

Ondas e Marés - IOF1224

Ondas no Oceano

Olga T. Sato, Ph.D.

Instituto Oceanográfico (USP)

São Paulo, 2022

Roteiro

1 Introdução

- O que são ondas?

2 Quantos tipos de ondas existem?

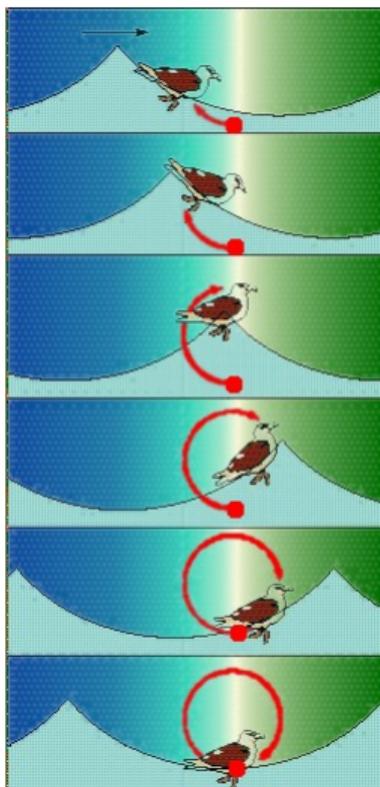
- O Espectro
- Ondas Capilares e Capilar-Gravidade
- Ondas de Gravidade
- Ondas de Gravidade Internas
- Ondas de Kelvin
- Ondas de Rossby

Roteiro

1 Introdução

- O que são ondas?
- O Espectro
- Ondas Capilares e Capilar-Gravidade
- Ondas de Gravidade
- Ondas de Gravidade Internas
- Ondas de Kelvin
- Ondas de Rossby

Ondas Mecânicas

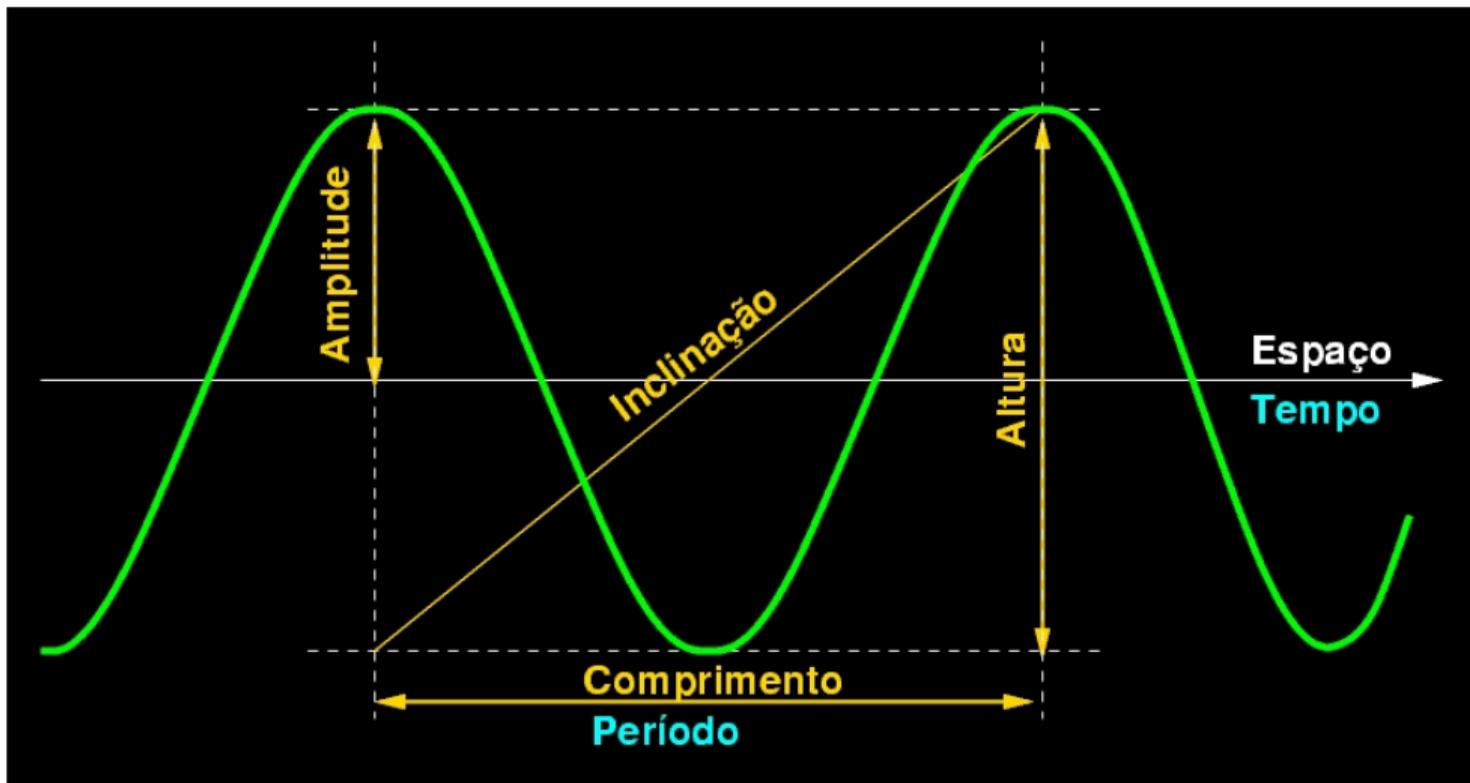


Olga Sato (IOUSP)

- Sinais que se propagam numa velocidade diferente da do meio.
- A perturbação é transmitida sem muito movimento de matéria.
- A transmissão não modifica muito o formato da perturbação.
- A velocidade de transmissão é geralmente constante.

■ Ondas transportam energia sem efetivamente

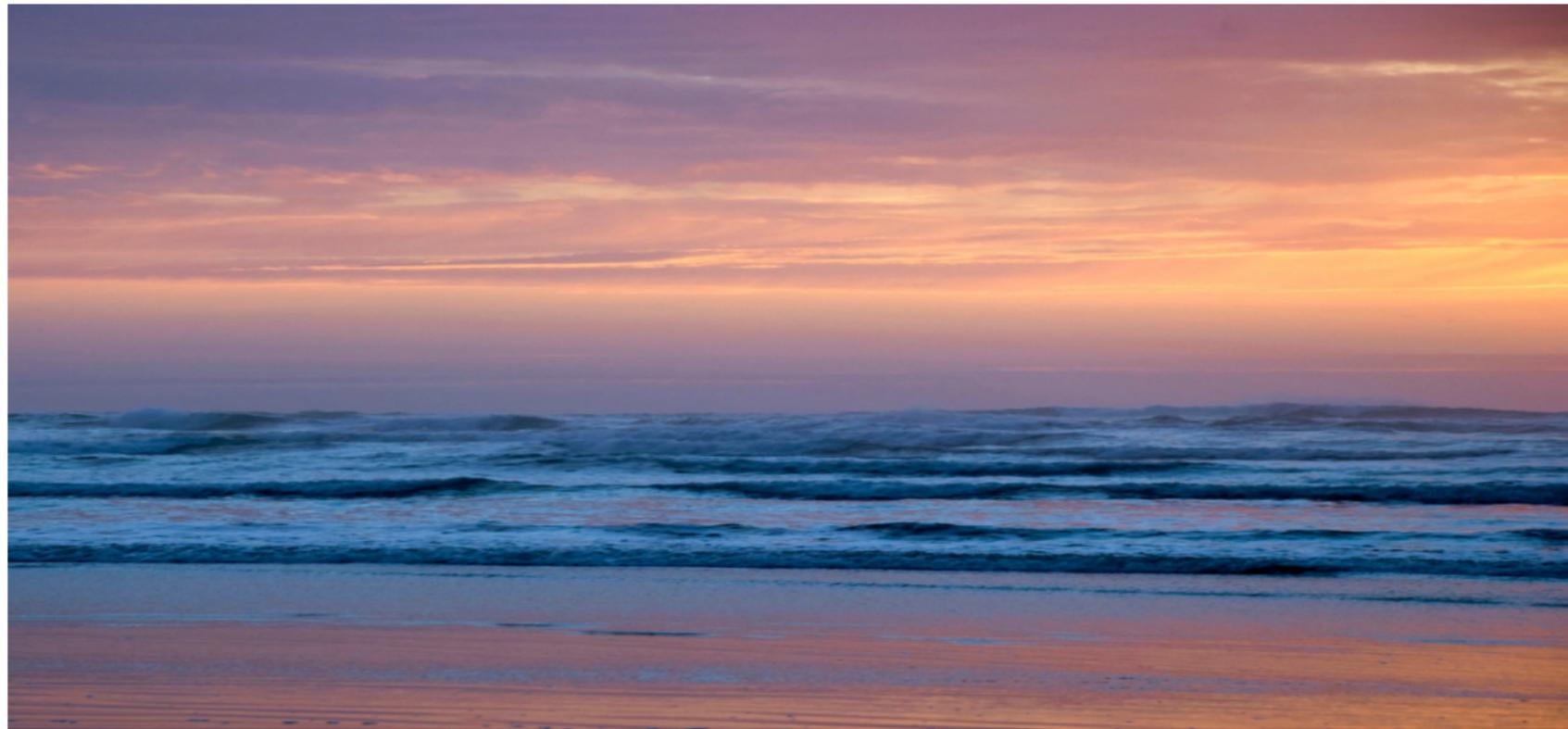
O Vocabulário Correto



Pense Numa Onda no Mar...

A maioria das pessoas pensa nas ondas assim:

Pense Numa Onda no Mar...



Pense Numa Onda no Mar...



Pense Numa Onda no Mar...



Pense Numa Onda no Mar...

Na verdade, todas essas ondas pertencem a uma mesma categoria: ondas de gravidade forçadas pelo vento.

Tenha em mente que isto é apenas uma pequena amostra das ondas existem nos oceanos.



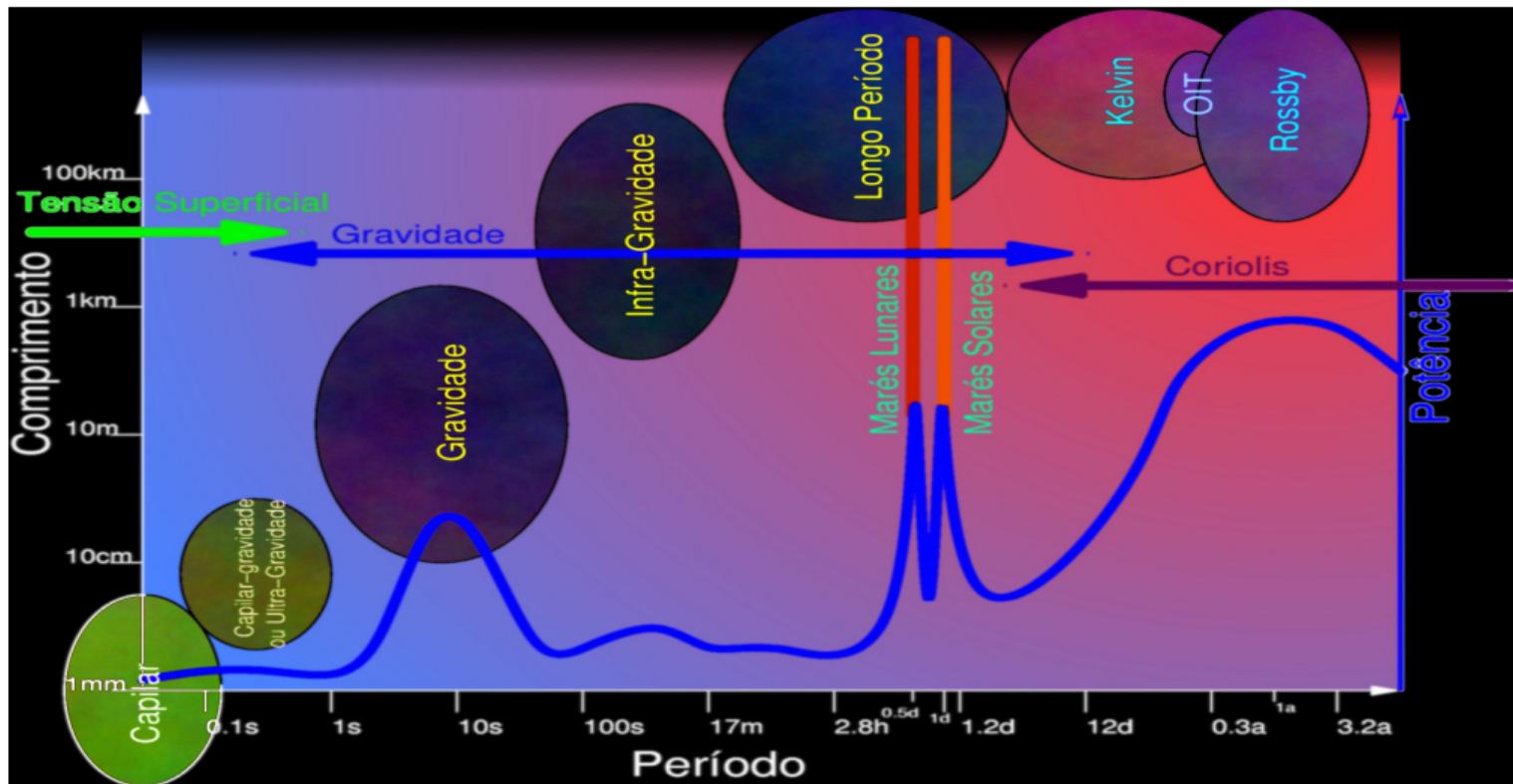
Roteiro

- O que são ondas?

2 Quantos tipos de ondas existem?

- O Espectro
 - Ondas Capilares e Capilar-Gravidade
 - Ondas de Gravidade
 - Ondas de Gravidade Internas
 - Ondas de Kelvin
 - Ondas de Rossby

A Energia de Cada Tipo de Onda



O que forçam as ondas oceânicas?

■ Forças de superfície (geralmente meteorológicas):

- 1 Gradiente de pressão atmosférica
- 2 Tensão de cisalhamento do vento
- 3 Forças de empuxo causadas por radiação, evaporação, precipitação, etc.;

■ Forças de corpo:

- 1 Gravidade
- 2 Rotação
- 3 Maré
- 4 Forças não conservativas como fricção turbulenta.

Forças Restauradoras

Existem cinco tipos de ondas oceânicas causadas pelas cinco forças restauradoras básicas:

- 1 Sonoras
- 2 Capilares
- 3 Gravidade
- 4 Inercial
- 5 Planetárias

Roteiro

- O que são ondas?

2 Quantos tipos de ondas existem?

- O Espectro
- Ondas Capilares e Capilar-Gravidade
- Ondas de Gravidade
- Ondas de Gravidade Internas
- Ondas de Kelvin
- Ondas de Rossby

Ondas Capilares

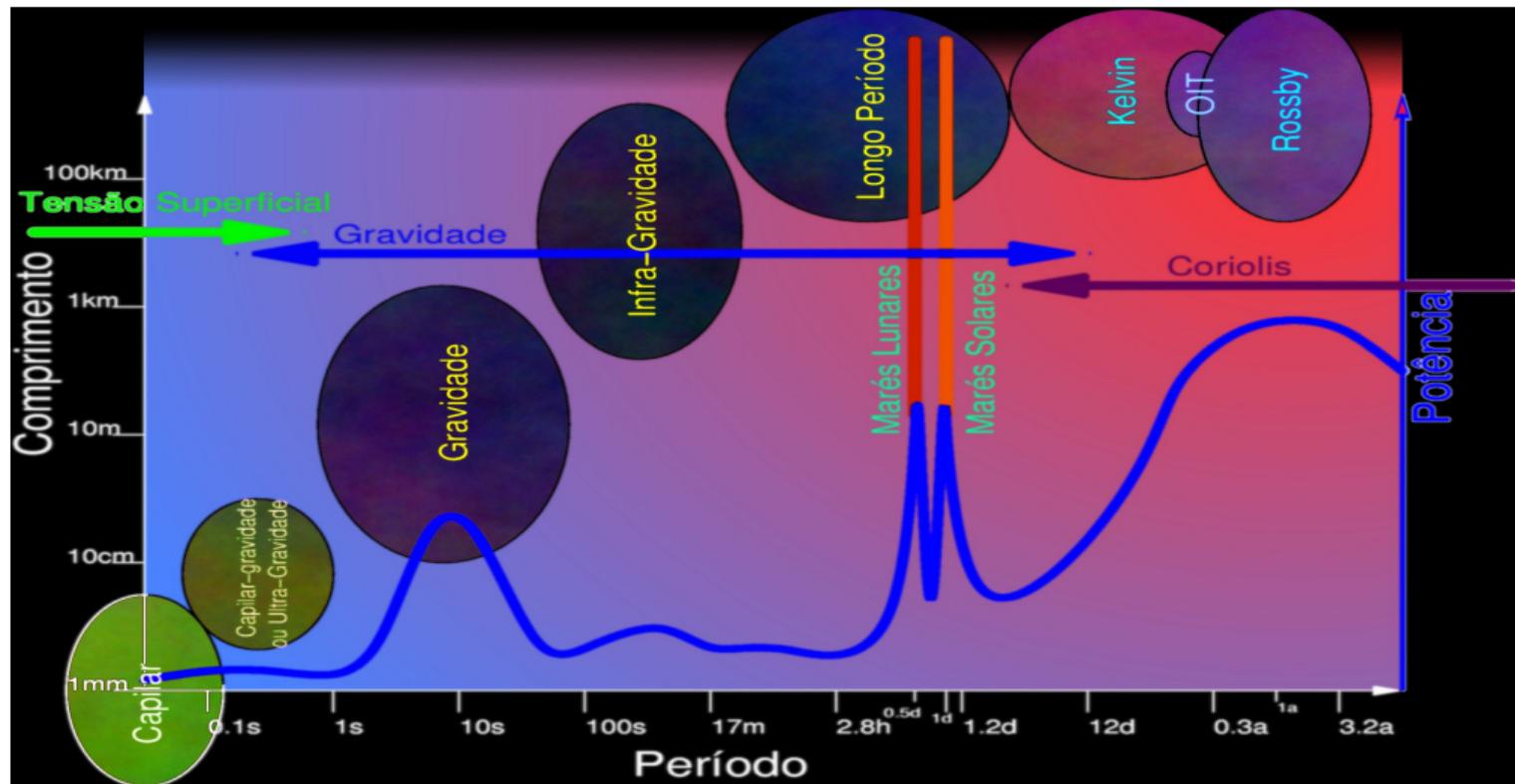


Ondas Capilares

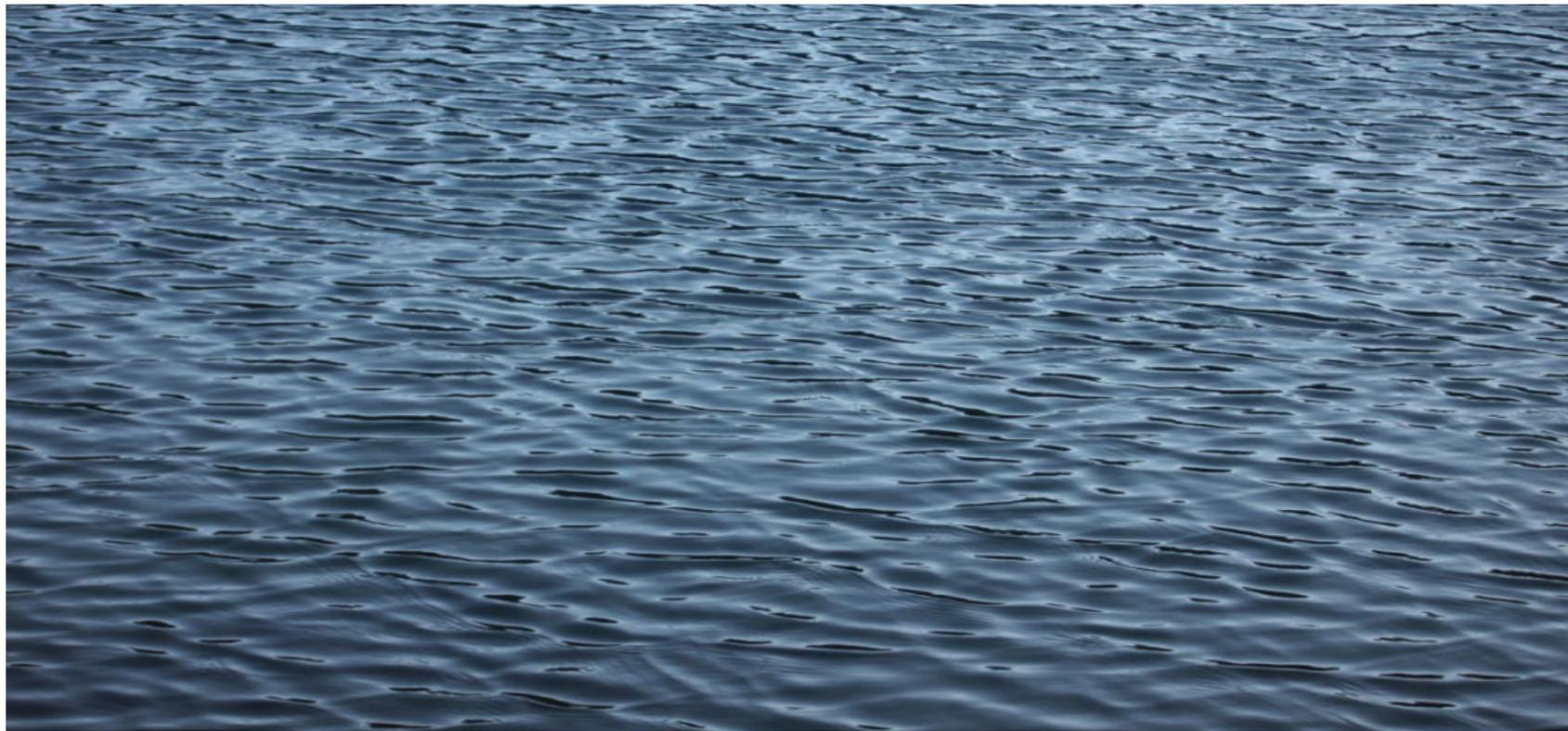


- Tem períodos da ordem de 0,1s.
 - Tem comprimento da ordem de 1cm.
 - Duram pouco, são dispersivas.
 - A velocidade depende do comprimento.
-
- Se formam ao redor de bolhas, gotas, respingos etc..
 - Influem nas trocas gasosas entre o oceano e a atmosfera.
 - Tem como força restauradora a tensão superficial.

A Energia de Cada Tipo de Onda



Ondas Capilar-Gravidade



Ondas Capilar-Gravidade



- Período $O(1)$ s e Comprimento $O(5)$ cm.
- Duram muito pouco, são extremamente dispersivas.
- A velocidade depende bastante do comprimento.
- Se formam quando venta, somem quando para o vento.
- São usadas para se fazer medidas indiretas do vento.
- Forças restauradoras: tensão superficial e gravidade.

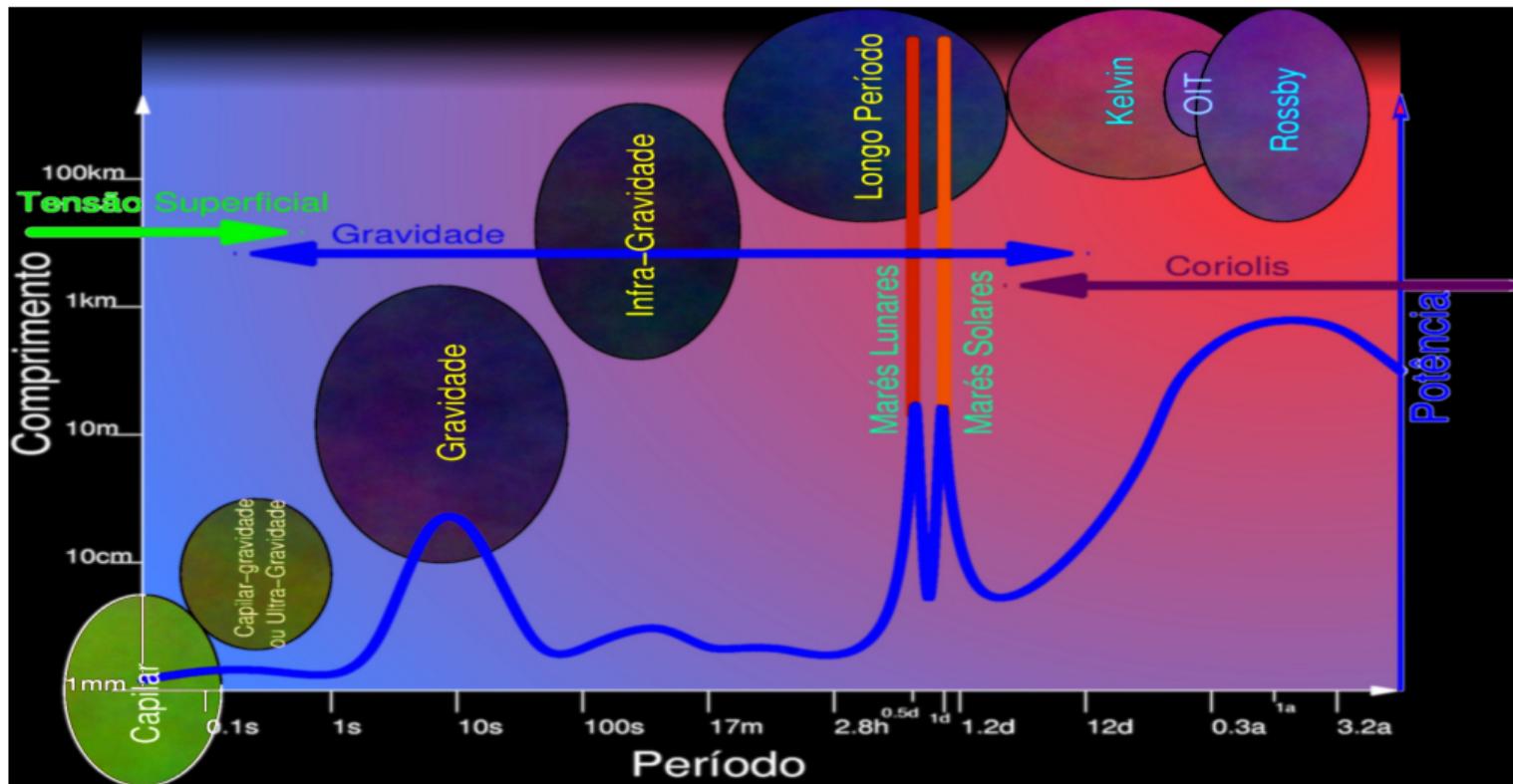
Roteiro

- O que são ondas?

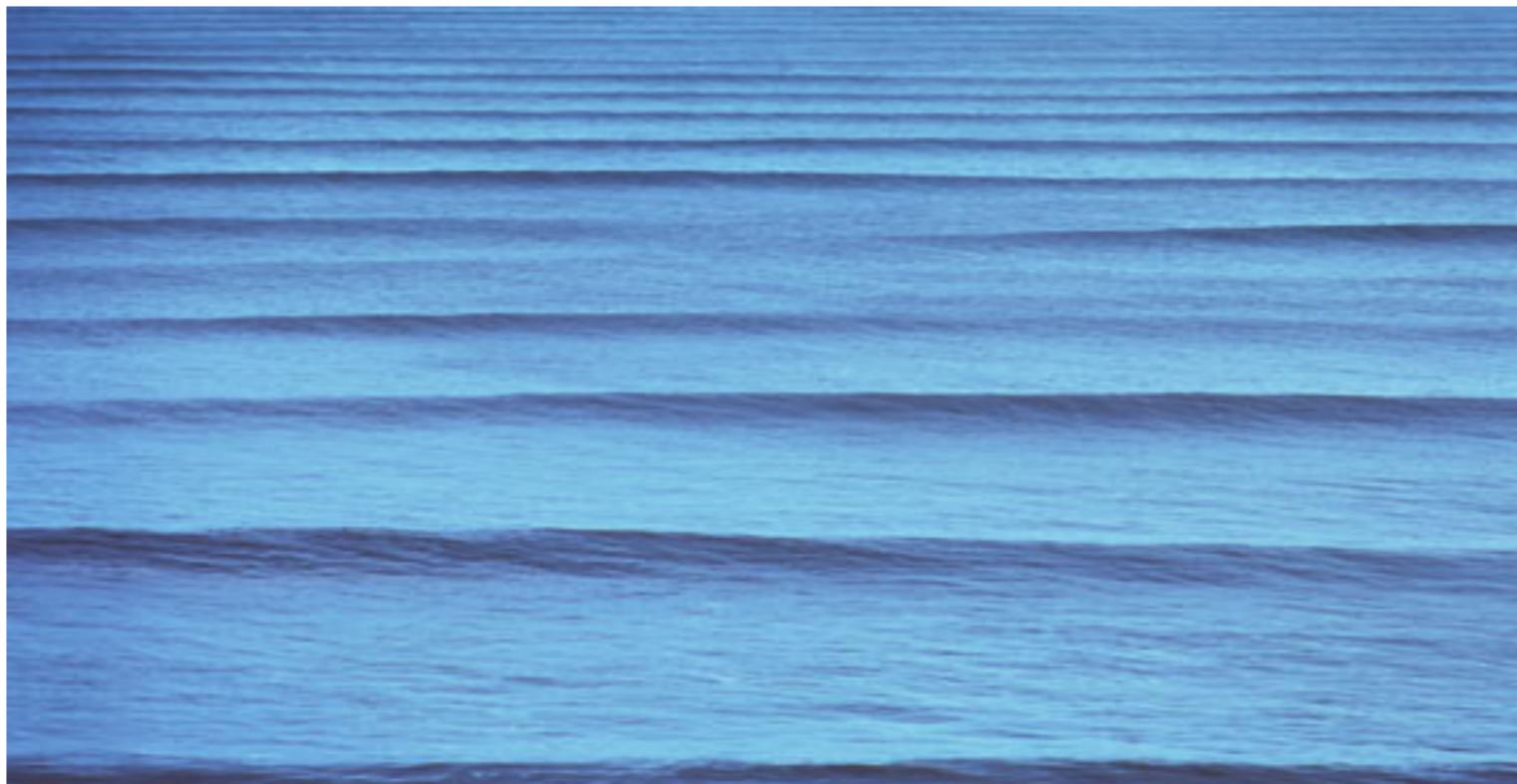
2 Quantos tipos de ondas existem?

- O Espectro
- Ondas Capilares e Capilar-Gravidade
- Ondas de Gravidade
- Ondas de Gravidade Internas
- Ondas de Kelvin
- Ondas de Rossby

A Energia de Cada Tipo de Onda

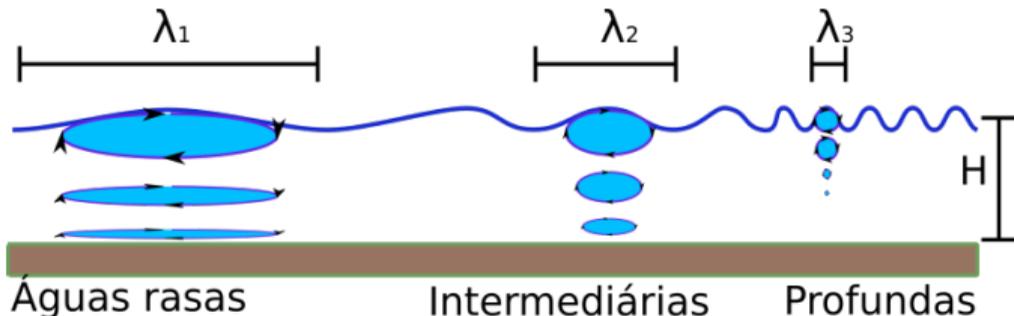


Ondas de Gravidade



Ondas de Gravidade

- Tem como força restauradora a gravidade.
- Períodos $O(10s \text{ a } 1 \text{ dia})$ e comprimento de onda (λ) $O(10cm \text{ a } 1000km)$.
 - Em águas "rasas":
 - Em águas "profundas":
- A velocidade não depende de λ
- Não se dispersam.
- Diz-se rasa ou profunda em relação ao comprimento da onda:



Surf \rightsquigarrow Ondas de Gravidade



Maya Galbraith, Waimea Foto: Kalani Brito Waimea

Surf \rightsquigarrow Ondas de Gravidade



Stewart Figueiredo, Teahupo. Foto: Tiago Navas

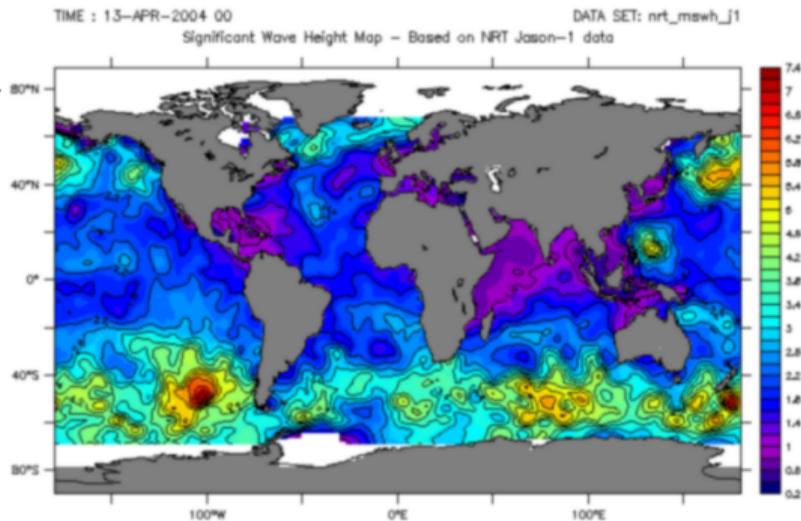
Teahupoo

Surf \rightsquigarrow Ondas de Gravidade



Surf \rightsquigarrow Ondas de Gravidade

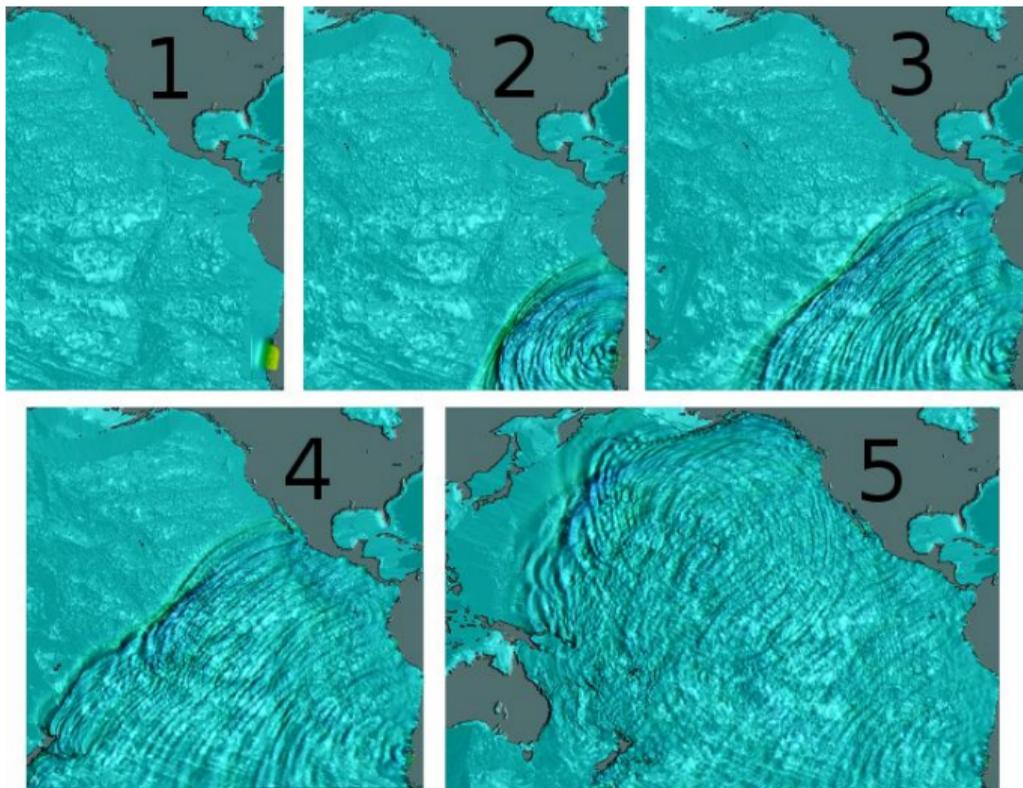
- Ondas “surfáveis” são ondas de gravidade,
- Forçadas remotamente pelo vento.
- A “surfabilidade” depende da
 - inclinação da praia,
 - inclinação da onda.
 - O campo de ondas é previsível, baseado em modelos de computador.



Ondas de Gravidade Solitárias

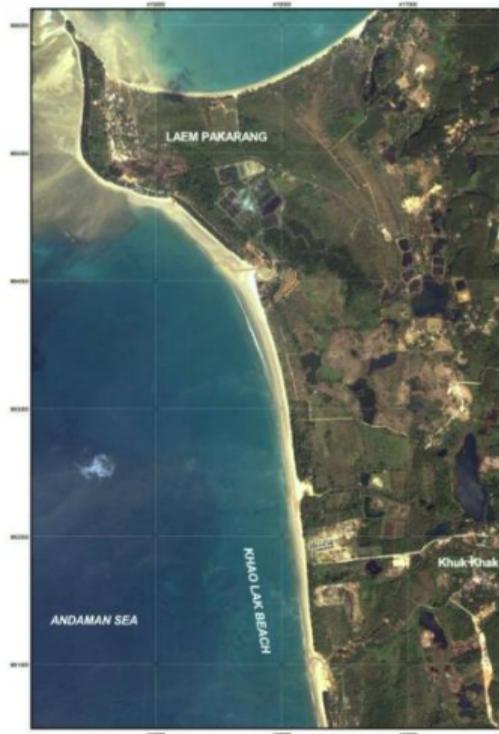


Tsunamis são Ondas de Gravidade



Tsunamis são Ondas de Gravidade

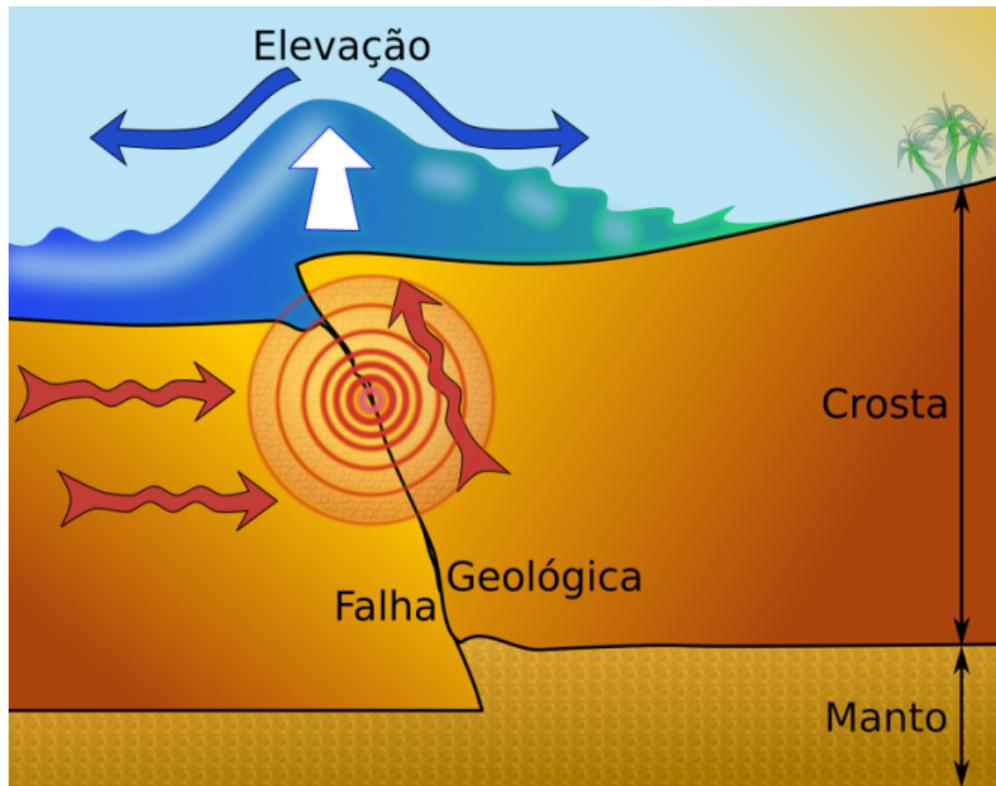
IKONOS - January 30, 2003 - PRE-DISASTER IMAGE



IKONOS - December 29, 2004 - POST-DISASTER IMAGE



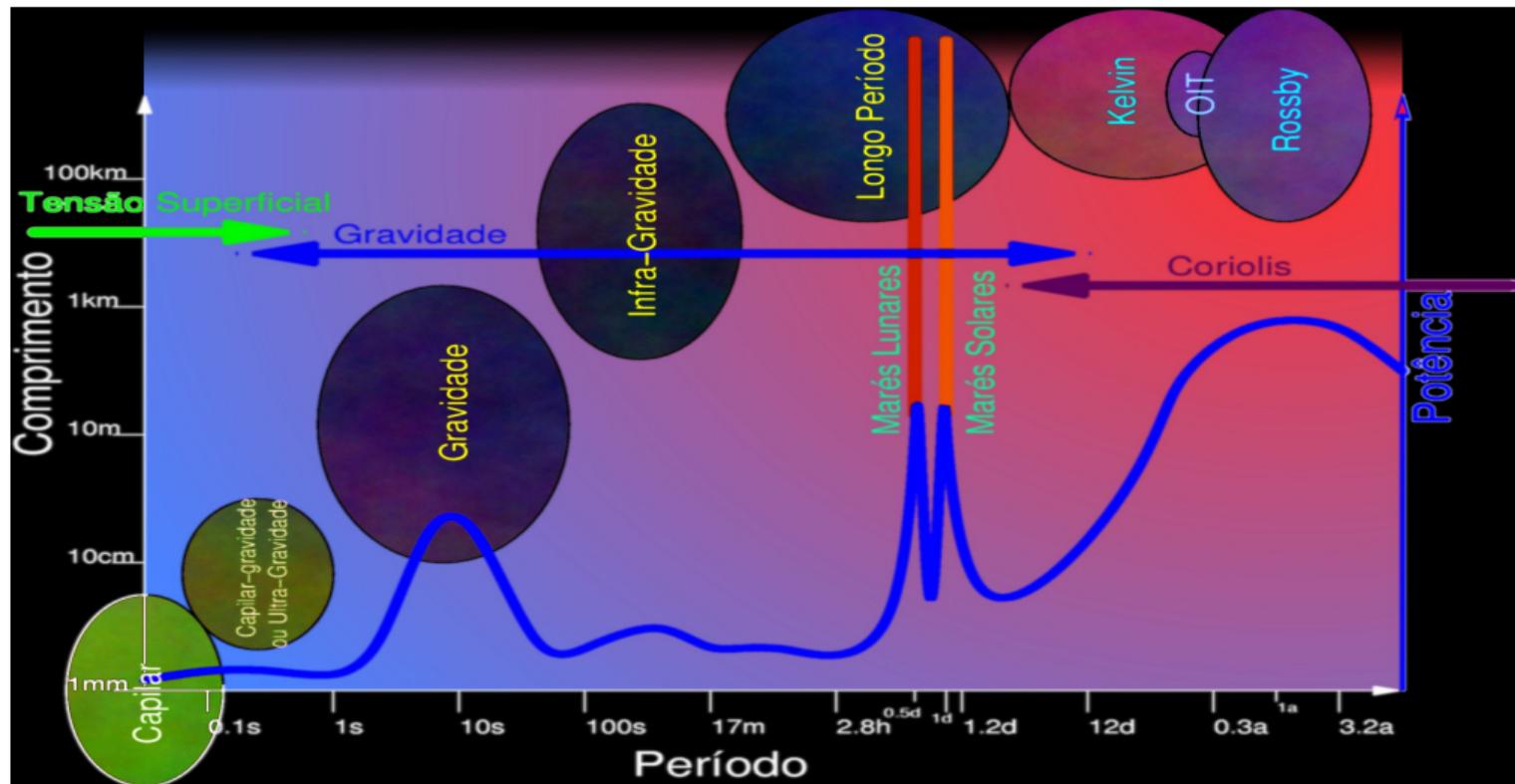
Tsunamis são Ondas de Gravidade



Tsunamis são Ondas de Gravidade

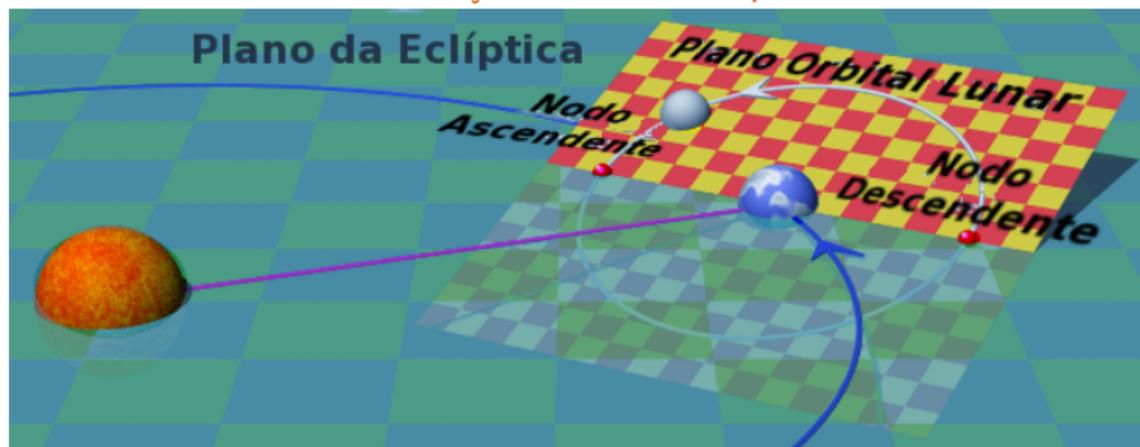
- Ondas de águas rasas.
- Forçadas por terremotos, meteoros, vulcões etc..
- Difíceis de detectar, impossíveis de prever - até agora.
- No mar profundo:
 - Comprimento aproximado de 200km;
 - Velocidade de mais de 800km/h!;
 - Amplitude de apenas 30cm–1m.
- Na costa:
 - Comprimento encolhe para 20km;
 - Velocidade cai para 80km/h;
 - Amplitude aumenta para 5–30m!.

A Energia de Cada Tipo de Onda



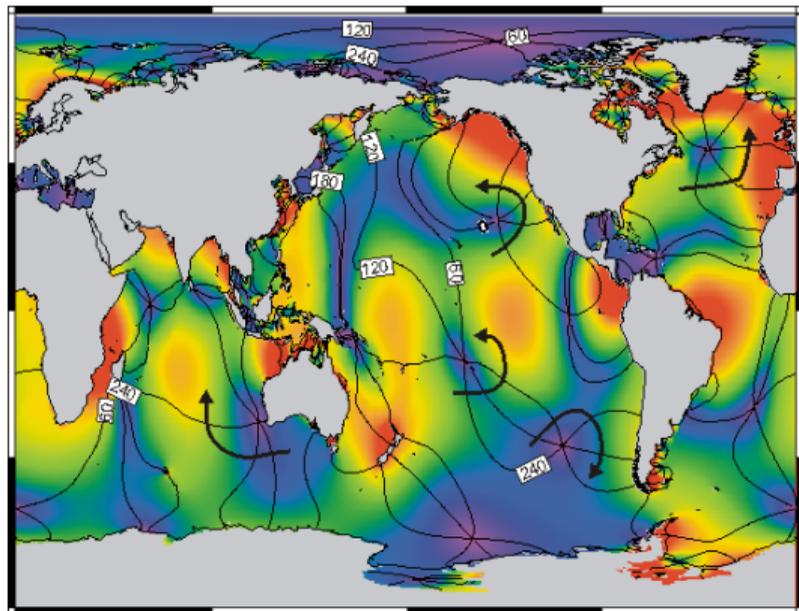
Marés são Ondas de Gravidade

- Ondas de águas rasas.
- Forçadas por variações na gravidade: Lua e Sol.
- Vários períodos muito bem determinados (alguns bem estranhos).
- Planos de translação da Lua e do Sol são diferentes
- Ambos são inclinados em relação ao do equador terrestre.



Teoria dinâmica (séc. XVIII)

- O eixo da Lua caminha a 480 m/s no equador.
- Ondas de gravidade propagam a 230 m/s \Rightarrow atraso de fase.
- Modificam as marés:
 - Continentes,
 - Força de Coriolis,
 - Ressonância natural.
- Pontos anfifrômicos (maré zero), ondas (Kelvin) giram ao redor.



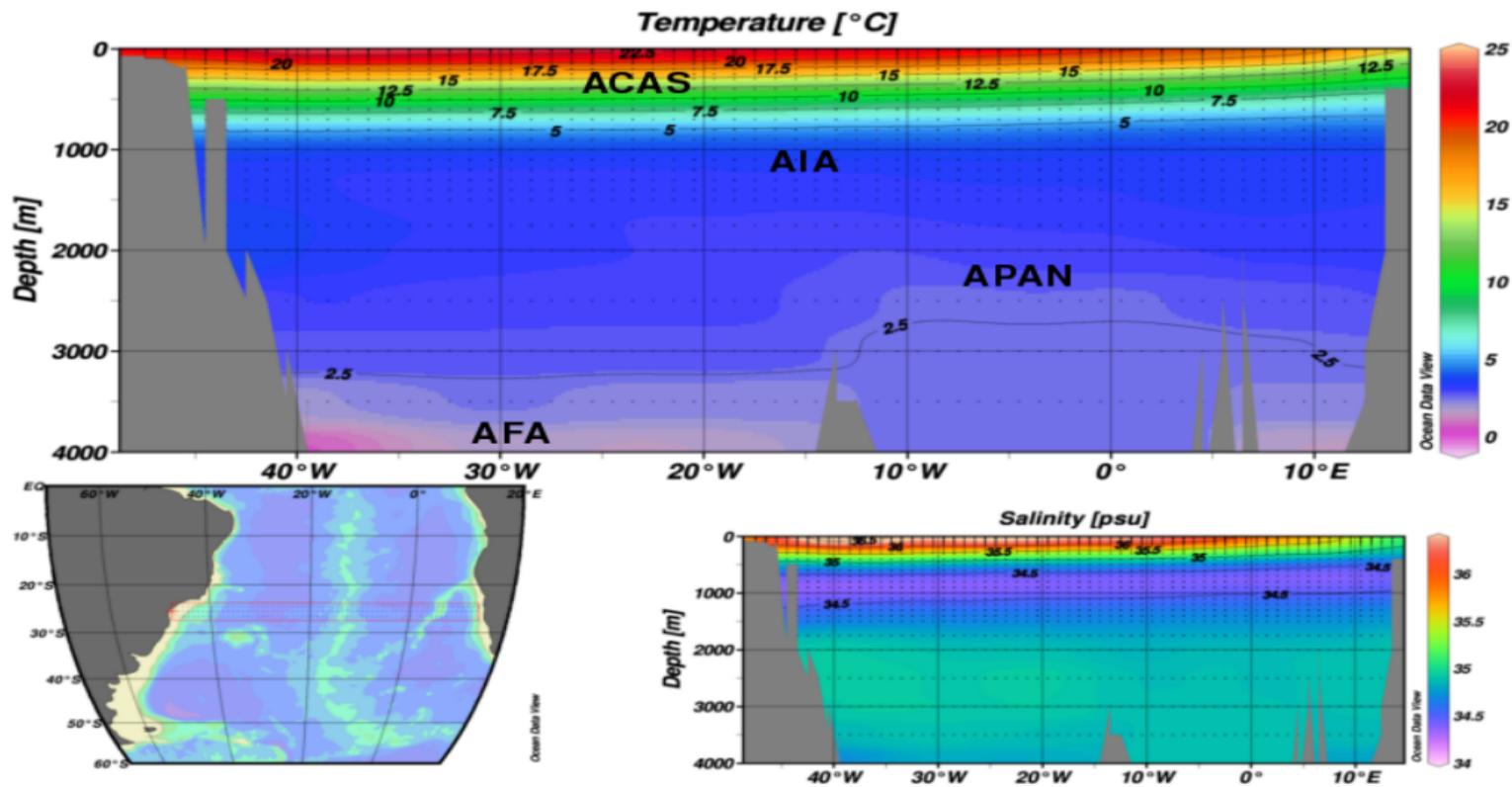
Roteiro

- O que são ondas?

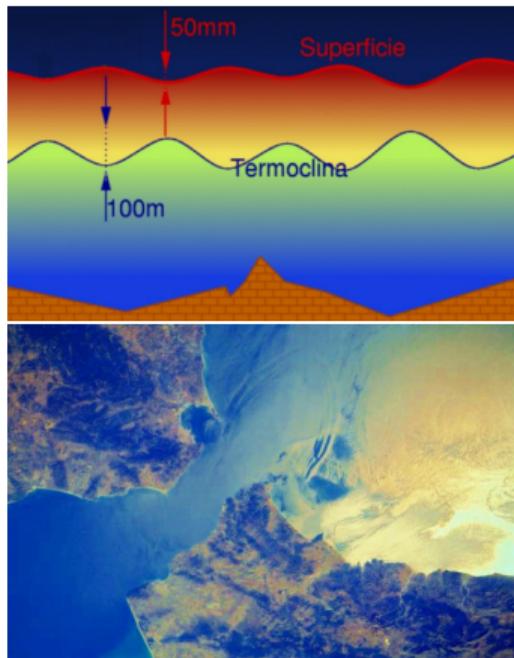
2 Quantos tipos de ondas existem?

- O Espectro
- Ondas Capilares e Capilar-Gravidade
- Ondas de Gravidade
- Ondas de Gravidade Internas
- Ondas de Kelvin
- Ondas de Rossby

Termoclina: Separa camadas de diferentes densidades



Ondas Internas



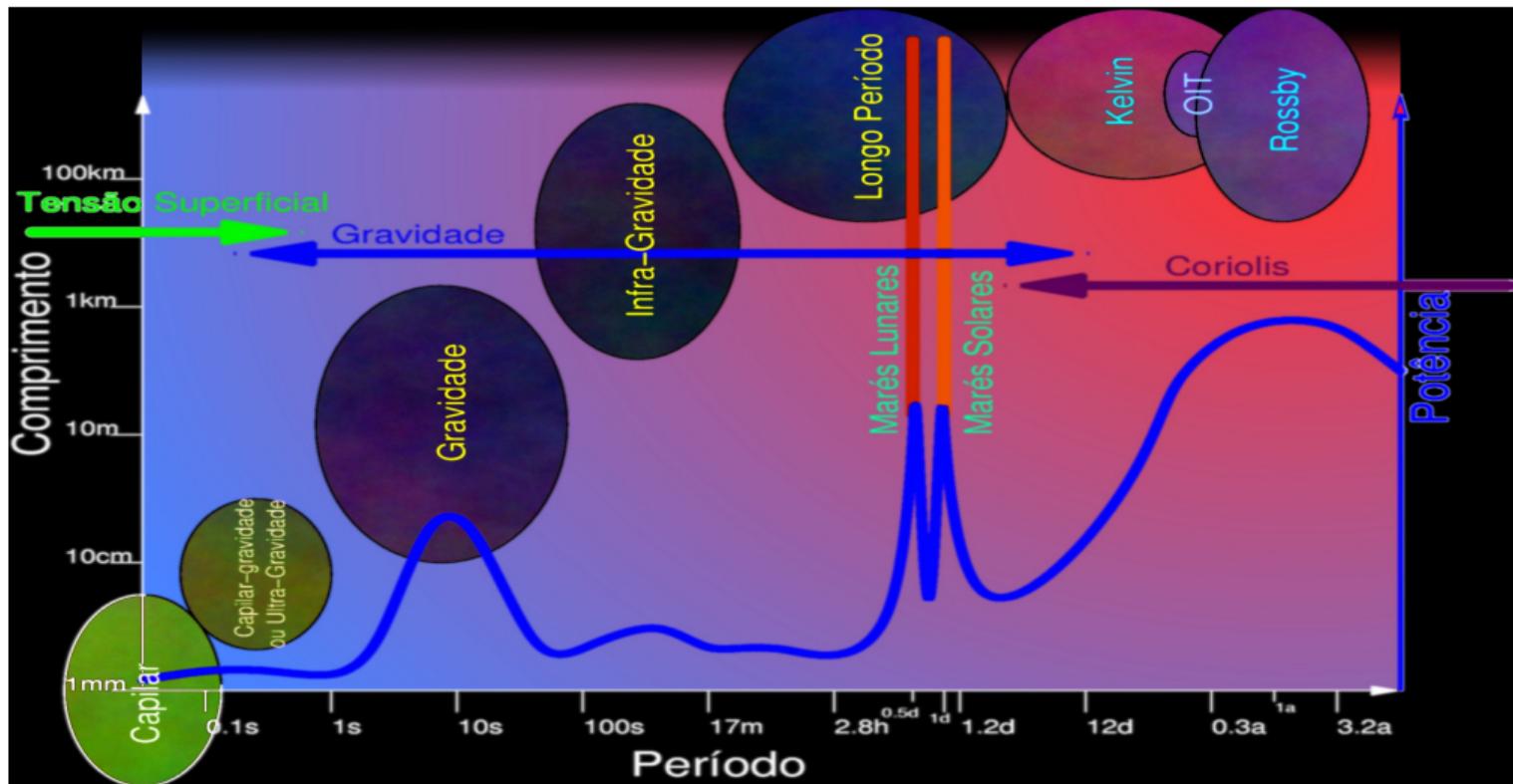
Roteiro

- O que são ondas?

2 Quantos tipos de ondas existem?

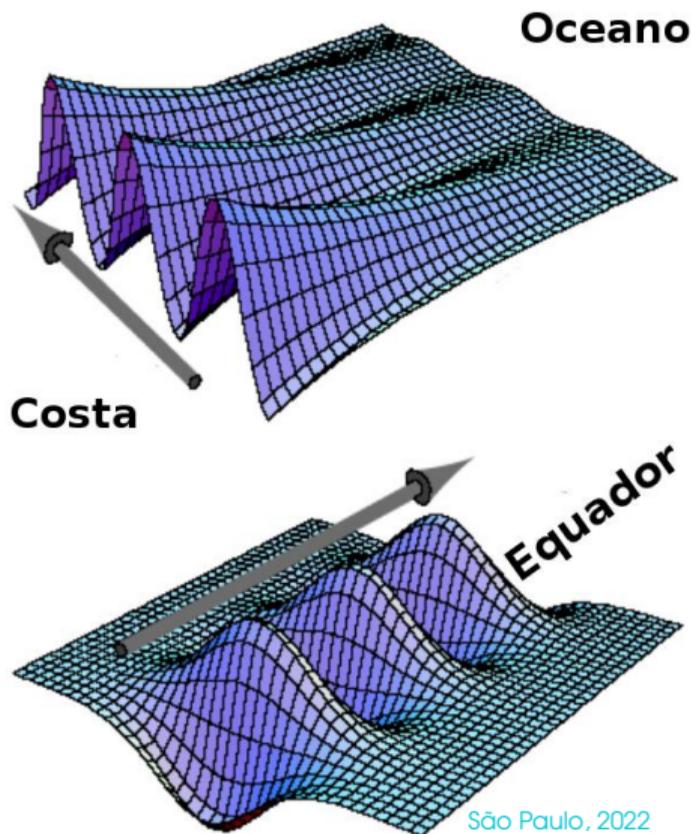
- O Espectro
- Ondas Capilares e Capilar-Gravidade
- Ondas de Gravidade
- Ondas de Gravidade Internas
- Ondas de Kelvin
- Ondas de Rossby

A Energia de Cada Tipo de Onda

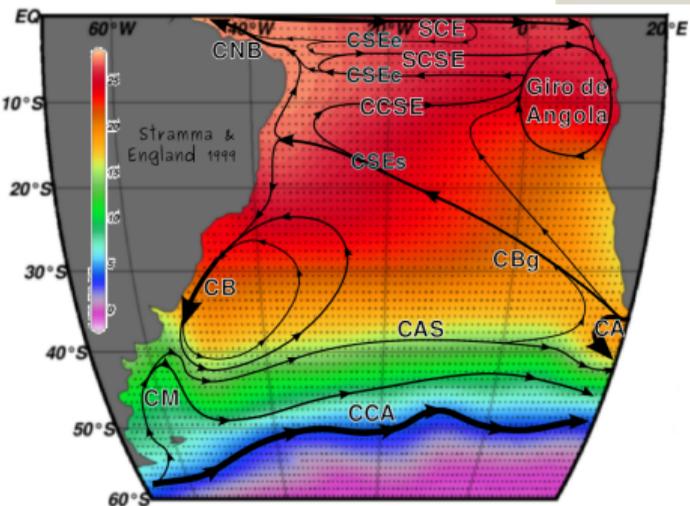
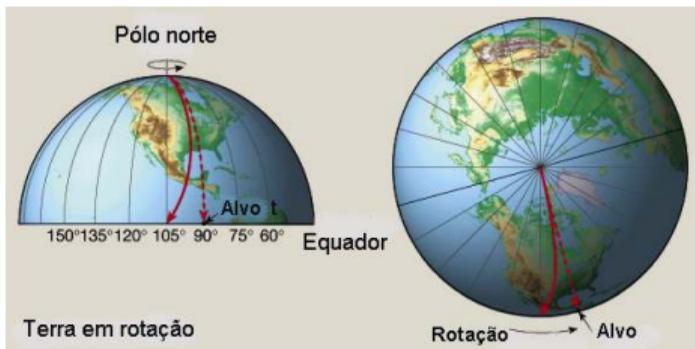


Ondas de Kelvin

- Período $\sim 30\text{--}60$ dias,
- comprimento $\sim 50\text{--}5000\text{km}$,
- velocidade de ~ 200 km/dia,
- amplitude $\sim 5\text{--}50\text{cm}$.
- Forçadas pelo vento local ou remoto.
- As forças restitutivas são a gravidade e a **força de Coriolis**.
- Se propagam junto à costa, terra à esquerda no Hemisfério Sul.



Força de Coriolis



- A força de Coriolis é fictícia.
- Ela parece desviar o movimento pois o planeta está girando.
- Correntes marinhas sentem essa força e...
- ondas também!

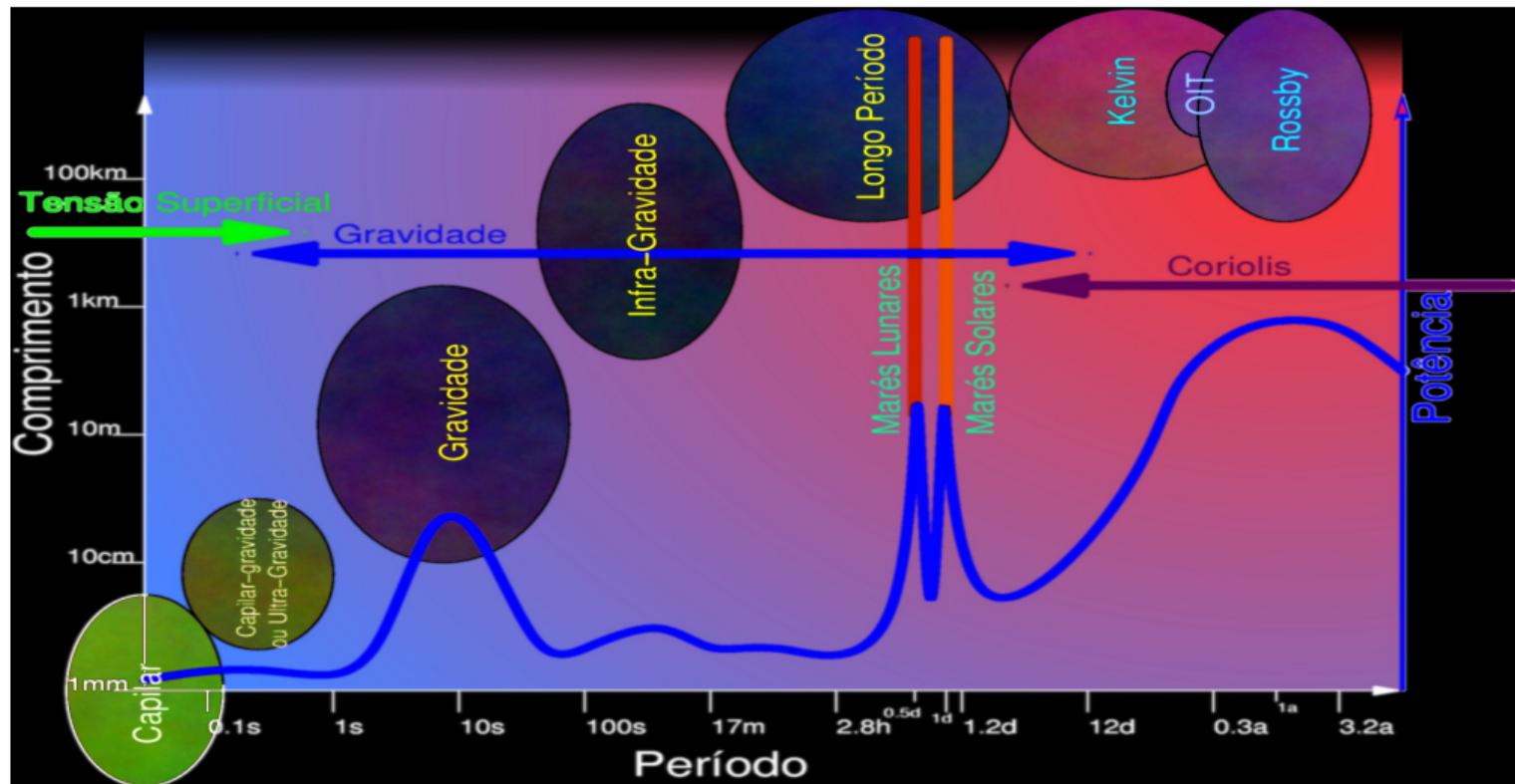
Roteiro

- O que são ondas?

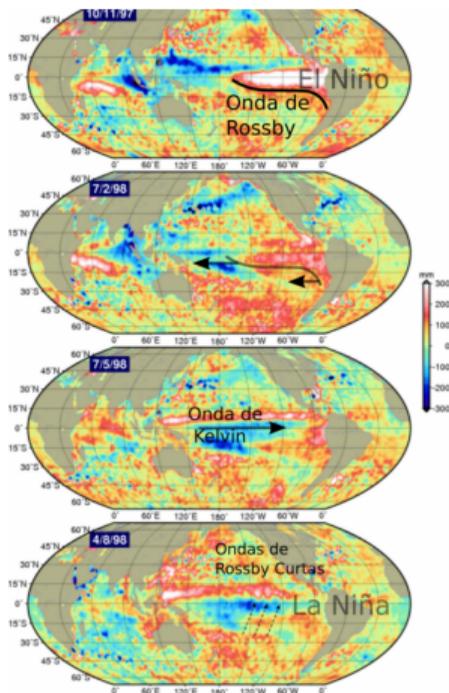
2 Quantos tipos de ondas existem?

- O Espectro
- Ondas Capilares e Capilar-Gravidade
- Ondas de Gravidade
- Ondas de Gravidade Internas
- Ondas de Kelvin
- Ondas de Rossby

A Energia de Cada Tipo de Onda



Ondas de Rossby



- Período \sim 1 mês a 3 anos,
- comprimento \sim 50–5000km,
- velocidade de \sim 10km/dia,
- amplitude \sim 5–50cm.
- Forçadas pelo vento.
- Existem por causa da força de Coriolis e da esfericidade da Terra.
- Se propagam só para Oeste.

■ Este aqui é o C.G. Rossby:



Ondas geradas pelo vento

Vamos falar um pouco sobre as ondas mais facilmente observadas.

Ondas geradas pelo vento

- Vento sopra sobre a superfície do oceano gerando ondas: transferência de momento do vento sobre a água.
- Processo de interação oceano-atmosfera.
- A geração de movimento pode ocorrer em diversas frequências: complicado de se medir.

Fatores que influenciam o desenvolvimento de ondas no mar:

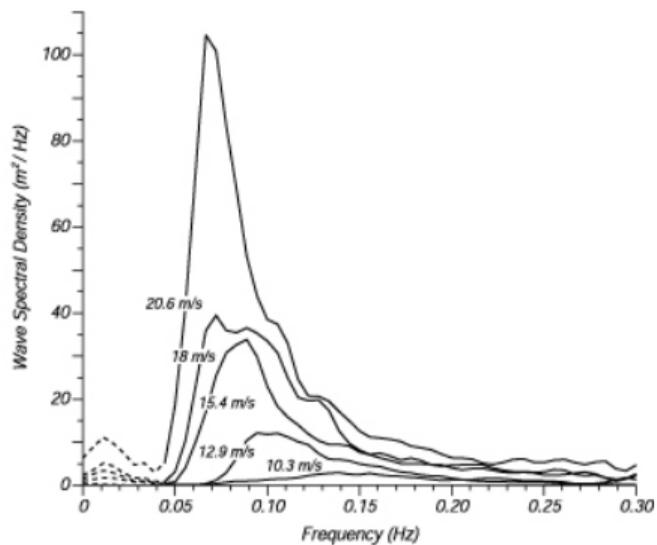
- 1 A velocidade do vento;
- 2 Pista do vento ou a distância em que o vento sopra.
- 3 Duração do vento;
- 4 Profundidade da água.

Desenvolvimento do campo de ondas

Se ocorrer o seguinte:

- Determinada velocidade do vento;
- A profundidade, pista e duração forem suficientemente grandes;
- Ondas do mar alcançarão o estado de um campo plenamente desenvolvido: as ondas não conseguem crescer mais e a altura e o comprimento da ondas alcançaram o seu potencial máximo.
- Estado atingido quando o vento soprar por um longo tempo, (≈ 10000 períodos) e área bem grande (≈ 5000 comprimentos de onda).

Espectro de energia

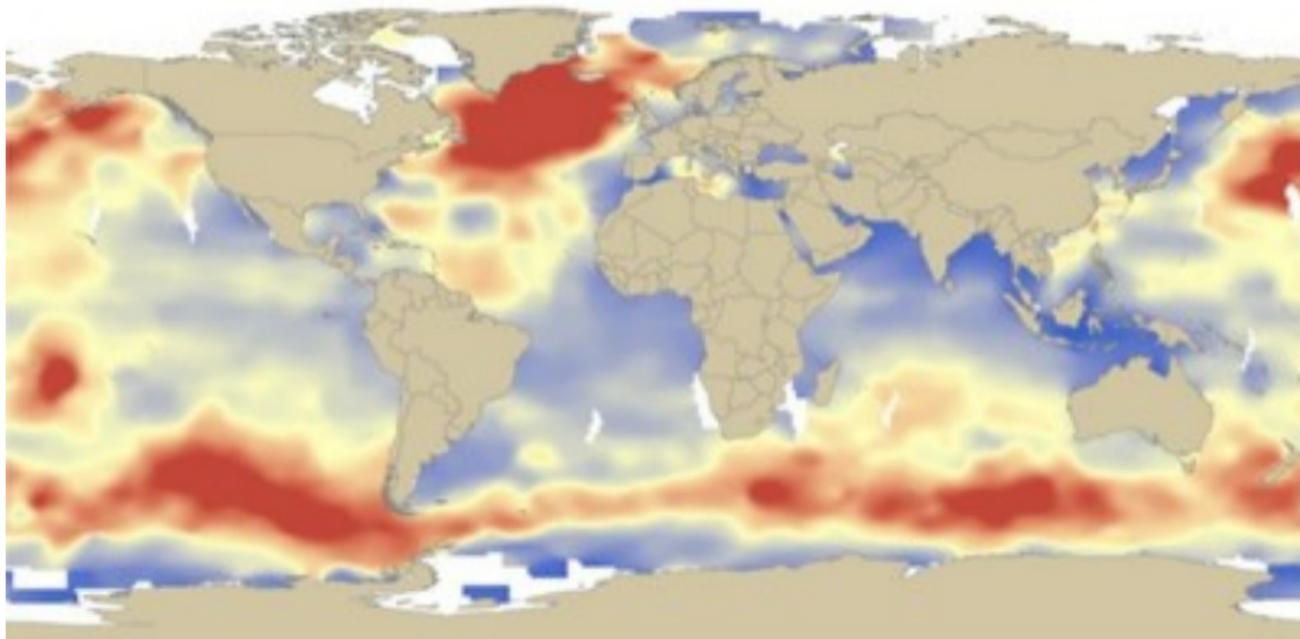


Espectro de energia da onda para um campo plenamente desenvolvido no mar sob a ação de diferentes magnitudes da velocidade do vento, de acordo com Pierson e Moskowitz (1964).

Altura significativa de onda

- **Altura significativa da onda, $H_{1/3}$** : alturas que excedem a 3σ das ondas que ocorrem numa determinada região para um determinado período.
- ① Podemos também determinar o máximo na altura da onda nesses registros, H_{max} .
- ② A previsão de H_{max} para um dado período é uma informação muito importante para o planejamento de estruturas como barreiras, cais e plataformas de perfuração.

Altura significativa de onda



Altura significativa das ondas em escala global estimada através de dados de altímetros do AVISO.