



4<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária  
Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

## SISTEMA DE VÍDEO-MONITORIZAÇÃO DA MORFODINÂMICA COSTEIRA: PRAIA DE TRAFALGAR

Sandra Fachin<sup>1</sup>, Francisco Sancho<sup>1</sup>, Miguel Ortega<sup>2</sup>, Miguel Losada<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Hidráulica e Ambiente  
Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa  
sfachin@lnec.pt, fsancho@lnec.pt

<sup>2</sup>Grupo de Puertos y Costas, CEAMA, Universidad de Granada, España.  
miguelos@ugr.es, mlosada@ugr.es

### RESUMO

Um dos objectivos da investigação dos processos costeiros é compreender e prever a evolução de uma zona costeira face às acções impactantes, o que, tradicionalmente, envolve previsões baseadas em dados de campo e resultados de modelação. Contudo, estes dados necessitam ter uma grande escala espaço-temporal e ser representativos de condições adversas, como tempestades. Uma das soluções para este problema é a utilização de técnicas de detecção remota, como a vídeo-monitorização, que têm vindo a ser aplicada para a quantificação de diversos processos costeiros e morfológicos da zona costeira. Este trabalho faz uma revisão desta técnica, evidenciando as suas potencialidades através da sua aplicação na praia de Trafalgar, Espanha, demonstrando como esta técnica permite melhorar os conhecimentos dos processos que influenciam a evolução da morfodinâmica costeira, além da sua grande capacidade como técnica de análise e previsão costeira.

### 1. INTRODUÇÃO E MOTIVAÇÃO

Nos últimos anos, os programas do governo de Portugal, no âmbito das *Políticas Integradas para o Ambiente e Ordenamento do Território*, têm proposto continuamente políticas litorais de gestão integrada das zonas costeiras. Entre os diversos objectivos destes programas, destaca-se o estabelecimento de um sistema permanente de monitorização das zonas costeiras (*Resolução do Conselho de Ministros n.º 22/2003*), ainda não iniciado.

A importância de um sistema de monitorização reside, principalmente, no fornecimento contínuo de informações e dados científicos e de engenharia suficientes para uma acção fundamentada e atempada nas decisões que envolvem a gestão das zonas costeiras. Conhecer e manter-se a par das condições naturais e das várias actividades ao longo da costa é primordial para uma boa gestão dos recursos existentes. Contudo, isso normalmente tem um custo financeiro e logístico elevado pelo que, na maior parte das regiões costeiras, a obtenção frequente de informações e de dados a longo prazo não é viável. Aliado ao elevado custo, esta é uma região complexa, de grande dinâmica e de difícil monitorização devido à dificuldade da aquisição contínua de dados durante longos períodos de tempo e, em particular, em períodos de eventos extremos. Portanto é fundamental encontrar uma solução para produzir informações quantitativas contínuas e a baixo custo de modo que permita uma monitorização da costa.



## 4<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

É neste contexto que o uso de instrumentos visuais remotos, através da aquisição de imagens com câmaras de vídeo, tem-se tornado numa saída viável e promissora. Esta técnica tem demonstrado a sua grande aplicabilidade na quantificação de evoluções morfológicas e na caracterização hidrodinâmica da região litoral (Holland *et al.*, 1997; Holman *et al.*, 1993). Pode-se dizer que a monitorização por vídeo é um sistema que permite obter continuamente e por longos períodos de tempo informações qualitativas e quantitativas da costa, com um custo efectivo mínimo.

Tendo em vista o potencial desta ferramenta e as directrizes políticas dos últimos anos, desde Janeiro de 2004 o LNEC tem apoiado em cooperação com o *Grupo de Puertos y Costas da Universidade de Granada* um trabalho de investigação em monitorização através de imagens vídeo e modelação dos processos hidrodinâmicos e morfodinâmicos em zonas costeiras. Esta investigação visa desenvolver esta tecnologia de forma a aumentar as capacidades das técnicas de análise e previsão costeira, para que possa ser aplicada em Portugal.

Dentro deste contexto, este trabalho visa apresentar uma revisão e análise das potencialidades e capacidades de um sistema de vídeo-monitorização Argus, utilizando dados provenientes de um sistema instalado na praia de Trafalgar, Espanha.

### 2. EVOLUÇÃO DA VIDEO-MONITORIZAÇÃO

Desde o início dos anos 80 que investigadores do “*Coastal Imaging Laboratory*”, da Universidade do Estado de Oregon (OSU) têm pesquisado os processos costeiros através do uso de imagens de vídeo. Essa técnica foi utilizada para medir o espriamento das ondas de forma a diagnosticar a presença de “ondas de berma” (*edge waves*) (Holman, 1981). As investigações nesta área levaram à descoberta de que uma exposição de 10 minutos de vídeo fornecia uma imagem que revelava a presença de barras arenosas e canais de retorno submersos (Lippman e Holman, 1989). Também se observou que a aquisição contínua de dados proporcionava séries temporais que poderiam ser analisadas estatisticamente a fim de caracterizar estados morfológicos modais de uma praia (Lippman e Holman, 1990), verificando que esse método poderia ser um importante instrumento de amostragem e monitorização da zona costeira. Estes estudos iniciais demonstraram o potencial desta técnica e, a partir de 1992, iniciou-se o desenvolvimento de um sistema automatizado de estações de vídeo chamado ARGUS, programado para adquirir dados diariamente a cada hora (Holman *et al.*, 1993).

Posteriormente, este sistema foi colocado em diversos locais do mundo e a sua capacidade foi aumentando com diversas cooperações e convénios. Na Europa este sistema é administrado pelo *WL-Delft Hydraulics Laboratory*, que tem estendido as suas capacidades com o desenvolvimento da terceira geração ARGUS e de um ambiente padronizado com várias ferramentas de análise (Aarninkhof e Holman, 1999). Em 2002 o projecto europeu *Coastview* (Davidson *et al.*, 2004) iniciou investigações nesta área, de modo a aumentar as capacidades do sistema de vídeo e criar “Indicadores Padrão do Estado Costeiro” que descrevam, de forma simples e quantitativa, o estado da dinâmica de um sistema costeiro e suas tendências evolutivas. O objectivo era fornecer uma ferramenta geral de aplicação à gestão de linha de costa, ou seja, transformar uma linha de investigação em uma ferramenta aplicada.

#### 2.1. Aplicações e Informações Obtidas das Imagens de Vídeo

O sistema de vídeo-monitorização tem sido usado para estudar uma grande variedade de processos costeiros e de praia. Este sistema permite fornecer desde medidas morfológicas até às tradicionais variáveis oceanográficas, abrangendo análises que fornecem informações tanto dos eventos e resultados (*o que aconteceu?*) como dos processos (*porque aconteceu?*).

Segundo Holman (2003), as **análises de séries temporais** das imagens permitem seguir mudanças nas posições destas características e definir o seu grau de variabilidade e



## 4<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

quantificar os processos importantes. A **sequência de exposições no tempo** pode revelar as mudanças nas formas das barras submersas e dos canais, além das ondas e correntes que originam estas mudanças. A **informação contínua e a análise adequada** dos dados permitem obter, além das condições de agitação marítima, as características da praia, tais como: a migração da linha de costa, a área da praia emersa e submersa, o desenvolvimento e movimento de barras arenosas, as variações de volume da praia e mesmo, identificar pontos de erosão. Usando **técnicas avançadas de análise de dados**, pode-se ainda medir e monitorizar o espriamento, as características das ondas (altura, período e direcção), a largura da zona de *surf*, a intensidade das correntes longitudinais, as características morfológicas da parte emersa, a batimetria da região intermareal e submareal de uma praia, etc. Essa abundância de informações pode ser usada, ainda, como entrada para modelos numéricos de evolução da zona costeira.

Adicionalmente a essa componente científica a sua aplicabilidade prática envolve desde a monitorização do estado do mar, incluindo eventos de tempestade, até à obtenção de informações sobre os danos causados. Permite monitorizar e avaliar as variações da linha de costa e do perfil de praia ao longo do tempo, identificando tendências erosivas ou de acreção ao longo da costa. Além disso, em casos de projectos de re-alimentação de praias artificiais pode ser muito útil para a monitorização e estimativa da largura destas praias. Pode, ainda, ser utilizado na monitorização da estabilidade de barras de rios, canais de navegação, bem como no acompanhamento em trabalhos de dragagens. Por fim, pode fornecer uma ferramenta de gestão turística e uso das praias através de diversos tipos de informações que abrangem desde condições de *surf*, frequência e intensidade de uso balnear até a segurança nas praias para apoio a nadadores salvadores.

### 3. O SISTEMA DE VÍDEO MONITORIZAÇÃO

O Sistema Argus consiste na aquisição automática de imagens de vídeo com o objectivo de observar e monitorizar a zona costeira (Lippman e Holman, 1991). As componentes principais deste sistema são uma ou mais câmaras de vídeo de alta resolução de cor, que são instaladas num local elevado sob uma praia, de forma a estarem apontadas obliquamente ao longo da mesma, e a adquirir imagens com intervalos de tempo regulares (Figura 1). Um sistema típico pode ter até 5 câmaras de vídeo com um campo de visão de 180 graus, o que permite um alcance de cerca de 3 a 6 km de praia.

O produto padrão de um sistema ARGUS não é um filme, mas sim imagens que são resultantes da exposição contínua durante um determinado tempo. Tipicamente, em cada hora obtém-se uma exposição de 10 minutos. A aquisição destas imagens é normalmente horária e diurna e pode decorrer durante períodos de dias, meses ou anos, controlado automaticamente. Este sistema é flexível e pode ser configurado em função dos objectivos propostos.

As câmaras de vídeo estão conectadas a um computador que programa e controla a captura de imagens, realiza um pré-processamento e automaticamente transfere para um banco de dados à distância as séries temporais de imagens. Dessa forma, as imagens em tempo real, da área de estudo, são transmitidas por linha telefónica, rádio ou conexão Internet. Como o processo de aquisição e armazenamento é totalmente automático, os custos operacionais são quase nulos. O pós-processamento destas imagens é feito posteriormente, usando uma variedade de algoritmos desenvolvidos para a análise dos dados, que são as chamadas ferramentas de processamento de imagem.

#### 3.1 Estação Argus na praia de Trafalgar - Espanha

Desde Outubro de 2003 encontra-se em funcionamento uma estação de monitorização costeira *Argus*, instalada no Farol do Cabo de Trafalgar, Espanha (Figura 1). Essa estação é composta de 3 câmaras situadas a uma altura de 51m, montadas num farol, e tem um alcance de monitorização de cerca de 2km de praia. A praia localiza-se entre o Cabo de Trafalgar e Cabo Roche, com um alinhamento médio NNW-SSE (N-230°-E) e com direcção

predominante de ondulação de Oeste (W). Caracteriza-se por ser uma praia do tipo mesomaré, com maré média de 2m, podendo alcançar valores máximos de 4m e mínimos em cerca de 0.7m. A monitorização efectuada até o momento demonstra que esta praia se caracteriza pela presença constante de formas rítmicas (*beach cusps*) na sua porção sub-aérea.

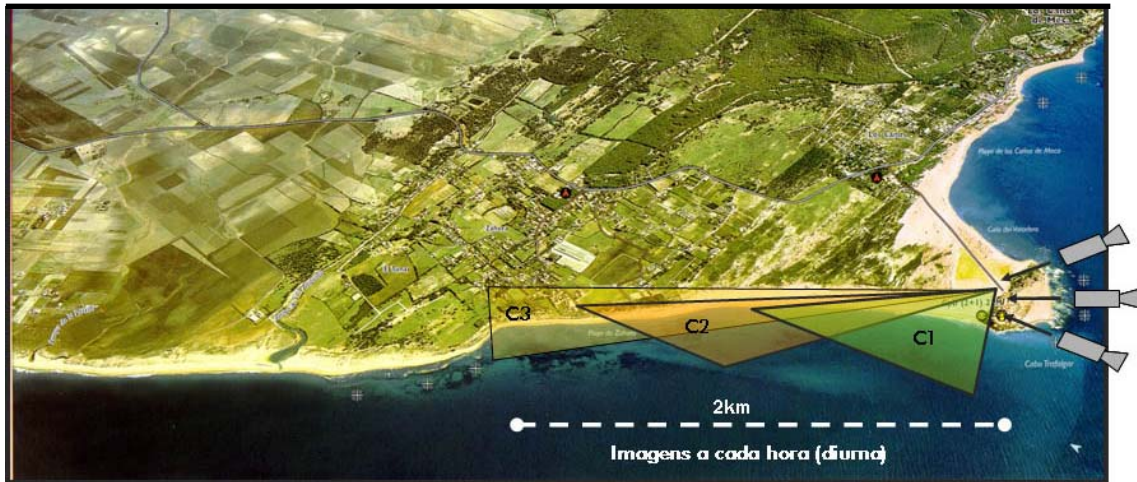


Figura 1. Estação de monitorização costeira Argus instalada no Farol do Cabo de Trafalgar, Espanha.

Os estudos nesta praia iniciaram-se recentemente e têm como objectivo principal apresentar um modelo sinóptico para prever a morfologia desta praia baseado na análise das imagens de vídeo e nas predições do clima marítimo, de forma a orientar uma adequada gestão da costa (Ortega-Sánchez *et al.*, 2005). Ao longo deste artigo serão utilizados exemplos obtidos do processamento de imagens da Praia de Trafalgar referentes ao período de um ano de análise (Out/2003-Out/2004).

### 3.2. Tipo de Imagens

O sistema de Trafalgar foi configurado, inicialmente, para recolher diariamente três tipos básicos de imagens a cada hora (*snap*, *timex* e *variance*) e um quarto tipo de imagem (*daytimex*), que é criada automaticamente ao término de cada dia. Além destas imagens, outros esquemas de amostragens de dados podem ser criados para adquirir um quinto tipo de imagem que são as *timestack*. Posteriormente, durante o processamento, podem-se obter imagens planas e panorâmicas, que são imagens compostas a partir das imagens de todas as câmaras do sistema. A seguir são apresentadas as características principais de cada tipo de imagem referida:

**Imagem instantânea (*snap-shot* ou *Snap*)** - é semelhante a uma fotografia instantânea. Esta imagem serve como uma simples caracterização das condições gerais do sistema, mas não são úteis para análises quantitativas e de detalhe.



Figura 2. *Imagens instantâneas (snap) da praia de Trafalgar obtidas pelas Câmaras 1, 2 e 3 às 14horas do dia 03/03/2004.*

**Imagem temporal (*Timex*)** – é uma imagem média de diversas imagens instantâneas, adquiridas durante um determinado intervalo de tempo a determinada taxa de aquisição. Fazendo um paralelo à fotografia, a imagem *timex* corresponde a deixar um obturador aberto durante dado intervalo de tempo. No caso de Trafalgar, correspondem a 10 minutos de aquisição a uma frequência de 2Hz, portanto, a imagem média final resulta da média de 1200 imagens. Este tipo de imagem permite obter uma variada quantidade de informações. Por exemplo, revela as variações naturais da rebentação de ondas (áreas da imagem em branco), que são um bom indicador da linha de costa e das zonas de barras submersas, permitindo a estimativa da morfologia do fundo.



Figura 3. *Imagem timex onde a imagem final resultante da longa exposição permite observar feições e padrões de circulação da praia de Trafalgar. Imagens obtidas pelas Câmaras 1, 2 e 3 às 14 horas do dia 03/03/2004.*

**Imagem da variância (*variance* ou *Var*)** – é uma imagem que corresponde à variância da intensidade de luz, ou seja, é a variância estatística das imagens que dão origem à *Timex*, durante aquele intervalo de tempo. Estas imagens ajudam a identificar zonas que estão a mudar ao longo do tempo daquelas que, apesar de estarem brilhantes, não mudam. Por exemplo, a zona de rebentação e do espraiado (que mudam) e praias de areias brancas (que não mudam) vão aparecer brilhantes em ambas as imagens – *snap* e *timex* – mas a praia vai aparecer escura na imagem de *variância*. Dessa forma, podem ser úteis na identificação de linhas de costa, já que o brilho da mudança da superfície da água pode ser facilmente identificável sobre a praia escura.



Figura 4. *Imagem que representa a variação da intensidade de luz durante 10 minutos de exposição. Imagens obtidas pelas Câmaras 1, 2 e 3 às 14horas do dia 03/03/2004.*

**Imagem Daytimex** – é o quarto tipo de imagem que é processada no fim de cada dia de monitorização. É uma média de todas as imagens *timex* adquiridas nesse dia. O efeito é a suavização da influência da maré, e em determinadas condições, pode aumentar a visibilidade da linha de rebentação e das feições (/formas) de fundo.



Figura 5. Imagem *daytimex* representando uma média final de todas as *timex* adquiridas num dia. Imagens da praia de Trafalgar obtidas pelas Câmaras 1,2 e 3 do dia 03/03/2004.

**Imagem Timestack** – esta imagem é criada através da amostragem e monitorização de uma série temporal da intensidade luminosa de um (ou mais) pontos digitais (*pixels*) da imagem (Figura 6A). Desta forma, uma série de *pixels* podem ser posicionados dentro da área de estudo em linhas transversais ou longitudinais, como se fossem instrumentos de medições oceanográficos (Figura 6B). O objectivo destes instrumentos (*pixels*) é permitir determinar as características do escoamento e das ondas, tais como a velocidade de fase, direcção e frequência da onda e a velocidade das correntes. Pode-se ainda obter a migração da linha de costa, a incursão do espraiamento, etc. No caso de Trafalgar, as *Timestacks* começaram a ser adquiridas apenas em Julho deste ano.

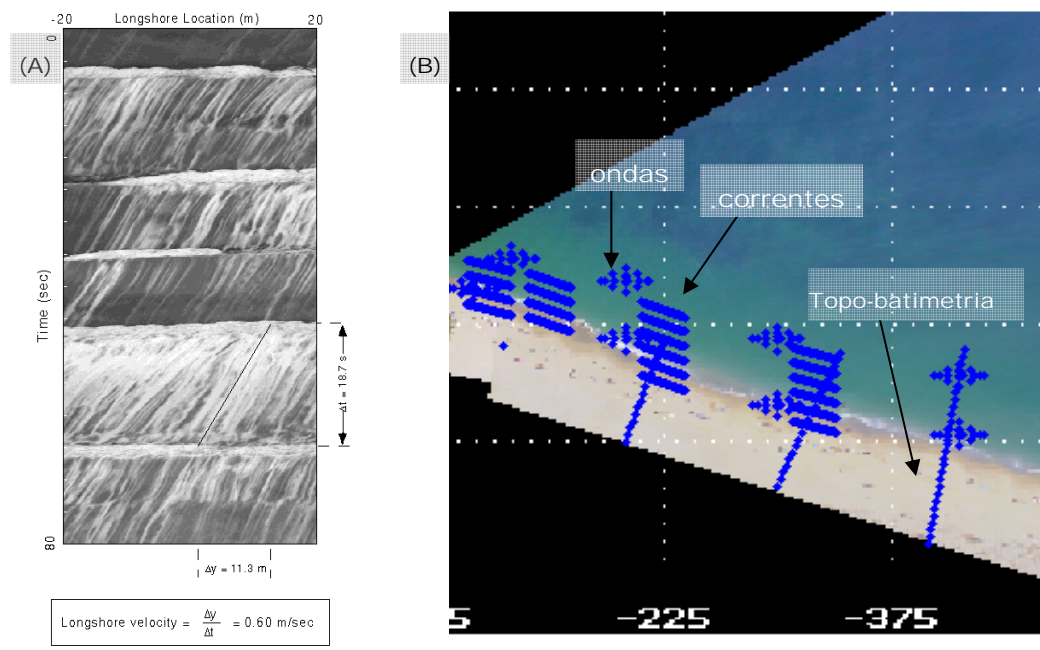


Figura 6. (A) Exemplo de uma imagem *Timestack* obtida isolando uma linha longitudinal de *pixels* para medir velocidade de correntes (fonte: projecto Coastview). (B) Localização de *pixels* (sensores) para aquisição de dados de correntes, ondas e batimetria na imagem rectificada da Praia de Trafalgar.

## 5. PROCESSAMENTO BÁSICO DAS IMAGENS

Actualmente, as imagens do sistema Argus são processadas através de um conjunto de algoritmos desenvolvidos em ambiente MATLAB (Aarninkhof *et al.*, 2002) que interpreta os dados de vídeo, de modo a permitir o pós-processamento das imagens e obtenção das informações desejadas.

O processamento inicial envolve as técnicas de transformação de imagens e requer uma boa compreensão da geometria e resolução de cada imagem. O primeiro passo na rotina de processamento envolve a quantificação da informação contida na imagem sendo, portanto, necessário a transformação fotogramétrica entre as coordenadas 3D do terreno e as da imagem 2D.

Inicialmente, é necessária uma base de dados com informações sobre a maré e a ondulação, além dos parâmetros de geometria das câmaras que consistem da posição e orientação da câmara relativamente ao sistema de coordenadas, e nas características físicas das lentes, câmara e *hardware* de aquisição de imagens. A relação entre as coordenadas da imagem (U,V) e as reais (x,y,z) é estabelecida através destas informações e de pontos de controlo no campo (GCP's - *Ground Control Points*) com coordenadas 3D conhecidas e visíveis nas imagens, de modo a encontrar uma solução geométrica para cada câmara. Esta solução permanece fixa enquanto a orientação da câmara não for modificada. Assume-se que a referência da coordenada vertical z é o nível médio do mar (preferencialmente, o nível de maré medido) durante o processo de calibração. O resultado deste processo é uma imagem rectificadas de forma a ter as suas dimensões (distorções) corrigidas permitindo medições das escalas das feições observadas no campo (Figura 7). Mais informações sobre este procedimento podem ser encontradas em Lippmann e Holman (1989) e Holland *et al.* (1997).

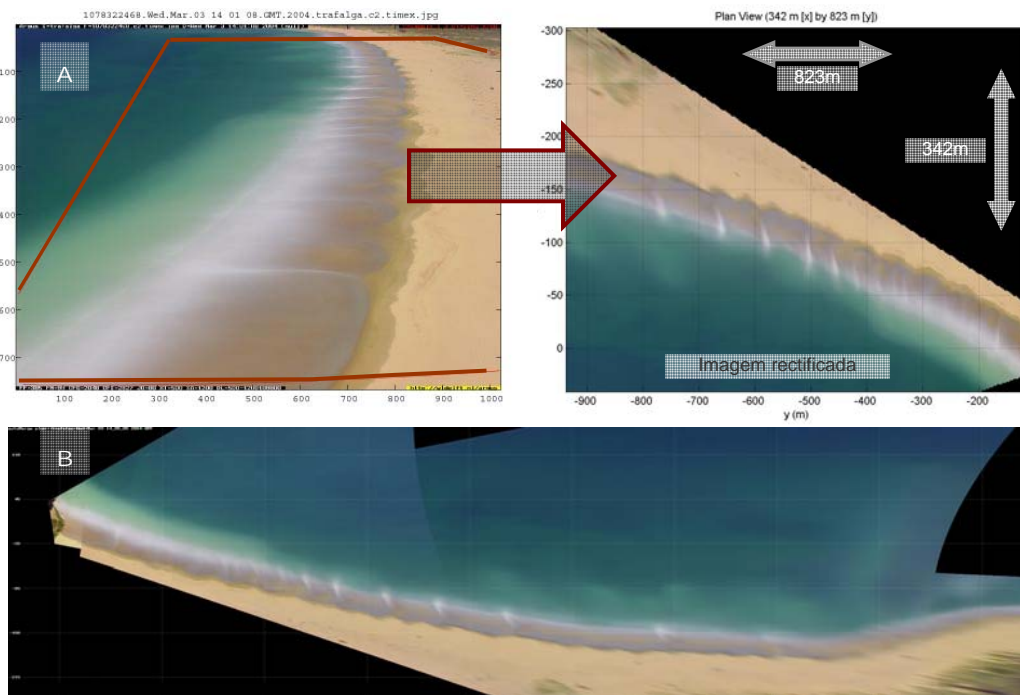


Figura 7. (A) Exemplo da rectificação da imagem, onde para cada (X,Y,Z) de referência corresponde um (U,V) interpolado (B) imagem panorâmica gerada após a rectificação e união das imagens das 3 câmaras de Trafalgar.



## 4<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

### 5.1. Resolução e precisão teórica das imagens

A precisão das imagens das câmaras de vídeo é, segundo Lippmann e Holman, (1989), governada pela aproximação das dimensões rectangulares da área do *pixel* a qual, por sua vez, é dependente de diversos factores como as características da lente, altura e distância das câmaras. Desta forma, a precisão das imagens decresce rapidamente com o aumento da distância da estação de vídeo à praia, devido ao decréscimo rápido da resolução dos *pixels* (Van Emckvort, 2001). Esse decréscimo de resolução é diferenciado no sentido longitudinal e transversal. A resolução das câmaras perde-se mais rapidamente na direcção longitudinal que na transversal, onde é mais constante. No caso de Trafalgar, a distância focal das lentes das três câmaras são de 6, 8 e 12mm, respectivamente, o que permite uma resolução mínima que pode variar de 0.18, 0.25 e 0.49m, transversalmente, e de 0.70, 1.40 e (até) 5.59m, longitudinalmente.

## 6. ANÁLISE DAS IMAGENS

Diversas técnicas de análise das imagens são utilizadas para extrair informações quantitativas da zona costeira a partir das imagens de vídeo. Uma primeira categoria de análise, mais simples, está relacionada com as imagens *Timex* que mostram que padrões de intensidade de brilho permitem a leitura e a análise dos processos da morfodinâmica costeira. Numa segunda categoria, encontram-se a quantificação da topo-hidrografia da praia e da linha de costa. Por fim, uma terceira categoria requer técnicas para estimar os processos hidrodinâmicos na ante-praia, incluindo as características das ondas, velocidades das correntes e espraiamento (Aarninkhof, 2003).

### 6.1. Morfodinâmica da praia e zona de surf

As imagens *timex* da zona de *surf* (ante-praia) mostram geralmente padrões de intensidade de brilho que correspondem à localização onde as ondas preferencialmente rebentam. Essa relação foi indicada qualitativamente por Lippmann e Holman (1989), que demonstraram que estes padrões reflectem a batimetria submersa da praia, embora modulações da posição da rebentação na barra devido à variação do nível de maré e da altura incidente da onda possam induzir diferenças de até 30m entre a localização da barra observada pelo vídeo e a medida. Estes desvios podem ser corrigidos empiricamente (Van Enckevort e Ruessink, 2001) ou com a ajuda de redes neurais (Kingston *et al.*, 2000).

Esse tipo de análise foi explorado para: quantificar a variabilidade espacial e temporal de barras arenosas (Lippmann e Holman, 1990; Van Enckevort e Ruessink, 2003 a,b), estudar o comportamento cíclico e longitudinal de morfologias de fundo (Wijnberg and Holman, 1997; Alexander, 2001) e de barras transversais (Konicki e Holman, 2000), investigar a resposta morfológica de barras (*inlets*) costeiras para uma série limitada de eventos de tempestade (Morris *et al.*, 2001), avaliar o espaçamento de crescentes de praia (*beach cusps*) (Holland *et al.*, 1998), e quantificar correntes de retorno (Ranasinghe *et al.*, 1999, 2000) em praias naturais.

No **caso da praia de Trafalgar** a presença de barras arenosas submersas na zona de rebentação não é usual. Esta é uma praia que se caracteriza por possuir uma zona de rebentação estreita, excepto em períodos de grande energia, e um declive íngreme, sendo uma praia do tipo reflectiva a intermediária, segundo a classificação de Wright e Short (1984). É comum observarem-se células de circulação em pequena escala. As imagens têm mostrado ainda que esta praia possui sua maior variabilidade morfológica no espraiado, onde é frequente a presença de crescentes de praia, que podem ocorrer ao longo de todo perfil. Neste caso, as imagens têm sido úteis para caracterizar a evolução de perfis transversais na zona emersa e dos diferentes estados modais da praia, estudar a formação e evolução dos *beach cusps*, localizar canais de correntes de retorno, bem como acompanhar a formação das pequenas células de circulação (Figura 9).



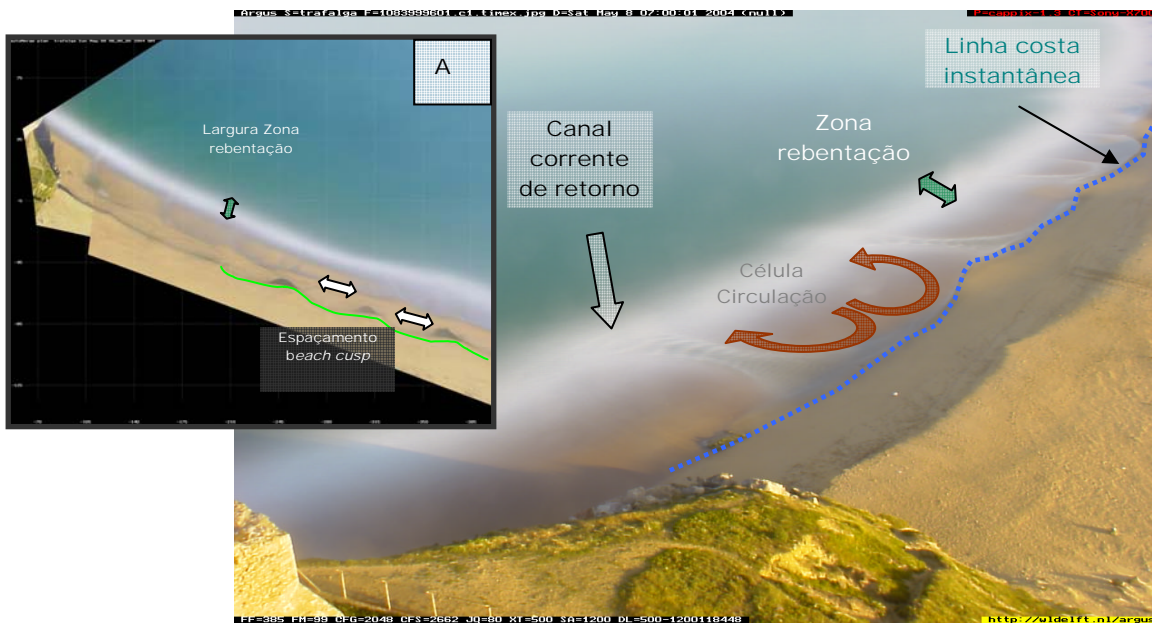


Figura 9. Perfil do tipo “terraço de maré” e pequenas células de circulação observadas em Trafalgar. A imagem rectificada (A) permite localizar e quantificar características das feições morfológicas.

## 6.2. Linha de costa e topo-hidrografia da praia

A **linha de costa** pode ser obtida através das imagens *Timex*, que mostram a média das oscilações da linha de água induzidas por ondas individuais ou grupos de ondas. Estas imagens permitem a detecção de uma linha de água média (linha de costa), situada na zona do espriado, entre a ante-praia e a praia seca, sub-aérea. São vários os métodos de detecção da linha de costa desenvolvidos até o momento (Davidson *et al.*, 1997; Plant e Holman, 1997; Madsen e Plant, 2001; Alexander, 2001; Aarninkhof e Roelvink, 1999; Turner *et al.*, 2000). No actual sistema Argus (Aarninkhof e Roelvink, 1999), a linha de costa é determinada através da diferença de cores entre a zona seca e zona húmida da praia. Para tal, uma região de interesse é seleccionada na imagem (Figura 10) e o modelo discrimina todos os pontos dentro desta área com base numa função discriminante.

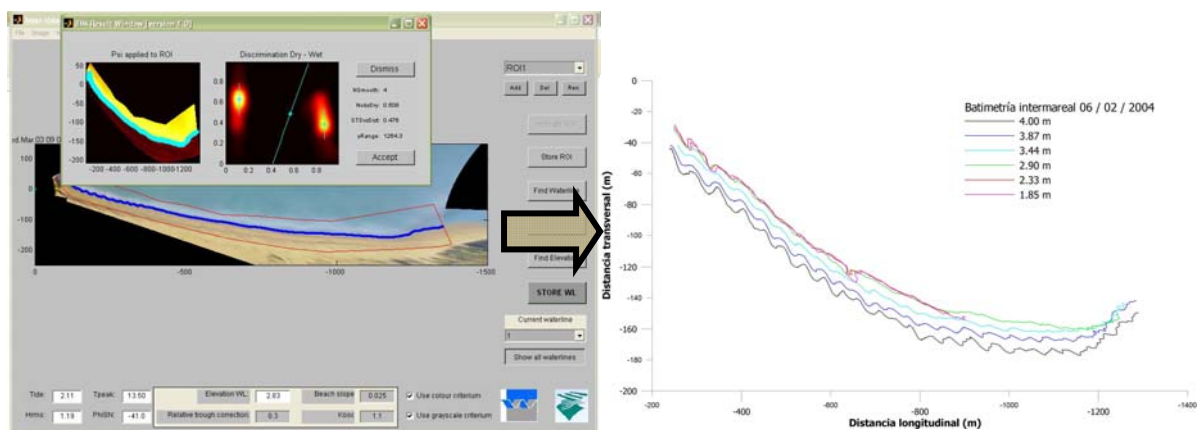


Figura 10. Exemplo da rotina de processamento para aquisição da linha de costa e a conversão das coordenadas (U,V) em coordenadas reais (X,Y) permitindo a construção de uma série temporal de linhas de costa obtidas durante um dia ou período de maré.

A aquisição de **dados de Topo-hidrografia** (ou topo-batimetria) envolve geralmente aproximações separadas para as zonas **sub-aérea**, **intermareal** e **submareal** da praia. A batimetria na **zona intermareal** (ou intertidal, ou inter-cotidal) pode ser obtida das imagens de vídeo através do mapeamento da linha de costa durante um ciclo de maré (Figura 11). À medida que a localização e elevação da linha de água são estimadas, essa linha de água é interpretada como uma aproximação local da elevação da praia. Assim, foram desenvolvidos vários métodos para identificar com precisão a linha de água nas imagens e, conseqüentemente, determinar a elevação da praia associada.

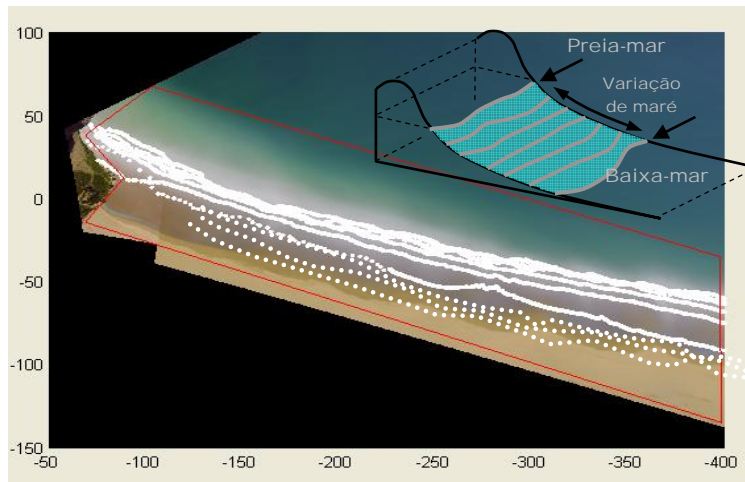


Figura 11. Imagem plana e rectificada das câmaras 1 e 2 da praia de Trafalgar com todas as linhas de costa instantânea de um dia de aquisição, a partir do qual é possível estimar a topografia intermareal da praia.

Muitos modelos de linha de costa adoptam um nível de maré medido como uma representação para a elevação da linha de costa, embora alguns modelos (Davidson *et al.*, 1997; Plant e Holman, 1997) apliquem uma correcção local específica para essa estimativa.

A **estimativa da elevação vertical** da linha de água está associada às condições hidrodinâmicas (Aarninkhof *et al.*, 2003) e precisa incluir a contribuição de todos os processos relevantes na zona de *surf*, na escala de tempo de 10 minutos. Esses processos são o nível de maré, a sobrelevação (*set-up*) das ondas (que pode ser estimada por um modelo de decaimento das ondas), o batimento (*surf beat* – que é determinado como uma função da altura significativa e comprimento de onda em águas profundas e a profundidade local) e o espraiamento (Janssen, 1997).

O mapeamento da batimetria **submareal** (ou submersa) ainda não está completamente desenvolvido apesar da sua importância, mas as técnicas actuais estimam as profundidades locais a partir de medições da velocidade de fase da onda nas imagens (Stockdon e Holman, 2000). Os melhores resultados foram obtidos ao largo da rebentação das ondas, antes da não-linearidade das ondas se tornar significativa devido ao empolamento da onda (diferenças entre a elevação do fundo medida e a estimada alcançaram os 30-50cm).

Na aproximação de Aarninkhof *et al.* (1997), que utilizaram imagens *Timex*, os resultados de aplicações do modelo inverso em Duck apresentaram desvios de 10-20cm na batimetria estimada na crista da barra, e de 30-40cm na fossa. A batimetria pode ser estimada resolvendo “inversamente” a relação de dispersão das ondas (em águas pouco profundas), uma vez conhecida a celeridade (ou velocidade de fase) da onda. Esta pode ser obtida através de uma série temporal de *pixels* transversais à praia (imagem *timestack*), onde a celeridade é medida ao longo dessa linha, fornecendo assim um perfil transversal de profundidade.

### 6.3. Hidrodinâmica

A quantificação dos **processos hidrodinâmicos** a partir da imagem vídeo depende fortemente da visibilidade das cristas de ondas individuais e da “assinatura” das correntes litorais na superfície do mar, que por sua vez vão depender da resolução do *pixel*, do clima de ondas dominante e das condições atmosféricas, já que locais com chuvas e nevoeiros frequentes são penalizados no sucesso da análise de imagem.

Séries temporais de intensidades de *pixels*, amostradas com elevada frequência (2Hz), têm sido usadas para quantificar a velocidade de fase e o ângulo de incidência das ondas (Lippmann e Holman, 1991). As regiões com brilho geralmente correspondem à rebentação das ondas, em que os traços da crista das ondas podem ser utilizados para estimar a velocidade de propagação (Stockdon e Holman, 2000) permitindo determinar a estatística da rebentação das ondas e da modulação da rebentação dentro da zona de *surf* (Lippmann e Holman, 1992).

O modelo óptico de ondas do Argus permite estimar a direcção e a frequência das ondas da imagem *timestack* através de séries de *pixels*, especialmente configurados para esse fim. Através de análises espectrais de uma série temporal de um único *pixel*, que funciona como um instrumento, é possível determinar o período das ondas. A análise de uma série 2D de *pixels* permite a estimativa do ângulo de propagação das ondas em relação a costa como pode ser visto na Figura 12.

Foram desenvolvidas imagens *timestack* e *snap*s de alta-frequência (Holland e Holman, 1993; Holland e Holman, 1997) para estudar as características do espriamento das ondas em praias naturais (Holland *et al.*, 1995) e a morfodinâmica da região do espriado (Holland e Puleo, 2001). As potencialidades do vídeo incluem, hoje em dia, a quantificação bidimensional das velocidades do escoamento, resultantes da aplicação de técnicas de PIV (“*Particle Image Velocimetry*”) para a zona do espriado (Puleo *et al.*, 2000; Holland *et al.*, 2001), até à estimativa de coeficientes de atrito nesta zona (Puleo e Holland, 2001).

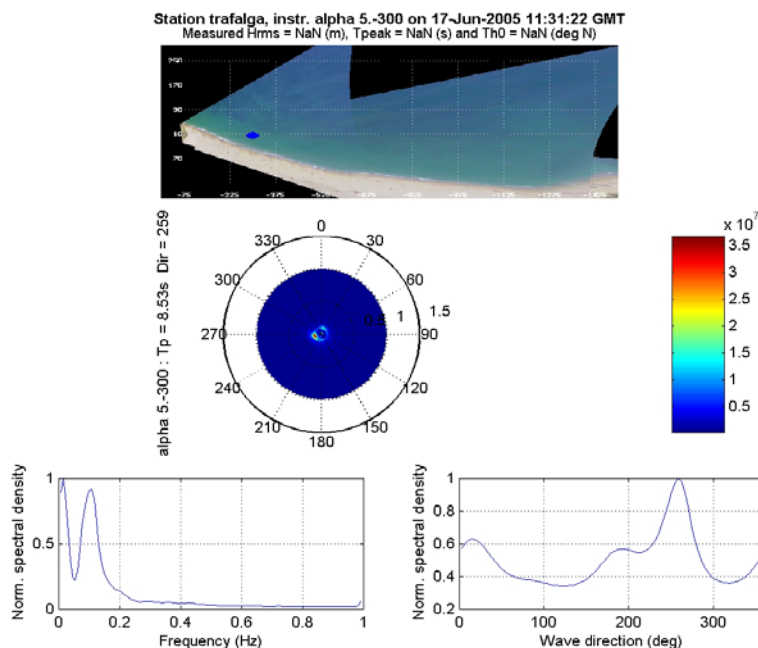


Figura 12. Exemplo na praia de Trafalgar do resultado da análise da *timestack* do instrumento do tipo *alpha* para aquisição de dados de direcção e frequência das ondas.

A velocidade das correntes litorais tem sido determinada através de um método óptico que mede a componente longitudinal das correntes superficiais (Chickadel *et al.*, 2003 e Cohen *et al.*, 2004) e transversais (Chickadel e Holman, 2002b), induzidas pelas ondas. Isto é



## 4<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

possível através da medição da deriva da espuma que se forma na zona do *surf*, após a onda rebentar. O método usa séries temporais curtas dos dados de uma série de *pixels* longitudinais à praia. Esses dados espaço-temporais são primeiro transformados, através de uma análise de Fourier, num espectro de frequência do número de onda e, posteriormente, num espectro de velocidade. Testes de campo têm mostrado que as correntes medidas com este método correspondem às correntes medidas com correntómetros *in situ*, com erros máximos de 0.15m/s. Deve ser levado em consideração que as diferenças obtidas podem estar correlacionadas com a componente de corrente gerada pelo vento local.

### 7. DADOS DE VÍDEO E A MODELAÇÃO COSTEIRA

Como vimos, o sistema de vídeo é capaz de fornecer uma diversidade de medidas morfológicas e hidrodinâmicas na ante-praia e espraiado. Essa abundância de informações pode, teoricamente, ser usada como entrada para modelos numéricos hidro ou morfodinâmicos (Holman, 2003). No entanto, segundo o mesmo autor, isso não é simples já que a assimilação de dados só é possível se o fenómeno medido na imagem de vídeo estiver relacionado com o fenómeno à superfície da água, ou seja, é necessário encontrar uma relação (ou função de transferência) entre a superfície da água e a intensidade da imagem do vídeo. Além disso, a combinação das informações obtidas dos modelos e das imagens envolve o conhecimento de cada processo no sistema costeiro e das incertezas em ambas as fontes de informação. A integração entre os dados dos modelos e das imagens poderá aumentar a possibilidade de fontes de informações necessárias ao conhecimento e previsão temporal dos sistemas costeiros, de modo a se analisar e compreender a interacção entre a hidrodinâmica e a morfologia do sistema costeiro. Estudos desta natureza encontram-se em desenvolvimento, de forma a combinar modelos numéricos com dados obtidos através de imagens vídeo.

#### 7.1. Exemplo de aplicação: praia de Trafalgar

Pretende-se, na praia de Trafalgar, aplicar três metodologias de modo a estimar os parâmetros de ondas e correntes na zona de *surf*: (i) análise do clima de ondas através de dados de uma bóia-ondógrafo transferidos por modelos, para o largo da área de estudo, e deste ponto para águas pouco-profundas em frente à praia; (ii) análise das imagens de vídeo; e (iii) análise de dados de medições (com aparelhos convencionais) *in situ*, de forma a calibrar os dados de vídeo.

Numa primeira aproximação, foi efectuada uma análise dos dados (para um período de 10 anos) de ondas fornecidos pela Rede de medidas dos Portos de Estado da Espanha, em dois pontos “Wana” (Figura 13), obtendo-se o regime médio de ondulação, bem como as condições diárias, ao largo, para o período das imagens. Num segundo passo, aplicou-se o modelo regional SWAN (Booij *et al.*, 1999) (Figura 13) para propagar as condições de ondulação do largo para a frente da praia de Trafalgar. Determinaram-se assim variações longitudinais da direcção e altura de onda ao longo da praia (Figura 14) que, posteriormente, determinarão a circulação costeira nessa zona, a calcular através do modelo SHORECIRC (Svendsen *et al.*, 2001).

A outra metodologia a ser aplicada é baseada nas medidas obtidas pelas câmaras de vídeo, cujas imagens serão processadas de forma a estimarem-se as propriedades das ondas e a velocidade das correntes. Por fim, os dados resultantes da análise de imagens da zona de *surf* necessitam ser calibrados com resultados de medições de instrumentação *in situ*, a efectuar brevemente.

Até o momento, identificaram-se as diferentes morfologias existentes na praia de Trafalgar através da análise das séries temporais das imagens (Ortega-Sánchez *et al.*, 2005). Efectuou-se ainda uma classificação da morfologia existente e a identificação dos períodos em que se produzem as transições de uma morfologia para a outra, durante um ano. Um procedimento similar foi adoptado para a análise dos dados do regime de agitação que consistiu, essencialmente, na análise diária das condições de ondulação e de maré, com a

classificação de diferentes condições de altura, direcção, período de onda e variação de maré. Com ambas as classificações encontraram-se correlações entre o tipo de morfologia e as condições hidrodinâmicas actuantes durante a evolução de cada estado morfológico identificado.

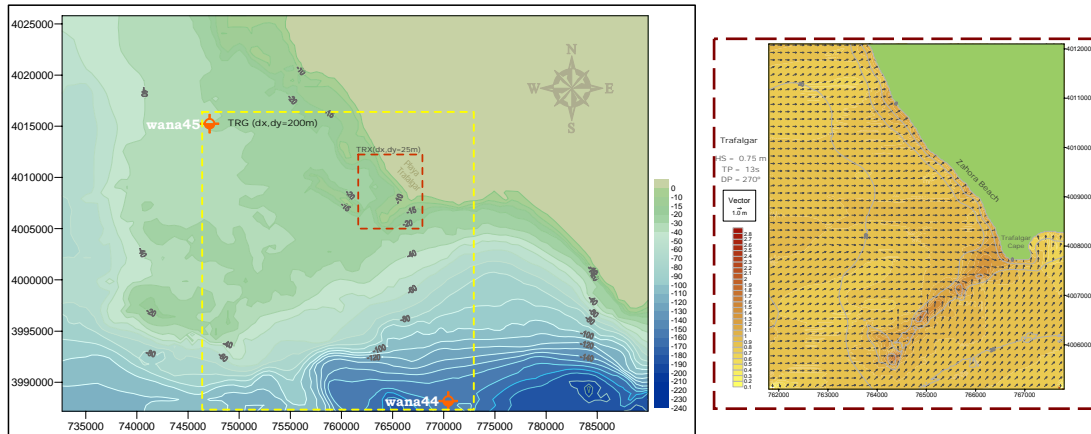


Figura 13. Mapa batimétrico da região do Cabo de Trafalgar - Espanha, onde se podem visualizar os dois pontos WANA nas batimétricas de 30m e 150m e a localização das duas malhas utilizadas para o SWAN, uma externa com espaçamento de 200 m e outra interna com 25m (UTM-WGS84).

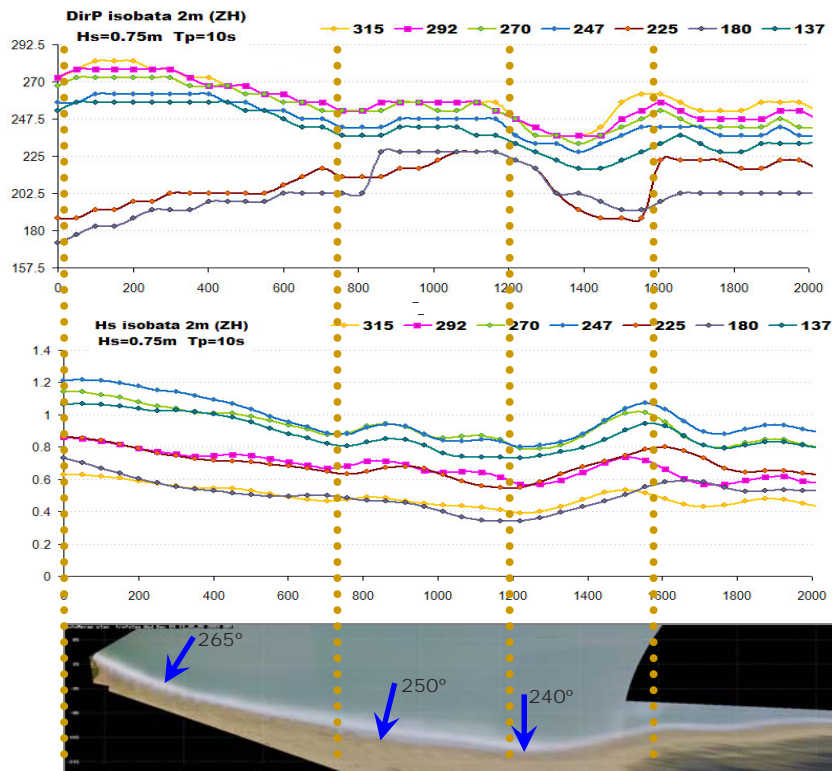


Figura 14. Variação longitudinal da direcção de incidência e da altura de onda na isóбата -2m do Zero Hidrográfico. (Cada cor corresponde a diferentes condições de incidência ao largo; as setas azuis indicam as direcções de incidência normais à praia em diferentes localizações).

Estes dados têm permitido caracterizar a variabilidade da linha de costa e da morfologia ao longo da praia, bem como identificar a influência do Cabo de Trafalgar na dinâmica local e na própria variação da morfologia da praia. Estas análises demonstraram

ainda que a morfologia da praia apresenta variações temporais (em escalas de horas a dias) e espaciais, alternando desde uma praia plana logo após uma tempestade até uma praia com formas rítmicas, que variam longitudinal e transversalmente (Figura 15). Os resultados obtidos da aplicação do modelo de propagação de ondas demonstraram que essa mesma variação longitudinal é encontrada nas características das ondas locais (Figura 13).



Figura 15. *Morfologias da praia de Trafalgar obtidas das imagens timex: a) morfologia plana após tempestade; b) crescentes de pequenas dimensões; (c) crescentes de grandes dimensões; d) terraço de maré com correntes de retorno.*

## 8. SÍNTESE E RECOMENDAÇÕES

Apresentaram-se neste artigo as potencialidades da utilização de um sistema de vídeo Argus para a medição e monitorização de processos costeiros, tendo como exemplo o sistema instalado na Praia de Trafalgar, Espanha. São demonstrados os vários tipos de imagens, que permitem medir diversas variáveis, quer relacionadas com a morfologia da praia quer com a hidrodinâmica das ondas e correntes litorais, bem como os resultados preliminares que permitiram identificar diferentes morfologias da praia, correlacionadas com o regime de agitação marítima e a amplitude de maré.

Este sistema tem-se mostrado muito eficiente na monitorização da evolução da praia, permitindo acompanhar a evolução de processos que, de outra forma, não seria possível. Entretanto, deve-se ter em conta que esta técnica não substitui a aquisição de dados de campo com instrumentos *in situ*, os quais são necessários para a calibração e validação dos dados de vídeo, além de possuírem melhor resolução. Porém, esta técnica permite que, através de meios simplificados e de baixo custo, seja possível monitorizar a zona litoral com uma frequência e uma duração de amostragem que se ajusta à escala de tempo da evolução litoral. Como a plataforma de instalação é fixa em terra, o sistema de vídeo oferece a vantagem de uma boa resolução espaço-temporal, combinada com uma boa relação eficiência-custo para amostragens de longo período e com menores dificuldades operacionais.

Outra vantagem significativa reside no facto de a sua natureza remota permitir monitorizar zonas de difícil colocação de instrumentos, como a zona de rebentação. Nesta



## 4<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

zona, a obtenção de dados com boa escala espacial e temporal através de instrumentação oceanográfica *in situ* foi sempre difícil e de elevado custo. Através do sistema vídeo é possível obter medições com uma larga escala espacial (centímetro a quilómetros) e temporal (segundos a anos), o que permite estudar evoluções morfológicas correspondentes. Esta é assim uma técnica muito adequada para a monitorização a longo termo.

Em Portugal, existe o potencial de implementação de um sistema de vídeo monitorização em várias zonas costeiras, quer pela existência de infra-estruturas para instalação das câmaras em alguns locais, quer pela existência de problemas de erosão (e outros) muito graves, que muito beneficiariam da execução de uma estratégia de monitorização da evolução desse processo de erosão. A instalação de sistemas de vídeo-monitorização em algumas das zonas com maior erosão, por exemplo, imediatamente a Sul das embocaduras do rio Cávado (Ofir), ria de Aveiro (Barra, Costa Nova, Vagueira), rio Mondego (Cova-Gala, Costa de Lavos), e rio Tejo (Costa da Caparica), poderia servir de sistema de alerta para o risco de erosão e de inundação nas povoações contíguas. Também em sistemas naturais como a Lagoa de Óbidos, onde a actividade comercial é extremamente importante, a utilização de um sistema de vídeo permitiria o acompanhamento da evolução e alerta para uma intervenção atempada, quando necessário. Outra aplicação prática na costa portuguesa, é o projecto de reparação e requalificação das estruturas e praias da Costa da Caparica, que se encontra em execução e onde se prevê a alimentação artificial das praias com 2 Mm<sup>3</sup> de areia. O acompanhamento da evolução da linha de costa e da robustez das praias seria uma clara aplicação potencial do sistema de vídeo-monitorização, com custos insignificantes (e enormes benefícios) face aos custos do projecto de requalificação (acima de 8 M€).

### 9. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração do oceanógrafo Alexandre Braga Coli na aplicação do modelo SWAN. A primeira autora agradece o apoio financeiro, através da bolsa de doutoramento (SFRH/BD/12557/2003), concedido pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia do Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior (FCT/MCTES), no âmbito do POSI.

### 10. REFERÊNCIAS

- Aarninkhof, S. G. J., (2003). *Nearshore bathymetry derived from video imagery*, Ph.D. thesis, Civ. Eng., Delft Univ. of Technology, Delft, The Netherlands.
- Aarninkhof, S. G. J., I. L. Turner, T. D. T. Dronkers, M. Caljouw, and L. Nipius, (2003). A video-based technique for mapping intertidal beach bathymetry, *Coastal Eng.*, 49, 275–289.
- Aarninkhof, S. G. J. and B. G. Ruessink, (2001). Video observations of wave breaking and the implication for wave decay modelling. In: *Proc. Coastal Dynamics'01*, New York: ASCE, pp. 979 – 988.
- Aarninkhof, S. G. J. and J. A. Roelvink, (1999). Argus-based monitoring of intertidal beach morphodynamics. In: *Proc. Coastal Sediments'99*, New York: ASCE, pp. 2429 – 2444.
- Aarninkhof, S. G. J., P. C. Janssen and N. G. Plant, (1997). Quantitative estimations of bar dynamics from video images. In: *Proc. Coastal Dynamics'97*, New York: ASCE, pp. 365–374.
- Aarninkhof, S.G.J. and Holman, R.A., (1999). Monitoring the nearshore with video. *Backscatter*, 10 (2), pp. 8-11.
- Alexander, P. S., (2001). *Quantitative analysis of nearshore morphological variability based on video imaging*. MSc thesis, Oregon State University.
- Booij, N., Ris, R.C. e Holtthuijsen, L.H. (1999). A Third-generation Wave Model for Coastal Regions, Part I, Model Description and Validation. *J. Geophys. Res.*, 104 (C4): 7649-7666.
- Chickadel, C. and R. A. Holman, (2002b). Optical measurements of low frequency crossshore flows. In: *Eos Trans. AGU*, 83(47), Fall Meet. Suppl., p. F717.



4<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária  
Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

- Chickadel, C. C., R. A. Holman and M. H. Freilich,(2003). An optical technique for the measurement of longshore currents. *J. Geophys. Res.*, Vol. 108, N° C11, 3364.
- Chickadel, C.C., R.A. Holman, and M. Freilich., (2003). An optical technique for the measurement of longshore currents, *J. Geophys. Res.*, 108 (C11), 3364.
- Cohen, A.B., Aarninkhof, S.G.J., Chickadel, C. and Battjes, J.A. (2004). Video-derived observations of alongshore currents. *Proc. 29th Int. Conf. on Coastal Eng.*, Lisbon (Portugal).
- Davidson, M.A., Aarninkhof, S.S., Van Koningsveld, M.M. and Holman, R.A., 2004, Developing Video-derived Coastal State Indicators In Support of Coastal Zone Management, Invited presentation at *AGU Ocean Sciences meeting Portland, Oregon*, January 2004.
- Davidson, M., D. Huntley, R. Holman and K. George,(1997). The evaluation of large (km) intertidal beach morphology on a macrotidal beach using video images. In: *Proc. Coastal Dynamics'97*, New York: ASCE, pp. 385–394.
- Holland, K. T. and J. A. Puleo,(2001). Variable swash motions associated with foreshore profile change. *J. Geophys. Res.*, 106, pp. 4613 – 4623.
- Holland, K. T. and R. A. Holman, (1993). The statistical distribution of swash maxima on natural beaches. *J. Geophys. Res.*, 98(C6), pp. 10271–10278.
- Holland, K. T. and R. A. Holman,(1997). Video estimation of foreshore topography using trinocular stereo. *J. Geophys. Res.*, 13(1), pp. 81–87.
- Holland, K. T., A. H. Sallenger Jr, B. Raubenheimer and S. Elgar, (1998). Swash zone morphodynamics and sediment transport processes. In: *Proc. 26th Int. Conf. on Coastal Engineering*, New York: ASCE, pp. 2799 – 2811.
- Holland, K. T., B. Raubenheimer, R. T. Guza and R. A. Holman (1995). Runup kinematics on a natural beach. *J. Geophys. Res.*, 100, pp. 4985–4993.
- Holland, K. T., J. A. Puleo and T. N. Kooney (2001), Quantification of swash flows using video-based particle image velocimetry. *Coastal Engineering*, 44, pp. 65 – 77.
- Holland, K. T., R. A. Holman, T. C. Lippmann, J. Stanley and N. Plant, (1997). Practical use of video imagery in nearshore oceanographic field studies. *IEEE J. of Oceanic Engineering*, 22, pp. 81–92.
- Holland, K.T., R.A. Holman, T.C. Lippmann, J. Stanley and N.G. Plant, (1997). Practical use of video imagery in nearshore oceanographic field studies, *IEEE J. of Oceanic Engineering*, Vol. 22, No. 1.
- Holman, R. A., (1981). Infragravity energy in the surfzone. *J. Geophys. Res.*, 86: 6442-6450.
- Holman, R.A., Sallenger Jr, A.H., Lippmann, T.C. and Haines, J.W., (1993). The application of video image processing to the study of nearshore processes. *Oceanography*, Vol. 6, No 3.
- Janssen, P. C., (1997). *Intertidal beach level estimations from video images*. MSc thesis, Delft University of Technology.
- Kingston, K. S., B. G. Ruessink, I. M. J. Van Enckevort and M. A. Davidson (2000). Artificial neural network correction of remotely sensed sandbar location. *Marine Geology*, 169, pp. 137–160.
- Konicki, K. M. and R. A. Holman, (2000). The statistics and kinematics of transverse sand bars on an open coast. *Marine Geology*, 169, pp. 69 – 101.
- Lippmann, T. C. and R. A. Holman, (1991). Phase speed and angle of breaking waves measured with video techniques. In: *Proc. Coastal Sediments'91*, New York: ASCE.
- Lippmann, T. C. and R. A. Holman,(1992). Wave group modulations in cross-shore breaking patterns. In: *Proc. 23rd Int. Conf. on Coastal Engineering*, New York: ASCE, pp. 918–931.
- Lippmann, T.C., and R.A. Holman (1989). Quantification of sand bar morphology: A video technique based on wave dissipation, *J. Geophys. Res.*, 94 (C1), 995-1011.
- Madsen, A. J. and N. G. Plant,(2001). Intertidal beach slope predictions compared to field data. *Marine Geology*, 173, pp. 121–139.
- Morris, B. D., M. A. Davidson and D. A. Huntley,(2001). Measurements of the response of a coastal inlet using video monitoring techniques. *Marine Geology*, 175, pp. 251–272.
- Ortega-Sánchez, M., Fachin, S., Santos, F. J., Sancho F. and Losada, M. A., (2005) Modelo Morfodinámico Sinóptico para la Gestión de la Costa: Trafalgar (España). In: *VIII Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos*, Sitges, Barcelona.(in press).
- Plant, N. G. and R. A. Holman (1997), Intertidal beach profile estimation using video images. *Marine Geology*, 140, pp. 1–24.





4<sup>a</sup>s Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária  
Angra do Heroísmo, 20 e 21 de Outubro de 2005

- Puleo, J. A. and K. T. Holland, (2001). Estimating swash zone friction coefficients on a sandy beach. *Coastal Engineering*, 43, pp. 25–40.
- Puleo, J., K. T. Holland, T. N. Kooney and A. H. Sallenger Jr., (2000). Field observations of swash zone flow patterns and 3d morphodynamics. In: *Proc. 27th Int. Conf. on Coastal Engineering*, ASCE, pp. 637–650.
- Ranasinghe, R., G. Symonds and R. Holman, (1999). Quantitative characterisation of rip dynamics via video imaging. In: *Proc. of Coastal Sediments Conf.*, Long Island (NY, USA), New York: ASCE, pp. 987–1002.
- Ranasinghe, R., G. Symonds, K. Black and R. Holman, (2000). Processes governing rip spacing, persistence, and strength in a swell dominated microtidal environment. In: *Proc. 27th Int. Conf. on Coastal Engineering*, New York: ASCE, pp. 454–467.
- Stockdon, H. F. and R. A. Holman, (2000). Estimation of wave phase speed and nearshore bathymetry from video imagery. *J. Geophys. Res.*, 105, pp. 22015–22033.
- Svendsen, I.A., Haas, K., and Zhao, Q. (2001). Quasi-3D Nearshore Circulation Model SHORECIRC, Version 1.3.6. Center for Applied Coastal Research, University of Delaware.
- Turner, I. L., V. M. Leyden, G. Symonds, J. McGrath, A. Jackson, T. Jancar, S. G. J. Aarninkhof and I. E. Elshoff, (2000). Predicted and observed coastline changes at the gold coast artificial reef. In: *Proc. 27th Int. Conf. on Coastal Engineering*, New York: ASCE, pp. 1836–1847.
- Van Enckevort, I. M. J. and B. G. Ruessink, (2001). Effects of hydrodynamics and bathymetry on video estimates of nearshore sandbar position. *J. Geophys. Res.*, 106, pp. 16969–16979.
- Van Enckevort, I. M. J. and B. G. Ruessink, (2003a). Video observations of nearshore bar behaviour. Part 1: alongshore uniform variability. *Continental Shelf Research*, 23, pp. 501–512.
- Van Enckevort, I. M. J. and B. G. Ruessink, (2003b). Video observations of nearshore bar behaviour. Part 2: alongshore non-uniform variability. *Continental Shelf Research*, 23, pp. 513–532.
- Van Enckevort, I. M. J., (2001). *Daily to yearly nearshore bar behaviour*. Ph.D.thesis, Physical Geography, Utrecht University.
- Wijnberg, K. M. and Holman, R.A., (1997). Cyclic bar behavior viewed by video imagery. In: *Proc. Coastal Dynamics'97*, New York: ASCE, pp. 375–384.
- Wright, L. D. and A. D. Short, (1984). Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine Geology*, 56, pp. 93–118.