fortes.

Da série de registos horários do marégrafo de Cascais foi feita uma análise harmónica, a partir da qual foi obtida a componente residual que corresponde à SM verificada ao longo de 50 anos, de 1960 a 2010 (Vieira et al., 2012). Sobre esta série temporal de registos horários de SM analisou-se a respectiva série de amplitude máxima anual e da frequência anual de SM com amplitude superior a 10 cm (Figura 3).

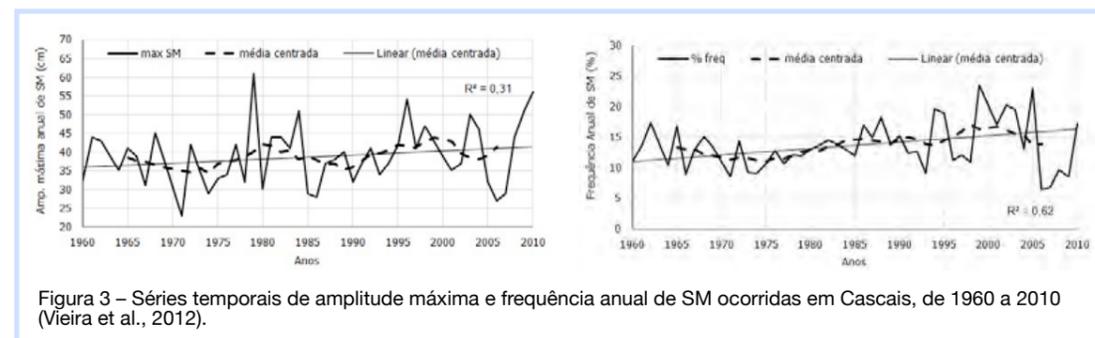


Figura 3 – Séries temporais de amplitude máxima e frequência anual de SM ocorridas em Cascais, de 1960 a 2010 (Vieira et al., 2012).

A Figura 3 mostra, através da regressão linear da curva da média móvel centrada, uma evidente tendência de aumento, quer na amplitude quer na frequência de SM. Embora na amplitude essa tendência seja ténue, e por isso pouco conclusivo, já na frequência verifica-se uma estimativa com significativo aumento e considerável coeficiente de correlação. Em ambas as séries se nota uma oscilação com período de 15 a 20 anos, muito provavelmente associados a oscilações interdecadais próprias das variações de longo período da circulação global do mar e da atmosfera, como seja, a conhecida Oscilação do Atlântico Norte (NAO – North Atlantic Oscillation).

Com base nestas séries é possível calcular a probabilidade e os respectivos períodos de retorno de tais eventos extremos. Na Figura 4 está representada a função Gumble simples, seccionada por períodos sucessivamente mais curtos até à data mais recente, designado por técnica bootstrapping, que nos mostra a tendência de aumento da amplitude de SM para períodos de retorno mais recentes. Deste gráfico pode-se extrair, respectivamente, amplitudes de 62 e 67 cm de SM para períodos de retorno de 50 e 100 anos. Isto representa os valores máximos de SM que poderemos esperar até ao final do século, na ordem dos 60 a 70 cm, tendo sido já observado um valor de 52 cm em Dezembro de 2009.

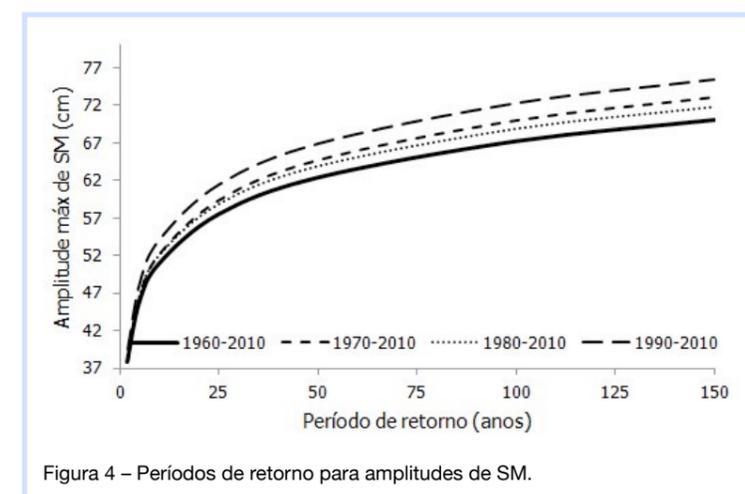


Figura 4 – Períodos de retorno para amplitudes de SM.

Este fenómeno, quando conjugado com níveis de preia-mar de marés-vivas equinociais, representa valores extremos de nível máximo de maré meteorológica observada, com conseqüente probabilidade de inundações nas zonas urbanas de baixa altitude e aumento de erosão. Dado que as SM estão sempre associadas à passagem de tempestades, são frequentemente acompanhados de valores significativos de pluviosidade, causando também inundações devido ao insuficiente escoamento das águas pluviais.

Conjugando os efeitos de subida do NMM e a ocorrências de SM extremas teremos níveis de inundação e galgamento bastante superiores aos que se observaram nos últimos 100 anos, até 1.5 a 2 m, implicando um recuo da linha de costa e um aumento dos processos erosivos costeiros. As conseqüências deste efeito de alteração costeira obrigarão a medidas de decisão baseada em informação geográfica rigorosa e actualizada, bem como, à revisão dos planos directores do ordenamento do território e à revisão dos sistemas de referência vertical.

#### 3.2. Galgamentos da zona costeira

No período de Dezembro 2013 a março de 2014 assistiu-se a um fenómeno, aparentemente novo, na costa continental portuguesa, uma intensa e persistente agitação marítima que causou consideráveis danos costeiros devido à erosão e ao galgamento das ondas.

Apesar de o tipo de agitação que atingiu a nossa costa estar dentro dos parâmetros habituais, ondas significativas da ordem dos 9 a 12 m e períodos de 14 a 16 segundos, com picos que podem chegar aos 15 m, a quantidade de eventos desta natureza que se repetiram em menos de 3 meses e a frequência com que ocorreram está efectivamente fora do habitual. De igual modo, a ocorrência

de grandes períodos de onda de 22 segundos, na tempestade Hércules a 6 de Janeiro de 2014, é também pouco usual, tendo causado danos consideráveis e atingido galgamentos que não são comuns para esta altura significativa de ondas.

A monitorização destes eventos, de Janeiro a Março, e o cálculo das cotas máximas de galgamento através do *runup* total das ondas sobreposto à previsão de maré meteorológica para cada uma das tempestades, permitiu concluir que ocorreram galgamentos que excederam os 7 m de cota em todas as preias-mar de marés-vivas. Facto este que está de acordo com a observação e os relatos de todas as ocorrências que se verificaram desde meados de Dezembro de 2013 até ao início de Março de 2014.

#### 4. CONCLUSÕES

Apesar de os dados, do ponto de vista estatístico, ainda não mostrarem claramente um significativo aumento de eventos extremos, começam a aparecer alguns indícios de um aumento da tendência, nomeadamente na aceleração da subida do NMM e nos máximos de SM. A forte agitação marítima conjugado com uma subida do NMM e o aumento de SM provocará um aumento da energia das ondas que atingem a linha de costa (arribas, dunas, paredões e pontões), devido ao conseqüente aumento da altura da coluna de água, fazendo aproximar a rebentação das ondas para mais junto da costa e causando, conseqüentemente, danos mais intensos e severos na linha de costa.

A identificação das zonas de maior vulnerabilidade na costa portuguesa estão há muito identificadas e a sua cartografia vem sendo actualizada, ao longo dos últimos anos, pelas autoridades de administração local, regional e central. No entanto, é necessário manter a informação geográfica associada aos respectivos riscos permanentemente actualizada, garantido assim, uma maior eficiência na identificação e classificação das acções de intervenção e prevenção necessárias, com vista à mitigação dos riscos. A permanente actualização dos planos directores de gestão e ordenamento do território, nomeadamente os planos de ordenamento da orla costeira, necessitam de igual modo de uma permanente actualização da informação geográfica e a redefinição da linha de costa e conseqüente linha máxima de preia-mar de águas-vivas equinociais (LMPAV), necessária na definição dos limites de domínio público hídrico e marítimo.

A permanente monitorização da subida do NMM e dos eventos costeiros extremos é de crucial importância na construção e manutenção de infraestruturas de informação geográfica adequadas aos objectivos exigidos, já que estes factores influenciarão o recuo da linha de costa, o modo e a forma de ocorrência dos eventos extremos, e conseqüentemente, o seu impacto.

Por fim, a contínua subida do NMM para valores consideráveis começa a implicar o estudo de revisão dos sistemas de referência vertical, tanto na cartografia terrestres – *datum* altimétrico, como na cartografia náutica e hidrografia – zero hidrográfico (Antunes, 2012). Há países em que já está a ser feita essa revisão, nomeadamente, a EUREF já definiu e reviu o sistema europeu de referência vertical para o EVRS2007, que deverá ser adoptado por todos os países europeus por imposição da directiva INSPIRE, à semelhança do que aconteceu com o ETRS89.

#### REFERÊNCIAS

Antunes, C. (2011). Monitoring sea level change at Cascais tide gauge. Journal of Coastal Research, SI 64 (Proceedings of the 11th International Coastal Symposium), Szczecin, Poland, ISSN 0749-0258, p. 870-874.

Antunes, C. (2012). Implicação da subida do NMM na necessidade de revisão dos sistemas de referência verticais. Actas do 3.º Encontro Nacional de Geodesia Aplicada, LNEC, 18 e 19 de Outubro, Lisboa, p. 13-18.

IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp..

Vieira, R., C. Antunes e R. Taborada (2012). Caracterização da sobre-elevação meteorológica em Cascais nos últimos 50 anos. Actas das 2as Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Instituto Hidrográfico, Lisboa 20-22 de Junho, p. 175-178.

#### AGRADECIMENTOS

Fundação para a Ciência e Tecnologia, Financed by Project FCT: "Pest-Oe/CTE/LA0019/2013-2014"

## AVALIAÇÃO DO EFEITO DE BACIAS DE RETENÇÃO DESCENTRALIZADAS NO CAUDAL DE PONTA DE CHEIA DE ÁREAS URBANAS

Octávio CUNHA, Ana GALVÃO e Filipa FERREIRA

Instituto Superior Técnico

**RESUMO:** O crescimento acelerado que se tem verificado nas áreas urbanas, muitas vezes realizado sem um planeamento adequado, tem provocado o aumento da impermeabilização do solo, que por sua vez conduz ao agravamento dos caudais de escorrências pluviais. Estes caudais têm levado ao aumento de inundações, transporte de poluentes e contaminação dos meios recetores tanto em intensidade como em frequência.

Para resolver este problema é necessário redimensionar a rede de coletores de águas pluviais, para que estes consigam drenar os caudais de ponta de cheia. No entanto este redimensionamento consiste num processo bastante oneroso, principalmente em grandes aglomerados urbanos. Uma forma alternativa, e menos onerosa, de encarar a gestão de águas pluviais consiste na implementação de métodos de controlo na origem. Estes métodos consistem num conjunto diversificado de técnicas de controlo local que atuam sobre as águas pluviais, privilegiando nos locais de origem, a infiltração, o armazenamento, ou a combinação dos dois processos em simultâneo. O planeamento das metodologias de controlo na origem deve ser, sempre que possível, estruturado em conjunto com a evolução do tecido urbano para se obterem melhores resultados numa perspectiva de sustentabilidade urbana, uma vez que se torna difícil a sua colocação em zonas urbanas já consolidadas.

O SUSTAIN é um modelo computacional de apoio à decisão desenvolvido pela Tetra Tech em 2009, encontra-se integrado na plataforma ArcGIS (ESRI) e tem como objetivo, por um lado otimizar a localização e seleção dos métodos de controlo na origem para bacias urbanas, através de análises de custo-eficácia, por outro a análise de caudais e poluentes. O modelo utiliza os sistemas de informação geográfica para georreferenciar os vários elementos da bacia urbana (estradas, arruamentos, habitações, etc.), criar o modelo digital de elevação do terreno, delimitar a bacia urbana em função das suas áreas de permeabilidade e tipo de solo hidrológico (segundo a classificação do Soil Conservation Service em A, B, C e D com capacidades crescentes de gerar escoamento superficial), e ainda para dividir a zona de estudo em diversas áreas funcionais diversificadas. Juntamente com os sistemas de informação geográfica o modelo computacional SUSTAIN utiliza ainda algoritmos adaptados do software SWMM5 (Storm Water Management Model) para simular o transporte de sedimentos e poluentes e a propagação de caudais no interior dos coletores.

É objetivo do presente trabalho a aplicação do modelo SUSTAIN a uma bacia urbana portuguesa, mais precisamente à bacia de Fala-Espadadeira, localizada em Coimbra. Neste estudo irão também ser utilizados os princípios da hidrologia urbana de forma a mitigar ou mesmo eliminar os problemas causados pela crescente impermeabilização do solo e canalização das linhas de água, que poderão vir a causar graves prejuízos sociais económicos e ambientais nesta bacia.

Os resultados demonstram que os caudais pluviais aumentam à medida que crescem as áreas impermeáveis. Contudo é possível, através da implementação de métodos de controlo na origem em conjunto com um adequado planeamento urbanístico, mitigar as conseqüências destes aumentos e reduzir os impactos no ciclo hidrológico.

**Palavras-chave:** drenagem urbana, controlo na origem, escorrências pluviais, modelo SUSTAIN.

**ABSTRACT:** Surface water degradation and flooding, resulting from the effects of urbanization of areas that were previously rural, is an issue of primary focus for several agencies. The U.S Environmental Protection Agency (EPA), has been working since 2003 to develop a decision-support system in order to help users dealing with these problems.

The resulting modeling framework is called SUSTAIN - System for Urban Stormwater Treatment and Analysis Integration. This software uses simulation techniques (from SWMM and HSPF) with geographic information systems (GIS), to enable users in developing drainage system solutions to meet water quantity and quality goals.

**Keywords:** stormwater runoff, urban drainage, SUSTAIN, source control.

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional verificado nas últimas décadas tem levado à intensificação do uso da água e ao aumento das áreas impermeáveis, o que causou grandes alterações no ciclo hidrológico natural (Ferreira, 1999). Este aumento de áreas impermeáveis tem levado ao agravamento dos caudais de escoamentos pluviais, provocando inundações frequentes e a contaminação dos meios hídricos recetores. Desta forma torna-se cada vez maior a preocupação em reestruturar os sistemas de drenagem urbana.

As soluções de controlo na origem (na nomenclatura anglo-saxónica, “Best Management Practices”, BMP) consistem num conjunto diversificado de técnicas, que permitem reduzir caudais de ponta e volumes de escoamento, através de processos de infiltração e/ou armazenamento. Estas técnicas podem ser compatibilizadas com a rede de coletores existentes, ou então ser utilizadas de forma totalmente autónoma dispensando completamente a rede de coletores (Matos, 2003). Tem-se observado, a partir do final do século XX, a uma utilização cada vez maior deste tipo de estruturas, conseguindo-se por um lado reduzir o risco de inundações a jusante, e por outro responder a uma legislação cada vez mais exigente no que à qualidade dos meios recetores diz respeito.

O SUSTAIN (System for Urban Stormwater Treatment and Analysis Integration) é um software de apoio à decisão que tem vindo a ser desenvolvido, desde 2003, pela EPA (United States Environmental Protection Agency). Este software constitui uma ferramenta poderosa para avaliar, selecionar, e colocar os BMPs numa bacia urbana com base em critérios de custo-eficiência e outros critérios definidos pelo utilizador (USEPA, 2009). Para isto o SUSTAIN encontra-se integrado na plataforma ArcGIS (ESRI) e utiliza os sistemas de informação geográfica, bem como algoritmos adaptados de modelos computacionais, principalmente o Storm Water Management Model (SWMM) e o Hydrological Simulation Program – Fortran (HSPF).

Constitui matéria da presente comunicação a avaliação, através da aplicação do software SUSTAIN, de uma bacia urbana localizada em Coimbra, propondo medidas para mitigar os graves problemas de inundações que se têm verificado nesta bacia, causados pela crescente urbanização e canalização das linhas de água.

## 2. DELIMITAÇÃO DA ZONA DE ESTUDO E FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

### 2.1. Bacia de Fala-Espadaneira

A bacia de Fala-Espadaneira está localizada na cidade de Coimbra e encontra-se inserida na freguesia de São Martinho do Bispo, com uma área de 3,8 km<sup>2</sup>, estando compreendida entre a bacia de Ribeira de Antanol e a bacia da Ribeira dos Covões. A bacia de Fala-Espadaneira possui um sistema de drenagem separativo, encontrando-se servida por uma rede de coletores de drenagem pluvial de 7,3 km e uma rede de coletores domésticos de 36,0 km (ÁGUAS DE COIMBRA, 2009). As águas pluviais produzidas nesta bacia são posteriormente encaminhadas, através de um conjunto de linhas de água para a Vala do sul, também denominada de Vala-Real, conforme representado na figura 1a).

Atualmente a bacia em estudo apresenta graves e frequentes problemas de inundações, devido ao crescimento das áreas impermeáveis e também devido à canalização das linhas de água, que se têm verificado devido à crescente urbanização nesta zona.

Como se pode observar na figura 1b), a bacia de Fala-Espadaneira encontra-se dividida em 5 zonas de estudo. Dado o facto de a bacia apresentar grandes dimensões em planta, foi decidido começar o estudo pela zona 1, pelo que toda a informação apresentada aqui para a frente, bem como as simulações realizadas referem-se apenas a esta zona. De entre as 5 zonas que compõem a bacia de Fala-Espadaneira, optou-se pela escolha da zona 1 por esta não ser condicionada pelo escoamento de montante, com exceção do caudal produzido na bacia da Ribeira dos Covões, que aflui à bacia em estudo através da Vala do Sul.

De referir ainda que o estudo desta zona foi feito através da análise dos caudais pluviais em 5 secções, que se encontram representadas na figura 1c).

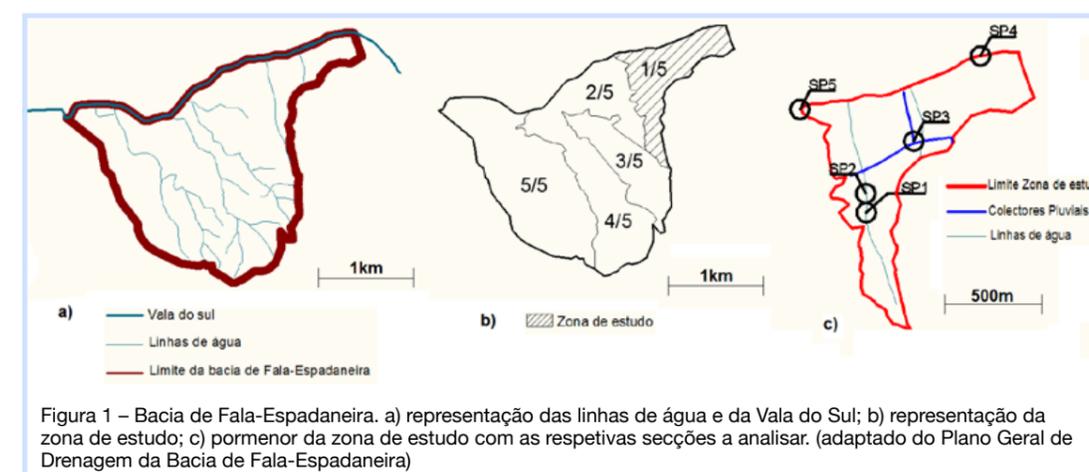


Figura 1 – Bacia de Fala-Espadaneira. a) representação das linhas de água e da Vala do Sul; b) representação da zona de estudo; c) pormenor da zona de estudo com as respetivas secções a analisar. (adaptado do Plano Geral de Drenagem da Bacia de Fala-Espadaneira)

### 2.2. Situação Atual

Através da informação presente Plano de Drenagem da Bacia de Fala-Espadaneira (2009), fornecido pela empresa AC, ÁGUAS DE COIMBRA, E. M., é possível perceber que (para um período de retorno de 20 anos), das 5 secções analisadas apenas uma possui capacidade de vazão face aos caudais de ponta de cheia. A tabela 1 foi adaptada do referido plano e apresenta para cada secção o caudal de ponta verificado, para vários períodos de retorno (T), bem como o caudal máximo que a secção consegue escoar.

Tabela 1 – Caudais pluviais verificados e máximos para cada secção de estudo (Valores retirados do Plano Geral de Drenagem da Bacia de Fala-Espadaneira)

Secção	Caudal de ponta (m <sup>3</sup> /s)			Caudal máximo (m <sup>3</sup> /s)
	T=5anos	T=10anos	T=20anos	
SP1	1,51	1,76	2,01	0,80
SP2	1,51	1,76	2,01	0,77
SP3	0,45	0,53	0,60	1,01
SP4	12,54	14,73	16,80	7,83
SP5	12,54	14,73	16,80	6,68

Como se pode observar na tabela 1, a situação atual é bastante grave, sendo que esta situação tende a agravar-se com o crescimento das áreas impermeáveis. Desta forma no presente estudo recorreu-se a estruturas de controlo na origem, bem como à reformulação de alguns coletores pluviais para resolver alguns dos problemas verificados nesta zona.

### 3. CONCEPÇÃO DO MODELO

#### 3.1. Criação dos Ficheiros em ArcGis

##### 3.1.1. Modelo digital de elevação

O SUSTAIN permite delimitar as sub-bacias de drenagem de forma automática, a partir do modelo digital de elevação do terreno (na nomenclatura anglo-saxónica, Digital Elevation Model – DEM), no entanto para o presente estudo foram consideradas as sub-bacias de drenagem apresentadas no plano de Drenagem da Bacia de Fala-Espadaneira (2009). Relativamente ao DEM, este foi criado utilizando para o efeito ferramentas do ArcGis e as cartas topográficas do referido plano.

A figura 2a) mostra as várias cartas topográficas que constituem a zona de estudo, bem como a delimitação das sub-bacias de drenagem, enquanto na figura 2b) se pode observar o modelo digital de elevação obtido.

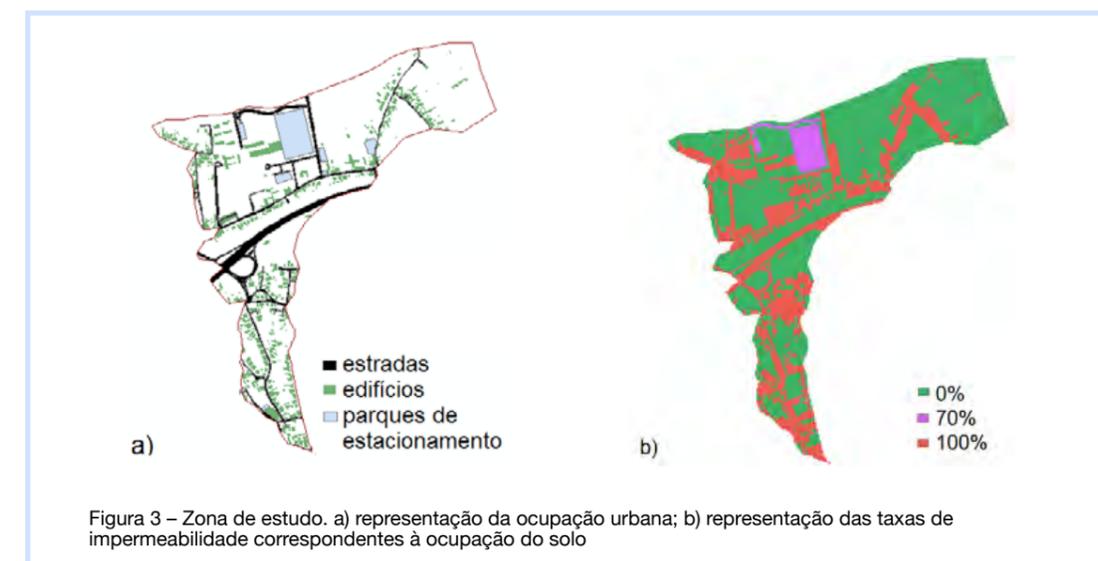
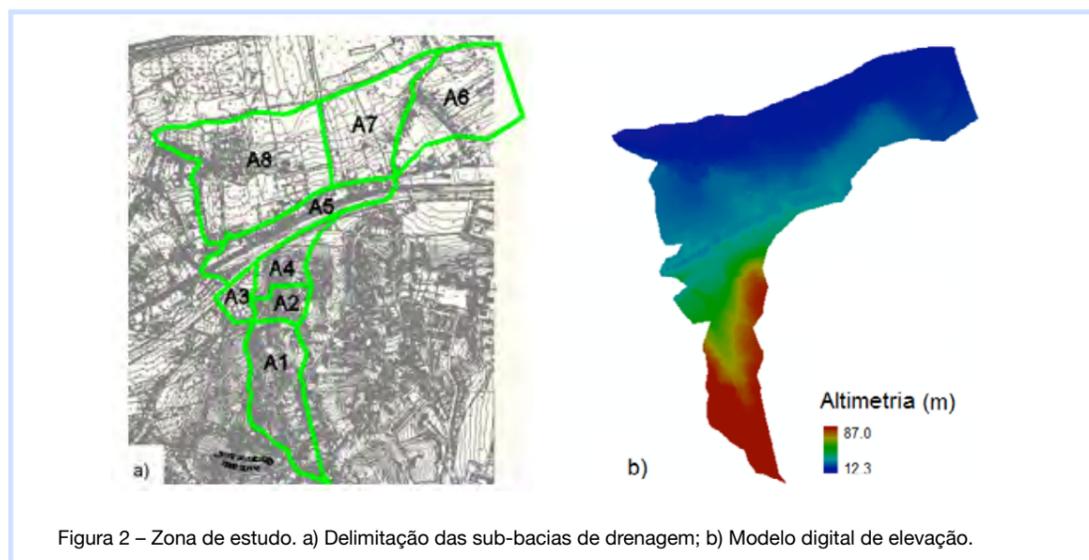


Figura 3 – Zona de estudo. a) representação da ocupação urbana; b) representação das taxas de impermeabilidade correspondentes à ocupação do solo

#### 3.2. Valores Obtidos para a Situação Atual

Após a criação dos vários ficheiros no ArcGis, foram calculados o declive médio e a percentagem de impermeabilidade de cada sub-bacia. Para além destes parâmetros foram ainda introduzidas, para cada sub-bacia, outras informações relativas às mesmas (parâmetros de infiltração segundo o modelo de Green-Ampt, coeficientes de rugosidade de Manning para áreas permeáveis e impermeáveis, capacidade de armazenamento, entre outros).

Para simular o caudal produzido na bacia da Ribeira dos Covões que afluí à zona de estudo através da Vala do Sul, foi criada uma sub-bacia fictícia, que para cada período de retorno gera um caudal igual ao produzido pela bacia da Ribeira dos Covões.

Na tabela 2 apresentam-se os caudais obtidos pelo software SUSTAIN e os apresentados no Plano de Drenagem da Bacia de Fala-Espadaneira, para um período de retorno de 20 anos.

Tabela 2 – Comparação dos caudais obtidos no SUSTAIN com os apresentados no Plano de Drenagem da Bacia de Fala-Espadaneira

T=20anos	Q (m3/s)	
	SUSTAIN	Plano de Drenagem
SP1	1,62	2,01
SP2	2,07	2,01
SP3	0,71	0,60
SP4	11,60	16,80
SP5	16,76	16,80

As diferenças existentes entre os dois modelos devem-se aos graus de impermeabilidade adotados e também ao método de cálculo utilizado. No plano de drenagem da bacia de Fala-Espadaneira foi utilizado o método racional, já o SUSTAIN utiliza o método do reservatório não linear no cálculo do escoamento superficial.

##### 3.1.2. Tipos de ocupação urbana e impermeabilidade do solo

Para obter a caracterização da ocupação urbana do solo (shapefile) foi necessário delimitar todos os edifícios, parques de estacionamento e estradas da zona de estudo. Este ficheiro é de extrema importância para se obter uma adequada localização dos BMPs na bacia urbana.

Para se obter o ficheiro de impermeabilidade do solo (raster), foram delimitadas uma a uma todas as superfícies impermeáveis, que apresentam uma taxa de impermeabilidade de 100% (estradas, edifícios, parques de estacionamento, arruamentos, pátios, etc), e os pavimentos porosos existentes na zona de estudo, que se admitiu apresentarem um grau de impermeabilidade de 70%. Para se obter as zonas permeáveis (grau de impermeabilidade de 0%), subtraiu-se à zona de estudo todas as áreas descritas anteriormente, tendo-se utilizado para o efeito as ferramentas de análise espacial do ArcGis.

A figura 3a) ilustra a ocupação urbana do solo na zona de estudo e a figura 3b) apresenta a representação matricial do grau de impermeabilidade adotado de acordo com as classes de ocupação identificadas.

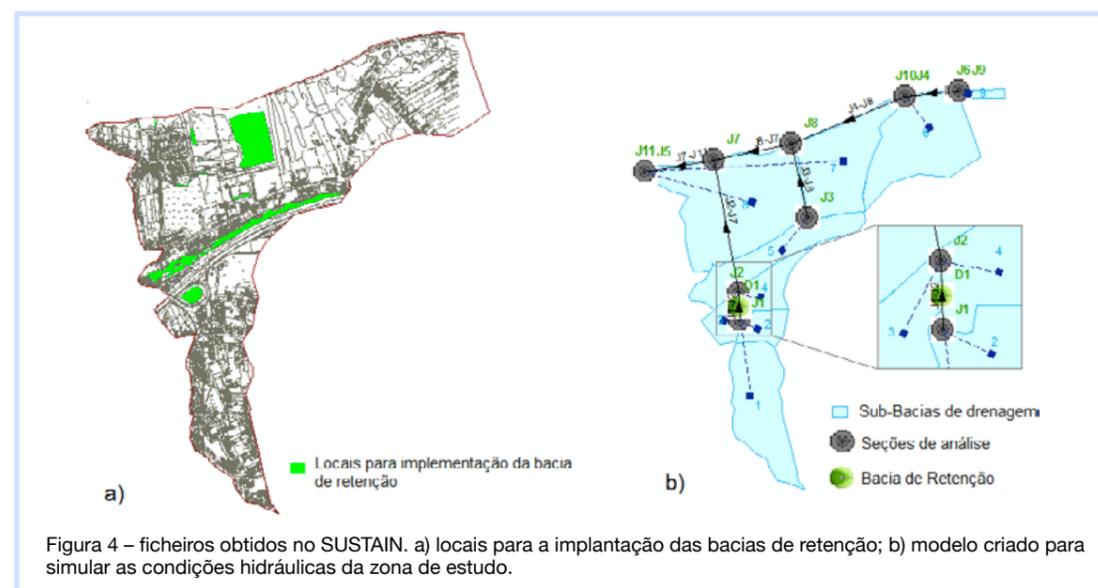
#### 4. RESULTADOS OBTIDOS

Para resolver alguns dos problemas optou-se pela implantação de uma bacia de retenção na zona de estudo. Para saber qual o local ideal para implantar o BMP foi utilizada a ferramenta Sitting Tool do SUSTAIN. Os locais que privilegiam a aplicação da bacia de retenção encontram-se assinalados na figura 4a).

Uma das soluções propostas para resolver os problemas nas secções SP1 e SP2, consiste na construção de uma bacia de retenção situada entre as secções SP1 e SP2 e na reformulação do coletor a montante da bacia de retenção. Optou-se por implantar a bacia de retenção neste local por ser um local com dimensões em planta que permitem a sua implantação, e também por se tratar de um terreno público.

Para tirar o máximo partido das dimensões em planta da bacia foram adotadas margens de 2 m, de forma a tentar explorar uma altura de 90 cm, desta forma consegue-se um declive inferior ao máximo permitido para um talude de uma bacia de retenção não acessível ao público que é de 1/2. Assim conseguiu-se obter uma área de 4091,5 m<sup>2</sup> para implantar o BMP. A figura 4b) mostra o modelo montado no SUSTAIN para simular as condições hidráulicas da zona de estudo.

Relativamente às secções SP4 e SP5, estas encontram-se largamente subdimensionadas, no entanto a maioria do caudal afluente a estas secções é proveniente da bacia da Ribeira dos Covões, pelo que a análise das mesmas não poderá ser feita independentemente desta bacia, visto a ribeira dos Covões drenar para a Vala do Sul.



A tabela 3 mostra os caudais obtidos com a implantação da bacia de retenção.

Tabela 3-Caudais obtidos com a implementação da bacia de retenção

Secção	Qinicial (m <sup>3</sup> /s)	Qfinal (m <sup>3</sup> /s)	Qmáximo (m <sup>3</sup> /s)
SP2	2,07	0,53	0,77
SP5	16,76	15,22	6,68

Através da análise da tabela 3 verifica-se com a implantação da bacia de retenção apenas foi possível reduzir os caudais nas secções SP2 e SP5. Embora se tenha conseguido atingir um caudal

inferior ao máximo na secção SP2, a bacia de retenção não é suficiente para resolver os problemas na secção SP5, visto a grande maioria do caudal que passa nesta secção ser gerado fora da bacia de Fala-Espadaneira, sendo necessário analisar a bacia da Ribeira dos Covões para se conseguir reduzir o caudal pluvial nesta secção.

Relativamente aos parâmetros da bacia de retenção que foram simulados, estes foram seriados no tempo com um passo de uma hora, estando os valores máximos apresentados na tabela 4.

Tabela 4 – Valores máximos para os parâmetros simulados na bacia de retenção.

Volume (m <sup>3</sup> )	Q <sub>afluente</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>efluente</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>infiltrado</sub> (m <sup>3</sup> /s)	h (m)
2583,38	1,62	0,09	0,04	0,63

#### 5. CONCLUSÕES

Atualmente a bacia de Fala-Espadaneira encontra-se servida por um sistema de drenagem separativo, relativamente à rede de drenagem pluvial (objeto de estudo do presente trabalho) esta é feita na sua maioria através de linhas de água afluentes à Vala do Sul. Atualmente a bacia de Fala-Espadaneira apresenta graves problemas no que diz respeito à drenagem pluvial.

As secções SP4 e SP5 constituem passagens hidráulicas localizadas na Vala do Sul (a qual transporta caudal produzido na bacia da Ribeira dos Covões para a bacia de Fala-Espadaneira). Para resolver os problemas nestas secções teria de se reformular estas passagens hidráulicas, no entanto esta medida não seria suficiente para eliminar as inundações que se têm verificado nos terrenos adjacentes à Vala do Sul. Para resolver estas inundações utilizando BMPs teria de se configurar o modelo da bacia da Ribeira dos Covões no SUSTAIN (à semelhança do que se fez para a zona de estudo), para se proceder à análise da mesma.

Quanto às secções SP1 e SP2, conseguiu-se resolver o problema através da implantação de uma bacia de retenção com uma altura de 90 cm e com uma dimensão em planta de 4091,5 m<sup>2</sup>, sendo necessário reformular a canalização da linha de água a montante da bacia de retenção.

A utilização do modelo SUSTAIN, associado às ferramentas de informação geográfica do ArcGis, permite estudar de forma estruturada e consistente várias opções de implementação de BMPs, contribuindo assim para o planeamento mais adequado de infraestruturas de BMP na gestão pluvial em meio urbano.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa AC, ÁGUAS DE COIMBRA, E. M., pela cedência de vários dados e informações sem os quais a elaboração deste trabalho não seria possível.

#### REFERÊNCIAS

AC, ÁGUAS DE COIMBRA, E.M. (2009). Plano de Drenagem da Bacia de Fala-Espadaneira.  
 Matos, J. (2003). Ambiente e Saneamento-Sistemas de Drenagem Urbana. Lisboa.  
 Ferreira, F. (1999). Gestão Integrada de Água Pluvial em Meio Urbano: Soluções de Controlo da Quantidade e Qualidade da Água. Tese de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNL Lisboa.  
 USEPA. (2009). SUSTAIN – A Framework for Placement of Best Management Practices in Urban Watersheds to Protect Water Quality. EPA/600/R-09/095. U.S Environmental Protection Agency.

#### CONTACTOS

Octávio CUNHA: octavio.cunha@ist.utl.pt; Ana GALVÃO: ana.galvão@ist.utl.pt; Filipa FERREIRA: filipamferreira@ist.utl.pt  
 Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa

## ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DO MODELO DIGITAL DE TERRENO EM SIMULAÇÕES HIDRODINÂMICAS: O CASO DO RIO TEJO

Ana Paula FALCÃO<sup>1</sup>, Magda MATIAS<sup>2</sup>, Rita PESTANA<sup>2</sup>, Alexandre GONÇALVES<sup>1</sup>, Amélia ARAÚJO<sup>3</sup> e Sandra HELENO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ICIST, DECivil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

<sup>2</sup> CERENA, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

<sup>3</sup> CEHIDRO, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

**RESUMO:** As cheias são dos fenómenos naturais com maiores impactos económicos e sociais. Com o objetivo de minimizar impactos e respetivos custos a União Europeia estabeleceu a diretiva Europeia (2007/60/EC) preconizando a necessidade de todos os países do espaço europeu disporem de ferramentas de gestão territorial que suportassem a tomada de decisões no âmbito das políticas de ordenamento do território. A construção destes cenários tem por base a utilização de modelos hidrodinâmicos para os quais a existência de um modelo digital de terreno único, que preencha todo o espaço geográfico em estudo, é uma condição que implica a integração de dados hidrográficos e topográficos, adquiridos por técnicas e equipamentos distintos, relativos a referenciais próprios e com diferentes níveis de detalhe e precisão. Este artigo apresenta resultados de comparação, em área inundada e nível da água, dos resultados obtidos por simulações hidrodinâmicas utilizando modelos digitais de terreno, de dois eventos de cheia ocorridos no Rio Tejo entre 29 de dezembro e 1 de janeiro de 2001, e 18 de novembro a 3 de dezembro de 2006. A área estudada é uma secção de 70 km, entre Tramagal e Santarém. Disponível para a área de estudo um conjunto de 29 perfis transversais, distanciados de aproximadamente 3 km e recolhidos por uma sonda acústica em 2012, um modelo digital de terreno adquirido em 2008 por técnicas avançadas de interferometria radar com dimensão de célula de 5 m, com elevada resolução na área da planície de inundação mas omissão em relação ao canal do rio e um conjunto de marcas de cheia. Em ordem a validar os resultados foi utilizada uma imagem radar de abertura sintética, disponibilizada pela Agência Espacial Europeia ao abrigo do projeto financiado pela FCT RIVERSAR e os registos da estação hidrométrica em Almourol.

**Palavras-chave:** cheias, modelos digitais do terreno, simulações hidrodinâmicas, rio Tejo.

**ABSTRACT:** Floods are one of the major and hazardous natural events, with the potential to cause fatalities, displacement of people and damage to the environment, to severely compromise economic development and to undermine the economic activities, as the European Floods Directive clearly recalls (Directive 2007/60/EC). In this paper we present a comparison of hydrodynamic simulation results, in flood extension and water elevation level, of two Tagus River flood events by using the acquired and combined digital elevation model. To analyse and validate those differences two SAR images, provided by ESA, and the water levels measured at Almourol hydrometric station were used.

**Key-words:** floods, topo-batimetric digital elevation model influence, hydrodynamic simulations

### 1. INTRODUÇÃO

As cheias são dos fenómenos naturais com maior potencial de perigosidade, responsáveis por mortes e migrações humanas, danos ambientais e elevadas perdas económicas (CSC, 2013) Com o objetivo de minimizar estes efeitos a diretiva europeia relativa às Inundações (Diretiva 2007/60/CE) estabelece um quadro de avaliação e gestão dos riscos de inundações, com base em simulações hidrodinâmicas para os países do espaço europeu.

A utilização de modelos hidrodinâmicos 2D requer a construção de um modelo digital do terreno único, que combine a informação topográfica e batimétrica, tornando a representação detalhada

dos terrenos e canais, em curso superior ou médio dos rios ou em regiões estuarinas, uma exigência e um ponto crítico do trabalho.

Existe uma enorme diversidade de técnicas e métodos de recolha de informação altimétrica e batimétrica, diferentes formatos e resoluções: a informação topográfica é geralmente obtida a partir de levantamentos fotogramétricos, imagens de satélite, LIDAR, Sistemas GNSS ou pelos métodos clássicos da topografia (Wegmüller et al., 2009) e a informação batimétrica é geralmente recolhida por SONAR (Costa et al., 2009). Dado que estes dois conjuntos de dados têm de ser combinados, por forma a gerar um modelo único, existe uma diversidade de métodos de interpolação que devem ser considerados (Merwade et al., 2008a; Merwade et al., 2008b; Merwade et al., 2009; Schäppi et al., 2010), com influência no resultado final (Matias et al., 2013).

O impacto do detalhe e precisão dos dados topo-batimétricos é dependente das características da área geográfica em estudo: em estuários o aumento de nível do mar e a magnitude das ondas tem um efeito maior no mapeamento de áreas alagadas, quando comparadas com as diferenças altimétricas nos vários modelos digitais do terreno (Araújo et al., de 2013; Falcão et al., 2013). Para secções fluviais, onde o impacto das ondas não é considerado, as características do modelo topo-batimétrico (tamanho da célula, precisão horizontal e vertical), a inclusão de construções artificiais, tais como os açudes, diques ou cais, assim como o conhecimento detalhado da ocupação do solo pode ser significativo nos resultados de simulação hidrodinâmica.

A validação dos resultados das simulações hidrodinâmicas recorre usualmente à comparação do nível de água registado em marcas de cheia e mais recentemente a imagens SAR de abertura sintética (Matias et al., 2013; Pestana et al., 2013; Roque et al., 2013; Mason et al., 2009; Tarpanelli et al., 2013) permitindo a comparação entre as áreas inundadas simuladas e mapeadas.

Este artigo pretende analisar a influência das características do modelo digital do terreno nas simulações hidrodinâmicas em ambiente fluvial, por comparação entre os níveis simulados e registados numa estação hidrométrica e por comparação entre áreas inundadas simuladas e as áreas obtidas através da segmentação de imagens ERS-1.

### 2. CASO DE ESTUDO

A secção em estudo, de aproximadamente 70 km, corresponde à secção do Rio Tejo entre as estações hidrométricas do Tramagal e Ómnias (Figura1). As cheias do Tejo estão associadas a fenómenos de precipitação contínua (ao longo de várias semanas), ocorrendo principalmente durante os meses de inverno, dando origem a hidrogramas de cheia com durações típicas entre 4 e 7 dias (Salgueiro et al., 2013).



Figura 1 – Localização da secção do rio em estudo, com a identificação das estações hidrométricas de Tramagal, Almourol e Ómnias.

Relativamente à construção do modelo topo-batimétrico os dados utilizados foram os seguintes:

- i) Modelo digital do terreno adquirido em 2008 pela empresa Intermap Technologies, em formato grelha com resolução de 5m (DEM2008). Dado que este modelo foi obtido por técnicas interferométricas avançadas, apresenta boa precisão vertical nas áreas das planícies de inundação mas não apresenta qualquer informação batimétrica no canal do rio uma vez que a água funciona como superfície de reflexão especular não permitindo o retorno de qualquer sinal ao sensor. A aquisição da informação ocorreu durante um período seco permitindo uma boa definição das margens do rio, bancos de areia e mouchões;
- ii) Conjunto de 24 perfis transversais, adquiridos em 2012 com sonar de dupla-frequência (ODOM MK2), numerados sequencialmente entre 33-59, com uma distância média de cerca de 3 km entre perfis.

Uma vez que o modelo DEM2008 está relacionado com o Sistema Europeu de Referência Vertical e os levantamentos batimétricos com a referência nacional – Nível médio das águas do mar determinado com base nos registos do marégrafo de Cascais – foram acrescentados 20 cm às altitudes do DEM2008, por forma a compatibilizar a informação;

- iii) Dados hidrométricos (caudais e níveis) registados nas estações hidrométricas de Tramagal, Almourol e Ómnias relativos às cheias de Janeiro de 2001 e de Novembro de 2006;
- iv) Imagens SAR ERS-1 fornecidas pela Agência Espacial Europeia e classificadas nas classes água-terra.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Construção de um modelo altimétrico para o canal do rio

A construção do modelo topo-batimétrico para a secção do rio em estudo integrou a informação dos perfis transversais com a informação altimétrica do modelo DEM2008, de acordo com a metodologia apresentada em Matias et al. (2013). A reconstrução da morfologia do canal principal do rio recorreu à definição das margens do rio com base no modelo DEM2008, à definição do talvegue, considerado a meia distância entre as margens do rio na ausência de informação complementar, e de duas linhas auxiliares, para as quais os valores altimétricos foram linearmente interpolados a partir da informação dos perfis transversais. Foi ainda incorporado no modelo a informação altimétrica relativa a bancos de areia e mouchões, identificados no DEM2008.

Após a construção do modelo batimétrico para o canal do rio, foi necessário combiná-lo com o DEM2008, de forma a dispor de um modelo único para a área de estudo, impondo uma transição regular entre os dois conjuntos de dados por forma a não gerar inconsistências nas simulações hidrodinâmicas. Foi considerada uma área envolvente às margens do rio identificadas no DEM2008 e através da interpolação linear dos pontos auxiliares do limite externo da zona envolvente, extraídos do DEM2008 com os pontos auxiliares do limite interno da zona envolvente, extraídos da metodologia apresentada no ponto anterior, foi construída uma malha topo-batimétrica. Finalmente a combinação de toda a informação através da atribuição de prioridades: prioridade à região intermédia entre o canal e a planície de inundação, seguida do modelo do canal do rio e por fim o DEM2008 para obter as altitudes intermédias entre a superfície de inundação e o canal do rio. Este modelo topo-batimétrico foi posteriormente reamostrado em grelha regular de dimensão 30m (CDEM30).

#### 3.2. Modelo hidrodinâmico

As simulações foram realizadas recorrendo ao software comercial TUFLOW, cuja solução tem por base a resolução das equações de Navier-Stokes, considerando uma malha estruturada. Este modelo permite a introdução de estruturas 1D ou 2D, como por exemplo diques ou pontões. O parâmetro rugosidade foi obtido com base na informação disponível na carta de ocupação dos solos Corine Land Cover 2006 e os índices descritos em literatura, de acordo com Pestana et al. (2013). As condições de fronteira (níveis e caudais) foram obtidas a partir dos registos das estações hidrométricas Tramagal e Ómnias.

Os eventos considerados neste trabalho correspondem a duas ocorrências de cheia cujas simulações correspondem aos períodos entre 5 de Dezembro de 2000 e 9 de Janeiro de 2001 (Cheia 2001) e 18 de Novembro a 3 de Dezembro de 2006 (Cheia 2006) com caudais máximos de respetivamente 4675 m<sup>3</sup>/s e 3266 m<sup>3</sup>/s.

## 4. RESULTADOS E CONCLUSÕES

A validação dos resultados da simulação teve por base a utilização de imagens SAR-ERS segmentadas de acordo com a metodologia apresentada em Roque et al. (2013). Na Figura 2a e 2b são apresentados os contornos geográficos relativos às frentes de inundação obtidos por simulação do evento ocorrido em Novembro de 2006 considerando o modelo digital de terreno Dem2008 e o modelo combinado CDEM30 e na figura 3a e 3b os contornos geográficos relativos às frentes de inundação obtidos por simulação do evento ocorrido em Janeiro de 2001 considerando os modelos digitais de terreno descritos anteriormente.

Na tabela 1 são apresentados alguns resultados relativos à comparação entre as áreas inundadas obtidas por simulação com os diferentes modelos digitais do terreno e as áreas segmentadas.

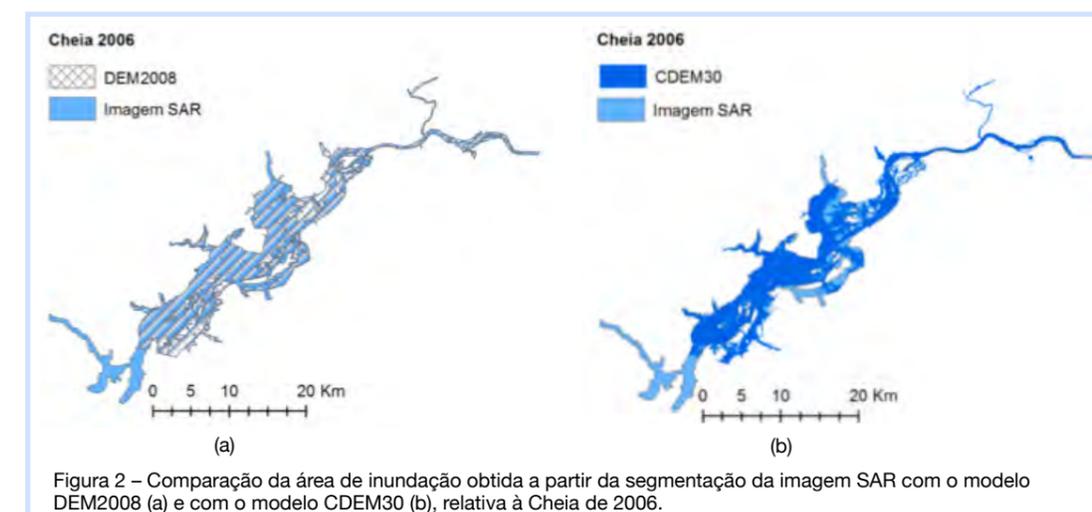


Figura 2 – Comparação da área de inundação obtida a partir da segmentação da imagem SAR com o modelo DEM2008 (a) e com o modelo CDEM30 (b), relativa à Cheia de 2006.

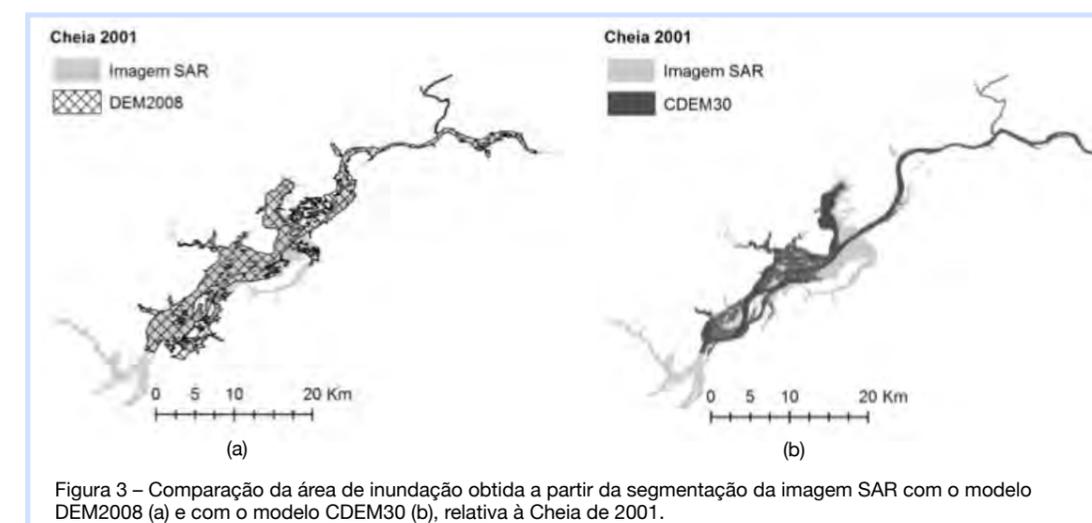


Figura 3 – Comparação da área de inundação obtida a partir da segmentação da imagem SAR com o modelo DEM2008 (a) e com o modelo CDEM30 (b), relativa à Cheia de 2001.

Tabela 1 – Resultados estatísticos relativos aos resultados obtidos por simulação

		Coefic. Kappa	Erros de omissão (%)	Erros de comissão (%)
Cheia 2001	DEM2008	0,77	23,52	21,11
	CDEM30	0,75	51,19	3,90
Cheia 2006	DEM2008	0,76	13,08	26,70
	CDEM30	0,63	21,83	22,62

Da análise comparativa às áreas inundadas obtidas por simulação, considerando os modelos digitais do terreno DEM2008 e CDEM30, com a imagem SAR classificada verifica-se que em ambos os eventos de cheia os melhores resultados em área inundada são obtidos com o modelo combinado. Relativamente aos valores de erros de omissão e comissão, presentes na tabela 1, relativos à área inundada, verifica-se uma maior acordo entre a imagem segmentada e os valores simulados relativos a Cheia 2006 possivelmente justificado pelo facto das classes consideradas para atribuição dos coeficientes de rugosidade (Carta Corine Land Cover de 2006) ser contemporânea do evento simulado.

Na comparação entre os valores dos níveis simulados e registados na estação de Almourol verifica-se que as maiores diferenças ocorrem com a utilização dos DEM2008, com uma amplitude de diferenças de 1,74 m para a Cheia 2001 e com uma amplitude de diferenças de 7,24 m para a Cheia 2006.

#### AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Projecto RIVERSAR (PTDC/ CTE-GIX/099085/2008), financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia e a imagem SAR utilizada para a validação do modelo foi fornecida pela ESA ao abrigo de um projecto CAT-1. Um agradecimento especial à equipa da Agência Portuguesa do Ambiente Teresa Alvares, Emília Van Zeller e Victor Rodrigues pela dedicação ao trabalho de campo que conduziu à recolha da informação batimétrica em 2012.

#### REFERÊNCIAS

- Araújo, M.A.V.C., Mazzolari, A., Trigo-Teixeira, A. (2013). An object oriented mesh generator: application to flooding in the Douro estuary. *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 65, 642–647.
- Costa, B.M., Battista, T.A., Pittman, S.J. , 2009. Comparative evaluation of airborne LiDAR and ship-based multibeam SoNAR bathymetry and intensity for mapping coral reef ecosystems. *Remote Sensing of Environment* 113(5), 1082–1100.
- Climate Service Center, Report 12, The European Floods Directive and Opportunities offered by Land Use Planning at URL://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/csc-report\_12.pdf (consultado em 2014.04.29)
- Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks at URL: http://eur-lex.europa.eu (consultado em 2013.03.10).
- Falcão, A.P., Mazzolari, A., Gonçalves, A.B., Araújo, M.A.V.C., Trigo-Teixeira, A., 2013. Influence of elevation modelling on hydrodynamic simulations of a tidally-dominated estuary. *Journal of Hydrology* 497, 152–164.
- Mason, D.C., Horritt, M. S., Speck, R. & Bates, P. D. (2009). Improving flood inundation models using remotely sensed data. In: *International Conference on Space Technology*, August 24–26, 2009, Thessaloniki.
- Matias, M. P.; Falcão, A.P.; Gonçalves, A.B.; Pestana, R.; Heleno, S.; Van Zeller, E., Alvares, T; Rodrigues, V.: “ A methodology to generate a digital elevation model by combining topographic and bathymetric data in fluvial environments”, ESA Living Planet Symposium, Edinburgh, 9–13 September 2013.
- Merwade, V. (2009). Effect of spatial trends on interpolation of river bathymetry. *Journal of Hydrology* 371, 169–181.
- Merwade, V., Cook, A., Coonrod, J. (2008a). GIS techniques for creating river terrain models for hydrodynamic modeling and flood inundation mapping. *Environmental Modelling and Software* 23(10–11), 1300–1311.
- Merwade, V., Oliveira, F., Arabi, M., Edleman, S. (2008b). Uncertainty in flood inundation mapping: currents issues and future directions. *Journal of Hydrologic Engineering* 7, 608–620.
- Pestana, R., Matias, M., Canelas, R., Roque, D., Araújo, A., Van Zeller, E., Trigo-Teixeira, A., Ferreira, R., Oliveira, R., Heleno, S. (2013). Calibration of 2D Hydraulic Inundation Models in the Floodplain Region of the Lower Tagus Rive. ESA Living Planet Conference 2013, Edinburgh, UK.
- Roque, D., Afonso, N., Fonseca, A.M., Heleno, S. (2013). Building a database of flood extension maps using satellite imagery. ESA Living Planet Conference 2013, Edinburgh, UK.
- Salgueiro, A.R., Machado, M.J., Barriados, M., Garcia Pereira, H., Benito, G. (2013). Flood magnitudes in the Tagus River (Iberian Peninsula) and its stochastic relationship with daily North Atlantic Oscillation since mid-19th Century. *Journal of Hydrology*, 502, 191–201.
- Schäppi, B., Perona, P., Schneider, P., Burlando, P. (2010). Integrating river cross section measurements with digital terrain models for improved flow modelling applications. *Computers & Geosciences* 36(6), 707–716.
- Tarpanelli, A., Brocca, L., Melone, F., Moramarco, T. (2013). Hydraulic modelling calibration in small rivers by using coarse resolution synthetic aperture radar imagery. *Hydrological Processes* 27(9), 1321–1330.
- Wegmüller, U., Santoro, M., Werner, C., Strozzi, T., Wiesmann, A., Lengert, W. (2009). DEM generation using ERS–ENVISAT interferometry. *Journal of Applied Geophysics* 69(1), 51–58.

#### CONTACTO

ana.p.falcao@tecnico.ulisboa.pt

## INFLUÊNCIA DOS MODELOS ALTIMÉTRICOS EM SIMULAÇÕES HIDRODINÂMICAS – METODOLOGIA APLICADA AO RIO TEJO

Magda Paraíso MATIAS<sup>1</sup>, Ana Paula FALCÃO<sup>1</sup>, Alexandre B. GONÇALVES<sup>1</sup>, Rita PESTANA<sup>1</sup>  
Sandra HELENO<sup>1</sup>, Teresa ALVARES<sup>2</sup>, Emília VAN ZELLER<sup>2</sup>, Victor RODRIGUES<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

<sup>2</sup>Agência Portuguesa do Ambiente

**RESUMO:** As cheias são um dos fenómenos naturais extremos que resultam em elevados prejuízos, com perda de vidas e de bens. A simulação de cheias recorrendo a modelos hidrodinâmicos constitui uma valiosa ferramenta na prevenção e mitigação dos seus impactos, mas estes modelos dependem da utilização de modelos digitais de terreno que incluam informação altimétrica contínua entre o canal do rio (batimetria) e a planície de inundação (informação topográfica). A construção de um modelo altimétrico único e coerente, que disponibilize informação contínua, é imprescindível, mas implica a compatibilização de informação batimétrica e topográfica, recolhida em distintas datas de aquisição, com diversos equipamentos, e com variação da precisão, da resolução e distribuição espacial resultantes.

Este artigo apresenta uma metodologia para a construção de um modelo altimétrico integrado recorrendo a métodos de interpolação. A área de estudo centra-se num troço de cerca de 70 km do rio Tejo, entre Tramagal e Santarém. A escolha do Tejo deveu-se às cheias cíclicas que afetam uma das mais importantes áreas agrícolas de Portugal bem como todo o tecido socioeconómico. Segundo dados da Autoridade Nacional de Proteção Civil, existem mais de 100 pontos críticos na bacia do Tejo, a maioria dos quais se localiza a montante de Almourol e na Lezíria do Tejo. No caso estudado é combinada informação de um modelo altimétrico adquirido por técnicas avançadas de interferometria radar em 2008, com 5 m de resolução espacial, para as áreas de planície de inundação, com informação batimétrica de 24 secções transversais, adquirida por ecossonda em 2012 e com um espaçamento de cerca de 3 km. Na validação dos resultados foram utilizadas imagens de radar de abertura sintética (SAR) fornecidas pela Agência Espacial Europeia (ESA) ao abrigo de um projeto CAT-1. A metodologia foi desenvolvida no âmbito de uma tarefa proposta no projeto RIVERSAR, financiado pela FCT.

**Palavras-chave:** mapas de inundação, imagens SAR, modelo altimétrico, modelos hidrodinâmicos, Rio Tejo

**ABSTRACT:** In hydrodynamic simulation models a Digital Terrain Model (DEM) valid for all the study area is usually a very hard to fulfill requirement, as it is necessary to get continuous information between the river basin and the river channel, due to the different acquisition equipment, different time and spatial resolutions accuracy. The presented methodology combines topographic and bathymetric data acquired by radar techniques in 2008 for the floodplain area and cross-sections data, acquired in 2012 by SONAR in the river channel and combined by interpolation techniques. To validate the results Synthetic Aperture Radar (SAR) images provided by ESA were used.

**Keywords:** Flood maps, SAR images, Digital terrain model, Hydrodynamic models, Tagus river

## 1. INTRODUÇÃO

As cheias são fenómenos naturais extremos, temporários, normalmente associados a precipitações moderadas e permanentes ou intensas que levam ao aumento do caudal nos cursos de água. Os prejuízos que daí resultam, muitas vezes avultados, exigem que a sua prevenção e mitigação seja uma prioridade. Neste contexto, os modelos hidrodinâmicos demonstram ser uma ferramenta de grande utilidade para a simulação da área inundada, mas para o funcionamento de modelos hidrodinâmicos 2D/3D é necessário ter uma elevação contínua entre a planície de inundação do rio (informação topográfica) e o canal (batimetria), em que os processos de modelação estão diretamente relacionados com os modelos altimétricos (DEM) (Ali et al., 2009; Cea e French, 2012). Todavia, para se criar um DEM contínuo, é necessário harmonizar dados, recolhidos através de diferentes técnicas, formatos, precisões e escalas temporais.

Merwade et al. (2008a) apresenta uma metodologia de construção de um DEM a partir de dados de informação topográfica e batimétrica, baseada em técnicas de interpolação. Contudo, a metodologia está muito centrada na construção do DEM. O que se pretende com este artigo é mostrar os passos para eliminar os constrangimentos que advêm das diferentes origens e características dos dados e os resultados da sua aplicação nos modelos hidrodinâmicos. No caso de aplicação, o novo DEM criado de acordo com o método apresentado foi validado através da realização de uma simulação de cheia de um evento selecionado, e comparado com a segmentação desse evento sobre uma imagem SAR.

## 2. CASO DE ESTUDO

A área de estudo é uma secção com cerca de 70 km do rio Tejo (Fig. 1), entre Tramagal e Ómnias. O Tejo é responsável por frequentes cheias que afetam importantes áreas agrícolas e resultam em prejuízos elevados. Segundo dados publicados pela Autoridade Nacional de Proteção Civil, existem mais de 100 pontos críticos na bacia do Tejo, a maioria na área de estudo selecionada.



Figura 1 – Localização da secção do rio em estudo, com a identificação das estações hidrométricas de Tramagal, Almourol e Ómnias.

Para este trabalho foi utilizado um modelo altimétrico (designado DEM2008), adquirido em 2008 por técnicas de radar, com 5 m de resolução espacial e grande precisão na zona da planície de inundação mas sem informação nas zonas cobertas por água, uma vez que o sinal de radar não captura o relevo submerso no instante de aquisição. Também foram utilizados levantamentos

batimétricos adquiridos por equipamento SONAR para 24 secções transversais do rio, para dois períodos distintos – 1998 e 2012. A distância média entre as secções é de cerca de 3 km (Fig. 2). Nas estações batimétricas (Tramagal, Almourol e Ómnias) foram realizados levantamentos longitudinais em 2007, com 5 m de resolução espacial, e foi utilizado um levantamento longitudinal entre perfis (33-34) adquirido em 2012, para validar a delimitação do talvegue. Uma vez que o conjunto de dados DEM2008 está relacionado com o Sistema Europeu de Referência Vertical e os levantamentos batimétricos com a referência nacional (Marégrafo de Cascais), foi acrescentado o valor de 20 cm a cada uma das altitudes originais do conjunto de dados DEM2008.

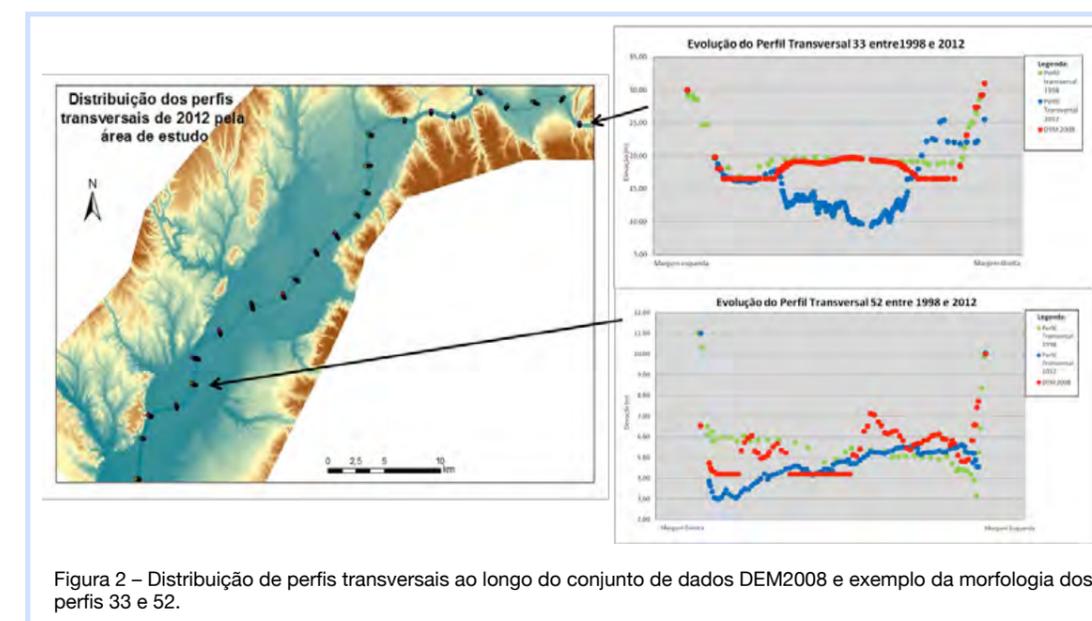


Figura 2 – Distribuição de perfis transversais ao longo do conjunto de dados DEM2008 e exemplo da morfologia dos perfis 33 e 52.

Apesar de o conjunto de dados DEM2008 ter sido adquirido por técnicas que não permitem a leitura abaixo da superfície da água, o seu levantamento foi efetuado numa altura em que os níveis hidrométricos apresentavam valores muito baixos, o que permitiu fazer uma comparação com os levantamentos batimétricos. Verificou-se que os melhores dados a utilizar seriam os de 2012, não só pela menor diferença temporal, mas também por apresentarem mais semelhanças na sua morfologia.

## 3. METODOLOGIA

### 3.1. Construção de um modelo altimétrico para o canal do rio

O primeiro passo para a construção da metodologia proposta passa por reconstruir a morfologia do talvegue do canal, através da combinação das secções transversais com o conjunto de dados DEM2008. Desta forma seguiram-se os seguintes passos:

- Delimitação das margens esquerda e direita do talvegue a partir do DEM2008;
- Delimitação do início e fim do talvegue a partir dos pontos mais profundos registados nas secções transversais. Entre secções, foi desenhado no centro entre as margens. A linha do talvegue foi traçada com segmentos de 25 m;
- Definição de duas linhas auxiliares entre o talvegue e as margens esquerda e direita;

- Consideração de algumas exceções em casos em que se verificou a existência de bancos de areia e mouchões (nestes casos o DEM2008 apresenta valores reais); foi considerada a morfologia do talvegue registada nos levantamentos de 2007;
- Ao longo das linhas auxiliares, distribuição de pontos interpolados a partir das cotas registadas nas secções transversais, para conferir uma morfologia mais realista do fundo do canal (Figura 3).

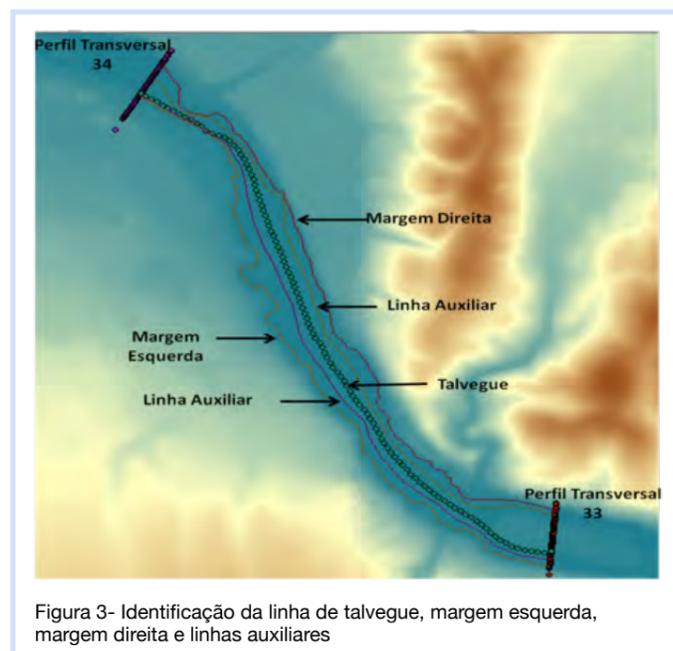


Figura 3- Identificação da linha de talvegue, margem esquerda, margem direita e linhas auxiliares

A opção em acrescentar linhas auxiliares entre o talvegue e as margens, deveu-se à variabilidade da largura do canal entre 50 m e 200 m, em que pareceu ser apropriada a sua utilização para resolver situações como a da figura 4, onde é possível verificar a diferença da morfologia do canal em aplicar ou não linhas auxiliares entre o talvegue e as margens. Com a sua aplicação, o declive entre o canal e as margens é menos abrupto e os bancos de areia ganham maior expressão.

A utilização de linhas auxiliares também permite fazer a aproximação da morfologia real como a figura 5, que ilustra um caso em que a inclusão das linhas auxiliares permitiram modelar uma secção mais profunda do canal entre um banco de areia e a margem e que seria ignorado se apenas fossem utilizadas três das cinco linhas de interpolação.

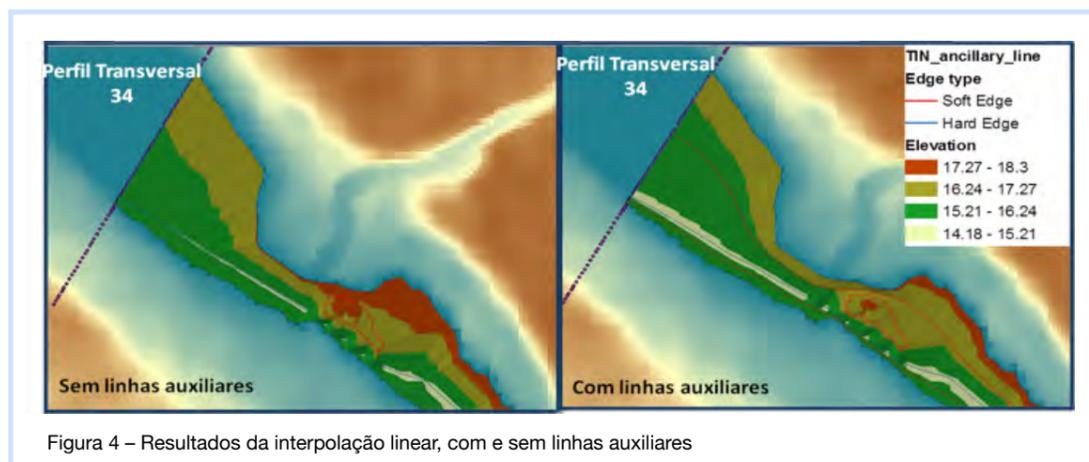


Figura 4 – Resultados da interpolação linear, com e sem linhas auxiliares

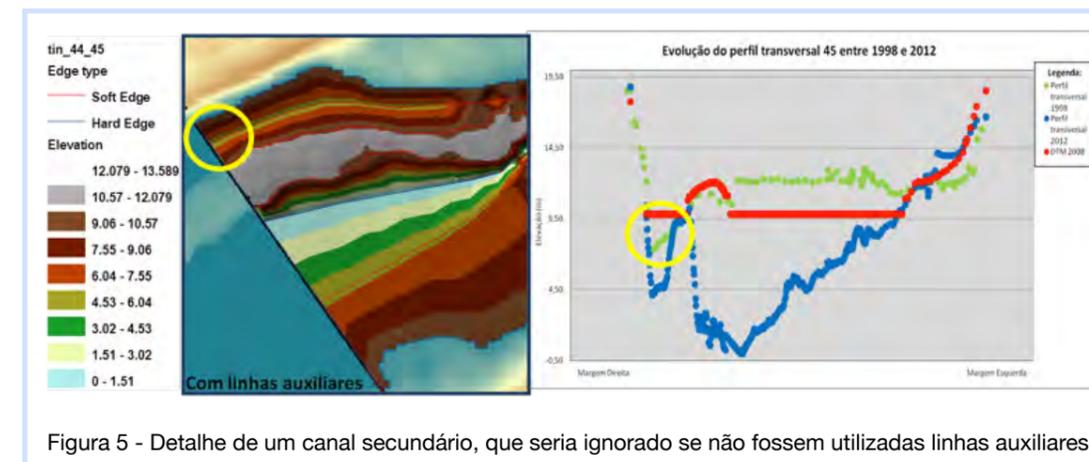


Figura 5 - Detalhe de um canal secundário, que seria ignorado se não fossem utilizadas linhas auxiliares

A figura 6 mostra uma situação que requer alguma atenção, nomeadamente a presença de bancos de areia que são atravessados por secções transversais. Estes devem ser sempre incluídos, de forma a modelar a superfície com maior precisão.

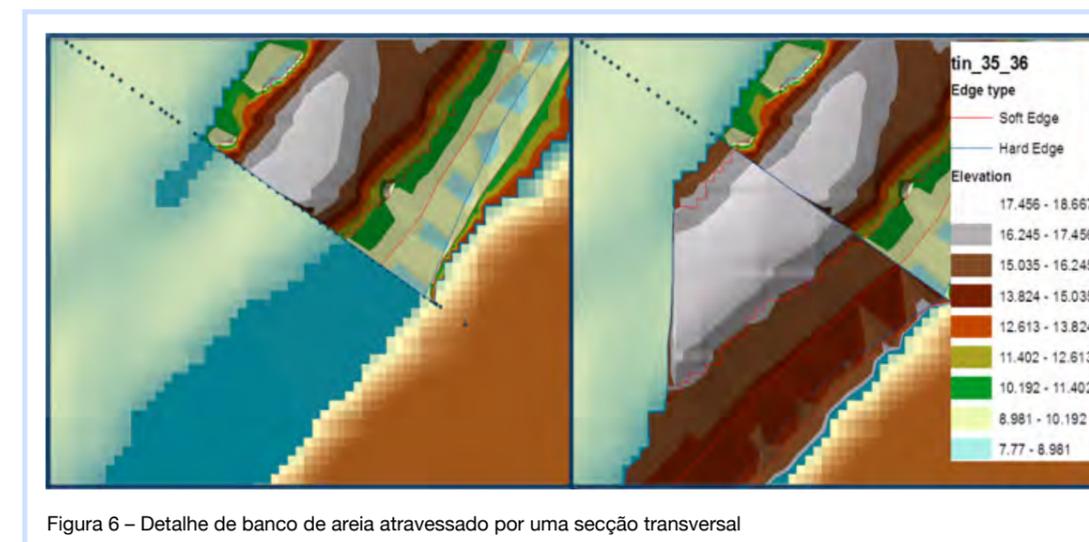


Figura 6 – Detalhe de banco de areia atravessado por uma secção transversal

Outro aspeto que deve ser analisado é a alteração da morfologia do canal. Na figura 7 é possível verificar que entre 2008 e 2012 o talvegue sofreu uma modificação, onde antes passava mais próximo da margem esquerda e em 2012 mais centrado na secção transversal. Desta forma, corrigiu-se a passagem do talvegue para a área onde atualmente está localizado e fez-se um corte no banco de areia para a morfologia de aproximar mais da realidade.

Por último, a figura 8 mostra zonas com bancos de areia e mouchões mais complexas, que foca a importância da delimitação manual.

Esta metodologia foi aplicada a todo o canal do rio entre os perfis 33 e 56 e harmonizada com o conjunto de dados DEM2008 para a planície de inundação.

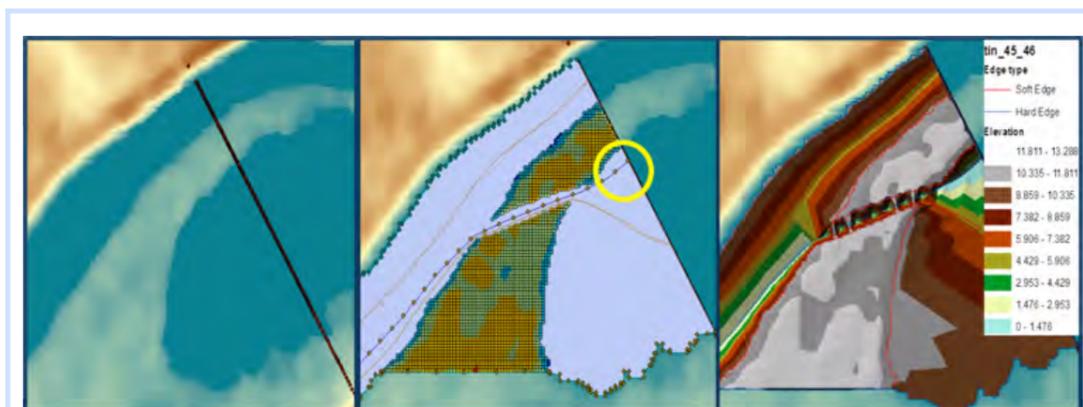


Figura 7 – Detalhe de alteração da morfológica em bancos de areia



Figura 8 – Detalhe da complexidade de bancos de areia e mouchões numa secção do rio

### 3.2. Criação de altitudes para a região intermédia

Depois da construção de um modelo altimétrico para o canal do rio, foi necessária a combinação com o DEM2008, de forma a criar apenas um modelo para a área de estudo e como as simulações hidrodinâmicas exigem. Esta fase baseia-se novamente na estratégia de Merwade (2008) através da delimitação de zonas de tampão, onde se combinaram as altitudes da planície de inundação com as altitudes do canal, através da interpolação linear dos pontos auxiliares do limite externo da zona de tampão, extraídos do DEM2008 com os pontos auxiliares do limite interno da zona de tampão, extraídos da metodologia apresentada no ponto anterior.

### 3.3. Combinação dos modelos do canal e planície de inundação

O último passo para concluir esta metodologia passa pela combinação do conjunto de dados DEM2008 e o novo modelo criado. Assim, dá-se prioridade à região intermédia entre o canal e a planície de inundação, seguida do modelo do canal do rio e por fim o DEM2008 para obter as altitudes intermédias entre a superfície de inundação e o canal do rio (Fig. 9). Depois deste passo reamostra-se o novo modelo altimétrico para uma resolução espacial de 50 m.

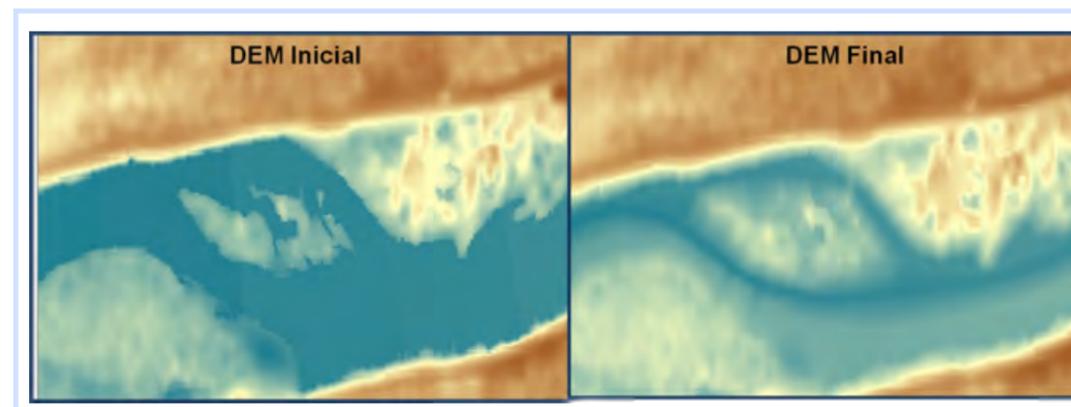


Figura 9 – Detalhe da complexidade de bancos de areia e mouchões numa secção do rio

## 4. RESULTADOS

O modelo altimétrico criado a partir da metodologia descrita foi aplicado a uma simulação hidrodinâmica modelada pelo software TUFLOW para um evento de cheia ocorrido em 5 de janeiro de 2001. Os resultados foram validados através da comparação com a segmentação da extensão da cheia em imagens SAR, adquiridas pelo sensor ERS-2 no dia do evento, com os resultados da simulação. A Figura 10 permite observar que a simulação gerada com o novo modelo altimétrico é muito próxima da segmentação da cheia na imagem SAR.

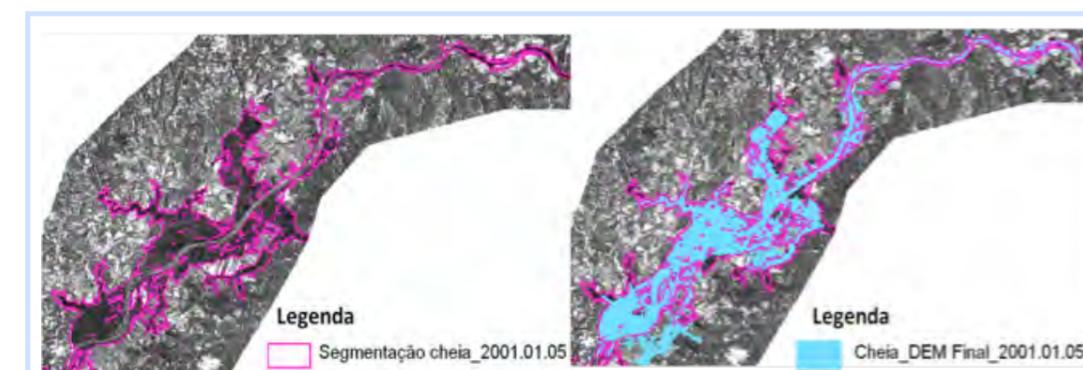


Figura 10 – Comparação da extensão da segmentação da cheia na imagem SAR e a área inundada na simulação – imagem SAR cedida pela ESA

## 5. CONCLUSÕES

O objetivo da metodologia apresentada teve como principal foco a construção de um modelo altimétrico que combinasse dados topográficos e dados batimétricos num só modelo. As especificidades da morfologia do rio devem ser consideradas na construção do modelo de forma a torná-lo o mais semelhante possível com a morfologia real, considerando não só especificidades físicas como a presença de mouchões, bancos de areia, alterações morfológicas, entre outros,

mas também especificidades técnicas como a resolução espacial, a origem dos dados e a data de aquisição dos mesmos. No caso-estudo do presente artigo, considerou-se importante a utilização de técnicas.

#### AGRADECIMENTOS

Esta metodologia foi desenvolvida no âmbito do projeto RIVERSAR (PTDC/ CTE-GIX/099085/2008), financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia. A imagem SAR utilizada para a validação do modelo foi fornecida pela ESA ao abrigo de um projeto CAT-1.

#### REFERÊNCIAS

- Ali, A., Zhang, H. & Lemckert, C.J. (2009). Numerical of hydrodynamics of a very shallow estuarine systems – Coombah Lake, Gold Coast, Australia. *Journal of Coastal Research* 56, 922–926.
- Buttner, O. (2007). The influence of topographic and mesh resolution in 2D hydrodynamic modelling for floodplains and urban areas. *Geophysical Research Abstracts*, 9, 08232.
- Cea, L. & French, J.R. (2012). Bathymetric error estimation for the calibration and validation of estuarine hydrodynamic models. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 100, 124–132.
- Di Baldassarre, G., Schumann, G., Brandimarte, L. & Bates, P. (2011) Timely low resolution SAR imagery to support floodplain modelling: a case study review. *Surveys in Geophysics*, 32(3) 255–269.
- Hardy, R. J., Bates, P.D. & Anderson, M.G. (1999). The importance of spatial resolution in hydraulic models for floodplain environments. *Journal of Hydrology* 216, 124–136.
- Horritt, M.S., Bates, P.D. & Mattinson, M.J. (2006). Effects of mesh resolution and topographic representation in 2D finite volume models of shallow water fluvial flow. *Journal of Hydrology* 329, 306–314.
- Mason, D.C., Horritt, M. S., Speck, R. & Bates, P. D. (2009) Improving flood inundation models using remotely sensed data. In: *International Conference on Space Technology, August 24-26, 2009, Thessaloniki*.
- Merwade, V., Cook, A. & Coonrod, J. (2008a). GIS techniques for creating river terrain models for hydrodynamic modeling and flood inundation mapping. *Environmental Modelling and Software* 23, 1300–1311.
- Merwade, V., Oliveira, F., Arabi, M. & Edleman, S. (2008b). Uncertainty in flood inundation mapping: currents issues and future directions. *Journal of Hydrologic Engineering* 7, 608–620.
- Merwade, V. (2009). Effect of spatial trends on interpolation of river bathymetry. *Journal of Hydrology* 371, 169–181.
- Omer, C.R., Nelson, E.J. & Zundel, A.K. (2003). Impact of varied data resolution on Hydraulic Modeling and Floodplain Delineation. *Journal of the American Water Resources Association* 39(2), 467–475.

#### CONTACTOS

magda.matias@tecnico.ulisboa.pt, ana.p.falcao@tecnico.ulisboa.pt, alexandre.goncalves@tecnico.ulisboa.pt, nim\_ha@yahoo.co.uk, sandra.helena@tecnico.ulisboa.pt, teresa.alvares@apambiente.pt, emilia.vanzeller@apambiente.pt, victorfr Rodrigues@apambiente.pt

## INTERVENÇÃO E MEDIDAS DE EMERGÊNCIA PÓS SISMO

Cristina OLIVEIRA e Francisco SURRECIO

Escola Superior de Tecnologia do Barreiro, Instituto Politécnico de Setúbal

**RESUMO:** Um sismo é um fenómeno natural que corresponde à libertação de uma grande quantidade de energia resultante de uma rutura mais ou menos violenta no interior da crosta terrestre. Este acontecimento provoca vibrações que se transmitem a uma vasta área circundante e que poderão conduzir a efeitos devastadores. Após o sismo principal geralmente seguem-se reajustamentos do material rochoso que dão origem a sismos de menor intensidade, denominados de réplicas.

A construção de estruturas novas em zonas de sismicidade importante deve prever este tipo de ação, dotando os edifícios de adequado comportamento sísmico. Atualmente, já vários países possuem regulamentos que contemplam esta situação, havendo ainda a necessidade de desenvolver este tipo de documentos em países com risco sísmico importante ou, mais relevante ainda, a necessidade de implementar adequadamente o preconizado nos regulamentos. No entanto, quando ocorre uma catástrofe sísmica, os maiores problemas surgem, não das estruturas recentes, mas das estruturas mais antigas e de fatores como a resposta da população em conjugação com os sistemas de proteção civil existentes. O momento pós-sismo é crítico, havendo a necessidade de avaliar corretamente os danos ocorridos, definir e executar rapidamente estruturas de contenção e prevenir comportamentos de risco das populações.

Neste artigo, são apresentados seis sismos em três Continentes diferentes: na Europa: L'Aquila (Itália) em 2009 e Lorca (Espanha) em 2011; na América do Sul, Port-au-prince (Haiti) em 2010 e Maule (Chile) em 2010; e por fim no Continente Asiático, os sismos de Kobe (Japão) em 1995 e Qinghai (Republica Popular da China) em 2010. Cada sismo é descrito com base nas suas características e efeitos quer nas construções, quer nas populações e no retomar da sua vida normal. As medidas de intervenção e de emergência tomadas são analisadas e comentadas sob a perspetiva de um eminente sismo de intensidade elevada em Portugal, retirando conclusões que pretendem ser úteis para a definição de um cenário de emergência nacional.

Neste momento, Portugal não se encontra preparado para responder adequadamente a um sismo de intensidade elevada. É necessário definir estratégias de intervenção em construções que permitam minimizar riscos para as populações. Este artigo pretende iniciar a discussão neste tópico.

**Palavras-chave:** Sismos, Medidas de Emergência, Intervenção Estrutural, Pós-sismo, Proteção Civil

## 1. INTRODUÇÃO

As medidas de emergência acionadas após um evento sísmico são determinantes na redução do número de vítimas e no impacto direto na população. Estas ações devem ser faseadas, permitindo congregação e coordenar recursos.

As medidas de emergência pós sismo podem ser divididas em duas fases, fase de emergência e fase de recuperação. A fase de emergência constitui a fase imediatamente após a ocorrência sísmica e só termina quando é alcançada a fase de recuperação. Esta última envolve a criação de um plano de recuperação, com preocupações relativas à restituição das condições de habitabilidade e salubridade, próximas das existentes anteriormente à ocorrência do sismo.

## 2. CASOS DE ESTUDO

Diversos eventos sísmicos têm marcado o panorama mundial. A observação destes eventos e o seu impacto na sociedade mundial demonstra uma grande importância do pré e pós-sismo por forma a minimizar danos materiais e sociais.

Este documento pretende, através da observação dos eventos sísmicos, representados na Tabela 1, e da resposta das populações afetadas, reunir informação por forma a compilar ensinamentos para Portugal, nas áreas da Sismologia, Engenharia, Tectónica, Social, entre outras.

Tabela 1 – Magnitude dos casos de estudo (adaptado de (USGS,2012), (Rodrigues et. al, 2012) (Boroschek et al, 2010) (Ferreira, 2012) (The City of Kobe, 2012) (EMSC, 2010))

Continente	Região	Magnitude (M <sub>w</sub> )	Data	Fonte
Europa	L'Aquila (Itália)	6.3	06/04/2009	INGV <sup>1</sup>
	Lorca (Espanha)	5.1	11/05/2011	IGN <sup>2</sup>
América do Sul	Maule (Chile)	8.8	27/02/2010	USGS <sup>3</sup> NEIC <sup>4</sup> (WDCS-D)
	Port-au-Prince (Haiti)	7.0	12/01/2010	USGS NEIC (WDCS-D)
Asia	Kobe (Japão)	6.9	16/01/1995	USGS NEIC
	Qinghai (China)	6.9	13/04/2010	USGS NEIC (WDCS-D)

Os sismos escolhidos diferem em vários aspetos, mas foram selecionados por de alguma forma contribuírem para a análise da resposta pós-sismo que importa analisar.

<sup>1</sup> Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, em Roma, Itália

<sup>2</sup> Instituto Geográfico Nacional, Madrid, Espanha

<sup>3</sup> U. S. Geological Survey

<sup>4</sup> National Earthquake Information Center

## 2.1. Europa

Os eventos sísmicos escolhidos para caso de estudo, foram o sismo de L'Aquila em 2009 e Lorca em 2010. A escolha passa pela proximidade cultural e social perante os sismos semelhantes, principalmente no caso de Lorca. Em ambos os casos, pode-se constatar que as técnicas de construção são algo semelhantes com as praticadas em Portugal.

### 2.1.1. L'Aquila

O primeiro caso de estudo é o sismo de magnitude M<sub>w</sub> 6.3 que afetou a cidade de L'Aquila a 6 de Abril de 2009, com uma profundidade estimada do epicentro de 10 km. O evento sísmico originou 305 vítimas mortais, mais de 1500 feridos e mais de 70 000 desalojados. Cerca de 15 000 edifícios ficaram danificados ou colapsaram totalmente, tendo-se gerado custos económicos estimados de 10-12 Biliões de Euros (€) (Rodrigues et. al, 2012).

Uma das primeiras intervenções em L'Aquila consistiu na evacuação do Hospital San Salvatore e de outras instalações médicas afetadas pelo sismo. Foi montado um hospital de campo na região de Marche, tendo-se assegurado o abastecimento de medicamentos e material de saúde aos postos médicos avançados. O hospital de campo foi substituído em julho pelo L'ospedale Modulare del Dipartimento e Pma – Posti Medici Avanzati (Protezione Civile a), 2014).



Figura 1 – Posto médico avançado no Campo di San Panfilo D'Ocre (Protezione Civile b), 2014) e Campo di Piazza D'Armi (Protezione Civile b), 2014)

Os campos de desalojados foram distribuídos por vários pontos, tendo-se desenvolvido um plano que compreendia a população existente nos próprios campos de desalojados na sua administração e conservação. Este tipo de estratégia permitia ocupar as pessoas e libertar os operacionais da Proteção Civil para operações necessárias (Rodrigues et. al, 2012), (Rodrigues et. al, 2010).

A Proteção Civil Italiana destacou cerca de 2250 bombeiros, 2000 polícias e 1500 militares para atividades relacionadas com planos de emergência em L'Aquila. Os bombeiros acumulavam várias funções, que passavam pelo acompanhamento das pessoas às suas casas, funções nos campos de desalojados, integrar as equipas de inspeção e operações de escoramento. O policiamento tinha como objetivo acautelar roubos e ações de vandalismo (Rodrigues et. al, 2012) (Rodrigues et. al, 2010).

Os trabalhos de consolidação temporária e estabilização de edifício utilizavam técnicas reversíveis e não intrusivas, escalonadas atendendo a vários fatores, tais como, valor patrimonial do edifício e estado de conservação. É de salientar que as técnicas preconizadas nos projetos de consolidação temporária deveriam apresentar um grau de dificuldade baixo por forma a poder ser desempenhado por um bombeiro e cumpridas no menor tempo possível, sempre atendendo ao nível de segurança adequado. Como tal, o acesso a auto-gruas e plataformas elevatórias, encontrava-se limitado. Já os materiais a utilizar, deveriam ser materiais disponíveis, de fácil acesso, como por exemplo, a madeira ou cintas de poliéster (Rodrigues et. al, 2012) (Rodrigues et. al, 2010).

As inspeções eram feitas através do preenchimento de fichas/formulários. As equipas eram constituídas por 2 ou 3 técnicos das regiões ou autoridades locais, de universidades coordenados

pelo ReLUIS (“Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica”), bombeiros, engenheiros, arquitetos e, no caso de o edifício a inspecionar apresentar valor patrimonial, a inspeção incluía um técnico do Ministério da Cultura (Rodrigues et. al, 2012) (Rodrigues et. al, 2010) (IUSS, 2009).

Por razões de uniformidade de comportamento, de procedimentos e também para as necessidades de coordenação de dados, os edifícios foram avaliados conforme o nível de dano, por sua vez convertido em tipo de utilização. Assim, as classes de utilização instituídas nas fichas/formulário, eram de A (“Habitável”) a F (“Não Habitável”) (AeDES, 2007).

### 2.1.2. Lorca

O segundo caso de estudo, faz referência aos dois sismos que abalaram a cidade de Lorca no dia 11 de maio de 2011. O primeiro sismo com magnitude  $M_w$  4.5 e epicentro com profundidade estimada de 2 km, o segundo sismo com magnitude  $M_w$  de 5.1 e com profundidade do epicentro estimada de 3 km. A localização geográfica dos epicentros foi muito reduzida, assim como o intervalo de tempo entre sismos, cerca de 2 horas (Varum et.al, 2011) (USGS, 2013).

À semelhança do procedimento adotado em L’Aquila, as inspeções de avaliação das construções foi realizada por equipas técnicas, acompanhadas pelo IGN<sup>5</sup> e coordenadas pela autoridade competente, no caso de Lorca, a Proteção Civil. Estas avaliações basearam-se principalmente na inspeção visual e tiveram como objetivo a definição preliminar dos níveis de risco das habitações associados aos danos sofridos, permitindo a justificação de medidas urgentes, caso necessário (de evacuação do edifício, possibilidade de acesso restrito, uso, etc.) (Rodríguez et. al, 2011) (Cabral et. al, 2013).

Os edifícios foram avaliados e atribuídas marcas a cores, conforme o nível de dano. Existiram problemas na classificação dos edifícios por falta de preparação dos técnicos. Houve vários edifícios mal avaliados, em que teve que ocorrer uma segunda avaliação, gerando bastante confusão e indignação entre a população como se pode constar na Figura 2. A cor verde indica o uso seguro do edifício, embora o mesmo possa apresentar danos não estruturais, como fendas ou pequenos destacamentos. No estado amarelo enquadram-se edifícios em que o acesso está condicionado em função da eliminação do risco - por exemplo, demolição de elementos passíveis de cair como a demolição de tetos - ou uso permitido com algumas limitações. Estas construções podem ou não apresentar danos estruturais. A vermelha significa que o edifício sofreu dano grave a severo e como tal é fundamental impedir acesso à propriedade. Em Lorca a maioria das etiquetas vermelhas emitidas, referem-se a danos essencialmente estruturais. Edifícios onde sucedeu o colapso foram atribuídos a cor roxa (Rodríguez et. al, 2011).



Figura 2 – Marcações sobrepostas utilizadas na classificação de um edifício

<sup>5</sup> IGN: Instituto Geográfico Nacional

## 2.2. América do Sul

Os eventos sísmicos escolhidos para caso de estudo, foram o sismo de Maule e Port-au-Prince ambos em 2010. O Chile tem como perigos naturais, sismos, risco de tsunamis devido à sua costa e atividade vulcânica significativa devido aos vários vulcões que integram o seu território. Por outro lado, temos o caso de estudo do sismo do Haiti em 2010, um sismo de magnitude  $M_w$  7.0 que destruiu um dos países mais pobres a nível mundial. Não existe qualquer comparação entre os dois casos, devido às disparidades abissais entre o impacto que os sismos tiveram na população dos dois países. Esta desigualdade, deve-se à diferença entre a prevenção, qualidade da construção e até na estabilidade governamental.

### 2.2.1. Maule

A localização geográfica do Chile, na convergência das placas Sul-americana e de Nazca, suscita uma variedade significativa de eventos sísmicos. No dia 27 de fevereiro de 2010 ocorreu um sismo de magnitude  $M_w$  8.8, seguido de um tsunami que atingiu as costas Regiões de O’Higgins, Maule e Araucanía. O epicentro localizou-se a cerca de 60 km a sul de Contiuicón e apresentou uma profundidade de epicentro estimada de 30.1 km (Boroschek et. al, 2010) (Borges et. al, 2010) (Castro et. al, 2012).

Uma vez que o sismo foi registado durante a noite (03:34), a maioria das pessoas encontrava-se nas suas casas. Este facto permitiu por um lado minimizar os danos e vítimas nas estradas, devido ao menor tráfego durante a noite nas pontes e viadutos. Os danos foram incrementados devido ao tsunami que assolou a costa do Chile (USGS – ARC, 2011).

Os bombeiros no Chile são constituídos por 38 mil bombeiros voluntários (Bomberos), não existindo bombeiros profissionais. As responsabilidades enquanto entidade passam pela supressão de incêndios, manuseamento de substâncias perigosas e resposta a situações de emergência médica e de busca e salvamento. O trabalho dos bombeiros foi dificultado pelos danos nas vias de comunicação, além dos danos sofridos nas suas próprias instalações. Como voluntários, muitos dos bombeiros também deixaram os seus turnos, de modo a poderem verificar como se encontravam as suas famílias e propriedades (USGS – ARC, 2011).

A evacuação da costa foi rápida e bem conseguida, o que demonstra a boa preparação para o efeito. Para isso contribuiu o facto de o Chile ter sido assolado por alguns sismos anteriormente, tendo-se desenvolvido alguma preparação para os sismos pela população. Existe ainda registo de entreaajuda da população nas primeiras horas após o sismo, relativamente a partilha de água e alimentos (USGS – ARC, 2011).

A resposta inicial por parte do governo do Chile para o evento foi marcada pela confusão e falta de consciência situacional clara. Imediatamente após o terremoto, houve confusão sobre se existiria ou não um tsunami a seguir. A confusão sobre um alerta de tsunami (ou falta dele) não foi um fator determinante na contribuição para a evacuação das comunidades costeiras. De acordo com funcionários da cidade de Talca, a primeira onda atingiu a costa antes da emissão de um alerta de tsunami (USGS – ARC, 2011).

As forças armadas atuaram em duas fases distintas. Primeiramente o objetivo era controlar as pilhagens e auxiliar a polícia local nas zonas de impacto. Já a segunda fase (com início a 31 de março de 2010) foi para ajudar com apoio logístico, remoção de entulhos e construção de habitação temporária. Para atender a esses objetivos, ao exército foi dado controlo administrativo da resposta nacional. O papel desempenhado pelo exército foi fundamental, uma vez que reestabeleceu a ordem e assumiu o controlo das operações. Isto incluiu a tomada de controlo dos abrigos restantes, erguendo hospitais de campanha e abastecimento de comida e água para os sobreviventes. Deve ser salientado o trabalho das forças armadas chilenas que desempenharam um papel fundamental no apoio em vários aspetos da resposta, incluindo assistência médica e a movimentação dos pacientes (USGS – ARC, 2011).

Uma parte da população preferiu procurar abrigo perto do que restava das suas casas. Em resposta às necessidades da população o governo do Chile disponibilizou vários meios para ajudar os

desalojados. Era comum ver campos de desalojados com o que os chilenos chamam Mediasaguas (Figura 3). Estas estruturas de madeira com, geralmente, cerca de 3x8 m<sup>2</sup>, são tradicionalmente utilizadas no Chile para abrigar população desalojada. Os números apontam para cerca de 65 000 Mediasaguas construídas (USGS – ARC, 2011).



Figura 3 – Mediasaguas (USGS – ARC, 2011)

Ao plano de emergência no Chile faltou o detalhe, âmbito de aplicação, redundância e flexibilidade necessários para responder de forma eficaz e eficiente a um evento desta magnitude. Existe uma lacuna no sentido de que o plano não especifica os papéis e as responsabilidades dos órgãos nacionais no caso de um desastre. Deve-se ainda salientar a ocorrência de sobrecarga no sistema de comunicações, o que condicionou as comunicações entre as diferentes entidades. Muitos dos sistemas de rádio foram construídos com um único ponto de controlo, como tal, não suportou a magnitude do evento sísmico, o que é algo a evitar em qualquer situação de emergência (USGS – ARC, 2011).

O sistema de distribuição de mantimentos teve por base o sistema utilizado pelo governo, normalmente, na distribuição de comida pelos mais necessitados. Sendo um sistema conhecido pelos meios de proteção civil, este foi aumentado e utilizado para os sobreviventes da catástrofe. A entrega e distribuição foi realizada através dos locais de distribuição em massa ou entregues diretamente em casas em locais remotos pelos militares e outras organizações não-governamentais, como a Cruz Vermelha chilena. (USGS – ARC, 2011).

### 2.2.2. Port-au-Prince

O sismo de magnitude  $M_w$  7.0 que assolou o Haiti a 12 de Janeiro de 2010 é considerado como uma das piores catástrofes naturais. O contexto político e social do Haiti contribuiu para o aumento da tragédia. O sismo afetou a vida a cerca de três milhões de pessoas, 1,5 milhões de desalojados e gerou 316 mil vítimas mortais. A capital do Haiti, Port-au-Prince ficou marcada pela destruição. Cerca de 105 000 edifícios sofreram o colapso e mais de 208 000 edifícios ficaram danificados, entre eles, 180 edifícios públicos (Ferreira, 2012).

O Haiti antes do sismo era o país mais pobre do continente americano, o evento sísmico do dia 12 de Janeiro de 2010, despoletou o caos numa zona do planeta em que a vida da população já não era fácil. Este sismo originou um prejuízo bilionário e em quatro anos passados após o sismo pouco mudou (Dearo, 2014) (Ferreira, 2012).

O sistema político haitiano era caracterizado pela instabilidade, como tal, pouco preparado para lidar com a situação. O Haiti passou a depender em tudo da ajuda internacional. O fenómeno social era marcado essencialmente pela situação debilitada em que viviam, onde antes do sismo metade da população haitiana não tinha acesso a água potável. Depois do sismo impera a fome e o desemprego, onde foi desafiada a capacidade de adaptação da população a todas as perdas, direta ou indiretamente ligadas ao sismo de 2010 (Ferreira, 2012).

As infraestruturas de transporte ficaram gravemente afetadas, nomeadamente, na torre de controlo do aeroporto e no porto. Este último ficando inoperacional durante dez dias, o que dificultou a

chegada de navios militares com ajuda humanitária. Após as reparações nesta infraestrutura para a atracagem dos navios, revelou-se a falta de meios de transporte necessários para a distribuição da ajuda. A população foi fustigada por epidemias, como a cólera. A falta de higiene e salubridade era um fator constante, bem como, a falta de serviços sociais ou de forças militares com a função de manter a ordem e garantir a segurança (Ferreira, 2012).

Dois meses após o sismo, cerca de 400 mil pessoas não tinham alojamento e cerca de 3 milhões e meio de pessoas dependia do programa de ajuda alimentar da ONU. A falta de planeamento, assim como a falta meios de emergência são notórias e seis meses após o sismo apenas 28 000 de 1.5 milhões de pessoas haviam sido realojadas (Ferreira, 2012).

A mobilização é de louvar, mas falta um elo de ligação, uma entidade que coordene, evidenciando neste caso um fraco empenho por parte do governo.

### 2.3. Ásia

No continente asiático foram estudados os casos de Kobe em 1995 e de Qinghai em 2010. O sismo de Kobe veio demonstrar a vulnerabilidade das estruturas japonesas, tendo sido um dos sismos impulsionadores da investigação e desenvolvimento da engenharia sísmica. Durante este abalo colapsaram vários edifícios, linhas férreas e viadutos. Estas construções haviam sido dimensionadas tendo em conta a ação sísmica regulamentar, mas o sismo de Kobe foi considerado um evento extremo, pois a intensidade do sismo ultrapassou os valores de projeto.

#### 2.3.1. Kobe

O sismo de Kobe com uma profundidade de epicentro estimada a 16 km, teve origem na parte norte da ilha de Awaji. O sismo de magnitude  $M_w$  6.9 provocou 4 571 vítimas mortais e 14 678 feridos (The City of Kobe, 2012).

As medidas pós sismo adotadas no sismo de Kobe não foram formuladas única e exclusivamente com o intuito de restaurar as áreas afetadas, mas sim reconstruir as áreas afetadas tornando-as sismo resistentes (The City of Kobe, 2012) (Kimura, 2011).

O plano de reconstrução do sismo “The great Hanshin-Awaji”, consistia num plano faseado com uma meta de 10 anos. A tabela 2 faz uma alusão aos quatro pontos-chave do sistema de apoio de recuperação de reconstrução (Kimura, 2011).

Tabela 2 – Sistema de Apoio de Recuperação e reconstrução “The great Hanshin-Awaji” (Kimura, 2011)

<p><b>Plano de reconstrução do grande terramoto “Hanshin Awaji”</b> (Plano de Phoenix Hyogo)</p>
<p><b>Plano de reconstrução a 3 anos, com prioridade:</b> habitação, infra-estrutura, indústria</p>
<p><b>Criação de um fundo para a reconstrução (estabelecido em abril de 1995):</b> prestação de serviços à população afetada pelo sismo (subsídio para a recuperação independente de vidas, juros bonificados para o empréstimo à habitação, etc.)</p>
<p><b>Fomentar a colaboração entre:</b> <b>cidadãos, organizações sem fins lucrativos, corporações e governo</b> (comissão de apoio à vítima do terramoto)</p>

Estes pontos-chave tinham como objetivo a criação de uma sociedade, inovadora, bem preparada e promover o bem-estar público. Estes ideais pretendiam enriquecer culturalmente não só a região afetada, mas aplicar todo o conhecimento adquirido através deste fenómeno sísmico e criar uma metrópole à prova de desastres (Kimura, 2011).

A destruição causada pelo sismo de “Hanshin-Awaji” deu origem à evacuação de 222 127 pessoas para abrigos a partir de 18 de janeiro de 1995, no dia 24 de janeiro de 1995, cerca de 236 899 pessoas usaram os serviços de abrigo e a 26 de janeiro de 1995 havia 599 abrigos em funcionamento. Os campos de desalojados funcionavam em instalações escolares, o que encurtou o tempo de aulas (Kimura, 2011) (The City of Kobe, 2012).

### 2.3.2. Qinghai

O sismo de magnitude  $M_w$  6.9, com uma profundidade de epicentro estimada a 17 km, provocou pelo menos 2 500 vítimas mortais, 270 desaparecidos, 12 135 feridos e cerca de 15 000 edifícios danificados.

Devido à sua localização geográfica, a China é marcada por a ocorrência de desastres naturais, especialmente os terremotos. Por isso implementou o seu próprio sistema de gestão de desastres para responder a elas (Bo et. al, 2013).

De acordo com o Plano Nacional Sísmico de Emergências, o Conselho de Estado é a principal organização administrativa liderada pelo primeiro-ministro, que atribui grupos de trabalho específicos para controlar diretamente as operações de resposta de emergência. O plano apresenta uma hierarquia de comando entre vários gabinetes e culmina na atribuição de um nível ao evento sísmico. O nível é atribuído com base em 3 parâmetros, número de vítimas mortais, magnitude e perdas económicas (Bo et. al, 2013).

A província de Qinghai situa-se numa região montanhosa onde os esforços de socorro iniciais enfrentaram um ambiente altamente hostil, prejudicado por altitudes elevadas (elev. 4000 m). Nesta região os termómetros em abril, costumam registar temperaturas na ordem dos 5º negativos durante a noite e presença de ventos fortes (Bo et al, 2013).

A primeira ajuda a chegar ao local foi uma equipa constituída por 850 soldados que se encontravam perto. Estes 850 soldados encontravam-se em exercícios perto do local afetado pelo sismo, o que fez com que chegassem ao local 10 minutos após o abalo. Cerca de 40 minutos depois da ocorrência do sismo, o governo de Qinghai e a administração de terremotos de Qinghai colocaram em prática o plano de emergência. A primeira equipa de ajuda humanitária de 4 mil pessoas partiu de Xining, a capital da província de Qinghai, num prazo de três horas após terremoto. A Equipa de Resgate Nacional chegou à região afetada com equipamento profissional 11 horas após o sismo. Menos de meio dia depois da ocorrência de terremoto as equipas médicas e dos recursos tinham chegado a área do epicentro, através de via aérea ou transporte rodoviário (Bo et. al, 2013).



Figura 4 – Hospital de campanha (AP Photo) e equipas de busca e salvamento (AP Photo/Alexander F.Yuan) (Boston, 2010)

As equipas de emergência depararam-se com dois problemas no local, em primeiro lugar, vários socorristas ficaram indispostos devido à elevada altitude. Em segundo lugar, o terremoto ocorreu numa região tibetana da província de Qinghai, onde 93% da comunidade local é tibetana, onde a língua foi uma barreira, os locais não falavam mandarim, o que tornou a comunicação mais difícil às equipas de auxílio (Bo et. al, 2013).

### 2.4. Análise global dos casos de estudo

A Itália já tem um guia prático, focado na inspeção de edifícios pós-sismo, com o aval da Comissão Europeia. Já em Espanha, as normas construtivas foram revistas após o sismo.

Na América do Sul, o sismo de Maule (Chile) colocou em evidência os problemas no dimensionamento de estruturas. Ainda na América do Sul, no Haiti, deve destacar-se o caos, destruição total, epidemias e problema de saneamento, que foi agravado pelo sismo em 2010.

No continente Asiático, o sismo de Kobe (Japão) em 1995 provocou uma evolução acentuada da engenharia sísmica e despertou a atenção para o fenómeno de liquefação do solo, enquanto em Qinghai (China) em 2010, as equipas de resgate enfrentaram condições climatéricas bastante exigentes, com operações de busca e salvamento a grande altitude.

## 3. COMENTÁRIOS FINAIS

Em Portugal a vulnerabilidade sísmica dos edifícios é notória, parte dos edifícios foram dimensionados e ou construídos sem ser considerada a ação sísmica ou considerando valores reduzidos, face à nova regulamentação europeia. Por outro lado, intervenções realizadas ao longo dos anos nem sempre são potenciadoras de um melhor desempenho estrutural em edifícios antigos. Muitas vezes, devido a erros ou inadequações da solução de reparação, novas intervenções originam novos problemas cujos elementos ou soluções originais não anteviam.

Portugal precisa debruçar-se sobre esta questão e preparar-se para um sismo de intensidade e efeitos semelhantes ao Terramoto de 1755. A preparação da sociedade civil e resposta dos meios de Proteção Civil é fundamental. Para trabalhos futuros a sugestão passa pela criação de um guia prático direcionado para o levantamento de danos após sismos. Existe um guia criado em Itália e traduzido para inglês, constituído por fichas com resposta de escolha múltipla que poderão ser melhoradas e adaptadas às tipologias construtivas existentes em Portugal. Por outro lado seria interessante a criação de uma base de dados, salientando as vulnerabilidades construtivas em Portugal. Esta base de dados deveria começar por edifícios considerados estratégicos em caso de catástrofes, nomeadamente, instalações hospitalares, escolas, entre outros e posteriormente alargado a edifícios privados. Uma base de dados desta natureza poderia permitir estabelecer prioridades de intervenção a nível regional, definir soluções e decisões de intervenção adequadas num intervalo de tempo tanto menor quanto possível.

## REFERÊNCIAS

- AeDES (2007). Field Manual for post-earthquake damage and safety assessment and short term countermeasures (AeDES). Authors: Carlo BAGGIO, Alberto BERNARDINI, Riccardo COLOZZA, Livio CORAZZA, Marianna DELLA BELLA, Giacomo DI PASQUALE, Mauro DOLCE Agostino GORETTI, Antonio MARTINELLI, Giampiero ORSINI, Filomena PAPA, Giulio ZUCCARO. Editors: Artur V. PINTO, Fabio TAUCER Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. EUR 22868 EN – Joint Research Centre – Institute for the Protection and Security of the Citizen; Scientific and Technical Research series – ISSN 1018-5593
- AP Photo, Yushu China Earthquake Photos, at URL: <http://cryptome.org/info/yushu-quake/yushu-quake.htm> (consultado a 27/01/2014) Boston, 2010, Disponível em: [http://www.boston.com/bigpicture/2010/04/earthquake\\_in\\_yushu\\_china.html](http://www.boston.com/bigpicture/2010/04/earthquake_in_yushu_china.html), consultado a 27/01/2014
- Boroschek, R., Soto, P., Leon, R., (2010) Registros del Terremoto del Maule, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.
- Borges, JF, Caldeira, B. And Mourad Bezzegoud, (2010). Source rupture process, directivity and and Coulomb stress change of the 12 January 2010 (Port-au-Prince Haiti, Mw7.0) earthquake. General Assembly of the European Seismological Commission (ESC), September, Montpellier, France
- Tao Bo, Earthquake Administration of Beijing, Municipality, China, Bartel Van de Walle, Tilburg University, the Netherlands, Meeting the Sphere Standards: an analysis of earthquake response in China, Proceedings of the 10th International ISCRAM Conference – Baden-Baden, Germany, May 2013
- Cabral, R., Cuaresma, E., Escribano, R. (2013). El Terremoto de Lorca – Efectos en los edificios, INTEMAC, Consorcio de Compensación de Seguros – Ministerio de Economía y Competitividad.
- Castro, Henry Montecino, Ferreira, Vagner Gonçalves and Freitas, Sílvio Rogério Correia de Análise de deformação por variação do geopotencial: estudo de caso para o terremoto maule (Mw 8,8) com base em dados mensais da missão Grace. Bol. Ciênc. Geod., 2012, vol.18, no.1, p.86-100. ISSN 1982-2170
- The World Factbook 2013-14. Washington, DC: Central Intelligence Agency, (2013). URL: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/index.html> (consultado a 24/01/2014)
- Hongfu Chen, Junwu Dai, Baitao Sun, Sining Huang, Investigation and Preliminary Analysis on Seismic Damage of Structures Subjected to Yushu Ms7.1 Earthquake, Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration, Harbin 150080, China, 15 WCEE – Lisboa 2012
- Cryptome (2010). URL: <http://cryptome.org/info/yushu-quake/yushu-quake.htm>. (consultado a 27/01/2014)
- Dias, J. Alveirinho (2000). Casos de Estudo, O Sismo de Kobe (Hyogo-Ken Nanbu), 17 de Janeiro de 1995, URL: [http://w3.uaig.pt/~jdias/GEOLAMB/GA\\_Casos/Kobe/Kobe6.html](http://w3.uaig.pt/~jdias/GEOLAMB/GA_Casos/Kobe/Kobe6.html), (consultado a 27/01/2014)
- Dearo, Guilherme (2014). Quatro anos após terremoto, Haiti continua caótico, Exame.com, URL: <http://exame.abril.com.br/mundo/noticias/quatro-anos-apos-terremoto-haiti-continua-caotico>, (consultado a 26/01/2014)
- European Mediterranean Seismological Centre (2010). Rémy Bossu (Publisher); Rémy Bossu (Editorial Director); URL: <http://www.emsc-csem.org/> (consultado a 27/01/2014)
- España, O QUE PRETENDE?, CIDADES E ALDEIAS, OUTROS DESTINOS (2013). Lorca. Turespaña / Sociedad Estatal para la Gestión de la Innovación y las Tecnologías Turísticas, S.A. (SEGITTUR), URL: <http://www.spain.info/pt/quieres/ciudades-pueblos/otros-destinos/lorca.html> (consultado a 21/01/2014)
- Ferreira, Mónica Maria Lopes de Sequeira Amaral, Risco Sísmico Em Sistemas Urbanos, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Tese de Doutoramento
- Global Earthquake Model – Earthquake Consequences Database, Southern Qinghai China 2010 (CAR), URL: <http://gmeccd.org/event/47> (consultado a 27/01/2014)
- Discover Italy, Abruzzo, L'Aquila (2013) URL: <http://www.italia.it/en/discover-italy/abruzzo/laquila.html> (consultado a 18/01/2014)
- ITSEMAP - MAPFRE GLOBAL RISKS, 8.8 The Maule earthquake, Chile. 27F (2010)
- IUSS (2009). Progettazione Sismica – L'Aquila, April 6th 2009; 3:32 AM; IUSS Press – Istituto Universitario di Studi Superiori di Pavia; ISBN:978-88-6198-043-3
- Johomaps (2007). World Maps and Globes, Blank World Map (Black and white) URL: [http://www.johomaps.com/world/worldblank\\_bw.html](http://www.johomaps.com/world/worldblank_bw.html)
- Kimura, Mitsutoshi, 2012, Recovery Efforts after the Great Hanshin-Awaji Earthquake, Superintendent of Emergency Management, Hyogo Prefectural Government
- Paulo B. Lourenço, A situação dos monumentos portugueses face ao risco sísmico e a sua estabilidade estrutural, Institute for Sustainability and Innovation in Structural Engineering, Universidade do Minho
- Oliveira, C.(2009). Aspectos sísmológicos da crise de l'Aquila Abril 2009. LNEC
- Un anno in dieci punti: 6 aprile 2009 - 6 aprile 2010; Italian Civil Protection Department - Presidency of the Council of Ministers; URL: [http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/en/emergenza\\_abruzzo\\_unanno.wp](http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/en/emergenza_abruzzo_unanno.wp) (consultado a 04/03/2014)
- I servizi nei campi di accoglienza - 08/05/2009; Abruzzo Earthquake 2009; Communication; Photos and Videos; Italian Civil Protection Department - Presidency of the Council of Ministers; URL: [http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/en/view\\_gal.wp?facetNode\\_1=f1\\_1\\_1&prevPage=multimedia&contentId=GAL9648](http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/en/view_gal.wp?facetNode_1=f1_1_1&prevPage=multimedia&contentId=GAL9648) (consultado a 04/03/2014)

Terremoto in Abruzzo, le attività di coordinamento – 06/04/2009; Abruzzo Earthquake 2009; Communication; Photos and Videos; Italian Civil Protection Department - Presidency of the Council of Ministers; URL: [http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/en/view\\_gal.wp?facetNode\\_1=f1\\_1\\_1&prevPage=multimedia&numelem=3&facetNode\\_2=f1\\_1\\_1&contentId=GAL10326#top-media](http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/en/view_gal.wp?facetNode_1=f1_1_1&prevPage=multimedia&numelem=3&facetNode_2=f1_1_1&contentId=GAL10326#top-media) (consultado a 04/03/2014)

Rilevamenti dei danni agli edifici – 14/05/2009; Abruzzo Earthquake 2009; Communication. Photos and Videos; Italian Civil Protection Department - Presidency of the Council of Ministers; URL: [http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/en/view\\_gal.wp?facetNode\\_1=f1\\_1\\_1&prevPage=multimedia&numelem=4&facetNode\\_2=f1\\_1\\_1&contentId=GAL9929#top-media](http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/en/view_gal.wp?facetNode_1=f1_1_1&prevPage=multimedia&numelem=4&facetNode_2=f1_1_1&contentId=GAL9929#top-media). (consultado a 04/03/2014)

Rodríguez, L., Herrero, E., Álvarez, A., Solares, J., (Instituto Geográfico Nacional), Villar, R., Díaz, J., (Universidad Complutense De Madrid), Oterino, B., Escribano, J., Medina, A., (Universidad Politécnica De Madrid), Mayordomo, J., López, R., Pascua, M., (INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA), Patrick Murphy Corella, (ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE INGENIERÍA SÍSMICA), Informe Del Sismo De Lorca Del 11 De Mayo De 2011, Instituto Geográfico Nacional, 2011

Rodrigues, H., Varum, H., Romão, X., Arêde, A., Guedes, J., Costa, A., Pauperio, E., Costa, A.G., Vicente, R., Tavares, A.. (2012). Vulnerabilidade Sísmica Das Construções: Observações Com Base Em Sismos Recentes No Sul Da Europa, Engeneering and Technology Journal, Faculdade de Ciências Naturais, Engenharias e Tecnologias.

Rodrigues, H., Romão, X., Costa, A. G., Arêde, A., Varum, H., Guedes, J., Vicente, R., Costa, A. A., Paupério, E., (2010). Sismo De L'Aquila De 6 De Abril De 2009 - Ensinamentos Para Portugal, Sísmica 2010: 8º Congresso Nacional de Sísmologia e Engenharia Sísmica

Hector Retamal/AFP, URL: <http://www.publico.pt/mundo/noticia/360-mil-desalojados-do-sismo-do-haiti-ainda-vivem-em-campos-1578265> (consultado a 27/01/2014)

Shaul Schwarz/Reportagem para a CNN, URL: <http://edition.cnn.com/interactive/2010/01/world/gallery.large.haiti-1/index.2.html> (consultado a 27/01/2014)

SURIEMU (2014). Lições do Terremoto de Kobe, 17/01/1995! Da destruição à reconstrução, a participação ativa da comunidade!, URL: <http://blog.suri-emu.co.jp/?p=286> (consultado a 27/01/2014)

The City of Kobe (2012). The Great Hanshin-Awaji Earthquake - Statistics and Restoration Progress, URL: <http://www.city.kobe.lg.jp/> (consultado a 27/01/2014)

Jonathan Torgovnik/Reportagem para a CNN, disponível em: <http://edition.cnn.com/interactive/2010/01/world/gallery.large.haiti-1/index.2.html>, consultado a 27/01/2014

U.S. Geological Survey, URL: <http://www.usgs.gov/>

American Red Cross Multi-Disciplinary Team (2011). Report on the 2010 Chilean earthquake and tsunami response: U.S. Geological Survey Open-File Report 2011-1053, v. 1.1, 68 p.,

Varum, Humberto Salazar Amorim (2013), Avaliação, reparação e reforço sísmico de edifícios existentes, Tese de Doutoramento, Secção Autónoma de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro

Varum, H., Rodrigues, H., Vicente, R., Costa, A. (2011). A influência das paredes de enchimento na resposta sísmica de estruturas de edifícios, Universidade do Minho.

Varum, H.(2008). Reabilitação E Reforço Sísmico De Estruturas De Betão Armado, Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil, II Jornadas sobre "Avaliação e Reabilitação das Construções Existentes"

## CONTACTOS

cristina.oliveira@estbarreiro.ips.pt

fsurrecio.650@estbarreiro.ips.pt



# VALIDAÇÃO DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PRODUZIDA VOLUNTARIAMENTE PARA A ANÁLISE ESPACIAL DE PERCURSOS DE TRANSPORTES PÚBLICOS EM LISBOA

Nuno CHARNECA<sup>1</sup>, João DIAS COSTA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)

<sup>2</sup>Consultor da Autoridade Metropolitana de Transportes de Lisboa (AMTL)

**RESUMO:** A Autoridade Metropolitana de Transportes de Lisboa (AMTL) tem como objetivo tornar o sistema de transportes da Área Metropolitana de Lisboa mais sustentável do ponto de vista social, ambiental, económico e financeiro. Para cumprir estes desígnios regista e analisa diariamente os dados sobre reconhecimento de títulos de transporte, bem como a adequabilidade das carreiras dos operadores de transportes públicos em termos de distâncias, paragens e interfaces com vista a incrementar a interoperabilidade e a intermodalidade.

Para cumprir com êxito a análise de adequabilidade dos procedimentos dos operadores a AMTL tem de dispor de informação de qualidade, atualizada e devidamente estruturada, nomeadamente no que respeita à rede de estradas. Os dados com estas características são normalmente de difícil levantamento e atualização, pelo que implicam frequentemente custos significativos de aquisição ou de manutenção por via licenças de utilização.

O artigo expõe um estudo sobre a qualidade dos dados geográficos sobre rede viária produzida por mecanismos crowdsourcing, nomeadamente o usado pelo OpenStreetMap (OSM-Wiki, 2014), um dos mais populares projetos de produção e partilha de informação geográfica a nível mundial. São analisados elementos de qualidade relativos à rede viária disponível no OSM, em Lisboa, por comparação com produtos geográficos comerciais e oficiais.

Em todo o estudo privilegiou-se a utilização de software e dados de licença aberta, sendo no entanto pontualmente indicada a utilização de software comercial quando tal é considerado útil/necessário. São feitas análises comparativas entre algumas fontes de dados de forma a avaliar, para alguns cenários, a utilidade das diversas fontes de informação.

**Palavras-chave:** Infraestrutura rodoviária, Informação Geográfica de produção Voluntária, Elementos de qualidade de dados geográficos

**ABSTRACT:** The goal of the Lisbon Metropolitan authority is to create a sustainable transport network from the social, environmental and economical perspectives. To fulfill this goal the organization has to have access to a good quality information to analyze routes, distances and transport interfaces. The use of volunteered geographic information (OpenStreetMap) is analyzed in the scope of the road network in the city of Lisbon. The study has used mainly open source software to compare data sources and an official geographic product produced by the Portuguese Army Geographic Institute.

**Keywords:** Road network, Volunteered geographical information, Positional accuracy assessment

## 1. INTRODUÇÃO

A informação geográfica gerada voluntariamente beneficia de uma tendência de crescimento significativo, quer em termos de utilização para análise espacial de fins públicos e privados, quer para incorporação em aplicações web e móveis para acesso e disponibilização de informação georreferenciada.

O OpenStreetMap (OSM) é um dos mais populares projetos de produção e partilha de informação geográfica voluntária (volunteered geographic information – VGI) a nível mundial. As contribuições de dados pelos utilizadores são públicas e podem ser editáveis por qualquer pessoa. Esta característica coloca questões sobre a confiança e credibilidade dos dados criados e disponibilizados com base nesta filosofia. Trata-se sobretudo de questões de credibilidade (confiança), completude, exatidão e qualidade geral quer dos dados de entrada, quer nos produtos resultantes desses dados. O conceito de qualidade de informação geográfica é normalmente considerado em componentes, designadas por elementos de qualidade. A norma de qualidade ISO 19113, revista e substituída pela norma ISO 19157 (Geographic information - Data quality) refere elementos descritivos genéricos de qualidade (uso, historial e propósito de produção) e os elementos de qualidade: completude; consistência lógica; exatidão posicional, temporal e temática.

Para aferir da qualidade dos dados sobre a rede viária do OSM é necessário compará-la com conjuntos de dados geográficos (CDG) de cariz oficial ou com fins comerciais e sobre os quais tenham sido executados procedimentos de controlo de qualidade mais ou menos rigorosos. São exemplos destes a cartografia oficial 1:10.000 da atual Direção-Geral do Território (DGT), os produtos comerciais NavTeq e TeleAtlas e ainda a carta militar da série M888 à escala 1:25.000. Idris et al. (2014) descreve um modelo conceptual para avaliar a credibilidade da informação geográfica gerada voluntariamente. Estes autores propõem duas principais componentes a avaliar: dados e metadados.

São já diversos os estudos sobre a avaliação de qualidade dos dados do OSM. Um dos critérios primários de avaliação é a exatidão posicional de entidades lineares, que foi testada por Ciepluch et al. (2010); Haklay et al. (2010b); Zielstra and Zipf (2010a, 2010b); Koukoletsos et al. (2011); Helbich et al. (2012); Neis et al. (2013). Todos os trabalhos referidos foram executados em países europeus, à exceção de Neis et al. (2013), e todos apontam para um alto nível de exatidão dos dados do OSM. Os métodos de medida sobre elementos de qualidade são relatados em Jilani et al. (2013), para os casos de redes viárias e por Koukoletsos et al. (2012) para os casos de completude e exatidão posicional da informação geográfica do OSM.

## 2. CARACTERÍSTICAS DO OSM COMPARAÇÃO COM PRODUTOS OFICIAIS

O OSM utiliza pares chave/valor de criação livre para caracterizar os objetos mapeados proporcionam uma forma de anotação personalizada apropriada para aplicações temáticas. A Figura 1 ilustra a interface web do OSM para funções de edição, histórico de inserções e atualizações e para exportação. Este não é o único ambiente disponível para edição de objetos geográficos no OSM, embora seja o mais popular para utilizadores menos experientes. Uma das aplicações mais utilizadas por utilizadores mais experientes é o JOSM (Java OpenStreet Map), disponível em <https://josm.openstreetmap.de>.

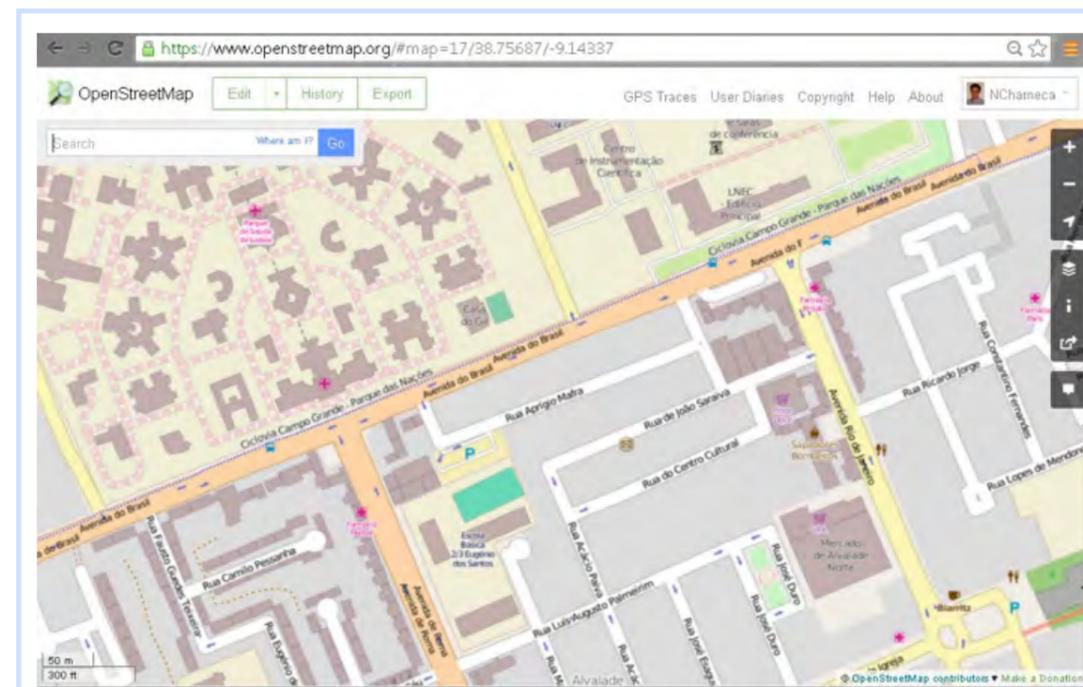


Figura 1 – Ambiente de edição e exportação do OSM na internet.

A simplicidade da estrutura de dados do OSM baseia-se na sua abordagem para modelar os objetos geográficos bem como na sua independência de resolução. Os objetos geográficos estão divididos em “nós” (nodes), “caminhos” (ways) e “relações” (relations). Um nó consiste num objeto geográfico unidimensional tal como equipamento público (p.e. abrigo em paragem de autocarro) ou um vértice de uma estrada. Os caminhos consistem num objeto bidimensional como as linhas de estradas, linha de costa ou rede hidrográfica, ou polígonos como albufeiras ou edifícios. Uma “relação” consiste num número variável de objetos geográficos de qualquer tipo associados entre si por um relacionamento. Cada objeto geográfico possui um identificador único dentro do seu grupo (OSM\_ID). Em termos de atributos cada objeto pode de uma forma consistente ser caracterizado por um número ilimitado de pares Chave/Valor, denominados pela comunidade OSM por “tags”. Alguns dos “tags” mais utilizados foram discutidos e aceites pela comunidade OSM e estão disponíveis também através da OSM Wiki.

A Figura 2 ilustra alguns dos “tags” aceites pela comunidade para a vetorização de objetos geográficos relativos à rede viária. A chave “highway” e os seus respetivos valores são os atributos mais importantes na caracterização da rede viária. Existiam (à altura da escrita do artigo) mais de 40 atributos disponíveis para caracterizar o tipo de estrada, indo desde autoestradas até estradas residenciais ou “caminhos de pé posto”. Outro atributo útil é o “ref”, que regista os valores do código pelo qual a estrada é conhecida (p.e. A1). O nome da rua é armazenado na chave “name”.

**Highway**  
Used to describe roads and footpaths. See Highways for further guidance and Restrictions for details of access limitations by vehicle type/ time/ day/ load/ purpose etc.

Key	Value	Element	Comment	Rendering	Photo
<b>Roads</b>					
<b>The principal tags for the road network, from most to least important</b>					
highway	motorway		A restricted access major divided highway, normally with 2 or more running lanes plus emergency hard shoulder. Equivalent to the Freeway, Autobahn, etc..		
highway	trunk		The most important roads in a country's system that aren't motorways. (Need not necessarily be a divided highway.)		
highway	primary		The next most important roads in a country's system. (Often link larger towns.)		
highway	secondary		The next most important roads in a country's system. (Often link smaller towns and villages.)		
highway	tertiary		The next most important roads in a country's system.		
highway	unclassified		The least most important through roads in a country's system - (i.e. minor roads of a lower classification than tertiary, but which serve a purpose other than access to properties. (The word 'unclassified' is a historical artefact of the UK road system and does not mean that the classification is unknown, you can use <code>highway=road</code> for that.)		

Figura 2 – Chaves/Valor aplicáveis a objetos geográficos associados à rede viária.

Neste artigo a rede viária é definida como a combinação de todos os “caminhos” do OSM que tenham um valor não-nulo na chave “highway”. As chaves “highway”, “name” e “ref” são 3 dos principais atributos utilizados neste artigo, além das próprias geometrias dos objetos correspondentes. A Figura 3 e 4 ilustram uma comparação entre objetos geográficos da rede viária provenientes da folha 431 da carta militar à escala 1:25.000 (datada de 2008) e os objetos geográficos vetoriais “highway” do OSM para a mesma área geográfica (extraída do OSM em março de 2014). A imagem superior está sobreposta a um serviço de dados geográficos de imagens aéreas da Google e a imagem inferior está sobreposta a um serviço de dados geográficos de imagens do mapa de estradas do OSM.



Figura 3 – Comparação de objetos da rede viária da folha 431 (Lisboa) da carta militar (a vermelho) e do OSM (a azul) sobre fotografia aérea



Figura 4 – Comparação de objetos da rede viária da folha 431 (Lisboa) da carta militar (a vermelho) e do OSM (a azul) sobre mapa de estradas

No extrato do tema vetorial de vias de comunicação da folha da carta militar 576 (junto a Odeceixe), constata-se também uma possível utilidade na fusão geométrica de dados entre o OSM e este tema da carta militar. Na Figura 5 compara-se os objetos geográficos provenientes de um extrato da folha 576 da carta militar (a vermelho) e do OSM (a azul).



Figura 5 – Comparação de objetos da rede viária da folha 576 (Odeceixe) da carta militar (a vermelho) e do OSM (a azul)

Apresenta-se no Quadro 1 um sumário de diferenças significativas entre elementos de qualidade e dos correspondentes desafios de fusão entre os 2 tipos de conjuntos de dados geográficos, sobretudo no que respeita à rede viária.

Quadro 1 – Comparação de características entre o OSM e carta militar

		OSM	M888
Elementos de qualidade	Compleitude	Mais detalhada a nível geral em zonas urbanas. O OSM tem mais detalhes de pequenas estradas e caminhos	Menor detalhe em zona urbana mas uniformemente distribuída como mapa de referência
	Exatidão geométrica e temática	Menor uma vez que não é produzido de uma forma profissional. No entanto, diferentes produtos do OSM possuem diferentes exatidões posicionais	Mais exata. No entanto diferentes produtos do OSM possuem diferentes exatidões posicionais
	Exatidão temporal	Atualização instantânea	Intervalos de atualização longos (em muitos casos vários anos)
Desafios de potencial fusão	Sistemas de referência geográfica (pode conduzir a desvios após transformações)	EPSG: 4326 (WGS 84 -elipsóide) ou EPSG:900913 (ou 3857; WGS84 Web Mercator - esferóide)	EPSG: 20790 (DtLx_HG_IGeoE)
	Estrutura das geometrias	Mapeamento contínuo (sem união direta dos cruzamentos)	Mapeamento contínuo (sem união direta dos cruzamentos)
	Classificação de estradas	Estrutura livre: a classificação das vias é extraída com base num número de atributos livres ("tags" OSM)	Estrutura fixa: armazenada num conjunto de atributos para legendagem
	Nomes de estradas nulos	Existem diversos nomes de estradas não atribuídos por o utilizador não os ter encontrado ou não os conhecer	É parte da especificação que as estradas de menor importância (p.e. residenciais) não possuam nome atribuído
	Formato dos ficheiros	Um único ficheiro XML que inclui todos os CDG temáticos (sendo possível distinguir os temas por atributos)	Imagem georreferenciada ou vetorial de temas das folhas da série M888 (formato dgn, shp e lyr)

Apesar da motivação social dos utilizadores do OSM para gerar informação geográfica (Goodchild, 2007), o nível de confiança nestes dados sempre foi uma das preocupações centrais para a sua utilização, nomeadamente na sua incorporação em cartografia oficial ou em estudos que impliquem rigor nas análises especiais e nos resultados a obter. Alguns autores são da opinião de que este tipo de contributo pode ser significativamente credível com base no princípio do controlo por "muitos olhos" (Ather, 2009; Kounadi, 2009; Haklay, 2010). Antoniou (2011) executou uma análise dinâmica das alterações e dos princípios gerais da qualidade dos dados geográficos do OSM comparativamente a 3 produtos cartográficos. Na Irlanda, a exatidão do OSM foi manualmente comparada com o Bing e o Google Maps (Cieoluch, 2010). Foram identificadas diversas inconsistências entre os produtos referidos. A norma ISO 19157 estabelece que os elementos de qualidade de dados geográficos são categorizados em: completude, consistência lógica, exatidão posicional, usabilidade, exatidão temática e exatidão temporal. O foco da análise feita neste artigo diz respeito à exatidão temática (na qual se procura identificar valores de atributos em falta) e na completude (na qual se procura identificar atributos contrastantes) relativamente à rede viária.

### 3. CENÁRIOS DE FUSÃO DE DADOS GEOGRÁFICOS

A fusão de conjuntos de dados geográficos provenientes de produtores distintos é uma tarefa complexa e desafiante, sobretudo devido ao facto de os dados pertencerem a diferentes domínios (universos de discurso), padrões e estruturas de dados. As áreas de aplicação da fusão de dados

incluem a integração de dados, deteção de alterações ou a melhoria e atualização de um produto geográfico baseado num outro, tal descrevem Wiemann e Bernard (2010). Este trabalho descreve uma fusão de dados com base num serviço de dados geográficos que extrai do OSM objetos geográficos identificados como estando em falta num produto geográfico alemão. Canavosio-Zuzelski et al. (2013) apresentam um método de ajustamento vetorial da rede viária do OSM com vista a melhorar a exatidão posicional com base em imagens de satélite. O método demonstrou uma melhoria de 86% da exatidão posicional entre a pré e a pós fusão dos dados.

Ludwing et al. (2011) apresentam um método de comparação da rede viária representada no OSM com o produto comercial da NavTeq® nos Estados Unidos da América, que é maioritariamente desenhado com fins de negócio. Koukoletsos et al. (2012) apresentam um método de comparação entre a rede viária do OSM e do ITN (Integrated Transport Network do MasterMap do Ordnance Survey inglês). Este método tem sido utilizado para avaliação estatística da completude da rede viária com base nos comprimentos dos seus troços. Du et al. (2012) apresenta uma abordagem baseada em ontologias com vista à harmonização de dados gerados voluntariamente e, também, em produtos geográficos oficiais.

Em geral, quer a rede viária representada no OSM quer a representada na carta militar de Portugal podem ser enriquecidas entre si com técnicas de fusão de dados. As principais diferenças entre o OSM e o produto cartográfico da carta militar de Portugal da série M888 foram já resumidas no Quadro 1. Vias de comunicação como ciclovias ou caminhos de pé posto são extensivamente mapeadas no OSM mas, no entanto, por definição de produto, podem não o ser na carta militar. Por outro lado, existem estradas que não estão ainda vetorizadas no OSM, ou outras que o estão mas que não possuem referência à sigla pela qual são conhecidas (p.e. A13). Diferentes cenários podem ser criados para enriquecer o OSM com base na carta militar ou outro produto geográfico oficial. Já a atualização inversa (OSM => Cartografia oficial) implica a criação de um subconjunto de dados que deverá aguardar verificação e controlo de qualidade próprios do produto geográfico oficial a atualizar. Dado que o estudo é sobre a rede viária, os cenários propostos são os seguintes:

1. Inserir/atualizar os nomes das vias de comunicação do OSM com base nesses mesmos nomes na cartografia oficial;
2. Inserir/atualizar as referências das vias de comunicação com base nas suas legendas na cartografia oficial. Estradas nacionais, municipais, itinerários complementares, itinerários principais ou autoestradas possuem uma referência (p.e. A13) que se encontra normalmente no rótulo (label) associado ao objeto geográfico;
3. Referenciar as estradas no OSM que já estão mapeadas na cartografia oficial.

O cenário 3 poderia ter uma extensão para incluir (e não apenas referenciar, do tipo flag) as vias de comunicação da cartografia oficial que não estão vetorizadas no OSM. Isto poderia ser particularmente útil em zonas rurais nas quais o OSM não é tradicionalmente rico em informação. A razão pela qual se optou pela referenciação e não pela inclusão diz respeito aos desafios que se colocam a esta operação:

- a. Incluir um objeto geográfico no OSM é uma operação normalmente executada pelos utilizadores diretamente na infraestrutura do OSM. Se novos objetos forem criados poderão ocorrer situações de concorrência na medida em que certos atributos, incluindo o número de identificação (OSM\_ID) e a informação do utilizador não serão coincidentes;
- b. Tal como qualquer outra fusão de dados geográficos, a aplicação deste cenário implicaria muitos outros potenciais ajustamentos sobre as geometrias existentes a incluir/atualizar.

Outro aspeto a ter em conta diz respeito ao nível de confiança que os utilizadores do OSM têm nos dados oficiais. Nestes casos a questão que se coloca é a de como executar a fusão de dados. Os atuais mecanismos do OSM permitem que os utilizadores referenciem uma via de comunicação para que esta seja ignorada num processo de fusão (a chave "OSMGB:isbug" com valor "no" para um objeto particular). O projeto OSM-GB (Measuring and Improving the Quality of OpenStreetMap for Great Britain - www.osmgb.org.uk). O termo "bug" é aqui usado para referenciar diferenças nos

atributos entre o OSM e os dados abertos do Ordnance Survey (autoridade cartográfica nacional inglesa). Para os casos em que uma estrada ou rua seja referenciada na chave “OSMGB:isbug” com valor “no”, não será executado sobre esse objeto geográfico qualquer processo de fusão apesar de poder conter incoerências.

#### 4. METODOLOGIA PROPOSTA

Nesta secção propõe-se uma metodologia baseada num conjunto de regras cujo objetivo é identificar incoerências nos dados do OSM por comparação com produtos geográficos e cartográficos oficiais e vice-versa. Um dos principais obstáculos a esta metodologia é evidentemente a disponibilidade integral de dados abertos oficiais associáveis aos dados temáticos disponibilizados no OSM. Por esse motivo é apenas possível fazer aqui um exercício comparativo restrito ao concelho de Lisboa e a uma área geográfica junto a Odeceixe (abrangida pela amostra de dados vetoriais correspondentes à folha 576 da carta militar). A proposta de metodologia baseia-se no princípio de que cada objeto geográfico do OSM é analisado com base num conjunto de regras bem definido. Se o objeto falhar o cumprimento da regra é executada uma ação. Por exemplo, uma regra pode definir os critérios para identificar se um objeto do OSM é comparável ao objeto correspondente no produto geográfico oficial. A ação correspondente à validação da regra pode definir como o objeto é atualizado no OSM. As regras aplicáveis aos cenários de inserção e atualização de nomes e referências de estradas ou ruas detetará inicialmente se o objeto geográfico equivalente existe no produto oficial. Caso exista serão avaliados os valores dos atributos correspondentes:

- Se a estrada/rua tem um nome no produto oficial então o objeto deve ter o mesmo nome no OSM;
- Se a estrada/rua tem uma referência (p.e. A13) no produto oficial então o objeto deve ter a mesma referência no OSM.

Se a estrada/rua do OSM não cumpre nenhuma das regras anteriores as seguintes ações são executadas:

- Se a regra a) falhou, o nome do objeto no OSM será substituído pelo nome presente no produto oficial;
- Se a regra b) falhou, a referência do objeto no OSM será substituída pela referência presente no produto oficial;
- Em ambos os casos as incoerências detetadas serão caracterizadas por dois atributos: “bug” e “fix”. Sugerem-se estas denominações por correspondência com o software “Radius Studio” desenvolvido pela 1Spatial, no qual podem ser definidas estas regras e as respetivas ações.

No total são necessários 4 pares regra/ação para permitir a correção de nomes e referências de estradas.

*Check for OSM\_LINE objects that*

*if OSM\_LINE.name equals null*

*and OSM\_LINE.highway does not equal null*

*and OSM\_LINE.highway does not equal “cycleway”*

*and OSM\_LINE.highway does not equal “pathway”*

*and (there is at least 1 VMD\_ROAD object for which*

*(OFICIAL\_ROAD.geometry is contained within buffer (OSM\_LINE.geometry,0.1)*

*Or OSM\_LINE.geometry is contained within buffer (OFICIAL\_ROAD.geometry,0.1))*

*and OFICIAL\_ROAD.name does not equal null*

*then*

*to\_lowercase(OFICIAL\_ROAD.name) equals to\_lowercase(OSM\_LINE.name).*

#### 5. RESULTADOS

A apresentação de resultados diz respeito à comparação geométrica entre a rede viária do OSM e a rede viária das folhas da Carta Militar que abrangem o concelho de Lisboa. Dado que a cartografia militar foi cedida numa base CAD sem referência do nome de estradas ou ruas a análise comparativa executada restringe-se à componente geométrica dos dados. O Quadro 2 apresenta valores comparativos de características entre as vias de comunicação registadas no OSM e nas folhas da carta militar da série M888 em Lisboa. O número de nós sem ligação (dangle nodes) e o número de nós supérfluos (pseudo nodes) são apenas números indicativos e não devem ser interpretados como um indicador absoluto de menor qualidade dos dados. O número de *dangle nodes* referenciados resulta sobretudo, quer da fronteira da área de estudo, quer da natureza dos objetos representados (p.e. ruas sem saída).

Quadro 2 – Quadro comparativo de características entre as vias de comunicação registadas no OSM e nas folhas da carta militar da série M888 em Lisboa.

	OSM	Cartografia militar (vias de comunicação) – série M888 (Lisboa)
N.º Objetos geográficos	14.631	18.653
N.º Geometrias duplicadas	0	0
N.º Geometrias inválidas	0	0
N.º Geometrias multiparte	0	5
N.º de nós pseudo	3.587	254
N.º de nós dangle	15.427	3.685

Decorre do processo de produção de informação vectorial utilizado na elaboração da série M888, que, os eixos de rodovia coincidentes com pontes sejam representados individualmente em camadas distintas do ficheiro CAD. Apesar deste processo gerar geometrias coincidentes, tal não foi contabilizado como geometrias duplicadas, uma vez que decorre do normal processo de produção.

Os objetos da rede viária do OSM com nome de estrada ou rua representam 63% do total, no entanto, apenas 2% dos objetos possuem a referência da estrada (A5, IC17, etc.). Todas as 169 carreiras operadas pela Carris no concelho de Lisboa (incluindo sentidos ascendentes e descendentes) estão suportadas pelos dados registados no OSM. Todas as carreiras perfazem cerca de 1.667 kms e apenas cerca de 600 metros estão desfasadas (não utilizam a rede viária do OSM) dos registos do OSM.

#### 6. CONCLUSÕES

Pretendia-se analisar genericamente a adequabilidade dos dados provenientes de fontes de informação produzidas voluntariamente para calcular as métricas dos percursos de transportes públicos no concelho de Lisboa. Por o OpenStreetMap (OSM) ser o projeto mais promissor em termos de produção de informação geográfica voluntária a nível global, foi sobre este repositório de dados que se efetuou uma análise sobre a sua adequabilidade ao seu uso para cálculo de percurso de transportes públicos.

Foi também feita uma análise comparativa com elementos de vias de comunicação representados nas folhas da carta militar à escala 1:25 000 que cobrem o concelho de Lisboa. Além desta comparação em ambiente urbano foi também realizada uma comparação em ambiente rural, junto a Odeceixe. Concluiu-se que em ambiente urbano o OSM tem uma riqueza significativa de disponibilidade de informação geográfica sobre vias de comunicação e que o seu atributo referente ao nome da estrada ou rua, possui 63% dos registos com nome válido. Já a referência à estrada

é apenas registada em 2% dos registos. Concluiu-se também que todos os percursos de carreiras operadas pela Carris são analisáveis com recurso ao OSM, salvo raras exceções de cerca de 600 metros em que o percurso representado diverge da rede viária do OSM, o que equivale a apenas 0,036% da totalidade dos 1.667 km percorridos por todas as carreiras. Existe assim uma compatibilidade de 99,96 %.

Paralelamente a esta análise foi sugerida uma metodologia simples de comparação e fusão dos elementos sobre vias de comunicação do OSM com produtos geográficos ou cartográficos oficiais. A criação de serviços de dados com base nesta metodologia poderia ser benéfica, quer como apoio à atualização de cartografia oficial, quer como para atualização de registos do OSM. A metodologia proposta foi feita para atualização de nomes de estradas e ruas e para a atualização de referências de estradas do OSM com base nos produtos oficiais. Um dos maiores obstáculos à implementação deste serviço de atualização é a falta de disponibilização livre dos produtos geográficos e cartográficos oficiais ao nível da rede viária.

## AGRADECIMENTOS

Agradece-se à Autoridade Metropolitana de Transportes de Lisboa (AMTL) o interesse e apoio prestado a este trabalho de investigação.

### REFERÊNCIAS

- Antoniou, V. (2011). *User Generated Spatial Content: An Analysis of the Phenomenon and Its Challenges for Mapping Agencies*; University College London (UCL): London, UK.
- Ather, A. (2009). *A Quality Analysis of OpenStreetMap Data*. M.Sc. Thesis, University College London, London, UK.
- Canavosio-Zuzelski, R.; Agouris, P.; Doucette, P. (2013). *A photogrammetric approach for assessing positional accuracy of OpenStreetMap® roads*. ISPRS Int. J. Geo-Inf. vol. 2, 276–301.
- Carta militar de Portugal – Série M888, Folha 431 – Lisboa.
- Ciepluch, B.; Jacob, R.; Mooney, P.; Winstanley, A. (2010). *Comparison of the accuracy of OpenStreetMap for Ireland with Google Maps and Bing Maps*. In *Proceedings of the Ninth International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences 20-23rd July 2010*, 337.
- Du, H.; Anand, S.; Alechina, N.; Morley, J.; Hart, G.; Leibovici, D.; Jackson, M.; Ware, M. (2012). *Geospatial information integration for authoritative and crowd sourced road vector data*. *Trans. GIS*, 16, p. 455–476.
- Haklay, M. *How good is volunteered geographical information?* (2010). *A comparative study of OpenStreetMap and Ordnance Survey datasets*. *Environ. Plan. B*, 37, p. 682–703.
- Haklay, M.; Ellul, C. (2010). *Completeness in volunteered geographical information – the evolution of OpenStreetMap coverage in England (2008-2009)*. *Journal of Spatial Information Science*.
- Helbich, M.; Amelunxen, C.; Neis, P.; Zipf, A. (2012). *Comparative Spatial Analysis of Positional Accuracy of OpenStreetMap and Proprietary Geodata*. J. Strobl et al., *Angewandte Geoinformatik*: p. 24–33.
- Idris, N.; Jackson, M.; Ishak, M. (2014). *A conceptual model of the automated credibility assessment of the volunteered geographic information*. 8th International Symposium of the Digital Earth (ISDE8). IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 18. doi:10.1088/1755-1315/18/1/012070.
- Jilani, M.; Corcoran, P.; Bertolotto, M. (2013). *Automated Quality Improvement of Road Network in OpenStreetMap*. AGILE 2013.
- Koukoletsos, T.; M. Haklay; Ellul, C. (2011). *An automated method to assess Data Completeness and Positional Accuracy of OpenStreetMap*. p. 20–22.
- Koukoletsos, T.; Haklay, M.; Ellul, C. (2012). *Assessing data completeness of VGI through an automated matching procedure for linear data*. *Trans. GIS*, 16, p. 477–498.
- Kounadi, O. (2009). *Assessing the Quality of OpenStreetMap Data*. M.Sc. Thesis, University College of London, Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering, London, UK.
- Neis, P.; Zielstra, D.; Zipf, A. (2013). *Comparison of Volunteered Geographic Information Data Contributions and Community Development for Selected World Regions*. *Future Internet* 5 (2): p. 282–300.
- OSM-Wiki (2014). *OpenStreetMap Project Wiki*. Disponível online: <http://wiki.openstreetmap.org/wiki/> (consultada a 20 de março de 2014).
- Wiemann, S.; Bernard, L. *Conflation Services within Spatial Data Infrastructures* (2010). In *Proceedings of 13th AGILE International Conference on Geographic Information Science, 2010 AGILE, Guimarães, Portugal, 10–14 May 2010*.
- Zielstra, D.; Zipf, A. (2010a). *A comparative study of proprietary geodata and volunteered geographic information for Germany*. In *13th AGILE International Conference on Geographic Information Science*.
- Zielstra, D.; Zipf, A. (2010b). *OpenStreetMap data quality research in Germany*.

### CONTACTO

ncharneca@lnec.pt

## SIRCUL - FERRAMENTA INTERATIVA DE PLANEAMENTO DE PERCURSOS PARA CICLISTAS E DE APOIO À GESTÃO DA MOBILIDADE EM LISBOA

Rosa FÉLIX<sup>1,2</sup>, Alexandre B. GONÇALVES<sup>1,3</sup>, Jorge B. SILVA<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

<sup>2</sup>CESUR (Centro de Sistemas Urbanos e Regionais)

<sup>3</sup>ICIST (Inst. de Eng.ª de Estruturas, Território e Construção)

**RESUMO:** No âmbito da transição dos sistemas de mobilidade urbana têm sido discutidas e apresentadas metodologias e índices que permitem aferir o grau de compromisso das cidades com as políticas de promoção da bicicleta como meio de transporte. Em cidades onde se nota um incremento no uso da bicicleta como meio de transporte, o planeamento a nível municipal relativo a infraestruturas com ele relacionadas é baseado sobretudo na replicação de boas práticas. Porém, esta estratégia nem sempre é capaz de gerar soluções adaptadas localmente, sobretudo pela falta de dados sobre os percursos de facto efetuados e preferidos pelos ciclistas. Tornando-se conveniente acompanhar com regularidade a evolução do número de ciclistas e a sua prática de mobilidade, os custos de recolha e processamento desta informação podem ser substanciais, e a sua desatualização apresenta-se potencialmente muito rápida. Neste artigo é apresentada e discutida uma estrutura para uma ferramenta integrada num sistema de informação que serve como interface à comunidade de utilizadores de bicicleta e às autoridades incumbidas da gestão da mobilidade em cidades ditas ‘cycling starter cities’. Para o planeamento de percursos de bicicleta é proposto um sistema web que permita a recolha de informação do utilizador, como meio indireto de aquisição de dados sobre a sua preferência de percursos e características. O caso de estudo é o município de Lisboa, onde têm sido desenvolvidas políticas e ações de promoção da mobilidade em modos suaves. Foi feito um inquérito online que permitiu caracterizar a comunidade ciclista local e as suas preferências. Foi possível extrair três perfis de utilizadores que combinavam distintamente os vários critérios de seleção de trajetos. Estes perfis podem ser considerados como relevantes para a utilização de um serviço interativo de sugestão de percursos oferecido a nível municipal através de um web-SIG, apto também a recolher estatísticas úteis para a gestão da rede, como a frequência de utilização de vias, e ainda informações introduzidas pelos utilizadores.

**Palavras-chave:** mobilidade, planeamento de percursos de bicicleta, rede ciclável, Web-SIG

**ABSTRACT:** Methodologies and indices that allow to measure the degree of commitment of cities with policies to promote cycling as a mode of transport have been discussed. Planning at the municipal level on the infrastructure associated with this mode of transportation is based primarily on the replication of best practices. However, this strategy is not always able to generate locally adapted solutions, mainly due to missing data on the real routes chosen by cyclists. Costs of collecting and processing this information can be substantial, while data becomes quickly outdated. We present and discuss a framework for an information system serving as user interface for the cycling community and the authorities responsible for the management of mobility in ‘starter cycling cities’. A web-based system with capacity for route planning that also allows the collection of user information is suggested as an indirect way of acquiring data on route preferences and user characteristics. The case study is Lisbon. An online survey to characterise the local cycling community and its preferences was made. Three distinct user profiles matching the various criteria for selecting paths were detected. These can be considered as relevant in the use of an interactive service of route suggesting offered at the municipal level through a web-GIS, also able to collect statistics useful for network management, such as the frequency of road use and further information entered by users.

**Keywords:** Mobility; Bicycle route planning; Cycling network; Web-GIS

## 1. INTRODUÇÃO

O modo de transporte em bicicleta é um modo promissor para a mobilidade em meio urbano, que tem sido fortemente incentivado pela agenda europeia de transportes e mobilidade sustentável e por políticas nacionais e locais em diversos países. Em Portugal, a repartição modal da bicicleta representava 0,26% em 2000 (Rietveld, 2004). Os dados dos Censos de 2011 revelaram que a sua repartição modal cresceu para 0,5% (INE, 2012), embora ainda muito longe da média europeia, 7% (Comissão Europeia, 2011). Na última década assistiu-se a um crescimento da utilização da bicicleta em várias cidades portuguesas, muitas vezes impulsionado por investimentos municipais em redes cicláveis e infraestruturas de apoio. Embora a teoria e as boas práticas de outras cidades informem a criação de boas soluções de infraestruturas viárias, nem sempre há adequada resposta por parte do planeamento e gestão municipal para os utilizadores de bicicleta em meio urbano, nomeadamente por falta de informação sobre os percursos que realmente escolhem e as necessidades que reclamam, que poderia alicerçar uma melhor tomada de decisão. Para a gestão municipal, é necessário conhecer e caracterizar os utilizadores de bicicleta, e ainda monitorizar a evolução da mobilidade urbana com uma frequência que permita o acompanhamento do crescimento da utilização da bicicleta nessa cidade. Por outro lado, os custos de recolha e processamento de dados dos movimentos dos utilizadores de bicicleta são substanciais.

Os utilizadores de bicicleta são diversos e não se deslocam com o mesmo propósito ou frequência. É possível identificar entre estes diferentes grupos, de acordo com a sua experiência, nível de segurança e percepção de risco e comportamentos de condução nas deslocações na via pública. Aponta-se a possibilidade de explicação através de regras de decisão compensatórias [Hochmair, 2004]. Stinson e Bhat [2003] inquiriram utilizadores para obter os critérios intervenientes na sua escolha, obtendo a duração/distância como fator principal, complementado pela utilização de ciclovias, declive e tipo de pavimento. Stinson e Bhat [2005] ressaltam as diferenças individuais entre a ponderação dada aos vários critérios apontando a experiência de utilização de bicicleta como fator determinante. Harvey e Krizek [2007], num estudo em Minneapolis, determinaram que os utilizadores de bicicleta usavam percursos até 67% mais longos de modo a incluir uma ciclovias no trajeto. Su et al. [2010] propuseram um planeador de percursos online (Cycle Vancouver) que pondera vários critérios, mas não em simultâneo, ao permitir otimizar cada um face aos restantes, enquanto Ehrhoff et al. [2012] sugerem um modelo de escolha de percursos bi-objetivo, com medidas quantitativas (duração) e qualitativas (aptidão), considerando critérios como declive, volume e velocidade do trânsito, estado do pavimento ou existência de ciclovias. Em resumo, têm sido sugeridos diversos critérios, tanto subjetivos (segurança), como objetivos (distância, declive) para justificar as escolhas dos percursos.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), como os que estruturam um planeador de percursos, podem ser explorados como uma solução para a recolha de dados por observação indireta. De facto, a utilização de um planeador pode ser vista como um modo acessível, prático e atualizável de estimar a procura pelos equipamentos disponibilizados, além de identificar os segmentos da rede para os quais existe maior necessidade de oferta [Fu e Hochmair, 2009; Hochmair, 2009]. Em complemento, permitem recolher dados relativos ao modo como os utilizadores de bicicleta escolhem os seus percursos: o conjunto de critérios que usam, como os avaliam e qual a relevância que lhes atribuem. Com acesso à informação atualizada, gerida por um sistema de informação - SirCUL - que funciona como um ponto de comunicação entre utilizadores de bicicleta e gestores da mobilidade urbana, estes últimos podem tomar decisões refletidas para o planeamento e gestão da rede ciclável, e ir assim de encontro às reais necessidades dos utilizadores de bicicleta, com uma maior eficácia.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Inquérito

Face à ausência de dados que caracterizem os utilizadores de bicicleta em Lisboa, a sua experiência, preferências de percurso e finalidades das deslocações, realizou-se um inquérito que permitiu cobrir alguns destes aspetos. Apesar de o inquérito focar sobretudo questões dirigidas para a extração de informação relativa à mobilidade, incluíram-se também outras relativas à utilidade de uma plataforma de apoio para a escolha de percursos e gestão da rede. O inquérito foi disponibilizado online durante um mês (janeiro e fevereiro de 2012) e divulgado em redes sociais. A amostra foi composta por 892 respostas válidas, perfazendo 83% do total recolhido. Além de dados pessoais (idade, género), o inquérito incluiu questões que permitiram caracterizar a experiência e frequência da utilização de bicicleta em Lisboa, o propósito das viagens, tipo de bicicleta, utilização de meios de proteção (capacete, iluminação), preferências sobre pavimentos, poluição e outros elementos físicos e ambientais, a relação com peões e veículos automóveis e com a comunidade ciclista local.

Para delinear perfis de utilizadores, e em função do tipo de variáveis usadas, aplicou-se o método automático de formação de clusters Two Step Cluster [Chiu et al., 2001] sendo o número de clusters resultante da análise. Foram sugeridos 3 clusters, formados por 6 variáveis selecionadas: idade, género, utilização [da bicicleta] para fins de movimentos pendulares, utilização para fins de desporto/manutenção da forma física, experiência de utilização em meio urbano, e utilização de capacete. A identificação dos clusters permitiu designar os grupos como “Principiante”, “Desporto/Fim de semana” e “Commuter”, dadas as características mais diferenciadoras encontradas. Em relação aos sistemas de preferências nas escolhas de percursos, os grupos também se distinguem pela relevância que atribuem aos diversos fatores. Da Figura 1 conclui-se que as preferências relativas a utilização preferencial de ciclovias, rapidez e segurança são as de maior distinção entre perfis, constituindo-se como as que mais adequadamente determinam percursos diferenciados e dirigidos a cada um destes.

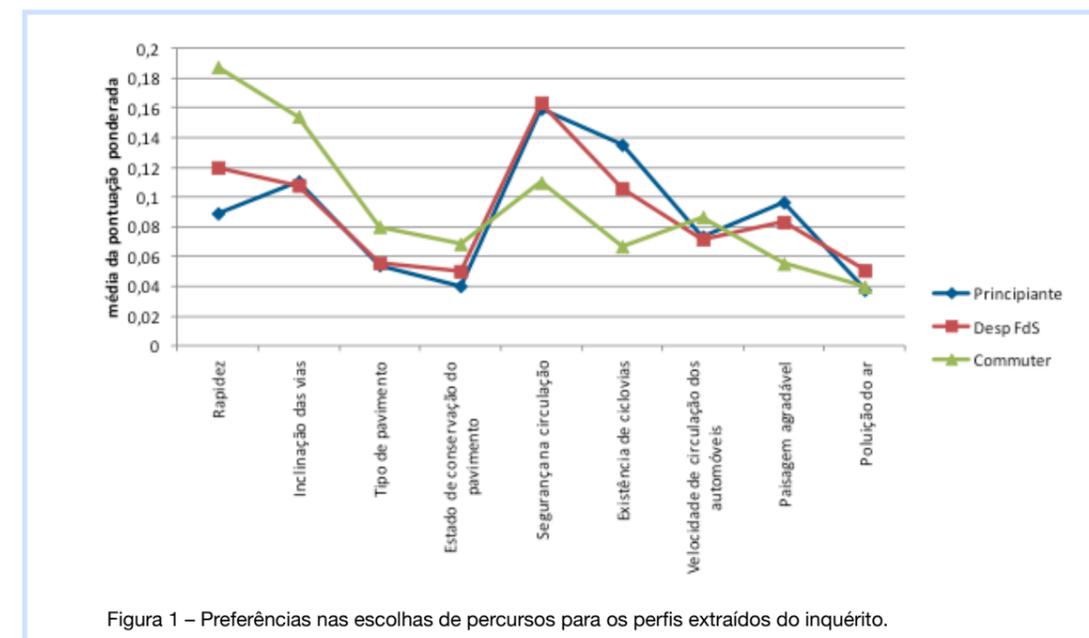


Figura 1 – Preferências nas escolhas de percursos para os perfis extraídos do inquérito.

Em relação à utilidade e oportunidade de uma ferramenta interativa para sugestão de percursos com capacidades de interação com os gestores da rede, 95% das respostas foram no sentido de avaliar como “útil”, tendo 97% dos respondentes afirmado disponibilidade para participação numa plataforma online como meio de comunicação para sugestões, alertas e reclamações.

## 2.2. Planeador de percursos

Com o intuito de fornecer informação útil é necessário que a ferramenta de sugestão de percursos do sistema SirCUL inclua a capacidade de distinguir os sistemas de preferências em função dos perfis de utilizadores. Para tal será necessário modelar as características das vias na rede, e ter em conta que os modelos de geração de percursos para ciclistas estendem os congéneres para percursos para automóveis a uma complexidade maior que resulta essencialmente do maior número de graus de liberdade associados ao movimento da bicicleta (veículo menor e mais versátil em possibilidade de manobras, utilizável além da rede viária tradicional). Ainda há que considerar que há uma série de variáveis subjetivas e que a função de custo tem um maior número de variáveis relevantes e de natureza distinta, existindo critérios físicos traduzíveis em variáveis contínuas (rapidez, declive) e outros que expressam categorias (tipo de pavimento, grau de segurança, agradabilidade do trajeto).

A modelação da rede ciclável num grafo topológico com um custo agregado que sintetize os diversos fatores de custo em cada arco da rede permite a utilização de algoritmos de caminho de menor custo na sugestão dos percursos. Estes minimizam a soma dos custos associados aos arcos do percurso pelo que é necessário calcular este custo abstrato de atravessamento. Propõe-se uma combinação linear de critérios ponderados seguindo um modelo multicritério de agregação aditiva, de natureza compensatória. Desenvolveu-se em SIG desktop um protótipo experimental para esta componente do SirCUL com parte da rede viária e ciclável da zona central de Lisboa, incluindo 3330 arcos de eixos de via e ciclovias, totalizando 276,77 km. A área foi selecionada de modo a satisfazer os seguintes requisitos: variedade altimétrica; vários níveis de declive; diversidade de tipo de pavimento; presença de ciclovias; diversidade de funções urbanas (residenciais, serviços, comerciais, equipamentos); existência de diferentes níveis da hierarquia da rede viária. A malha urbana de Lisboa, orgânica e ortogonal, é uma boa base para os testes a realizar com o modelo SIG, pois faz com que existam inúmeras alternativas entre dois pontos, ao contrário de uma malha totalmente ortogonal. Segundo Hochmair [2005], uma rede com uma área de aproximadamente 8 km<sup>2</sup> é adequada e suficiente para a simulação de deslocamentos urbanos em bicicleta. Para a escolha da área de estudo foi definida uma circunferência com diâmetro de 4 km, e selecionada a área da cidade que melhor verificava todos os critérios acima referidos. A área escolhida corresponde a uma irradiação de 2 km a partir do largo de Dona Estefânia, depois estendida aos limites administrativos das freguesias abrangidas pela circunferência (Figura 2).

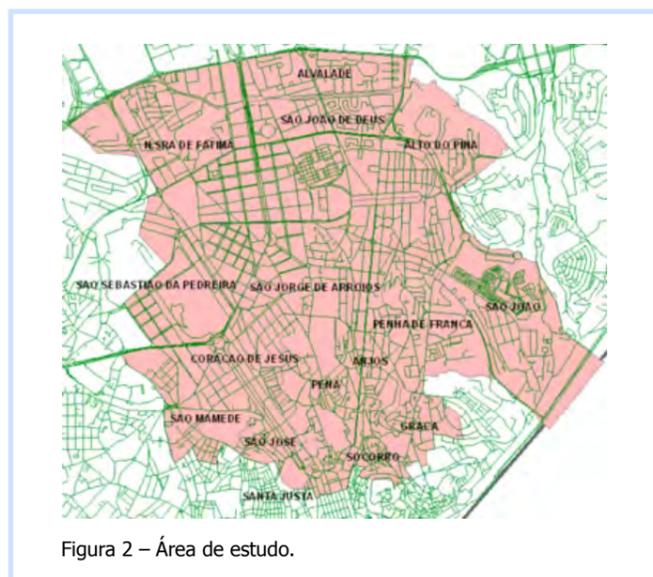


Figura 2 – Área de estudo.

Os critérios escolhidos para o modelo de custos incluíram os 6 mais relevantes apontados na análise estatística ao inquérito: rapidez, declive, pavimento, segurança, ciclovias e agradabilidade, sendo tomadas as seguintes opções: rapidez depende do comprimento da via e da velocidade de

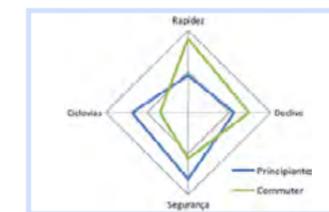
circulação; declive depende do desnível e do comprimento da via, sendo necessário obter cotas dos extremos do arco e o sentido de circulação; pavimento deve ter em conta a variedade de superfícies, o estado de conservação e a presença de carris; a segurança pode ser percebida através da hierarquia da rede viária; ciclovias é um simples atributo binário; e agradabilidade foi modelada através da proximidade a miradouros, jardins e vias com eixos arborizados. Para cada função de custo um valor neutro (1) foi definido, correspondendo a um atravessamento em condições-padrão fixadas pelo conjunto declive de 0%, pavimento de asfalto em boa condição e sem obstáculos, via de hierarquia inferior, sem ciclovia e sem condições que favorecessem especialmente o critério agradabilidade. Ensaïaram-se de seguida os valores de ponderação na função de custo atribuíveis a cada critério para permitir introduzir benefícios ou penalizações ao custo de atravessamento, confrontando alguns percursos obtidos com a opinião sobre os mesmos dada por um grupo de ciclistas experientes. Por exemplo, no final do processo, as ciclovias impuseram uma redução de custo de 40% face a um arco sem-ciclovia que coincidissem nos restantes critérios.

Tabela 1 – Ponderação na função de custo do atravessamento dos arcos.

Critério	Tipo de variável	Ponderação
Rapidez	Contínua	1,0
Declive	Contínua	0,1 – 10,0
Pavimento	Categórica	1,0 / 1,5 / 2,0 / 3,0
Segurança	Categórica	0,75 / 0,8 / 1,0 / 1,5 / 2,0
Ciclovias	Categórica (binária)	0,6 / 1,0
Agradabilidade	Categórica (binária)	0,75 / 1,0

Tabela 2, Figura 3 – Parâmetros de ponderação (pesos) de cada critério na função de custo de cada perfil, após redução do número de variáveis.

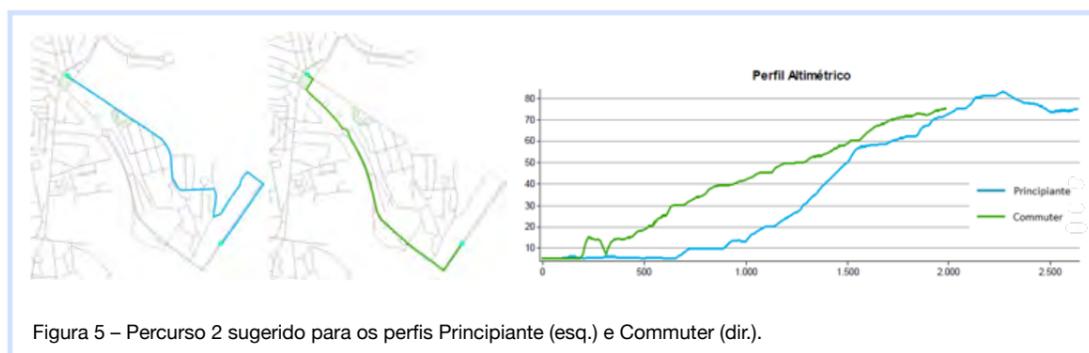
Critério	Perfil Principiante	Perfil Commuter
Rapidez	0,1802	0,3616
Declive	0,2238	0,2975
Segurança	0,3223	0,2223
Ciclovias	0,2736	0,1353



Os fatores que distinguem os perfis Principiante e Desporto do perfil Commuter são sobretudo as ciclovias, segurança e paisagem agradável, sendo estes últimos de carácter subjetivo. As restrições do modelo compensatório fizeram com que as diferenças que existiam nas ponderações das variáveis não tivessem expressão suficiente para se refletirem no modelo, resultando em percursos idênticos para ambos estes perfis, pelo que os exemplos seguidamente apresentados não incluem o perfil Desporto. Adicionalmente, os fatores de custo associados aos critérios agradabilidade e pavimento foram retirados da análise porque não apresentaram variações significativas entre os perfis.

Com base nestes parâmetros e perfis foram efetuados vários testes: um primeiro para a análise de percursos confrontando os dois perfis: fixadas a origem (Al. D. Afonso Henriques) e destino (R. Marquês de Sá da Bandeira), o percurso para o perfil Principiante foi 200 m mais longo do que o percurso para o perfil Commuter. O primeiro segue em mais de metade da sua extensão uma ciclovia, enquanto o segundo, por privilegiar percursos mais rápidos, verificou-se ser mais curto e direto (Figura 4). Em outro teste compararam-se os resultados sugeridos quanto à rapidez, declive e segurança (Figura 5). A origem e destino situam-se na Av. Infante D. Henrique (Santa Apolónia) e Pç. Paiva Couceiro, resultando em clara diferença entre os percursos sugeridos para os perfis: o perfil Principiante opta por um percurso com maior segurança em detrimento de declives mais acentuados em alguns troços. Já o Commuter opta por um percurso mais rápido, com uma

diferença na distância total de mais 650 m, e com declives mais progressivos, em detrimento de o percurso ser composto quase totalmente por vias de hierarquia superior, menos seguras para o ciclista.



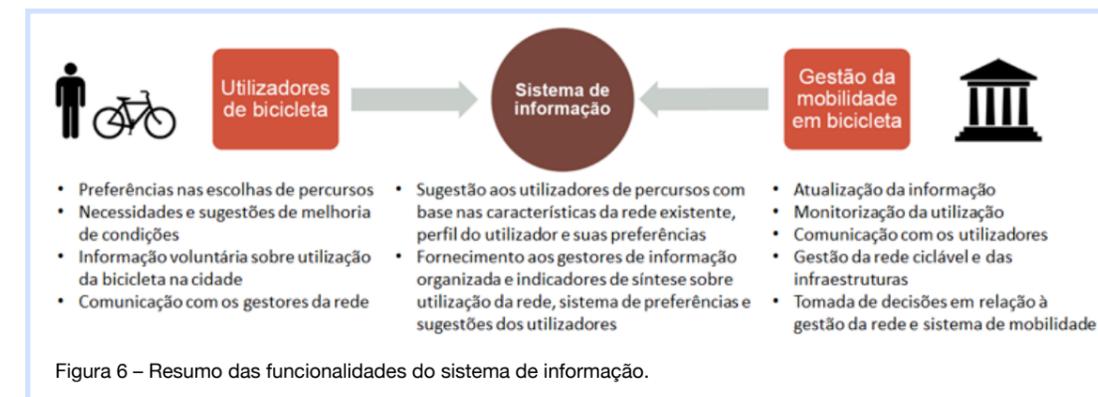
Foram realizados outros ensaios para testar alguns dos critérios individualmente. Consideraram-se os resultados dos testes como uma representação próxima e verosímil da realidade. Todos os resultados demonstraram diferenças significativas entre os percursos sugeridos para os diferentes perfis.

### 2.3. Integração num sistema de informação

Com base nos resultados, foi feita a avaliação da necessidade e pertinência de um sistema de informação interativo designado por SirCUL, que não apenas sugira percursos em função das características dos utilizadores, mas também permita a recolha de dados sobre estes, os percursos e a sua frequência, locais com acidentes, sugestões e opiniões, através de uma plataforma online. A eficácia e verosimilhança do modelo SIG que sustenta o planeador de percursos são determinantes para o êxito do SirCUL, uma vez que este planeador constitui o principal atrativo ao seu uso pela comunidade ciclista local. Sugere-se que esta plataforma seja integrada num portal oficial dedicado à mobilidade urbana, em articulação com as demais componentes do sistema existente de gestão da mobilidade. À administração municipal competirá atualizar a informação relativa às redes existentes e em desenvolvimento, informar o sistema acerca das suas alterações (p. ex., interrupção ou supressão de vias por motivo de obras) e tirar o devido partido dos inputs e feedbacks fornecidos pelos ciclistas, potenciais utilizadores do SirCUL, numa interação que se cre ser geradora de sinergias em favor de uma mobilidade urbana mais sustentável e de uma melhor e mais participada tomada de decisão.

Prevê-se que o sistema de informação, cujas funcionalidades essenciais se indicam na Figura 6, necessite, da parte dos utilizadores, do preenchimento de informação mínima (p.ex., incluindo uma breve caracterização de perfis e possibilitando que o utilizador escolha qual o que mais se adequa ao seu caso) além dos pontos de origem e destino. O registo dos utilizadores no sistema é aconselhável para memorização das características e preferências pessoais, mas também

pela oportunidade de dar feedback ao percurso sugerido ou percurso realizado em alternativa, pela possibilidade de poder ser contactado pelo sistema sobre sugestões, opiniões, ou qualquer informação introduzida e/ou ser contactado para responder a inquéritos dirigidos, no sentido de aperfeiçoar o sistema. Deve-se possibilitar que o utilizador se identifique com um perfil ou ajuste o seu sistema de preferências, em qualquer altura. O utilizador pode aceder aos relatórios periódicos, estatísticas e mapas da base de dados do SIRCuL (inclinações da rede viária, rede de ciclovias, locais estacionamento, entre outros).



Com vista a aperfeiçoar continuamente o bike route planner, o SIRCuL deverá recolher os dados dos utilizadores de bicicleta, em termos de perfis, percursos sugeridos, frequência com que uma via é utilizada, indicação de acidentes, sugestões e opiniões. Com base na informação continuamente gerada sobre os utilizadores, estatísticas e relatórios de síntese, a câmara municipal poderá fazer uma melhor gestão da rede ciclável e mobilidade, tomar decisões informadas sobre a intervenção numa via ou área. Aos utilizadores, para além das funcionalidades do bike route planner, oferece-se a possibilidade de aceder a informações úteis, acrescentar informação ao sistema, dar sugestões ou opiniões sobre a rede e infraestruturas de apoio. O utilizador poderá ainda acrescentar informação ao sistema, via um formulário estruturado para adicionar pontos de interesse (locais e causa de acidentes, oficinas e lojas, problemas de pavimento, etc.), complementando o conjunto de dados a recolher. Os gestores da mobilidade urbana podem assim melhor responder às necessidades do público-alvo das suas medidas e ações.

### 3. CONCLUSÕES

A análise dos dados permitiu concluir que há diversos perfis distintos de ciclistas em Lisboa, com diferenças significativas ao nível da preferência de percursos, necessidades e comportamento. Com base nestes sistemas de preferência, desenvolveu-se um modelo baseado em SIG que demonstrou a dependência dos percursos sugeridos em função dos perfis e a praticabilidade da sua inclusão no sentido de proporcionar informação dirigida aos segmentos de utilizadores, com percursos lógicos e diferenciados que se creem coincidentes ou muito próximos dos que efetivamente seriam realizados, e daí a pertinência da sua inclusão num bike route planner integrado numa ferramenta de gestão da mobilidade de âmbito municipal. O método de recolha de dados proposto aparenta ser uma solução eficaz para colmatar a ausência de informação disponível e possibilitar, tanto aos utilizadores de bicicleta como aos gestores da rede ciclável, a obtenção de informação útil e orientada aos seus interesses.

## A MODELAÇÃO GEOGRÁFICA DAS PERTURBAÇÕES AMBIENTAIS COMO INSTRUMENTO DE APOIO À DECISÃO NA ÁREA DO PLANEAMENTO DA CONSERVAÇÃO

Ana Luisa GOMES, Lara NUNES e Alexandra FONSECA

Direção-Geral do Território

**RESUMO:** A política de conservação da natureza da União Europeia (UE) assenta maioritariamente na existência da Rede Natura 2000, estrutura associada a uma estratégia de conservação ativa no sentido de estabelecer mecanismos para a proteção de determinadas espécies da fauna e da flora e/ou que atuem no restabelecimento de habitats em perigo. Por outro lado, existe uma outra estratégia de conservação baseada numa abordagem mais passiva, orientada para a conservação de grandes áreas isoladas das atividades humanas, onde as ameaças à vida selvagem são consideradas mínimas e em que a conservação prima pela não intervenção humana, à imagem do conceito de wilderness. Esta estratégia de conservação surge reforçada por iniciativas como Rewilding Europe pretendendo conduzir a uma nova visão na UE, mais orientada para o mundo selvagem, com o intuito de mostrar que a Europa pode lidar de forma diferente com a natureza. Inspirado assim, no conceito de wilderness/rewilding, o trabalho desenvolvido procura discutir uma abordagem complementar aos métodos mais comuns de seleção de áreas para a conservação e de corredores para a vida selvagem, procurando identificar áreas onde a presença humana e o seu impacto sejam menores. A metodologia utilizada baseia-se na modelação espacial das perturbações ambientais com base em fatores de perturbação humana para as espécies selvagens como a densidade populacional, a poluição sonora e química e o uso/ocupação do solo. Através do desenvolvimento de um sistema pericial multi-critério, que recorreu à consulta de cerca de meia centena de especialistas em diferentes áreas consideradas relevantes, obteve-se o gradiente das perturbações ambientais, que serviu de base para identificação de corredores de ligação entre áreas protegidas bem como para a delimitação de áreas de menor perturbação ambiental. O abandono agrícola e as atuais políticas europeias que incentivam uma conservação da natureza através de uma gestão por rewilding constituem uma oportunidade muito relevante de valorizar os recursos naturais portugueses e os serviços prestados à sociedade pelos ecossistemas a eles associados. Este trabalho pretende funcionar como uma ferramenta de apoio à decisão para fomentar a proteção, restauração ou rewilding através da identificação de áreas de menor perturbação em Portugal, bem como o incremento da conectividade entre áreas de conservação já existentes e futuras, através de corredores de menor perturbação para a vida selvagem.

**Palavras-chave:** modelação espacial, perturbações ambientais, sistema pericial, wilderness/rewilding, conservação da natureza, modelos multi-critério de apoio à decisão.

**ABSTRACT:** This paper presents a complementary approach to the more common methods for selecting conservation areas and corridors for wildlife. The methodology explores spatial modeling of environmental disturbances based on factors reflecting human disturbance to wildlife species (e.g. population density, noise and chemical pollution from roads/railways, land use/land cover) using a multi-criteria expert system and spatial analysis tools. The obtained gradient allows the identification of areas of less environmental disturbance based on the criteria described in Wild EUROPE 2013 as well as the delineation of corridors between protected areas. This research aims contributing to promote protection, restoration and rewilding in Portugal.

**Keywords:** spatial modeling, environmental disturbances, expert system, wilderness/rewilding, nature conservation, multi-criteria decision support models.

### REFERÊNCIAS

Chiu, T., Fang, D., Chen, J., Wang, Y. e Jeris, C. (2001). A robust and scalable clustering algorithm for mixed type Attributes in large database environment". 7th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. San Francisco, Califórnia: ACM, 2001, p. 263-268.

Comissão Europeia (2011). Future of transport, Analytical report. Flash Eurobarometer, 312.

Ehrgott, M., Wang, J.Y.T., Raith, A. e Van Houtte, C. (2012). A bi-objective cyclist route choice model. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 46(4), p. 652-663.

Fu, J. e Hochmair, H. (2009). Web based bicycle trip planning for Broward County, Florida. ESRI User Conference 2009: San Diego, Califórnia, p. 1-12.

Harvey, F. e Krizek, K. (2007). Commuter bicyclist behavior and facility disruption. Relatório Técnico, Center for Transportation Studies, University of Minnesota, St. Paul, Minnesota.

Hochmair, H. (2004). Decision support for bicycle route planning in urban environments. In Toppen, F., Prastacos, P. (Eds.), 7th AGILE Conference on Geographic Information Science. Heraklion, Greece: Crete University Press, p. 697-706.

Hochmair, H. (2005). Towards a classification of route selection criteria for route planning tools. Developments in Spatial Data Handling (pp. 481-492). Berlin/Heidelberg: Springer.

Hochmair, H. (2009). GIS-based Identification of Effective Bicycle Level of Service Improvement in Street Networks. 12th AGILE Int. Conference on Geographic Information Science. Hannover.

INE (2012). Censos 2011, Resultados definitivos: Portugal. URL: [www.ine.pt](http://www.ine.pt)

Rietveld, P. (2004). Determinants of bicycle use: do municipal policies matter?. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 38(7), p. 531-550.

Stinson, M.A. e Bhat, C.R. (2003). An analysis of commuter bicyclist route choice using a stated preference survey. Transportation Research Record, 1828, p. 107-115.

Stinson, M. e Bhat, C. (2005). A comparison of the route preferences of experienced and inexperienced bicycle commuters. Transportation Research Board 84th Annual Meeting. Washington.

Su, J.G., Winters, M., Nunes, M. e Brauer, M. (2010). Designing a route planner to facilitate and promote cycling in Metro Vancouver, Canada. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 44(7), p. 495-505.

### CONTACTOS

[rosamfelix@tecnico.ulisboa.pt](mailto:rosamfelix@tecnico.ulisboa.pt)

[alexandre.goncalves@tecnico.ulisboa.pt](mailto:alexandre.goncalves@tecnico.ulisboa.pt)

[jbsilva@tecnico.ulisboa.pt](mailto:jbsilva@tecnico.ulisboa.pt)

## 1. ENQUADRAMENTO

### 1.1. A Conservação da Natureza na União Europeia

A International Union for Conservation of Nature (IUCN) define área protegida como um espaço geográfico claramente delimitado, reconhecido, dedicado e gerido de forma a promover a conservação da natureza em associação com os serviços dos ecossistemas e os valores culturais. Pode incluir área de mar, lagos ou outro tipo de território que tenha sido identificada como importante para a conservação da natureza. Em algumas áreas protegidas é permitida a presença de indústria, agricultura extensiva ou pesca, enquanto que outras proíbem totalmente essas atividades (EEA, 2012).

A noção de que os serviços ambientais fornecidos pelas áreas protegidas vão muito para além da preservação da biodiversidade, desempenhando um papel relevante tanto no sequestro de carbono como na mitigação dos efeitos de desastres naturais, como é o caso das cheias, está a ser cada vez mais interiorizada pelos decisores e pela comunidade associada a esta área (EEA, 2012).

A política de conservação da natureza da União Europeia (UE) baseia-se fundamentalmente em dois documentos: a Diretiva Aves, relativa à proteção das aves selvagens e a Diretiva Habitats, relativa à conservação dos habitats naturais e da fauna e flora selvagens. Estas Diretivas estabelecem as bases para a proteção e conservação da fauna selvagem e dos habitats na União Europeia, apontando para a criação de uma rede ecologicamente coerente de áreas protegidas denominada Rede Natura 2000.

#### 1.1.1. Rede Natura 2000

A Rede Natura 2000 tem como principal objetivo contribuir para assegurar a biodiversidade, através da conservação dos habitats naturais e/ou de espécies da flora e da fauna considerados ameaçados no espaço da União Europeia”. De acordo com o Relatório “Protected areas in Europe – an overview” (EEA, 2012), as áreas protegidas nacionais conjuntamente com a Rede Natura 2000 cobrem uma parte significativa da EEA-39, correspondendo a cerca de 21% desse território. Portugal encontra-se perto desse valor com 20,9% (EC, 2011).

#### 1.1.2. Diferentes estratégias de conservação

A Rede Natura 2000 está associada a uma estratégia de conservação dirigida para a proteção de espécies, de habitats e da diversidade biológica, em que seleção de áreas para a conservação está geralmente associada a critérios de raridade ou de representatividade de espécies. Critérios fundamentados com fatores relacionados com a dinâmica das populações e com a distribuição das espécies (Kershaw et al., 1995). Este tipo de gestão activa tenderá a ser a opção preferencial quando o objetivo é proteger determinadas espécies ou manter habitats prioritários, enquanto a gestão passiva que privilegia os processos ecológicos dinâmicos, pode ser mais sustentável a longo prazo ou mais adequada para grandes áreas de conservação.

Consoante os objetivos de proteção duas estratégias diferentes de conservação podem ser seguidas: 1) uma proteção mais ativa no sentido de estabelecer mecanismos para a proteção de determinadas espécies e/ou que atuem no restabelecimento de habitats em perigo; 2) uma outra estratégia baseada numa abordagem mais passiva, orientada para a conservação de grandes áreas isoladas das atividades humanas, onde as ameaças à vida selvagem são consideradas mínimas e em que a conservação prima pela não intervenção humana, à imagem do conceito de wilderness (Gomes, 2005).

A estratégia de conservação apresentada e proposta neste trabalho, é desenvolvida à imagem do conceito de wilderness, assente na informação sobre a influência humana no território, orientada para a identificação de grandes áreas isoladas das atividades humanas, áreas naturalmente adequadas para a proteção da vida selvagem, uma vez que, as espécies selvagens normalmente não toleram a presença humana e são muito sensíveis às perturbações antropogénicas.

#### 1.1.3. Abandono agrícola

Na União Europeia, grandes áreas têm sido afetadas pelo abandono agrícola nas últimas décadas, principalmente como resultado do declínio dos sistemas agrícolas extensivos (de baixo rendimento) e de pequena dimensão (IEEP, 2005). Portugal partilha esta tendência em que a pequena dimensão das explorações associada ao envelhecimento dos agricultores tem levado ao abandono de vastas áreas agrícolas do território, com consequências sociais, económicas e ambientais graves, que requerem estudo e reflexão no sentido de procurar soluções para as regiões afetadas (Alves et al., 2003). Áreas substanciais de abandono podem assim, ter impactos significativos sobre os objetivos de conservação da natureza.

Com base nas tendências esperadas relativas aos fatores do abandono e aos modelos espaciais de uso do solo, parece haver uma evidência considerável de que se registará um significativo abandono da terra na Europa, ao longo das próximas décadas (Keenleyside, 2010). Esta tendência para o abandono das terras agrícolas, surge como uma oportunidade para um novo uso desses territórios desvalorizados, o da conservação dos processos naturais, possibilitando o estabelecimento de uma nova rede de grandes áreas de conservação ligadas por corredores ecológicos (Bruinderink et al., 2003).

#### 1.1.4. Conceito de *wilderness*

O conceito de wilderness tem evoluído desde a procura de espaços inóspitos para atividades de recreio e lazer, até à identificação de grandes áreas remotas para fins de proteção do património natural (Hendee & Dawson, 2004). A 20 de agosto de 1964 foi aprovado o US Wilderness Act, como a Lei que legisla o conceito de wilderness, que institui os estatutos legais das áreas de wilderness e que define os seus usos (Foreman, 2000).

Na Europa, é difícil encontrar regiões verdadeiramente selvagens segundo os critérios definidos pelo US Wilderness Act, mas é possível fazer um esforço de adaptação do conceito original de wilderness à realidade europeia, caracterizada pela longa história de ocupação humana. A definição consensual de wilderness num contexto Europeu é a seguinte:

“Uma área de wilderness consiste numa área gerida por processos naturais [...] composta por habitats e espécies nativas [...] sem registo de atividade humana intrusiva ou extrativa, ocorrência de povoações, infraestruturas ou alterações da paisagem” [Wild EUROPE, 2013].

#### 1.1.5. Conceito de *Rewilding*

Recentemente surge a iniciativa Rewilding Europe (2012) com o objetivo de criar uma nova visão da conservação na Europa, mais orientada para o mundo selvagem e para os processos naturais, com o intuito de mostrar que a Europa pode lidar de forma diferente com a natureza, com menores custos envolvidos na sua gestão. Esta iniciativa, centrada no conceito de rewilding, considera a natureza como algo que pode regenerar-se plenamente se lhe for dada essa oportunidade, aplicável a qualquer tipo de paisagem ou nível de proteção.

O conceito rewilding pode tornar-se a principal estratégia de gestão para muitas das áreas naturais no futuro (Rewilding Europe, 2012), transformando os problemas causados pelo abandono das terras, registados atualmente, em oportunidades para as pessoas que vivem nessas áreas, proporcionando uma alternativa viável de negócio baseada na natureza selvagem existente na Europa.

## 1.2. Conservação da Natureza em Portugal

Portugal assumiu compromissos no âmbito de várias Convenções Internacionais (Ramsar, Berna, Bona) e como membro da União Europeia (Rede Natura 2000). Ao nível estritamente nacional, salientamos a Rede Nacional de Áreas Protegidas, como instrumento de âmbito nacional para a conservação da natureza.

Tal como no resto da União Europeia, as paisagens Portuguesas evidenciam uma clara tendência para o despovoamento e conseqüente abandono das atividades agrícolas. Surge assim, a oportunidade de aplicar o conceito de rewilding, como um retorno à vida selvagem, embora associado ao conceito de wilderness e torna-se mais adequado para aplicação ao território nacional, sujeito a uma longa história de perturbações ambientais antropogénicas. Desta forma, rewilding pode ser uma das políticas de gestão do território a adotar nesses territórios abandonados, pois promove a regeneração natural das florestas e de outros habitats naturais, favorecendo o aumento de biodiversidade e melhorando os serviços prestados pelos ecossistemas. Trata-se de uma estratégia de conservação associada a uma gestão passiva, com custos de manutenção mais baixos do que outras opções de gestão territorial e conseqüentemente benefícios significativos, os serviços de regulação ambientais fornecidos pelos ecossistemas naturais que são assim obtidos com recurso a um investimento reduzido (Gomes et al., 2013a).

### 1.3. Objetivos

Neste trabalho procuramos discutir uma abordagem complementar aos métodos mais comuns de seleção de áreas para a conservação e de corredores para a vida selvagem, inspirada no conceito de wilderness/rewilding, procurando identificar áreas onde a presença humana e o seu impacto sejam menores.

## 2. MODELAÇÃO GEOGRÁFICA DAS PERTURBAÇÕES AMBIENTAIS COMO INSTRUMENTO DE APOIO À DECISÃO

Em termos gerais, o conceito de wilderness significa regiões sem a influência humana e em que os processos naturais lideram a dinâmica do ecossistema. Este conceito descreve o extremo de um gradiente relacionado com o fator natural do sistema (Cole, 2001) e com as perturbações ambientais derivadas das atividades humanas. De um modo geral, a distribuição de áreas de wilderness é relativamente bem mapeada com base no impacto da atividade humana (Carver et al., 2012).

Os processos metodológicos para a modelação espacial das perturbações são desenvolvidos com base no trabalho de investigação “Áreas de Wilderness para a Conservação da Vida Selvagem” (Gomes, 2005). Assim, como fatores de perturbação humana para as espécies selvagens consideraram-se: a densidade populacional, a poluição sonora e química das vias/ferrovias e das indústrias e o uso/ocupação do solo (Gomes et al. 2013a, 2013b).

Considerando que a valoração dos fatores que traduzem as perturbações ambientais derivadas das atividades humanas varia com as diferentes sensibilidades das espécies e não se encontra quantificada cientificamente para a maioria dos casos (Gomes et al., 2013b), desenvolveu-se um sistema pericial multi-critério, sob o qual se procedeu à consulta de cerca de meia centena de especialistas, com conhecimento e experiência nas temáticas da vida selvagem, conservação da natureza, ambiente e avaliação de impactes ambientais. Nesta consulta, os especialistas quantificaram as classes dos fatores do modelo com o grau de perturbação para as espécies selvagens (Gomes et al., 2013a).

O valor da mediana das respostas foi utilizado dentro de um modelo de análise espacial desenvolvido para o cálculo da intensidade e da amplitude das perturbações ambientais. O gradiente das perturbações ambientais foi obtido através de uma combinação linear ponderada dos fatores (Gomes et al., 2013a). A combinação linear ponderada é uma das regras de decisão baseadas em SIG mais amplamente utilizadas, normalmente aplicada em análises de uso do solo, áreas favoráveis às espécies, seleção de locais de conservação e problemas de avaliação de recursos (Malczewski, 2000).

Assim, foi possível obter um só gradiente de perturbação ambiental, representativo do conjunto de 51 respostas (Figura 1 - a) e que serviu de base para identificação de corredores de ligação entre as áreas protegidas (Figura 1 - b) e de áreas menor perturbação (Figura 1 - c).

Para obter os corredores para a vida selvagem foi utilizado o software Corridor Design (Majka et al., 2007) que opera sobre o ArcGis e que se baseia na função espacial least-cost-path sobre superfícies de custo, para gerar propostas de corredores entre áreas protegidas (Rede Nacional de Áreas Protegidas e Rede Natura 2000). Para delinear os corredores de menor perturbação foi calculado o gradiente de suitability calculando o inverso do gradiente das perturbações ambientais (Gomes et al., 2013b).

As áreas de menor perturbação ambiental foram obtidas com base nos critérios descritos no relatório (Wild EUROPE, 2013), que subdivide áreas de wilderness em três zonas: uma área central com a maior qualidade de wilderness, com um impacto mínimo da actividade humana ou das infra-estruturas, onde dominam os processos naturais (correspondem a áreas com um mínimo de perturbação e maiores que 3 000ha); rodeada por uma zona tampão de atividades com baixo impacto da presença humana; envolvida por uma zona de transição onde é permitida uma gama limitada de atividades humanas mas com práticas de gestão e controle. Considera-se que esta estrutura oferece melhor proteção, permitindo simultaneamente uma potencial expansão no futuro e uma interação flexível com outros usos do solo. A Figura 1 - C apresenta as áreas resultantes do agrupamento destes três tipos de áreas (central, tampão e transição).

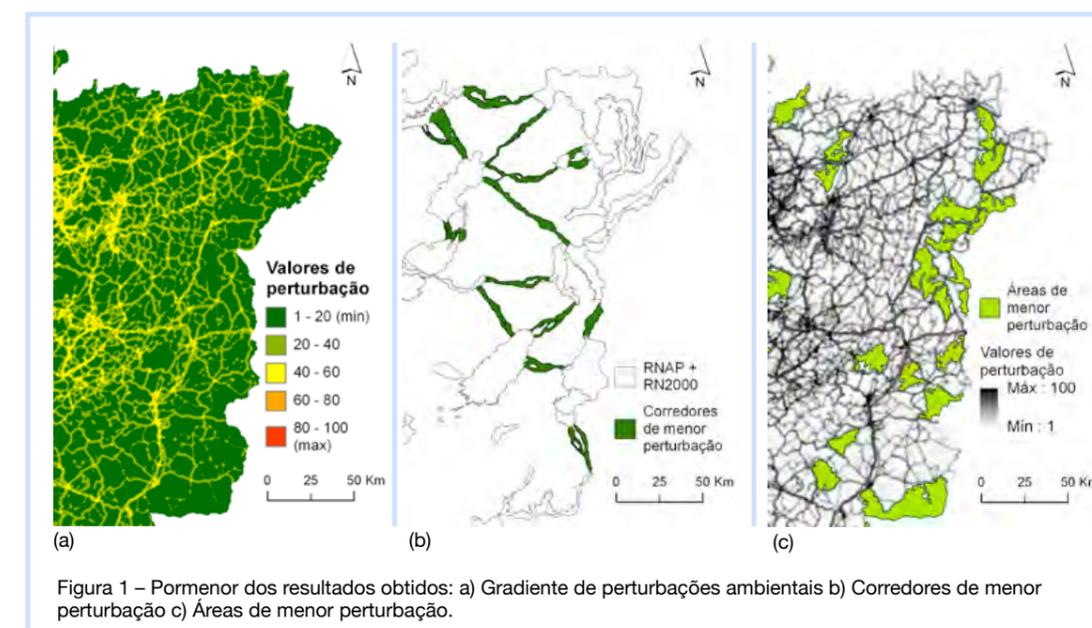


Figura 1 – Pormenor dos resultados obtidos: a) Gradiente de perturbações ambientais b) Corredores de menor perturbação c) Áreas de menor perturbação.

Os resultados obtidos são promissores, registando-se um claro ajuste entre o desenho dos corredores e os dados de presença confirmada do Lobo-ibérico, uma espécie selvagem considerada sensível à presença humana (Gomes et al., 2013b). Por outro lado, salienta-se o facto de que a primeira área com uma gestão rewilding em Portugal, a Faia-Brava, entre Vila Nova de Foz Côa e Figueira de Castelo Rodrigo, pertence a uma das áreas identificadas como de menor perturbação ambiental.

Foram realizados testes de robustez ao modelo pericial quanto à incerteza associada à identificação de corredores de menor perturbação. Quando comparados os resultados do modelo para cenários alternativos, obtiveram-se corredores com elevada semelhança pois apresentavam altas taxas de sobreposição espacial e variações médias de resistência e custo-distância muito próximas de zero (Nunes et al., 2014). Consideramos a análise de incerteza dos modelos importante para que decisões estratégicas em planeamento do território baseadas naqueles sejam mais conscientes.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em geral, as ferramentas SIG e suas aplicações têm vindo a tornar-se cada vez mais populares entre gestores de recursos e no planeamento para a conservação por integrarem informação e a modelarem. Frequentemente, a informação de peritos é utilizada como substituta em modelos baseados em dados de campo, quando estes não estão disponíveis, para desenvolver modelos preditivos simples, num período de tempo relativamente curto e com poucos recursos (Clevenger et al., 2002).

Têm aumentado os estudos em que os especialistas são solicitados para complementarem ou mesmo substituírem a escassez de dados na modelação ecológica, quantificando as suas experiências pessoais e observações (Drew & Perera, 2011) integradas em modelos multi-critério de apoio à decisão, conhecidos por MCDM (Multiple Criteria Decision Making). Muitas questões que exigem a tomada de decisões espaciais podem ser auxiliadas por métodos MCDM, em que os decisores utilizam os MCDM para apoiarem a seleção da melhor alternativa de um conjunto de várias alternativas executáveis (Jankowski, 1995).

Os MCDM oferecem ferramentas e conceitos que incorporam as preferências nas tomadas de decisão baseadas em SIG (Wallenius et al., 2008). No entanto, é preciso ter algum cuidado neste processo de avaliação. O valor do julgamento de um perito ou de um conjunto de peritos está dependente da escala temporal e espacial de cada experiência individual. Questões relacionadas com quando, como e onde os especialistas adquiriram o conhecimento influenciam os resultados do modelo, pelo que a seleção de peritos deve ser cautelosa e acompanhada de uma análise de incerteza ao modelo (Drew & Perera, 2011).

Neste trabalho, explorou-se o conceito de wilderness numa perspetiva simplificada, identificando extensões de território longe das perturbações derivadas das atividades humanas, assim, presumivelmente dotadas de características propícias para a conservação da vida selvagem, utilizando para isso um MCDM, onde cerca de meia centena de especialistas foram chamados a contribuir.

Pretendemos com este trabalho exercitar e dar um contributo para fomentar a proteção, restauração ou rewilding de áreas com potencial para a vida selvagem em Portugal, bem como o incremento da conectividade entre áreas de conservação já existentes e futuras, através de corredores de menor perturbação ambiental.

Consideramos que o abandono agrícola assinalado e as atuais políticas europeias que incentivam uma conservação da natureza através de uma gestão por rewilding constituem uma oportunidade muito relevante de valorizar os recursos naturais portugueses e os serviços prestados pelos ecossistemas a eles associados. Só para o conjunto de áreas terrestres e marinhas da Rede Natura 2000 da União Europeia, a Comissão Europeia estimou o valor dos serviços a ela associados em 200-300 biliões de euros por ano (European Commission, 2013), onde se incluem os benefícios fornecidos pela natureza como a alimentação, materiais, água limpa, ar puro, regulação climática, prevenção de cheias, atividades recreativas e outros serviços culturais. Assim, é possível com uma adequada gestão da natureza obter benefícios sócio-económicos associados ao valor de wilderness, em que o conceito de 'wilderness' ou 'selvagem' pode ser empregado como rótulo promocional de sucesso. Aqui, a modelação geográfica das perturbações ambientais pode ser, neste contexto, um instrumento de apoio à decisão importante para o ordenamento da conservação e para a criação de valores naturais.

### AGRADECIMENTOS

Este trabalho está a ser desenvolvido no âmbito de um projeto de investigação, CVS – Corredores para a vida selvagem: Modelação espacial da pressão humana e a sua utilidade para a conservação do Lobo Ibérico, financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (PTDC/AAC-AMB/111457/2009).

### REFERÊNCIAS

- Alves, A., Carvalho, N., Silveira, S., Marques, J., Costa, Z., Horta, A. (2003). O abandono da actividade agrícola. Grupo de Trabalho Agro-Ambiental Ministério da Agricultura do Desenvolvimento Rural e das Pescas.
- Bruinderink, G.G., Van Der Sluis, T., Lammertsma, D., Opdam, P. & Pouwels, R. (2003). Designing a coherent ecological network for large mammals in Northwestern Europe. *Conservation Biology*, 17, 549-557.
- Carver, S., Comber, A., McMorran, R., & Nutter, S. (2012). A GIS model for mapping spatial patterns and distribution of wild land in Scotland. *Landscape and Urban Planning*, 104(3), 395-409.
- Clevenger, A. P., Wierzchowski, J., Chruszcz, B., & Gunson, K. (2002). GIS generated, expert based models for identifying wildlife habitat linkages and planning mitigation passages. *Conservation biology*, 16(2), 503-514.
- Cole, D.N. (2001) Management dilemmas that will shape wilderness in the 21st century. *Journal of Forestry*, 99, 4-8.
- Drew, C. A., & Perera, A. H. (2011). Expert knowledge as a basis for landscape ecological predictive models. In *Predictive Species and Habitat Modeling in Landscape Ecology*, pp. 229-248, Springer New York.
- EEA (2012). Protected areas in Europe - an overview. EEA Report No 5/2012.
- European Commission (2011). Natura 2000 barometer. *Natura 2000 Newsletter*, 30, 8-13.
- European Commission (2013) Green Infrastructure (GI) - Enhancing Europe's Natural Capital Brussels, 6.5.2013 COM (2013) 249.
- Foreman, D. (2000). The real wilderness idea. *Proceedings of USDA Forest Service RMRS*, 15:1, 32-38.
- Gomes, A.L. (2005) Áreas de Wilderness para a Conservação da Vida Selvagem. Dissertação para acesso à categoria de Investigadora Auxiliar, Instituto Geográfico Português.
- Gomes, A.L., Nunes, L., Fonseca, A. (2013a) Sistema pericial para a modelação espacial das perturbações ambientais resultantes de actividades humanas. II Conferência de PRU, Conferência Internacional EUROPA 2020, 5 e 6 de Julho, Aveiro.
- Gomes, A.L., Nunes, L., Fonseca, A. (2013b) Corredores de ligação entre áreas protegidas com base na modelação espacial das perturbações ambientais. IX Congresso da Geografia Portuguesa, Universidade de Évora, 28 a 30 de Novembro, Évora.
- Hendee, J.C. & Dawson, C.P. (2004). Wilderness: Progress after forty years under the U.S. Wilderness Act. *International Journal of Wilderness*, 10:1, 4-7.
- IEEP (2005) Land Abandonment, biodiversity and the CAP. International seminar in Sigulda, Latvia, Utrecht.
- Jankowski, P. (1995). Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods. *International Journal of Geographical Information Systems*, 9(3), 251-273.
- Keenleyside, C and Tucker, G M (2010). Farmland Abandonment in the EU: an Assessment of Trends and Prospects. Report prepared for WWF. Institute for European Environmental Policy, London.
- Kershaw, M., Mace, G.M. & Williams, P.H. (1995). Threatened status, rarity, and diversity as alternative selection measures for protected areas: a test using afro-tropical antelopes. *Conservation Biology*, 9, 324-334.
- Majka, D., Jenness, J., Beier, P. (2007). CorridorDesigner: ArcGIS tools for designing and evaluating corridors. Available at <http://corridordesign.org>.
- Malczewski, J. (2000). On the use of weighted linear combination method in GIS: common and best practice approaches. *Transactions in GIS*, 4(1), 5-22.
- Nunes, L., Gomes, A.L., Fonseca, A. (2014 - em publicação). Uncertainty analysis in the modeling of wildlife corridors, IALE-Europe Thematic Workshop 2014, Instituto Superior Técnico, 4-5 julho, Lisboa.
- Rewilding Europe (2012). Rewilding Europe. A new beginning. For wildlife. For us. Annual Review.
- Wallenius, J., Dyer, J. S., Fishburn, P. C., Steuer, R. E., Zions, S., & Deb, K. (2008). Multiple criteria decision making, multiattribute utility theory: Recent accomplishments and what lies ahead. *Management Science*, 54(7), 1336-1349.
- Wild EUROPE (2013). A Working Definition of European Wilderness and Wild Areas. Wild EUROPE.

### CONTACTOS

Ana Luisa GOMES: [luisa.gomes@dgterritorio.pt](mailto:luisa.gomes@dgterritorio.pt)  
 Lara NUNES: [nunes.lara@gmail.com](mailto:nunes.lara@gmail.com)  
 Alexandra FONSECA: [afonseca@dgterritorio.pt](mailto:afonseca@dgterritorio.pt)  
[www.dgterritorio.pt](http://www.dgterritorio.pt)

## CONSTRUÇÃO DE INDICADORES DE ATRATIVIDADE E ACESSIBILIDADE PEDONAL PARA MEDIÇÃO DA “CAMINHABILIDADE” EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA – APLICAÇÃO AO CASO DE LISBOA

Alexandre B. GONÇALVES<sup>1,2</sup>, Paulo CAMBRA<sup>1</sup>, Filipe MOURA<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

<sup>2</sup>ICIST (Inst. de Eng.ª de Estruturas, Território e Construção)

<sup>3</sup>CESUR (Centro de Sistemas Urbanos e Regionais)

**RESUMO:** No âmbito da sustentabilidade no planeamento e gestão do território, o conceito de “walkability” (caminhabilidade) surge enquanto medida do ambiente que envolve o espaço físico onde se processa uma viagem a pé, e baseia-se na avaliação de vários atributos e qualidades desse espaço. A identificação e avaliação de tais atributos não tem sido consensual, mas, mesmo assim, entre a variedade de fatores urbanísticos que reconhecidamente influenciam a marcha a pé, a acessibilidade e a atratividade parecem assumir papéis fundamentais.

Neste artigo pretende-se identificar indicadores de acessibilidade e atratividade pedonal para avaliação da «walkability», contribuindo para uma fundamentação e acompanhamento de estratégias e intervenções ao nível do planeamento e gestão urbanística, no âmbito da promoção de cidades mais sustentáveis. Foi desenvolvido um modelo de avaliação, baseado em técnicas de análise multicritério e de apoio à decisão, que permite a aferição dos indicadores propostos a diferentes escalas, cada qual com características distintas e exigindo níveis diferenciados de informação. O modelo, que visa ainda facilitar a comunicação e a apreensão da informação por parte de decisores e público, foi testado a essas diferentes escalas, respetivamente para o Bairro Alto e para algumas das ruas deste bairro.

**Palavras-chave:** caminhabilidade, sustentabilidade, planeamento, mobilidade pedonal

**ABSTRACT:** The concept of walkability, as a measure of the environment which encompasses the physical space of pedestrian travelling, arises in the scope of sustainability in territorial planning and management and is based on the evaluation of several attributes and characteristics of such space. The identification and evaluation of these attributes is not consensual, but, from the variety of urban factors that certainly influence pedestrian travelling, accessibility and attractiveness seem to stand as major aspects.

In this work an identification of pedestrian accessibility and attractiveness indicators is made, contributing for a foundation and monitoring of walkability strategies and interventions, in urban planning and management and in the scope of the promotion of more sustainable cities. An evaluation model, based on multicriteria analysis and decision support techniques, was developed, allowing the assessment of the proposed indicators at distinct scales, each with its own characteristics and demanding distinct levels of information. The model, that aims to facilitate the communication and comprehension of information by both decision makers and general public, was tested at distinct scales for the Bairro Alto district in Lisbon and for some of its streets.

**Keywords:** walkability, sustainability, planning, pedestrian mobility

## 1. INTRODUÇÃO

Recentemente tem-se assistido à inserção de estratégias de promoção do ato de caminhar em planos de mobilidade de iniciativa municipal, dados os benefícios sociais, ambientais e económicos que a atividade apresenta. A compreensão do contributo do papel desempenhado pela promoção do ato de caminhar para a qualificação dos espaços, segurança e inclusão social tem surgido como um desafio colocado na conceção do ambiente urbano [Evans, 2009].

Uma das questões fundamentais no contexto do planeamento urbano e com a promoção do ato de caminhar relaciona-se com o modo como o ambiente construído o pode fomentar: se por um lado a afinidade entre o ambiente e o comportamento pedonal tem sido sobretudo estudada com base em relações de carácter intuitivo, já que apenas há uma reduzida contribuição científica relativa a esta questão [Park, 2008], por outro alguma prática tem demonstrado a existência de relações fortes [Handy, 2005], no que respeita a diversos atributos contextuais desse espaço e que facilitam o ato de caminhar. Assim, têm sido propostos estudos relativos a diversos desses atributos e analisada a sua importância ou papel na definição de um ambiente propício à caminhabilidade.

As relações entre o ambiente construído e o comportamento de quem nele caminha têm sido estudadas segundo várias perspetivas, e, embora recente, esta área de estudo tem merecido atenção em estudos de saúde pública, de transportes e de urbanismo e gestão do território. Em todas estas áreas é dada importância à necessidade de utilizar medidas objetivas que auxiliem a compreensão das relações entre atributos ambientais e o comportamento de caminhar [Leslie et al., 2007]. Neste contexto, encontrar atributos particulares no ambiente construído que exerçam essa influência de promoção é uma tarefa estimulante, tal como compreender as suas interdependências: por exemplo, a variedade de uso ou ocupação do solo, a densidade de pontos de interesse e a existência de equipamentos que apoia o ato de caminhar sugerem alguma complementaridade. Por este motivo, a interpretação da contribuição relativa de cada fator é um desafio [Frank et al., 2005].

## 2. AVALIAÇÃO DA CAMINHABILIDADE

A avaliação do ambiente em que está imerso o espaço pedonal pode ser efetuada por vários métodos, como inquéritos, inventários ou extração de índices por análise espacial, para sugestão de um nível de serviço. As medidas podem ser quantitativas ou qualitativas, variando a necessidade de considerar desde o espaço pedonal propriamente dito até ao ambiente circundante, e estarem relacionadas com diversas escalas de abrangência, entre a secção da cidade (bairro) e o cruzamento de vias. Dado que nem todas as pessoas se deslocam com os mesmos objetivos e capacidades, existirão ainda medidas próprias para cada um dos grupos-tipo de peões em função da sua idade/capacidade e propósito de deslocação. Poderão assim cruzar-se as medidas de carácter quantitativo e qualitativo com as escalas de análise (área, linha, ponto), apresentando-se um resumo das de maior aplicabilidade.

### 2.1.1. Medidas para áreas

Entre as medidas qualitativas para áreas incluem-se as que se podem obter por inquéritos a peões com questões relativas ao ambiente pedonal. O Neighborhood Environment Walkability Scale (NEWS), desenvolvido por [Saelens et al. 2003] é um exemplo de um destes inquéritos, no qual se colocavam questões acerca da densidade residencial, variedade de uso do solo, acesso, conectividade, equipamento de apoio, experiência estética e segurança. Os valores considerados para várias localizações permitiram confrontar bairros entre si e estabelecer padrões para benchmarking.

Já a avaliação de tipo quantitativo da caminhabilidade a nível de áreas centra-se no cálculo e cruzamento de indicadores estatísticos (censitários, urbanísticos, etc.) combinados com as entidades do espaço pedonal e envolvente (rede pedonal, uso do solo, edificado, etc.). Um exemplo [Frank et al. 2005] permite estabelecer um indicador aplicando um buffer de 1 km em torno de

um bairro já delimitado, área para a qual foram recolhidos dados de uso do solo (área total por uso), densidade residencial e densidade de cruzamentos da rede viária/pedonal, posteriormente combinados em indicador composto normalizado. Tal como o caso dos indicadores qualitativos, a normalização dos indicadores permite confrontar bairros entre si e estabelecer padrões para benchmarking.

### 2.1.2. Medidas para linhas

Em termos da avaliação da caminhabilidade aplicável ao nível dos segmentos lineares da rede pedonal, existe um conjunto de técnicas de “street auditing” muito utilizadas devido à simplicidade e facilidade de implementação. Neste contexto, cada um dos vários fatores tidos por relevantes é posicionado relativamente a valores indicativos, aos quais existem pontuações associadas. Um exemplo são as Pedestrian LOS Performance Measures [Dixon, 1996], que aplicam uma tabela de pontuação que classifica cada segmento da rede pela soma que este obtém em relação ao equipamento pedonal, conflitos, agradabilidade, nível de serviço para transporte motorizado, manutenção e tráfego multimodal. A pontuação para percursos obtém-se a partir da pontuação dos segmentos que os compõem, ponderada pelo respetivo comprimento e o resultado final é convertido numa escala categórica de nível de serviço (A a F).

A nível dos segmentos, as técnicas para avaliação da caminhabilidade em termos quantitativos têm sido baseadas em modelos de engenharia de transportes utilizados para avaliação da performance de redes viárias. Estas técnicas avaliam cada segmento de acordo com um modelo matemático conducente à sua classificação em termos de nível de serviço (LOS). Há vários modelos desenvolvidos, cada qual com um conjunto de variáveis tidas por mais relevantes para as deslocações pedonais. Na fase de formulação do modelo existe habitualmente um grupo de teste que avalia uma amostra de segmentos. As variáveis consideradas são então combinadas para ir de encontro aos resultados do grupo avaliador. O modelo é então passível de ser usado para calcular o LOS de qualquer outro segmento. Um exemplo é o modelo desenvolvido por Landis [2011].

## 2.2. Dimensões da caminhabilidade

Entre as diversas propostas de sistematização dos atributos do ambiente que envolve o espaço onde se caminha têm surgido estruturas em torno das dimensões genéricas em que estes atributos se equacionam. A Transport for London propôs cinco dimensões (traduzíveis por Conexão, Conforto, Conveniência, Convivialidade e Clareza) [cit. COST 358, 2010], estendidas por [Cambra, 2012] a duas dimensões adicionais (Coexistência e Compromisso), brevemente descritas por:

- **Conectividade:** medida da conexão, ligação e integração da rede pedonal;
- **Conveniência:** medida da adequação e utilidade;
- **Conforto:** medida da agradabilidade;
- **Convivialidade:** medida da sociabilidade do ambiente que circunda o espaço pedonal;
- **Clareza:** medida da distinção e percetibilidade;
- **Coexistência:** medida da integração ou convivência simultânea com outros modos de transporte;
- **Compromisso:** medida do cuidado e responsabilidade do ambiente do espaço pedonal.

## 3. METODOLOGIA

A metodologia proposta para avaliação da caminhabilidade passa por sintetizar medidas que permitam ter em conta características da rede pedonal e características ambientais para indicição

a várias escalas (macro/bairro e micro/segmento de rua), de reduzido custo e com informação disponível a municípios e investigadores, e incorporáveis na estrutura de sete dimensões acima referida.

Um primeiro desafio diz respeito à necessidade de integrar a multidimensionalidade da avaliação no processo avaliativo. É ainda necessário traduzir cada dimensão recorrendo a uma ou mais medidas que a expressem, e estas por sua vez podem ser correspondidas por vários descritores, sendo estes expressos por escalas nominais ou quantitativas, abertas ou fechadas, com ou sem valores alvo que traduzam uma qualidade de caminhabilidade “boa” ou “desejável”. Por exemplo, a dimensão Conectividade enquanto considerada para uma área pode ser expressa, entre outras, por medidas de conectividade das ruas e pelo grau de ligação ao transporte público, e para a primeira destas medidas existem vários descritores métricos ou topológicos, entre os quais a razão entre número de segmentos e número de interseções de ruas, que pode ter um valor alvo desejável de carácter subjetivo.

Numa avaliação quantitativa pode ser adotada uma simplificação relacionada com a linearidade das funções de valor de cada descritor (eventualmente com corte nos valores extremos) e com a normalização da sua agregação para um intervalo entre 0 (mínima satisfação ou valor neutro) e 100 (máxima satisfação ou valor alvo), para incorporação num modelo aditivo linear simples. A Tabela 1 ilustra potenciais valores de base mínimos ou neutros e valores alvo desejáveis que podem ser considerados para um ensaio a macroescala, em função dos quais é construída a expressão linear da função de valoração, representando o valor de caminhabilidade no intervalo pretendido.

Numa avaliação qualitativa, pode, por razões de simplificação, admitir-se que os intervalos de atratividade encontram equivalentes intervalos no eixo das abcissas, correspondente aos níveis de serviço, ou seja, a alteração do nível L0 para o nível L1 é tão atrativa como a alteração do nível L4 para o nível L5. Tal como num caso de avaliação por medidas quantitativas, pode fazer-se corresponder os valores 0 a um impacto neutro ou satisfação mínima e 100 a um máximo impacto ou satisfação definindo uma escala equivalente. As Tabelas 1 e 2 exemplificam descritores e aspetos mensuráveis ou qualificáveis das dimensões que estruturam a caminhabilidade, procurando através destes exemplos demonstrar que para cada dimensão, e independentemente da escala de análise, existem descritores de fácil obtenção, quer através do processamento de informação geográfica acessível, quer através da complementaridade de ações de levantamento de dados.

Tabela 1 – Medidas e descritores exemplificativos para avaliação quantitativa a macroescala

Dimensão	Medidas (descritores)	Código descritor	Valor base	Valor alvo
Conectividade	conectividade das ruas (#segmentos/#nós)	MC1a	1	2,5
	presença/cobertura de transporte público (=)	MC1b	0	100
	integração na rede (direcionalidade de percursos)	MC1c	2	1
Conveniência	variedade de usos (indicador de entropia de usos)	MC2a	0	1
	densidade residencial	MC2b	40	200
	presença/cobertura de atividades (usos)	MC2c	0	100
Conforto	disponibilidade de infraestrutura pedonal	MC3	50	100
Convivialidade	presença/cobertura de pontos de convivialidade	MC4	0	100
Clareza	sentido de local (entropia de idade do edificado)	MC5	1	0
Coexistência	capacidade (#faixas de rodagem)	MC6	4	0
Compromisso	proporção de vias pedonais	MC7	0	100

Tabela 2 – Descritores exemplificativos para avaliação qualitativa a microescala

Dimensão	Descritores	Código descritor	Valor base	Valor alvo
Conectividade	continuidade da rede pedonal	mC1	L0	L3
Conveniência	largura do passeio disponível	mC2	L0	L5
Conforto	equipamentos (bancos, etc.)	mC3a	L0	L3
	arborização	mC3b	L0	L4
	proteção climática (abrigo)	mC3c	L0	L3
	iluminação	mC3d	L0	L3
Convivialidade	edifícios vedados ou murados	mC4a	L0	L3
	frente de edificado	mC4b	L0	L3
Clareza	integração de percursos	mC5	L0	L3
Coexistência	conflitos (automóveis, bicicletas)	mC6a	L0	L3
	dimensão do buffer do passeio	mC6b	L0	L4
Compromisso	manutenção do passeio	mC7a	L0	L4
	limpeza do passeio	mC7b	L0	L4



Figura 1 – Área da análise a macroescala (esq.) e percurso analisado a microescala (dir).

Uma das linhas programáticas do modelo proposto tem em conta a sua utilização no contexto da gestão urbana nacional, ou seja, num quadro de recursos financeiros e humanos por vezes limitado. Neste sentido, os dados quantitativos de análise provêm sobretudo de fontes de domínio público (INE) bem como da informação corrente disponível em gabinetes municipais (planimetria). Os dados qualitativos podem ser obtidos através de processos de street auditing, nos quais um técnico com treino mínimo consegue efetuar in situ o levantamento das características funcionais necessárias (ex. da Tabela 2) a uma cadênciade de 1 a 3 km linear/hora, dependendo da heterogeneidade do ambiente urbano. O levantamento pode ser escalonável e revisto periodicamente, com o benefício de disponibilização de dados relevantes na programação de estratégias no âmbito da mobilidade pedonal.

#### 4. METODOLOGIA

A aplicação da metodologia exposta foi feita para um caso de estudo em Lisboa, para o qual foi necessário desenvolver um modelo de avaliação específico partindo das dimensões apresentadas [Cambra, 2012] e das escalas de análise. Na aplicação utilizaram-se conjuntos de dados estatísticos (população, habitação e edifícios, Censo de 2001) e informação geográfica fornecida pela CML. Os casos de aplicação foram o Bairro Alto (macroescala) e um percurso de cerca de 200 m entre dois locais, também no mesmo bairro (microescala). Em ambas as análises atribuiu-se idêntica ponderação a cada uma das sete dimensões, e subdividiu-se essa ponderação, também de forma equitativa, entre as diversas medidas que a expressam. Para a avaliação a macroescala, foram consideradas as ruas ilustradas na Figura 1 (esq.), e os dados relativos a pontos de convivialidade, paragens de transporte público e atividades essenciais (comércio). O resultado global foi de 75,0 (Tabela 3).

Tabela 3 – Resultado da avaliação a macroescala da área da Figura 1 (esq.).

Dimensão	Descritor	Pontuação	Ponderação	Resultado
Conexão	MC1a	40,0	0,0476	1,9
	MC1b	100,0	0,0476	4,8
	MC1c	73,1	0,0476	3,5
Conveniência	MC2a	61,4	0,0476	2,9
	MC2b	68,3	0,0476	3,3
	MC2c	100,0	0,0476	4,8
Conforto	MC3	72,7	0,1429	10,4
Convivialidade	MC4	100,0	0,1429	14,3
Clareza	MC5	87,1	0,1429	12,4
Coexistência	MC6	75,2	0,1429	10,7
Compromisso	MC7	42,7	0,1429	6,1
TOTAL	-	-	1,0	75,0

Para ilustração da aplicação do modelo a microescala, tomaram-se 5 segmentos (10 passeios) que formam um percurso de cerca de 200 m de extensão (Figura 1, dir.) e que abrange 3 ruas. Cada segmento foi pontuado de acordo com os 13 descritores da Tabela 2, sendo o resultado multiplicado pelo comprimento de cada segmento para se obter um indicador global do percurso. Cada passeio ou lado da rua é avaliado individualmente. Ao longo do percurso seguindo por um dos dois lados, obteve-se a pontuação de 69,6 (máximo 100), enquanto o outro lado obteve 72,3, resultando assim na pontuação global de 71. Esta valoração não incluiu a avaliação de interseções, que poderia ser feita em complemento e incorporada no resultado final.



Figura 2 – Resultado da análise a microescala

## 5. CONCLUSÕES

Os desafios de qualquer metodologia de avaliação da caminhabilidade passam tanto pela contextualização da multidimensionalidade envolvida na experiência de caminhar como pela variedade de medidas e descritores que expressam essas características fundamentais e pela valoração que pode ser feita com base nestes descritores. É possível, no entanto, desenvolver com base em análise espacial em SIG e com conjuntos de dados acessíveis aos municípios, eventualmente completados com street auditing, um conjunto de indicadores espaciais e topológicos que expressam as medidas correspondentes às várias dimensões da caminhabilidade, contribuindo assim para a identificação, de forma mais ou menos expedita, e consoante a escala de análise, das situações mais críticas, onde as ações de intervenção poderiam ser prioritárias. A flexibilidade na escolha de descritores capazes de avaliar os aspetos essenciais da caminhabilidade garante a aplicabilidade da metodologia, independentemente da escala de análise e da disponibilidade inicial de dados, possibilitando que seja implementável por parte dos gabinetes municipais.

### REFERÊNCIAS

Cambra, P. (2012). Pedestrian Accessibility and Attractiveness Indicators for Walkability Assessment. Dissertação de Mestrado em Urbanismo e Ordenamento do Território, IST - Universidade de Lisboa.

COST 358 (2010). PQN Final Report Part B1 - Functional Needs. Walk 21.

Dixon, L.B. (1996). Bicycle and pedestrian level-of-service performance measures and standards for congestion management systems. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1538(1), p. 1-9.

Evans, G. (2009). Accessibility, urban design and the whole journey environment. Built Environment, 35(3), p. 366-385.

Frank, L.D., Schmid, T.L., Sallis, J.F., Chapman, J. e Saelens, B.E. (2005). Linking objectively measured physical activity with objectively measured urban form: Findings from SMARTRAQ. American Journal of Preventive Medicine, Vol. 28, nº. 2, p. 117-125.

Handy, S. (2005). Critical assessment of the literature on the relationships among transportation, land use, and physical activity. Transportation Research Board / Institute of Medicine Committee on Physical Activity, Health, Transportation, and Land Use. TRB Special Report, 282.

Leslie, E., Cerin, E., duToit, L., Owen, N. e Bauman, A. (2007). Objectively assessing 'Walkability' of local communities: Using GIS to identify the relevant environmental attributes. GIS for Health and the Environment, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography 2007, p. 91-104, Springer.

Park, S. (2008). Defining, measuring, and evaluating path walkability, and testing its impacts on transit users' mode choice and walking distance to the station. Dissertação de doutoramento, University of California, Transportation Center, Berkeley.

Saelens, B.E., Sallis, J.F., Black, J.B. e Chen, D. (2003). "Neighborhood-based differences in physical activity: An environment scale evaluation". American Journal of Public Health, 93, p. 1552-1558.

### CONTACTOS

alexandre.goncalves@tecnico.ulisboa.pt

pcambra@gmail.com

fmoura@tecnico.ulisboa.pt



15 de maio - 5ª feira

08h30	<b>Registo</b>
09h00	<b>CERIMÓNIA DE ABERTURA</b> <i>Sofia Martins, Vereadora da Câmara Municipal do Barreiro</i> <i>Pedro Dominginhos, Presidente do Instituto Politécnico de Setúbal</i> <i>Otilia Dias, Diretora da Escola Superior de Tecnologia do Barreiro do IPS</i> <i>Maria João Henriques, Comissão Científica</i> <i>Rita Brito, Comissão Organizadora</i>
09h30	<b>CONFERÊNCIA: O Projeto de Extensão da Plataforma Continental...Um Mundo de Decisões</b> <i>Aldino Campos</i>
Intervalo para café	
10h45	<b>SESSÃO TÉCNICA 1</b> <i>Moderador: Cristina Catita</i>
	<b>BLACKBRIDGE – value-added information services and products for agriculture and forestry monitoring based on rapideye imagery</b> <i>Dirk Tilsner, Erika Paasche e Alexander Marx</i>
	<b>SIG3 no processo de decisão</b> <i>Rui Dias, António Franco, Ana Marques e José Dias</i>
	<b>Construção de uma geo-ontologia aplicada à monitorização de estruturas: primeiros resultados</b> <i>Rita Tomaz, Marzieh Bakhshandeh e Ana Paula Falcão</i>
	<b>Construção de indicadores de atratividade e acessibilidade pedonal para medição da "caminhabilidade" em sistemas de informação geográfica - aplicação ao caso de Lisboa</b> <i>Alexandre Gonçalves, Paulo Cambra e Filipe Moura</i>
	<b>Extracção de sombra a partir de imagens de satélite de alta resolução</b> <i>Morna Nandaia e Ricardo Silva</i>
	<b>Identificação do potencial renovável urbano para produção de electricidade</b> <i>Teresa Simões, Ana Estanqueiro e J. Maia Alves</i>
	<b>Identificação de "driving forces" na alteração do uso e ocupação do solo em Portugal continental (1980-2010)</b> <i>Marcelo Ribeiro, Bruno Meneses, Raquel Saraiva, Maria J. Vale e Rui Reis</i>
	<b>Almoço</b>

14h00	<p><b>Apresentação do patrocinador de Ouro: TRIMBLE</b></p> <p><b>SESSÃO TÉCNICA 2</b> Moderador: Nuno Charneca</p> <p><b>O avanço do mar e os processos destrutivos da linha de costa</b> <i>Carlos Antunes</i></p> <p><b>Erosão costeira e cenários de rotura dunar: uma ferramenta de modelação tridimensional baseada em SIG</b> <i>Jorge Almeida, Fernando Veloso-Gomes e Claudino Cardoso</i></p> <p><b>Gestão e análise de dados batimétricos no estuário do Tejo</b> <i>Miguel Melo, Nuno Charneca e Paula Freire</i></p> <p><b>Análise da influência das características do modelo digital de terreno em simulações hidrodinâmicas: o caso do rio Tejo</b> <i>Ana Paula Falcão, Magda Matias, Rita Pestana, Alexandre Gonçalves, Amélia Araújo e Sandra Heleno</i></p> <p><b>A influência dos modelos digitais de terreno nas simulações hidrodinâmicas – metodologia aplicada ao rio Tejo</b> <i>Magda Matias, Ana Paula Falcão, Alexandre B. Gonçalves, Rita Pestana, Sandra Heleno, Teresa Alvares, Emília Van Zeller e Victor Rodrigues</i></p> <p><b>Calibração de modelos de inundação com imagens de radar de abertura sintética (SAR) no baixo Tejo</b> <i>Rita Pestana, Magda Paraíso Matias, Ricardo Canelas, Dora Roque, Amélia Araújo, Emília Van Zeller, António Trigo-Teixeira, Ana Paula Falcão, Alexandre B. Gonçalves, Rui Ferreira e Sandra Heleno</i></p> <p><b>Avaliação do efeito de bacias de retenção descentralizadas no caudal de ponta de cheia de áreas urbanas</b> <i>Octávio Cunha, Ana Galvão e Filipa Ferreira</i></p> <p><b>Aplicação de referenciação linear à rede hidrográfica no contexto da harmonização de dados INSPIRE</b> <i>Edgar Barreira, Alexandra Fonseca, André Serronha, Marisa Silva e Paulo Patrício</i></p> <p>Intervalo para café</p>
17h00	<p><b>SESSÃO TÉCNICA 3</b> Moderador: Luís Cerqueira</p> <p><b>SIRCUL - Ferramenta interativa de planeamento de percursos para ciclistas e de apoio à gestão da mobilidade em Lisboa</b> <i>Rosa Félix, Alexandre Gonçalves e Jorge B. Silva</i></p> <p><b>SIG open source na gestão ambiental municipal</b> <i>Alexandre Neto</i></p> <p><b>Barreiro, um SIG para a gestão</b> <i>Manuel Landum</i></p> <p><b>Informação geográfica no contexto dos planos municipais de ordenamento do território</b> <i>Francisco Silva Cardoso, Miguel Nascimento e Luís Pedro Cerqueira</i></p> <p><b>A informação geográfica na revisão dos PDM'S</b> <i>Rui Florentino</i></p> <p><b>Intervenção e medidas de emergência pós sismo</b> <i>Cristina Oliveira e Francisco Surrecio</i></p>
19h00	<p>Evento Social</p> <p><b>IGNITE Portugal – Margem Sul "O Sul do Tejo é geoestratégico"</b></p>

## 16 de maio - 6ª feira

09h00	<p><b>SESSÃO TÉCNICA 4</b> Moderador: Rita Brito</p> <p><b>A geo-visualização como ferramenta para a participação no planeamento urbano</b> <i>Luís Pedro Cerqueira</i></p> <p><b>A importância dos sistemas de informação geográfica como suporte à gestão estratégica e eficiência operacional dos serviços de água: a solução G/INTERAQUA</b> <i>Mónica Calçada, Carlos Mariano e Carlos Godinho</i></p> <p><b>Contributo da informação geográfica na gestão operacional de entidades gestoras de serviços de águas</b> <i>João Coelho, Rita Almeida, Alice Ganhão, Ana Santos e João Feliciano</i></p> <p><b>O SIG da SANEST – Ferramenta de integração da informação de gestão de infraestruturas</b> <i>Cátia Gomes, João Santos Silva e Conceição Granger</i></p> <p><b>A tendências dos sistemas de informação geográfica</b> <i>Rui Santos</i></p> <p><b>Infra-estruturas de dados espaciais: aplicação prática</b> <i>Raquel Saraiva, Bruno Meneses, Maria José Vale e Rui Reis</i></p> <p>Intervalo para café</p>
11h00	<p><b>CONFERÊNCIA: Competências Nacionais no Desenvolvimento de Aplicações em Observação da Terra</b> <i>Teresa Brás</i></p>
11h45	<p><b>Apresentação do patrocinador de Ouro: TerraGes</b></p> <p><b>SESSÃO TÉCNICA 5</b> Moderador: Ana Fonseca</p> <p><b>A utilização de modelos GEO-BIM na representação interativa de centros urbanos</b> <i>Sónia Ildfonso, Ana Paula Falcão e Helena Rua</i></p> <p><b>HEAT-APP! Uma rede social móvel para compreender as cidades</b> <i>André Sá e Sandro Batista</i></p> <p><b>Remote sensing applications based on satellite open data (Landsat8 and Sentinel-2)</b> <i>Nuno Duro Santos</i></p> <p><b>Validação do potencial de utilização de informação geográfica gerada voluntariamente para a análise espacial de percursos de transportes públicos em Lisboa</b> <i>Nuno Charneca e João Dias Costa</i></p> <p><b>A modelação geográfica das perturbações ambientais como instrumento de apoio à decisão na área do planeamento da conservação</b> <i>Ana Luísa Gomes, Lara Nunes e Alexandra Fonseca</i></p> <p><b>Apresentação SKYEYE: o modelo 3D da ESTB</b></p> <p>Encerramento da Conferência</p>

- 13h45 **Demonstração de equipamentos**
- 14h15 **Workshop 1. Cria e partilha a tua aplicação Google Maps**  
Formador: *Sandro Batista*
- Workshop 2. Análise de objetos com Trimble eCognition**  
Formador: *Gabriel Inácio*
- Intervalo para café
- 16h30 **Workshop 3. Soluções GPS SpectraPrecision MobileMapper para SIG e Cadastro**  
Formador: *Pedro Fernandes e David Carvalho*
- Reunião Técnica 1.** Sessão aberta de apresentação do software QGIS. Apresentação do grupo de utilizadores QGIS PT. Sessão de trabalho de tradução do QGIS.  
Responsável: *Alexandre Neto*
- 18h30 **Reunião Técnica 2.** Young Surveyors Network - Portugal  
(Reunião Fechada)

PATROCINADORES

OURO



BRONZE



ORGANIZAÇÃO



APOIO



## REALIZE A NEW MODEL OF PRODUCTIVITY



### INFORMED DECISIONS PRODUCE BETTER RESULTS

Trimble helps leading organizations incorporate the power of spatial information into their operations, dramatically improving productivity and transforming workflows.

With a broad ecosystem of integrated solutions for positioning, imaging, measurement, modeling and analysis, Trimble can help your business realize a new model of productivity.

Learn more about Trimble's Geospatial Solutions at [www.trimble.com](http://www.trimble.com)



© 2014, Trimble Navigation Limited. All rights reserved. Trimble and the Globe & Triangle logo are trademarks of Trimble Navigation Limited, registered in the United States and in other countries. All other trademarks are the property of their respective owners.



## ArcGIS: a plataforma global

Acessível a qualquer utilizador, a qualquer momento e em qualquer lugar.

### Torna os Sistemas de Informação Geográfica mais fáceis de utilizar

A plataforma ArcGIS permite às organizações projectar e gerir soluções que, através da aplicação do conhecimento geográfico, possibilitam tomadas de decisão mais informadas e mais eficazes.

A plataforma ArcGIS torna a sua Organização mais eficiente e produtiva.

Tel.: (+351) 217 816 640 | info@esri-portugal.pt | www.esri-portugal.com



**EDISOFT**  
DEFENCE & AEROSPACE TECHNOLOGIES

**SISTEMAS DE DEFESA  
& SEGURANÇA**

**SISTEMAS ESPACIAIS  
& DE AERONÁUTICA**

Rua Calvet Magalhães, 245  
2770-153 Paço de Arcos  
Portugal  
Tel: +351 212 945 900  
Fax: +351 212 945 999  
edisoft@edisoft.pt  
www.edisoft.pt

**25** YEARS  
Looking  
Forward  
A THALES Group Company



### A MAIS COMPLETA GAMA DE EQUIPAMENTOS de Apoio à Decisão na Gestão de Recursos Naturais

#### Inventário Florestal



#### GPS para SIG e Cadastro



#### Fogo Controlado



#### Avaliação de Madeira Viva e Estrutural



#### Marcação de Árvores

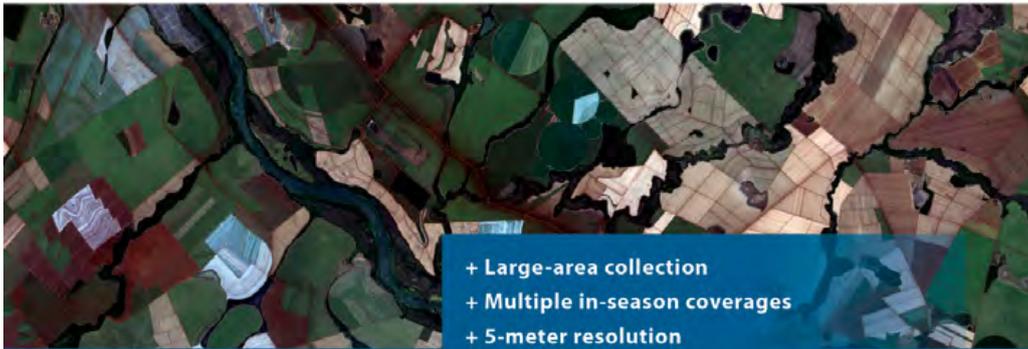


#### Distanciómetros Laser



TerraGes, Novas Tecnologias para a Gestão Agro-Florestal e Ambiente, Lda.  
Rua Lourenço Caiola, 2 – 7370-109 CAMPO MAIOR - PORTUGAL  
Telefone: 212 744 067 / Fax: 212 760 924  
www.terrages.pt / info@terrages.pt

## A CLOSER LOOK AT AGRICULTURE: BLACKBRIDGE MONITORING PROGRAMS



- + Large-area collection
- + Multiple in-season coverages
- + 5-meter resolution
- + Quick delivery & easy access
- + Customizable programs

For more information, please contact us at:  
[support@blackbridge.com](mailto:support@blackbridge.com)  
[www.blackbridge.com](http://www.blackbridge.com)

