

**QUATRO DÉCADAS DE INVESTIGAÇÃO EM ENGENHARIA COSTEIRA E PORTUÁRIA
NA SECÇÃO DE HIDRÁULICA, RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTE,
DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL DA FEUP
Four Decades of Research on Coastal and Port Engineering
at the Hydraulics, Water Resources and Environment Division
of the Department of Civil Engineering at FEUP**

FERNANDO VELOSO-GOMES ⁽¹⁾

⁽¹⁾ *Professor Catedrático, FEUP,
Rua do Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, vgomes@fe.up.pt*

Resumo

De uma forma muito sucinta apresenta-se uma visão geral das atividades de investigação em Engenharia Costeira e Portuária desenvolvidas no Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, através dos docentes da Secção de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente (SHRHA).

A atividade de investigação desenvolvida foi sempre realizada paralelamente e em interação com a atividade letiva e possibilitou a formação de profissionais altamente qualificados bem como novos docentes com formação específica nessas temáticas. A visão que se apresenta percorre essencialmente as temáticas que integram teses de doutoramento. Numerosas dissertações de mestrado pré-bolonha e pós-bolonha são concluídas anualmente. Apenas será feita uma listagem de alguns dos projetos e contratos de prestação de serviço concluídos já que a riqueza e dimensão dos mesmos suscitam uma outra publicação com algum detalhe.

Palavras-chave: Engenharia costeira, SHRHA, investigação.

Abstract

This article presents a brief overview of the research activities on Coastal and Port Engineering developed at the Civil Engineering Department of the Faculty of Engineering of the University of Porto, through the Hydraulics, Water Resources and Environment Division (SHRHA).

The research activity developed was always held at the same time and in interaction with the teaching activities and allowed the formation of highly qualified professionals as well as new young professors with specific training on these topics. The vision presented is essentially based on the PhD thesis. Complementary numerous master degree thesis are completed annually. A list of some projects and service contracts is presented but the huge dimensions and relevance of these projects deserve another publication.

Keywords: Coastal Engineering, SHRHA, research.

1. Os Primeiros Trabalhos de Investigação

Na sequência de trabalhos desenvolvidos no University College London, em 1974 e 1976, foram concluídos e publicados na FEUP os primeiros trabalhos científicos sobre engenharia portuária.

Relacionavam-se com efeitos de escala em modelos de navios, previsão das ações extremas da agitação marítima em navios, otimização de uma frota de navios porta contentores, tipologias de navios mercantes e com a resistência hidrodinâmica de navios. Esta atividade relacionava-se com o lançamento de uma graduação em Arquitetura Naval na FEUP, a qual ficou prejudicada pela então vivida instabilidade e indefinição política bem como a nível dos estaleiros navais portugueses.

Nessa época, o pequeno tanque de ondas da FEUP (24.5 x 4.8 x 0.4 m³) e em especial o seu equipamento de geração e aquisição eram manifestamente inadequados.

No entanto, nesse tanque de ondas foram efetuadas, desde os anos 70, as primeiras demonstrações com fins pedagógicos nomeadamente sobre a estabilidade de blocos de enrocamento em quebra-mares de taludes, a estabilidade de corpos flutuantes (tipo caixotões) e o comportamento de estruturas portuárias de acostagem e de dissipação de energia, com câmara interna e paramentos expostos com dispositivos especiais (macro rugosidade e porosidade). Estas demonstrações motivaram muitos dos estudantes para trabalhos futuros na área portuária.

A primeira tese de doutoramento na FEUP sobre temáticas portuárias e costeiras foi defendida em 1981 e intitula-se "Espraçamento de Ondas Regulares Sobre Taludes de Obras Marítimas" (Velooso Gomes, FEUP², 1981, orientação do investigador Daniel Vera-Cruz, LNEC, Figuras 1 e 2).

A parte experimental foi desenvolvida, entre 1978 e 1980, num canal de ondas regulares no LNEC.

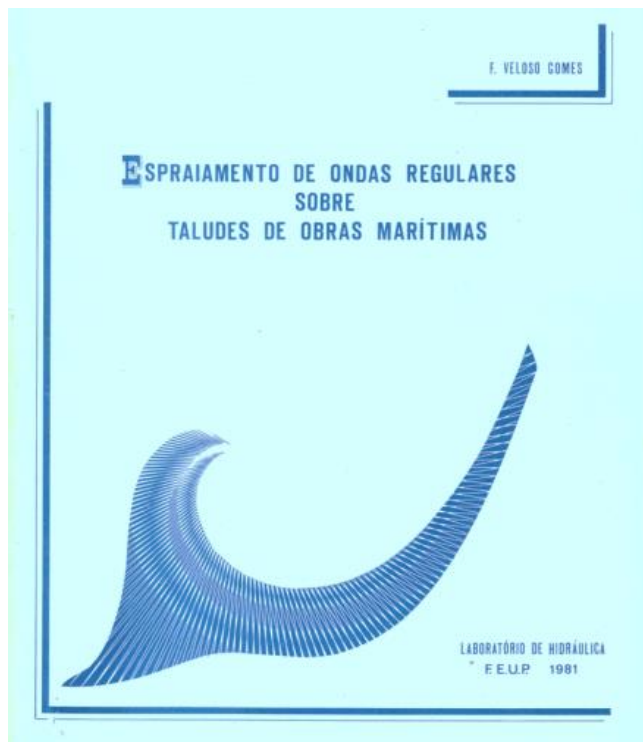


Figura 1. Capa da primeira tese de doutoramento na FEUP sobre temáticas portuárias e costeiras.

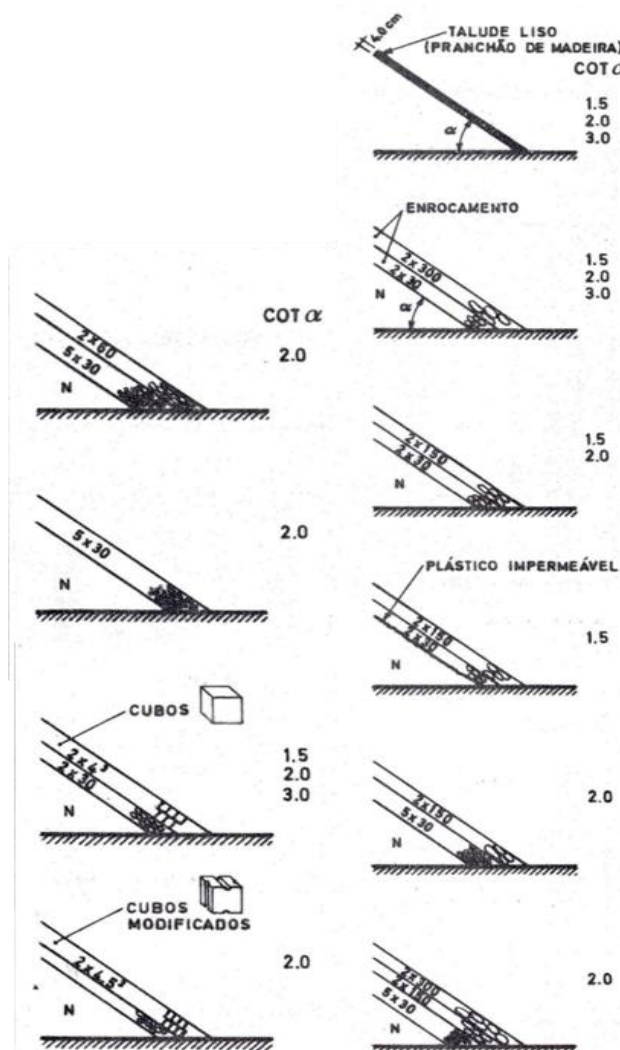


Figura 2. Tipologia de taludes de quebramares utilizados nos ensaios em modelo físico (ângulos de talude, constituição das camadas do manto exposto, tipos de blocos).

2. A Investigação Utilizando Novo Equipamento Laboratorial

Na década de 90, ao abrigo do Programa Ciência, foi adquirido um sistema de geração de ondas (Modelo HR Wallingford), com dois batedores (Figura 3), capaz de gerar agitação irregular caracterizada por vários espectros, e ainda sondas de medição de níveis hidrodinâmicos e um sistema de medição de velocidades (LDA - Laser-Doppler Anemometry, Invent).

Beneficiou-se da experiência já adquirida nos finais dos anos 80 com a utilização, no Laboratório de Hidráulica da FEUP, de sistemas de anemometria laser em duas dissertações de doutoramento de mecânica de fluidos (Fernanda Proença 1987, Rodrigo Maia 1992).

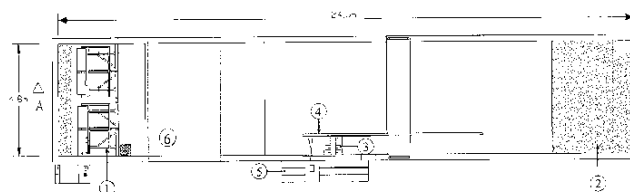


Figura 3. Tanque de ondas da FEUP com os novos batedores, na rua dos Bragas (24.5 x 4.8 m x 0.4 m³).

Utilizando os novos equipamentos foi possível desenvolver um intenso e inovador programa experimental que culminou em 2001 com a defesa da tese de doutoramento “Análise das Oscilações e dos Campos de Velocidades nas Proximidades de Quebramares Submersos Sob a Ação da Agitação Marítima” (Taveira Pinto, FEUP, 2001, orientação Veloso Gomes, Figuras 4 e 5).

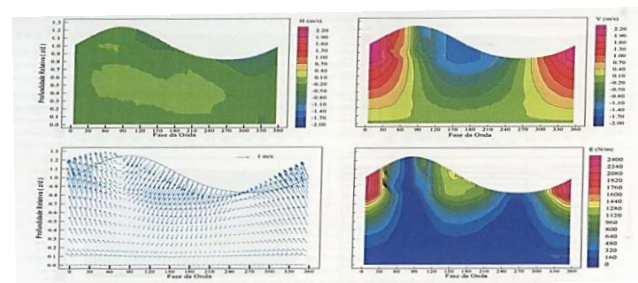


Figura 4. Resultados experimentais. Valores da velocidade horizontal (H) e vertical (V), perfis de velocidades e de energia (FEUP).



Figura 5. Modelo de estrutura com talude, com paramento exposto rugoso e impermeável (FEUP).

No ano 2000, a mudança da FEUP para as atuais instalações na Asprela (Figura 6) possibilitou uma nova dinâmica em termos de investigação.



Figura 6. Edifícios do Departamento de Engenharia Civil na FEUP e nave onde se localiza o novo Laboratório de Hidráulica.

O novo tanque de ondas do Laboratório de Hidráulica ($28 \times 12 \times 1.2 \text{ m}^3$) ficou operacional dois anos depois (Figura 7).



Figura 7. Novo tanque de ondas do laboratório de Hidráulica funcionando como dois “canais laterais” com os dois antigos batedores.

Foi utilizado o equipamento de geração que existia nas antigas instalações o que não permitia a exploração de toda a largura do tanque mas apenas de dois “canais” laterais com 2.4 m de largura.

Dando continuidade à investigação desenvolvida com anemometria laser e agora com novos transdutores de pressão, em 2007 foi concluída a tese de doutoramento “Análise do Campo das Pressões em Quebramares Submersos” (Ana Neves, FEUP, 2007, orientação Veloso Gomes, Taveira Pinto).

Ao abrigo de financiamento competitivo FCT e de outros projetos adquiriu-se um novo sistema de geração de ondas multi-direcional (HR Wallingford) para o tanque de ondas, constituído por 16 atuadores independentes mas sincronizáveis, bem como transdutores de pressão, sensores laser de deslocamentos, câmaras digitais e um sistema PIV (Figura 8).

Estes equipamentos possibilitaram um novo avanço na capacidade de investigação laboratorial que se concretizou com a defesa de novas teses de doutoramento na FEUP com relevantes componentes experimentais.

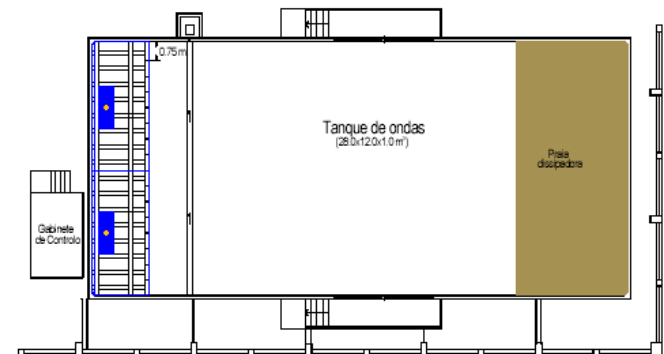


Figura 8. Novo sistema de geração de ondas multi-direcional no tanque de ondas, constituído por 16 atuadores independentes mas sincronizáveis. Equipamento de anemometria laser.

Passam-se a enumerar as teses de doutoramento concluídas que envolveram uma componente experimental relevante.

Passam-se a enumerar as teses de doutoramento concluídas que envolveram uma componente experimental relevante:

- “Análise da Interação de navios com Dispositivos de Acostagem e Amarração. Estudo em Modelo Físico do Posto A do Terminal de Petroleiros do Porto de Leixões” (Paulo Santos, FEUP, 2010, orientação Veloso Gomes, Taveira Pinto, Figura 9);
- “Análise Experimental da Estabilidade de Sistemas de Encapsulamento de Areias em Geossintéticos sob a Ação da Agitação (Luciana das Neves, FEUP, 2011, orientação Lurdes Costa, Veloso Gomes, Figura 10);
- “Análise Experimental da Interação entre Ondas e um Quebramar de Taludes Protegido por um Quebramar Destacado, Utilizando Técnicas de Processamento de Imagem” (Hugo Lopes, FEUP, 2013, orientação Veloso Gomes, Taveira Pinto, Figuras 11 e 12);
- “Avaliação de Deslocamentos e Alterações Morfológicas em Infra-Estruturas Portuárias na Região Autónoma da Madeira” (Mário Pereira, FCUP 2014, orientação Ana Cláudia FCUP, Veloso Gomes, Figuras 13, 14 e 15).

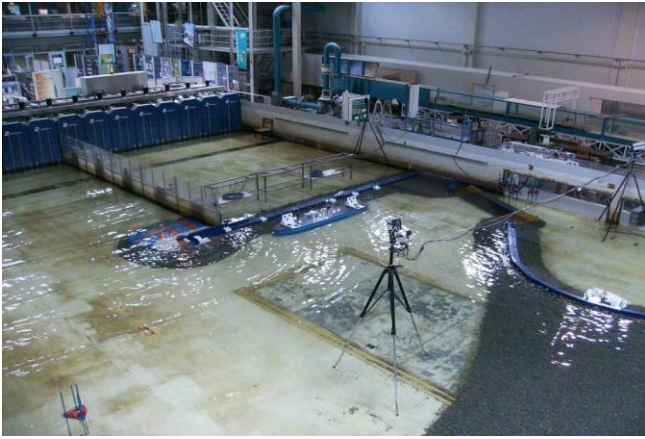


Figura 9. Modelo dos quebra-mares norte e sul do porto de Leixões, pormenores da cabeça do quebra-mar norte, modelo de um petroleiro amarrado ao posto A do quebra-mar norte e equipamentos de medição (FEUP).



Figura 10. Ensaio em laboratório do comportamento de sistemas de confinamento de areias com geossintéticos. Dinâmica de fundos móveis na presença de geocontentores e de geocilindros (FEUP).

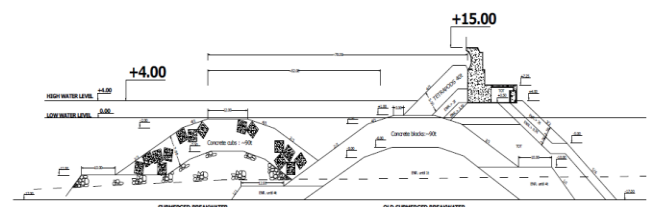


Figura 11. Modelo do quebra-mar norte do porto de Leixões com o quebra-mar submerso adjacente (FEUP).

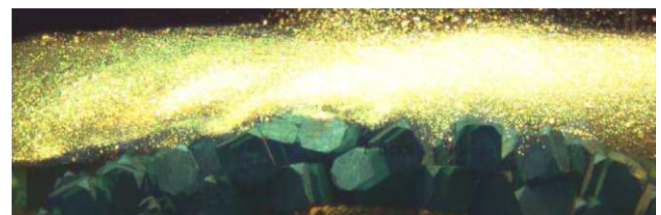


Figura 12. Modelo do manto exposto e do quebra-mar submerso de Leixões. Análise da envolvente dinâmica das oscilações durante um determinado ensaio (FEUP).



Figura 13. Manto em tetrápodes do quebramar do Funchal e correspondente modelo físico (FEUP).

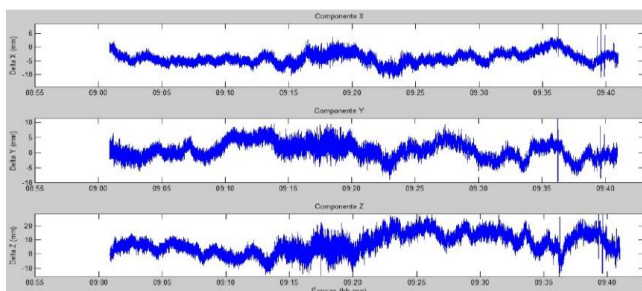


Figura 14. Medição *in loco* da variação das componentes x, y e z dos deslocamentos na superestrutura durante uma manobra real de atracação e monitorização de deslocamentos em tetrápodes.

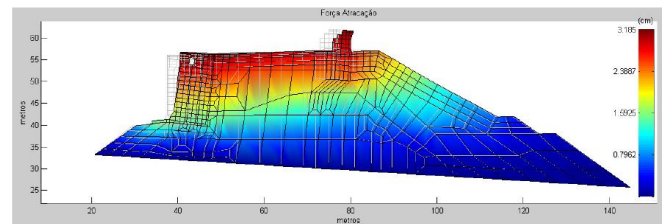


Figura 15. Modelação numérica do comportamento do quebramar.

3. Investigação Utilizando Modelação Numérica

A modelação numérica da propagação da agitação marítima e da sua interação com estruturas portuárias e costeiras foi objeto de trabalhos de investigação na FEUP inicialmente em parceria de orientação com a FCTUC.

No ano 2000 foi defendida, nesta última instituição, a tese de um docente da FEUP intitulada “Métodos de Elementos Finitos para a Modelação a Uma e Duas Dimensões Horizontais da Propagação de Ondas de Gravidade em Engenharia Costeira” (Paulo Valente, FCTUC, 2000, orientação Fernando Seabra FCTUC, Veloso Gomes, Figura 16).

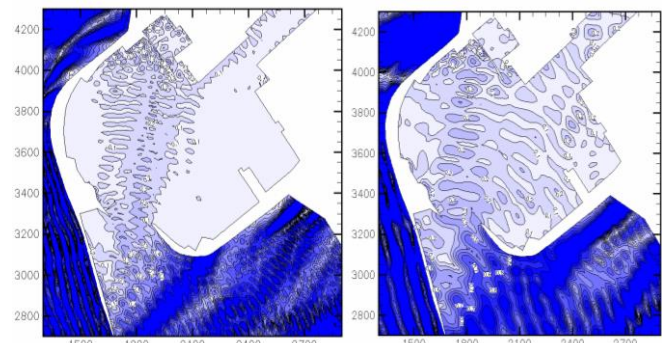


Figura 16. Simulação numérica da propagação e da interação da agitação marítima no porto de Leixões.

Mais recentemente foi defendida a tese “Turbulência e Rebentação: Interação Onda - Quebramar Submerso” (Ana Mesquita, FEUP, 2013, orientação Paulo Valente, Fernando Pinho).

4. Dinâmica nas Zonas Costeiras

Da investigação sobre dinâmicas na zona costeira resultaram teses de doutoramento defendidas na FEUP ou noutras instituições mas orientadas por docentes da FEUP:

- “Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira” (Carlos Coelho, UA, 2005, orientação Veloso Gomes, Claudino Vicente, UA, Figuras 17, 18 e 19);
- “Hidromorfologias e Hidroformas Costeiras Locais” (Joaquim Barbosa, FEUP, 2008, orientação Veloso Gomes, Taveira Pinto, Figura 20);
- “Discriminação de Padrões de Sedimentos e Quantificação da Concentração de Sedimentos Suspensos Totais em Zonas Costeiras a partir de Imagens de Satélite” (Ana Teodoro, FCUP, 2008, orientação Veloso Gomes, Figura 21);

- “Avaliação Experimental e Numérica de Parâmetros Associados a Modelos de Evolução da Linha da Costa” (Raquel Silva, FEUP, 2010, orientação Veloso Gomes, Taveira Pinto, Figura 22);
- “Avaliação do Comportamento das Crescentes de Praia” (Vítor Lopes, FEUP, 2014, orientação Veloso Gomes, Taveira Pinto, Figura 23).

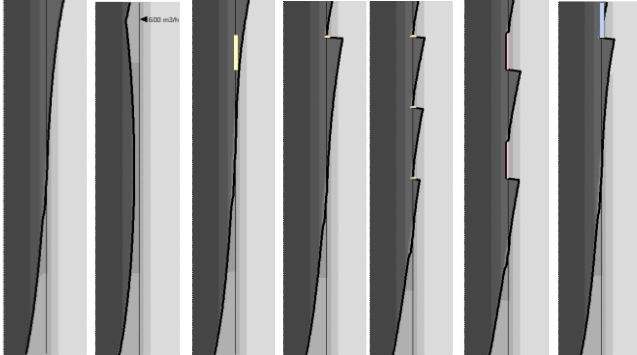


Figura 17. Simulação numérica do comportamento de uma praia submetida a agitação oblíqua, para diversos cenários de intervenção antropogénica (alimentação artificial com areias, esporões, quebra-mares destacados). Modelo LTC UA/FEUP.

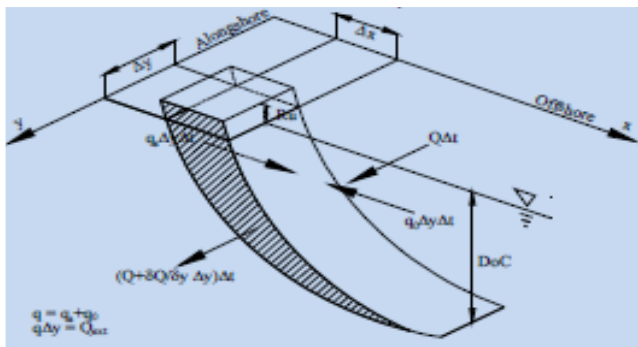
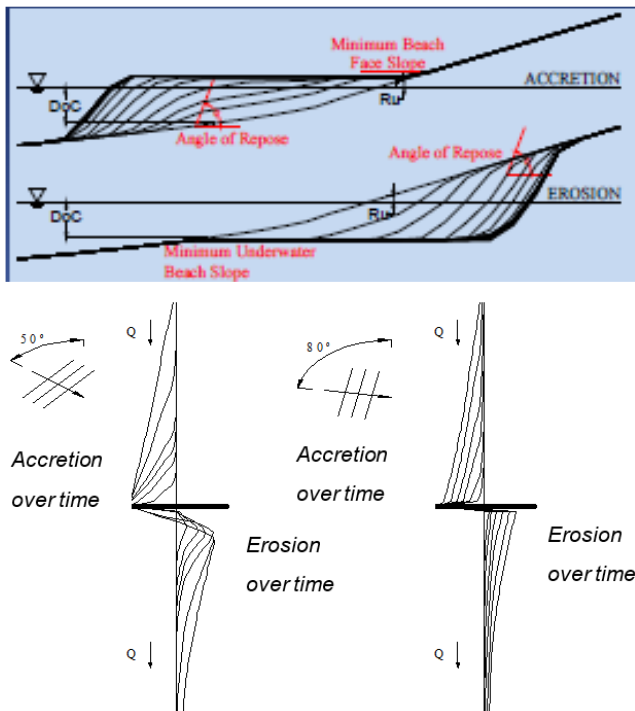


Figura 18. Simulação numérica do comportamento de uma praia com um esporão. Modelo LTC UA/FEUP.

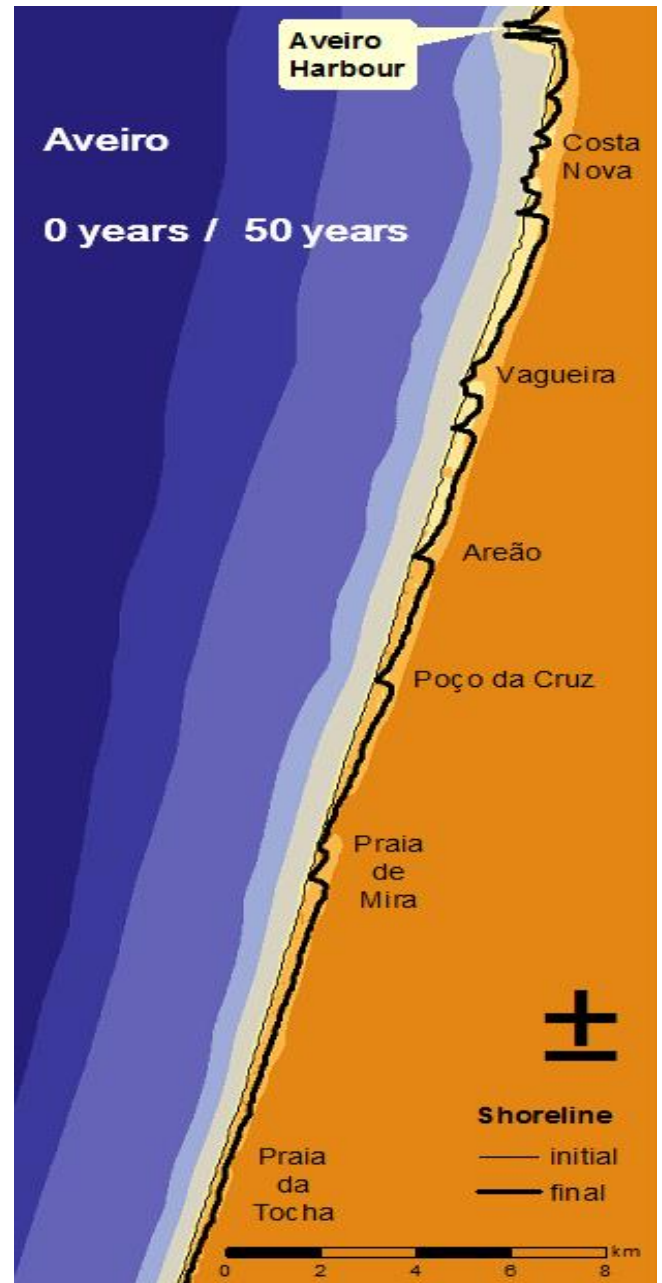


Figura 19. Simulação numérica do comportamento da zona costeira a sul da barra de Aveiro para um determinado cenário. Modelo LTC UA/FEUP.

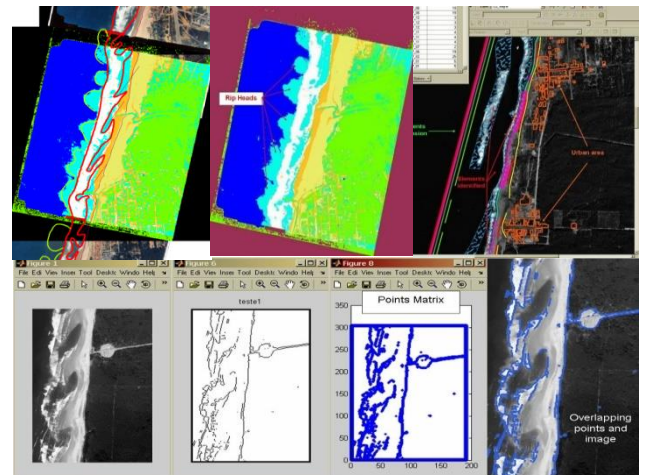


Figura 20. Estudo da evolução da hidromorfologia e das hidroformas de praias utilizando imagens ao longo de alguns decénios (FEUP).

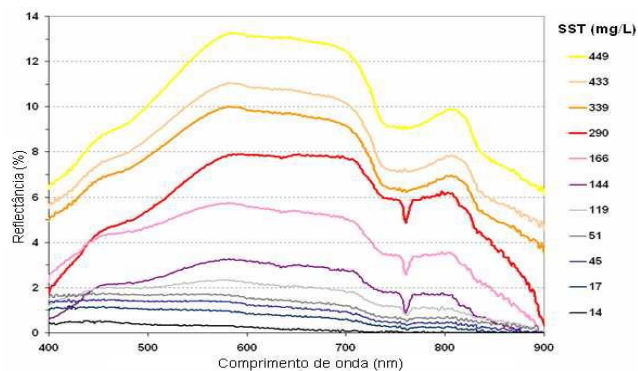
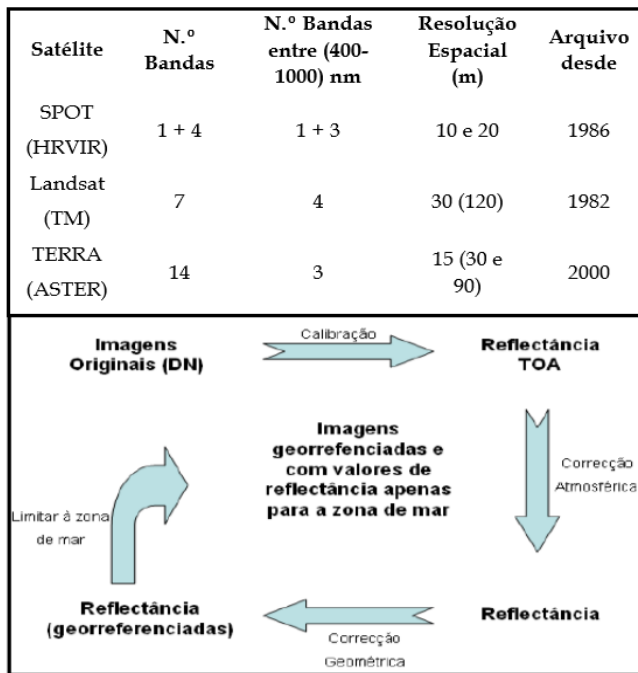


Figura 21. Imagens de satélites utilizadas, metodologia, meios operacionais e resultados da investigação sobre concentração de sedimentos suspensos totais em zonas costeiras.

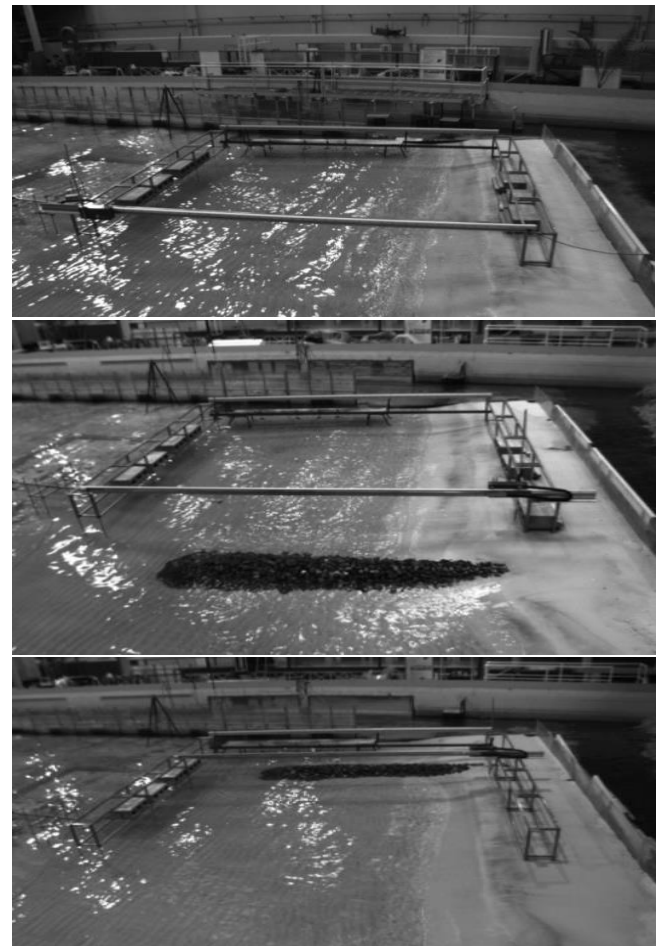


Figura 22. Simulação laboratorial do comportamento de uma praia sem e com um esporão. Aperfeiçoamento do modelo LTC com os resultados obtidos (FEUP 2011).

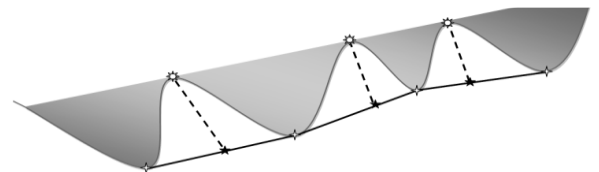


Figura 23. Crescentes de praia. Trabalho de campo (FEUP).

5. Temáticas de Ordenamento e Temáticas de Ambientes Costeiros

Sobre temáticas de ordenamento e temáticas ambientais das zonas costeiras foram defendidas na FEUP ou noutras instituições mas orientadas por docentes da FEUP, as seguintes teses:

- “Gestão Sustentável das Zonas Costeiras: Contributos para um Modelo de Avaliação” (Fátima Alves, UA, 2006, orientação Veloso Gomes);
- Colonização e Sucessão da Fauna e Flora Marinhas Numa Estrutura de Defesa Costeira e Seu Desempenho como Recife Artificial” (Jaime Santos, FEUP, 2009, orientação Veloso Gomes, Mike Weber ICBAS, Figura 24 e25);



Figura 24. Estudo da colonização biológica na praia da Aguda e módulos recifais



Figura 25. Módulos recifais na praia da Aguda.

- “Governança Oceânica: Bases Estratégicas para o Desenvolvimento do Mar dos Açores” (Luz Parâmio, U. Açores 2012, orientação João Porteiro, U Açores, Veloso Gomes, Fátima Alves, UA);
- “Estudo de Viabilidade de Recifes Multifuncionais nos Açores” (Kiat Ng, U. Açores, 2013, orientação Helena Calado, U Açores, Veloso Gomes);
- “Estudo dos Efeitos das Ações Antrópicas sobre Ambientes Costeiros - o Caso da Implantação de Parques Eólicos e Empreendimentos Imobiliários na Zona Litorânea do Estado do Ceará – Brasil” (Christina Bianchi, FEUP 2014, orientação Veloso Gomes).

6. Teses em curso

Concluíram-se ou estão em fase final de execução, ensaios no tanque de ondas que integram outras teses e dissertações, nomeadamente relacionadas com o estudo de sistemas de amarração de conversores offshore de energia de ondas e de sistemas de proteção para fundações de estruturas offshore.

Estão em fase final e avançada de execução duas teses (UA) que dão continuidade à temática da tese de Carlos Coelho (2005) sobre modelos para a avaliação de riscos de exposição de frentes urbanas para diferentes cenários de ações e de defesa costeira.

Os títulos das teses de doutoramento que se apresentam ilustram o espectro de temáticas de investigação relevantes. Para cada tese verificou-se um envolvimento entre três e sete anos dos doutorandos e dos orientadores.

Complementarmente foram concluídas algumas dezenas de dissertações de mestrado e de mestrado integrado que alargam muito esse espectro mas com uma dedicação dos mestrandos muito mais reduzida em termos temporais (cerca de cinco meses).

7. A Intervenção do Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos

O Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos (IHRH), instituição de interface entre a FEUP e a sociedade exterior, apoiou desde sempre as atividades de investigação em portos e zonas costeiras nomeadamente:

- Concedendo bolsas e apoios complementares a estudantes de doutoramento;

- Estabelecendo “pontes” com problemáticas reais através de projetos e da prestação de serviços especializados;
 - Através de projetos FCT e projetos internacionais;
 - Apoio de secretariado;
 - Acolhimento de instituições externas (Eurocoast, APRH).
- Apresenta-se uma listagem não exaustiva de Projetos da FEUP e IHRH relacionados com as zonas costeiras (Quadros 1 e 2).

Quadro 1. Listagem de alguns projetos da FEUP e IHRH relacionados com as zonas costeiras.

PROJETO (FEUP e IHRH)	EMPRESA	INÍCIO
Estudos de Ordenamento Portuário para Angola. Estudos Prévios e Planos de Ordenamento para os portos de Cabinda, Soyo, Luanda, Porto Amboim, Lobito, Namibe	Iperforma, Soapro	2001
Proteção da Orla Costeira	INAG	1993 2002 2004 2006 2008 2010
Planos de Ordenamento da Orla Costeira das Ilhas de S. Jorge, Terceira, S. Jorge, Pico (Açores)	Quatenaire	2002 2005 2009
LITOSOST. Planos de Ordenamento da Orla Costeira das Ilhas de Santa Maria, Gracioso, Flores e Corvo (Açores)	Univ. Açores	2006
LITOMAC. Manual de Intervenções no Litoral da Região Autónoma dos Açores.	Gov. Regional Açores	2011
Monitorização Ambiental e de Sedimentos Porto de Leixões	APDL	2005 2007 2009 2012 2013 2014 2015
Estudo Sobre as Condições de Operacionalidade no Terminal Petrolífero do Porto de Leixões	APDL	2003
Estudo do Terminal de Cruzeiros do Porto de Leixões. Estudo de Viabilidade. Estudo Prévio	Arquit. Pedro Silva	2005
Estudo da Evolução da Fisiografia da Restinga e dos Fundos da Barra do Rio Douro	APDL	2009
Estudo dos impactos na agitação marítima do projeto de criação do novo terminal contentores do porto de Leixões	APDL	2009
Consultoria Planos Ordenamento da Orla Costeira" (troços de Caminha a Espinho e de Espinho a Alcobaça)	INAG	1995
Consultoria Técnica Especializada no âmbito dos Recursos Hídricos do Litoral (PGBH Vouga, Mondego, Lis e ribeiras do Oeste)	ARH Centro	2010
Bases GIZC. Estratégia Nacional para a Gestão Integrada da Zona Costeira (ENGIZC)	MAOTDR	2005
Estudo de Vulnerabilidades e Riscos às Ações Diretas e Indiretas do Mar sobre a Zona Costeira	Polis Litoral Norte	2009

Quadro 2. Listagem de alguns projetos da FEUP e IHRH relacionados com as zonas costeiras.

PROJETO (FEUP e IHRH)	EMPRESA	INÍCIO
Intervenções de emergência (Concelhos de Viana do Castelo e Esposende)	Polis Litoral Norte	2011
Reforço do Sistema Dunar e Proteção da Linha de Costa na Praia de Ofir	Polis Litoral Norte	2014
Avaliação e Acompanhamento das Situações de Risco na Orla Costeira de Caminha a Espinho	APA Norte	2014
GeoWAVE. Análise experimental da estabilidade de geocontentores sob a ação da agitação marítima	FCT	2005
DOLPHIN. Análise do Comportamento Hidrodinâmico de Dispositivos de Acostagem e Amarração. O Caso Crítico do Terminal Petrolífero do Porto de Leixões	FCT	2008
MoZCo. Desenvolvimento de metodologias e técnicas avançadas de monitorização da zona costeira	FCT	2010
DESTAQ. Desenvolvimento de Técnicas Avançadas de Medição de Velocidades para o Estudo da Interação entre Quebramares Destacados e Obras Portuárias	FCT	2010
ScourCoast. Avaliação dos níveis de segurança associados a erosões localizadas devidas a geossistemas utilizados para controlo da erosão costeira na costa portuguesa	FCT	2012
GEOPROTEC. Novas tecnologias de proteção costeira incorporando sistemas de confinamento de areias em material geossintético	Agência Inovação	2012
RAIA. Implementação de Modelo de Circulação Estuarina integrado em modelo regional. Projeto transfronteiriço	CIIMAR Feder	2010
Avaliação da Vulnerabilidade e da Capacidade de Recepção das Águas e Zonas Costeiras em Portugal	CCE DGA	1994
EUROSION PROJECT	European Commission	2002
COPRANET. Coastal Practice Network	European Commission INTERREG IIIC	2004
PROLIT. Herramientas Avanzadas para la PROtección del LIToral de Galicia y la Región Norte de Portugal Frente a Vertidos de Hidrocarburos en Alta Mar	European Commission INTERREG IIIA	2006
ENCORA. Coordination Action - European Network for Coastal Research	European Commission	2006
ANCORIM. Atlantic Network for Coastal Risk Management	European Commission	2009

8. Mensagem Final

A investigação em engenharia costeira e portuária na FEUP constitui uma referência nacional e internacional e tem sido o resultado:

- Da elevada qualificação dos seus recursos humanos docentes e discentes;
- Da sempre renovada ligação com a sociedade civil (Figura 26) e com as instituições públicas;

- Dos meios laboratoriais avançados;
- Da utilização conjunta de múltiplas ferramentas de abordagem (modelação física, modelação numérica, utilização de dados de campo e deteção remota);
- Do acompanhamento dos acontecimentos e das intervenções no terreno (Figura 27 e 28);
- E de uma visão integrada das problemáticas.



Figura 26. Discussão de projetos com comunidades locais (pescadores da Aguda).



Figura 28. Visitas a obras em curso (Praia da Vitória).



Figura 27. Visitas a obras em curso (Sines).