

Ondas Marítimas e Tsunami

Andrei Rocha Furtado



**PET
FÍSICA**

Sumário

Introdução

Velocidade de propagação das ondas marítimas

As oscilações transversal e longitudinal em ondas marítimas

Energia mecânica transportada

Efeitos de refração

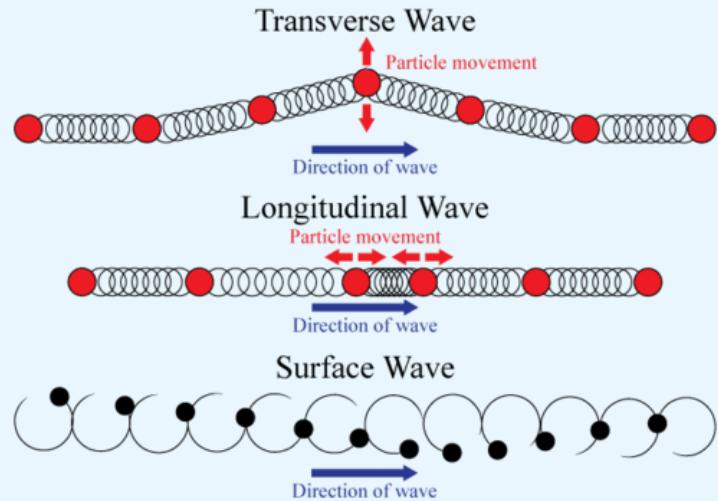
Conclusões



Conceitos Básicos

Ondas marítimas são ondas mecânicas.

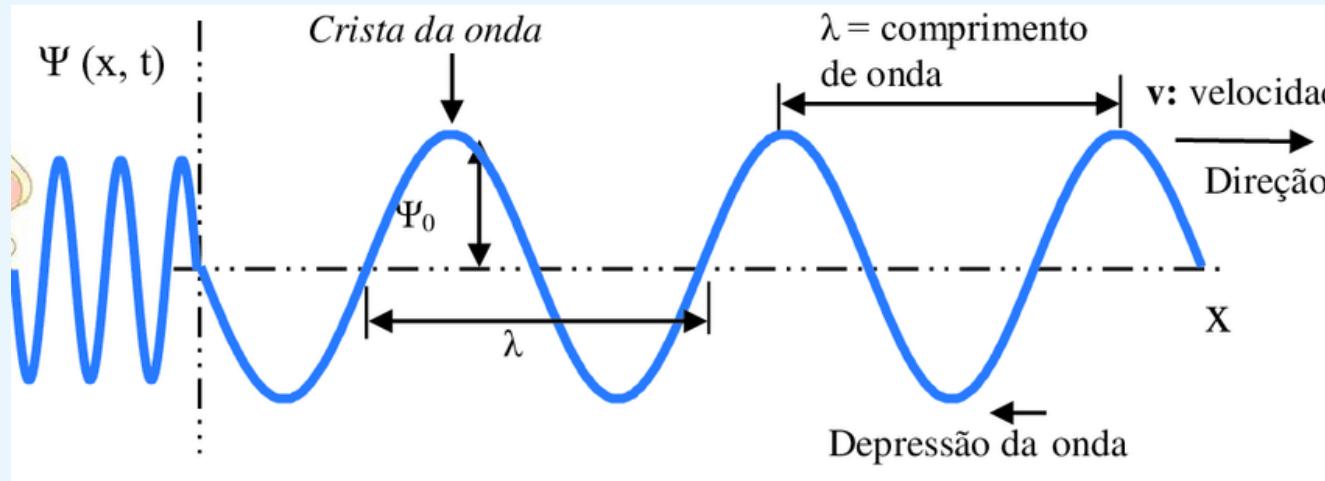
Componentes transversal e longitudinal.



Tipos de ondas mecânicas. Extraído de [2].

Conceitos Básicos

Crista, ventre, comprimento de onda, período.



Propriedades das ondas. Extraído de [3].

Introdução

Tsunami possuem períodos e comprimentos de onda muito maiores que ondas marítimas normais.

Vários tsunami ao longo da história.

Centenas de milhares de mortos.

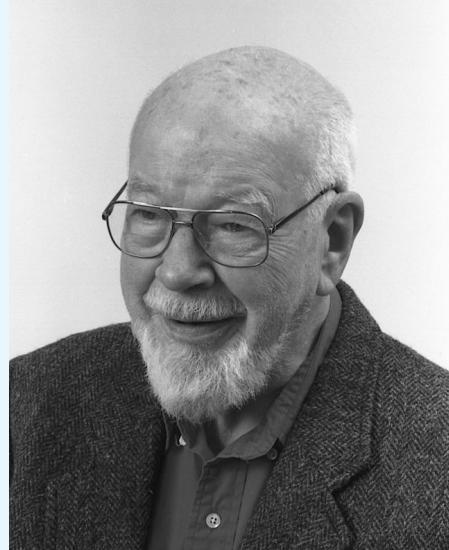


Devastação por tsunami. Extraído de [4].



Velocidade de propagação das ondas marítimas

Partículas do meio descrevem uma trajetória em formato de elipse.



William Elmore. Extraído de [5].



Mark Held. Extraído de [6].

Velocidade de propagação das ondas marítimas

A velocidade de propagação das ondas na superfície do líquido é dada por:

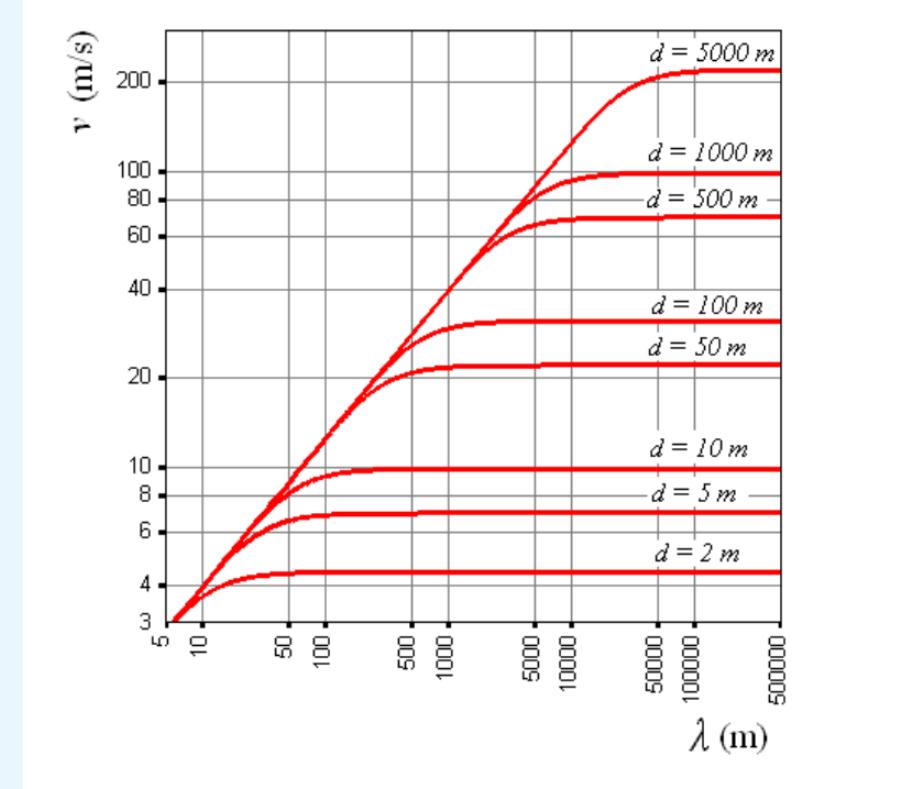
$$v = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{\lambda}\right)} \quad (1)$$



Velocidade de propagação das ondas marítimas

Velocidade de propagação cresce com o aumento do comprimento de onda.

Tendendo a um certo valor limite, v praticamente não se altera.



Variação da velocidade de propagação em função do comprimento de onda. Extraído de [1].

Velocidade de propagação das ondas marítimas

Se $\lambda \leq 2d$, a função *tangente hiperbólica* envolvida na equação pode ser aproximada pelo seu valor limite superior, 1 , pois neste caso

$$\tanh\left(\frac{2\pi d}{\lambda}\right) \geq 0,996 \approx 1$$



Velocidade de propagação das ondas marítimas

Assim,

$$v = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}} \quad (2)$$

Por outro lado, se $\lambda \gg d$,

$$\tanh\left(\frac{2\pi d}{\lambda}\right) \cong \frac{2\pi d}{\lambda},$$

Assim,

$$v = \sqrt{gd} \quad (3)$$



Velocidade de propagação das ondas marítimas

Com a equação (2) podemos calcular a velocidade de propagação de ondas “normais” em alto mar.

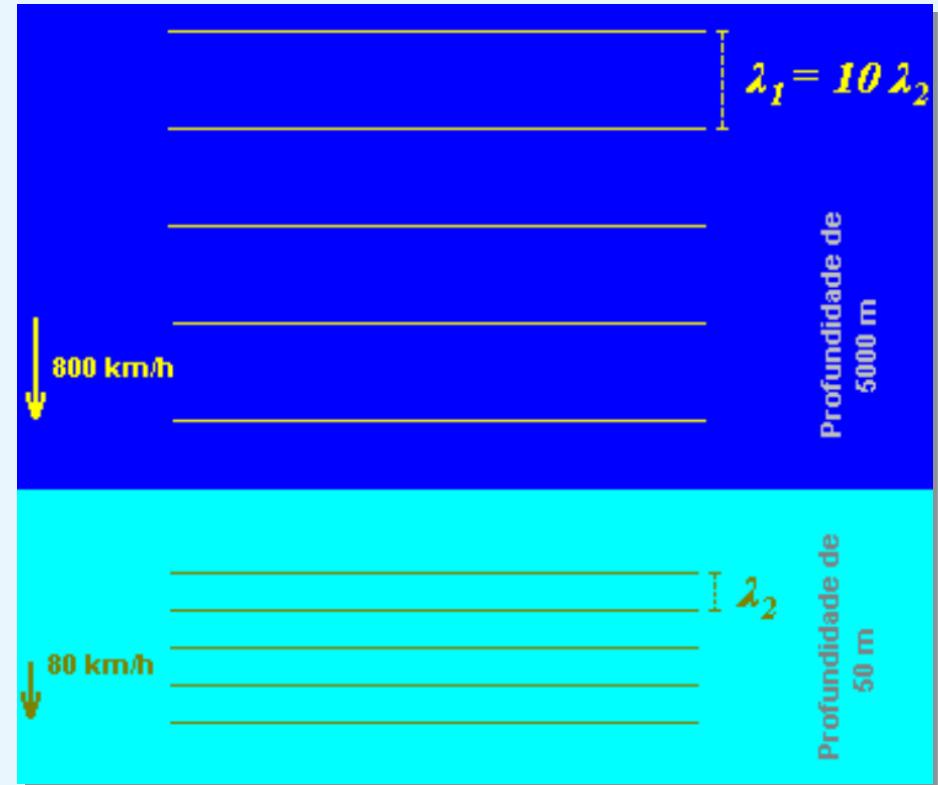
Com a equação (3) podemos calcular a velocidade de propagação dos tsunami.

Diretamente da equação, podemos observar que ao se aproximar da costa, a velocidade de propagação dos tsunami diminui.



Velocidade de propagação das ondas marítimas

Como $v = \frac{\lambda}{T}$ e o período do tsunami não se altera, uma redução por um fator de 10 na velocidade de propagação do mesmo implica em uma redução pelo mesmo fator no seu comprimento de onda.

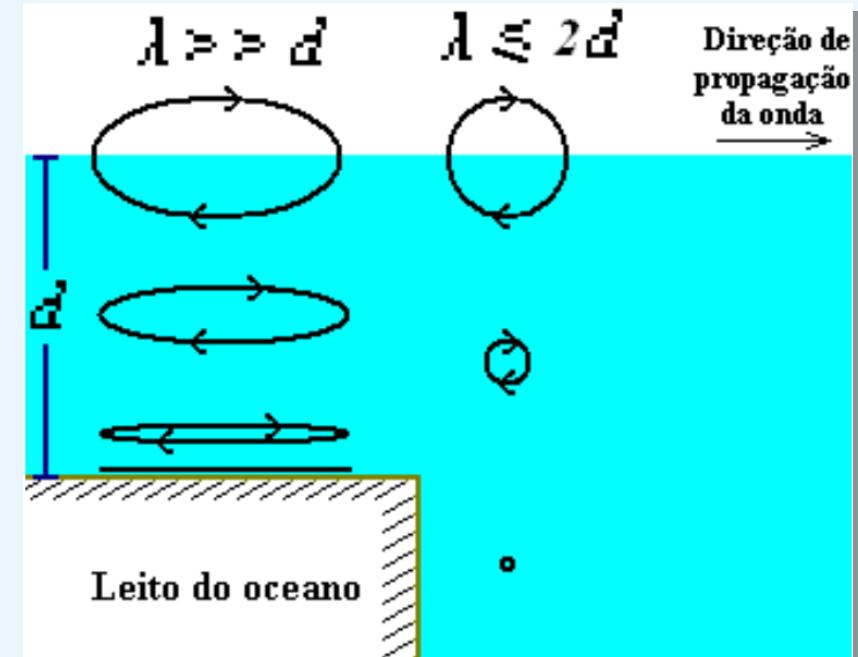


Velocidade de propagação e comprimento de onda de um tsunami que passa do alto-mar para o mar raso. Extraído de [1].

As oscilações transversal e longitudinal em ondas marítimas

Quando $\lambda \leq 2d$, onda marítima “normal”, as trajetórias das partículas são aproximadamente circulares.

Quando $\lambda \gg d$, tsunami ou onda marítima “normal” próxima do litoral, a trajetória das partículas de água assume a forma elíptica.



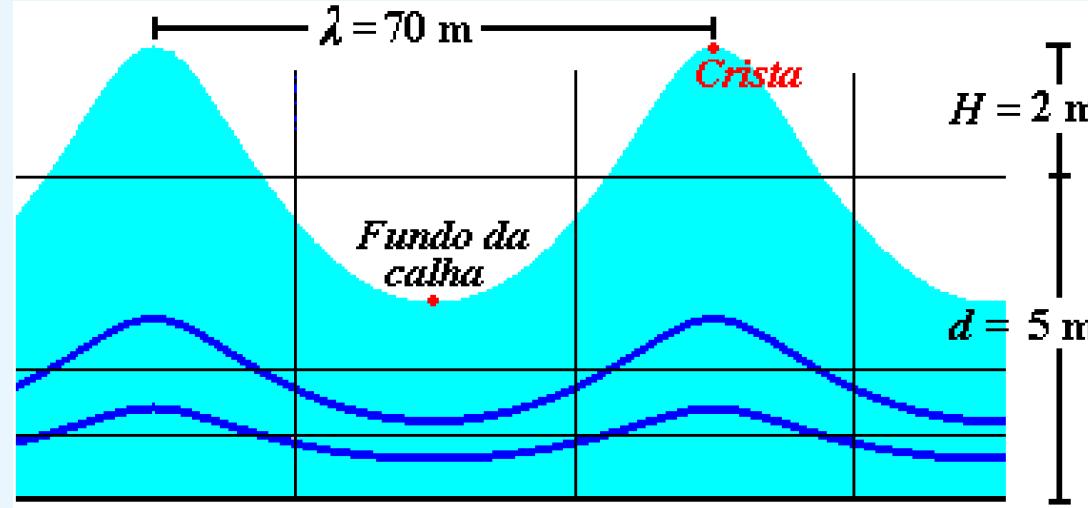
Trajetórias das partículas de água de ondas marítimas em duas condições específicas. Extraído de [1].



As oscilações transversal e longitudinal em ondas marítimas

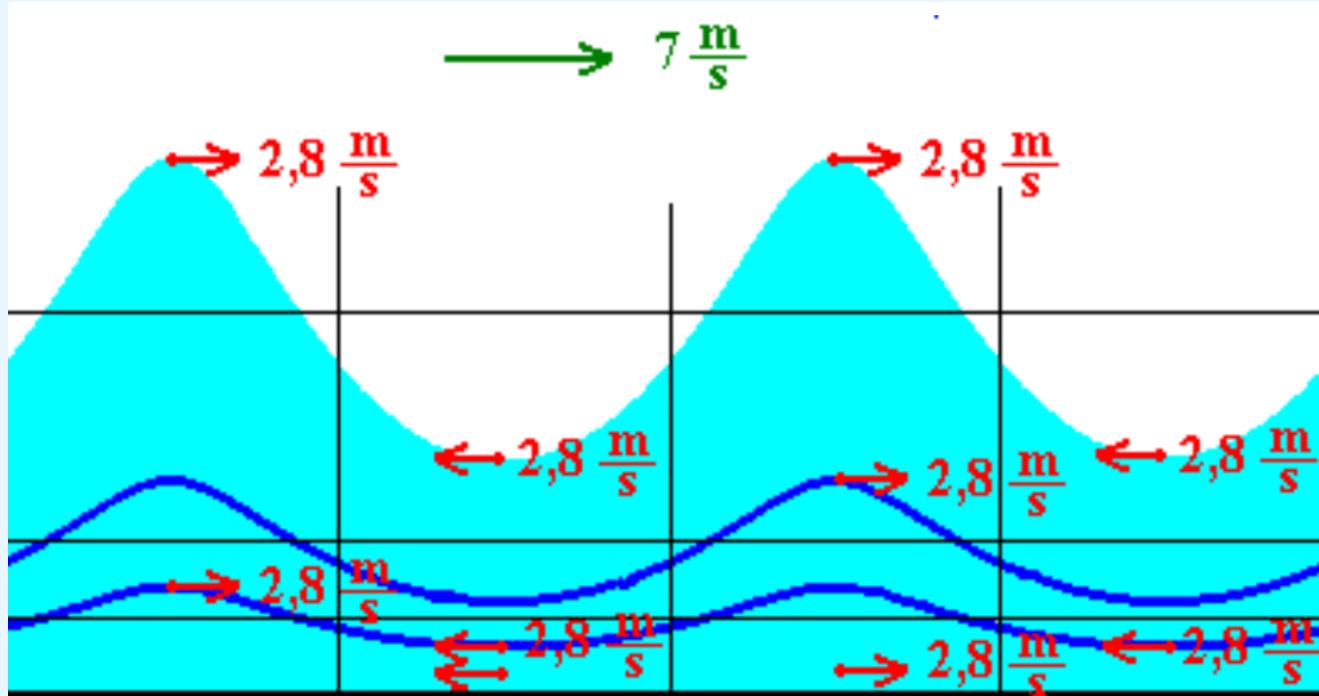
Na crista da onda a água se move no mesmo sentido da propagação da onda.

No fundo da calha a água se move no sentido contrário ao da propagação da onda.



Perfil de uma onda marítima propagando-se em região rasa. Extraído de [1].

As oscilações transversal e longitudinal em ondas marítimas



Velocidade das partículas de água da onda marítima. Extraído de [1].

Energia mecânica transportada

Igual à energia potencial gravitacional de um paralelepípedo de água com arestas z e lambda, e altura H.

$$E = \frac{1}{2} \rho g H^2 \lambda z \quad (4)$$



Energia mecânica transportada

Pouca dissipação de energia ao passar do alto-mar para a costa oceânica, assim,

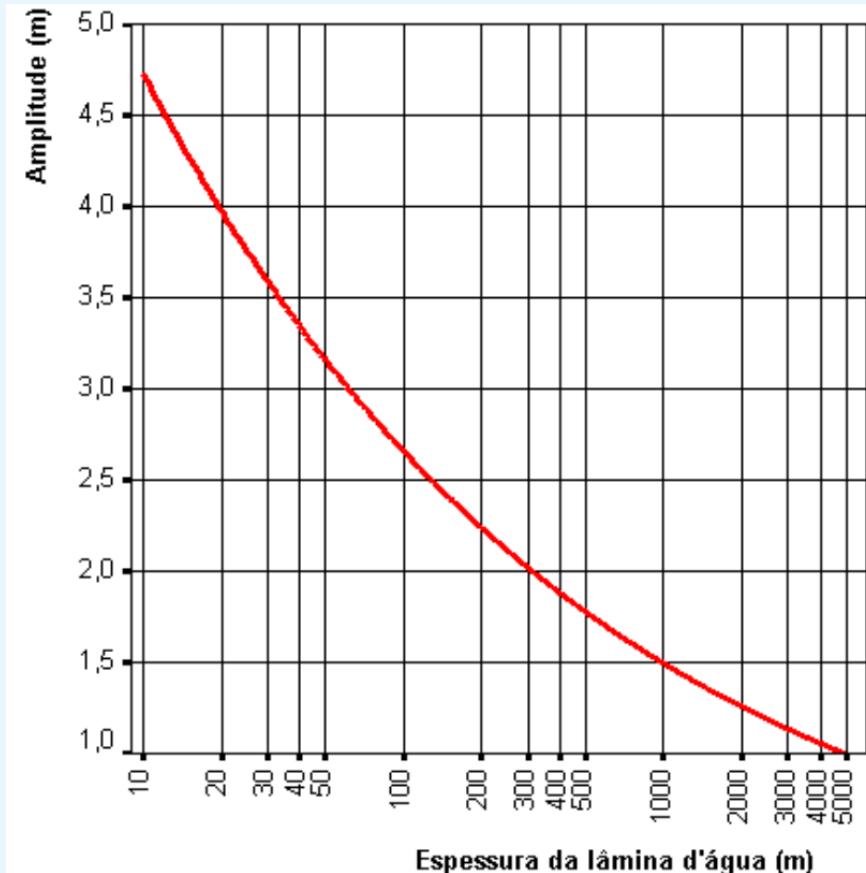
$$E_1 = E_2$$

Com alguma manipulação algébrica, obtemos a *Lei de Green*, dada por

$$\frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^{0,25} \quad (5)$$



Energia mecânica transportada



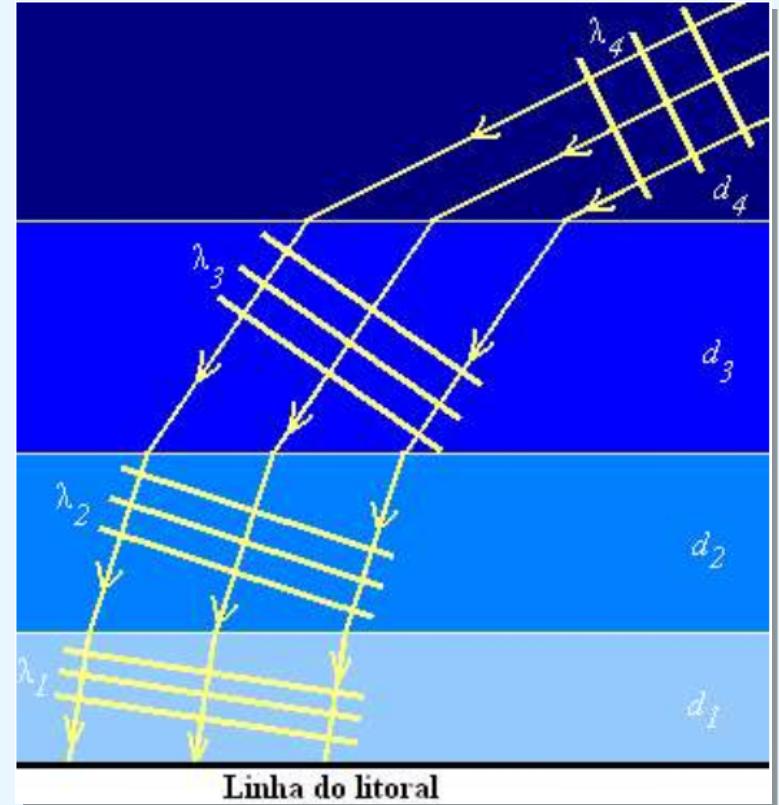
Relação da amplitude transversal máxima de um tsunami com a espessura da lâmina d'água da região por onde ele se propaga. Extraído de [1].

$$B_r = \frac{H}{T^2 g} k \quad (6)$$

$B_r > 1$ indica rebentação da onda.

Efeitos de refração

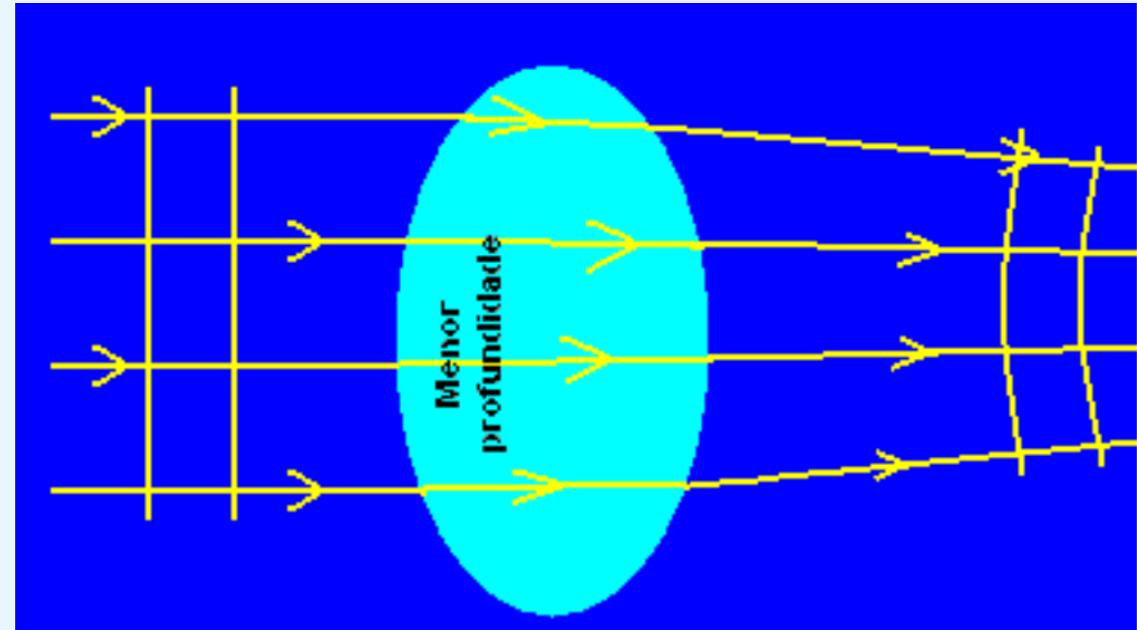
Quando uma onda sofre variações no valor da sua velocidade de propagação, também pode variar a sua direção de propagação.



Refração das ondas marítimas. Extraído de [1].

Efeitos de refração

Os tsunami podem sentir os contornos batimétricos, isto é, a topografia do fundo do oceano.



Refração de um tsunami. Extraído de [1].



Conclusões

Durante a cadeira de Física B não estudamos muito (se estudamos) o assunto de ondas marítimas.

Com a ocorrência de diversos tsunami ao longo da história, é interessante estudarmos as características físicas dos mesmos. O material para este estudo não é tão amplo. Neste seminário foram reunidas algumas informações importantes deste fenômeno natural.



Agradecimentos



Bibliografia e referências

[1] SILVEIRA, Fernando Lang da e Varriale, Maria Cristina. Propagação das ondas marítimas e dos tsunami. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 22, n. 2, p. 190-215. 2005.

D. Young, Hugh e A. Freedman, Roger. *Física II*. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2008.

Capa. Disponível em: <https://sme.goiania.go.gov.br/conexaoescola/wp-content/uploads/2020/09/00242701787ec7b29958fefc4acaa341-e1600971702696.jpg>. Acesso em: 05 jul. 2021.

Onda (logo): Disponível em: <https://www.freepnglogos.com/images/wave-41455.html>. Acesso em: 05 jul. 2021.

[2] Tipos de ondas mecânicas. Disponível em: https://dr282zn36sxxg.cloudfront.net/datastreams/f-d%3A0cf89ef262e74760ddd7d36f8ab1f7b68b1d5b00518b885c5c1bf96%2BIMAGE_THUMB_POSTCARD_TINY%2BIMAGE_THUMB_POSTCARD_TINY.1. Acesso em: 05 jul. 2021.

[3] Propriedades das ondas. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Juan-Leyva-Cruz/publication/318277075/figure/fig3/AS:667700078587906@1536203512172/Representacao-esquematica-da-voz-por-uma-onda-mecanica-sonora-mostrando-suas-principais.png>. Acesso em: 05 jul. 2021.

[4] Devastação por tsunami. Disponível em: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/80/US_Navy_050102-N-9593M-040_A_village_near_the_coast_of_Sumatra_lays_in_ruin_after_the_Tsunami_that_struck_South_East_Asia.jpg. Acesso em: 05 jul. 2021.

[5] William Elmore. Disponível em: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/30/WilliamCElmore.jpg/640px-WilliamCElmore.jpg>. Acesso em: 05 jul. 2021.

[6] Mark Held. Disponível em: <https://cdn-otf-cas.prfct.cc/dfs1/eyJkIjo3MiwieCI6ljAiLCJ5IjoiODMiLCJjdyl6ljEzMjUiLCJjaCI6ljE3MDQuMjI0MTM3OTMxMDM0NCIsInJvIjoiMCIsImNyIjoiMSIsInciOjUwNSviaCI6MTg3MiwidXJsljoiaHR0cDpcL1wvYWRhcy1vcmVnb24tY2FzLW9iaXRzLnMzLmFtYXpvbmF3cy5jb21cL3Bob3Rvc1wvY3JIYXRIX3N0b3J5XC81ZjFiNDQxNjUxOGQwXC8zOTU3MGNkZmRjNzEzYWQ5NTI1NmI5ZWRIiMGUzLmpwZyJ9>. Acesso em: 05 jul. 2021.