

INTEGRAÇÃO DE METODOLOGIAS NO ESTABELECIMENTO DE UM PROGRAMA DE MONITORIZAÇÃO COSTEIRA PARA AVALIAÇÃO DE RISCO

H.Granja¹; L. Bastos^{2,3}; J. Pinho⁴; J. Gonçalves^{2,3}; R. Henriques^{1,5}; A. Bio³;
J. Mendes⁴; A. Magalhães²

¹ Departamento de Ciências da Terra, Universidade do Minho

² Dep. de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Fac. de Ciências da Universidade do Porto

³ Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental (CIIMAR), Universidade do Porto

⁴ Centro do Território, Ambiente e Construção - Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho

⁵ Centro de Geologia da Universidade do Porto

(hgranja@dct.uminho.pt)

RESUMO

Na zona costeira do noroeste de Portugal os processos erosivos em curso têm vindo progressivamente a constituir motivo de preocupação, quer para os responsáveis pela gestão da zona costeira, quer para a população em geral. As principais causas apontadas para a origem destes processos são: (i) diminuição dos caudais sedimentares fluviais, devido à construção de barragens, dragagens, extracção de inertes e esgotamento dos depósitos sedimentares da plataforma interna, (ii) influência de estruturas de protecção costeira, (iii) aumento do nível do mar e da frequência e intensidade das tempestades.

Tomando como caso de estudo a zona costeira de Vila Nova de Gaia, exemplo paradigmático de grande ocupação do litoral, implementou-se em 2008 um novo programa extensivo de monitorização, integrando diferentes tecnologias, de forma a avaliar as tendências evolutivas da morfodinâmica do sistema costeiro, incluindo a faixa litoral submersa, a praia e as dunas. O programa de monitorização integra observações de campo, amostragem de sedimentos e de perfis de praia, fotografia aérea, levantamentos batimétricos, e levantamentos com um sistema de mapeamento móvel com GPS e câmaras de vídeo.

Desde 2008 têm sido efectuadas duas campanhas anuais utilizando esta metodologia de monitorização que permitiu avaliar as tendências evolutivas da morfodinâmica costeira e obter a informação de base para estabelecer mapas de risco de erosão para a zona de estudo. Observam-se três tendências ao longo da zona estudada: segmentos com erosão, segmentos com acreção e segmentos estáveis. Para além dos processos naturais decorrentes da morfologia da costa e das condições meteorológicas, as causas de origem antropogénica surgem como um dos principais factores desequilibradores na dinâmica costeira. Exemplos disso são a obra do emissário da praia de Canide e do quebra-mar do portinho da Aguda. Nestes locais observa-se uma forte erosão nos segmentos a sul das estruturas, enquanto a barlar dá-se tendencialmente uma deposição de sedimentos. Concluiu-se que a maioria dos segmentos está sujeita a processos de erosão, com algumas zonas de acreção, em parte resultantes de recarga artificial das praias. Estas conclusões constituem motivo de preocupação pelo facto de a mobilidade natural dos sistemas costeiros se encontrar reduzida devido à artificialização da costa, numa zona de elevada ocupação populacional.

1. Introdução

Nas últimas décadas, a zona costeira do noroeste de Portugal tem sofrido processos erosivos continuados, com migração das linhas de praia para o interior e recuo das arribas. Sendo uma zona densamente povoada, esses processos põem em risco a segurança das povoações e das suas actividades económicas.

As causas apontadas para a erosão costeira podem ser de origem natural ou antropogénica. Assim tem-se vindo a registar uma diminuição dos caudais sedimentares fluviais, devido à construção de barragens, dragagens, extracção de inertes e esgotamento dos depósitos sedimentares da plataforma interna (Veloso-Gomes *et al.*, 2004; Carvalho *et al.*, 2005). Por outro lado tem-se verificado um aumento da frequência e intensidade das tempestades (Esteves *et al.*, 2010), havendo também indícios de que nalgumas zonas haverá uma tendência para uma subida do nível do mar, factores que podem vir a modificar-se com alterações climáticas. O transporte sedimentar também é influenciado pela construção de estruturas de protecção costeira, cujos efeitos são difíceis de prever numa costa com agitação marítima muito enérgica, como se verifica na costa oeste de Portugal.

Uma gestão eficaz da zona costeira requer o conhecimento sobre a dinâmica costeira e os efeitos dos agentes que a afectam. Para tal é essencial garantir uma monitorização regular, que avalie tendências morfodinâmicas evolutivas e permita identificar zonas de menor ou maior risco de erosão, bem como as causas que a determinam.

Tomando como caso de estudo a zona costeira de Vila Nova de Gaia, apresenta-se a metodologia e resultados de um programa extensivo de monitorização, que integra diferentes tecnologias: levantamentos topográficos terrestres, com GPS em modo estático e cinemático e registos de vídeo; modelos de terreno obtidos a partir de fotografias aéreas digitais de alta resolução; levantamentos aquáticos da topografia sub-tidal, com perfis batimétricos e recolha de imagens acústicas do fundo marinho. A combinação de métodos permitiu avaliar as tendências evolutivas da morfodinâmica do sistema costeiro, incluindo a faixa litoral submersa, a praia e as dunas e uma caracterização rigorosa da sua morfologia. A aplicação integrada desses métodos com amostragem de sedimentos e outras observações de campo, ao longo do período de monitorização, permitiu obter a informação de base para a elaboração de uma análise de risco de erosão sustentada, baseada na evolução da morfologia (balanços sedimentares) e nas características do terreno e da sua envolvente (por exemplo, altitudes, larguras, inclinações, áreas vegetadas, agitação).

2. Métodos

Efectuaram-se quatro campanhas de monitorização na faixa costeira do concelho de Vila Nova de Gaia, desde a Foz do Rio Douro até ao Rio Mocho, entre Novembro de 2008 e Novembro de 2010. Os levantamentos estenderam-se desde a batimétrica dos 10m, ou seja a zona de pré-praia, até às dunas. Efectuaram-se: observações no terreno, incluindo recolha localizada de amostras de sedimentos e levantamento das respectivas coordenadas; análise de sedimentos em laboratório; levantamentos terrestres usando GPS em modo estático e cinemático (*Mobile Mapping*); levantamentos a partir de fotografia aérea e levantamentos de perfis subaquáticos.

2.1 Observações no terreno

Realizaram-se levantamentos de perfis transversais, com recolha de amostras de sedimentos para posterior análise dimensional. Sempre que possível (dependendo da posição da linha de baixa-mar), foram colhidas cinco amostras de sedimentos por cada perfil: na crista da duna, na base da duna, no limite da preia-mar, a meio da praia e no limite da praia emersa na baixa-mar. Nos perfis em que não existia duna, as duas amostras interiores foram colhidas em posições definidas em conformidade com a morfologia da praia nesses locais. As coordenadas da localização das amostras foram determinadas através de DGPS, com um Trimble 5800 de dupla frequência.

A preparação das amostras de sedimentos envolveu lavagem com água desionizada e secagem a 40°C, necessária para evitar a agregação de partículas por acção do cloreto de sódio. A análise dimensional foi feita, por via seca, com uma coluna de crivos ASTM, dispostos em intervalos de $1/2\phi$ (phi), tendo o crivo de topo 32.0mm (-5ϕ) de dimensão de malha e o crivo da base 0.062mm (4ϕ). As fracções retidas em cada crivo foram pesadas, recorrendo a uma balança digital Sartorius com 0.01g de resolução.

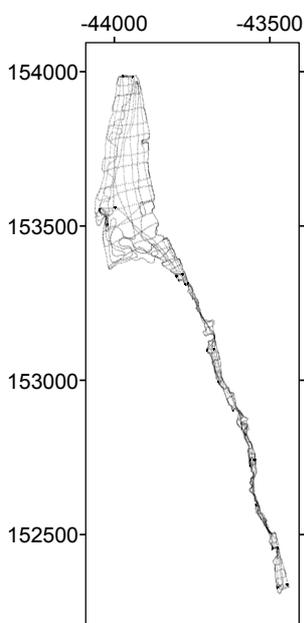


Figura 1 – Sistema móvel equipado com duas antenas cinemáticas, equipamento de videogrametria e *data logger*, e exemplo de uma rede de levantamentos (esquerda) para uma secção da área monitorizada (Aguda)

2.2 Levantamentos terrestres

Efectuaram-se levantamentos terrestres da praia, usando um sistema móvel (Figura 1) equipado com GPS de dupla frequência (modo cinemático), que permitiu o levantamento de pontos com uma precisão de posicionamento tridimensional inferior a 5cm no datum ETRS89. O sistema permite o registo contínuo de informação, incluindo os dados de navegação e o instante de observação e integra duas câmaras de vídeo que permitem o registo simultâneo de características do terreno.

Os levantamentos seguiram a linha de costa, em baixa-mar e uma rede de perfis longitudinais e transversais, fornecendo os dados para o cálculo posterior de modelos digitais de terreno (MDT). No processamento das observações prestou-se especial atenção à inclinação lateral do veículo, visto que as coordenadas finais são extremamente sensíveis ao erro que a inclinação provoca (Bastos *et al.*, 2009). Detalhes técnicos da metodologia podem ser encontrados em Madeira (2007).

Os MDT foram construídos pelo método de triangulação com interpolação linear (software Surfer 8) numa grelha de 1×1 m, com altitudes referenciadas ao Zero Hidrográfico (ZH).

2.3 Levantamentos aéreos

Os levantamentos aéreos foram efectuados com uma câmara digital ZI-DMC com sensor de 7680×13824 pixéis. Os voos decorreram a uma altitude aproximada de 1030m o que corresponde a um pixel com dimensão de 10cm no terreno. Cada levantamento consistiu na aquisição de duas fiadas de fotografias (Figura 2) com sobreposição longitudinal de 60% e lateral de 30%, permitindo o cálculo de MDT de elevada resolução a partir dos pares estereoscópicos de imagens por técnicas fotogramétricas. A precisão conseguida com este método é tipicamente entre 5cm a 10cm por pixel na horizontal e de 1 ou 2 decímetros em altimetria no datum ETRS89. Procurou-se obter as imagens sempre durante a baixa-mar de marés vivas para permitir a obtenção do relevo na zona intertidal com a maior extensão possível. As observações foram directamente georreferenciadas através de um sistema GPS/INS, no datum ETRS89. O processamento integrado desta informação permite determinar a posição do centro de projecção da câmara para cada imagem, bem como os correspondentes ângulos de atitude da câmara.



Figura 2 - Plano de voo com as duas fiadas de fotografias aéreas sobrepostas (cerca de 100)

O cálculo dos MDT com base nas imagens aéreas estereoscópicas implicou os seguintes passos. Primeiro obtiveram-se pontos conjugados nos pares estereoscópicos, utilizando-se o software BLUH que aplica correlação automática por mínimos quadrados com crescimento de regiões (Jacobsen, 2003). Aplicou-se um espaçamento de 3 em 3 pixéis

(30cm) na colheita de pontos, uma janela de procura de 10×10 pixéis e uma tolerância de 80% para a correlação mínima dos pontos a aceitar. Dado que foram usados parâmetros de orientação com altitudes acima do elipsóide, estas foram convertidas para altitudes ortométricas utilizando a ondulação do geóide estimada por um modelo desenvolvido localmente. Com os pontos resultantes procedeu-se finalmente à geração de um modelo digital do terreno, na forma de grelha com espaçamento de 1m, através de médias móveis.

As imagens aéreas foram ortorrectificadas e dispostas em mosaicos com resolução de 0.1m, para análise visual.

2.4 Levantamentos subaquáticos

Efectuaram-se levantamentos batimétricos do leito marinho a partir de um catamarã de controlo remoto (Figura 3), ou seja um ASV (Autonomous Surface Vehicle). Cada levantamento consiste de 14 perfis submersos, perpendiculares à linha da costa, com um espaçamento aproximado de 1km. As observações foram executadas num período de cerca de uma hora em torno da preia-mar para permitir a aproximação máxima do veículo à linha da costa e prolongaram-se até à batimétrica de 10m (Z.H.). O comprimento dos perfis variou entre aproximadamente 300m e 2000m. A profundidade foi obtida com um altímetro de resolução de 20mm. Imagens do leito foram obtidas com um sonar de varrimento lateral de frequência 330kHz. Os dados de localização e orientação da plataforma foram obtidos com um GPS de dupla frequência, operando em modo RTK (Real Time Kinematic) e um IMU (Inertial Measuring Unit). As coordenadas planimétricas foram reportadas ao sistema de referência ETRS89 e as profundidades referidas ao Zero Hidrográfico. A partir dos perfis é possível analisar a morfologia dos fundos marinhos. A análise da reflectância/sombra das imagens acústicas do sonar de varrimento lateral permite identificar e quantificar afloramentos rochosos e as zonas de sedimentos arenosos.



Figura 3 – Catamarã equipado e sonar de varrimento lateral

2.5 Aplicabilidade dos métodos topográficos

As técnicas de levantamento topográfico devem garantir, pelo menos, uma precisão decimétrica para serem úteis. As técnicas de levantamento topográfico tradicionais (estação total) satisfazem facilmente essa exigência sendo, contudo, muito demoradas e pouco eficientes. O levantamento terrestre com GPS em modo cinemático, com receptores de dupla frequência, é igualmente preciso, especialmente nas praias onde, devido à

ausência de obstáculos, este tipo de posicionamento pode ser muito rigoroso e eficiente. Contudo, estas duas técnicas de campo são invasivas, o que pode não ser conveniente em zonas de dunas com vegetação sensível. A fotografia aérea com câmara digital de alta resolução constitui uma boa alternativa para a recolha de informação altimétrica em zonas costeiras.

Os levantamentos terrestres com GPS cinemático têm a vantagem de o equipamento se poder colocar fácil e rapidamente em campo, por exemplo para averiguar danos após tempestades. Eles são menos dispendiosos do que observações aéreas, sobretudo para áreas reduzidas, e a proximidade com o terreno, o que facilita a interpretação dos dados e resultados, comparativamente com os métodos aéreos. Além disso permitem, em combinação com imagens de vídeo, uma caracterização mais detalhada de características de terreno, registando por exemplo a cobertura vegetal.

Os levantamentos aéreos, por outro lado não são tão invasivos e permitem a cobertura de vastas áreas num curto espaço de tempo; útil para levantamentos à escala regional. Imagens digitais de alta resolução proporcionam também uma base de imagem muito útil nos estudos de monitorização costeira (Gonçalves *et al.*, 2010), permitem visualizar o terreno com bastante detalhe e as suas bandas permitem extrair informação adicional, por exemplo sobre características da cobertura vegetal (através do cálculo do índice de vegetação - NDVI). Além disso, os levantamentos aéreos são mais abrangentes do que os terrestres, estendendo-se para além da zona intertidal (mostrando por exemplo, no nosso caso, os afloramentos rochosos junto à costa) e para as dunas.

Os levantamentos subaquáticos constituem uma extensão da área monitorizada para além da parte visível a partir da superfície ou do ar. A caracterização da morfologia do leito marinho submerso pode ser feita em termos topográficos e estruturais; a análise das reflectâncias e sombras nas imagens acústicas permite a identificação de estruturas (sedimentos, rochas) do leito.

2.6 Análise de vulnerabilidade e risco

A avaliação da vulnerabilidade aos agentes que contribuem para os processos de erosão e a avaliação do risco de erosão da zona costeira do concelho de Vila Nova de Gaia baseou-se na combinação dos resultados obtidos – topografia, características sedimentares, ortofotos e imagens de vídeo – com padrões hidrodinâmicos e meteorológicos locais. A metodologia utilizada foi desenvolvida com base em trabalhos anteriores (Pendleton *et al.*, 2005; Thieler, 2000; Hegde e Reju, 2007; Loureiro, 2007), mas especificamente adaptada às características da costa em análise. Os dados resultantes das campanhas de monitorização permitiram a quantificação de um conjunto de indicadores de vulnerabilidade e de impacto a partir dos quais foi caracterizado o risco de erosão.

Para tal, todos os dados da monitorização foram combinados num Sistema de Informação Geográfica (SIG). Os MDTs baseados em dados terrestres e aéreos foram analisados e comparados com cálculo de balanços sedimentares para as diferentes observações, para diferentes sectores da praia e níveis de altitude. Obteve-se assim uma imagem da evolução topográfica para o período de observação.

Para minimizar os erros associados à conversão de coordenadas, todos os dados foram colhidos e processados no sistema de coordenadas UTM/WGS84 (sistema de coordenadas interno do sistema GPS).

Os dados relativos à análise dimensional de sedimentos foram tratados com recurso ao programa SEDMAC (Henriques, 2004), que permite obter diversos parâmetros dimensionais, comuns na análise dimensional de populações de partículas de sedimentos. Os dados estatísticos obtidos incluíram as frequências relativas e cumulativas, respeitantes à distribuição da população, em intervalos dimensionais de $\frac{1}{2}\phi$ (phi), a partir das quais foi obtido o traçado dos respectivos gráficos. Determinaram-se médias, o desvios padrão, assimetrias e acuidades (curtose), utilizando o método dos momentos, tal como a distribuição das fracções dimensionais relativas à escala modificada de Wentworth. A distribuição das amostras, por classes dimensionais de $\frac{1}{2}\phi$, foi feita de acordo com as equivalências com a escala métrica. Os resultados foram processados de modo a serem incluídos no SIG com referenciação nos data horizontal (ETRS89 PM06) e vertical (ZH) utilizados neste trabalho.

Analisaram-se os dados de agitação marítima disponíveis para o porto de Leixões e aplicou-se um modelo numérico para análise da propagação da agitação em locais específicos, permitindo obter padrões locais de propagação da agitação úteis para a compreensão das dinâmicas sedimentares instaladas (Granja *et al.*, 2010). O modelo, baseado em equações de Boussinesq (Nawogu e Demirbilek, 2001), permite simular a maioria dos fenómenos hidrodinâmicos de interesse para as zonas costeiras, incluindo assoreamento, refacção, difracção, reflexão/transmissão integral e parcial, atrito no fundo, interacções não lineares onda-onda, quebra da onda, correntes induzidas pelas ondas, e interacção onda-corrente. O modelo foi incluído num ambiente hidrodinâmico vocacionado para a modelação de processos costeiros (Pinho, 2001).

Foram quantificados os seguintes indicadores de vulnerabilidade, ao longo de 47 segmentos costeiros resultantes da divisão da área em estudo: altitude, largura, inclinação, agitação, variação volumétrica e áreas vegetadas. Relativamente aos indicadores de impacto foram consideradas as áreas dos edifícios e as áreas de praias arenosas em cada um dos segmentos. O índice de risco foi quantificado a partir dos resultados obtidos para índices parcelares de vulnerabilidade e impacto quantificados com base nos valores dos respectivos indicadores. Os segmentos foram classificados, utilizando-se cinco classes de risco para o efeito.

3. Resultados

A análise integrada dos dados de monitorização, da hidrodinâmica e meteorologia permitiu determinar tendências evolutivas nos diferentes segmentos costeiros. Observaram-se segmentos com tendências de erosão, outros com tendências de acreção e outros relativamente estáveis. A Figura 4 mostra as diferenças entre MDT considerando os quatro levantamentos aéreos.

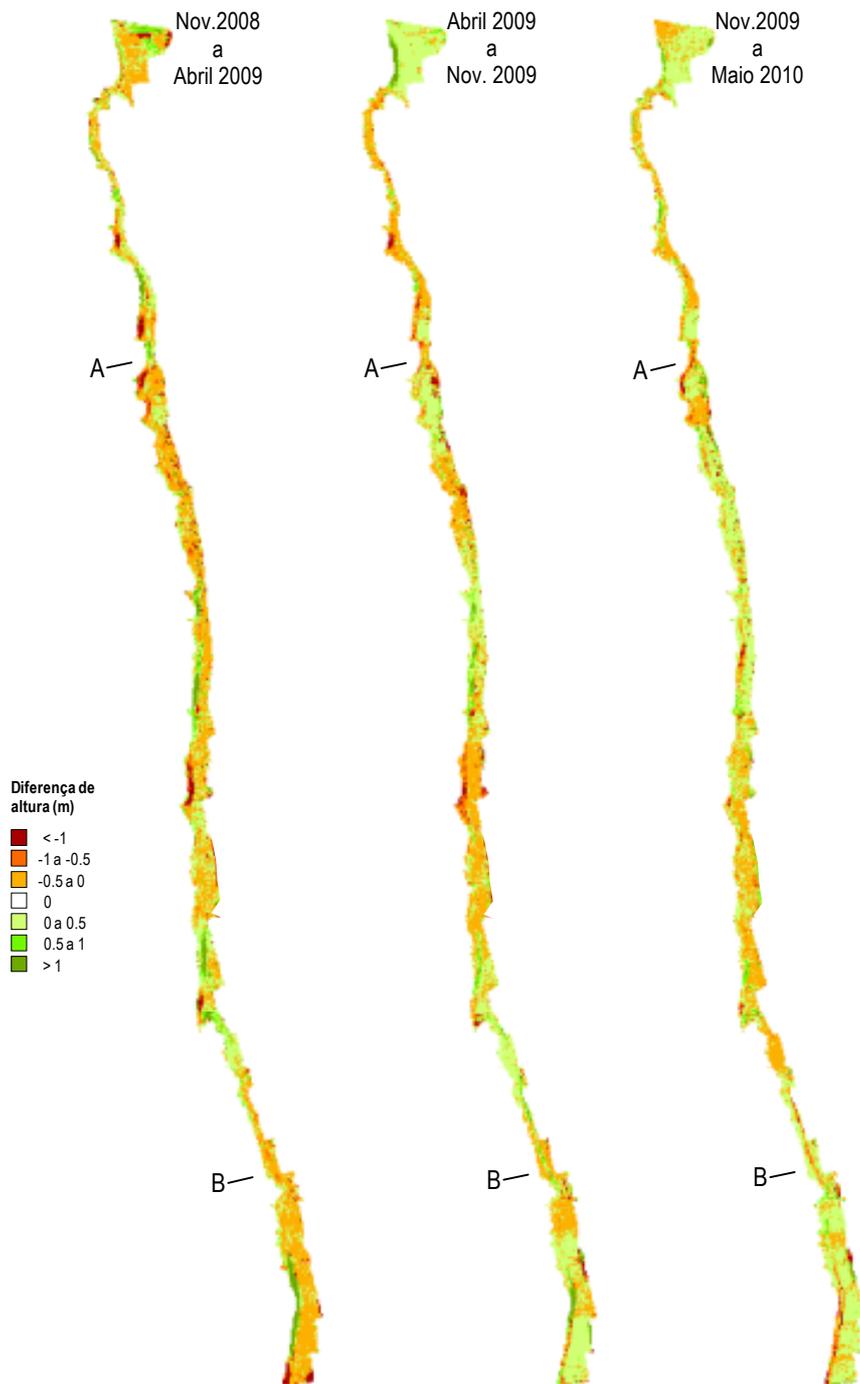


Figura 4 – Diferenças entre os MDT obtidos a partir dos levantamentos aéreos; A: Praia da Madalena, B: Praia da Granja

Analisando os dados em detalhe verifica-se, que as tendências de erosão podem ser decorrentes de obras costeiras a barlar. Isso acontece, por exemplo, na praia da Madalena, Figura 4 zona A, onde se tem observado um elevado recuo devido à influência da obra de suporte do emissário da praia, que funciona como uma barreira transversal à circulação dos sedimentos da corrente de deriva proveniente de Norte. Mais a sul, observam-se recuos nas praias da Aguda e de Granja, Figura 4 zona B, devidos à construção do quebra-mar do portinho da Aguda. A barlar dessas estruturas tem havido acumulação de sedimentos. A Figura 5 mostra a alteração no padrão das ondas causada por esse quebra-mar. Os balanços sedimentares dependem do sector observado, da zona (molhada seca) da costa e de operações de alimentação artificial (recarga) das praias, que resultam em balanços sedimentares positivos, que contudo se perdem rapidamente. Balanços sedimentares positivos estão associados à acumulação de sedimentos nas áreas secas e vegetadas da praia, sujeitas a trânsito eólico intenso, independentemente dos valores possivelmente negativos registados na praia molhada, onde se fazem sentir os processos ligados às ondas e correntes de maré. Os sedimentos mantiveram-se bastante inalterados entre campanhas, tal como grande parte dos perfis subaquáticos. Registou-se uma correspondência entre áreas de acumulação preferencial nas praias e perfis submersos com menor declive. A interpretação dos dados de sonar permitiu identificar áreas de acumulação sedimentar da plataforma continental interna e estabelecer relações com o comportamento morfo-sedimentar das praias contíguas.

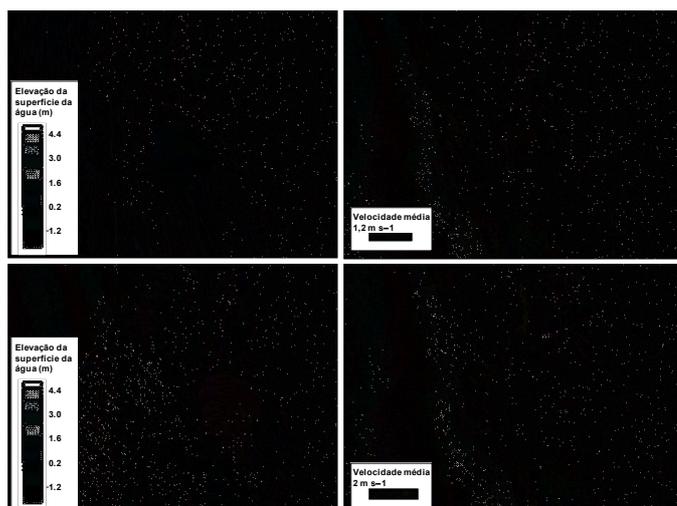


Figura 5 – Transformação das ondas no Portinho da Aguda devida ao quebra-mar. Topo: Ondas irregulares vindas de Oeste, em baixo: Ondas irregulares vindas de sudoeste

4. Discussão

O programa de monitorização integrada permitiu avaliar as tendências evolutivas da morfodinâmica costeira e estabelecer mapas de risco de erosão para a zona de estudo. Monitorizaram-se alterações morfo-dinâmicas, identificaram-se sectores de erosão ou acreção, estabeleceram-se tendências evolutivas, determinaram-se as áreas vulneráveis a factores forçadores e geraram-se mapas de com base na vulnerabilidade dos diferentes sectores.

Esta zona costeira apresenta segmentos com diferentes características morfológicas e com um comportamento dinâmico, influenciado pela hidrodinâmica local, por vezes alterada devido a obras costeiras (Granja et al., 2010). Existem segmentos com praias arenosas confinadas por afloramentos rochosos, praias rochosas e praias arenosas que se desenvolvem entre tômbolos. A maioria dos segmentos está sujeita a processos de erosão. Foram também observadas áreas de acreção, em parte apoiadas com alimentação artificial de praias.

As tendências evolutivas observadas em alguns sectores constituem motivo de preocupação para esta zona densamente ocupada. A proximidade de pessoas e bens e o facto de a mobilidade natural dos sistemas costeiros se encontrar reduzida devido à artificialização da costa são factores determinantes para a vulnerabilidade da área estudada. A informação gerada pelo programa de monitorização permitirá uma melhor gestão integrada da zona costeira, contribuindo ainda para a compreensão da evolução de sistemas costeiros e dos processos nela envolvidos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Parque Biológico de Gaia, SA., o apoio financeiro para realizar o programa de monitorização entre 2008 e 2010.

Referências Bibliográficas

- Bastos, L., Madeira, S., Gonçalves, J. (2009): “A Land Based MMS for Coastal Monitoring”. IAG2009 Assembly, Agosto-Stembro 2009, Buenos Aires, Argentina.
- Carvalho, G.S., Granja H., Henriques R., (2005): “Recent coastal defence by engineering structures and their consequences (problems in the coastal zone of NW Portugal)”. Em: Viggosson, G. (Ed.), Second International Coastal Symposium ICS 2005, Hofn, Iceland, Págs. 188–192.
- Esteves, R., Sansana Silva, F., Pinto, J.P., Costa, M. (2010): “Caracterização de eventos extremos de agitação marítima em Portugal Continental. 1^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica, 21-22 de Junho de 2010, Lisboa, Portugal.
- Gonçalves, J.A., Bastos, L., Perez, B., Magalhães, A. (2010): “Monitoring of beaches and sand dunes using digital aerial photography with direct georeferencing”. Em: Wagner, W., Székely, B. (Eds.), ISPRS TC VII Symposium – 100 Years ISPRS, 5–7 Julho 2010, Viena, Austria, Vol. XXXVIII, Parte 7B, Págs. 228–232.
- Granja, H., Bastos, L., Pinho, J.L.S., Gonçalves, J., Henriques, R., Bio, A., Magalhães, A.: “Small Harbours Risks: Lowering for Fishery and Increasing Erosion. The Case of Portinho da Aguda (NW Portugal)”. Proceedings of Littoral 2010, 21–23 Setembro 2010, Londres, Reino Unido.
- Hegde, A.V., Reju, V.R. (2007): “Development of coastal vulnerability index for Mangalore coast, India”. Journal of Coastal Research, Vol. 23, Págs. 1106–1111.
- Henriques, R. (2004): “SEDMAC/SEDPC: An application to support particle size analysis of unconsolidated sediments”. 32nd International Geological Congress, Florence-Italy, Abs. Vol., pt. 1, abs. 154-6, Pág. 726.
- Jacobsen, K. (2003): “Program System BLUH user’s manual”. Institute of Photogrammetry and Engineering Surveys, University of Hanover, Hanover, Alemanha.

Loureiro, E.J.S.M. (2007): “Indicadores geomorfológicos e sedimentológicos na avaliação da tendência evolutiva da zona costeira: aplicação ao concelho de Esposende”. Tese de doutoramento, Universidade do Minho, Portugal.

Madeira, S. (2007): “Sistema Móvel Terrestre de Levantamento com Integração em SIG”. Tese de doutoramento, Universidade do Porto, Portugal.

Nawogu, G., Demirbilek, Z. (2001): “BOUSS-2D: A Boussinesq Wave Model for Coastal Regions and Harbors. Report 1. Theoretical Background and User’s Manual”. US Army Corps of Engineers. Engineer Research and Development Center. USA.

Pendleton, E.A., Thieler, E.R., Williams, S.J. (2005): “Coastal Vulnerability Assessment of National Park of American Samoa to Sea-Level Rise”. U.S. Geological Survey Open-File Report, Págs. 2005–1055.

Pinho, J.L.S. (2001): “Mathematical modelling application to hydrodynamics and water quality studies of coastal zones”. Tese de doutoramento, Universidade do Minho, Portugal.

Thieler, E.R. (2000): “National Assessment of Coastal Vulnerability to Future Sea-Level Rise”. USGS Fact Sheet, Págs. 076–100.

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, Vol. 10, Págs. 43–52.