

APLICAÇÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG) A ESTUDOS NA ZONA COSTEIRA

Application of Geographical Information Systems (GIS) on coastal zone studies

J. PAIS BARBOSA ⁽¹⁾, F. VELOSO GOMES ⁽²⁾ e F. TAVEIRA PINTO ⁽³⁾

⁽¹⁾ Estudante de Doutoramento, FEUP/IHRH,
Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, jlpb@fe.up.pt

⁽²⁾ Professor Catedrático, FEUP/IHRH,
Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, vgomes@fe.up.pt

⁽³⁾ Professor Associado, FEUP/IHRH,
Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, fpinto@fe.up.pt

Resumo

A representação dos elementos/objectos da superfície terrestre em mapas, constitui desde há longa data um importante factor de desenvolvimento das sociedades, alargando a capacidade de visualização e tomada de decisão do espaço geográfico. A representação clássica dos elementos/objectos geográficos é apresentada a duas dimensões, onde os conteúdos temáticos por vezes apresentam conflitos de legibilidade e de compreensão. Deste modo os sistemas geográficos digitais dinâmicos como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) têm um papel fundamental na resolução desses problemas alargando a capacidade de visualização, ampliando também significativamente o poder de decisão. Assim os SIG assumem um papel importante na monitorização e previsão de cenários, em especial em zonas costeiras de elevada dinâmica, visto permitirem o armazenamento, a integração, a manipulação e a análise de diversos tipos de dados, possibilitando a quantificação de indicadores de vulnerabilidade e de risco. O principal objectivo deste trabalho é a apresentação de exemplos práticos da aplicação dos SIG na zona costeira, através de cinco estudos realizados: análise da morfologia dos fundos no Porto de Leixões, concepção do quebramar destacado da praia da Aguda, quantificação do recuo da linha de costa (concelhos de Espinho e Ovar), análise da implantação de uma duna artificial (Costa Nova/Vagueira/Praia de Mira) e reabilitação de obras de defesa costeira (Cova do Vapor/Costa da Caparica).

Palavras-chave: Zona costeira, sistemas de informação geográfica, defesa costeira, gestão de zonas costeiras.

Abstract

The terrestrial surface representation in maps is an important factor in the society's development, increasing the visualization capacity and decision making of the geographic space. The classic representation of the geographic objects was made in general in two dimensions, presenting some difficulties in terms of understanding and legibility of the thematic contents. For this reason a dynamic digital geographic system as the Geographic Information System (GIS) have an important role in the resolution of these problems increasing the visualization capacity and extending decision making significantly. Thus GIS assumes a high importance in monitoring and forecast tasks, in special in very dynamic coastal zones. They allow storage, integration, manipulation and analysis of different data types, to render possible the quantification of risk and vulnerability pointers. The main goal of this paper is to present practical examples carried out in the coastal zone, using GIS tools. Thus the five applications that will be presented are the following: bottom morphology analysis in the Leixões harbour, Aguda detached breakwater design, coastline evolution between Espinho and Ovar municipalities, retreated artificial sand dune in the Centre Region and Costa da Caparica groins field rehabilitation and artificial sand nourishment.

Keywords: Coastal zone, geographical information systems, coastal defense, management.

1. Introdução

A fisiografia das zonas costeiras altera-se constantemente em resposta às acções do vento, da agitação marítima, das marés, das flutuações sazonais do nível do mar, das alterações climáticas, do homem e de outros factores que influenciam, nomeadamente, o transporte sedimentar. A erosão e a acreção das zonas costeiras é o resultado visível da forma como a linha de costa evolui e evidência o seu carácter dinâmico (Donovan *et al.*, 2002).

Considerando os vários e complexos problemas da zona costeira, torna-se necessária a utilização de ferramentas capazes de actualizar diferentes tipos de informação/dados, de os analisar, de prever cenários/opções e de produzir figuras/mapas de fácil entendimento para técnicos, sociedade civil e políticos. Neste contexto os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) apresentam um elevado potencial (Pais-Barbosa *et al.*, 2006).

O principal objectivo deste trabalho é apresentar as potencialidades dos SIG, nomeadamente na concepção e projecto de estruturas costeiras, na evolução de linha de costa, no estudo da morfologia de fundos, no armazenamento e manipulação dos dados existentes e na actualização sistemática dos dados.

Assim, no presente artigo serão apresentadas cinco aplicações, desenvolvidas em ambiente SIG, nomeadamente:

1. Análise da morfologia dos fundos no Porto de Leixões;
2. Concepção do quebramar destacado da praia da Aguda;
3. Evolução de linha de costa nos concelhos de Espinho e Ovar;
4. Duna artificial recuada da restinga sul da Ria de Aveiro; e
5. Reabilitação do campo de esporões da Costa da Caparica e alimentação artificial de praia.

O software utilizado no desenvolvimento destas cinco aplicações foi o ArcView 3.1, o ArcInfo 7.2.1 e o AutoCad Land Desktop 3.

Estas aplicações localizam-se na costa oeste portuguesa (Figura 1), com um clima de agitação muito energético, em que em período de tempestade a altura de onda pode ultrapassar os 10 m.



Figura 1. Localização das aplicações desenvolvidas.

A primeira aplicação situa-se no concelho de Matosinhos, imediatamente a norte do concelho do Porto; a segunda na praia de Aguda (a cerca de 10 km do Porto); a terceira corresponde à linha costeira dos concelhos de Espinho e Ovar; a quarta situa-se na restinga sul da Ria de Aveiro, mais precisamente nos concelhos de Ílhavo, Vagos e Mira; e por fim a quinta aplicação localiza-se na margem sul do rio Tejo, no concelho de Almada. As aplicações serão apresentadas de forma resumida. Em Pais-Barbosa, 2003 e IHRH, 2004, pode obter-se informação mais detalhada.

2. Metodologia

2.1 Introdução

Para a realização das aplicações apresentadas, foi efectuado um conjunto de práticas e procedimentos, relativamente ao processamento da informação, assegurando uma normalização dos processos da informatização com o objectivo de garantir ao conjunto de dados/informação compatibilidade e coerência. A informação geográfica de base utilizada teve diversas fontes e formatos distintos (papel, vectorial e raster), apresentando diferentes sistemas de coordenadas ou estando mesmo ausentes (Pais-Barbosa, 2003).

2.2 Compatibilização da informação

Após a aquisição da informação foi efectuada uma avaliação, com o objectivo de agrupar de acordo com o estado de conservação, qualidade, escala e sistema de coordenadas. Esta avaliação permitiu o estabelecimento de um conjunto de procedimentos de compatibilização, de armazenamento, de manipulação e de análise da informação, que seguidamente se apresenta de forma sucinta.

Digitalização

Neste processo toda a informação em formato de papel (cartas militares 1996 - 1:25000, cartas geológicas - 1:50000, fotografias aéreas, levantamento de 1972 e outros levantamentos) foram convertidos para formato raster. Foram utilizadas diferentes resoluções de acordo com a qualidade e o estado de conservação de cada carta, de modo a assegurar a identificação e conservação da informação existente.

Georeferenciação

Toda a informação em formato raster ou vectorial sem sistema de coordenadas foi georeferenciado, tendo sido utilizado o sistema de coordenadas militar (projectão de Gauss, elipsóide internacional, datum Lisboa). Este processo foi efectuado utilizando o ArcInfo 7.2.1 (dados raster) e o Arcview (dados vectoriais).

Relativamente aos dados com sistema de coordenadas diferente do utilizado, foram extraídos dos mapas pares de coordenadas (mínimo quatro), e transformados no conversor on-line do IGEOE (www.igeoe.pt) para o sistema de coordenadas utilizado.

Vectorização

Este processo foi efectuado com o objectivo de converter a informação raster para formato vectorial, como por exemplo limites de concelho, linha de costa, dados geológicos e outra informação essencial para as aplicações.

Conversão e tratamento digital

Neste processo a informação em formato Autocad (dxf e dwg) foi convertida para cobertura e posteriormente para shapefile.

A informação resultante encontrava-se em geral fragmentada por diversos ficheiros, ou então apresentava cobertura superior à pretendida.

Deste modo, recorrendo a ferramentas específicas do software utilizado, foi efectuada a união/junção e o corte de acordo com as áreas de cada aplicação.

Limpeza geométrica, criação de topologias e atributos

Após a finalização dos processos de vectorização, conversão e tratamento digital, os dados resultantes foram submetidos a um processo de controlo de qualidade e validação.

Deste modo os erros cometidos na vectorização, como duplicação de linhas, overshoots e undershoots foram corrigidos. Foram criadas topologias e editados atributos para os diversos dados vectoriais.

2.3 Análises espaciais

Foram realizadas várias análises para as aplicações apresentadas neste artigo. A maioria é comum a todos os casos de estudo, embora algumas sejam específicas de cada aplicação.

Uso do Solo e Cartas Geológicas

Em todas as aplicações com excepção da primeira foram determinadas áreas e percentagens dos diversos usos do solo nas zonas e nas áreas adjacentes às intervenções.

Relativamente à carta geológica foi apenas considerada para a terceira aplicação, tendo como objectivo a realização de uma análise quantitativa e qualitativa, verificando-se também a relação entre a formação geológica e a ocupação urbana.

Modelo digital do terreno

Em todas as aplicações foram realizados modelos 3D das estruturas costeiras, do terreno, dos fundos e dos aglomerados populacionais. Para tal foi utilizado uma malha triangular irregular (TIN - Triangular Irregular Network), sendo posteriormente convertidos em grelhas. Estes modelos foram importantes na identificação e localização da arriba de erosão, na visualização da implantação das estruturas, no estudo da morfologia dos fundos, no cálculo de volumes e áreas e no cálculo de taxas de recuo e de acumulação da linha de costa.

Determinação de perfis

A determinação de perfis foi efectuada utilizando dois métodos. O primeiro foi executado com recurso ao Spatial Tools (extensão do Arcview), que permite a obtenção de séries de pontos, e posteriormente a sua exportação para outras aplicações informáticas e convertidos em gráfico.

No segundo foi utilizado uma outra extensão do Arcview, o Profile Extractor 6.0, que permitiu a obtenção de perfis directamente no Arcview e a identificação de zonas submersas e emersas.

Esta extensão permitiu ainda a exportação desses dados para outras aplicações informáticas.

Determinação de linhas de intercepção

Esta análise foi realizada em três das aplicações (2, 4 e 5). Para tal utilizou-se a extensão LIDAR data handler, utilizando a função de subtracção de grelhas, o que possibilitou a determinação da linha de intercepção ($z=0$) entre a estrutura de defesa e o terreno.

3. Resultados e Análises

3.1 Análise da morfologia dos fundos no Porto de Leixões

O estudo da análise da morfologia dos fundos no Porto de Leixões, encontra-se inserido no âmbito de um estudo mais alargado intitulado "Estado sobre as condições de operacionalidade no terminal petrolífero do Porto de Leixões", que inclui três partes distintas: a modelação física, a análise da morfologia dos fundos utilizando o SIG e a modelação numérica.

A análise da morfologia dos fundos junto ao "Posto A" e à praia de Matosinhos recorrendo a um SIG, é baseada nos elementos integrados/armazenados numa base de dados geográfica criada para o efeito (Figura 2).

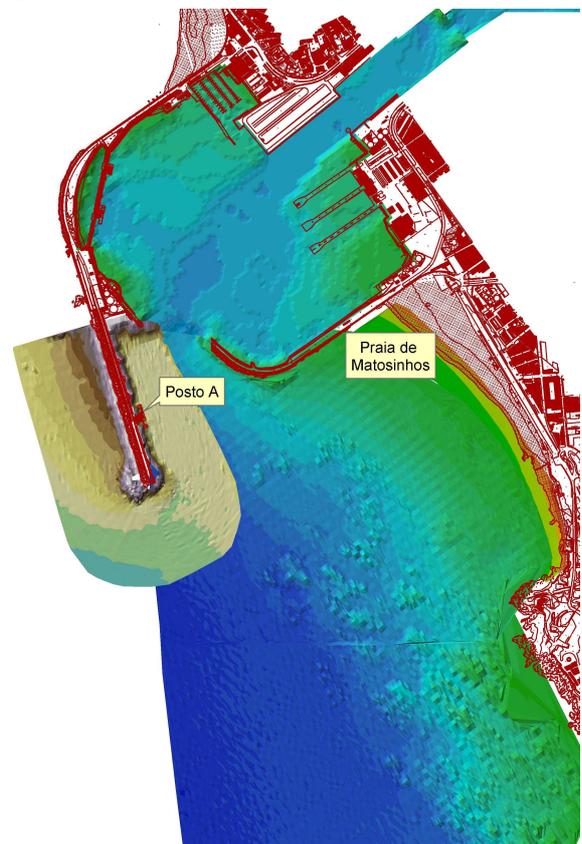


Figura 2. Modelos digitais do fundo do "Posto A" e Praia de Matosinhos.

Esta base de dados foi fundamental na compreensão das características da dinâmica sedimentar ao longo do tempo na zona em estudo. Foram realizadas várias análises, nomeadamente a elaboração de perfis transversais, o cálculo de áreas e volumes dos fundos, na zona interior e exterior do quebramar norte e na envolvente da praia de Matosinhos. Os dados geográficos e a respectiva análise, originaram um conjunto de informação suplementar bastante extenso.

Neste estudo foi ainda efectuado um levantamento de GPS, com o objectivo de confirmar as coordenadas e as cotas topográficas de cinco pontos localizados no quebramar norte.

A metodologia utilizada para o desenvolvimento do SIG, assim como os procedimentos e técnicas utilizados para uniformizar e converter toda a informação geográfica utilizada, baseia-se nas técnicas anteriormente descritas.

Contudo, antes de se iniciar a construção da base de dados geográfica, foi executada uma análise à informação disponibilizada pela APDL relativamente à sua qualidade e estado de conservação.

No SIG foi utilizada, em especial, informação referente à envolvente do “Posto A” e da zona sul do porto de Leixões (praia de Matosinhos). Foram utilizados quinze levantamentos hidrográficos, para a zona do “Posto A”, realizados entre 1995 e 2003, e dez levantamentos topo-hidrográficos, realizados entre 1997 e 2003, para a região da praia de Matosinhos.

Foi ainda utilizada uma carta militar à escala 1:25000, em formato raster, e um levantamento fotogramétrico de 2001 à escala 1:2000, em formato vectorial.

Ocorreram algumas dificuldades na integração e no armazenamento da informação vectorial, visto que grande parte não possuía sistema de coordenadas, apresentava variação de escalas e diferentes linhas fronteira para levantamentos realizados na mesma zona.

Deste modo, o primeiro procedimento consistiu na georeferenciação da informação disponível. Após este processo, procedeu-se à eliminação/correção da informação vectorial e à edição de atributos nomeadamente os valores das cotas (em alguns casos encontravam-se apenas como texto), data e origem.

Paralelamente, e visto que grande parte da informação a integrar e analisar não possuía qualquer informação relativa ao sistema de coordenadas e Datum, procedeu-se à realização de um levantamento GPS, anteriormente referido. Este levantamento teve como principal objectivo a validação de toda a informação geográfica utilizada, o controlo do erro resultante da georeferenciação, assim como a verificação das cotas do quebramar norte, onde se localiza o “Posto A”.

O SIG desenvolvido permitiu, em particular, a análise da variação e dinâmica sedimentar dos fundos na área em estudo, com base em modelos digitais do terreno (TIN, grelhas).

Foram ainda realizadas outras análises, nomeadamente o estudo do quebramar submerso a partir de perfis transversais, a avaliação da variação de volumes sedimentares, assim como a elaboração de perfis transversais e longitudinais.

A variação sedimentar foi obtida através da subtracção de grelhas, a mais antiga com a mais recente, sendo possível identificar áreas de acreção e de erosão, facto que também é observável nos perfis transversais obtidos na envolvente do “Posto A”, da praia de Matosinhos e do quebramar submerso.

3.2 Quebramar destacado da praia da Aguda

O quebramar destacado da Aguda era pretendido pelos pescadores da Aguda desde 1936. Esta estrutura tem como objectivo a protecção da frente urbana adjacente e assegurar a segurança dos pescadores durante eventos de agitação forte. No entanto, apenas em 1999, com a aprovação do Plano de Ordenamento da Orla Costeira (POOC) Caminha-Espinho, foi realizado o estudo prévio e a concepção da estrutura, que foi posteriormente construída (2001-2002).

Numa primeira fase do estudo, utilizando um SIG, foi possível sobrepor e comparar as diversas opções anteriormente propostas, a solução pretendida pelos pescadores e a solução final (Figura 3). A solução proposta pelos pescadores foi traçada com base em bóias colocadas no mar, sendo posteriormente recolhidas as coordenadas x,y e importadas para o ArcView 3.1. Simultaneamente foi desenhado, em planta, a solução final do quebramar destacado.



Figura 3. Sobreposição das várias opções consideradas e modelo 3D do quebramar destacado (solução final).

Para ambas as opções, foram criados modelos 3D, obtendo-se deste modo uma perspectiva da praia e da implantação do quebramar. Posteriormente, o modelo 3D da solução final foi convertido em grelha, com o objectivo de obter a linha de intercepção entre o terreno e a estrutura e a variação do volume ao longo do quebramar.

Foram também traçados diversos perfis, dos fundos e de ambas opções, estimados os volumes de rocha e de betão necessários para a construção da solução final do quebramar. Os valores estimados de material foram comparados com os volumes utilizados na construção do quebramar verificando-se uma semelhança satisfatória entre estes valores.

Após a construção do quebramar destacado, a morfodinâmica da região alterou-se. Assim, analisando a evolução morfológica, com base em fotografia aérea de 4 anos distintos (1995, 1996, 2002 e 2005), antes e após a construção, em ambiente SIG, verifica-se uma acumulação sedimentar significativa a norte e uma erosão a sul do quebramar (Figura 4).

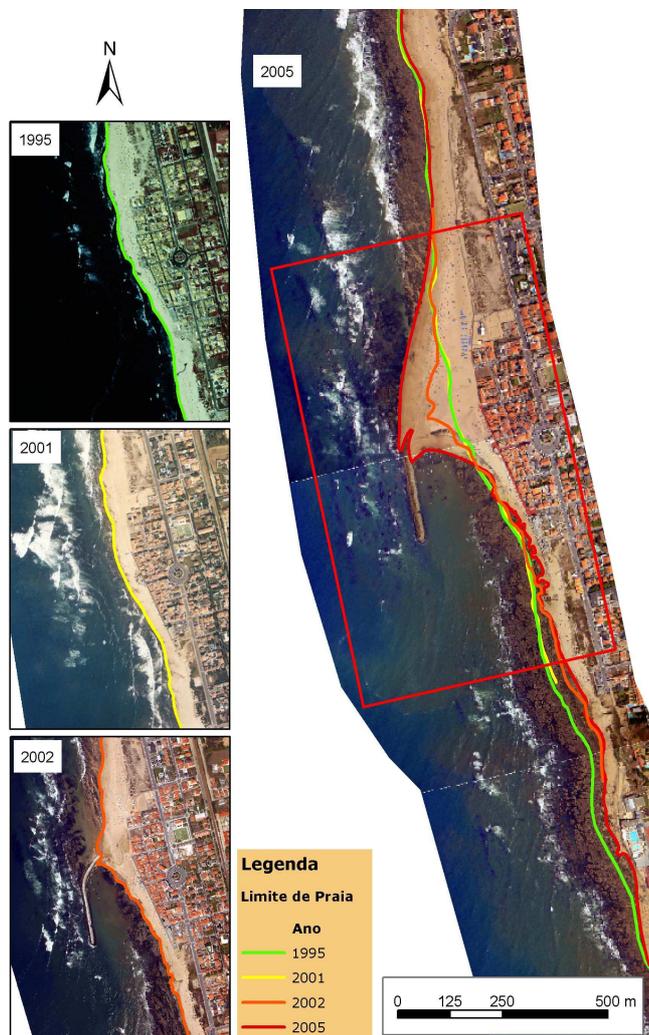


Figura 4. Evolução morfológica da linha de costa da praia da Aguda.

Observando a sobreposição das diferentes linhas limite de praia, é visível que nas fotografias anteriores à construção do quebramar destacado, a linha de costa permanece relativamente estável. No entanto, após a construção, o equilíbrio dinâmico alterou-se, formando um tombolo que une a praia ao quebramar. Contudo a sul do quebramar constata-se um recuo da linha de costa, indicando a ocorrência de erosão.

3.3 Evolução de linha de costa nos concelhos de Espinho e Ovar

A zona costeira entre Espinho e o Cabo Mondego é uma das mais problemáticas em termos erosivos. A erosão é evidente, sendo consequência do clima de agitação de elevada energia, do decréscimo de volume sedimentar e das acções humanas. No entanto, este fenómeno não é recente, existindo relatos deste fenómeno desde a segunda metade do século XIX.

No trecho em análise existem 5 aglomerados populacionais, todos protegidos por obras de defesa costeira: Espinho, Paramos, Esmoriz, Cortegaça e Furadouro (Figura 5). Nos últimos 15 anos ocorreu um crescimento urbano significativo, com a população a atingir máximos elevados durante a época balnear.

Esta zona costeira é caracterizada por possuir praias e dunas de baixa altitude, ser plana e de orientação NNE-SSW.

Sobrepondo a carta geológica e a de uso do solo (Figura 5), constata-se que as áreas urbanas se localizam em solos de elevada vulnerabilidade geológica e de reduzida resistência à acção do mar, conduzindo ao aumento da vulnerabilidade e risco dos ecossistemas, dos equipamentos e das populações.

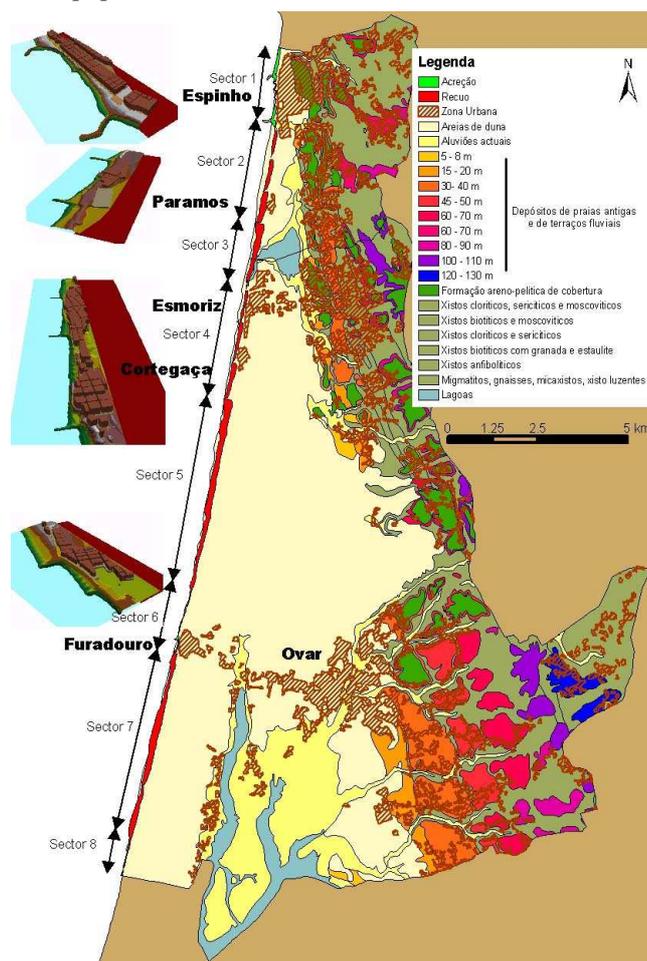


Figura 5. Sobreposição das cartas do uso do solo e geológica, localização de áreas de recuo e acumulação e modelação 3D.

Para além deste facto, o recuo da linha de costa é evidente. A estimativa de recuo nesta aplicação, foi realizada com base em cartas militares (1/25000) de 1973/1975 e 1996, e um levantamento fotogramétrico de 1996 (1/2000). A informação utilizada foi manipulada e convertida para um formato compatível e posteriormente integrada num SIG, de acordo com os processos anteriormente descritos.

Para além do cálculo de taxas de recuo da linha de costa, foram realizadas outras análises, como o cálculo de áreas de uso do solo e formações geológicas, modelação 3D e obtenção de perfis transversais ao longo do referido trecho.

Analisando os resultados obtidos, algumas considerações com interesse podem ser retiradas. De acordo com a carta geológica, cerca de 70% dos municípios em análise estão localizados em solos arenosos. Da análise da carta do uso de solo verifica-se que a maioria dos concelhos estão ocupados por floresta (45.9%) e agricultura (23.7%). Relativamente à área urbana, surge em terceiro lugar com 11.9% da área total.

Através da análise comparativa da linha de costa para os intervalos: 1973/1975 (1/25000) - 1996 (1/25000) e 1973/1975 (1/25000) - 1996 (1/2000), foi possível quantificar o recuo para um período de 23 anos, embora os resultados obtidos para os dois intervalos, apresentassem valores diferentes. Este facto pode ser explicado pela diferença de escalas dos levantamentos de 1996, apresentando contudo toda a zona costeira a mesma tendência (tabela 1), ou seja, recuos significativos, com excepção das áreas a barlar dos esporões com acréscimo sedimentar, em especial o esporão norte de Espinho.

Na tabela 1 são apresentados os resultados obtidos da análise comparativa das diferentes linhas de costa. Analisando estes valores, pode constatar-se de forma clara que os sectores com o recuo mais elevado em ambas as comparações são os sectores 2, 3, 4, 5 e 7.

Sector	1973/1975-1996 mesma escala 1:25000	1973/1975-1996 escala diferente 1:25000-1:2000
1	+2.2 m	+1.8 m
2	-3.3 m	-2.9 m
3	-6.2 m	-5.8 m
4	-3.2 m	-3.2 m
5	-5.9 m	-4.9 m
6	-0.4 m	+0.2 m
7	-5.7 m	-5.1 m
8	-1.0 m	-1.8 m

3.4 Duna artificial da restinga sul da Ria de Aveiro

A restinga sul da Ria de Aveiro é porventura, a zona costeira portuguesa que apresenta maior vulnerabilidade e risco à ocorrência de galgamentos, quebra do cordão dunar frontal e recuo da linha de costa pela acção do mar. Para este facto contribuem essencialmente a redução do volume de sedimentos, a reduzida largura, a baixa altitude e o facto de ser constituída por material arenoso.

Em termos de balanço sedimentar, esta região depende essencialmente do volume sedimentar com origem no Rio Douro e na Ria de Aveiro. Antes da construção das grandes barragens no Rio Douro, este Rio fornecia cerca de 90% (2×10^6 m³/ano) do volume total dos sedimentos transportados na zona costeira noroeste de Portugal. Actualmente esta percentagem será apenas de 13%.

A estes factores associam-se ainda a extracção de sedimentos com o objectivo de manter canais de navegação operacionais e para fins construtivos, bem como a intercepção dos sedimentos por parte das estruturas de fixação de embocaduras, existentes a norte desta restinga, em especial o quebramar norte da embocadura de Ria de Aveiro.

Esta área tem sofrido recuos da linha de costa significativos, aumentando deste modo a probabilidade de abertura de novas embocaduras. Caso este pressuposto se verifique ocorrerão importantes e sérias alterações no meio aquático e no ecossistema marinho da Ria de Aveiro, com graves consequências socio-económicas, nomeadamente (Veloso Gomes *et al.*, 2006):

- Perda de território e salinização de solos agrícolas;
- Interrupção de estradas;
- Salinização do canal de Mira com grandes impactes nas comunidades aquáticas;
- Exposição directa das gafanhas à agitação marítima.

Nos últimos anos têm ocorrido algumas rupturas do cordão dunar, levando à construção de várias intervenções de emergência com o objectivo de evitar o agravamento da situação.

Assim, a construção de uma duna artificial recuada conjugada com alimentação artificial, pode ser uma importante medida para prevenir e minimizar possíveis rupturas do cordão dunar. A duna artificial está considerada no Plano de Ordenamento da Orla Costeira de Ovar - Marinha Grande. Deste modo, esta alternativa será construída numa zona onde se prevê que o fenómeno erosivo estabilize, evitando assim constantes reparações da duna natural.

Esta duna terá um comprimento de cerca de 15 km e uma cota de +11 ZH, estando dividida em dois sectores. O primeiro corresponde ao sector localizado entre a zona a sul da Costa Nova e a norte da Vagueira e o segundo localizado entre a zona a sul da Vagueira e a norte da praia de Mira.

A implantação da duna foi realizada com base num levantamento de 1996, referido ao zero topográfico (+2 ZH), visto ser o único levantamento disponível no período de realização do estudo. Este processo foi realizado num ambiente SIG, utilizando o ArcView 3.1, as extensões spatial analyst, 3D analyst, LIDAR data handler e o ArcInfo 7.2.1.

Numa primeira fase foi traçada a mediatriz da duna artificial de acordo com a localização prevista no POOC.

Com base nesta linha foram criados diversos buffers, sendo definida a elevação das diversas secções da duna. Os buffers foram agregados numa única cobertura, tendo sido imputado o atributo de elevação a cada um dos elementos vectoriais obtidos. Posteriormente foi criado um modelo 3D da duna e do terreno, sendo convertidos em grelhas (Figura 6). Da subtracção das grelhas anteriormente referidas resultou a linha de intercepção entre o terreno e a duna artificial. Possibilitou ainda a estimativa do volume de material necessário para a sua construção ($\approx 1\,000\,000$ m³).

Pela análise dos modelos 3D do terreno, foi possível observar que no primeiro sector a duna apresenta uma largura reduzida e em alguns locais é mesmo inexistente. Relativamente ao segundo sector a duna na região mais a norte apresenta as mesmas características descritas anteriormente. Contudo, a 2.8 km para sul a largura da duna aumenta progressivamente, apresentando uma arribada dunar acentuada.

Este modelo permite ainda constatar que as zonas para o interior apresentam uma elevação reduzida e em alguns locais abaixo dos 2 m ZT.

É importante salientar que a análise realizada foi efectuada utilizando um levantamento de 1996, sendo que a situação actual é cada vez mais crítica.

Actualmente, está disponível o levantamento de 2001, que comprova este facto.

Comparando a linha de costa do levantamento de 1996 com o de 2001, verifica-se que nesta região a tendência foi de recuo da linha de costa e em alguns casos de forma significativa, como é o caso a sul do esporão sul da Vagueira, com um recuo de cerca de 80 m (Figura 6).

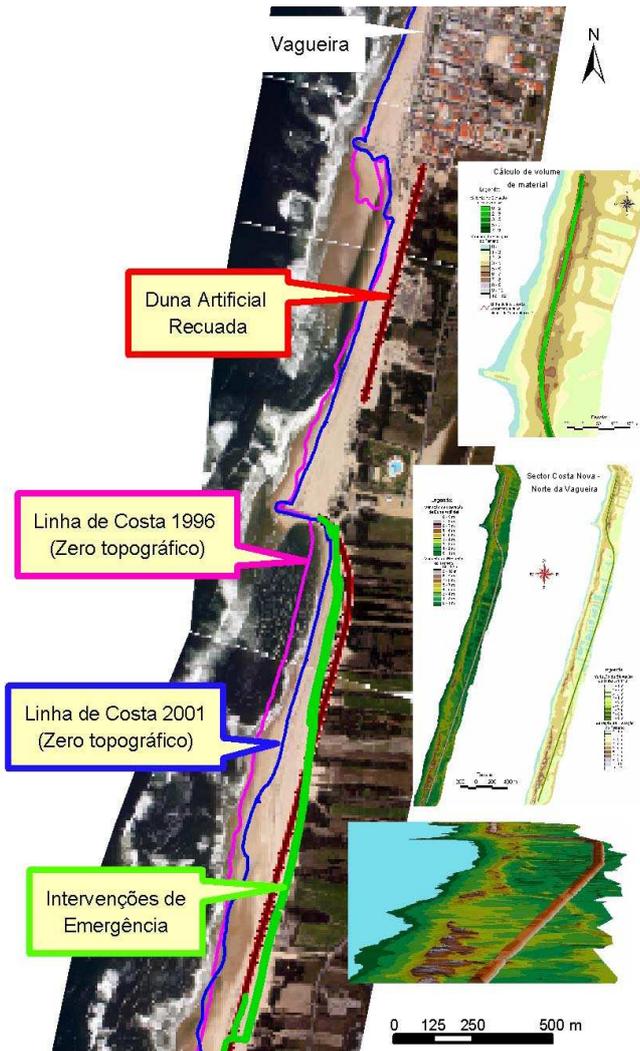


Figura 6. Implantação da duna artificial, modelo 3D da duna e do terreno e comparação da evolução da linha de costa.

Neste estudo foi ainda observado que em alguns locais a duna artificial, implantada de acordo com o POOC, se situa a barlamar das intervenções de emergência (Figura 6). Este facto mostra que a evolução da linha de costa prevista nos POOC era muito optimista (Velooso Gomes *et al.*, 2002).

3.5 Reabilitação do campo de esporões da Costa da Caparica e Alimentação Artificial

A linha de costa entre a Cova do Vapor e a Costa da Caparica, tem sofrido importantes transformações fisiografias desde 1870.

Esta região costeira, tem sofrido recuos significativos da linha de costa, em particular com o desaparecimento da restinga, que aparentemente se moveu para o interior do estuário para junto do terminal da NATO (Figura 7). Este processo foi no entanto reduzido com a construção de várias obras de defesa costeira no início da década de 70, nomeadamente o campo de esporões e uma longa obra aderente da Costa da Caparica e três esporões na Cova do Vapor.

Esta zona, em termos sedimentares, é dependente do estuário de Rio Tejo, especialmente quando ocorrem tempestades, estimando-se que a quantidade de sedimentos varie entre 1.2×10^6 e 8×10^6 t/ano. Contudo, entre 1928 e 1986, 65% dos sedimentos ficaram no sistema sem serem transportados para a linha de costa, acumulando-se na parte superior do estuário, devido à perda de capacidade de transporte do sistema fluvial (Anónimo, 2001).

Esta área é um importante pólo turístico e urbano, o que torna ainda mais complexa a gestão desta zona costeira.

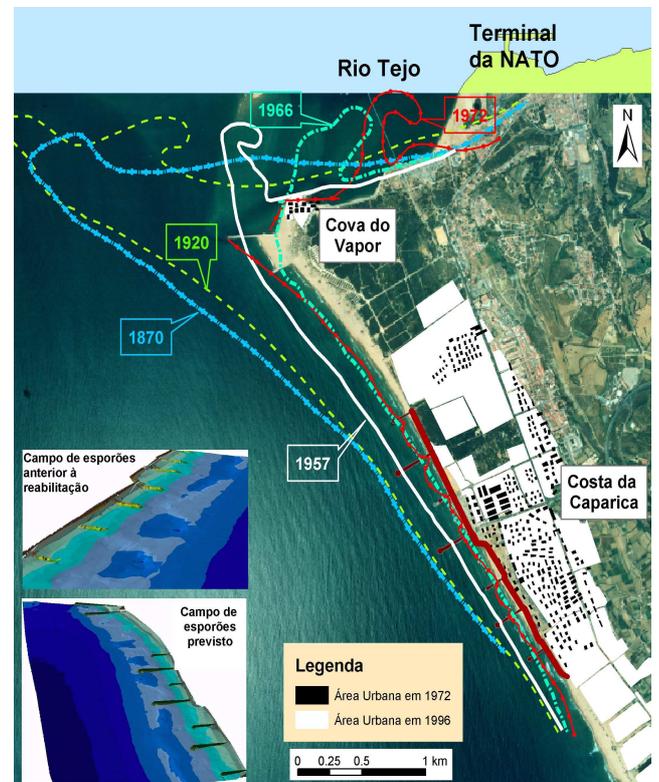


Figura 7. Evolução da linha de costa e da área urbana, modelo 3D dos esporões existentes e dos projectados.

Após a construção das obras de defesa em 1972, a situação manteve-se mais ou menos em equilíbrio até 2000. Neste período não existiu qualquer tipo de manutenção das obras de defesa. No entanto, no decorrer do inverno de 2001/2002, a situação tornou-se crítica com o desaparecimento de grandes volumes de sedimentos, bem como a erosão das dunas ainda existentes, da praia de S. João.

Com este episódio, ficou demonstrado que a reabilitação das estruturas de defesa era vital. No entanto, o estudo de reabilitação tinha sido iniciado em 2000, onde diversas opções foram apresentadas para discussão (Anónimo, 2001).

Após a avaliação das diversas propostas foi seleccionada a solução final e em 2001 foi apresentada a solução final.

Esta solução consistiu na reabilitação e reconstrução das estruturas existentes e posteriormente a alimentação artificial das praias. Uma descrição mais detalhada deste estudo será apresentada noutra publicação. À semelhança dos estudos anteriores, também neste foi utilizado o SIG, tendo-se recorrido ao ArcView 3.1 e ArcInfo 7.2.1 and AutoCad Land 3 Desktop.

Na primeira fase a informação em papel foi convertida para formato raster, como é o caso de fotografias aéreas e representações da evolução da linha de costa, sendo posteriormente georeferenciadas e rectificadas no ArcInfo.

A representação da evolução da linha de costa foi vectorizada, bem com a área urbana (Figura 7). Os elementos em formato vectorial foram submetidos a um processo de limpeza/correção geométrica, com o objectivo de eliminar erros originados na vectorização. Analisando a diversas linhas de costa obtidas para o período compreendido entre 1870 - 1972, verifica-se que a restinga recuou cerca de 3 km. O SIG foi igualmente utilizado na solução final, para a implantação das estruturas de defesa costeira, no cálculo da linha de intercepção entre o fundo e as estruturas e na estimativa dos volumes dos vários materiais necessários para a reabilitação dos esporões. A implantação das estruturas de defesa foi efectuada num levantamento realizado pelo Instituto Hidrográfico em Setembro de 2001. A metodologia utilizada na implantação foi a mesma da duna artificial.

Com a criação dos modelos 3D foi possível observar o estado de degradação dos esporões, em especial na cabeça. Com os modelos 3D dos esporões e do terreno foram traçados diversos perfis nomeadamente:

- A sotamar e a barlar dos esporões;
- Entre esporões; e
- Dos esporões existentes e dos projectados.

Analisando os perfis obtidos entre esporões, verificou-se que o declive do talude de praia apresentava semelhanças para perfis do mesmo intervalo, embora quando comparados com perfis de outros intervalos observam-se algumas variações.

Nesta reabilitação estava ainda incluída a alimentação artificial das praias. A melhor localização para a dragagem de areias e a sua deposição foi também analisada. As áreas de deposição de areias foram definidas, tendo em consideração que os futuros perfis de praia serão ajustados pela agitação.

As áreas de dragagem foram localizadas de acordo com as coordenadas do levantamento geofísico fornecido. O estudo geofísico foi realizado com o objectivo de identificar áreas com disponibilidade sedimentar e cujos impactos ambientais fossem reduzidos. Deste modo, a verificação da localização das manchas de empréstimo sedimentar permitiu numa primeira análise a averiguação da viabilidade em termos técnicos e económicos.

Contudo, apesar da reabilitação das obras de defesa já ter sido efectuada, o processo erosivo continua a verificar-se de uma forma severa (Figura 8).

Na Figura 8 apresenta-se o balanço sedimentar para o período entre Setembro de 2001 e de 2005 na região do campo de esporões da Costa da Caparica.

Neste intervalo de apenas 4 anos verifica-se que o fenómeno erosivo dos fundos se estende a toda a faixa ocupada pelo campo de esporões estimando-se a perda em cerca de 800 000 m³ de areia. Prevê-se, contudo, que esta situação, após a alimentação artificial de praias com cerca de 3 milhões de metros cúbicos de areia, prevista para o início da época balnear de 2007, estabilize.

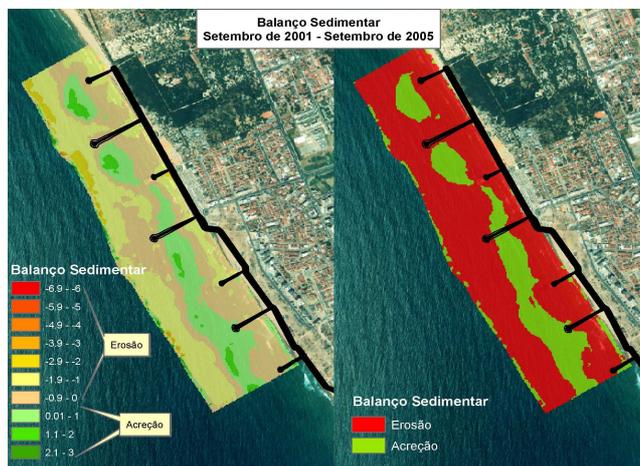


Figura 8. Balanço sedimentar para o período compreendido entre Setembro de 2001 e Setembro de 2005.

4. Discussão

A primeira aplicação teve um papel fundamental no estudo da morfologia e do balanço sedimentar na região do Posto A do Porto de Leixões e da praia de Matosinhos, permitindo o cálculo de volumes. O SIG permitiu ainda a integração de informação diversa, de vários tipos e formatos e que se encontrava dispersa. Foi ainda relevante no estabelecimento dos perfis e da configuração do fundo nos ensaios efectuados na modelação física, permitindo a que as condições de ensaio fossem o mais próximas da realidade.

Na segunda aplicação, o SIG foi essencial na implantação do quebramar destacado, no cálculo de volumes e na visualização tridimensional dos fundos, da estrutura de defesa e da área envolvente. Foi ainda relevante na comparação de alternativas propostas em estudos preconizados anteriormente, permitindo o acesso rápido e fácil aos dados utilizados e no acompanhamento da evolução da morfologia litoral após a construção do quebramar destacado.

Na terceira aplicação, a importância da utilização do SIG é uma vez mais elevada. Para além de permitir a integração de dados de vários formatos e tipos, possibilitou a realização de diversas análises espaciais. Deste modo foi possível quantificar o recuo da linha de costa no período temporal em análise, com a redução da largura de praia e a mudança dos perfis transversais, bem como a formação de arribas dunares. Foi ainda verificada a acumulação a barlar dos esporões, reduzindo assim a possibilidade de galgamentos e inundações nestes locais, embora em geral a taxa de erosão fosse acelerada a sotamar das estruturas de defesa perpendicular à costa.

O SIG permitiu ainda a análise do uso do solo e o tipo de formação geológica nos dois concelhos em análise, verificando-se que são constituídos por areias de duna, com uma reduzida resistência à acção do mar.

No caso da duna artificial, o SIG, para além de permitir a implantação da duna, possibilitou a comparação de diferentes levantamentos, com o objectivo de quantificar o recuo da linha de costa e os locais de maior instabilidade, vulnerabilidade e risco da ruptura de duna natural. Possibilitou também o cálculo do volume de material necessário para a construção da duna, sendo facilmente actualizados no futuro, mediante novos levantamentos topográficos. Com a sobreposição dos levantamentos de 1996 e 2001 é demonstrado claramente que a localização da duna artificial prevista no POOC, é muito optimista.

Na última aplicação apresentada neste artigo, o SIG teve igualmente um papel relevante nas análises espaciais. Assim, foi possível procedeu à integração de dados históricos, verificando-se um enorme recuo da linha de costa entre 1870 e 1999, bem como do desaparecimento do língua de areia que ligava a Cova do Vapor ao Farol do Bugio. Permitiu também estimar o volume de material dos esporões existentes e dos projectados, bem como a localização das manchas de empréstimo sedimentar, para a realização da alimentação artificial.

5. Conclusão

A zona costeira devido á sua complexidade física, ambiental e ocupacional necessita do conhecimento de diversas variáveis. Por esta razão, o SIG pode ser uma grande ajuda no projecto, concepção de estruturas de defesa, bem como na gestão destas zonas, permitindo comparar alternativas, visualizar a evolução ao longo do tempo, integrar, armazenar, manipular e analisar grandes quantidades de dados. Contudo, ao longo do desenvolvimento destas aplicações surgiram algumas dificuldades, mas que, com a utilização de algumas extensões existentes na Internet ou desenvolvidas, foi possível contornar e ultrapassar.

Uma outra dificuldade foi a compatibilização dos dados, em especial os sistemas de coordenadas, visto que muita da informação não apresentava sistemas de coordenadas, ou no caso de o possuir era distinto do utilizado.

Com a aplicação do SIG a estes estudos costeiros foi possível observar a influência das estruturas, após a sua construção, na morfodinâmica costeira, bem com na monitorização da evolução da linha de costa, na expansão urbana, na dinâmica costeira, na evolução de perfis, no balanço sedimentar, etc.

O SIG constitui portanto uma ferramenta importante na concepção, no projecto, na visualização, na ajuda da tomada de decisão e na gestão da zona costeira.

Referências

- Anónimo (2001). *Estudo de Reabilitação das obras de defesa Costeira e de Alimentação Artificial na Costa da Caparica*. Projecto Base, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto/ Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos (IHRH), Porto.
- Anónimo (2001). *Plano Nacional da Água. Introdução, Caracterização e Diagnóstico da Situação Actual dos Recursos Hídricos*, Versão para consulta pública, Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território, Instituto da Água, Lisboa, pp. 1/67(7-II) - 67/67(7-II).
- Donovan, A.; Haney, R. & Mague, S. (2002). *Massachusetts Shifting Shorelines. New Data on Shoreline Change*, Massachusetts Office of Coastal Zone Management, www.state.ma.us/CZM/shorelinechangefactsheet.pdf.
- Instituto da Água e Ministério do Ambiente (1998). *Plano de Ordenamento de Orla Costeira Ovar – Marinha Grande*. Estudo de base Hidrotécnica Portuguesa.
- IHRH (2004). *Estudo sobre as condições de operacionalidade no terminal petrolero do Porto de Leixões. Análise da morfologia dos fundos com utilização de SIG. Tomos 1 e 2*. Relatório final.
- Pais Barbosa, J. (2003). *Aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica na Zona Costeira*. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de mestre em Engenharia do Ambiente, ramo Ambientes Costeiros, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Veloso Gomes, F.; Taveira Pinto, F.; das Neves, L.; Barbosa, J.P. & Coelho, C. (2004). *Erosion Risk Levels at the NW Portuguese Coast: the Douro Mouth - Cape Mondego Stretch*, Journal of Coastal Conservation, Volume 10: 1-2, December 2004, OpulusPress, ISSN 1400-0350, pp.43-52.
- Veloso Gomes, F.; Taveira Pinto, F.; das Neves, L. & Pais Barbosa, J. (2006). *EUrosion - A European Initiative for Sustainable Coastal Erosion. Pilot Site of River Douro - Cape Mondego and Case Studies of Estela, Aveiro, Caparica, Vale do Lobo and Azores*, 317 pp. ISBN 972-752-074-x.