

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
Armanda 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

azorina

Maria Conceição Rodrigues



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



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

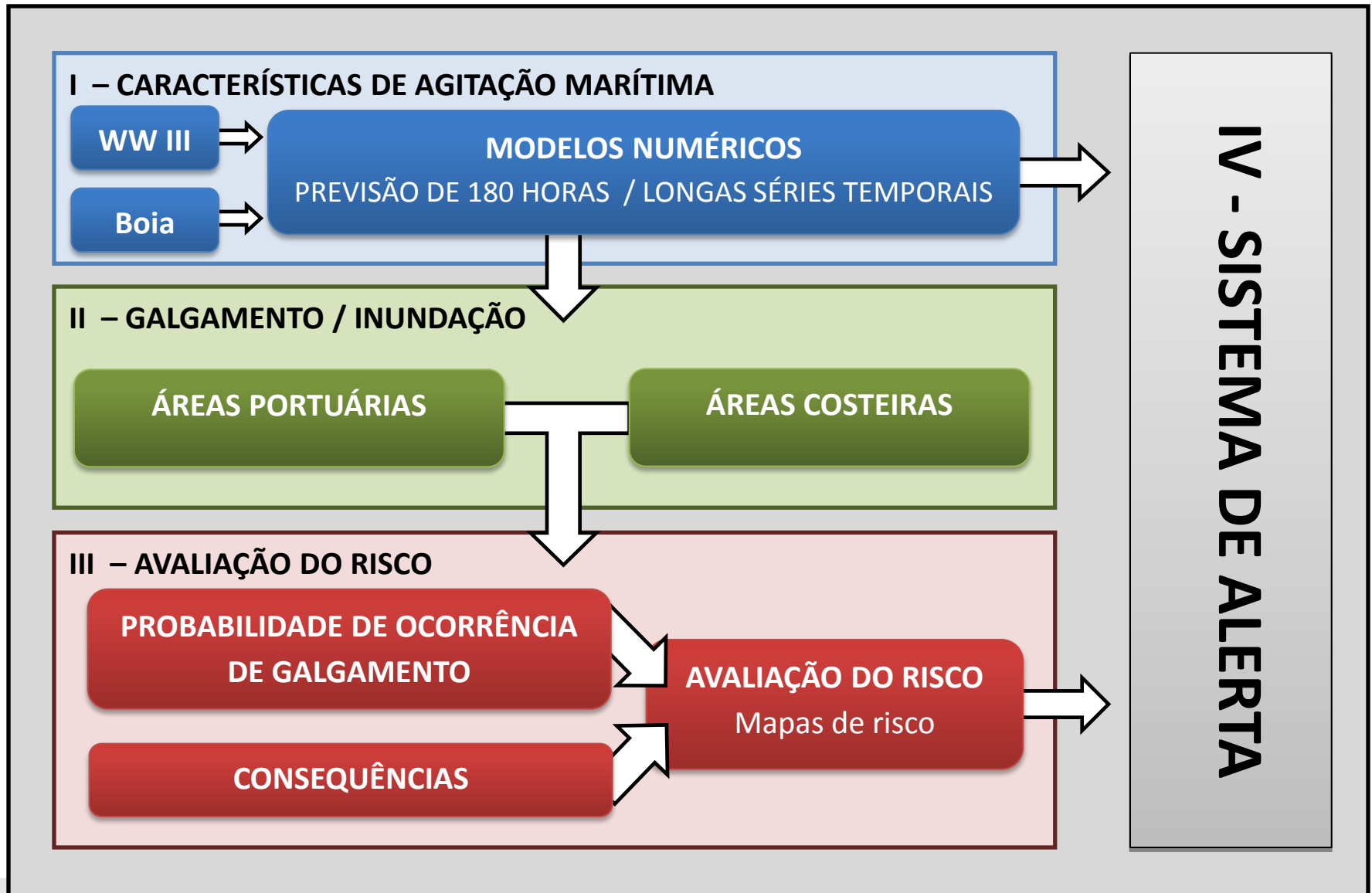
SISTEMA DE AVALIAÇÃO DO RISCO

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

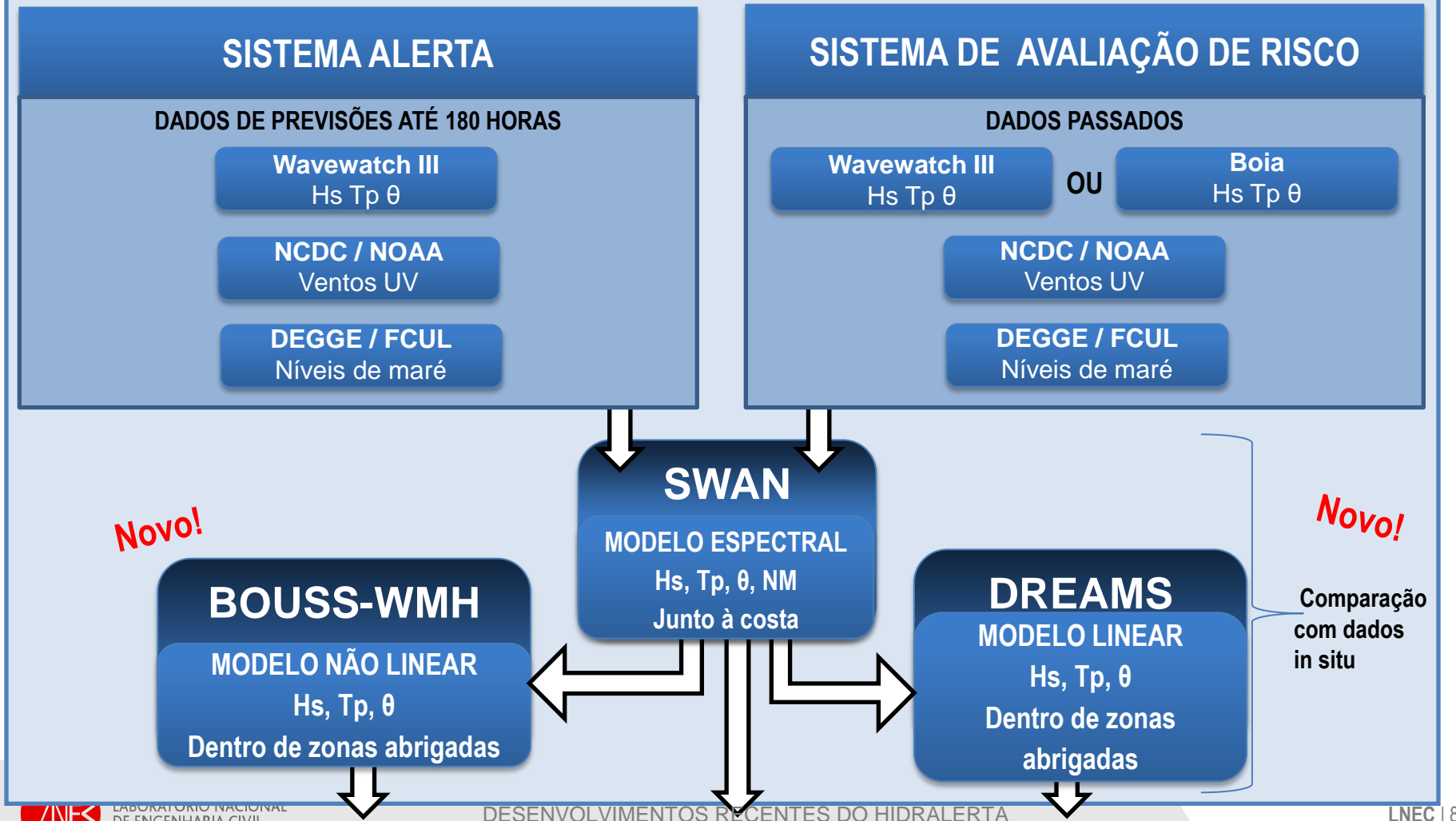
Sistema HIDRALERTA



Sistema HIDRALERTA

I – Caracterização da agitação marítima

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



Sistema HIDRALERTA

II – Galgamento/Inundação

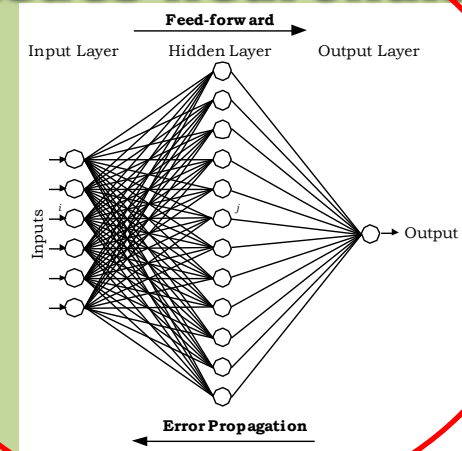
Formulas Empíricas:

VAN DER MEER (1995,1998)

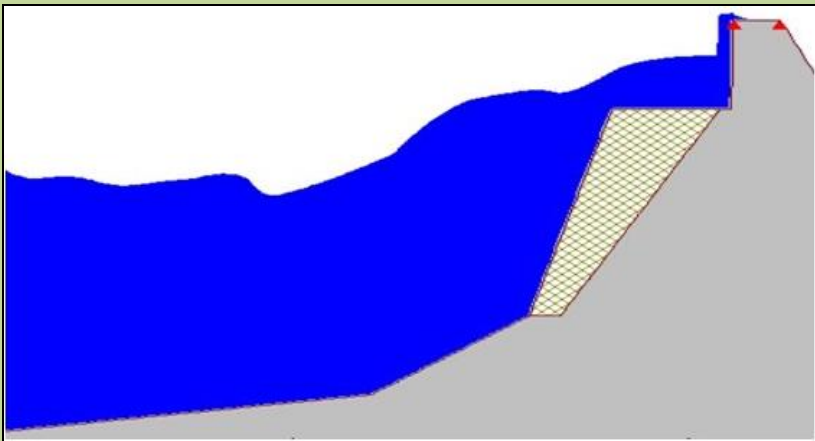
$$Q = \frac{0.06 \xi_p \sqrt{gH_s^3}}{\sqrt{\tan \alpha}} \text{EXP} \left[-A \frac{R_c / \gamma_r}{\xi_p H_s} \right] \Rightarrow \xi_p \leq 2$$

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

Redes neuronais:



Modelação numérica:



Modelação física:



Sistema HIDRALERTA

II – Galgamento/Inundação

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

Autores	Run-up	
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)
	$R_{2\%} = 1.1 * (0.35 * \tan\beta * (H_0 L_{0p})^{0.5} + [(H_0 L_{0p} (0.563 * (\tan\beta)^{0.5} + 0.004))^{0.5}] / 2) \quad \xi_{0p} > 0.3$	(9)
Teixeira (2009)	$R_{m\acute{a}x} = 0.80 * H_0 + 0.62 \quad (\text{mais antiga})$	(10)
	$R_{m\acute{a}x} = 1.08 * H_0 * \xi_{0m\acute{a}x} \quad (\text{mais recente})$	(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

$$R_{1\%} \approx R_{m\acute{a}x.}$$

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**

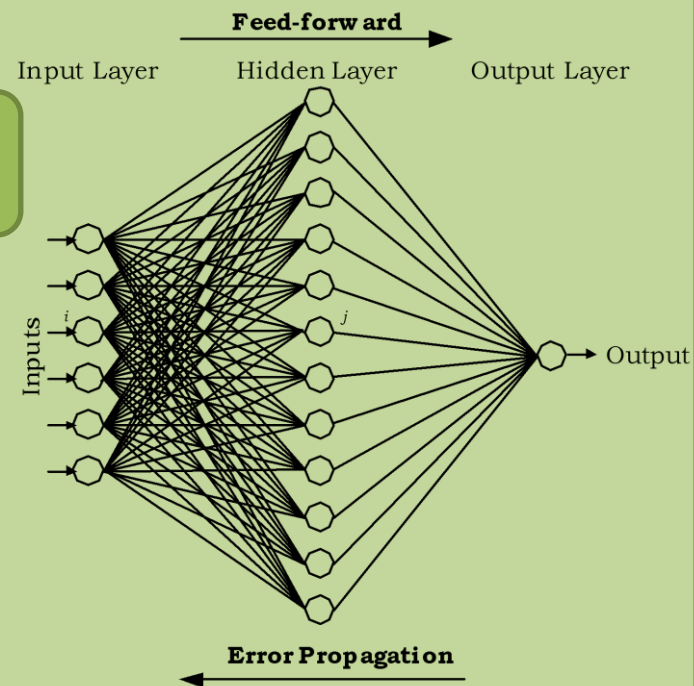
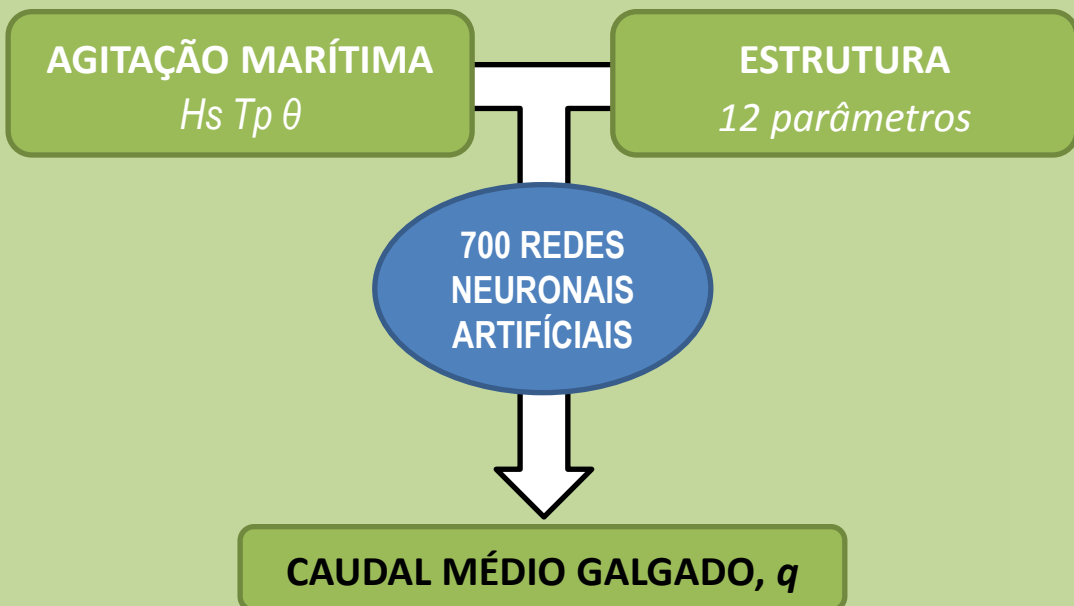
Run-up	$R_{2\%} = H_0 * (2.99 - 2.73 * \exp(-0.57 * (\tan\beta / \sqrt{H_0/L_0})))$	(1)
	$R_{1/10} = H_0 * (2.72 - 2.56 * \exp(-0.58 * (\tan\beta / \sqrt{H_0/L_0})))$	(2)
	$R_{1/3} = H_0 * (2.17 - 2.18 * \exp(-0.70 * (\tan\beta / \sqrt{H_0/L_0})))$	(3)
Galgamento	$q = \sqrt{gH_0^3} * [0.018 * (R_{\max}/H_0)^{3/2} * \{1 - (Rc/H_0)/(R_{\max}/H_0)\}^{3.200}]$	(4)
	$q = \sqrt{gH_0^3} * [0.018 * (R_{\max}/H_0)^{3/2} * \{1 - (Rc/H_0)/(R_{\max}/H_0)\}^{6.240}]$	(5)

Sistema HIDRALERTA

II – Galgamento/Inundação

Ferramentas Neurais
NN_OVERTOPPING2

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



- 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 seleccione 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

- ESTABELECECER OS LIMITES PARA OBTEN 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
Reduzidas	Locais com solos de características geotécnicas fracas ou possuindo alguma instabilidade; áreas ocupadas por vegetação do tipo arbustivo ou outro que lhe confira alguma estabilidade; áreas ocupadas por espécies fitossanitárias débeis.	2
Sérias	Locais com infraestruturas com características geotécnicas frágeis; locais com estruturas económicas relevantes; locais com ocupação humana permanente; áreas de interesse ecológico.	5
Muito Sérias	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

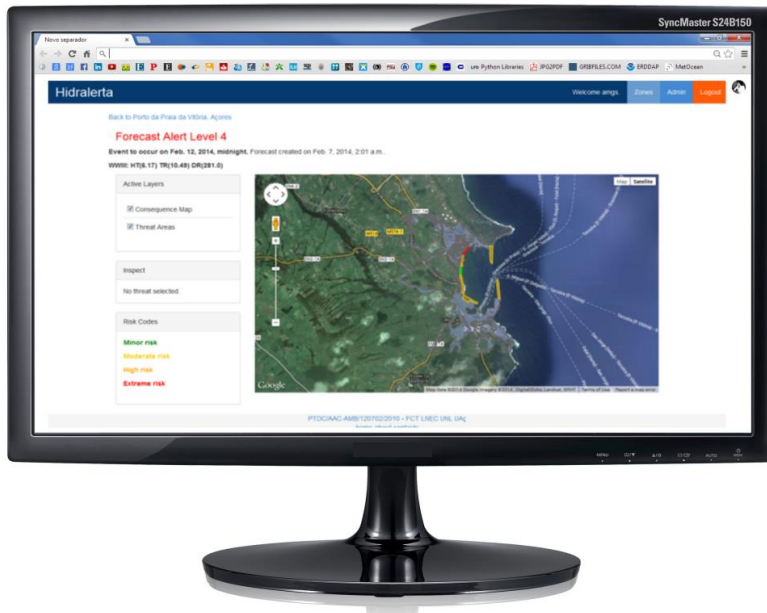
- APLICAÇÃO WEB
- PARAMETRIZAÇÃO DO SISTEMA

- 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

Dois perfis de praia (com e sem estrutura aderente)

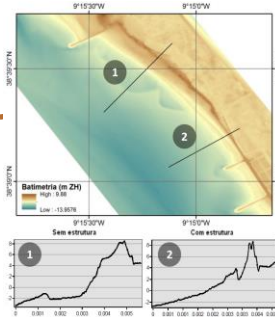
Aplicação de diferentes fórmulas empíricas

SEM ESTRUTURA ADERENTE

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

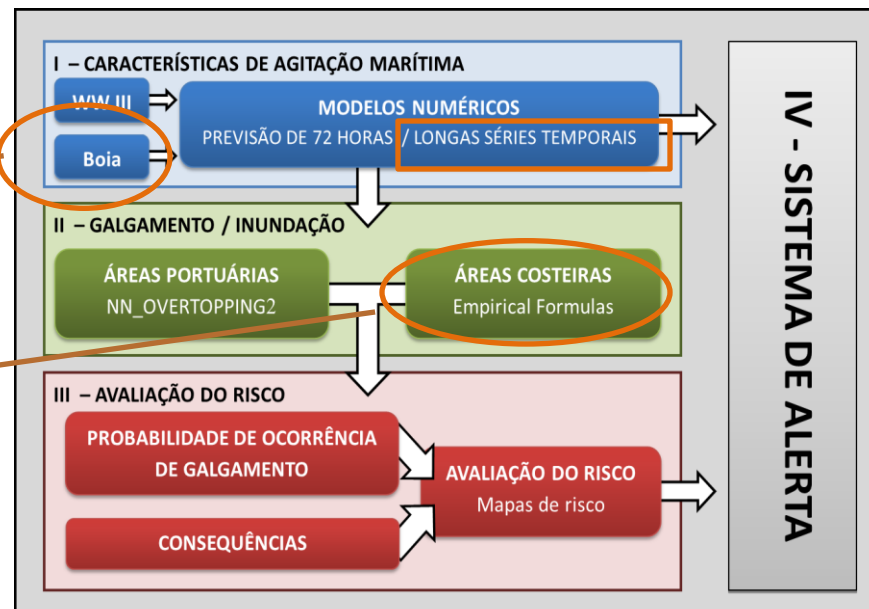
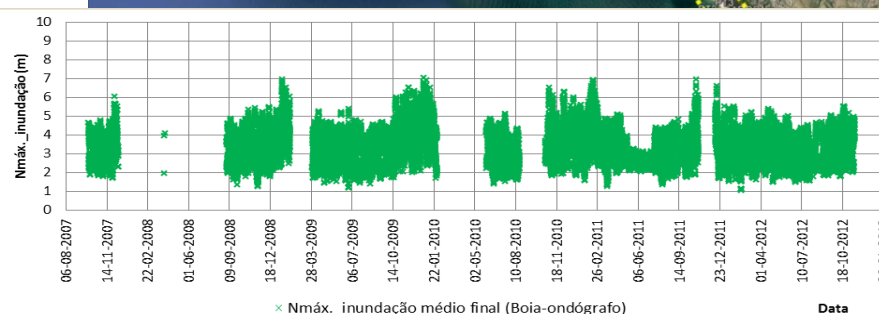
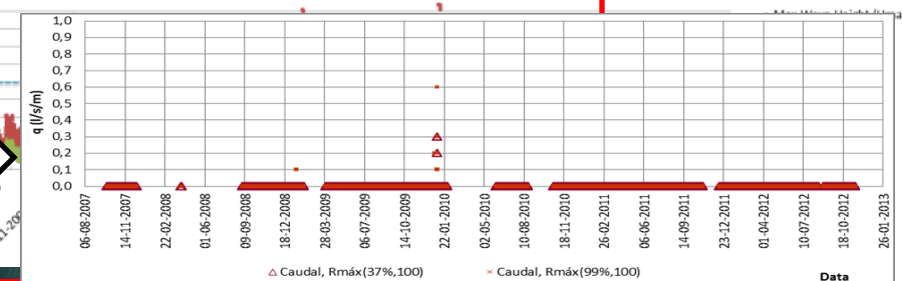
$$C.I. = M.A. + S.M. + R_{1\%}$$

Marégrafo de Cascais



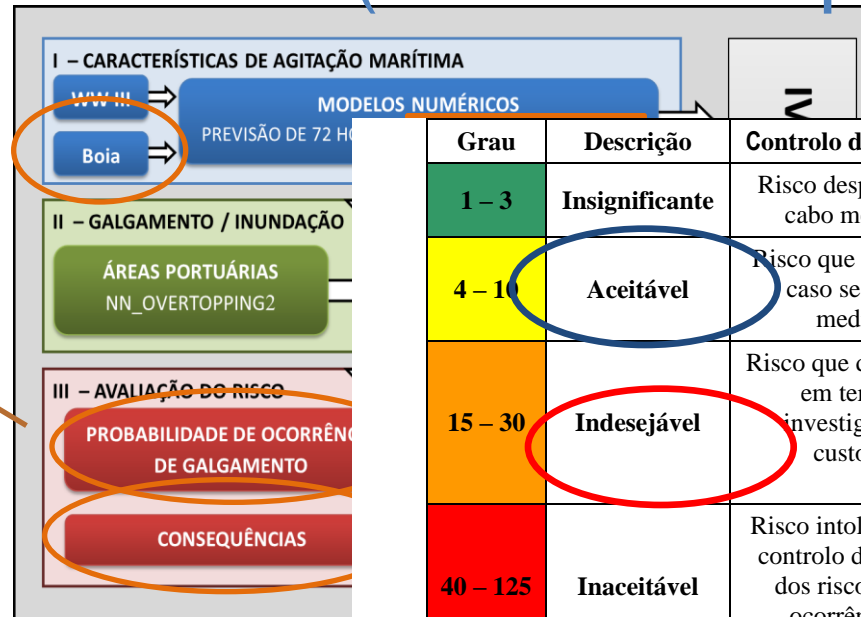
COM ESTRUTURA ADERENTE

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



Costa da Caparica

Avaliação do risco (método simples)



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

Grau	Descrição	Controlo do Risco (Guia de Orientação)
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
má
Acima
9

Graus	Praia sem estrutura aderente	Praia com estrutura aderente			
		Estrutura	Pessoas	Edifícios	Equipamentos
Grau de probabilidade de ocorrência	2	1	1	1	1
Grau de consequências	10	10	10	10	10
Grau de risco	20	10	10	10	10
Aceitabilidade	Indesejável	Aceitável	Aceitável	Aceitável	Aceitável

PARA ATIVIDADES
EVANTES (BARES,
RANTES)

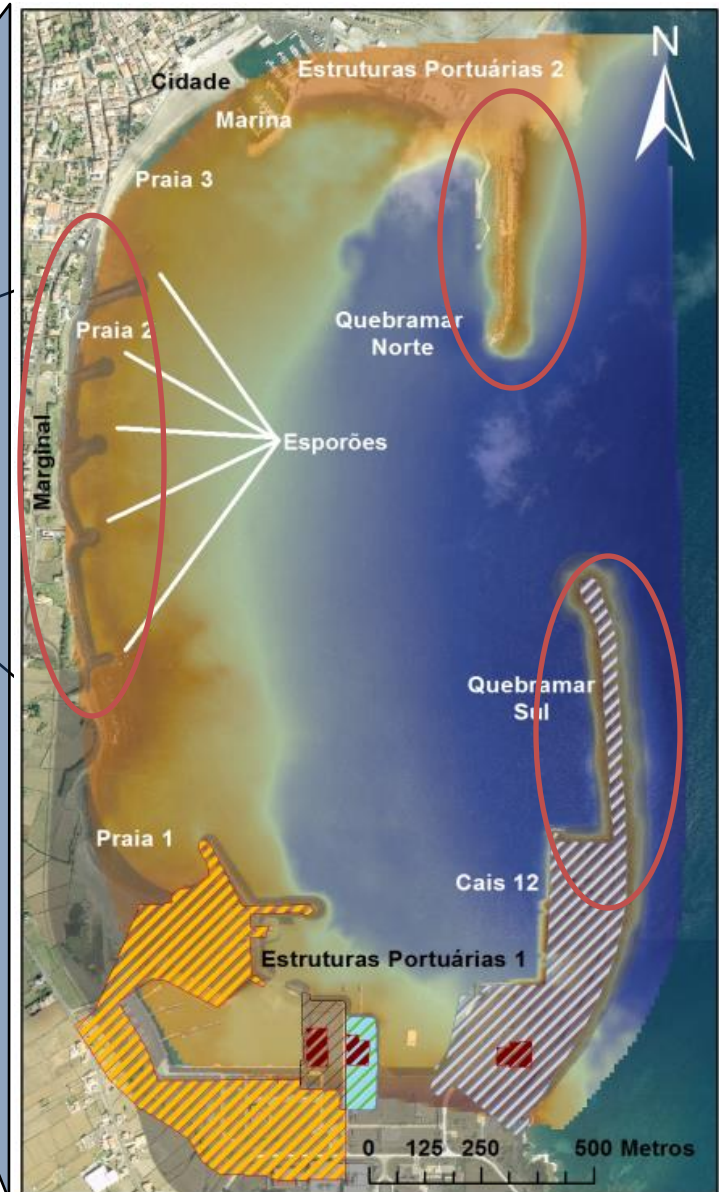
A TABELA DAS
TABELA CEU-SE UM
NCIAS DE **GRAU 10**

PROE
OCOR
EQUIV
(ACONTECIMENTO RARO)

DESENVOLVIMENTOS RECENTES DO HIDRALERIA

Praia da Vitória

Avaliação do risco



Praia da Vitória

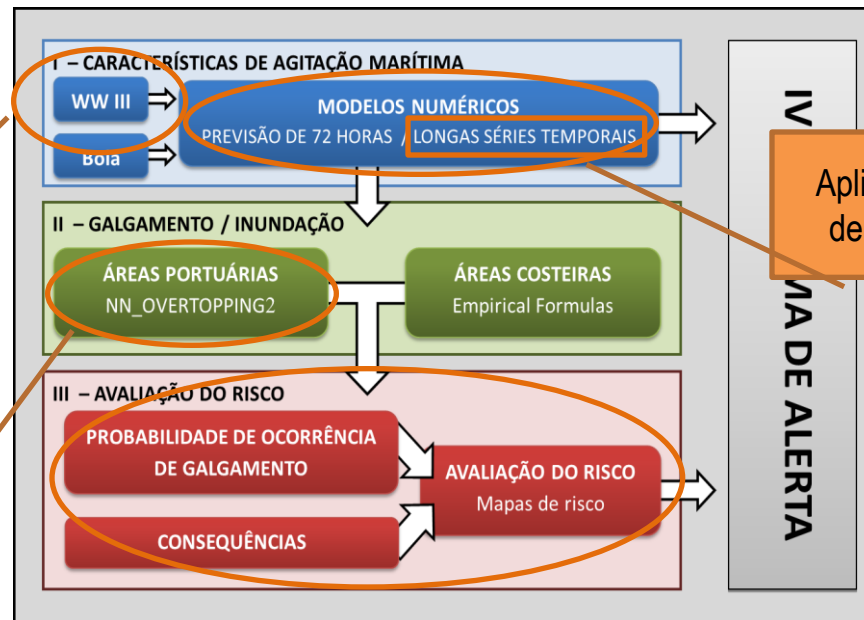
Avaliação do risco (Simples e AHP)

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

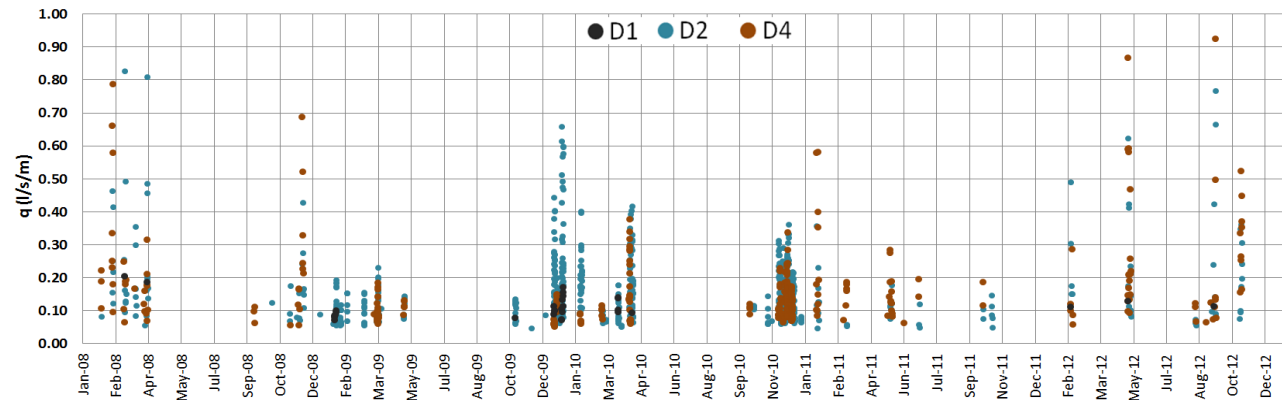
NCDC / NOAA
Ventos UV

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)



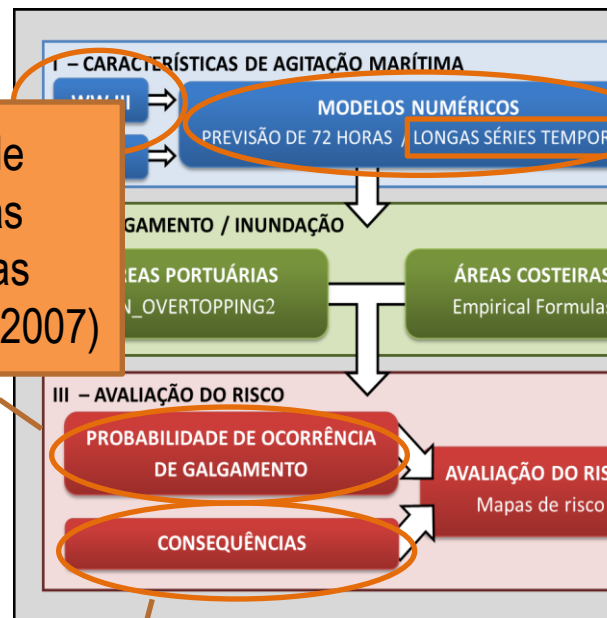
Aplicação do modelo **SWAN** e depois do modelo **DREAMS**



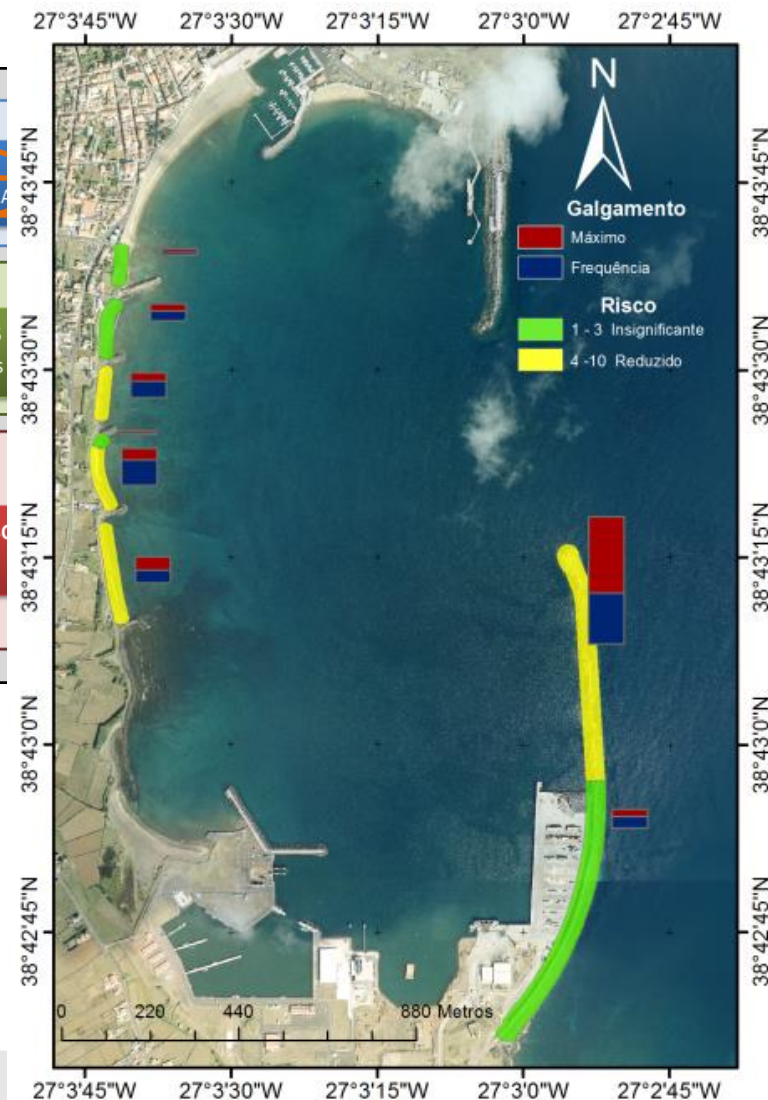
Praia da Vitória

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)



Avaliação das consequências (AHP)

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

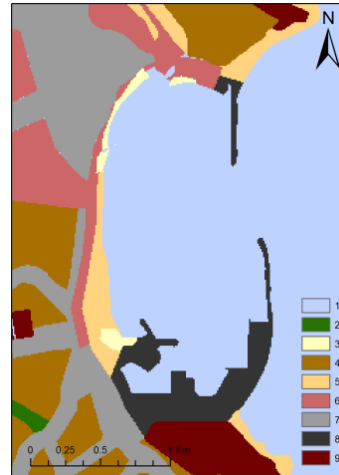
c) Atribuição dos pesos “empíricos” às propriedades de cada indicador (1 a 9)

d) Avaliação da consistência dos pesos atribuídos aos indicadores

e) Sobreposição de todos os indicadores e propriedades

f) Construção do mapa de consequências

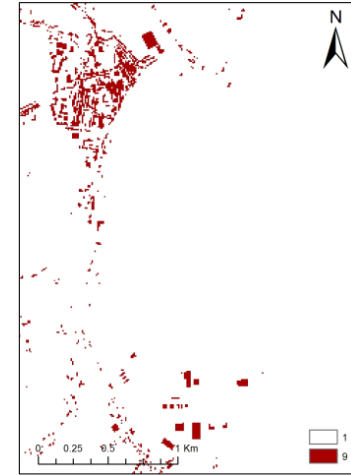
USO DO SOLO



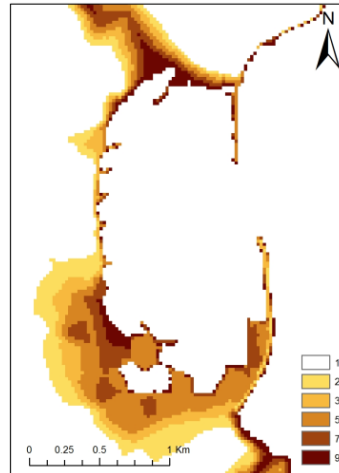
VIAS DE COMUNICAÇÃO



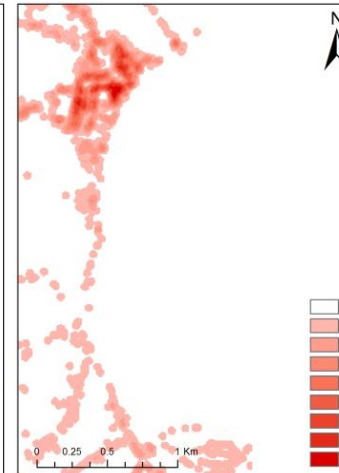
EDIFÍCIOS



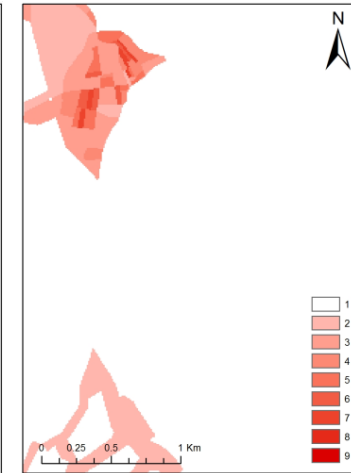
COTAS DE INUNDAÇÃO



ALOJAMENTOS



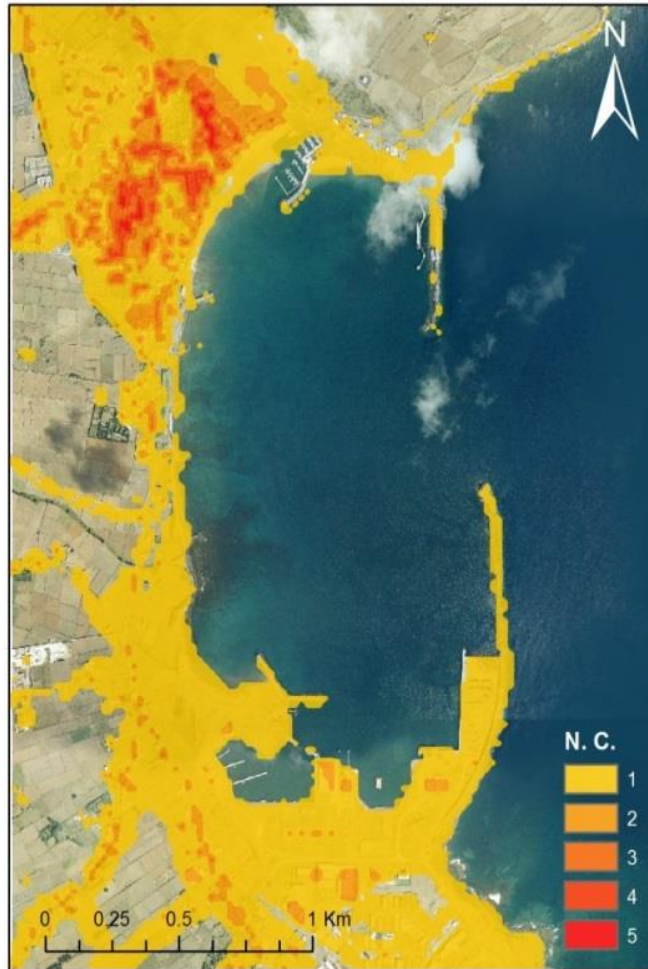
PESSOAS RESIDENTES



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/INUNDAÇÕES**
- **MAIOR PERIGO NO MEIO DA DEFESA FRONTAL (ZONA COM GALGAMENTOS/INUNDAÇÕES)**

Praia da Vitória

Sistema de alerta - WWIII

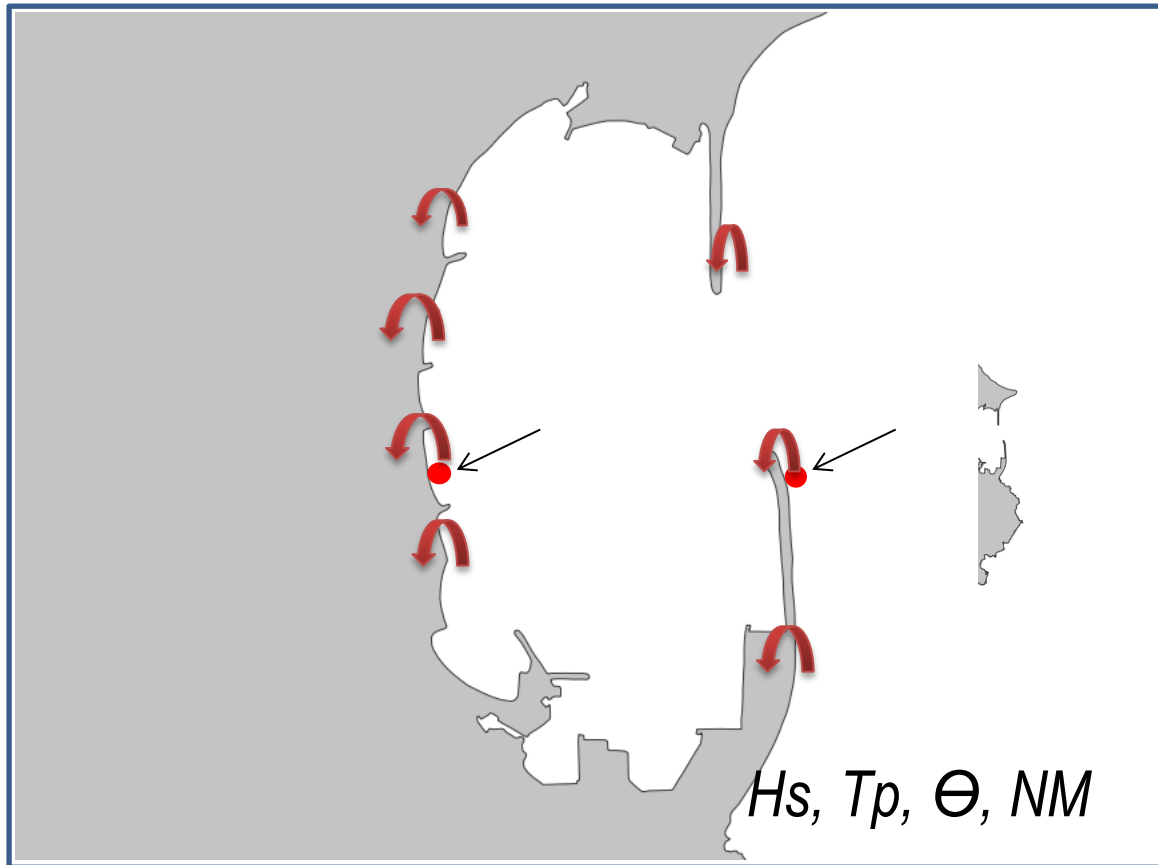
WWIII

SWAN

DREAMS

NN OVERTOPPING

ALERTA



PREVISÕES AO LARGO

CÁLCULO DOS
GALGAMENTO

PREVISÕES JUNTO
À ILHA

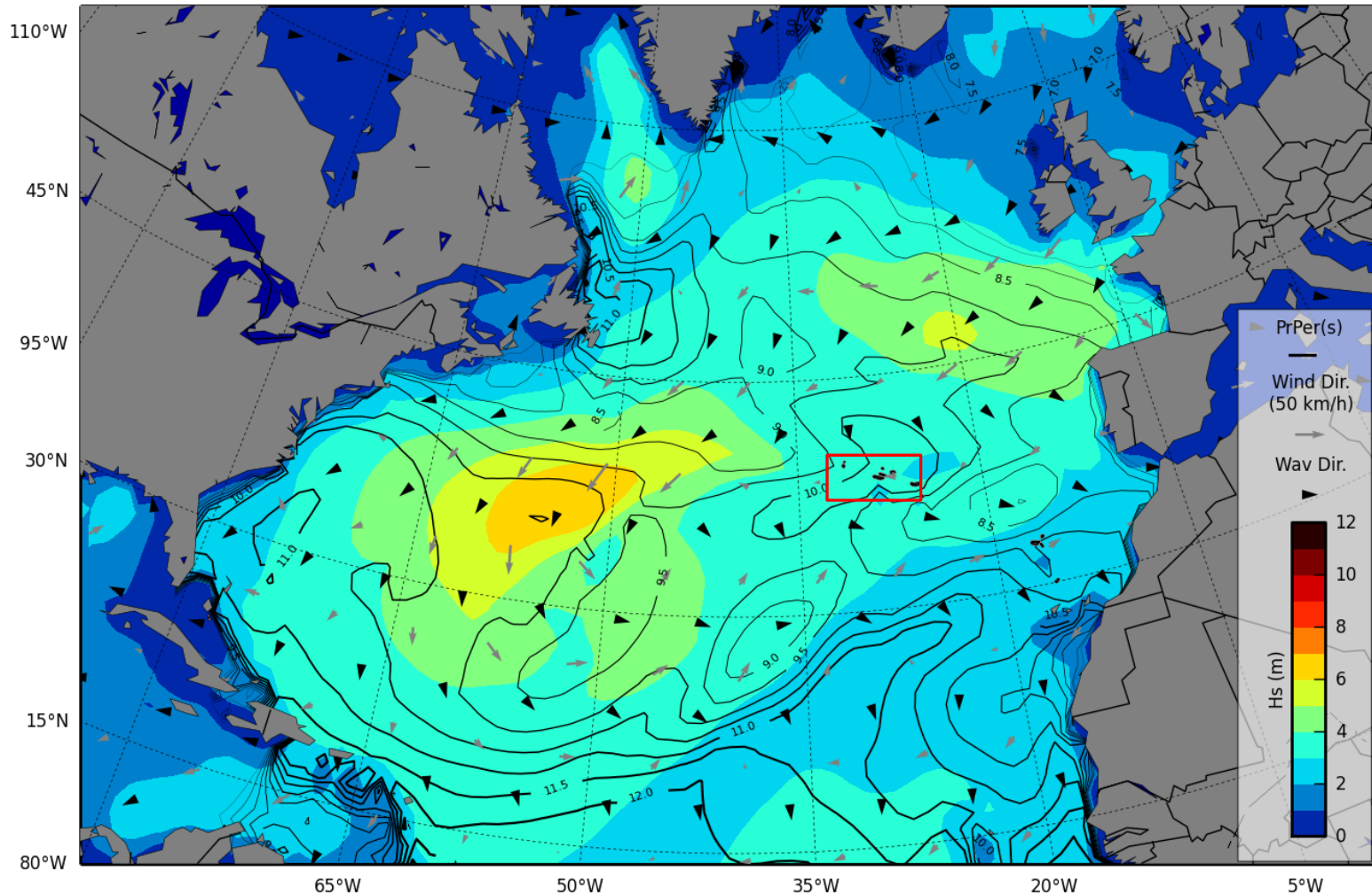
PREVISÕES NO
INTERIOR DO PORTO

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

Praia da Vitória

Sistema de alerta - WWIII

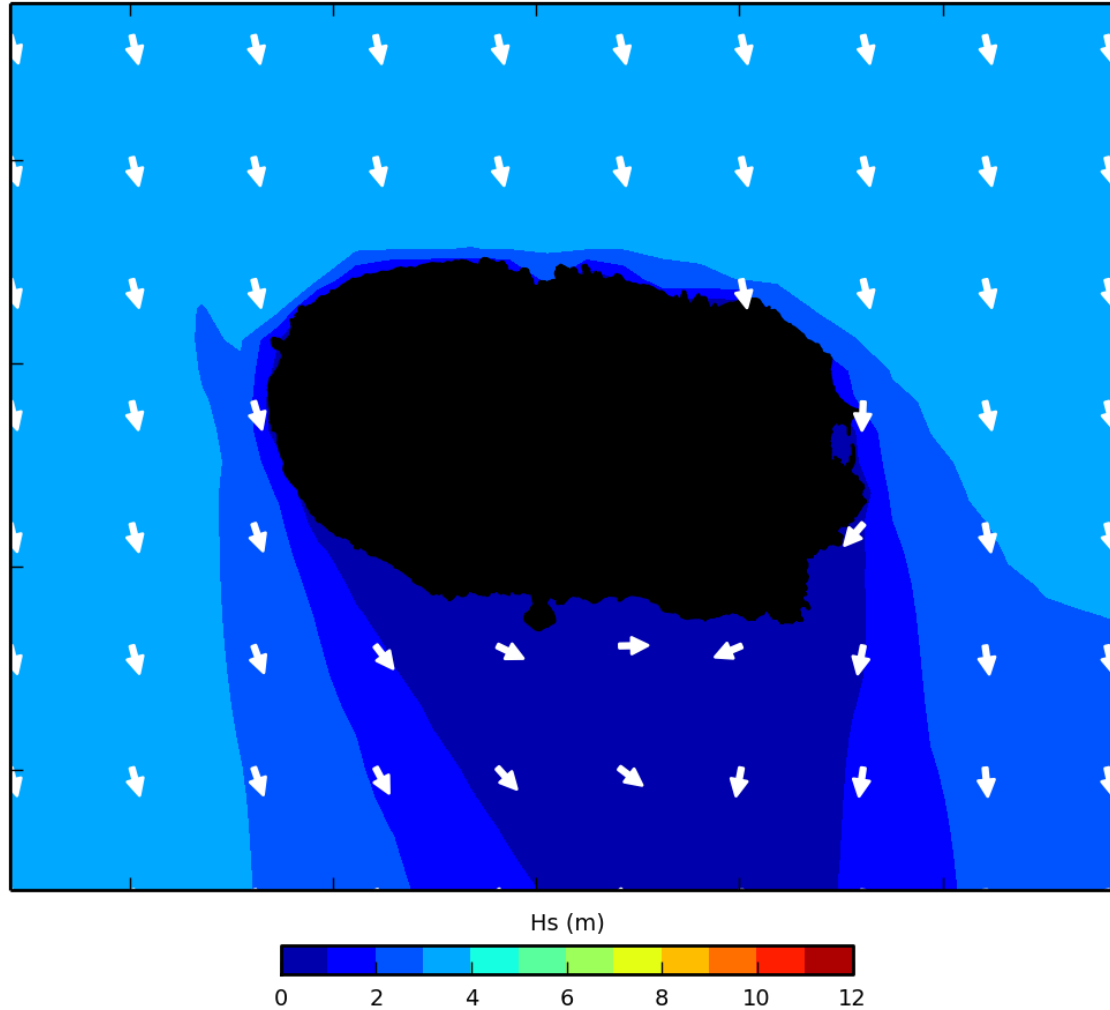
2013-03-12 00:00:00



Praia da Vitória

Sistema de alerta - SWAN

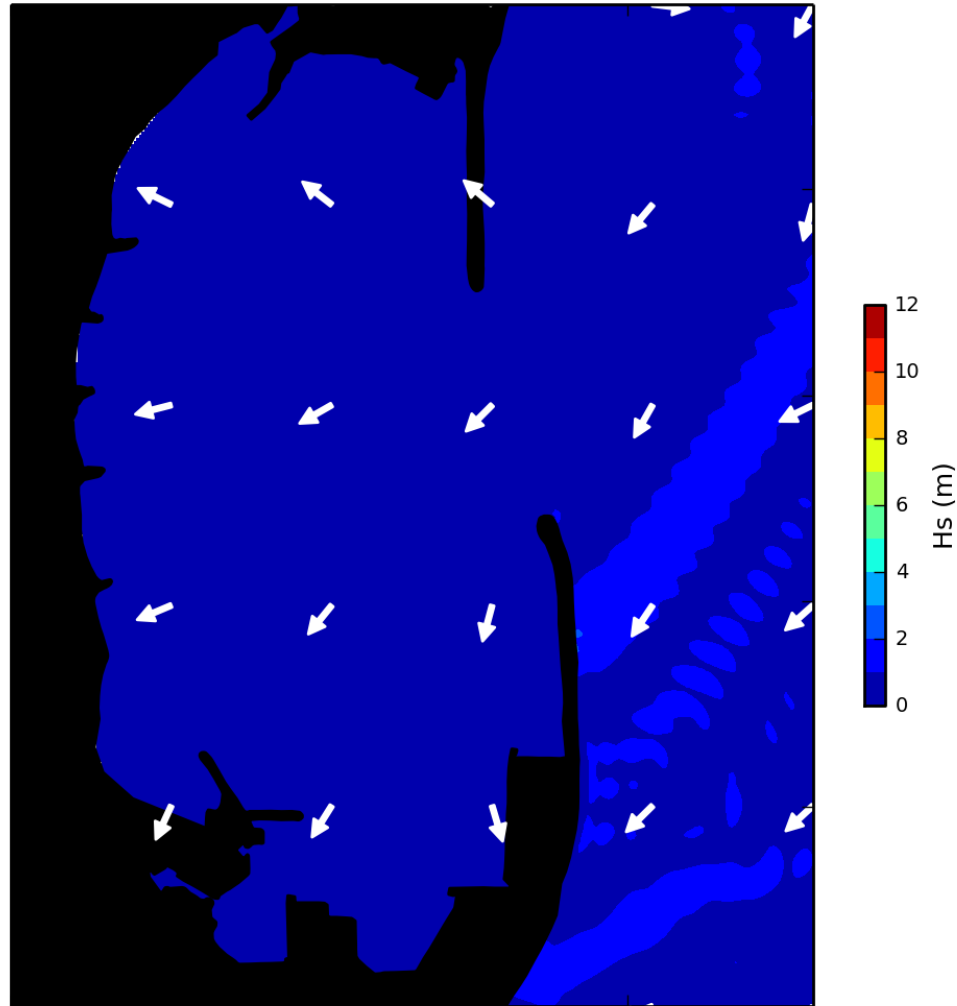
2013-03-12 00:00:00



Praia da Vitória

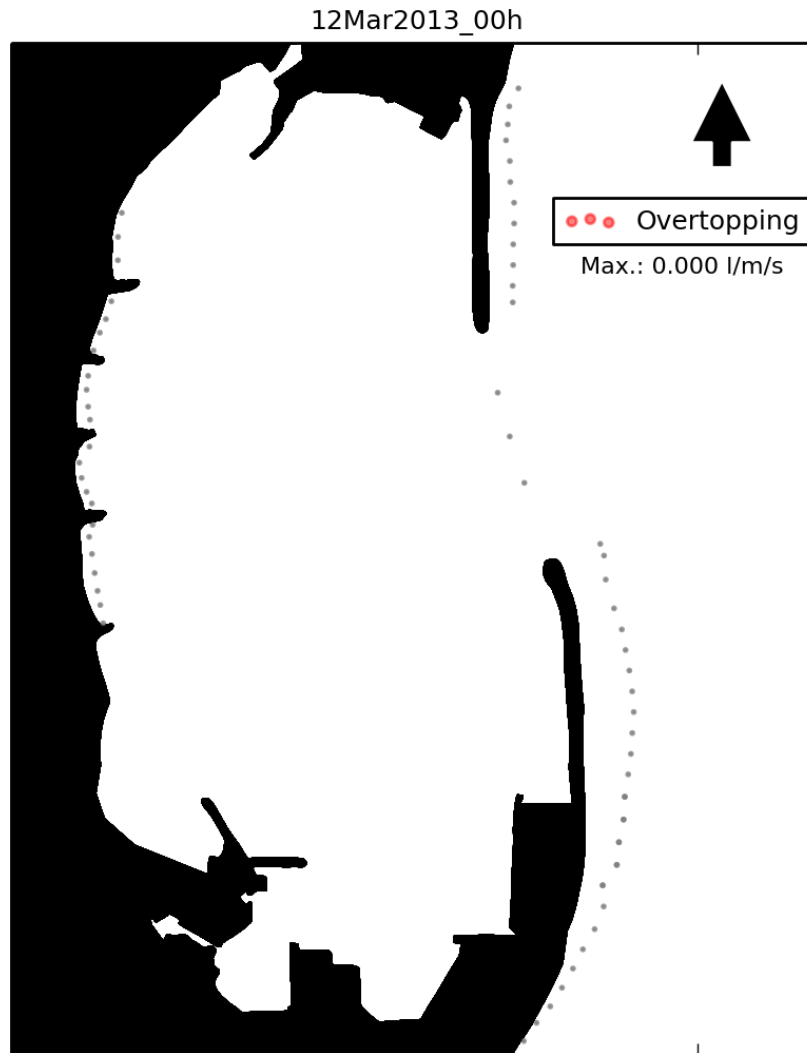
Sistema de alerta - DREAMS

2013-03-12 00:00:00



Praia da Vitória

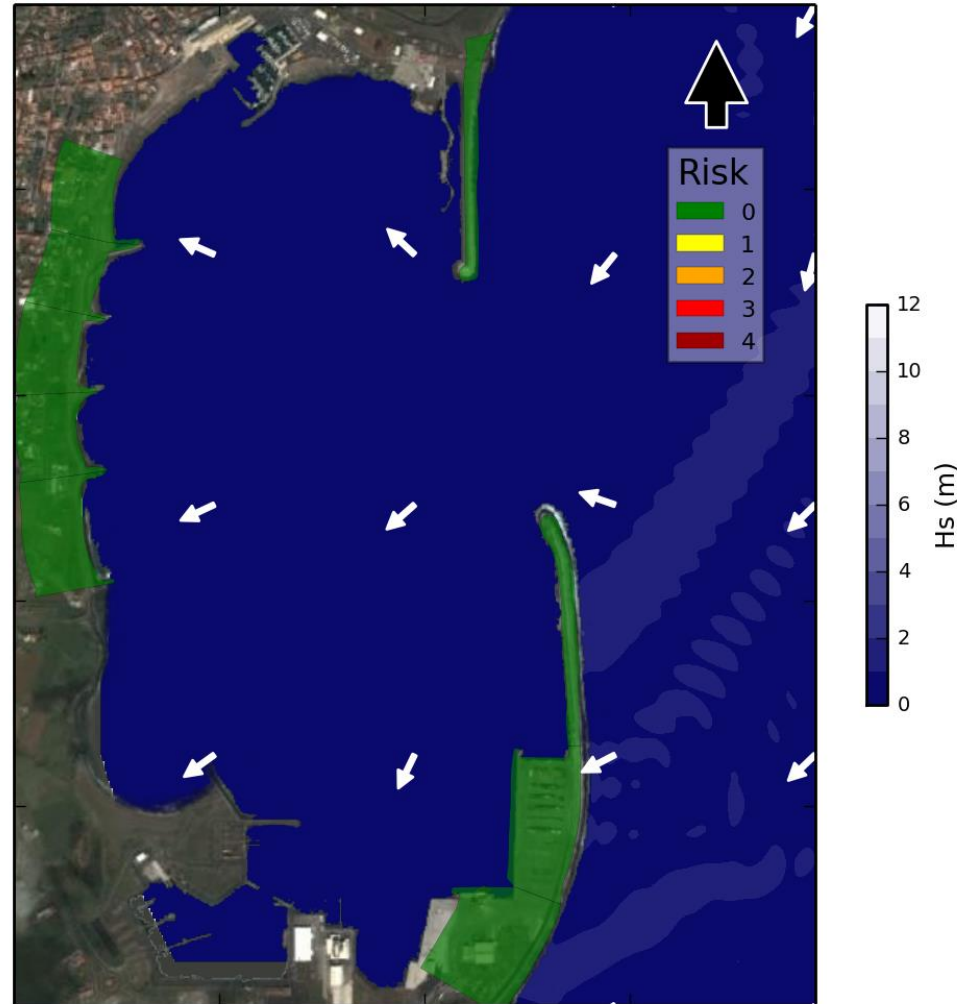
Sistema de alerta – NN_OVERTOPPING2



Praia da Vitória

Sistema de alerta

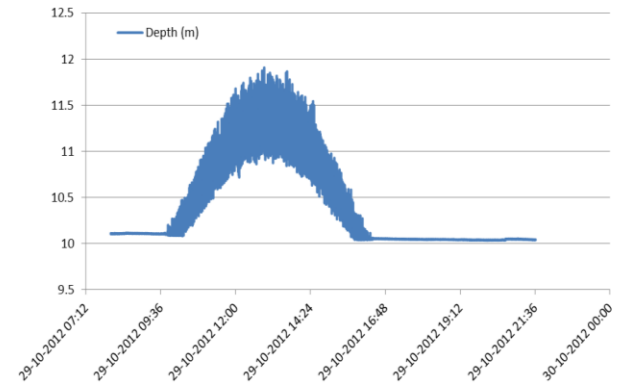
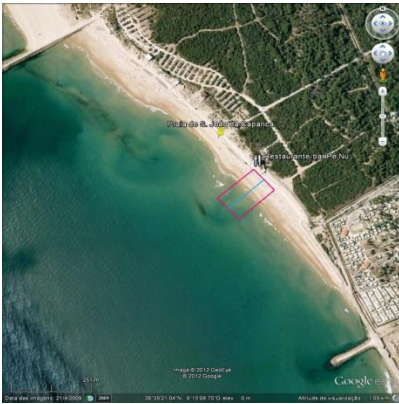
2013-03-12 00:00:00



Sistema HIDRALERTA

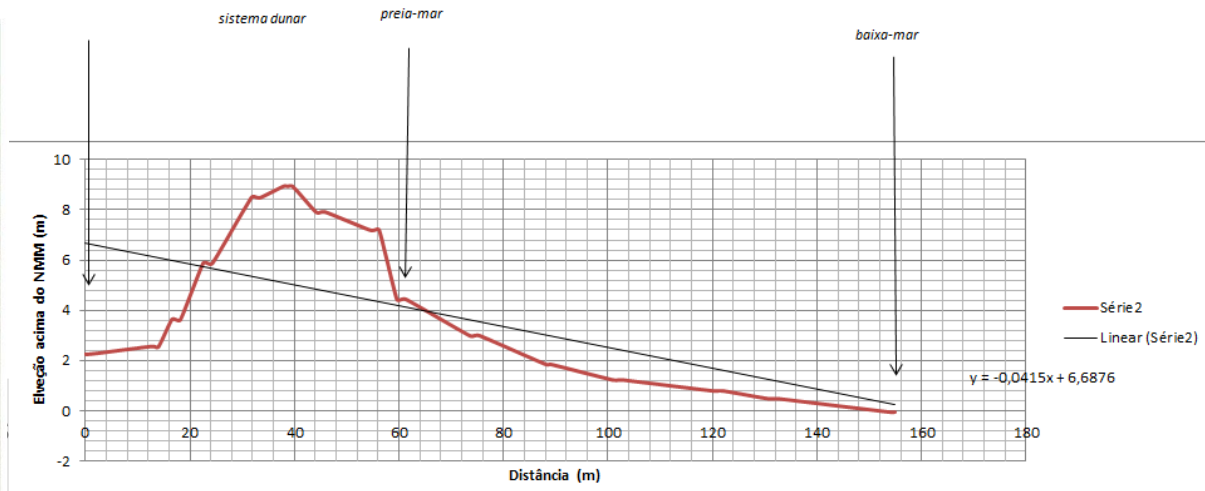
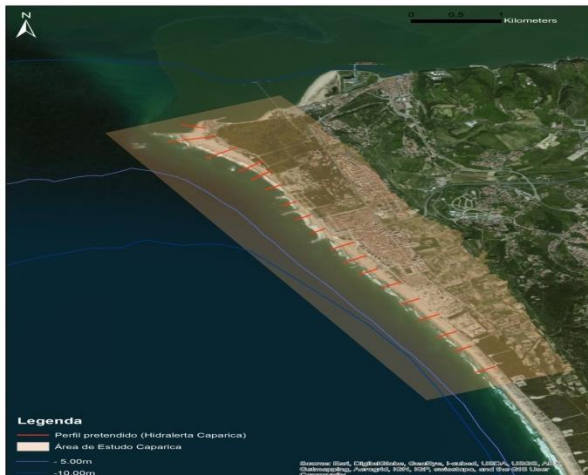
Outras vertentes

- 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!



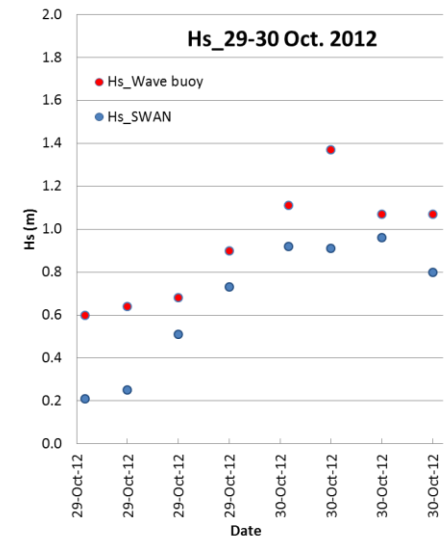
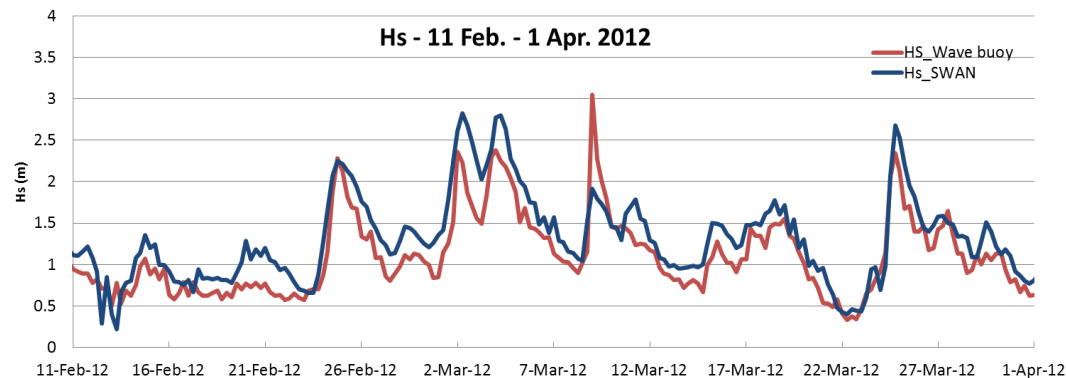
Sistema HIDRALERTA

Outras vertentes

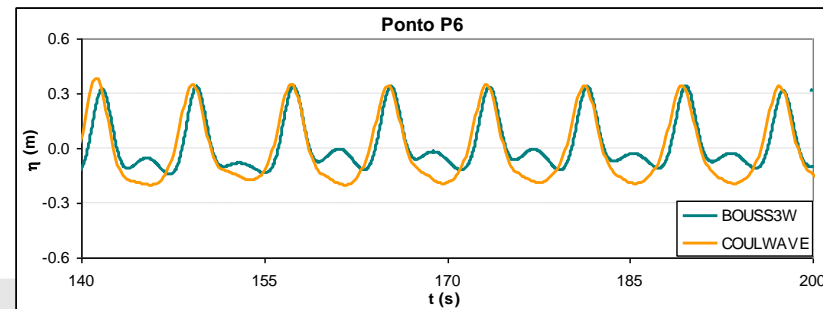
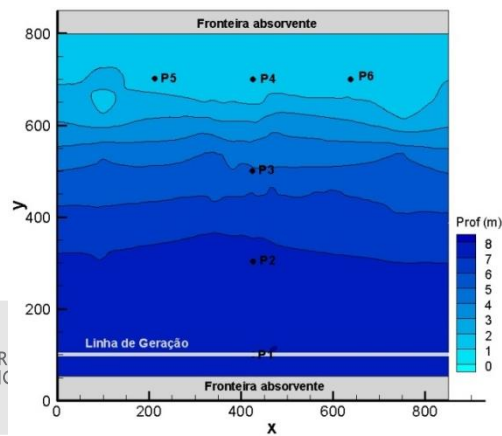
- Aplicação dos modelos numéricos e comparação com dados in situ

Novo!

Modelo SWAN



Modelo BOUSS3W



Sistema HIDRALERTA

Outras vertentes

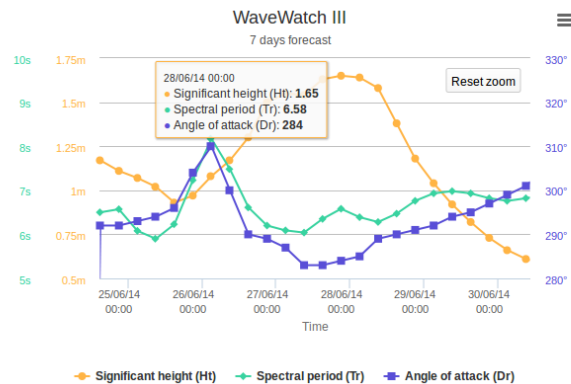
Novo!

- Sistema de Alerta

Hidralerta EN PT Welcome amgs. Zones Admin Logout

Porto da Praia da Vitória, Açores, Portugal

Table Chart



PTDC/AAC-AMB/120702/2010 - FCT LNEC UNL UAç
home about contacts

localhost:8000

lerta 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

PTDC/AAC-AMB/120702/2010 - FCT LNEC UNL UAç
home about contacts

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, espraimento/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 espraimento, caudais galgados e cotas de inundação.
 - Estes dados serão utilizados na avaliação do desempenho de ferramentas empíricas, neuronais 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

