Difracção de Ondas por Quebra-mares Destacados Permeáveis: Modelação Numérica

Filipa S. B. F. Oliveira

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal

Índice

1. Objectivo, enquadramento e inovação
2. Metodologia
3. Modelo matemático
   3.1 Equação governante e esquema de cálculo
   3.2 Formulação de fronteiras externas e internas
4. Casos de estudo
   4.1 Quebra-mar único
   4.2 Uma abertura entre quebra-mares
   4.3 Quebra-mar segmentado
5. Conclusões

Objectivo, Enquadramento e Inovação

- ✓ Objectivo

  Determinação do efeito de obstáculos permeáveis emersos no campo de ondas

- ✓ Enquadramento

  Análise do impacto de estruturas de protecção costeira na hidrodinâmica e dinâmica sedimentar

- ✓ Inovação

  Modelação numérica de fronteiras internas com reflexão e transmissão parciais

Metodologia

Modelo Matemático

Processos físicos

- Refracção
- Difracção
- Reflexão
- Rebentação

Baseado

- Sistema Hiperbólico (eqs. continuidade e movimento)
- Discretização em diferenças finitas
- Fronteiras externas (geração-radiação e radiação)
- Fronteiras internas (reflexão-transmissão-absorção parciais)

Estruturas costeiras

- Transmissão parcial
- Reflexão parcial

Modelo matemático
Formulação governante

Sistema de equações governantes:

$$\begin{cases} \nabla Q + \dfrac{C_g}{C}\dfrac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \\ \dfrac{\partial Q}{\partial t} + CC_g \nabla \eta = 0 \end{cases}$$

Esquema de diferenças finitas

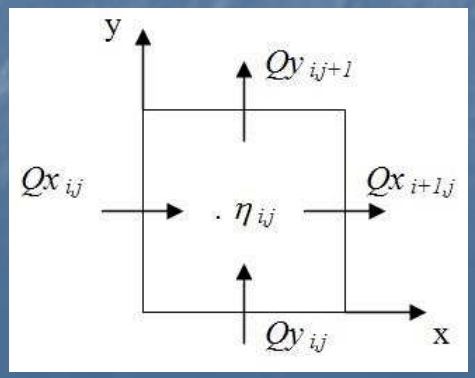
$$\eta_{ij}^{t+\Delta t/2} = \eta_{ij}^{t-\Delta t/2} - \left(\frac{C}{C_g}\right)_{ij}\left[Qx_{i+1,j}^{t} - Qx_{ij}^{t}\right]\Delta t/\Delta x - \left(\frac{C}{C_g}\right)_{ij}\left[Qy_{i,j+1}^{t} - Qy_{ij}^{t}\right]\Delta t/\Delta y$$

$$Qx_{ij}^{t+\Delta t} = Qx_{ij}^{t} - \left(CC_g\right)_{ij}\left[\eta_{ij}^{t+\Delta t/2} - \eta_{i-1,j}^{t+\Delta t/2}\right]\Delta t/\Delta x$$

$$Qy_{ij}^{t+\Delta t} = Qy_{ij}^{t} - \left(CC_g\right)_{ij}\left[\eta_{ij}^{t+\Delta t/2} - \eta_{i,j-1}^{t+\Delta t/2}\right]\Delta t/\Delta y$$

Relação de dispersão: $\omega^2 = gk\tanh(kh)$

Esquema de cálculo:



Modelo matemático

Fronteiras externas e internas

- ✓ Fronteiras externas: de geração-radiação e de radiação
- ✓ Fronteiras internas: de reflexão-transmissão-absorção parciais

Fronteira Aberta

Fronteira de entrada

$$\frac{\Delta Qx}{\Delta x} - \left(\frac{\cos\theta}{C}\right)\frac{\Delta Qx}{\Delta t}\bigg|_{x=0} = 0$$

Fronteira de saída

$$Qx_{N,j}^{t} = AF\, Qx_{N-1,j}^{t-\tau}$$

$$Qx_{0,j}^{t+\Delta t} = qx_{0,j}^{t+\Delta t} + QE$$

$$qx_{0,j}^{t+\Delta t} = \eta C_g \cos\theta$$

$$QE = E1 - (E1 - E2)\, C \frac{\Delta t}{\Delta x \cos\theta}$$

$$E1 = Qx_{0,j}^{t} - qx_{0,j}^{t}$$

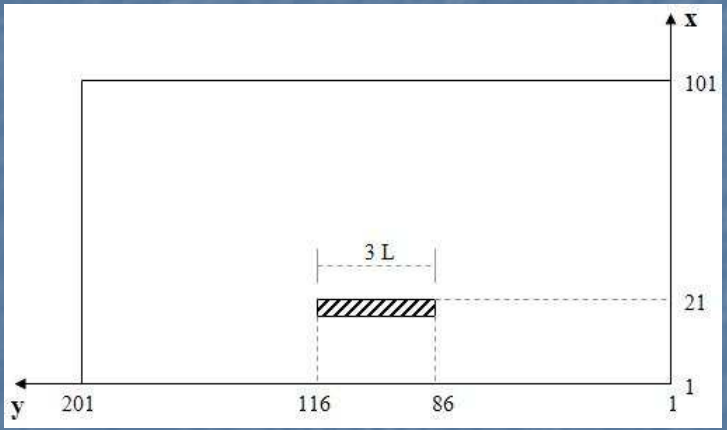
$$E2 = Qx_{1,j}^{t} - qx_{1,j}^{t}$$

Modelo matemático
Verificação e validação

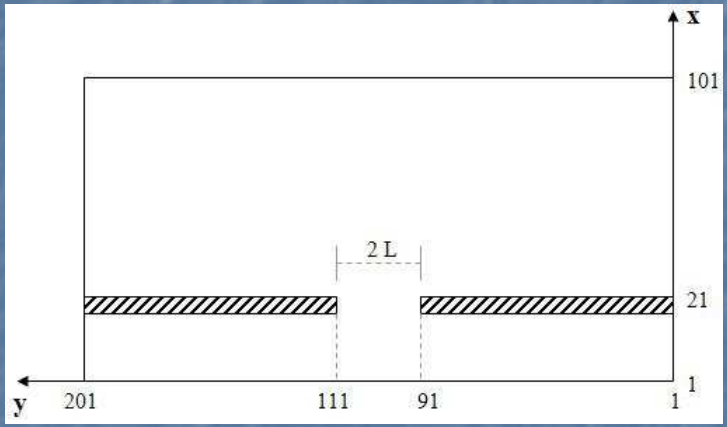
- ✓ Verificação
  1. Simulou-se a ocorrência individual e simultânea dos processos de refracção, difracção, reflexão e rebentação
  2. Compararam-se os resultados obtidos com resultados analíticos e experimentais (banco elíptico)
  3. Verificou-se boa concordância entre resultados
- ✓ Validação
  1. Garantia do requisito de fundo suave: experimentação feita sobre fundo plano (h=40m)
  2. Validade da teoria de ondas lineares:
     - ➢ Verifica-se pequena declividade $(\varepsilon = ka) << 1$ (onda incidente com H=1m e T=8s)
     - ➢ Verifica-se $Ur = (ka)/(kh)^3 < 1/3$ => características dispersivas predominam sobre as não lineares

Casos de estudo
Geometria

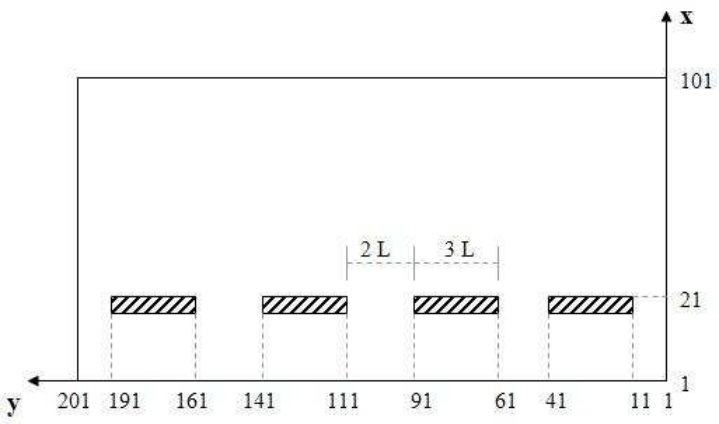
Quebra-mar único



Uma abertura entre quebra-mares



Quebra-mar segmentado



Casos de estudo
Permeabilidade da estrutura

$$E_i = E_r + E_t + E_d$$

- Incidente
- Reflectida
- Transmitida
  - penetração
  - ~~galgamento~~
- Dissipada
  - absorção
  - ~~rebentação~~

Coeficiente de transmissão:

$$C_t = \frac{H_t}{H_i} = \left(\frac{E_t}{E_i}\right)^{1/2}$$

Coeficiente de reflexão:

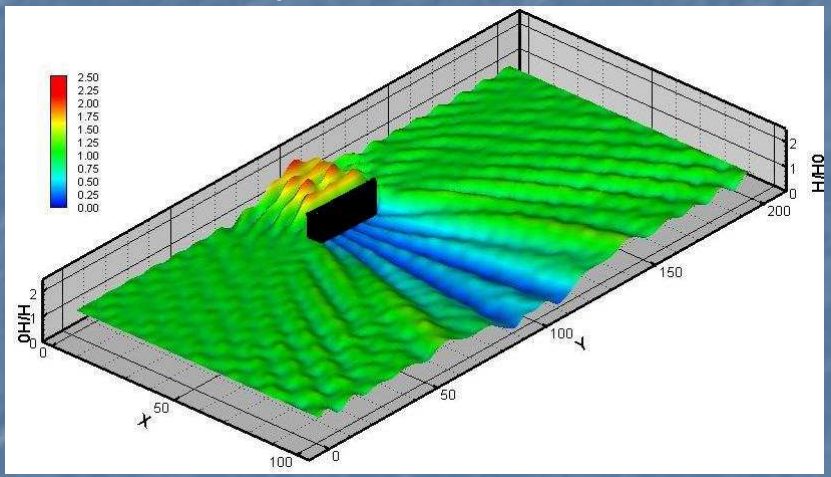
$$C_r = \frac{H_r}{H_i} = \left(\frac{E_r}{E_i}\right)^{1/2}$$

Testes

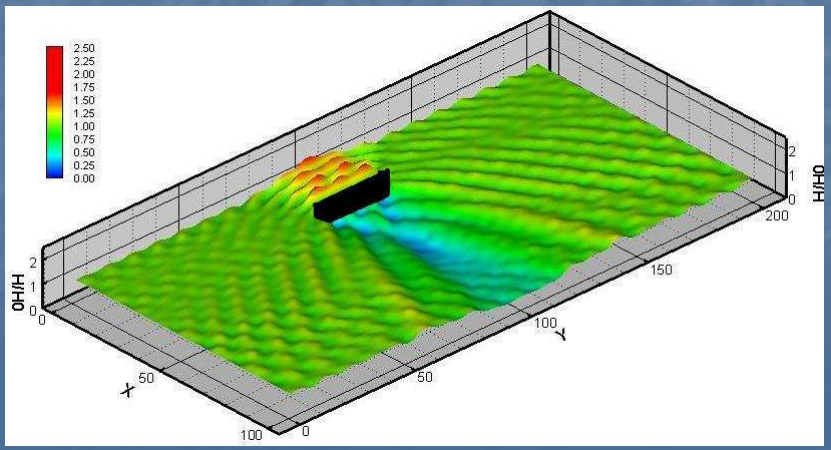
- Estrutura impermeável
  C_r=1.0; C_a=1.0
- Estrutura permeável
  C_r=0.6; C_a=0.6
  - Cálculo analítico:
    H_i=1.0m; H_t=0.506m

Resultados. Quebra-mar único

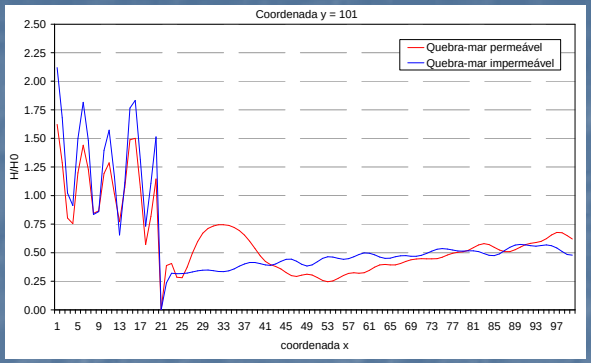
Quebra-mar impermeável



Quebra-mar permeável



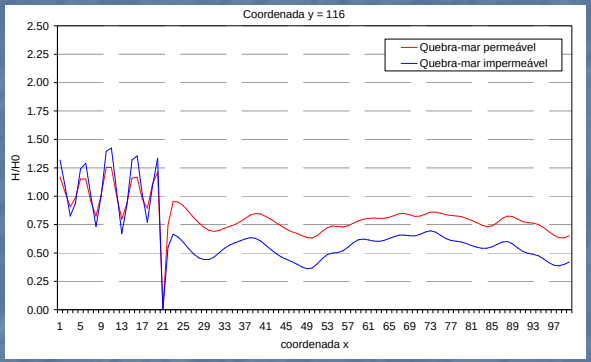
Corte a meio do quebra-mar



$E \propto H^2$

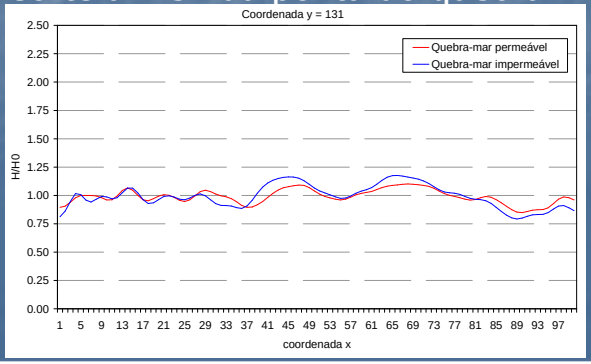
> 17%

Corte a passar na ponta do quebra-mar



> 97%

Corte a 1.5L da ponta do quebra-mar

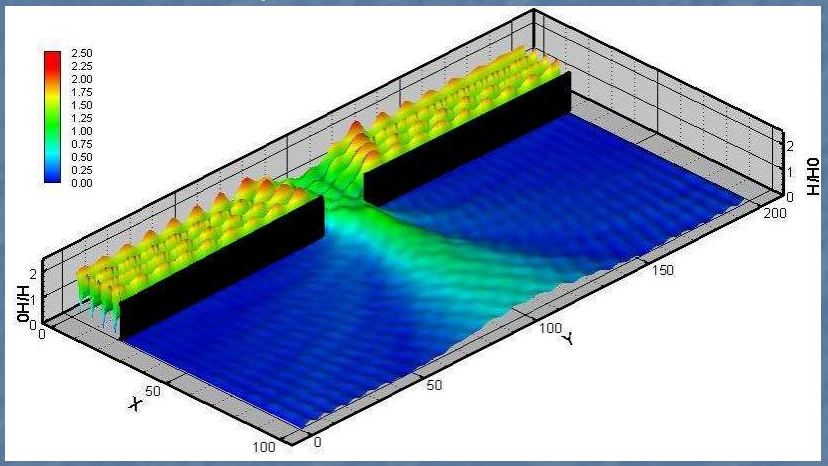


< 2%

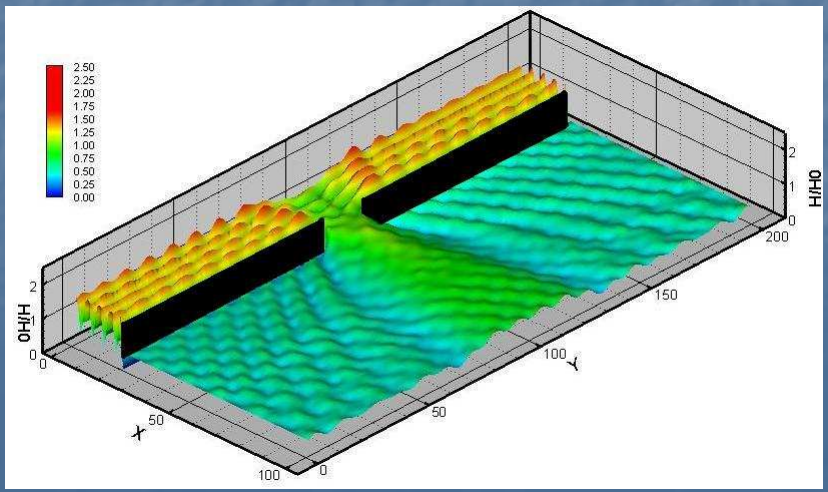
Resultados. Uma abertura entre quebra-mares

$E \propto H^2$

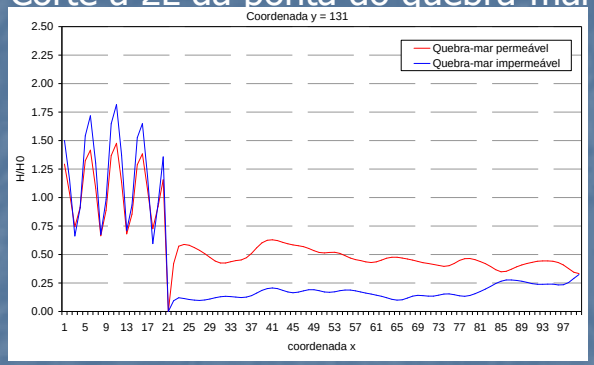
Quebra-mar impermeável



Quebra-mar permeável

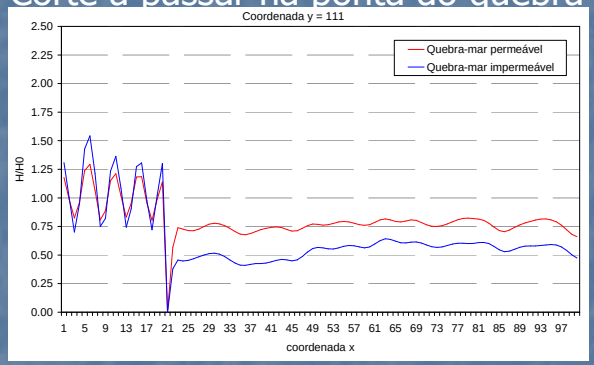


Corte a 2L da ponta do quebra-mar



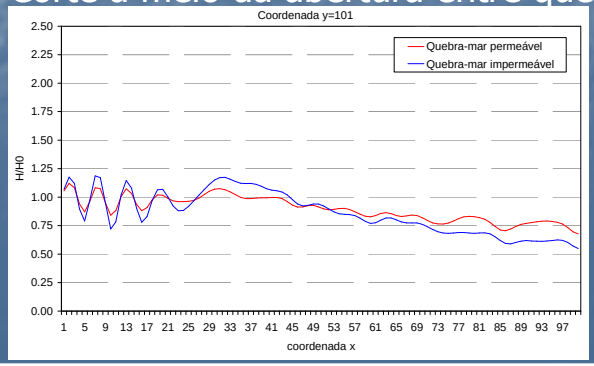
> 158%

Corte a passar na ponta do quebra-mar



> 96%

Corte a meio da abertura entre quebra-mares



> 6%

Resultados

- ✓ Boa precisão do modelo na simulação da permeabilidade de estruturas: a altura da onda transmitida, H_t, a meio do quebra-mar (à distância de 1.5L da ponta da estrutura), no caso do quebra-mar único, e à distância de 2L da ponta da estrutura, no caso de uma abertura entre quebra-mares, é bastante aproximada do valor esperado (resultado analítico), 0.506 m

- ✓ A permeabilidade da estrutura actua como amplificador da altura de onda difractada

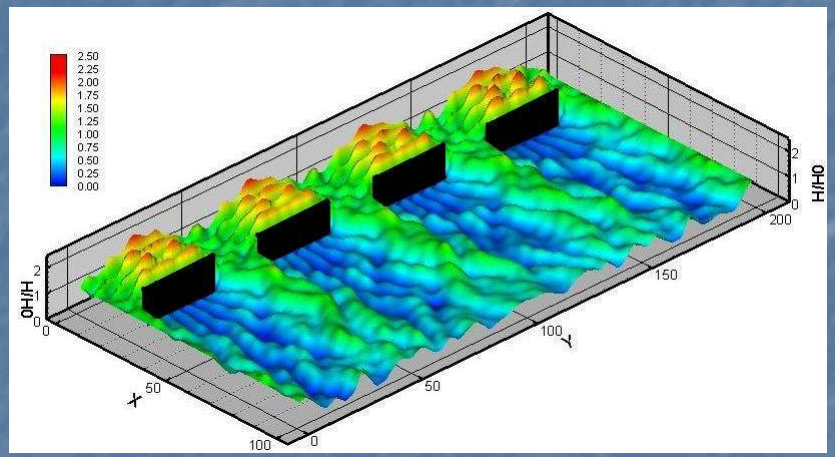
- ✓ O padrão de deformação por difracção é preservado

- ✓ O maior impacto da permeabilidade da estrutura no campo de ondas difractado verifica-se na zona central imediatamente adjacente à estrutura

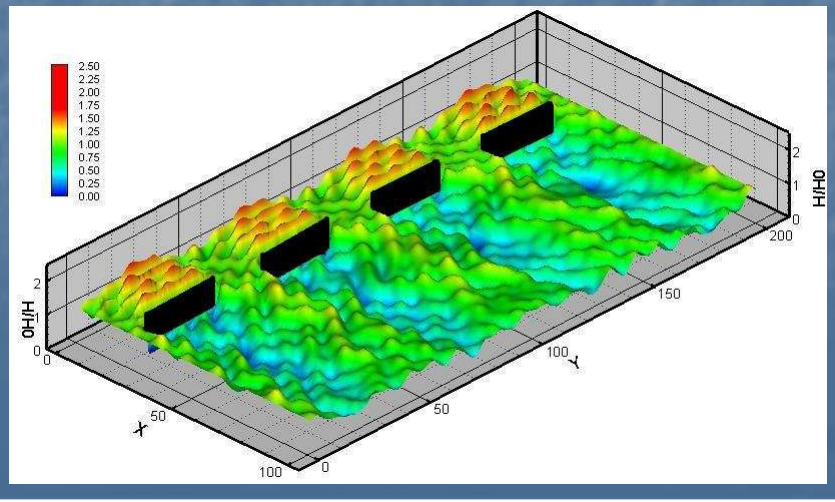
Resultados. Quebra-mar segmentado

$E \propto H^2$

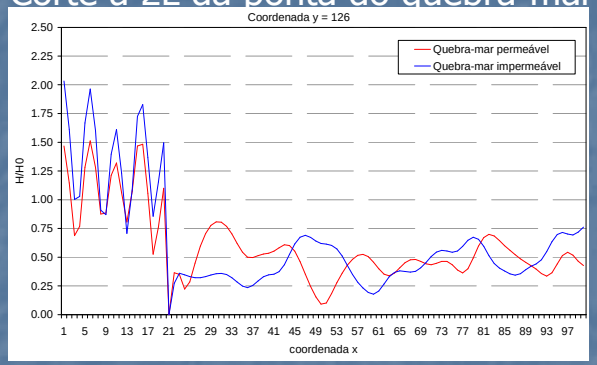
Quebra-mar segmentado impermeável



Quebra-mar segmentado permeável

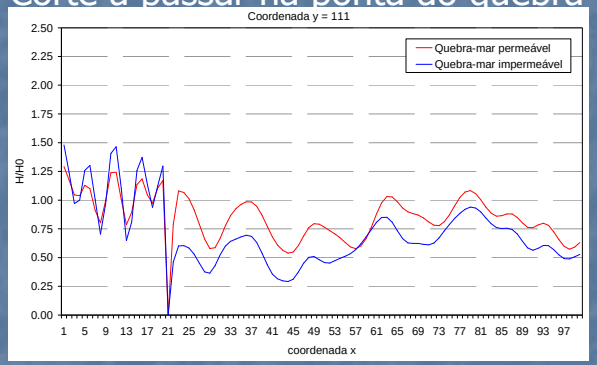


Corte a 2L da ponta do quebra-mar



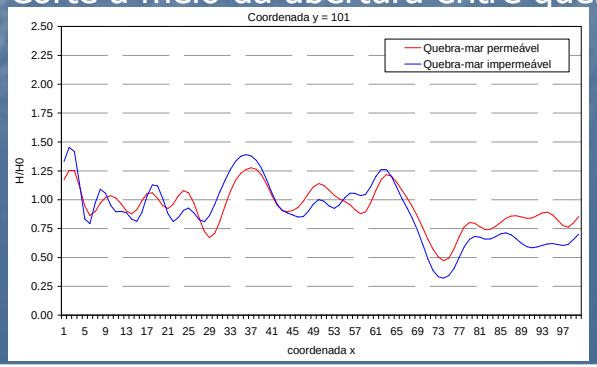
> 9%

Corte a passar na ponta do quebra-mar



> 71%

Corte a meio da abertura entre quebra-mares



> 9%

Resultados
Caso: quebra-mar segmentado

- ✓ O gradiente de energia na zona de difracção é bastante mais elevado do que nos casos de um único quebra-mar e de uma abertura entre quebra-mares

- ✓ A permeabilidade da estrutura induz variações no padrão de deformação por difracção

Porque

O modelo tem capacidade de simular o efeito dos segmentos vizinhos nas ondas difractadas por cada segmento

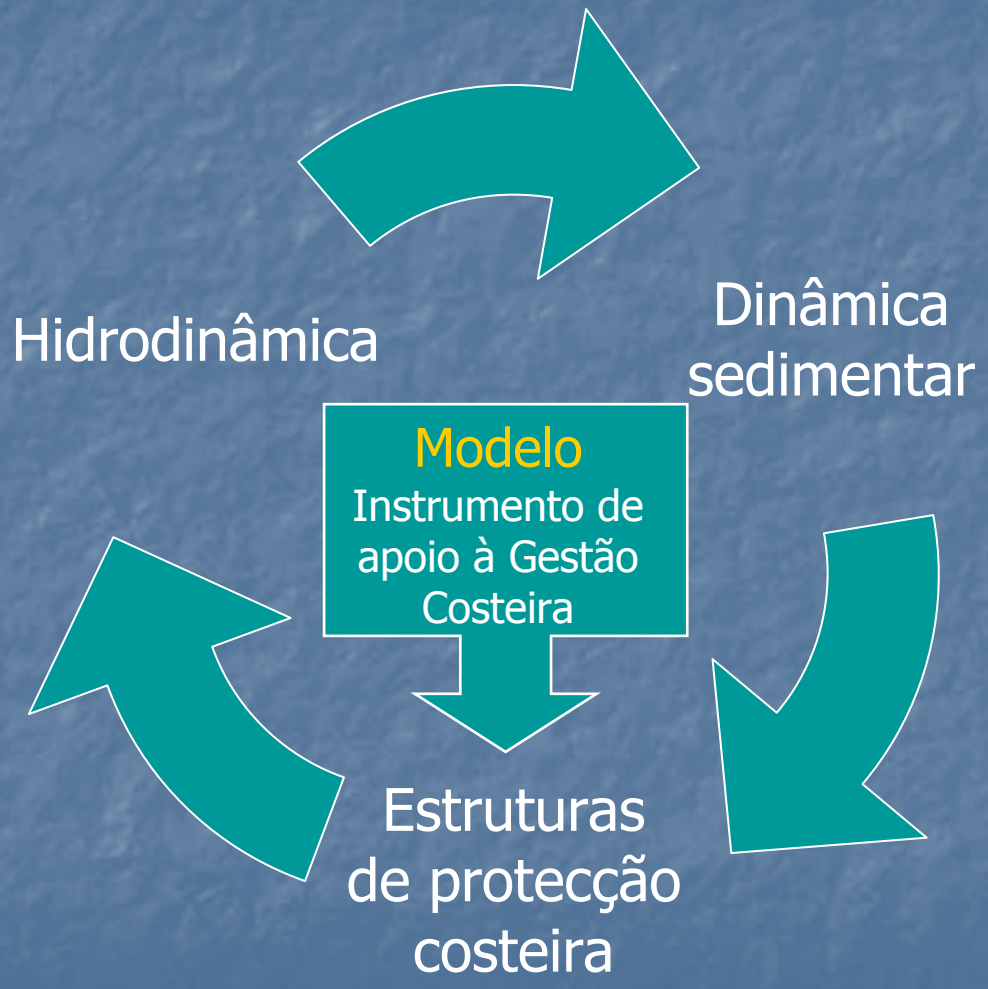
- ✓ O maior impacto da permeabilidade da estrutura no campo de ondas difractado verifica-se na zona central imediatamente adjacente à estrutura

Conclusões

Os bons resultados numéricos obtidos com estruturas permeáveis emersas , com coeficientes de absorção e reflexão 0.6, para os casos quebra-mar único e abertura entre quebra-mares, permite concluir:

1. O modelo simula com boa precisão o efeito de obstáculos internos no domínio de cálculo, através da implementação de fronteiras internas com transmissão e reflexão parciais
2. A permeabilidade da estrutura diminui o seu grau de abrigo, mas preserva o padrão de deformação da onda difractada

No caso de um quebra-mar segmentado, o efeito dos segmentos vizinhos nas ondas difractadas por cada segmento gera um padrão de difracção bastante complexo, que se caracteriza por gradientes de energia bastante elevados. Neste caso, o factor permeabilidade da estrutura altera o padrão de deformação por difracção.

Aplicações do estudo

O modelo numérico aplicado é um bom instrumento de análise em problemas de engenharia costeira, adequado para testar diferentes (no que respeita a localização, geometria e dimensão) implementações de estruturas de protecção costeira, permeáveis ou não, e optimizar a solução, com vista a minimizar custos de obra e maximizar os resultados desejados