

Desenvolvimentos recentes do HIDRALERTA

Sistema de previsão e alerta de inundações em zonas costeiras e portuárias



Desenvolvimentos recentes do HIDRALERTA



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Conceição Juana Fortes
João Alfredo Santos
Maria Teresa Reis
Pedro Poseiro
Rui Capitão
Liliana Pinheiro
João Craveiro
Rui Reis



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

André Sabino
Armando Rodrigues
Paulo Raposeiro
José Carlos Ferreira
Susana Ferreira Silva
Eduardo Lopes



UNIVERSIDADE DOS AÇORES

Anabela Simões
Eduardo Azevedo

Sociedade de Gestão Ambiental
e Conservação da Natureza, SA



Maria Conceição Rodrigues

FCSH
FACULDADE DE CIÊNCIAS
SOCIAIS E HUMANAS
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Carlos da Silva

Tópicos

- Motivação
- Sistema HIDRALERTA
 - Componentes
 - Metodologia
- Casos de Aplicação
 - Praia da Vitória, Terceira
 - Costa da Caparica
- Desenvolvimentos Futuros

Motivação

Galgamentos e inundações

Zonas costeiras



Zonas portuárias



NOTOS RECENTES DO HIDRALERTA



Motivação

- É portanto importante:
 - Prever situações de risco em zonas costeiras e portuárias
 - Alertar as entidades responsáveis em situações de emergência
 - Estabelecer mapas de risco para um correto planeamento

Objetivo

Minimizar a perda de vidas e reduzir prejuízos económicos e ambientais



Sistema HIDRALERTA

Sistema HIDRALERTA

SEGURANÇA

SISTEMA DE PREVISÃO E ALERTA

AVALIAÇÃO, EM TEMPO REAL, DE SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA E EMISSÃO DE ALERTAS PARA AS ENTIDADES COMPETENTES

(utilização de previsões da agitação marítima a 180 horas)

GESTÃO

SISTEMA DE AVALIAÇÃO DO RISCO

PRODUÇÃO DE MAPAS DE RISCO QUE CONSTITUAM UMA FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO PELAS ENTIDADES COMPETENTES

(utilização de longas séries temporais de previsões da agitação marítima ou com cenários pré-definidos associados às mudanças climáticas e/ou eventos extremos)

Protótipo a instalar na praia de São João da Caparica e na baía da Praia da Vitória

Sistema HIDRALERTA

I – CARACTERÍSTICAS DE AGITAÇÃO MARÍTIMA

WW III

Boia

MODELOS NUMÉRICOS

PREVISÃO DE 180 HORAS / LONGAS SÉRIES TEMPORAIS

II – GALGAMENTO / INUNDAÇÃO

ÁREAS PORTUÁRIAS

ÁREAS COSTEIRAS

III – AVALIAÇÃO DO RISCO

PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA
DE GALGAMENTO

CONSEQUÊNCIAS

AVALIAÇÃO DO RISCO

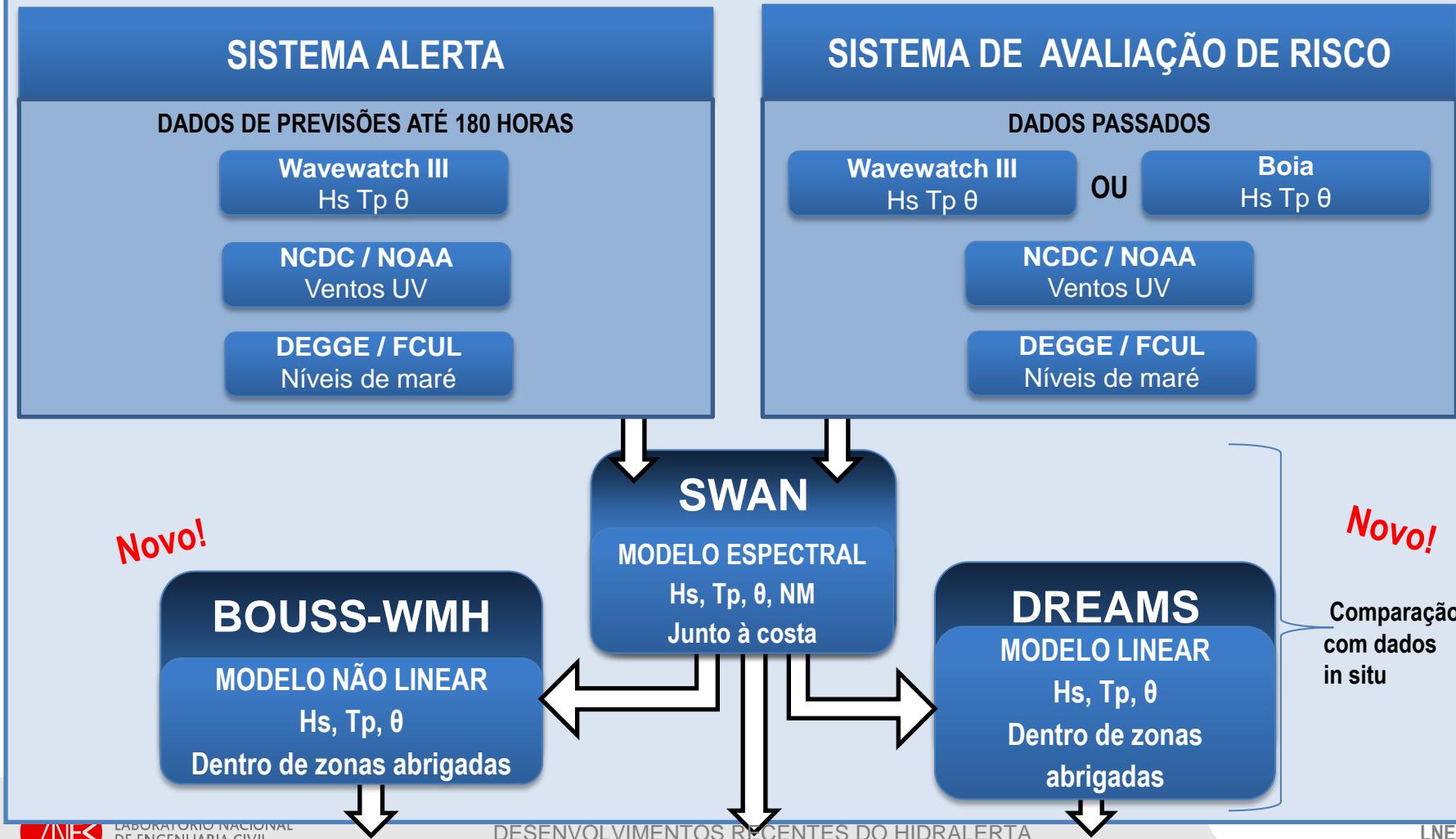
Mapas de risco

IV - SISTEMA DE ALERTA

Sistema HIDRALERTA

I – Caraterização da agitação marítima

- Utilização de medições in situ (boia-ondógrafo) e modelos numéricos



Sistema HIDRALERTA

II – Galgamento/Inundação

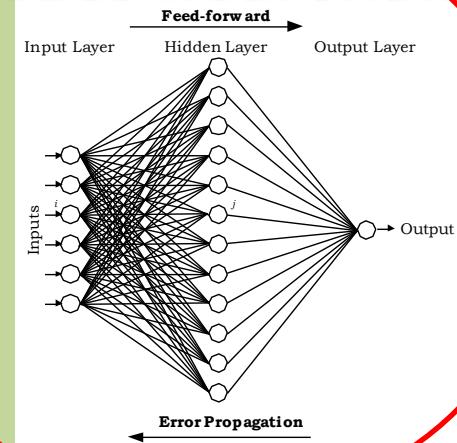
~~Formulas Empíricas:~~

VAN DER MEER (1995,1998)

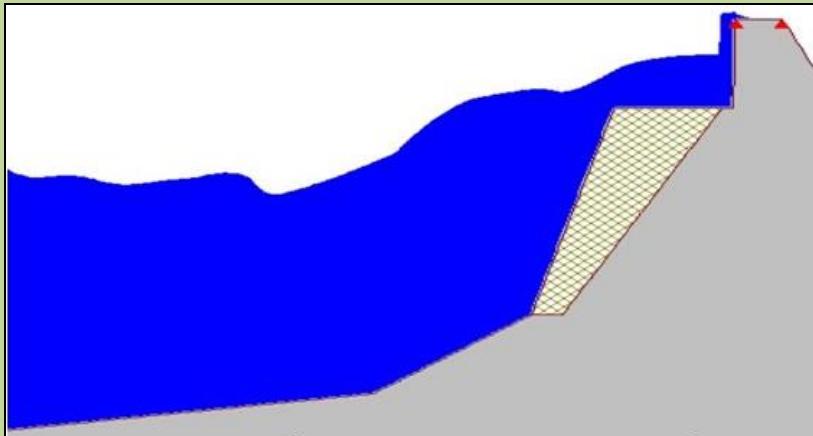
$$Q = \frac{0.06 \xi_p \sqrt{gH_s^3}}{\sqrt{\tan \alpha}} \exp \left[-A \frac{R_c / \gamma_r}{\xi_p H_s} \right] \Rightarrow \xi_p \leq 2$$

$$Q = 0.2 \sqrt{gH_s^3} \exp \left[-B \frac{R_c / \gamma_r}{H_s} \right] \Rightarrow \xi_p > 2$$

~~Redes neurais:~~



Modelação numérica:



Modelação física:



Sistema HIDRALERTA

II – Galgamento/Inundação

FÓRMULAS EMPÍRICAS PARA O CÁLCULO DO ESPRAIAMENTO (RUN-UP)

Autores	<i>Run-up</i>	
Hunt (1959)	$R_{2\%} = \tan\beta * (H_0 * L_{0s})^{0.5}$	(1)
	$R_{2\%} = 3 * H_0$	(2)
Holman (1986)	$R_{2\%} = H_0 * (0.83 * \xi_{0p} + 0.20)$	(3)
	$R_{2\%} = H_i * (0.78 * \xi_s + 0.20)$	(4)
Nielsen & Hanslow (1991)	$R_{2\%} = L_{RU}(-\ln(0.02))^{0.5}$	(5)
	$L_{RU} = 0.6 * \tan\beta * (H_{orms} * L_{0s})^{0.5} \quad \tan\beta \geq 0.1$	(6)
	$L_{RU} = 0.05 * (H_{orms} * L_{0s})^{0.5} \quad \tan\beta < 0.1$	(7)
Stockdon <i>et al.</i> (2006)	$R_{2\%} = 0.043 * (H_0 L_{0p})^{0.5} \quad \xi_{0p} < 0.3$	(8)
	$R_{2\%} = 1.1 * (0.35 * \tan\beta * (H_0 L_{0p})^{0.5} + I(H_0 L_{0p} (0.563 * (\tan\beta)^{0.5} + 0.004))^{0.5}) / 2 \quad \xi_{0p} > 0.3$	(9)
Teixeira (2009)	$R_{máx} = 0.80 * H_0 + 0.62 \quad (\text{mais antiga})$	(10)
	$R_{máx} = 1.08 * H_0 * \xi_{0máx} \quad (\text{mais recente})$	(11)
Ruggiero <i>et al.</i> (2001)	$R_{2\%} = 0.27 * (\tan\beta * H_0 L_{0p})^{0.5} \quad \xi_{0p} \geq 0.5$	(12)
	$R_{2\%} = 0.5 * H_0 - 0.22 \quad \xi_{0p} < 0.5$	(13)
Guza & Thornton (1982)	$R_{1/3} = 0.71 * H_0 + 0.035$	(14)

COTA DE INUNDAÇÃO (C.I.)

$$C.I. = M.A. + S.M. + R_{1\%}$$

M.A. – Maré astronómica

S.M. – Sobrelevação meteorológica

R_{1%} – Run-up excedido por 1% de todos os run-up

$$R_{1\%} \approx R_{máx.}$$

Sistema HIDRALERTA

II – Galgamento/Inundação

FÓRMULAS EMPÍRICAS PARA O CÁLCULO DO RUN-UP/ GALGAMENTO (Mase *et al.*, 2013)

- Cálculo do *Run-up* e posteriormente do Galgamento

Run-up	$R_{2\%} = H_0 * (2.99 - 2.73 * \exp(-0.57 * (\tan\beta / \sqrt{H_0 / L_0})))$	(1)
	$R_{1/10} = H_0 * (2.72 - 2.56 * \exp(-0.58 * (\tan\beta / \sqrt{H_0 / L_0})))$	(2)
	$R_{1/3} = H_0 * (2.17 - 2.18 * \exp(-0.70 * (\tan\beta / \sqrt{H_0 / L_0})))$	(3)
Galgamento	$q = \sqrt{g H_0^3} * [0.018 * (R_{máx} / H_0)^{3/2} * \{1 - (R_c / H_0) / (R_{máx} / H_0)\}^{3.200}]$	(4)
	$q = \sqrt{g H_0^3} * [0.018 * (R_{máx} / H_0)^{3/2} * \{1 - (R_c / H_0) / (R_{máx} / H_0)\}^{6.240}]$	(5)

Sistema HIDRALERTA

II – Galgamento/Inundação

Ferramentas Neuronais

NN_OVERTOPPING2

- Permite considerar os **parâmetros** que definem as **características geométricas** de cada estrutura

AGITAÇÃO MARÍTIMA

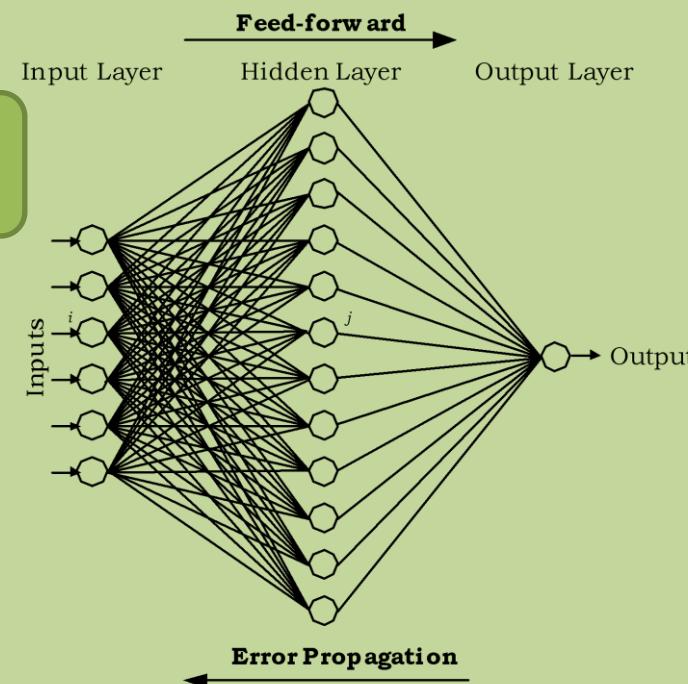
$H_s \ T_p \ \theta$

ESTRUTURA

12 parâmetros

700 REDES
NEURONAIAS
ARTIFICIAIS

CAUDAL MÉDIO GALGADO, q



- Nova rede neuronal ARTMAP (*ADAPTIVE RESONANCE THEORY*), com técnicas de lógica FUZZY **Novo!**
- Testes com a Rede Neuronal desenvolvida por Verhaeghe (2005) **Novo!**

Sistema HIDRALERTA

III – Avaliação do risco

PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE GALGAMENTO

CONSEQUÊNCIAS

Grau	Descrição	Controlo de Risco (Guia de Orientação)
1-3	Insignificante	Risco desprezável; não é preciso levar a cabo medidas de controlo de risco.
4-10	Reduzido	Risco que pode ser considerado aceitável/tolerável caso se selecione um conjunto de medidas para o seu controlo, possíveis danos materiais de pequena dimensão.
15-30	Indesejável	Risco que deve ser evitado se for razoável em termos práticos; requer uma investigação detalhada e análise de custo-benefício; é essencial a monitorização.
40-125	Inaceitável	Risco intolerável; tem que se proceder ao controlo do risco (e.g. eliminar a origem dos riscos, alterar a probabilidade de ocorrência e/ou as consequências, transferir o risco, etc.).

AVALIAÇÃO DO RISCO

Mapas de risco

- ESTABELECER OS LIMITES PARA OBTER UM GRAU

Grau de Risco = Grau de probabilidade X Grau de consequências

Descrição	Probabilidade de Ocorrência (Guia de Orientação)	Grau
Improvável	0 – 1%	1
Raro	1 – 10%	2
Ocasional	10 – 25%	3
Provável	25 – 50%	4
Frequente	> 50%	5

Descrição	Consequências (Guia de Orientação)	Grau
Insignificantes	Locais com características geotécnicas relativamente estáveis; praias de areia natural, locais ocupados por habitats de reduzido valor ecológico; caminhos locais ou valas de drenagem	1
Reducidas	Locais com solos de características geotécnicas fracas ou possuindo alguma instabilidade; locais com características fitossanitárias débeis.	2
Séries	Locais com infraestruturas e edifícios de grande valor; locais com características geotécnicas que podem causar perdas económicas relevantes; locais com características geotécnicas que podem causar perdas de interesse ecológico.	5
Muito Séries	Locais com ocupação humana permanente (zonas urbanas planeadas); locais com estruturas para atividades económicas muito relevantes e permanentes; locais com características geotécnicas muitíssimo fracas, muito instáveis e de muito reduzida resistência à desagregação, sem vegetação estabilizadora; locais com elementos naturais de grande valor cuja perda seria difícil de compensar.	10
Catastróficas	Locais com ocupação humana permanente; locais absolutamente únicos e de enorme valor, e cuja perda seria irreparável; sistemas praia - duna.	25

INSUFICIENTE!

Sistema HIDRALERTA

III – Avaliação do risco

CONSEQUÊNCIAS	
ANTES	AGORA <i>Novo!</i>
Análise de forma simplista que atribui um grau (número associado às consequências)	Análise multi-critério que permite construção de um índice espacial através da aplicação do processo de análise hierárquica (AHP)
informações qualitativas da entidades competentes	informações quantitativas das entidades competentes
Sem hierarquização ou atribuição de pesos aos indicadores que afetam a zona em estudo	Classificação e atribuição de pesos aos indicadores que caracterizam uma dada zona de estudo
dificuldade em comparar os indicadores	indicadores avaliados conjuntamente
sem visualização espacial	com visualização espacial (análise qualitativa e quantitativa)
resultado: Grau (um único valor)	resultado: Mapa de consequências (distribuição espacial)

Sistema HIDRALERTA

IV – Sistema de alerta

Novo!

AVALIAÇÃO DOS DADOS

- INTEGRA A INFORMAÇÃO NECESSÁRIA PARA A IDENTIFICAÇÃO DO PERIGO (ALERTA)

- TOPOGRAFIA
- BATIMETRIA
- TABELAS DE RISCO
- DADOS SENSORES
- ...

INTERAÇÃO COM O UTILIZADOR

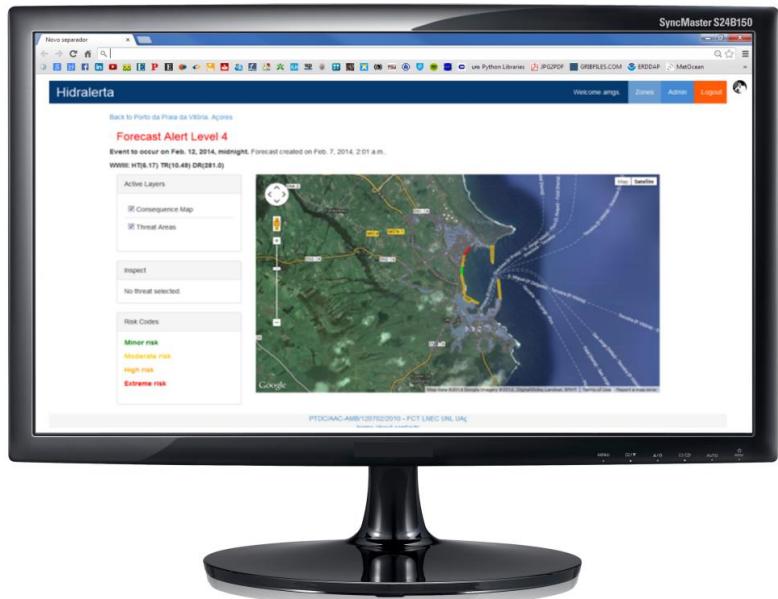
- APLICAÇÃO WEB
- PARAMETRIZAÇÃO DO SISTEMA

- DEFINIÇÃO DA ÁREA DE INTERESSE
- CARACTERIZAÇÃO DOS PONTOS CRÍTICOS
- CONSTRUÇÃO DE TABELAS DE RISCO E TRANSFERÊNCIA

Sistema HIDRALERTA

IV – Sistema de alerta

Novo!



- **Modelo desenvolvido em *PYTHON***
 - acoplamento dos modelos
 - automatização do sistema
 - integração do sistema na *WEB*
- **Visualização dos dados e resultados**
- **Diferentes níveis de informação para diferentes utilizadores**
- **Utilização do WebGis para interação do sistema com o utilizador de modo a permitir a análise da informação e a tomada de decisão**

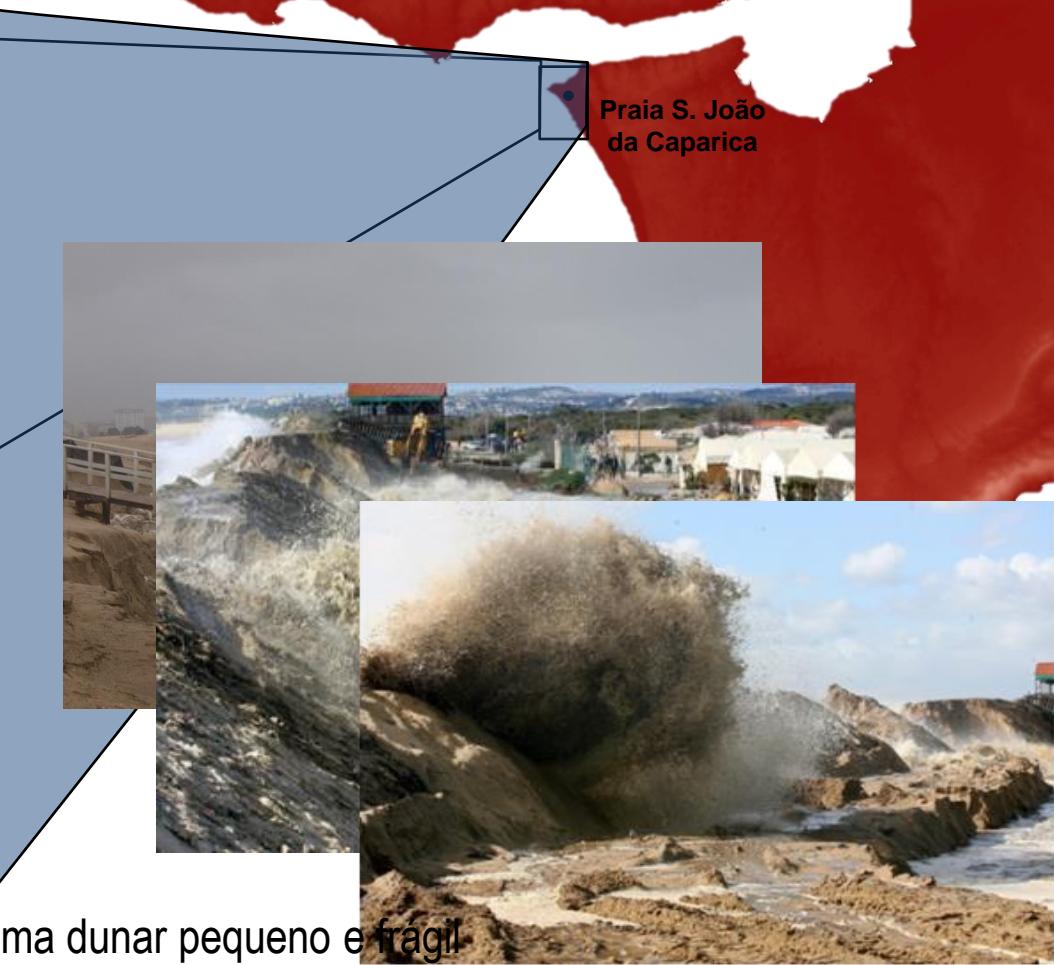
Casos de estudo

- Costa da Caparica
 - Avaliação do risco
 - Simples
 - Alerta **Novo!**
- Baía da Praia da Vitória
 - Avaliação do risco
 - Simples
 - AHP
 - Alerta **Novo!**



Costa da Caparica

São João da Caparica



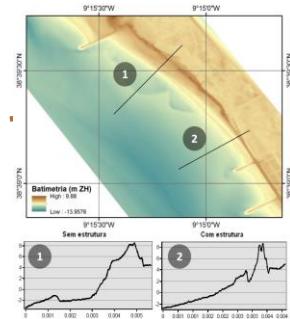
- praia de origem sedimentar com um sistema dunar pequeno e frágil
- construções de madeira (bares e restaurantes) na duna frontal

Costa da Caparica

Avaliação do risco

Bóia APL

Recolhidos os dados *in situ* de 2007 a 2012



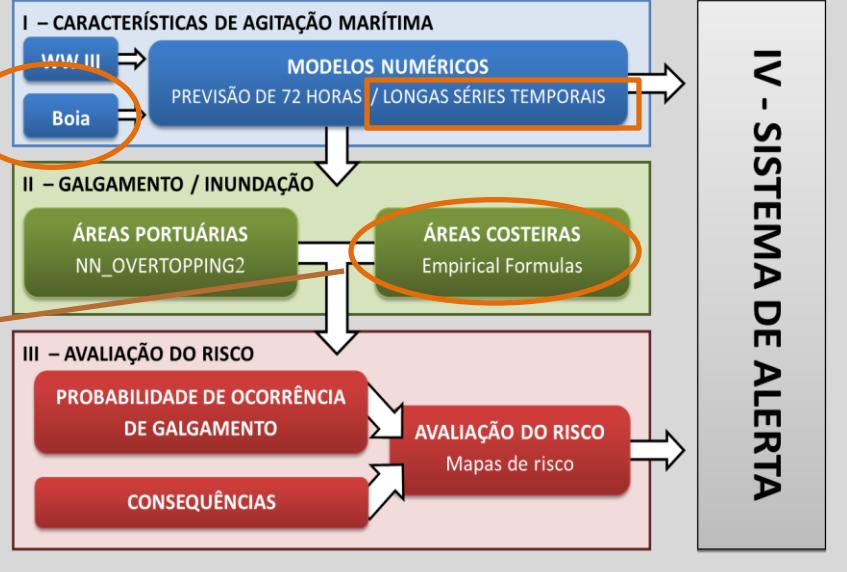
Aplicação de diferentes fórmulas empíricas

SEM ESTRUTURA ADERENTE

Obter a estimativas de *Run-up* excedidos apenas por 1% de todos os *Run-up* ($R_{1\%}$)

$$C.I. = M.A. + S.M. + R_{1\%}$$

Marégrafo de Cascais



COM ESTRUTURA ADERENTE

Obter as estimativas de galgamento com base nas fórmulas empíricas de Mase et al. (2013).



• Hmax

Costa da Caparica

Avaliação do risco (método simples)

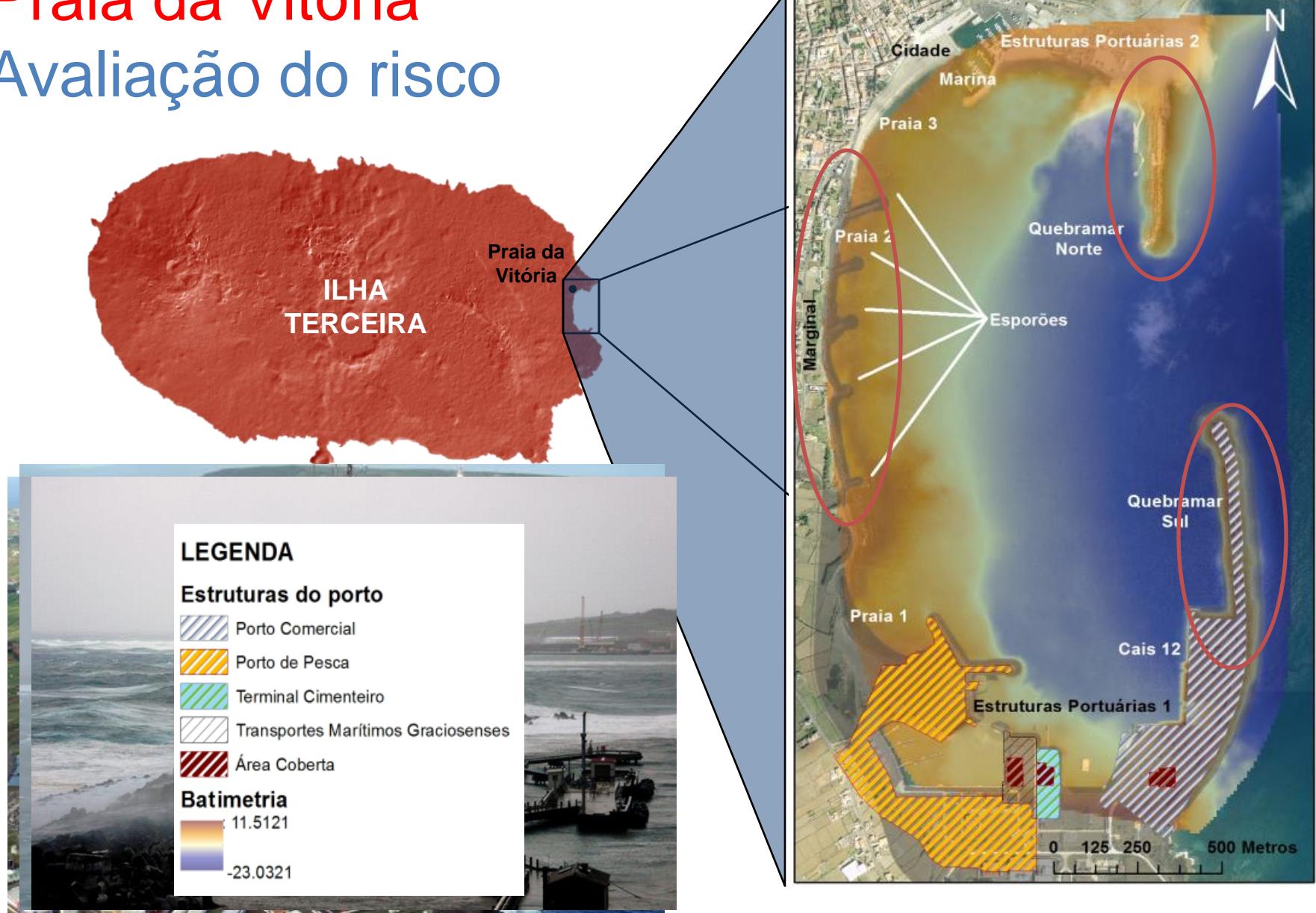
ESTABELECER OS VALORES DA COTA MÁXIMA DA PRAIA E OS VALORES LIMITES DO CAUDAL MÉDIO GALGADO

I – CARACTERÍSTICAS DE AGITAÇÃO MARÍTIMA		II – GALGAMENTO / INUNDAÇÃO		III – AVALIAÇÃO DO RISCO		MODELOS NUMÉRICOS	Controlo do Risco (Guia de Orientação)
Grau	Descrição	ÁREAS PORTUÁRIAS NN_OVERTOPPING2	PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE GALGAMENTO	CONSEQUÊNCIAS			
1 – 3	Insignificante					Risco desprezável; não é preciso levar a cabo medidas de controlo de risco.	
4 – 10	Aceitável					Risco que pode ser considerado tolerável caso se seleccione um conjunto de medidas para o seu controlo.	
15 – 30	Indesejável					Risco que deve ser evitado se for razoável em termos práticos; requer uma investigação detalhada e análise de custo-benefício; é essencial a monitorização.	
40 – 125	Inaceitável					Risco intolerável; tem que se proceder ao controlo do risco (i.e. eliminar a origem dos riscos, alterar a probabilidade de ocorrência e/ou as consequências, transferir o risco, etc.).	

SEM ESTRUTURA ADERENTE		COM ESTRUTURA ADERENTE				PERMANENTE	
Perfil da máxima altura	Acima de 9 m	Praia sem estrutura aderente	Estrutura	Pessoas	Edifícios	Equipamentos	PARA ATIVIDADES EVANTES (BARES, GRANTES)
Graus		Praia sem estrutura aderente					
Grau de probabilidade de ocorrência	2	1	1	1	1	1	
Grau de consequências	10	10	10	10	10	10	
Grau de risco	20	10	10	10	10	10	
Aceitabilidade	Indesejável	Aceitável	Aceitável	Aceitável	Aceitável	Aceitável	A TABELA DAS TABELECEU-SE UM NCIAS DE GRAU 10
(ACONTECIMENTO RARO)							

Praia da Vitória

Avaliação do risco



Praia da Vitória

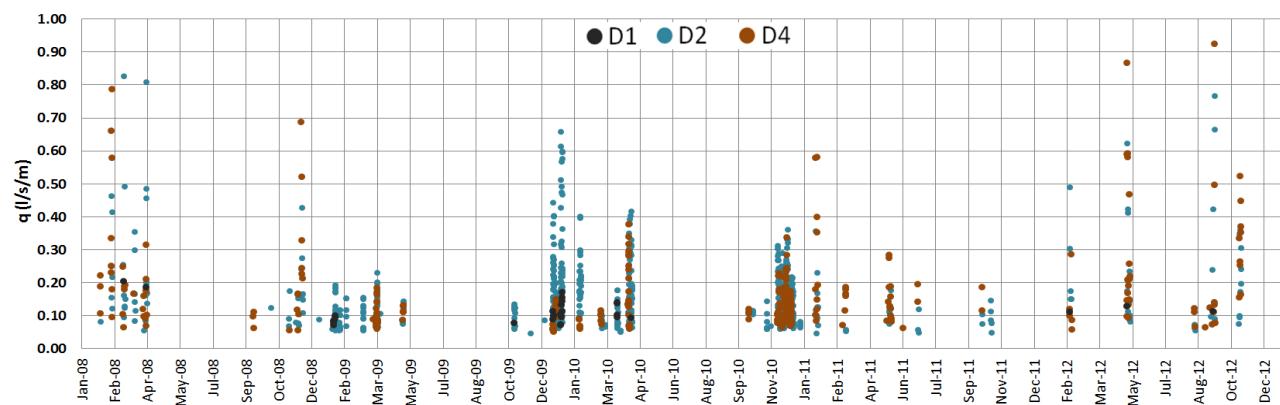
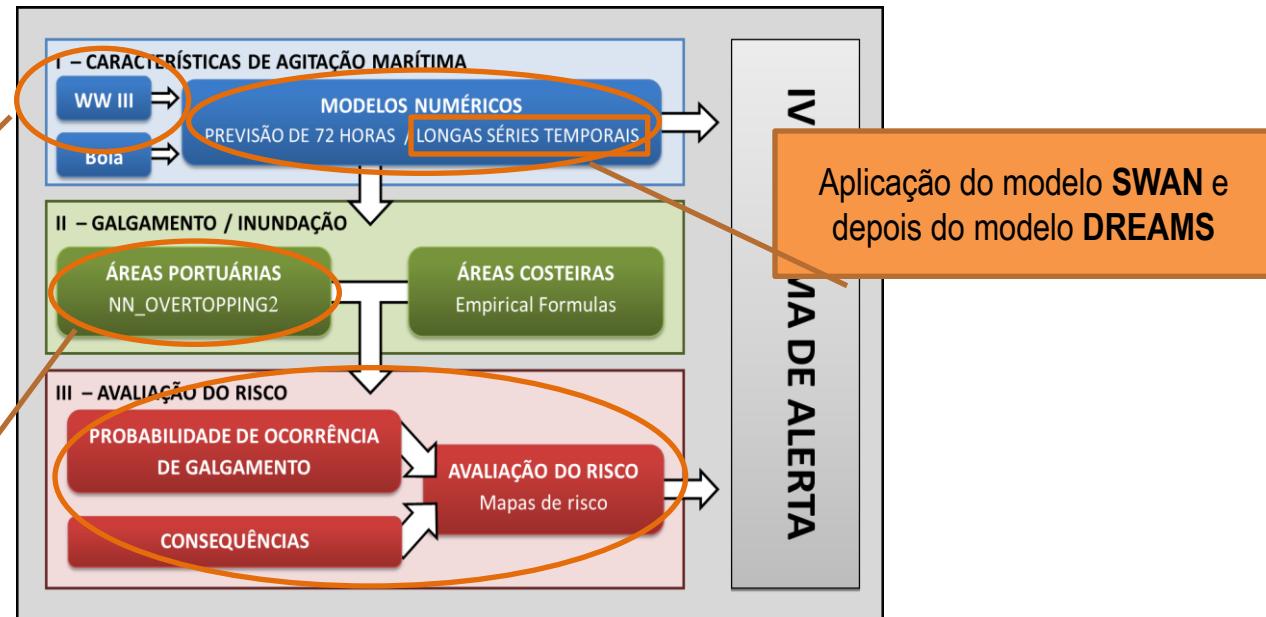
Avaliação do risco (Simples e AHP)

- Recolhidos os dados de agitação marítima entre 2008 e 2012
- Recolha das previsões de ventos e marés astronómicas

NCDC / NOAA
Ventos UV

DEGGE / FCUL
Níveis de maré

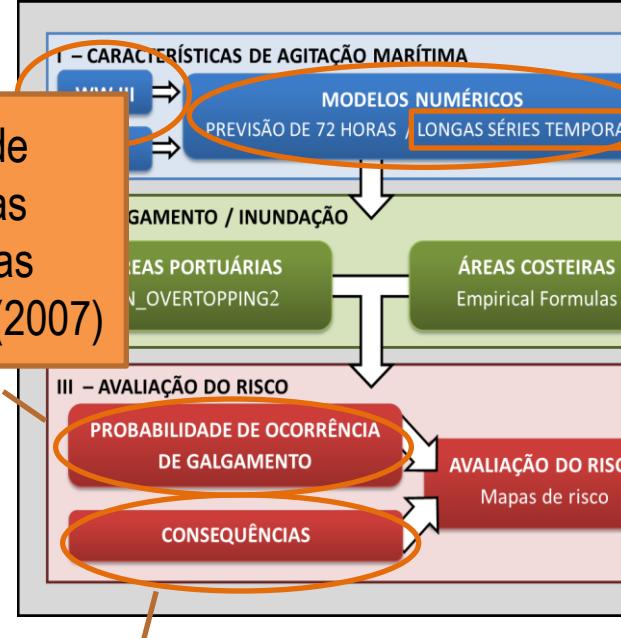
Cálculos dos galgamentos em cada estrutura com base nos resultados do modelo DREAMS e das características de cada estrutura (3+12 parâmetros)



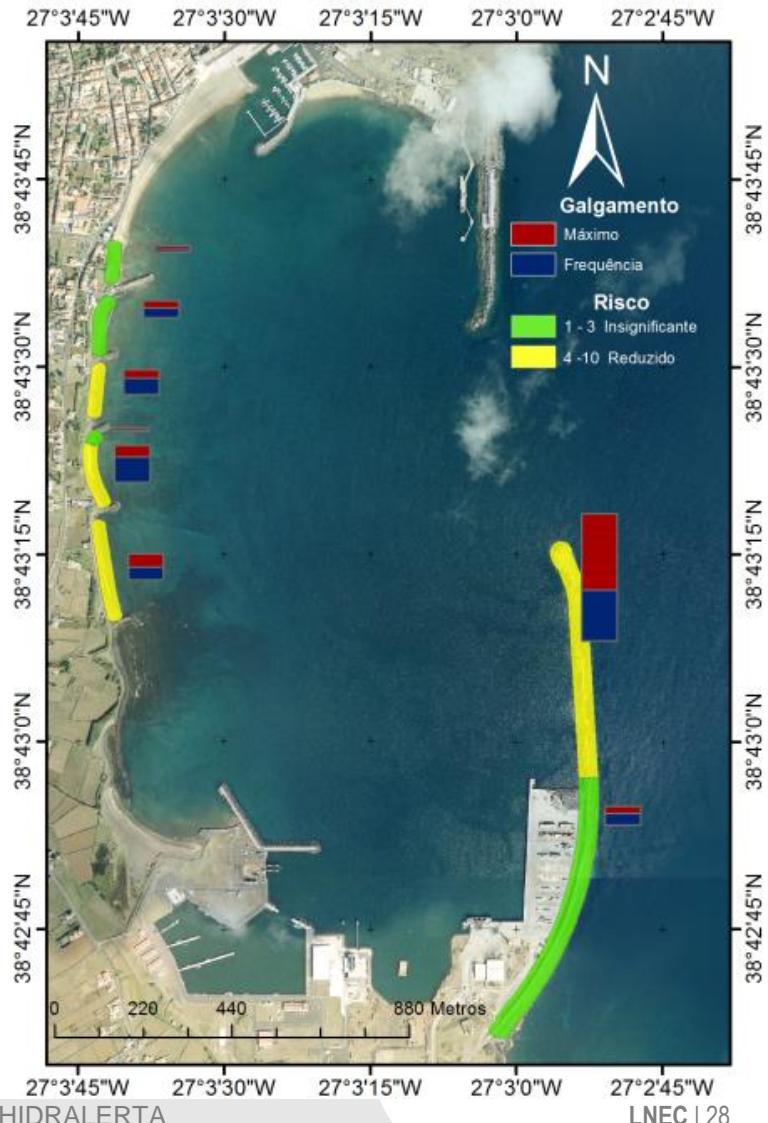
Praia da Vitória

Avaliação do risco (Simples)

De acordo com o tipo de estrutura e natureza das atividades, utilizam-se as recomendações de Pullen (2007)



Com base na natureza das atividades e da informação da autoridade portuária, definiu-se o grau de consequências (Poseiro et al., 2013)



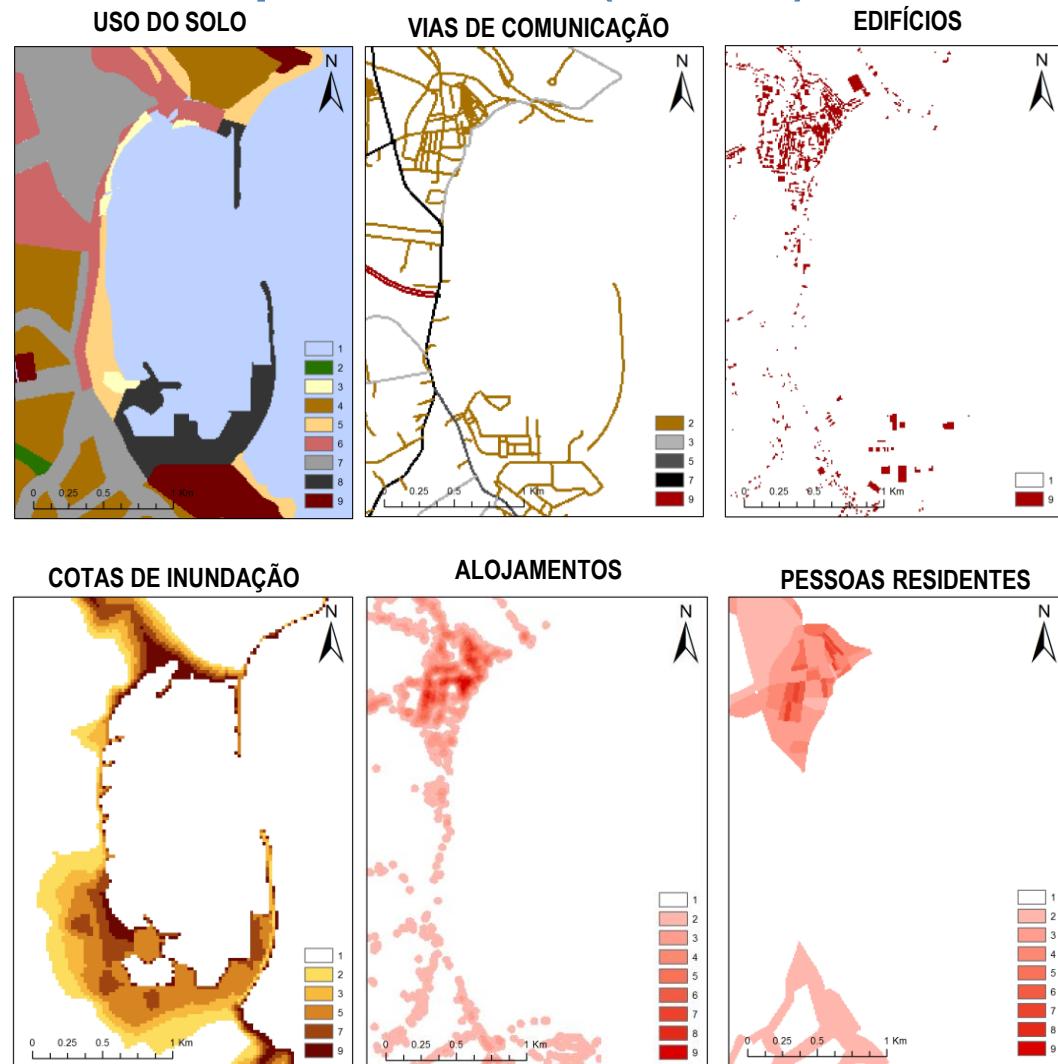
Praia da Vitória

Avaliação das consequências (AHP)

Novo!

Aplicação da metodologia AHP (processo de análise hierárquica)

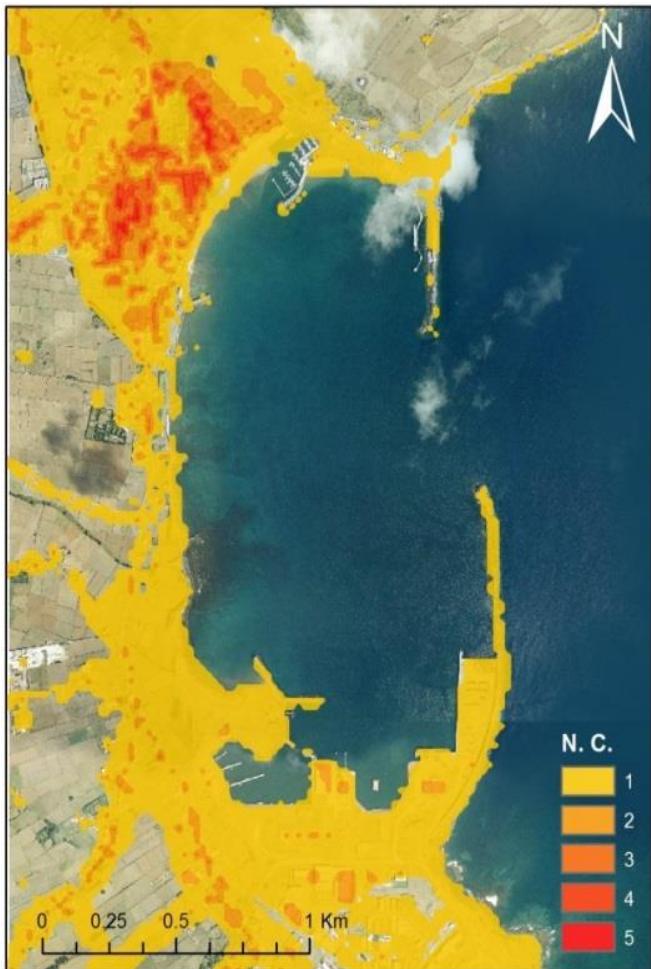
- a) Estabelecimento de indicadores e das suas propriedades, por exemplo, uso de solo, vias de comunicação, áreas dos edifícios, cotas de inundação, densidade de alojamentos, densidade populacional
- b) Atribuição de pesos a cada indicador
- c) Atribuição dos pesos “empíricos” às propriedades de cada indicador (1 a 9)
- d) Avaliação da consistência dos pesos atribuídos aos indicadores
- e) Sobreposição de todos os indicadores e propriedades
- f) Construção do mapa de consequências



Praia da Vitória

Avaliação de consequências (AHP)

Novo!



Mapa de consequências

- **CENTRO DA VILA É A ÁREA COM MAIOR NÍVEL DE CONSEQUÊNCIAS**
- **NÃO IMPLICA QUE SEJA O LOCAL COM MAIOR RISCO, SENDO QUE É UMA ÁREA COM POUCA PROBABILIDADE DE GALGAMENTOS/INUNDACÕES**
- **MAIOR PERIGO NO MEIO DA DEFESA FRONTAL (ZONA COM GALGAMENTOS/ INUNDACÕES)**

Praia da Vitória

Sistema de alerta - WWIII

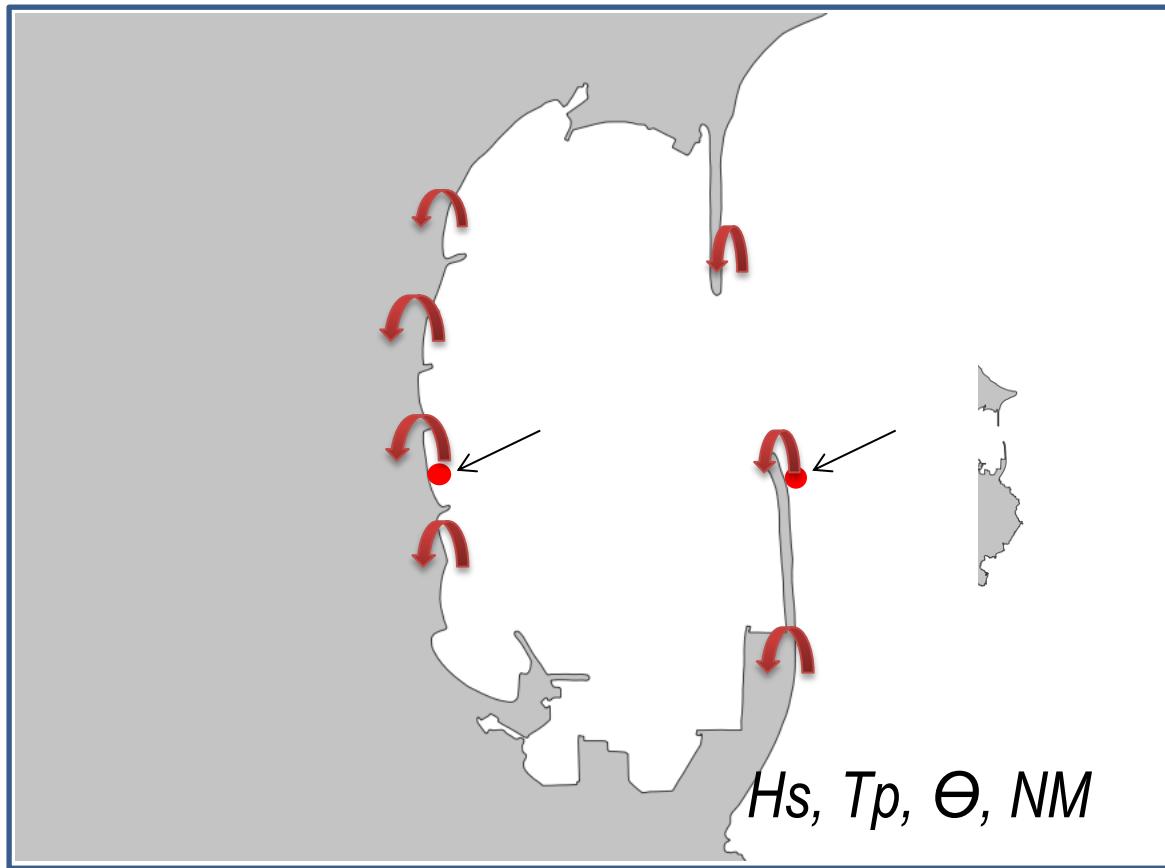
WWIII

SWAN

DREAMS

NN OVERTOPPING

ALERTA



PREVISÕES AO LARGO

CÁLCULO DOS
GALGAMENTO

PREVISÕES JUNTO
À ILHA

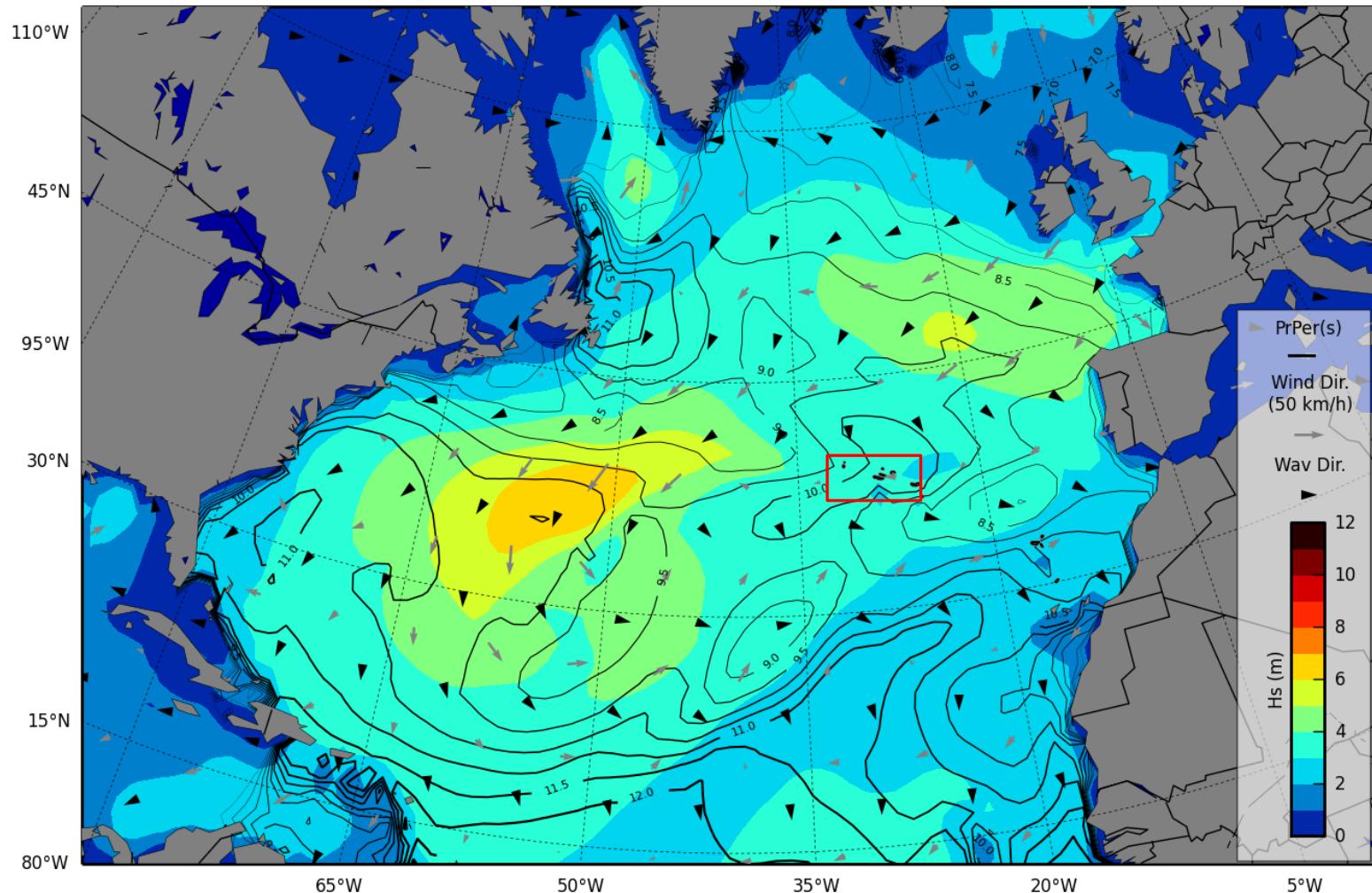
PREVISÕES NO
INTERIOR DO PORTO

SINAL DE ALERTA
QUANDO OS LIMITES
DE GALGAMENTO
FOREM EXCEDIDOS
PREVISÕES JUNTO
ÀS ESTRUTURAS

Praia da Vitória

Sistema de alerta - WWIII

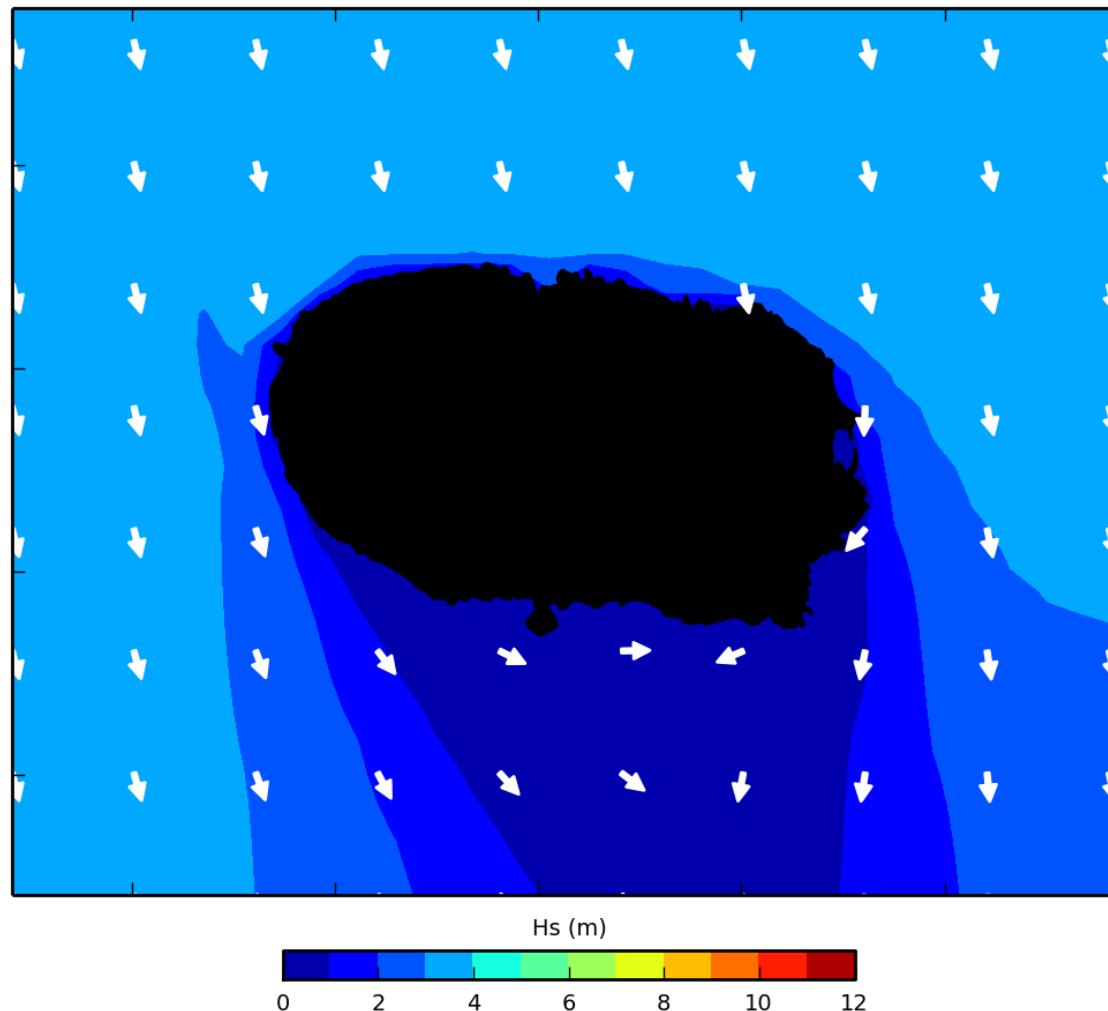
2013-03-12 00:00:00



Praia da Vitória

Sistema de alerta - SWAN

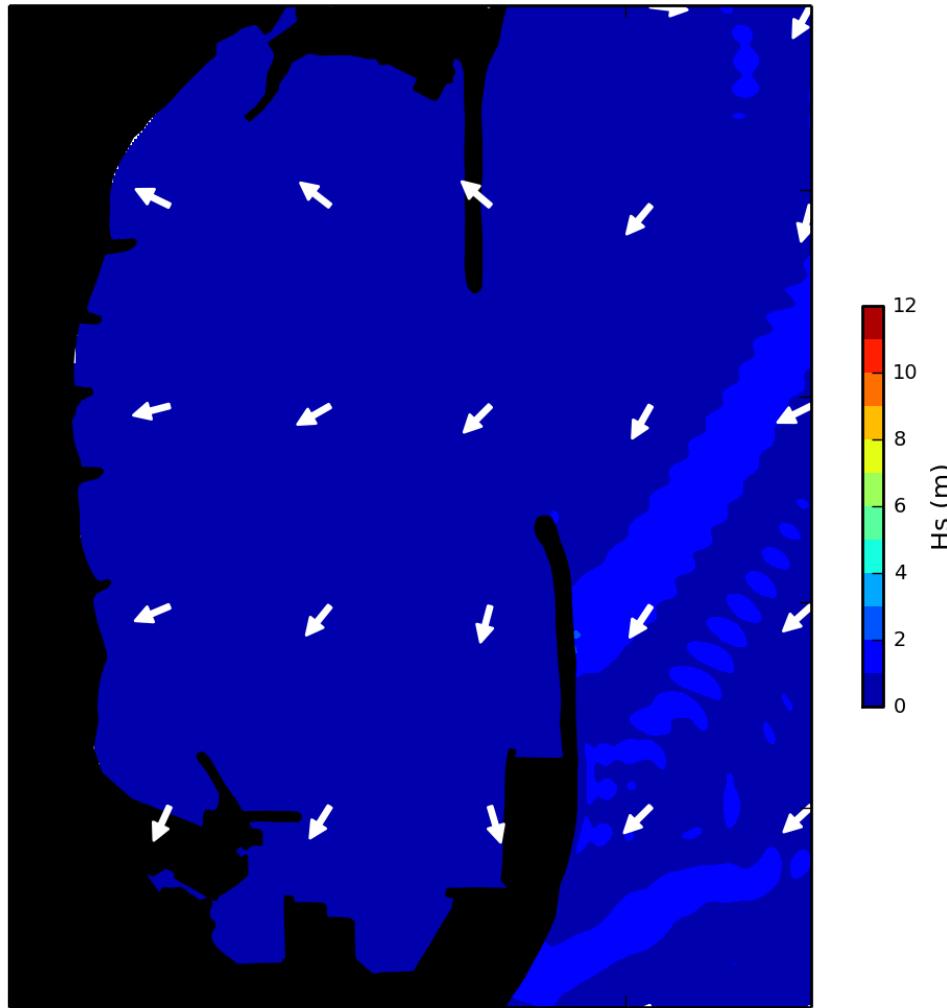
2013-03-12 00:00:00



Praia da Vitória

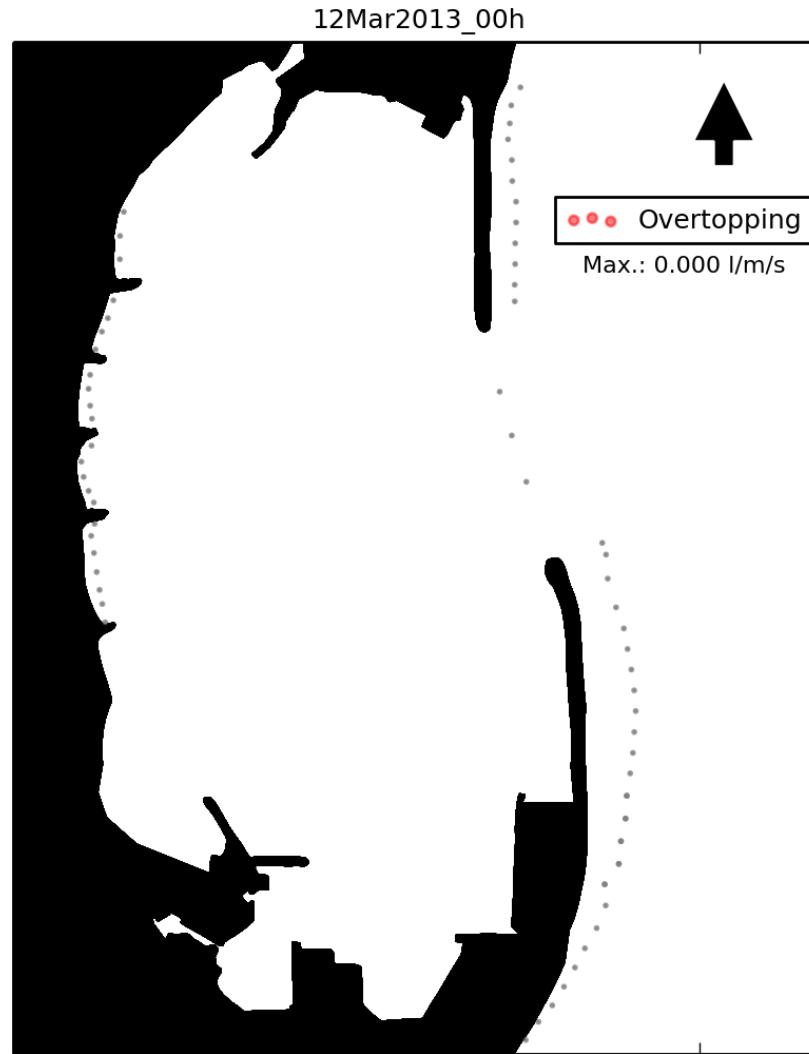
Sistema de alerta - DREAMS

2013-03-12 00:00:00



Praia da Vitória

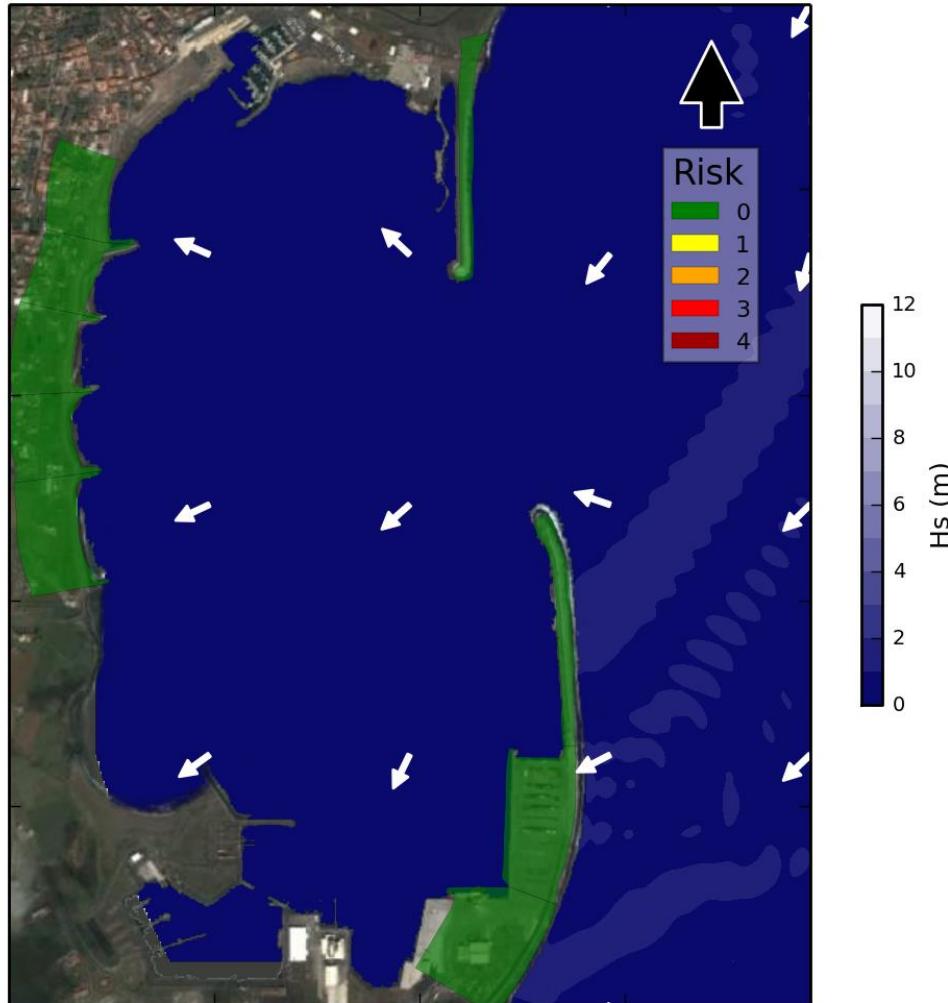
Sistema de alerta – NN_OVERTOPPING2



Praia da Vitória

Sistema de alerta

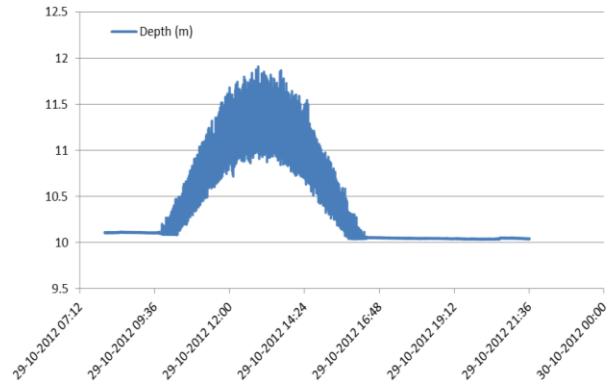
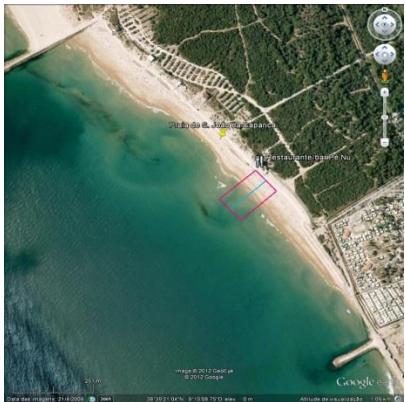
2013-03-12 00:00:00



Sistema HIDRALERTA

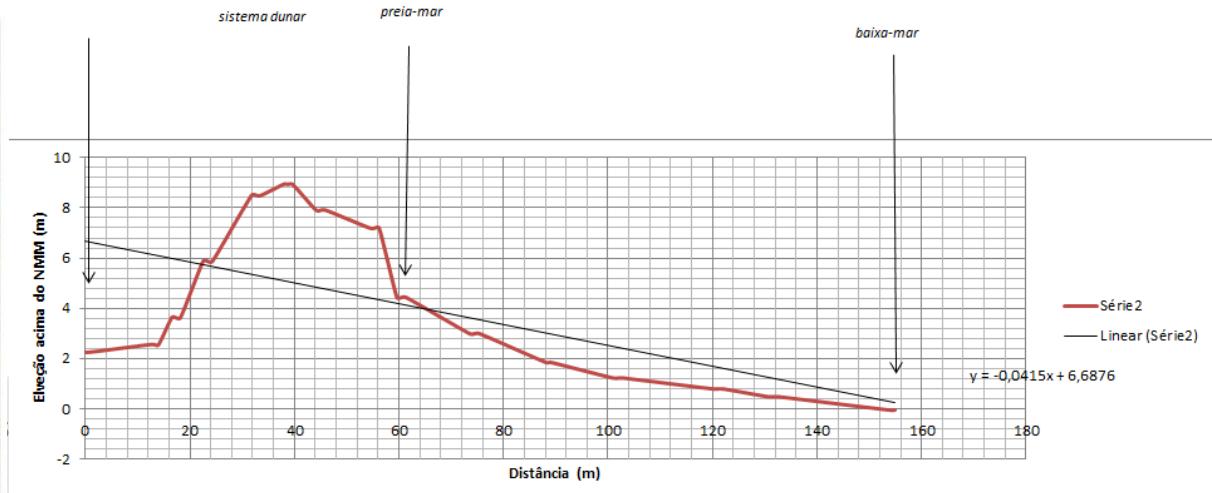
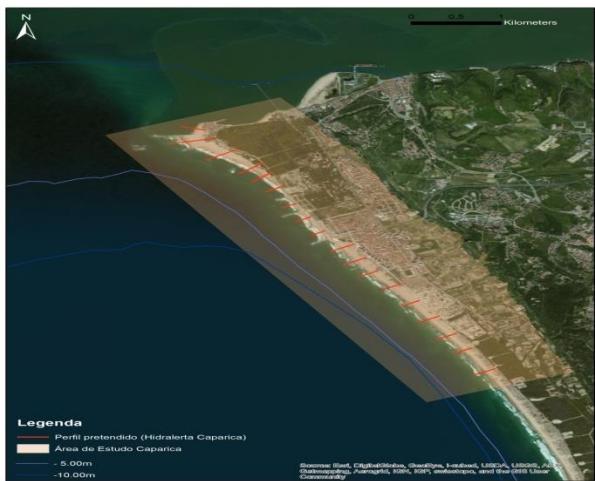
Outras vertentes

- Obtenção de dados in situ
 - Campanhas 29-30 outubro de 2012 – Medição de ondas



- Campanha 29 e 30 de abril de 2013 – Realização de perfis

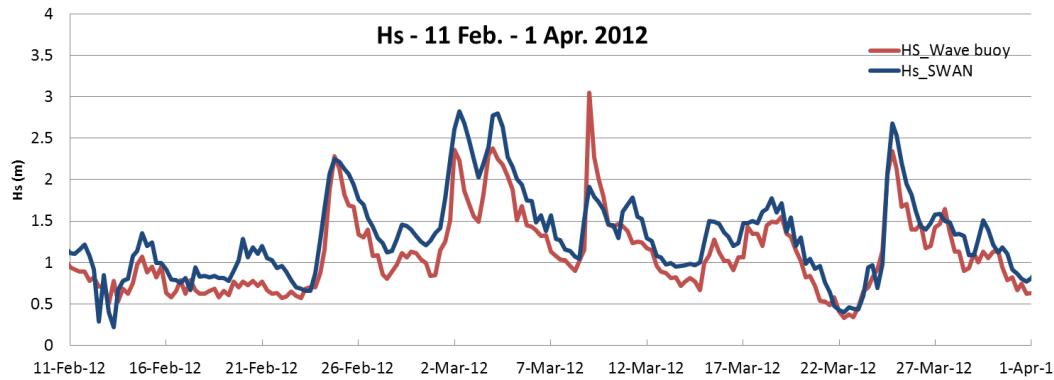
Novo!



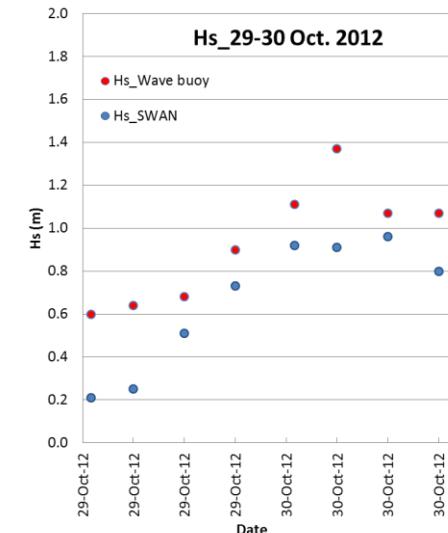
Sistema HIDRALERTA

Outras vertentes

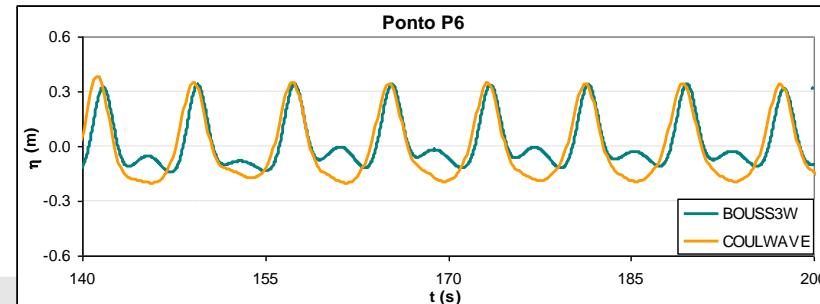
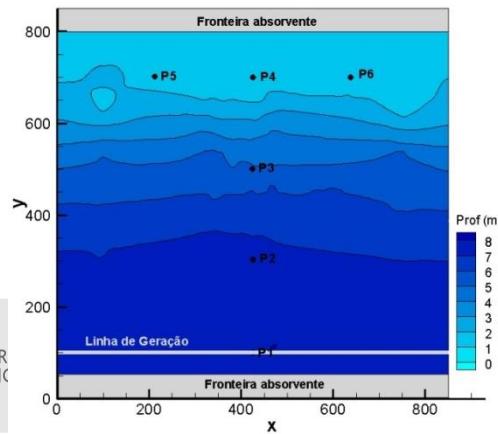
- Aplicação dos modelos numéricos e comparação com dados in situ
 - Modelo SWAN



Novo!



- Modelo BOUSS3W



Sistema HIDRALERTA

Outras vertentes

Novo!

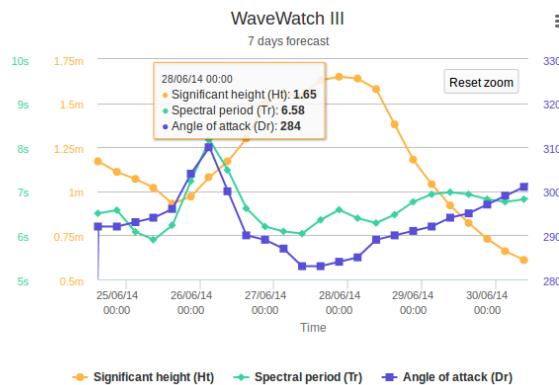
- Sistema de Alerta

Hidralerta EN PT Welcome amgs. Zones Admin Logout

Porto da Praia da Vitória, Açores, Portugal

Table

Chart



lera EN PT

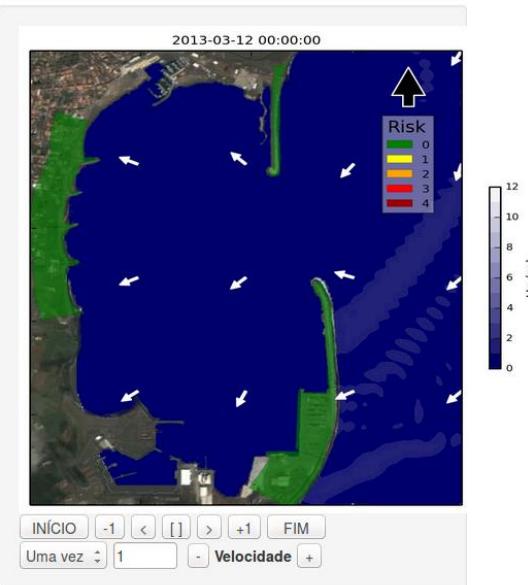
Welcome amgs. Zones Admin Logout

Back to Porto da Praia da Vitória, Açores, Portugal

Forecast Alert Level 3

Event to occur on May 16, 2014, midnight. Forecast created on May 15, 2014, 7:41 p.m..

WWIII: HT(1.88) TR(9.21) DR(345.0)



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

DESENVOLVIMENTO

localhost:8000

PTDC/AAC-AMB/120702/2010 - FCT LNEC UNL UAç
localhost:8000

Sistema HIDRALERTA

Desenvolvimentos futuros

- Caracterização da agitação marítima
 - Continuar da obtenção de dados in situ já existentes na validação dos modelos numéricos de propagação de ondas usados
 - Substituir o modelo DREAMS pelo modelo de ondas BOUSS-WMH aos casos de estudo do projeto;
- Galgamentos/Inundação
 - calcular com recurso a modelos numéricos, espraiamento/galgamento/inundação de estruturas tipo, a definir, para os dois casos de estudo do projeto;
 - realizar ensaios em modelo físico de galgamento dessas estruturas tipo para medição do espraiamento, caudais galgados e cotas de inundação.
 - Estes dados serão utilizados na avaliação do desempenho de ferramentas empíricas, neurais ou numéricas

Sistema HIDRALERTA

Desenvolvimentos futuros

- Avaliação do risco
 - Implementar um modelo de inundação para:
 - criar mapas que ilustrem a distribuição espacial dos volumes galgados (mapas de inundação), que possam ser cruzados/complementados com mapas de consequências,
 - de modo a poderem obter-se mapas de risco mais completos de ocorrência de galgamentos/inundações
 - melhorar a metodologia de construção de mapas de consequências através da especificação a priori de pesos a atribuir a cada indicador/sub-indicador, de acordo com informações fornecidas pelas autoridades portuárias e costeiras
- Sistema de alerta
 - melhorar as diferentes fases do sistema de alerta
 - definir os níveis (thresholds) para acionamento de alertas

Agradecimentos

Fundação para a Ciência e Tecnologia - Projeto HIDRALERTA – Sistema de previsão e alerta de inundações em zonas costeiras e portuárias - referência PTDC/AAC-AMB/120702/2010

Câmara Municipal da Praia da Vitória
Portos dos Açores (Eng. Francisco Silva)
Administração do Porto de Lisboa (Eng. Teresa Sá Pereira)

FCUL (Prof. Carlos Antunes, Prof. Cesar Andrade)
Restaurante Pé Nú (Carlos Manuel)

NEC-LNEC (Paula Freire, Ana Rilo, Simões Pedro)

Colaborações no âmbito de trabalhos de mestrado:
FCT/UNL (Inês Silva, Marta Martinho)
FEUP (Tânia Rocha, Prof. Taveira Pinto)
Dep Civil/UC (Patrícia Neves, Prof. Antunes do Carmo)

Obrigado

