

Radiação na Atmosfera

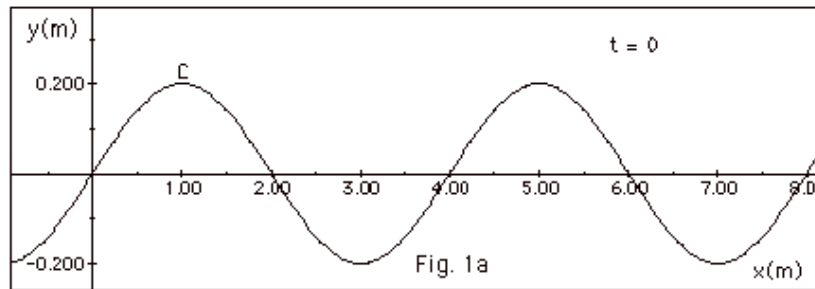
Capítulo 1 - Grandezas Radiométricas - Aula 2

Prof. Breno Imbiriba

Periodo especial da PANDEMIA - 2021

Equação da velocidade de uma onda

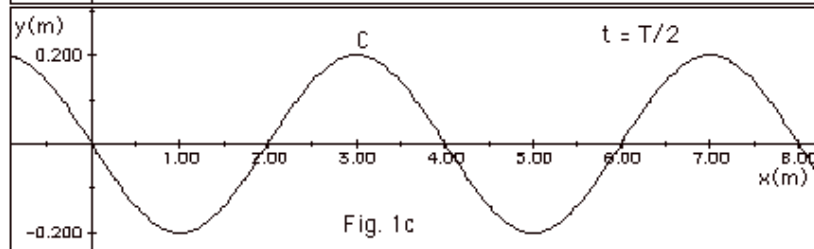
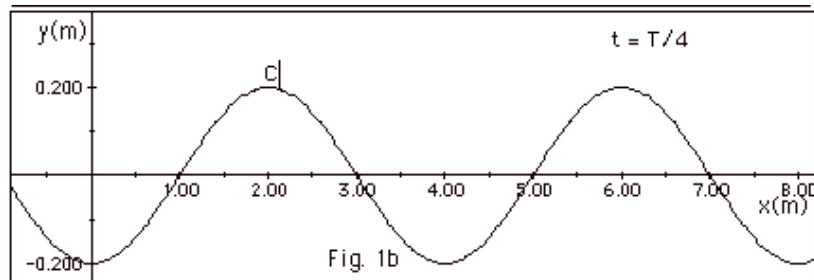
- ▶ Senoide: uma onda simples:



- ▶ Comprimento (de onda): $\lambda = 4.0\text{m}$.
- ▶ Amplitude (a altura): $A = 0.2\text{m}$.
- ▶ Mas ondas “andam” (se propagam)

Equação da velocidade de uma onda

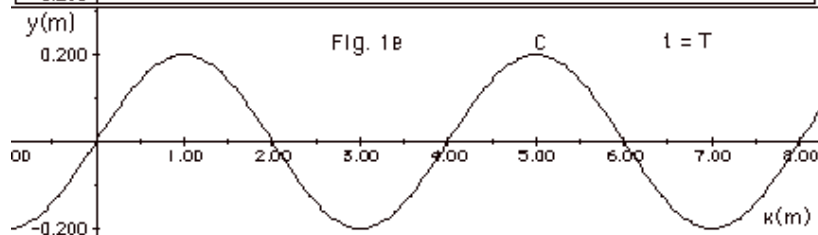
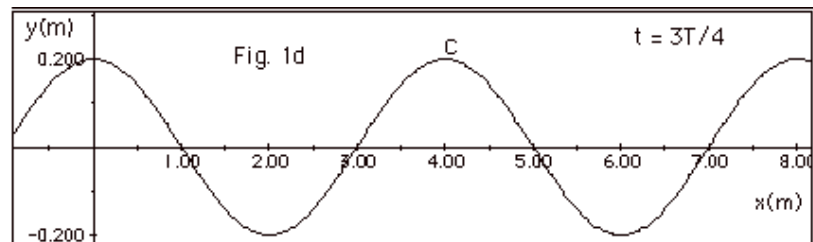
- Andando para a Direita - depois de 0.25s e 0.5s ($T=1s$):



- Velocidade: $v = \Delta x / \Delta t = 1/0,25 = 4m/s$.

Equação da velocidade de uma onda

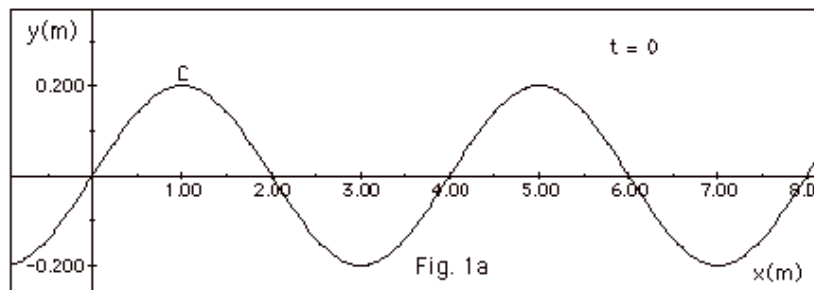
- Andando para a Direita - depois de 0.75 e 1.0s ($T=1s$):



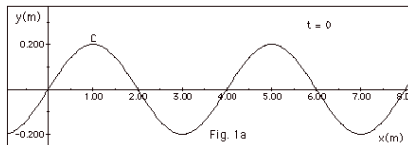
- Período (Tempo para voltar à forma original): $T = 1s$.

Equação da velocidade de uma onda

- ▶ Note o período e velocidade: $v = \lambda / T = 4/1 = 4\text{m/s}$.
- ▶ A Frequencia - o inverso do período: $f = 1/T$ em Hertz (1/s).
- ▶ Assim: $v = \lambda f$.
- ▶ A frequência f também é descrito com a letra grega ν (ni).



Como fazer uma onda andar? Fase.



- ▶ Fase: é o argumento da função seno:
 - ▶ ex: $\sin(\pi/4)$, fase $\phi = \pi/4$.
 - ▶ ex: $\sin(45^\circ)$, fase $\phi = 45^\circ$.
- ▶ A onda se repete depois de uma mudança de Fase de 2π .
- ▶ Relação posição - Fase (regra de três)

$$\lambda \rightarrow 2\pi$$

$$x \rightarrow \phi$$

- ▶ A Função para qualquer x fica então:

$$f(x) = A \sin \left(\frac{2\pi}{\lambda} x \right).$$

Como fazer uma onda andar? Tempo.

- ▶ Como andar para a DIREITA?
- ▶ Uma função $f(x)$ se desloca para a direita se **subtrairmos** um valor de x :
 - ▶ $f(x - a)$ é a mesma função mas deslocada de a para a DIREITA.
- ▶ A onda anda com uma **velocidade** v para a DIREITA. Qual é o deslocamento?
 - ▶ $v = \Delta x / \Delta t$, logo: $\Delta x = v \Delta t$.
- ▶ Assim:

$$f(x) \rightarrow f(x - \Delta x) = f(x - vt)$$

Como fazer uma onda andar? Tempo.

- ▶ Para a onda senoidal: $v = \lambda f$, logo:

$$\begin{aligned} f(x, t) &= A \sin \left(\frac{2\pi}{\lambda} (x - vt) \right) = \\ &= A \sin \left(\frac{2\pi}{\lambda} (x - \lambda ft) \right) = \\ &= A \sin \left(2\pi \left(\frac{x}{\lambda} - ft \right) \right). \end{aligned}$$

- ▶ OU

$$f(x, t) = A \sin (2\pi (kx - \nu t)).$$

- ▶ ν é a frequência ($\text{Hz} = 1/\text{s}$)
- ▶ $k = \frac{1}{\lambda}$ é o número de onda ($1/\text{m}$ ou comumente $1/\text{cm}$ ou $1/\text{nm}$).

Ex. Qual o número de onda de uma onda com $\lambda = 1\text{mm}$? *

Quantas ondas cabem em 1cm ? Resp = 10. * Então o Número de onda é $k = 10\text{cm}^{-1}$.

Exercícios:

6. Calcule o Número de onda de uma onda com $\lambda = 10\mu\text{m}$, $1\mu\text{m}$ e 100nm . Em unidades de $1/\text{cm}$.

$$k = \frac{1}{\lambda}.$$

$$k = \frac{1}{10 \times 10^{-6}} \frac{1}{\text{m}} = 10^5 \frac{1}{100\text{cm}} = 1000 \frac{1}{\text{cm}}$$

Note:

$$10^5(100\text{cm})^{-1} = 10^5 100^{-1} \text{cm}^{-1} = \frac{10^5}{100} \text{cm}^{-1} = 1000 \text{cm}^{-1}.$$

Densidade Espectral

Normalmente a radiação não é monocromática, se espelha em uma região do espectro. Ex. A radiação de uma lâmpada incandescente abrange tanto o visível quanto o infravermelho!

Densidade Espectral: a taxa de radiância emitida por cada comprimento de onda - ou: Considere um comprimento de onda específico λ_s , e considere a quantidade de radiância ΔL observada mas considerando apenas comprimentos de onda dentro de um intervalo $\Delta\lambda$ (que contenha λ_s). Assim:

$$L_\lambda(\lambda_s) = \lim_{\Delta\lambda \rightarrow 0} \frac{\Delta L(\lambda_s)}{\Delta\lambda} = \frac{dL(\lambda_s)}{d\lambda},$$

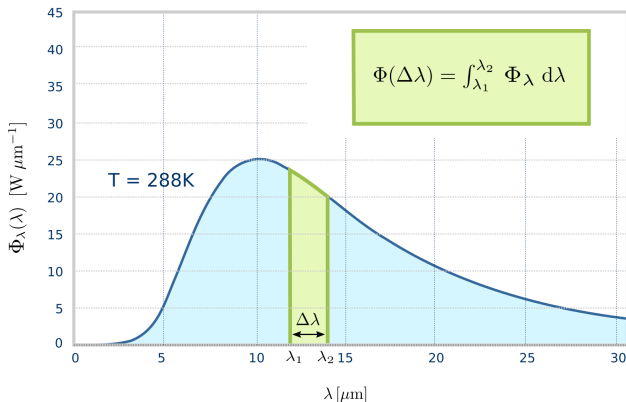
- ▶ Unidades: $\text{W}/\text{m}^2/\text{sr}/\text{cm}$
- ▶ A Radiância total emitida entre num intervalo $I = [\lambda_1, \lambda_2]$ é

$$L(\lambda_1, \lambda_2) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_\lambda(\lambda) d\lambda.$$

Densidade Espectral

- ▶ A radiância TOTAL (emitida ou absorvida) em **todos** os comprimentos de onda é dado por:

$$L_{\text{tot}} = \int_0^{\infty} \lambda(\lambda) d\lambda.$$



Densidade espectral usando ν e k

- ▶ A densidade espectral é definida como uma **derivada**, logo, uma troca de variáveis precisa levar em conta o *jacobiano* da troca de variáveis:

$$L_\lambda = \frac{dL}{d\lambda} = \frac{dL}{d\nu} \cdot \left| \frac{d\nu}{d\lambda} \right| = L_\nu \cdot \left| \frac{d\nu}{d\lambda} \right|.$$

- ▶ Para calcular o *jacobiano*, usamos a fórmula: $c = \lambda\nu$:

$$c = \lambda\nu \rightarrow \nu = c/\lambda \rightarrow \frac{d\nu}{d\lambda} = -\frac{c}{\lambda^2}.$$

- ▶ Densidade em termos da frequência:

$$L_\nu = \frac{dL}{d\nu} = \frac{dL}{d\lambda} \frac{\lambda^2}{c}.$$

- ▶ Densidade em termos do número de onda

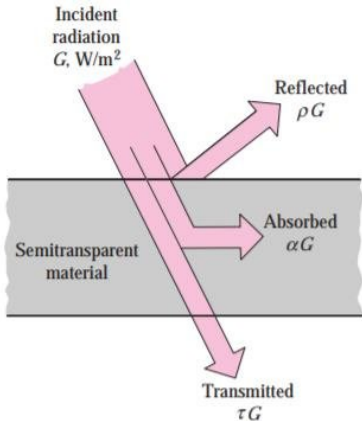
$$L_k = \frac{dL}{dk} = \frac{dL}{d\lambda} \lambda^2.$$

Espalhamento, Absorção e Transmissão

- ▶ O fluxo de radiação Eletromagnética (ϕ) incidente na matéria sofre:
 1. Atenuação: processo de absorção parcial ou total da energia luminosa pela matéria.
 2. Emissão: processo onde a matéria emite energia radiante aumentando o fluxo.
 3. Espalhamento: processo onde a luz é redirecionada (para várias direções) pela matéria.
- ▶ Esses três processos físicos podem ser resumidos em três parâmetros:
 1. Absorção: $\alpha = \frac{\phi_{abs}}{\phi}$.
 2. Reflexão: $\rho = \frac{\phi_{refl}}{\phi}$.
 3. Transmissão: $\tau = \frac{\phi_{trans}}{\phi}$.
- ▶ Esses coeficientes são SEMPRE função do comprimento de onda.

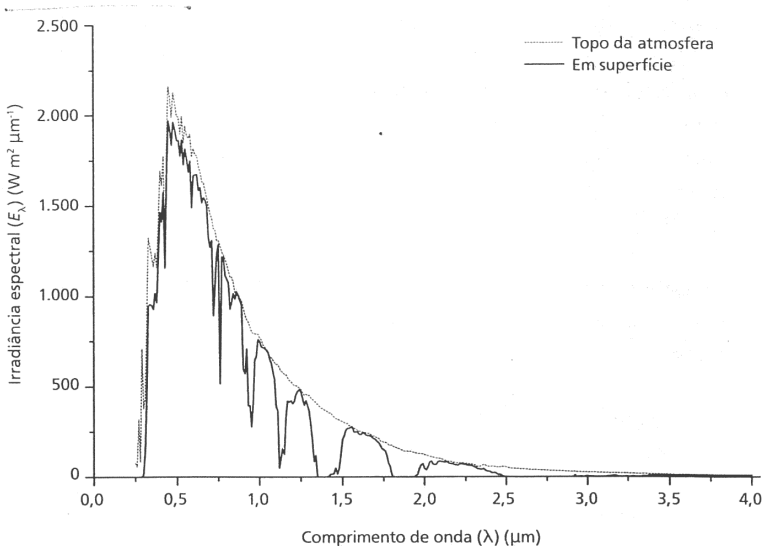
Espalhamento, Absorção e Transmissão

- Cada um desse pode acontecer em certa fração:



Espalhamento, Absorção e Transmissão

- Absorção da radiação solar como função do comprimento de onda.



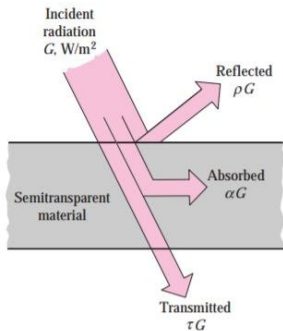
Espalhamento, Absorção e Transmissão

- ▶ Por conservação de energia:
- ▶ Energia incidente (E_{tot}) é dividida em três partes (E_ρ , E_τ , E_α), ou seja:

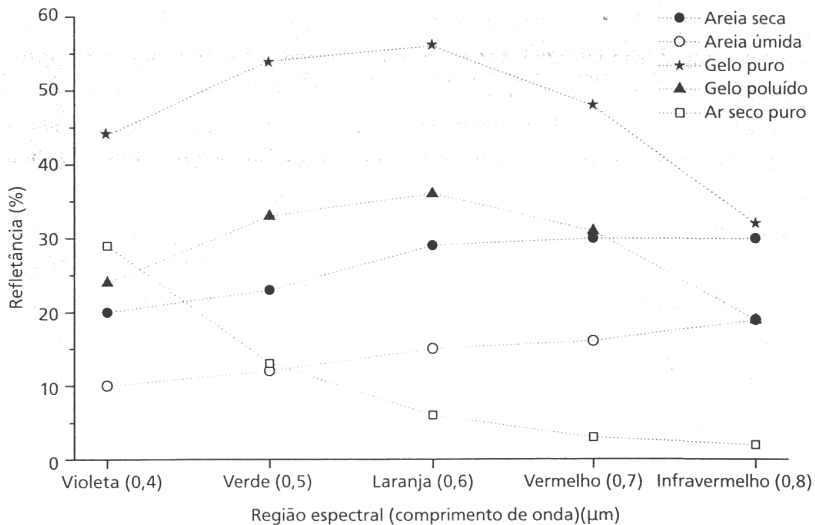
$$E_{tot} = \rho E_{tot} + \tau E_{tot} + \alpha E_{tot},$$

ou

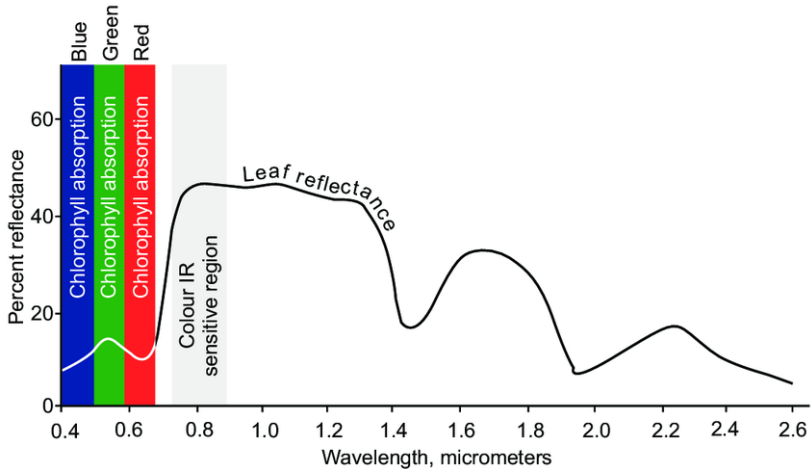
$$\rho + \tau + \alpha = 1.$$



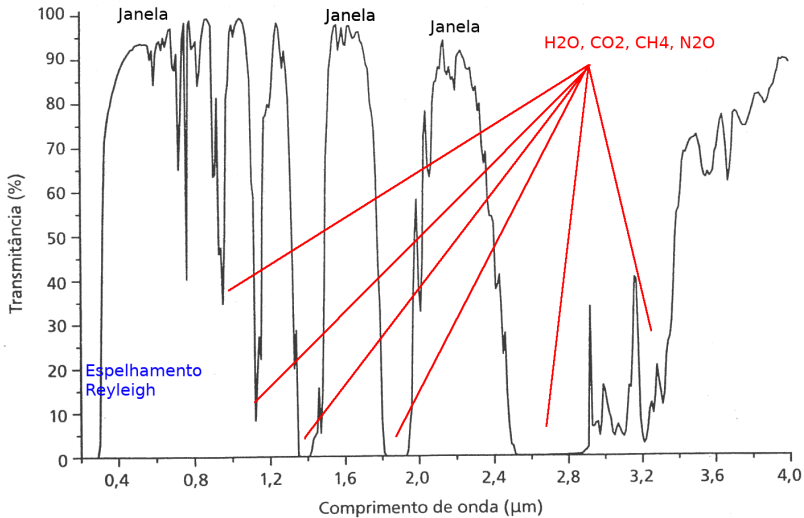
Refletância - Areia (curtas: $\lambda < 4\mu m$)



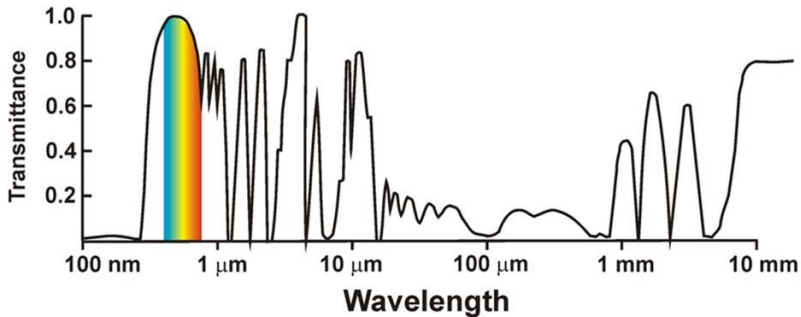
Reflectância - Folha sadia (curtas: $\lambda < 4\mu\text{m}$)



Transmitância - Atmosfera (curta)



Transmitância - Atmosfera (curta e longa)



Exercícios

1. Uma folha sadia tem sua reflectância definida como nos slides acima. Calcule o NDVI de uma folha sadia:

$$\text{NDVI} = \frac{|R_{\text{IR}} - R_{\text{RED}}|}{|R_{\text{IR}} + R_{\text{RED}}|},$$

onde RED tem $\lambda = 700\text{nm}$ e IR tem $\lambda = 1.0\mu\text{m}$.

2. Imagine que voce tem observações de uma cena onde a luz é separada em cores do espectro. Usando o quadro de reflectância da areia e gelo, como voce poderia distinguir entre os dois? Ou seja, que comparação de cores (e IR) voce poderia usar para distinguir entre eles?