



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

MODELAÇÃO NUMÉRICA DA INTERACÇÃO ONDA-ESTRUTURA

Maria da Graça Neves
Maria Teresa Reis
Eric Didier

Introdução

> Estruturas de protecção marítima

- Proteger a linha de costa
- Criar condições de abrigo

> Cálculo de interacção onda-estrutura

- Métodos semi-empíricos
- Modelo físico
- Modelos numéricos

> Modelos devem

- Modelar correctamente os fenómenos
- Permitir conhecer o comportamento hidrodinâmico
 - o *Garantir a estabilidade*
 - o *Garantir a funcionalidade*



Modelos utilizados no LNEC

> Modelos

- **AMAZON** utilizado em projecto
- **COBRAS-UC** utilizado em apoio a projecto
- **SPHYSICS** em fase de desenvolvimento

> Cada modelo

- Descrição
- Exemplo de aplicação

> Caso de estudo

- Estrutura de protecção portuária – **AMAZON** e **COBRAS-UC**
- Estrutura de protecção marginal – **SPHYSICS**
- Dados de modelo físico

AMAZON

- > Desenvolvido na Universidade Manchester Metropolitan
- > Equações não lineares de águas pouco profundas
 - Simplificação das equações de Reynolds
 - Modelo de turbulência "zero equation"
- > Método de volumes finitos
 - Malha
 - *Elementos de qualquer forma*
 - *Espaçamento irregular*
- > Simula
 - Agitação regular e irregular (espectro ou série temporal)
 - Rebentação (conceito de macaréu)

AMAZON

> Limitações

- Não modela explicitamente os meios porosos
- Pequenos domínios de cálculo (L do pé da estrutura)
- Não modela a parte reflectora das estruturas verticais
- Aplicável a ondas relativamente longas e de pequena amplitude

> Vantagens

- Rapidez de cálculo
- Flexibilidade de geometrias

> Domínio de aplicação mais apropriado

- Estudos de espraiamento e galgamento em estruturas impermeáveis de protecção costeira e portuária

> Desenvolvimentos

- Modelação de meios porosos
- Acoplamento de um modelo de propagação de ondas

COBRAS-UC

- > Desenvolvido na Universidade de Cornell
 - Adaptado e melhorado na Universidade de Cantabria
- > Equações de Reynolds
 - Modelo de turbulência $k-\varepsilon$
 - Tem em conta o escoamento em meios porosos
- > Método de diferenças finitas
 - Superfície livre: VOF
 - Malha
 - *Elementos rectangulares*
 - *Espaçamento irregular*
- > Simula
 - Agitação regular e irregular (função fonte ou batedor)
 - Rebentação
 - Escoamento em meios porosos

COBRAS-UC

> Limitações

- Calibração dos meios porosos e de alguns parâmetros de turbulência
- Tempo de cálculo

> Vantagens

- Precisão no cálculo da superfície livre, pressão,...
- Precisão dentro e fora da zona de rebentação
- Flexibilidade de geometria
- Domínios de dimensão médio

> Domínio de aplicação

- Estudos de interacção onda-estrutura

SPHYSICS

> Desenvolvido na Universidade de Johns Hopkins

> Equações

- Baseado num método Lagrangiano, que não necessita de malha
- Resolve as equações SPH, obtidas a partir das equações de Navier-Stokes, por interpolação de um conjunto de pontos

> Método

- Kernels de interpolação:

o Funções analíticas que podem ser diferenciadas sem necessitar de uma malha espacial

> Simula

- Agitação regular e irregular
- Rebentação
- Escoamento em fundos impermeáveis

SPHYSICS

> Limitações

- Condições de fronteira difíceis de implementar
- Resolução função do nº de partículas da zona
- Domínio de dimensão reduzida
- Elevados tempos de cálculo

> Vantagens

- Apenas modela a zona de interesse (fluido)
- Permite modelar objectos móveis e deformáveis
- Permite modelar deformações extremamente complexas da superfície livre

> Domínio de aplicação

- Interações complexas entre onda e estrutura
- Estudo de galgamento em estruturas costeiras impermeáveis

> Desenvolvimentos

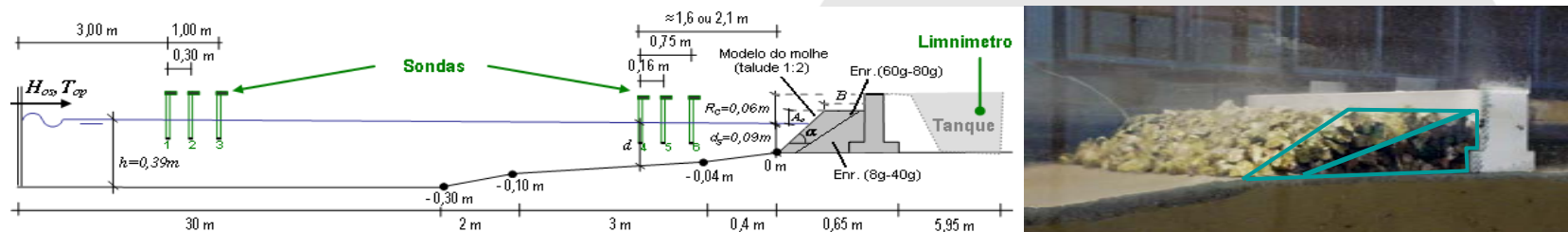
- Acoplamento com um modelo de propagação de ondas
- Modelação de meios porosos

Caso de aplicação

> Estrutura de protecção marítima

- Quebra-mar da Póvoa de Varzim

AMAZON e COBRAS-UC



- Objectivo:
 - o estudo do galgamento
- Existem resultados de ensaios
- Características geométricas
 - o 2 mantos de enrocamento

AMAZON

> Domínio de cálculo

- 2,4 m
- d/L_{op}
 - o Entre 0,019 e 0,035
 - o Literatura: 0,016 a 0,30

> Fronteiras

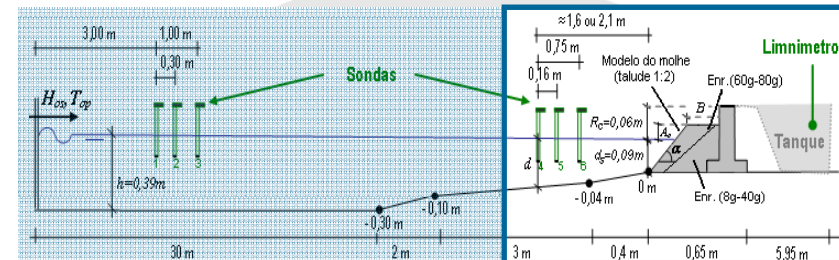
- Entrada: série incidente calculada (M&F, sondas 4, 5 e 6)
- Saída: absorção total a 0,16 m da super estrutura

> Malha

- 1 cm ($x < -2$), 4 mm ($-2 < x < 0$), 2 mm ($0 < x < 7.5$)
- o Mínimo d na célula: 2×10^{-5} cm

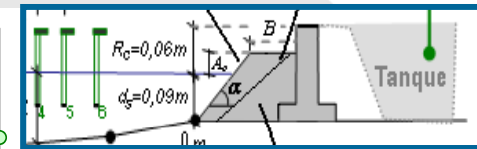
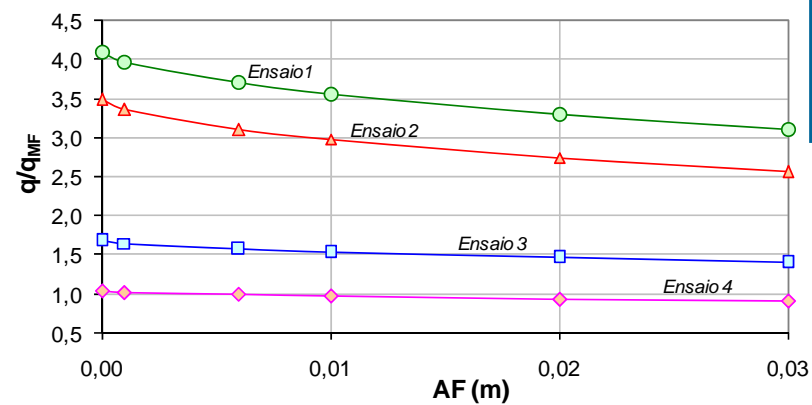
> Geometria

- Fundos e envolvente do molhe bem reproduzidos
- Meios porosos: permeabilidade simulada através do parâmetro de atrito de fundo

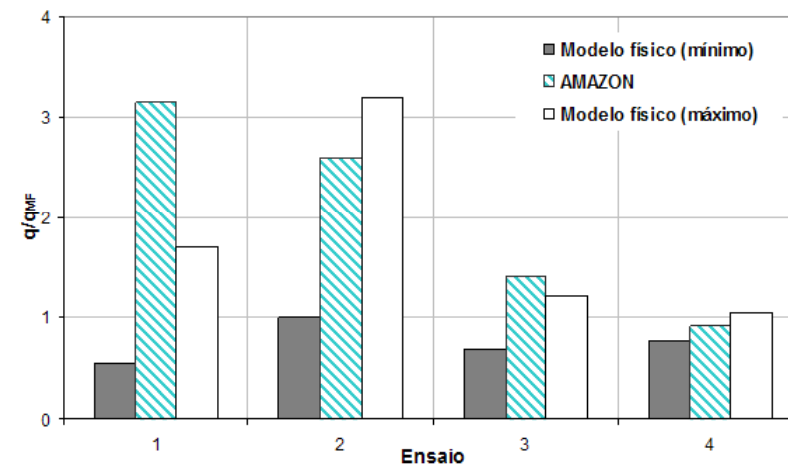


RESULTADOS

> AMAZON



- Diferenças
 - Diferentes séries incidentes
 - Meios porosos
- Dentro da gama
 - (excepto ensaio 1)
- Tempo de cálculo
 - 1h/300s



COBRAS-UC

> Domínio de cálculo

- Canal completo (42 m)
 - o *Duas esponjas numéricas* (4m no início, 3 m no final)

> Fronteiras

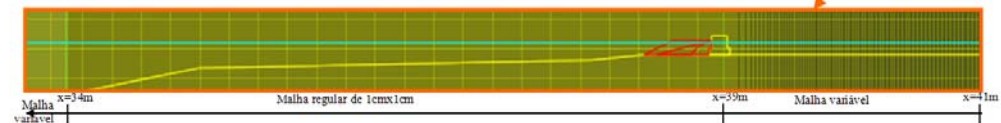
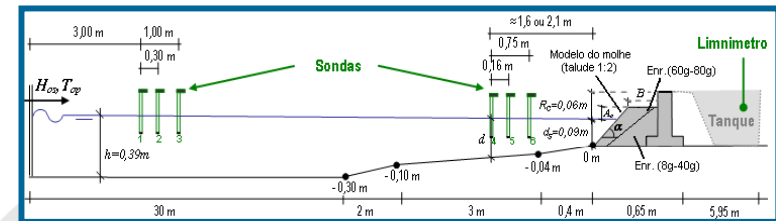
- Entrada: série incidente calculada (M&F, sondas 1, 2 e 3)
- Saída: absorção

> Malha

- Malha de cálculo
 - o *1 cm na zona de interesse (2093x72)*

> Geometria

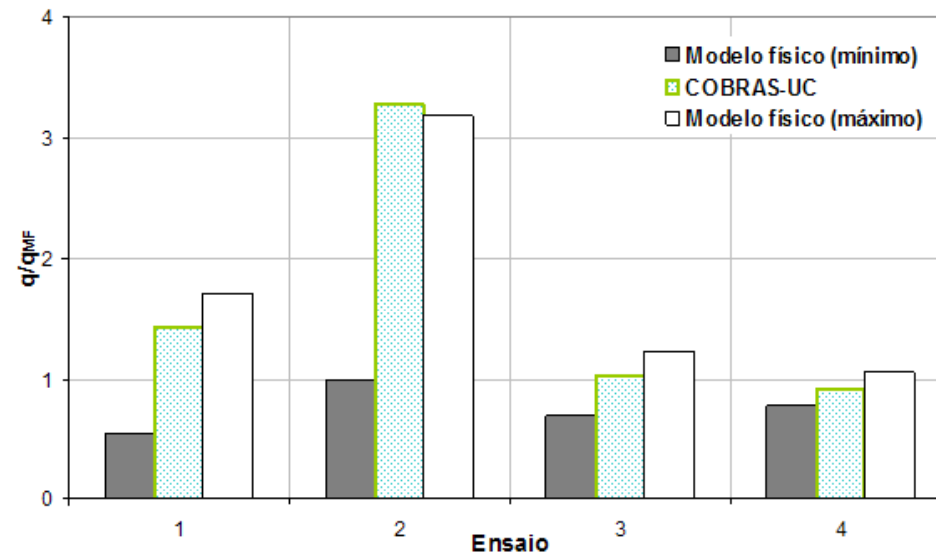
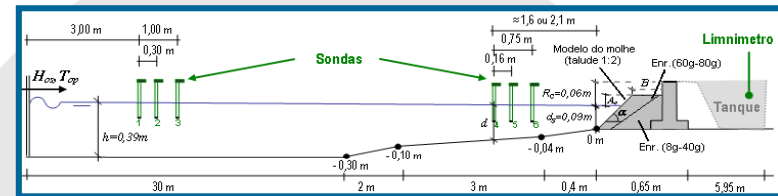
- Fundos e envolvente do molhe bem reproduzidos
- Meios porosos: calibrados com ensaios de agitação regular



RESULTADOS

> COBRAS-UC

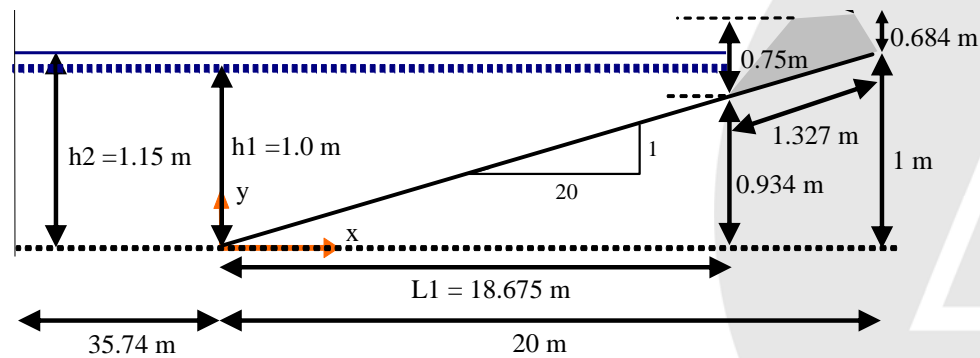
- Diferenças
 - o *Diferentes séries incidentes*
- Dentro da gama
- Tempo de cálculo
 - o *48h/300s*



Caso de aplicação

> Estrutura de protecção marginal

- Estrutura típica impermeável



SPHYSICS



- Objectivo:
 - o estudo de rebentação e galgamento
- Existem resultados de ensaios
- Características geométricas
 - o talude impermeável com rugosidade

SPHYSICS

> Domínio de cálculo

- 17 m

> Fronteiras

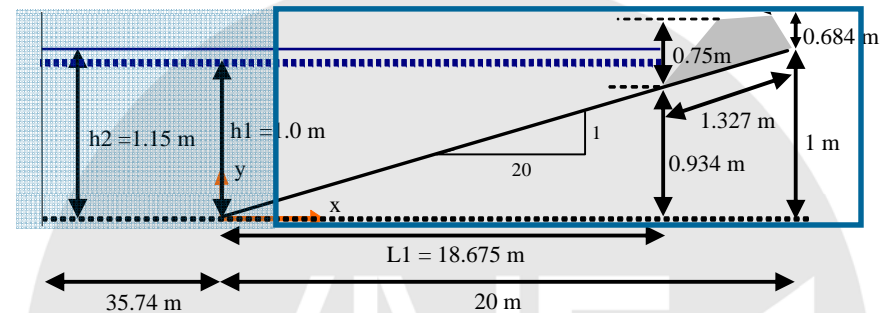
- Entrada: batedor sem absorção

> Partículas

- Diferentes tipos
 - o 40 móveis para o batedor
 - o 4945 fluidas (Distância inicial 0,05 m)

> Geometria

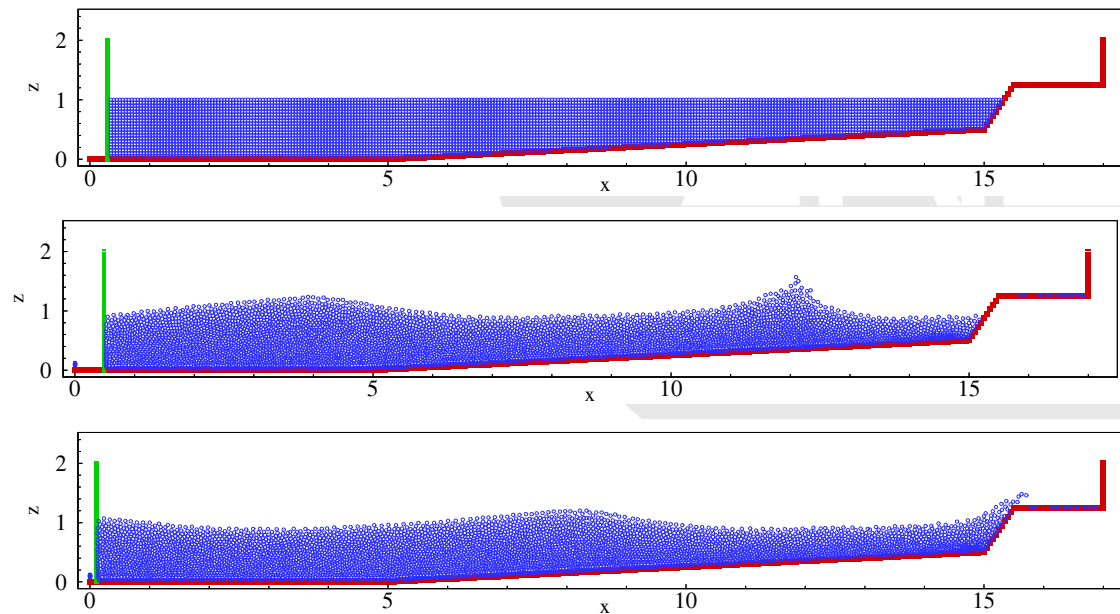
- Fundos e talude bem reproduzidos



RESULTADOS

> SHYCSICS

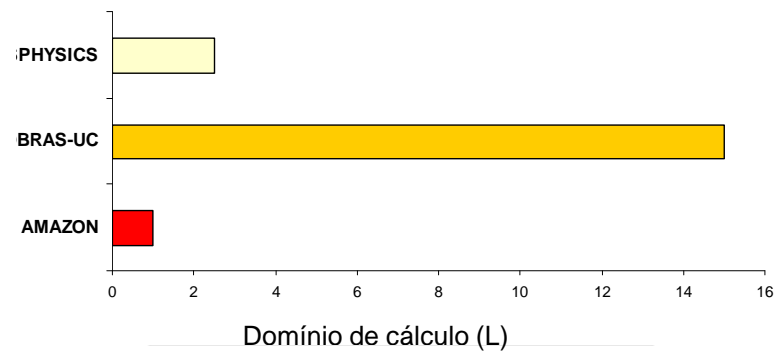
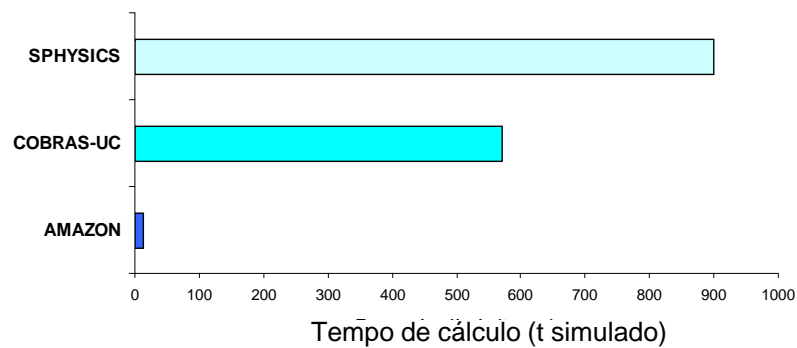
- Resultados qualitativamente correctos



Resumo

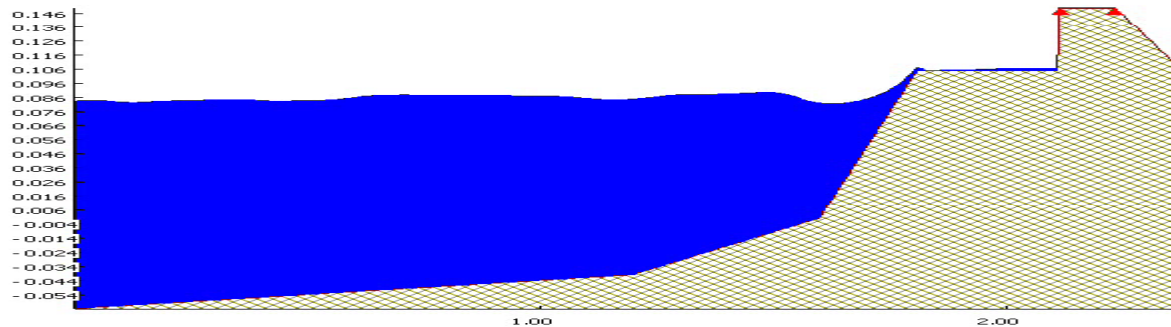
> Modelos

- Quanto + completos
 - o > tempo de cálculo
- Escolha baseada no objectivo
 - o Dimensão do domínio de aplicação
 - o Tempo de cálculo



- o Fenómenos mais importantes a modelar

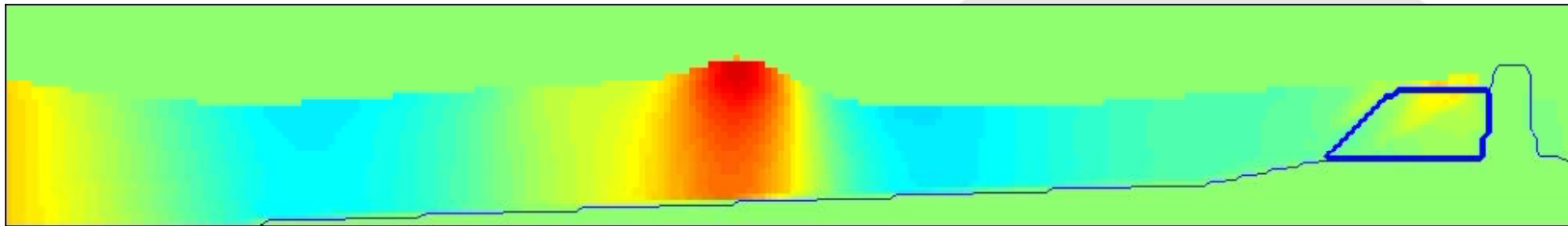
AMAZON



> Fenómenos:

- o *Reflexão*
 - o *Espraiamento e galgamento sobre estruturas*
 - o *Rebentação (utiliza o conceito de macaréu)*
 - o *Escoamento com atrito de fundo*
- Domínio de aplicação mais apropriado:
 - o *estudos de espraiamento e galgamento em estruturas impermeáveis de protecção costeira e portuária*

COBRAS-UC



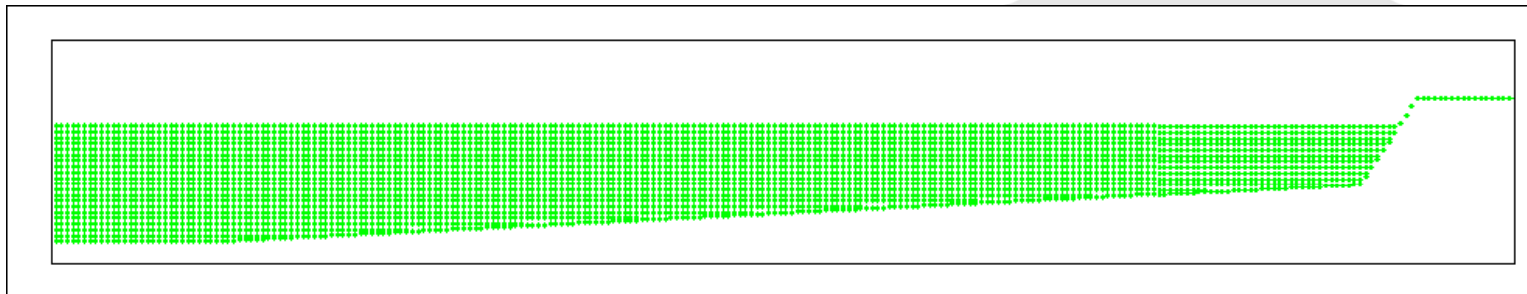
> Fenómenos:

- o *Reflexão*
- o *Espraiamento e galgamento sobre estruturas*
- o *Rebentação*
- o *Escoamento em meios porosos*
- o *Transmissão*
- o *Interacção não linear*

● Domínio de aplicação:

- o *estudos de interacção entre ondas e estruturas:*
 - *de protecção costeira e portuária,*
 - *de geometria simples ou complexa,*
 - *tanto impermeáveis como porosas*

SPHYSICS



> Fenómenos:

- o *Reflexão*
- o *Espraiamento e galgamento sobre estruturas*
- o *Rebentação*
- o *Interacção não linear*
- **Domínio de aplicação:**
 - o *Interacções complexas entre onda e estrutura*
 - o *Estudo de galgamento em estruturas costeiras impermeáveis*