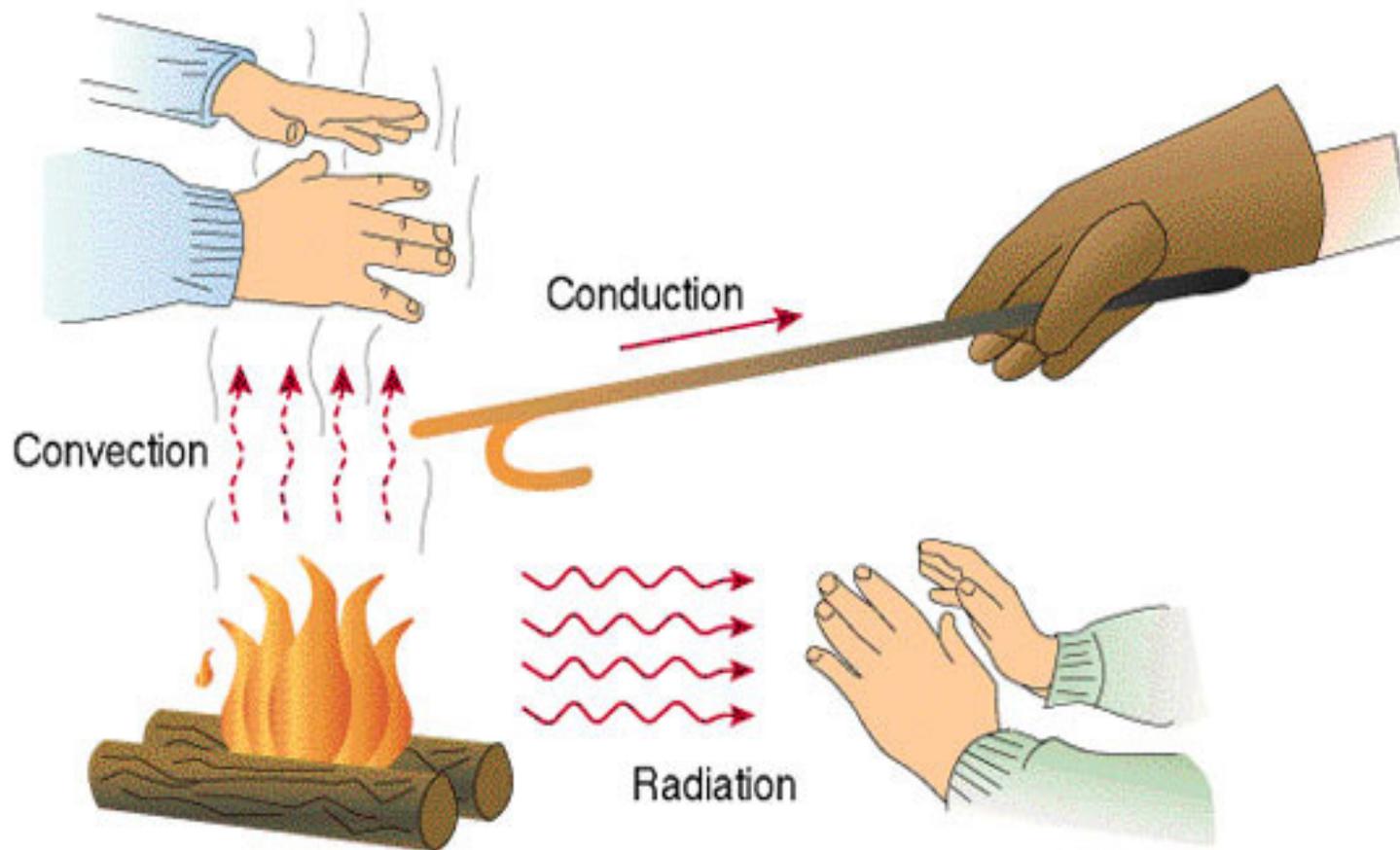


A photograph of a night sky with a crescent moon in the upper right. The sky transitions from a deep blue at the top to a lighter blue and then to a warm orange and red glow near the horizon, suggesting a sunset or sunrise. The foreground is dark and blurry.

Controle Primário do tempo e do clima



Condução – entre corpos em contato físico direto. Transferência de energia entre as moléculas

Convecção – Somente ocorre em líquidos e gases. Transferência de calor pelo movimento do fluido (diferença entre densidades)

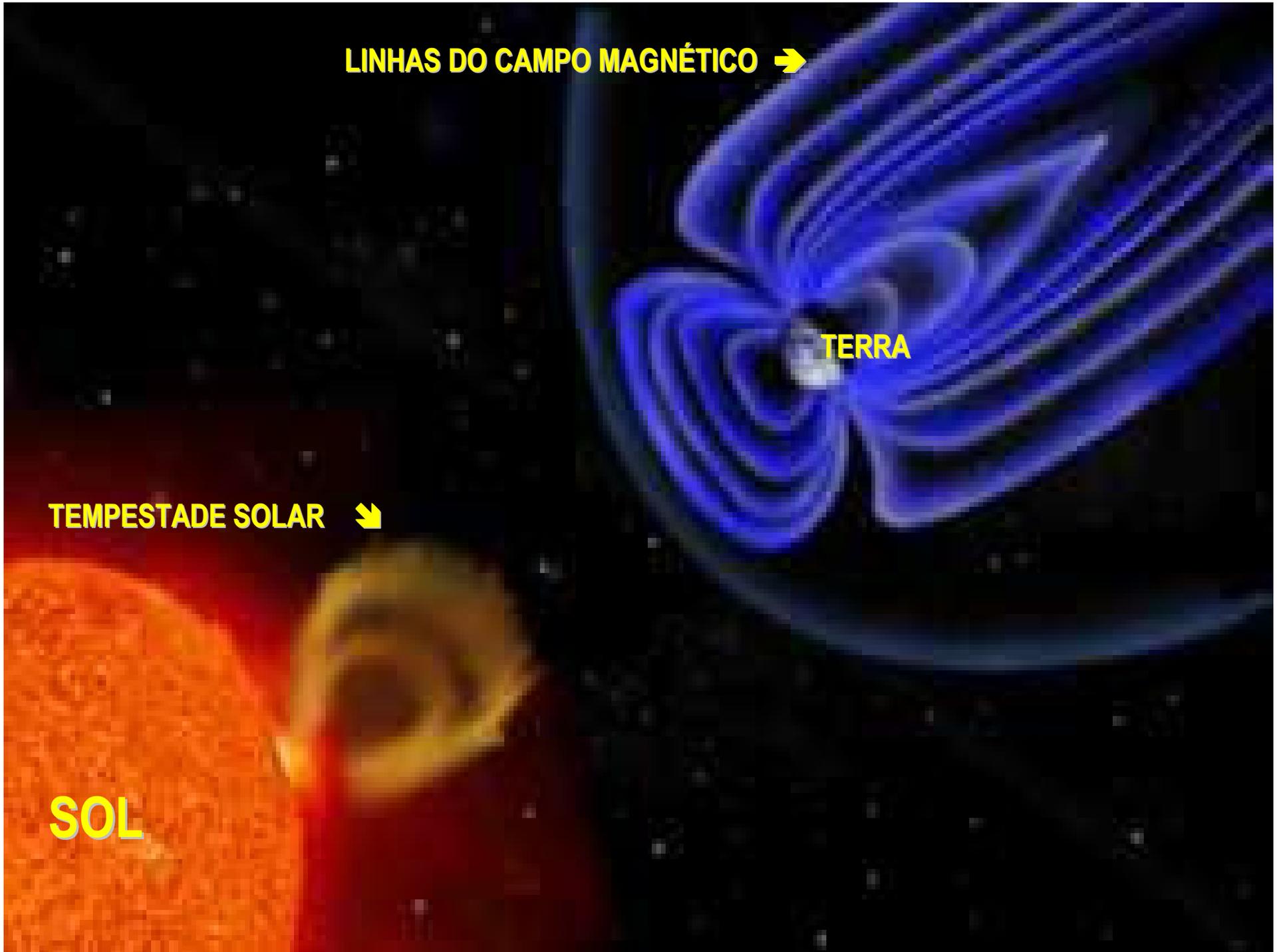
Radiação – Transferência de energia via ondas eletromagnéticas com a velocidade da luz.

LINHAS DO CAMPO MAGNÉTICO →

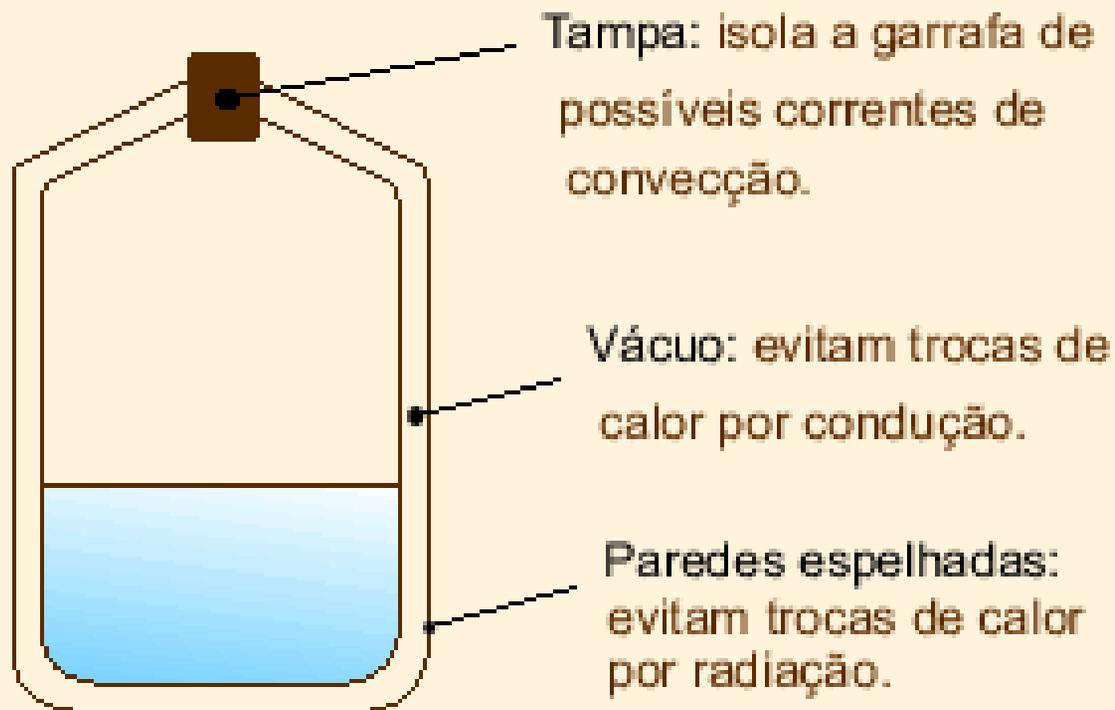
TERRA

TEMPESTADE SOLAR ↘

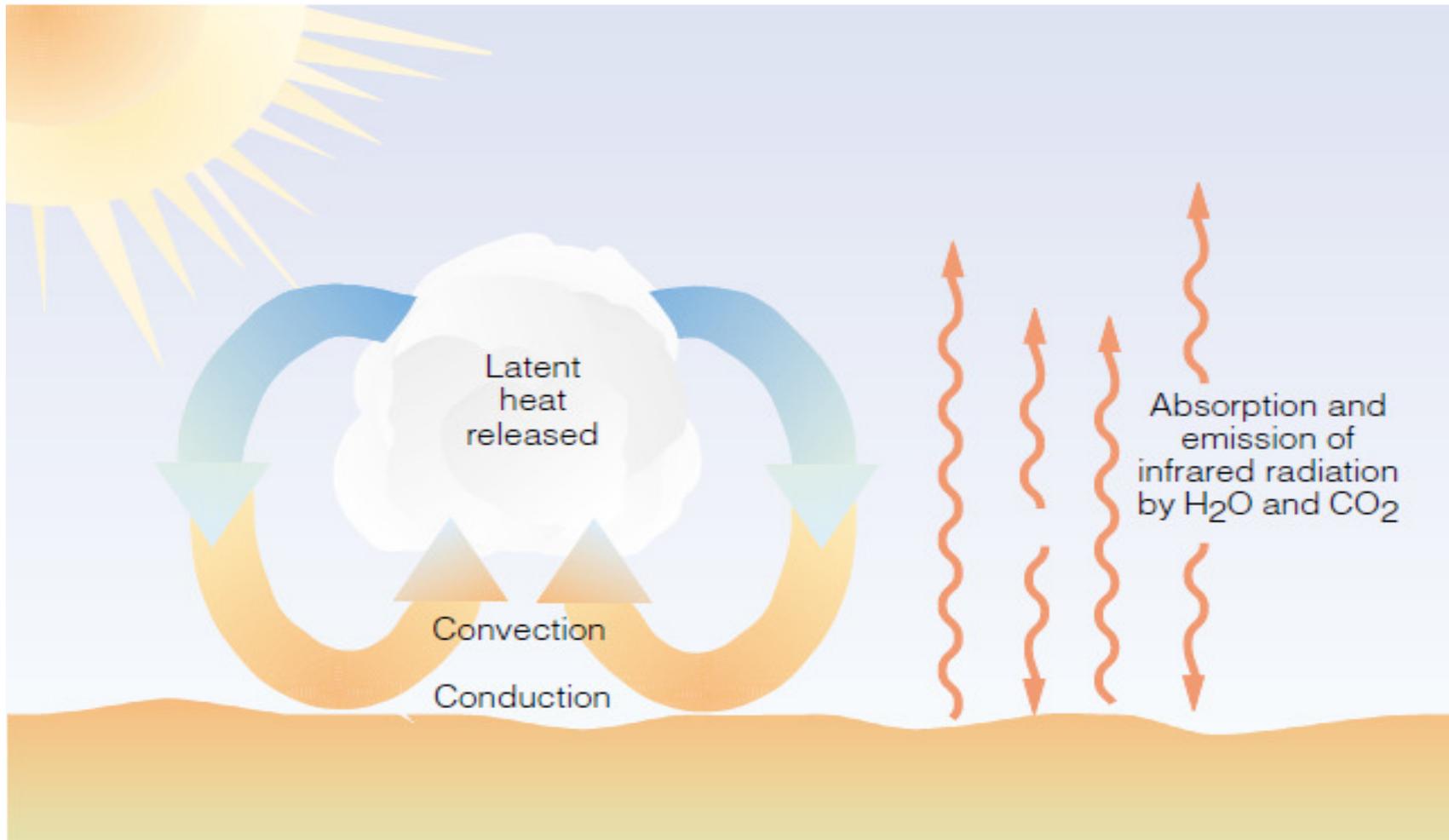
SOL



Ex.: Garrafa Térmica



Ex.: Formação das nuvens



1. INTRODUÇÃO

- Radiação (energia radiante) - se propaga sem necessidade da presença de um meio material – designa processo de transferência desse tipo de energia.
- Principal fonte de energia - radiação eletromagnética proveniente do sol.
- Radiação solar que atinge a superfície → vários processos de interação com a atmosfera → constituída por gases, partículas de aerossol e nuvens.

2. CONCEITOS BÁSICOS

Origem da radiação solar

- Sol:
 - distância média: $\sim 1.5 \times 10^8 \text{ km}$
 - raio: $\sim 6.96 \times 10^5 \text{ km}$
 - massa: $\sim 1.99 \times 10^{35} \text{ g}$
 - principais componentes: hidrogênio (75%) e hélio (25%) + elementos mais pesados (ferro, silício, neônio e carbono)
 - temperatura: $\sim 5 \times 10^6 \text{ K}$ (centro)
 $\sim 5800 \text{ K}$ (superfície)

- Fonte da energia solar \rightarrow conversão de quatro átomos de hidrogênio em um átomo de hélio em reações de fusão.

- **Comprimento de onda (λ):** é a distância entre cristas ou cavados sucessivos.
- **Frequência de onda (ν):** é o número de ondas completas (1 ciclo) que passa por um determinado ponto por unidade de tempo.

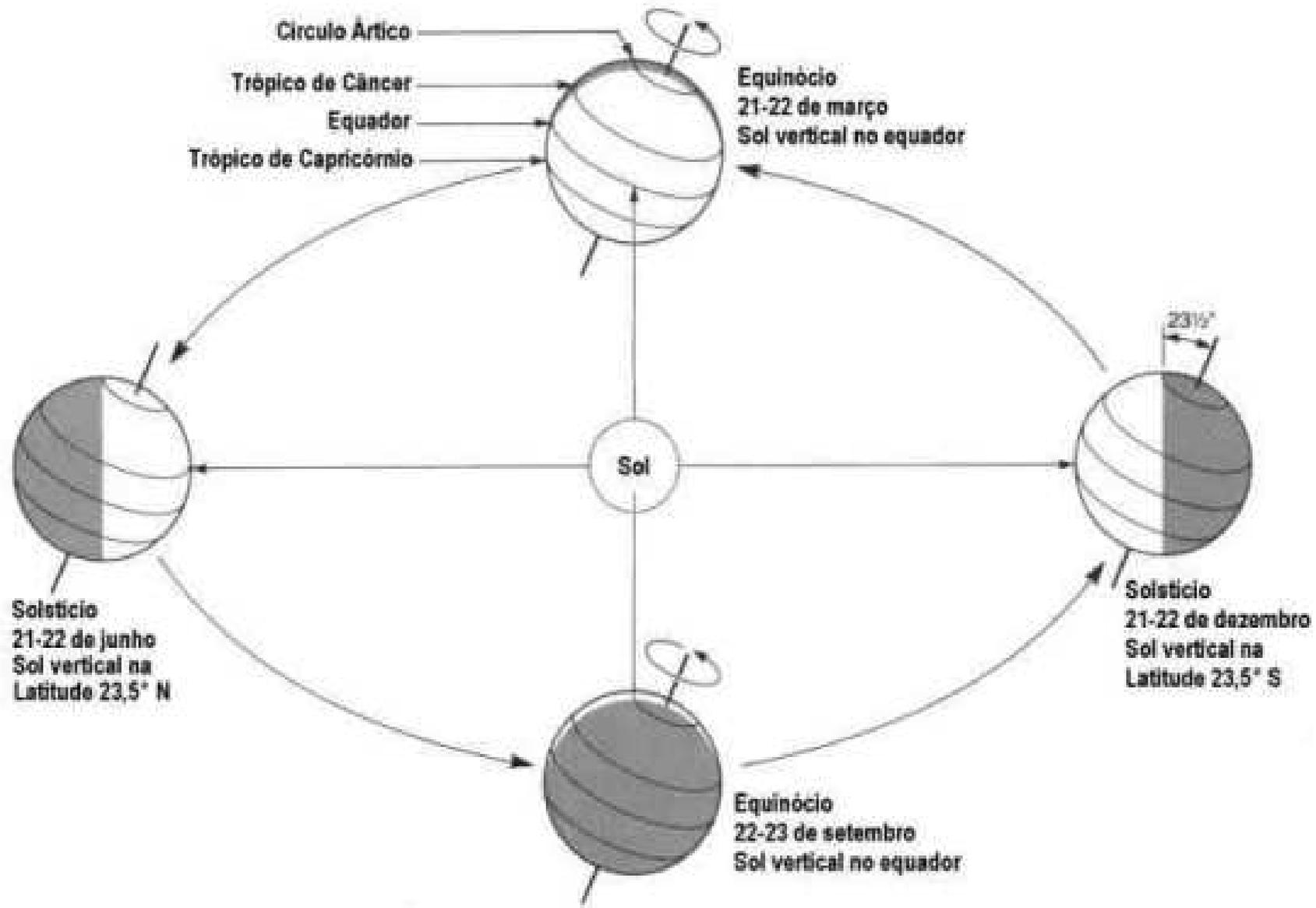


- Velocidade de propagação (c): no vácuo $c=3*10^8$ m/s.

$$\text{Relação: } c = \lambda \cdot \nu$$

Radiação e os movimentos da Terra

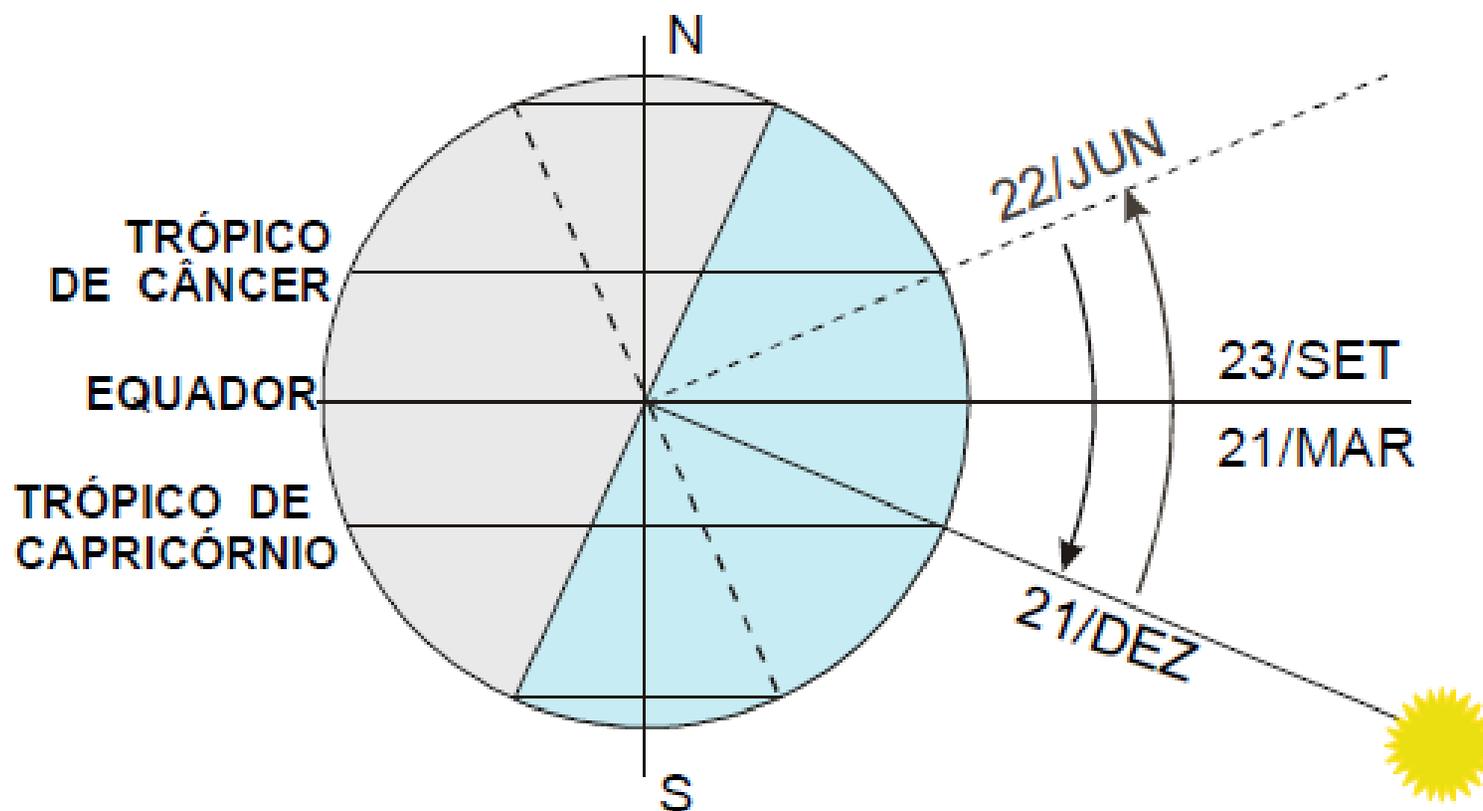
- A terra tem dois movimentos principais: Rotação e Translação
- Rotação: movimento em torno do seu eixo responsável pelo ciclo dia e noite.
- Translação: movimento elíptico da Terra em torno do Sol responsável pelo ciclo anual.



Radiação e os movimentos da Terra

- Periélio: momento em que a Terra se encontra mais próxima do Sol - Janeiro
- Afélio: momento em que a Terra se encontra mais distante do Sol - Junho

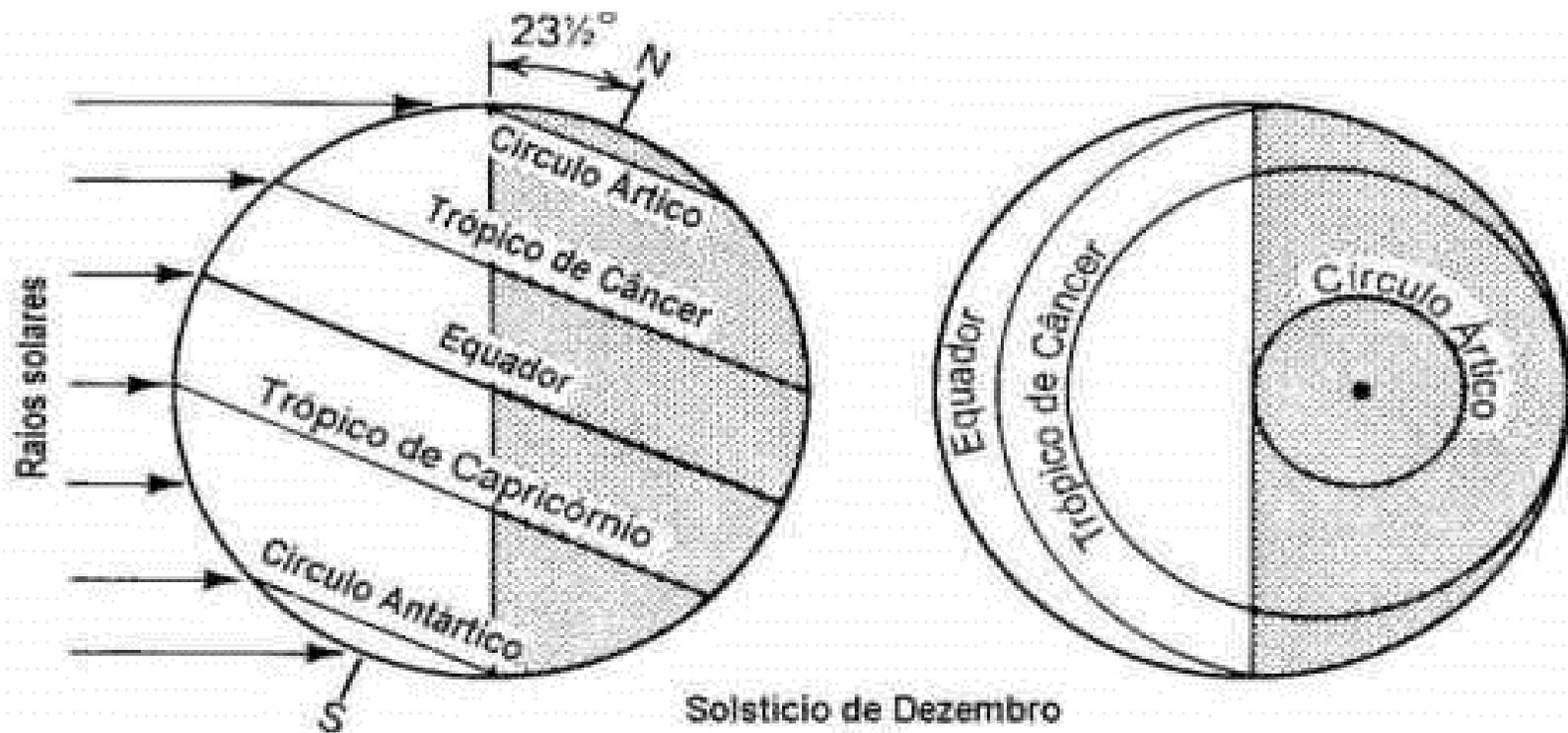
Variação da declinação Solar



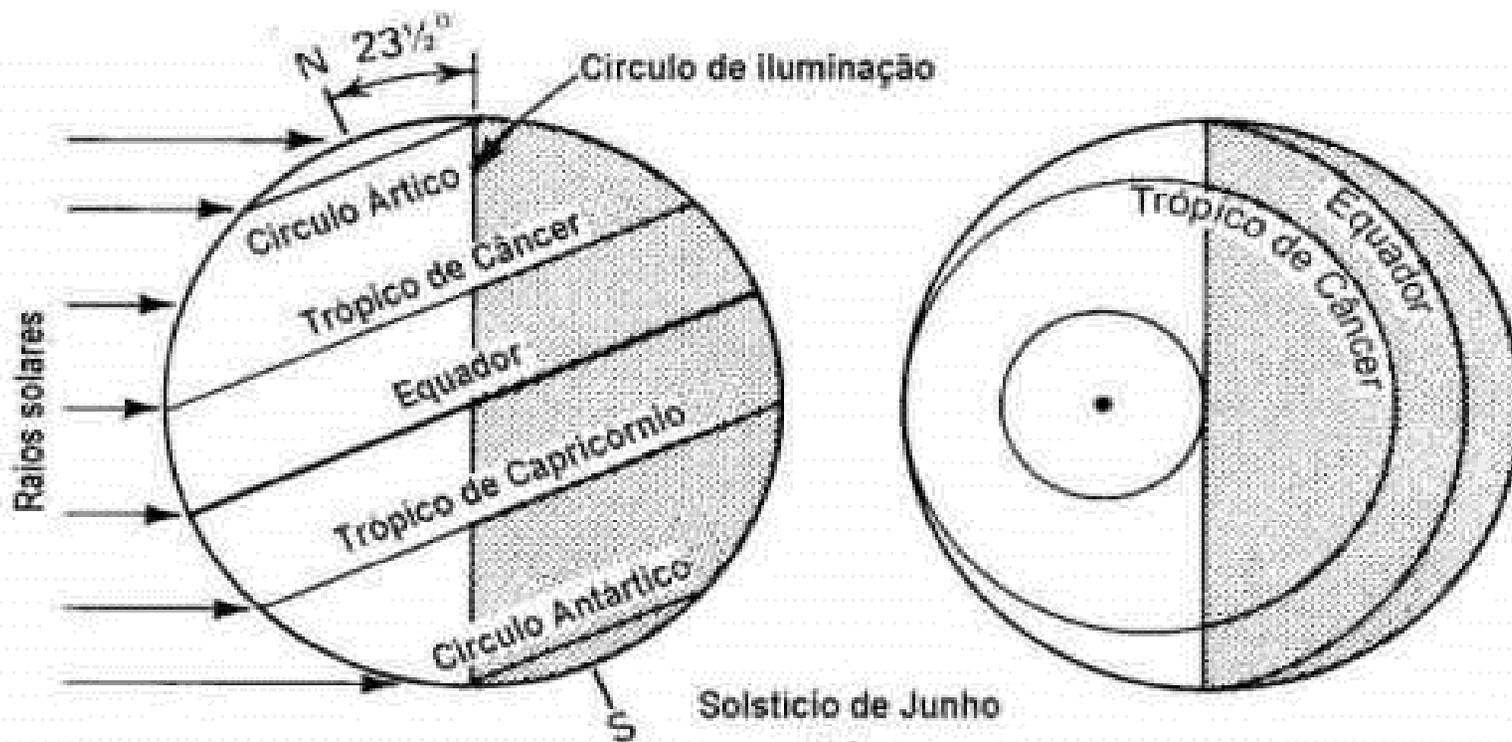
$$\text{Declinação solar} = 23,25^\circ \cos \left(\left(\frac{360}{365} \right) * (N + 10) \right)$$

N = dia juliano

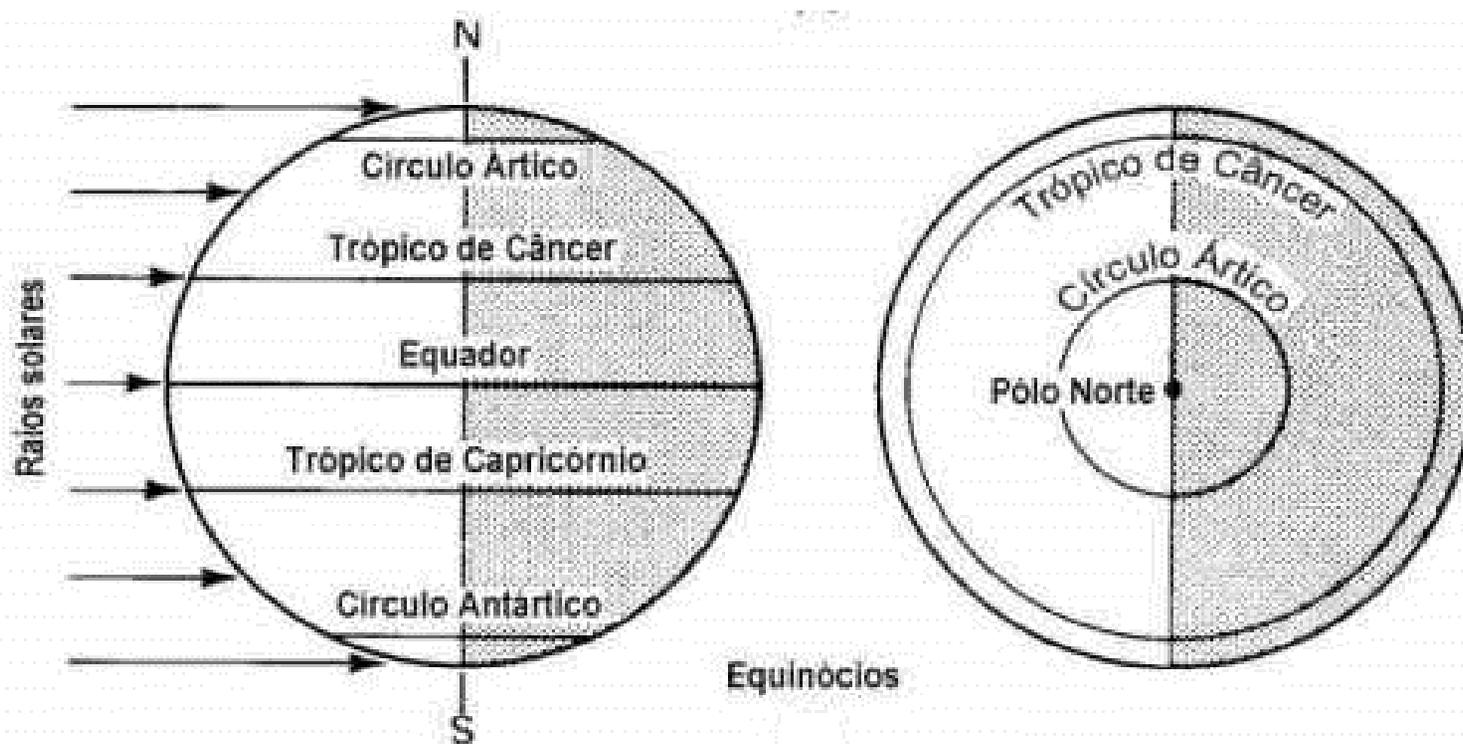
- 21-22 Dez: O Sol incide na Terra com um ângulo de ($23^{\circ}27'S$) quando o HS esta mais próximo do Sol, e este é o Solstício de verão para o HS.



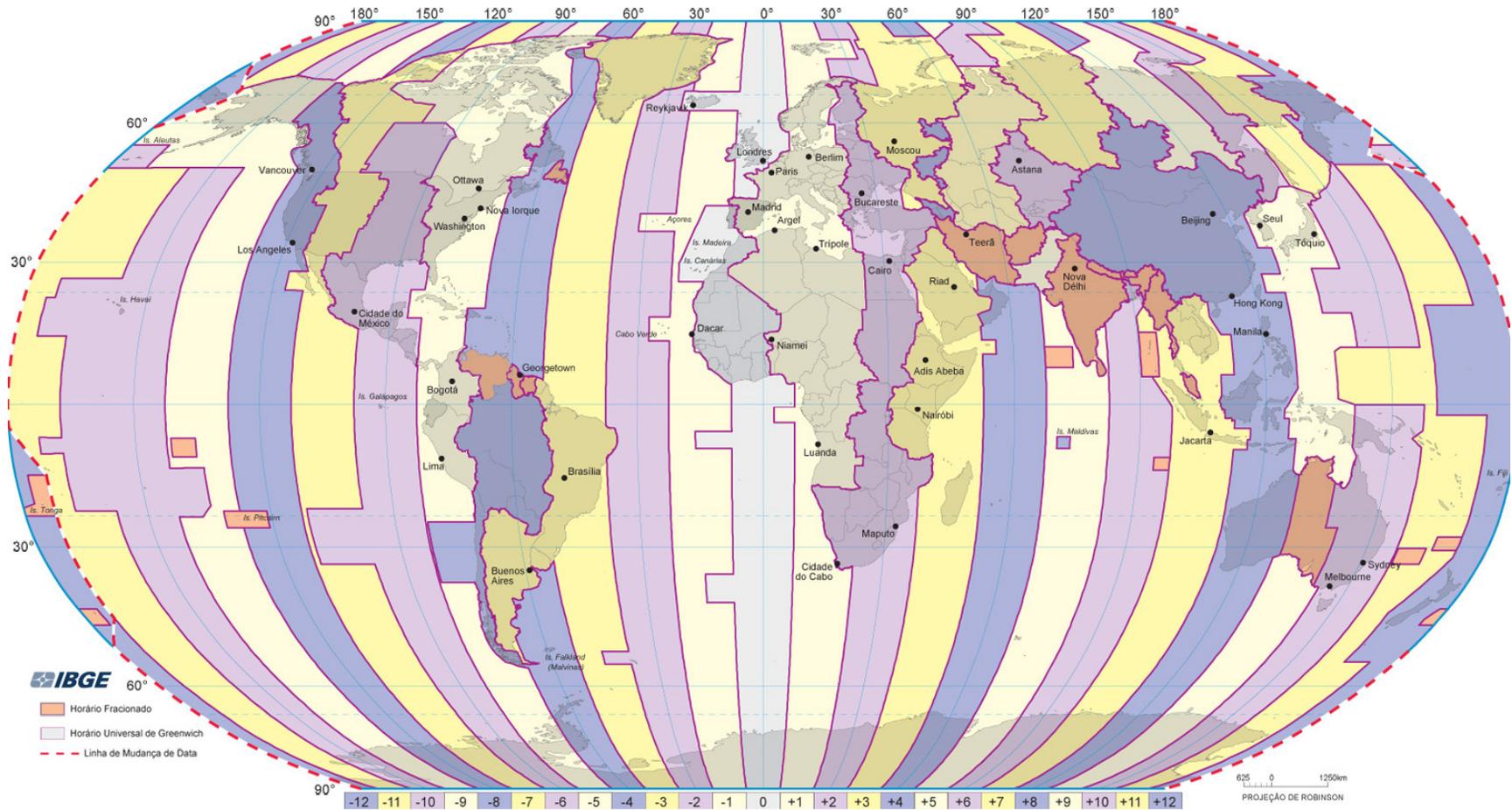
- 21-22 Jun: O Sol incide na Terra com um ângulo de ($23^{\circ}27'N$) quando o HS esta mais afastado do Sol, e este é o Solstício de inverno para o HS.



- Entre os Solstícios ocorrem os Equinócios, quando o Sol atinge a Terra com um ângulo de 0° . (Dias e noites com durações iguais)
- No HS o equinócio de primavera ocorre em 22-23 de Setembro e o de outono em 21-22 de Março

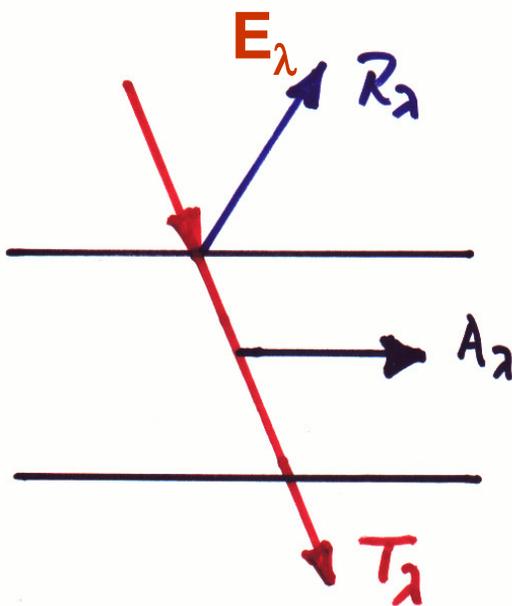


Fuso horários



LEIS DA RADIAÇÃO

REFLEXÃO, ABSORÇÃO E TRANSMISSÃO



$$E_{\lambda} = A_{\lambda} + R_{\lambda} + T_{\lambda}$$

DIVIDINDO POR E_{λ}

$$\alpha_{\lambda} + \rho_{\lambda} + \tau_{\lambda} = 1$$

Coefficientes de absorção, reflexão (Albedo) e transmissão

- Então quanto maior o Albedo melhor refletor o corpo será.

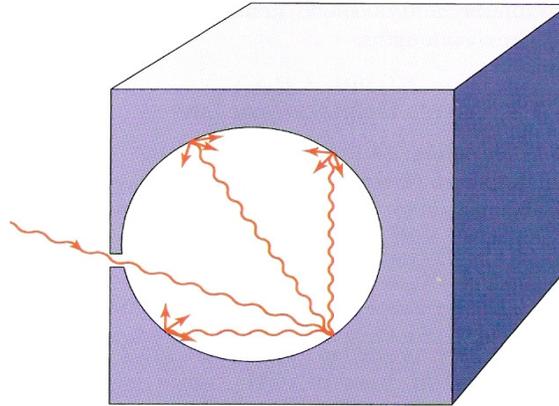


- Para o canal visível podemos tomar como exemplo a neve fresca com albedo entre (85 – 95%) e a vegetação o solo com Albedo (<15%).

O princípio da conservação de energia permite estabelecer que:

- $a_\lambda + r_\lambda + t_\lambda = 1$

Corpo Negro



- O corpo Negro é uma superfície que absorve completamente a radiação incidente em todos os λ .
- É um absorvente perfeito idealizado para estudos (não se encontra na natureza).

Exercícios

- Assumindo uma transmitância nula qual seria a absorvidade de uma superfície coberta por neve com um Albedo de 0,9?
- Rta. : 0,1
- Qual o valor o Albedo para um corpo negro?
- Rta.: 0
- E qual a transmitância?
- Rta.: 0

LEI DE STEFAN-BOLTZMAN = ENERGIA EMITIDA POR UM CORPO

$$\text{Energia} = \epsilon \sigma T_e^4, \text{ ONDE}$$

ϵ = EMISSIVIDADE DO CORPO

σ = CONSTANT DE BOLTZMAN = 5.67×10^{-8} W/m²/K

T_e = TEMPERATURA EFETIVA

EXEMPLOS:

$$T_{\text{Sol}} = 6000 \text{ K [5727 °C]} \rightarrow \text{Energia} = 73.483.200 \text{ W / m}^2$$

$$T_{\text{Terra}} = 288 \text{ K [15°C]} \rightarrow \text{Energia} = 390 \text{ W / m}^2$$

Lei de Wien:

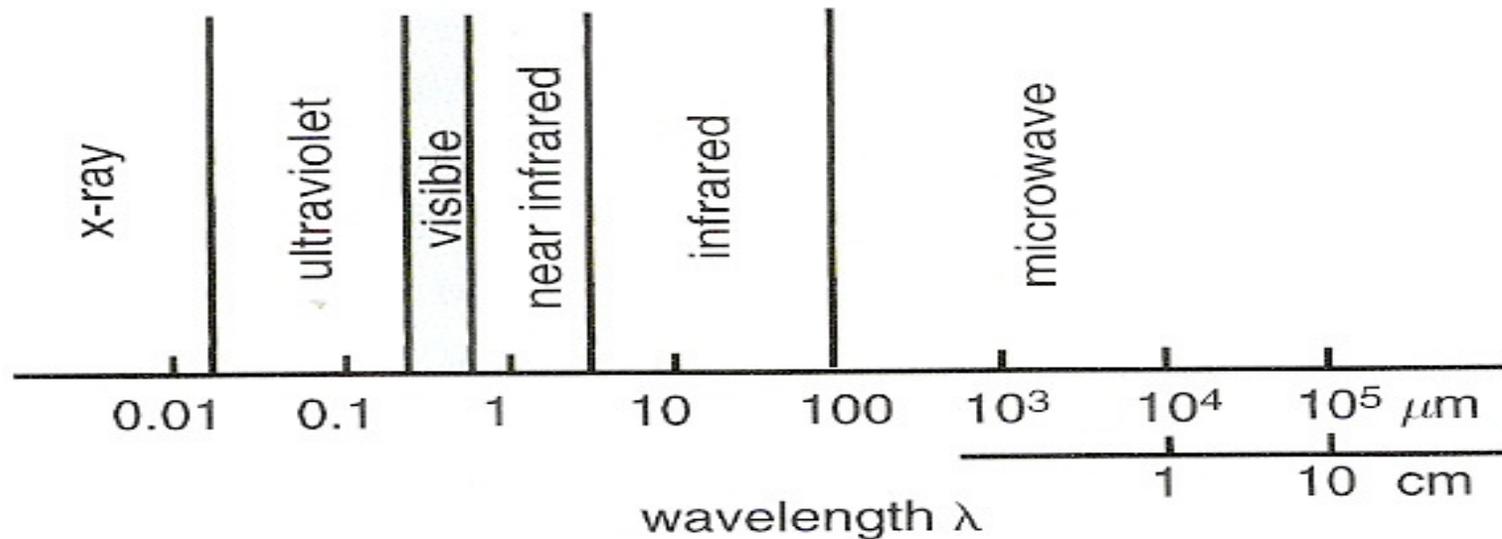
$$\lambda_m = \frac{2897}{T}$$

λ_m em micrometros e T em graus Kelvin.

- Estima-se a temperatura de uma fonte de radiação sabendo-se o espectro de emissão.
- Radiação solar → concentrada nas regiões visível (0,4-0,7 μm) e infravermelho próximo (0,7-4 μm) do espectro
6000K = 0,48 μm - Radiação de Ondas Curtas
- Radiação emitida pelos planetas e suas atmosferas → confinada ao infravermelho (>4 μm)
288K = 10,06 μm - Radiação de Ondas Longas

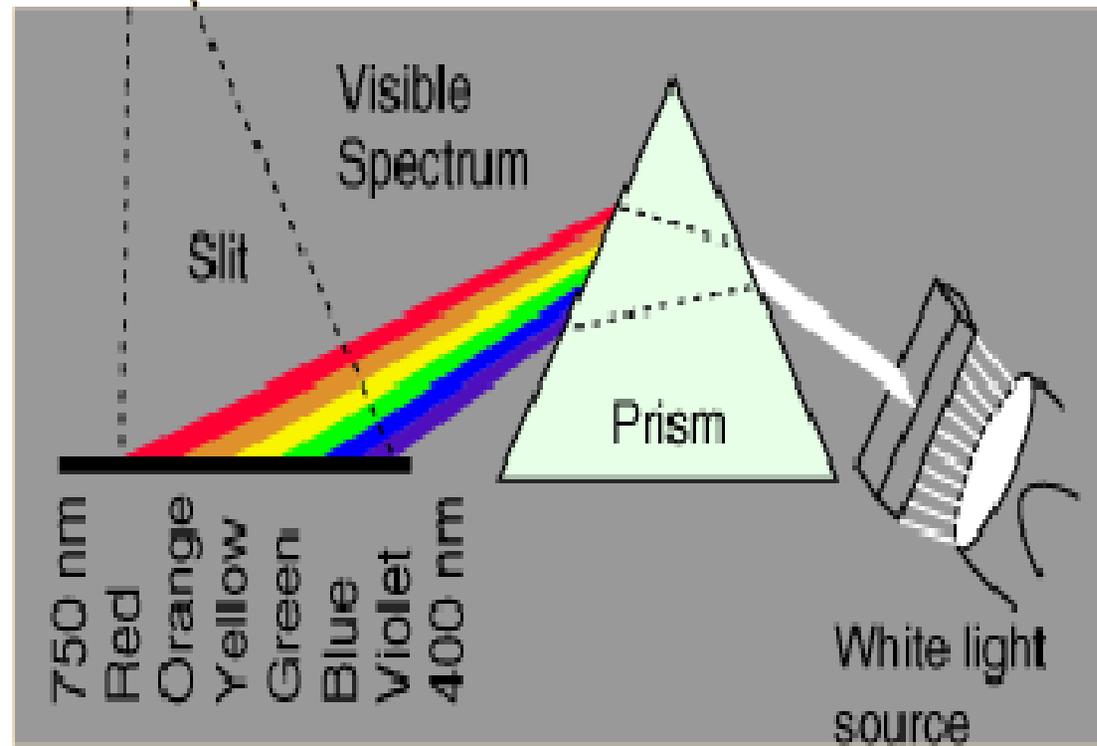
Espectro Eletromagnético

- As várias formas de radiação, caracterizadas pelo seu comprimento de onda, compõem o espectro eletromagnético.



Espectro eletromagnético

Radio	Far IR, Micro-wave	IR	UV	x-ray γ-ray
-------	-----------------------	----	----	----------------



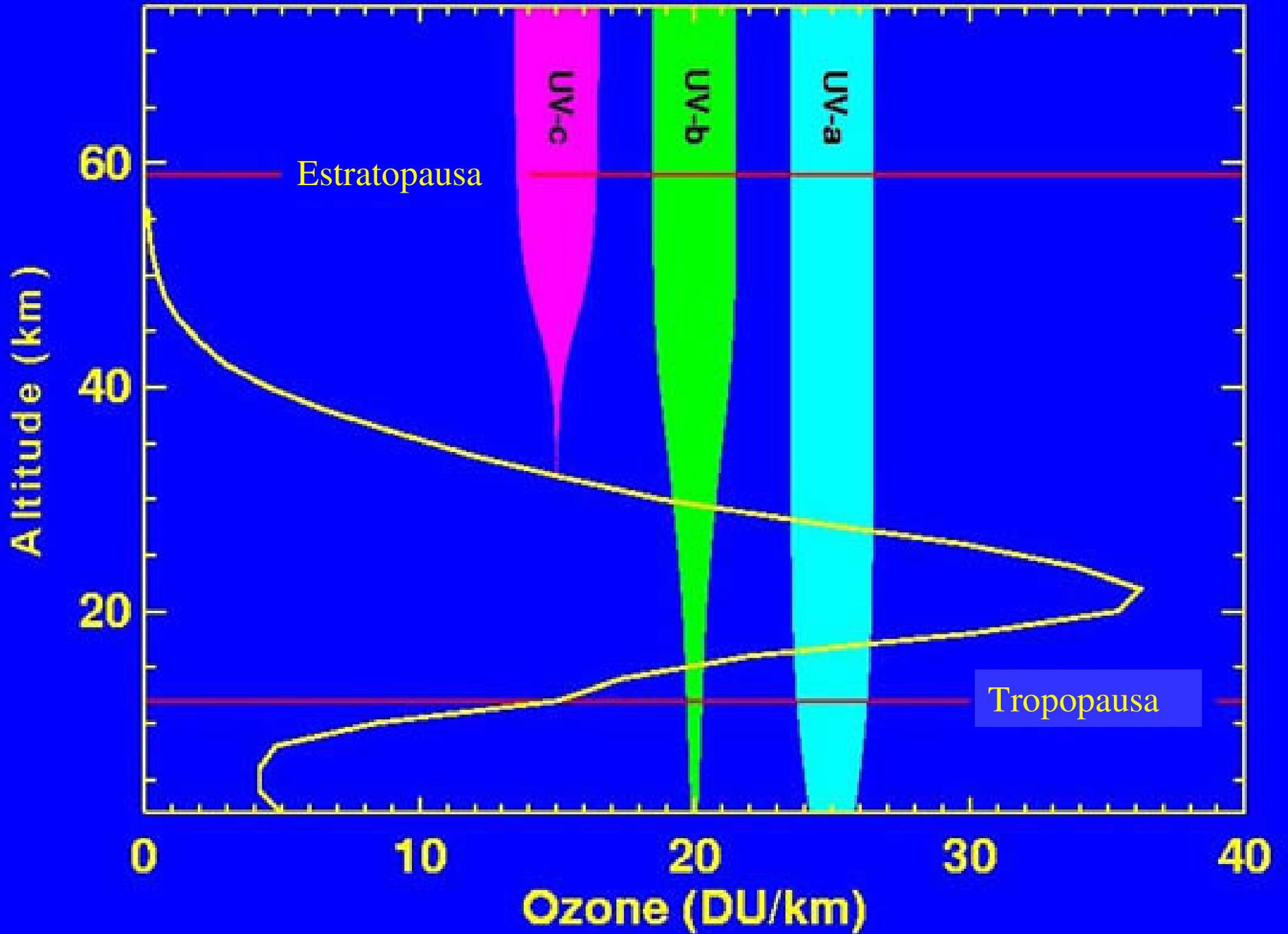
DISTRIBUIÇÃO DE RADIAÇÃO SOLAR POR BANDAS ESPECTRAIS

ULTRAVIOLETA $0,100 \leq \lambda \leq 0,400 \mu\text{m}$ 8,3%

UVC $0,100 \leq \lambda \leq 0,280 \mu\text{m}$ 0,5%

**UVB $0,280 \leq \lambda \leq 0,315 \mu\text{m}$
1,5%**

**UVA $0,315 \leq \lambda \leq 0,400 \mu\text{m}$
6,3%**



DISTRIBUIÇÃO DE RADIAÇÃO SOLAR POR BANDAS ESPECTRAIS

ULTRAVIOLETA $0,100 \leq \lambda \leq 0,400 \mu\text{m}$ 8,3%

UVC $0,100 \leq \lambda \leq 0,280 \mu\text{m}$ 0,5%

UVB $0,280 \leq \lambda \leq 0,315 \mu\text{m}$
1,5%

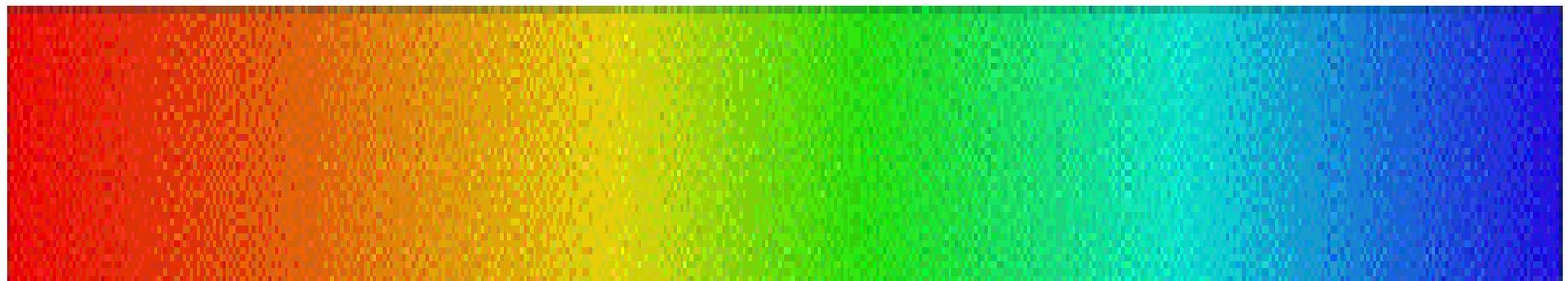
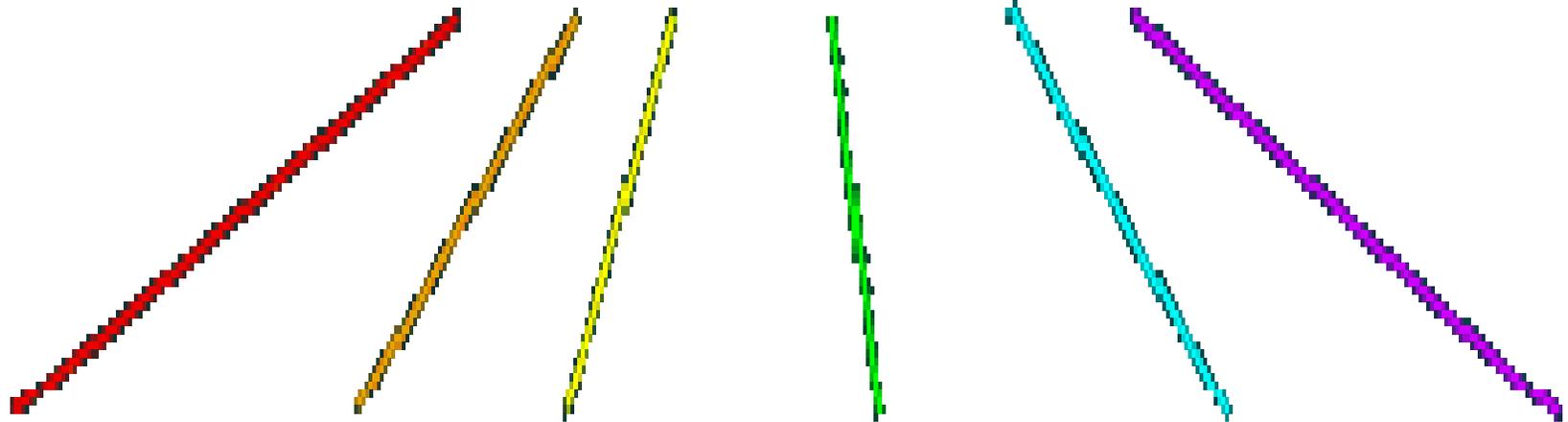
UVA $0,315 \leq \lambda \leq 0,400 \mu\text{m}$

VISÍVEL $0,400 \leq \lambda \leq 0,76 \mu\text{m}$ 45,0%

Discriminando o espectro visível

Intervalo de comprimento de onda (μm)	Cor
0,39 – 0,46	Violeta
0,46 – 0,49	Azul Escuro
0,49 – 0,51	Azul
0,51 – 0,55	Verde
0,55 – 0,58	Amarelo Esverdeado
0,58 – 0,59	Amarelo
0,59 – 0,62	Laranja
0,62 – 0,76	Vermelho

ROY G. BV



Red

Orange

Yellow

Green

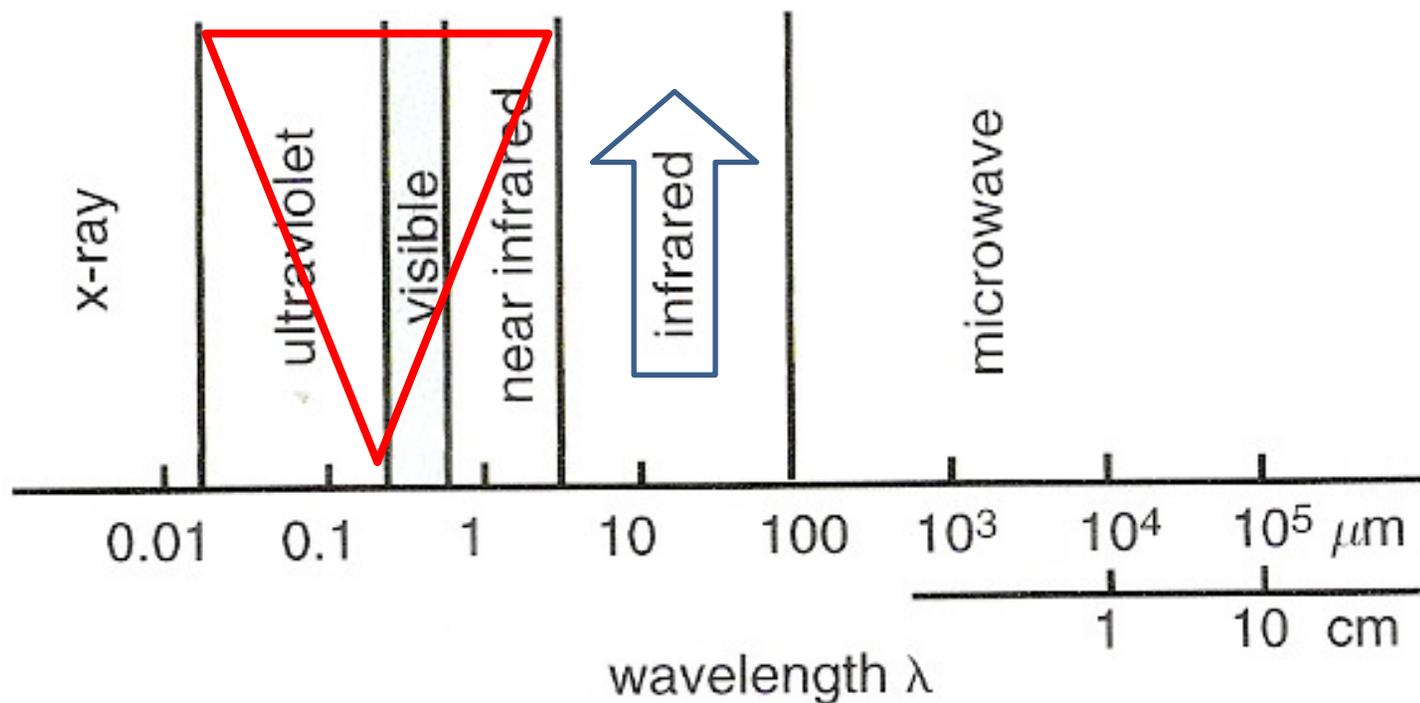
Blue

Violet

RADIAÇÃO DE ONDAS CURTAS (ROC)

e

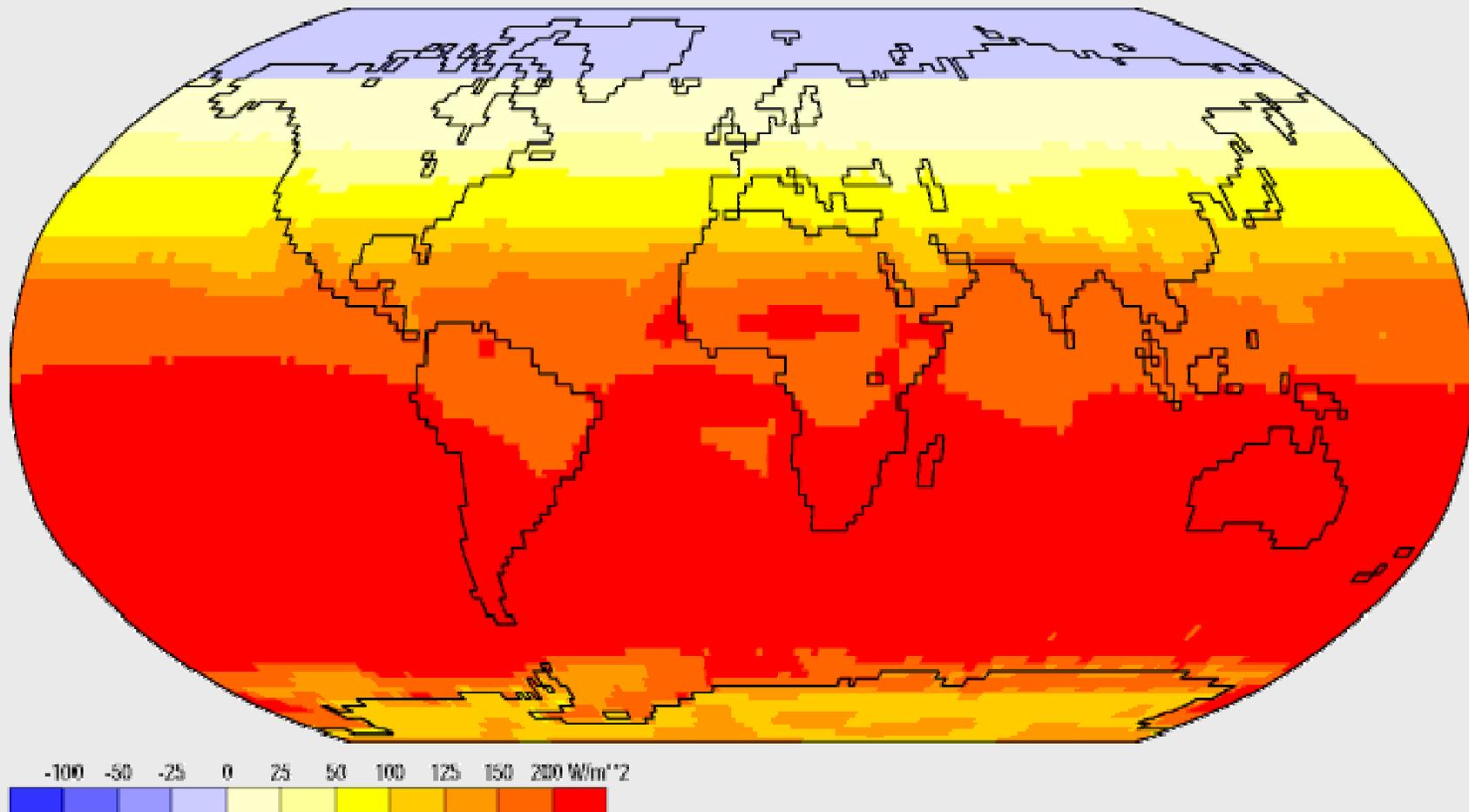
RADIAÇÃO DE ONDAS LONGAS (ROL)



DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E MENSAL DA RADIAÇÃO SOLAR DE ONDAS CURTAS (ROC) QUE CHEGA À SUPERFÍCIE DO GLOBO EM MÉDIA

Net Short-Wave Radiation

Dec



Data: NCEP/NCAR Reanalysis Project, 1959-1997 Climatologies
Animation: Department of Geography, University of Oregon, March 2000

RADIAÇÃO DE ONDAS LONGAS (ROL) ESPECTRO TERRESTRE

INFRAVERMELHO TÉRMICO

$$4 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 100 \mu\text{m}$$

DISTRIBUIÇÃO DE RADIAÇÃO SOLAR POR BANDAS ESPECTRAIS

ULTRAVIOLETA $0,100 \leq \lambda \leq 0,400 \mu\text{m}$ 8,3%

UVC $0,100 \leq \lambda \leq 0,280 \mu\text{m}$ 0,5%

UVB $0,280 \leq \lambda \leq 0,315 \mu\text{m}$
1,5%

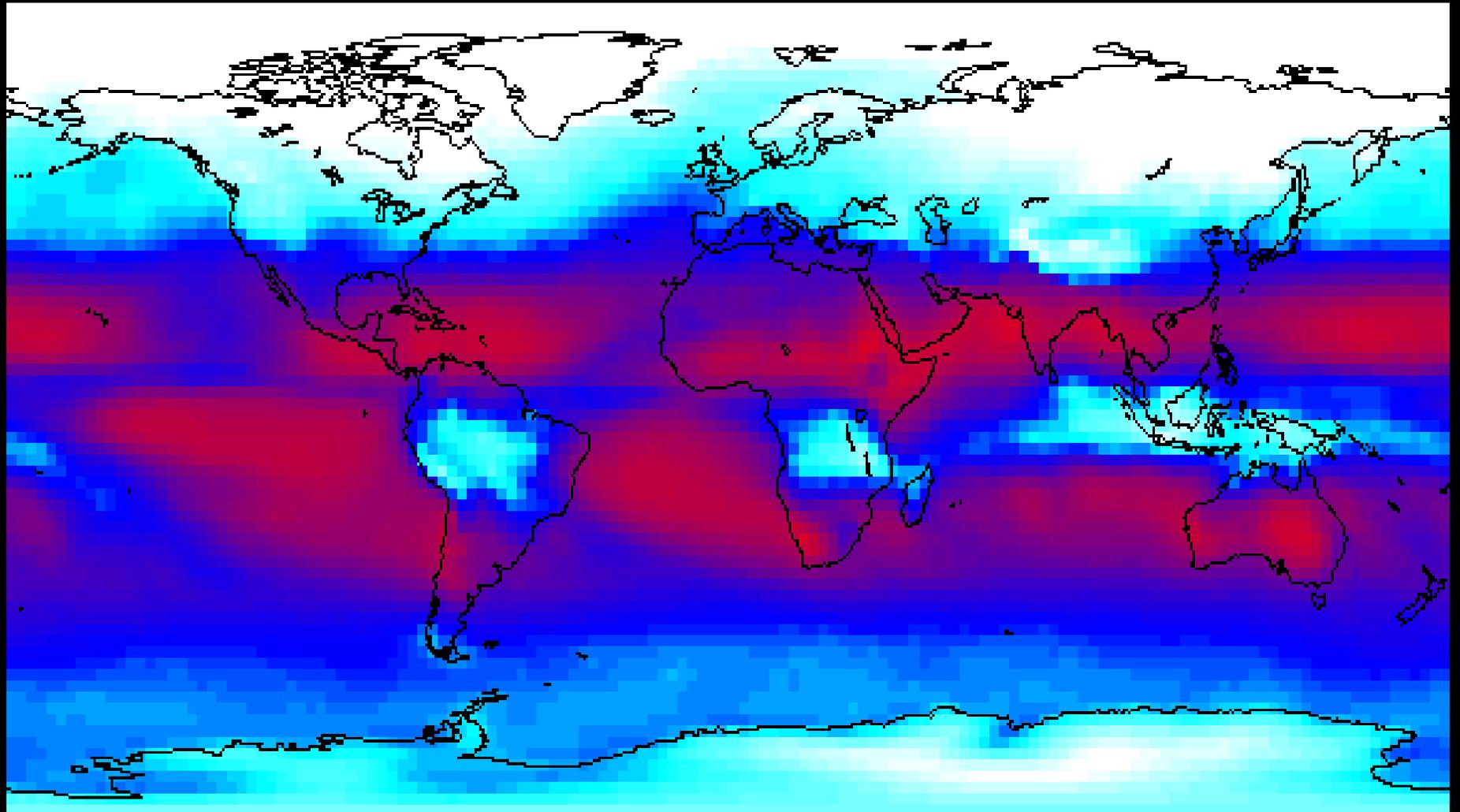
UVA $0,315 \leq \lambda \leq 0,400 \mu\text{m}$

VISÍVEL $0,400 \leq \lambda \leq 0,76 \mu\text{m}$ 45,0%

INFRAVERMELHO $0,76 \leq \lambda \leq 4,00 \mu\text{m}$ 46,7%

JANUARY

OLR



300

250

200

150

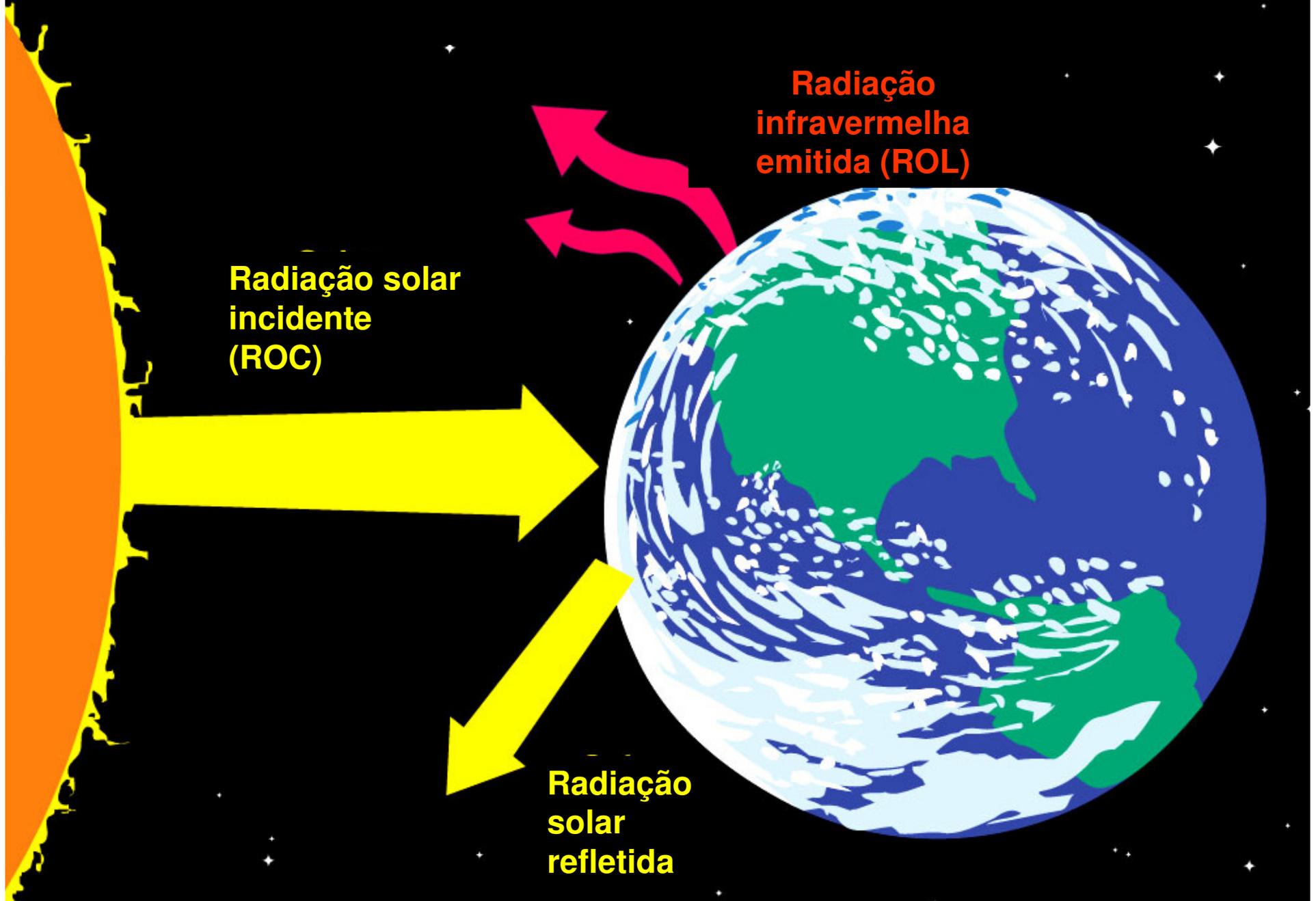
100

0001 ERBE

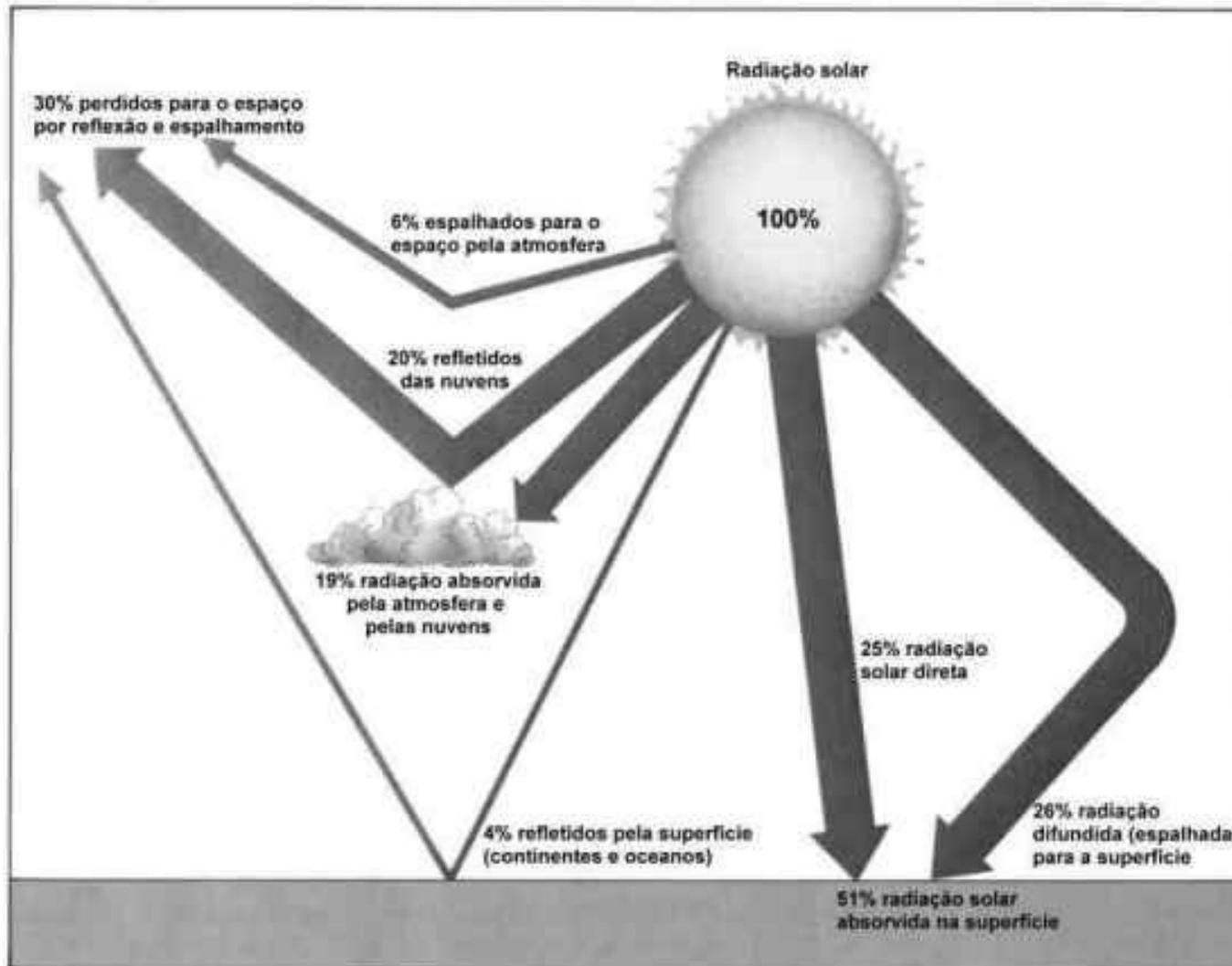
05 36 \ \ \ 87501 000000

00.25

COMPONENTES DE RADIAÇÃO DO PLANETA TERRA



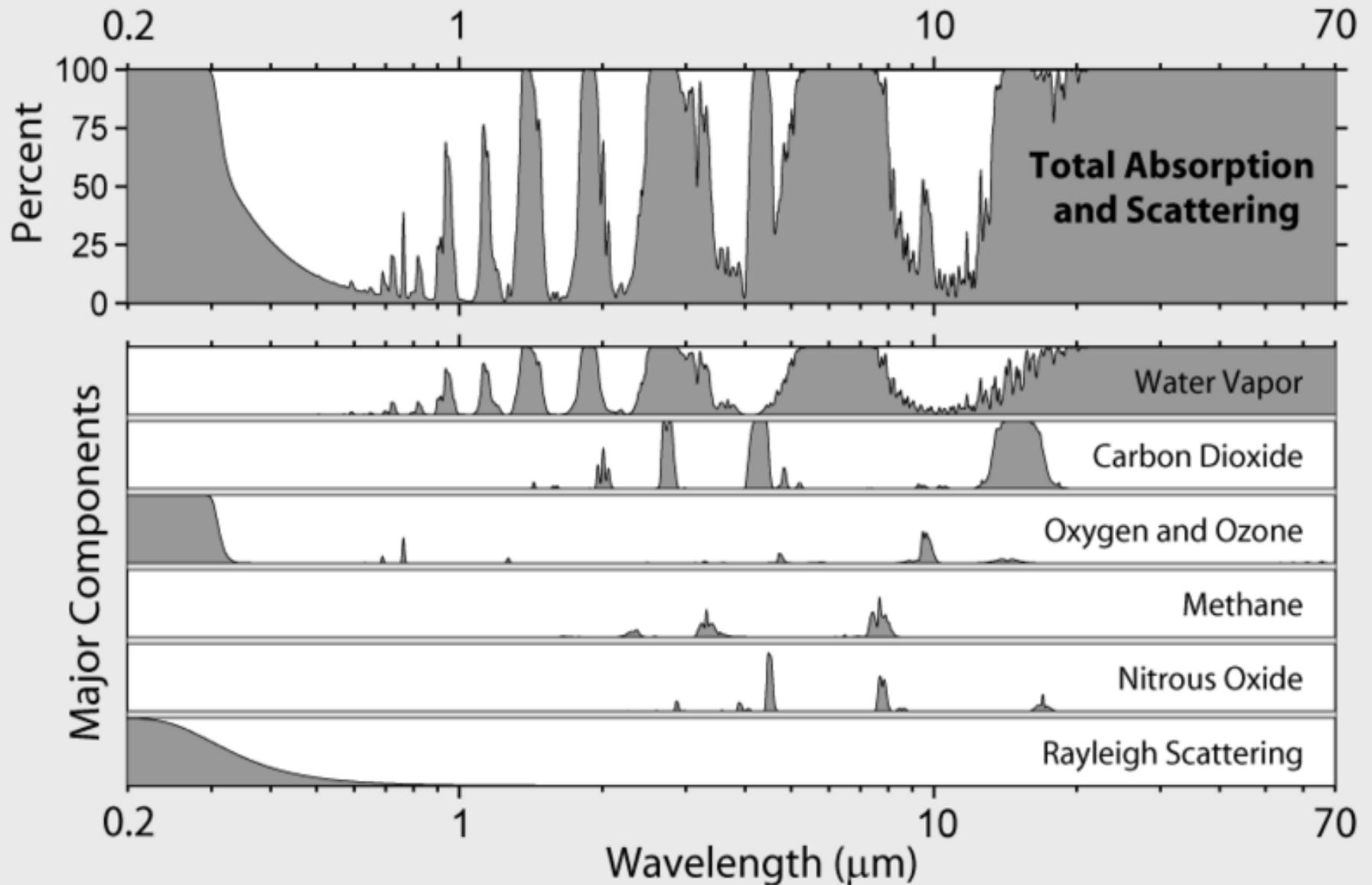
Balço de Radiaço



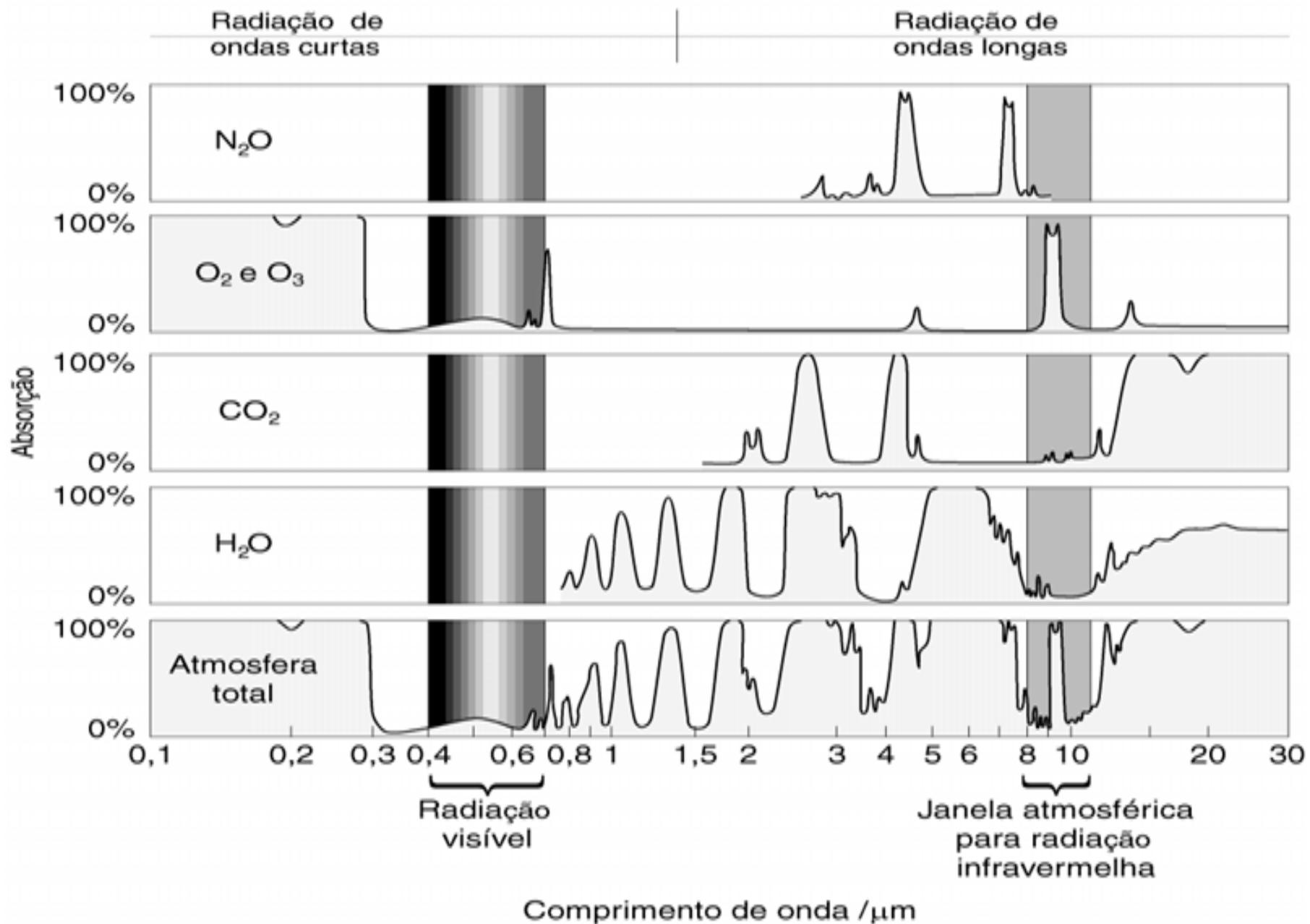
Radiação Terrestre

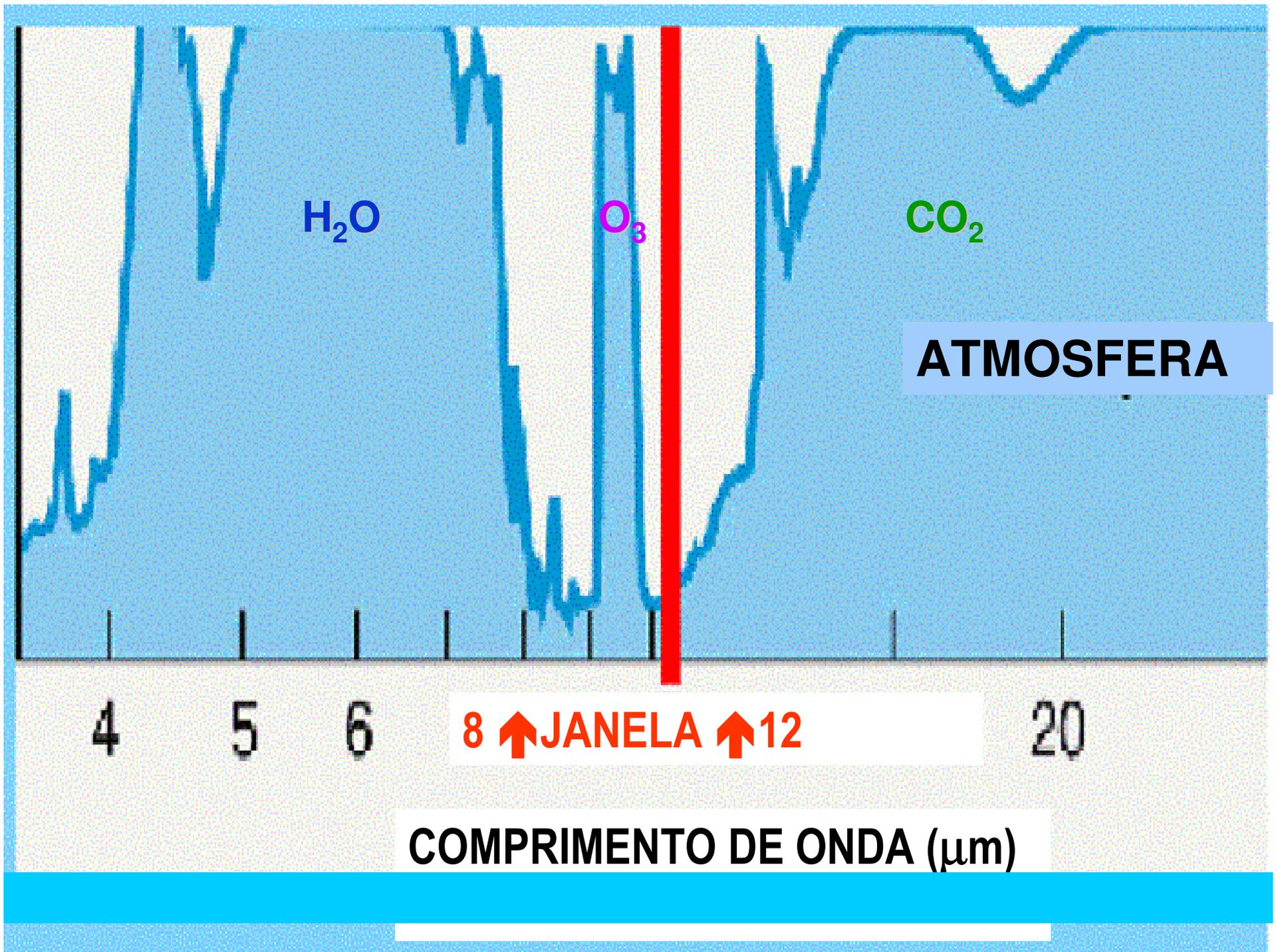
- Aproximadamente 51% da radiação que chega ao topo da atmosfera atinge a superfície terrestre.
- A maior parte desta energia é reemitida para a atmosfera.
- Conclui-se que a superfície é um bom absorvedor de radiação solar.

Atmospheric Absorption Bands

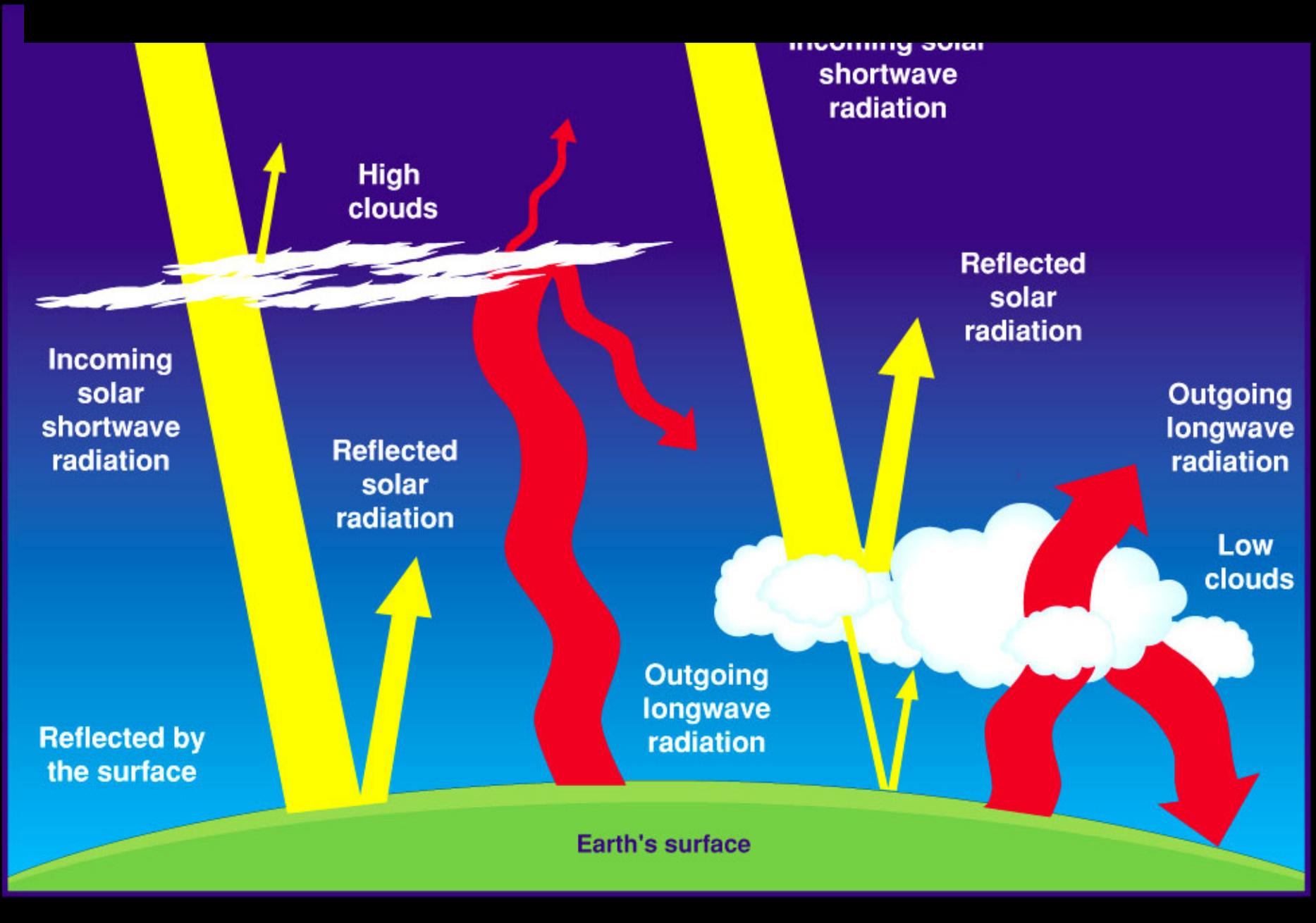


- O vapor d'água e o dióxido de carbono são os principais absorventes de radiação de onda longa.
- O vapor d'água 5 vezes mais que todos outros combinados.
- Como a atmosfera é bastante transparente a radiação solar mais absorvedora a radiação terrestre, a terra é a maior fonte de calor para a atmosfera.
- Quando a atmosfera absorve a radiação emitida pela superfície ela reemite esta radiação para cima e para baixo.
- Este jogo de emissão entre a atmosfera e a superfície torna a temperatura 35°C mais alta do que seria -> Efeito estufa.



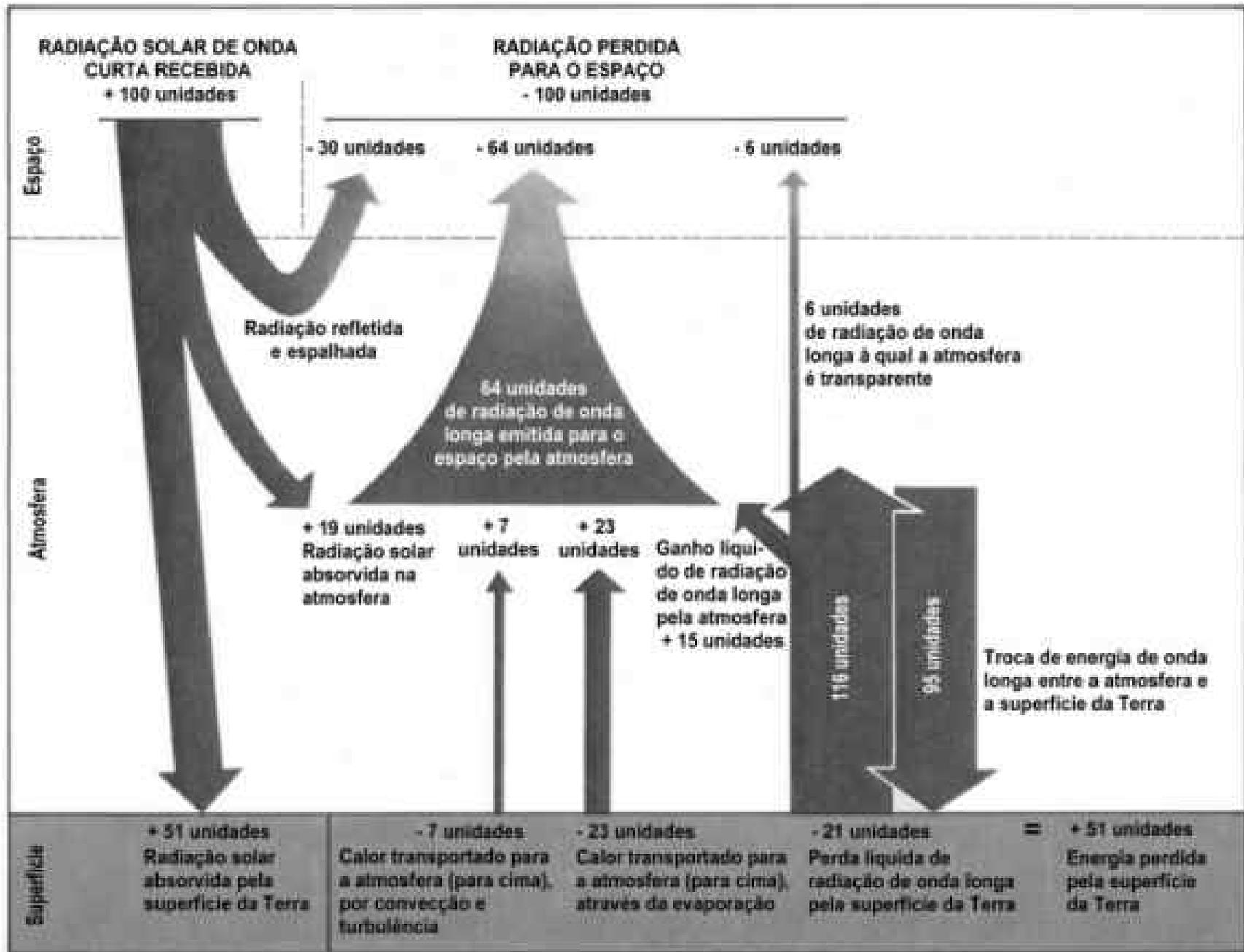


EFEITOS DE NUVENS NA RADIAÇÃO SOLAR E TERRESTRE



ROC = ROL

Existe um balanço quase perfeito entre a quantidade de radiação solar incidente e a quantidade de radiação terrestre (sistema Terra-atmosfera) retornada para o espaço; caso contrário, o sistema Terra-atmosfera estaria progressivamente se aquecendo ou resfriando.



- Do total da radiação incidente aproximadamente 30% é refletido para o espaço.
- Os 70% restante são absorvidos 19% pela atmosfera e 51% pela superfície.
- Dos 51% absorvidos pela superfície 7% é transportado por convecção e 23% por evaporação para a atmosfera e 21% é perda líquida para a atmosfera sendo que 6% destes 21% são transparentes a atmosfera.
- A atmosfera soma 64% de radiação de onda longa recebida e reemitida para o espaço.
- O balanço geral é obtido pois a quantidade de radiação incidente é igual a emitida.

EFEITO ESTUFA

- Forma que a Terra tem para manter sua temperatura constante → impede que energia emitida pela terra seja totalmente perdida para o espaço e que o planeta perca seu calor → fenômeno natural.
- Pode-se considerar a atmosfera transparente à OC e opaca à OL → Vapor d'água, CO₂ e outros gases → absorvem radiação mais intensamente no trecho de OL do espectro → radiação terrestre.
- Efeito estufa intensificado ou antropogênico → ↑ concentração de gases traço no ar → absorvem energia emitida pela Terra → aumento da temperatura média da superfície além dos 15°C.

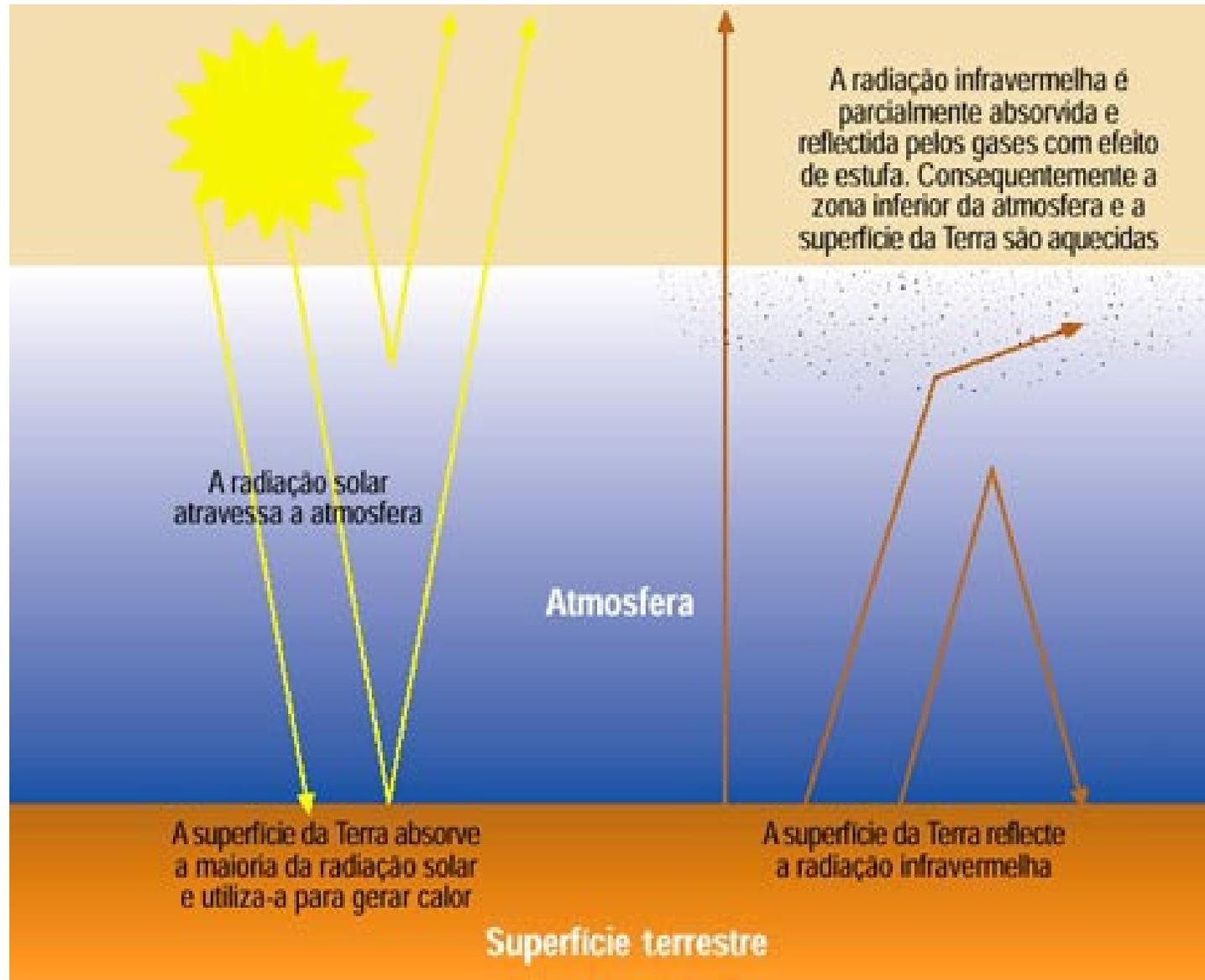


Figura 05 – Esquema do efeito estufa na atmosfera.

Fonte: <http://ciencia.hsw.uol.com.br/ozonio6.htm>

Tabela 1 – Principais gases estufa e seu potencial de aquecimento global. Estimativa de contribuição ao aumento do efeito estufa.
 Fonte: adaptado de Baird, 2002.

Gás	Abundância atual	Tempo de residência (anos)	Taxa de eficiência de aquecimento (por molécula)
CO ₂	365ppm	50-200	1
CH ₄	1,72ppm	12	21
N ₂ O	312ppb	120	206
CFC-11	0,27ppb	50	12400
Halon-1301	0,002ppb	65	16000
HCFC-22	0,11ppb	12	11000
HFC134a	2ppt	15	9400

Temperatura

1- Diferença calor/temperatura

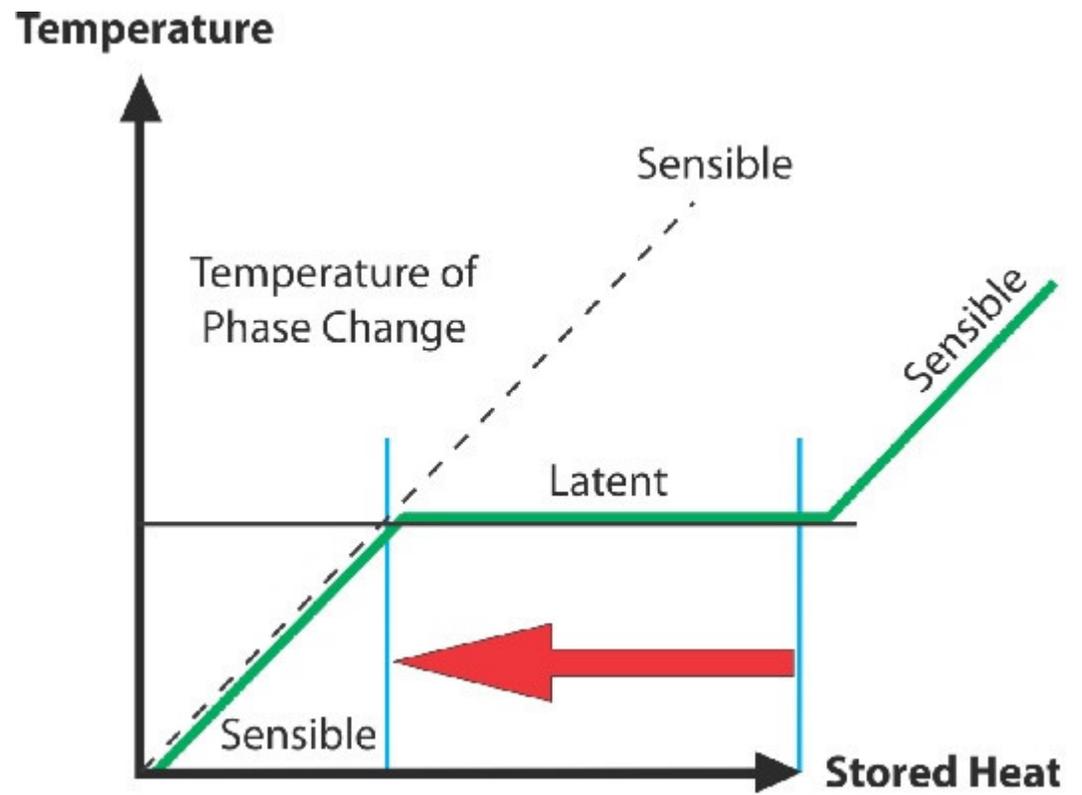
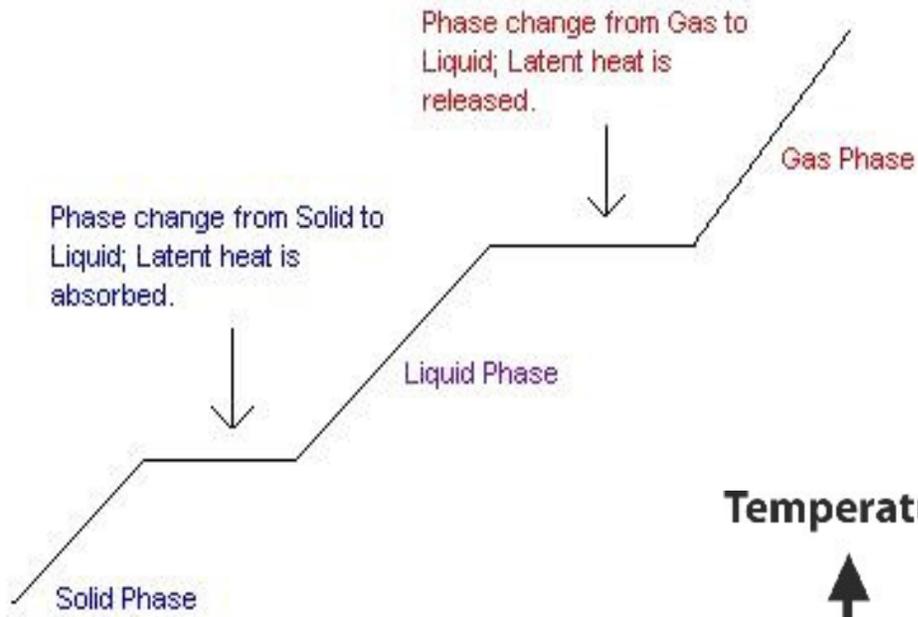
2 - Energia cinética média das moléculas de um objeto

3 - A medida do calor sensível armazenado em um objeto

Calor Sensível / Calor Latente

Calor sensível – Calor que provoca a variação da temperatura de um corpo

Calor latente – Calor necessário para mudança de estado físico (ex.: água para vapor de água)



Escalas de Temperatura

1 – Graus Celsius (°C)

2 – Graus Fahrenheit (°F)

3 – Kelvin (K)

Conversão de escalas

$$^{\circ}\text{C} = 5 / 9 (^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$^{\circ}\text{F} = 9/5 ^{\circ}\text{C} + 32$$

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$$

$$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273$$

Medição da Temperatura do ar

- Estações Meteorológicas (00Z, 06Z, 12Z, 18Z, 21Z)
- Temperatura – Medição instantânea
- Temperatura(s) Máxima(s) – diária, semanal, períodos.....
- Temperatura(s) Mínima(s)
- Amplitude Térmica
- Temperatura compensada (INMET) – Média diária

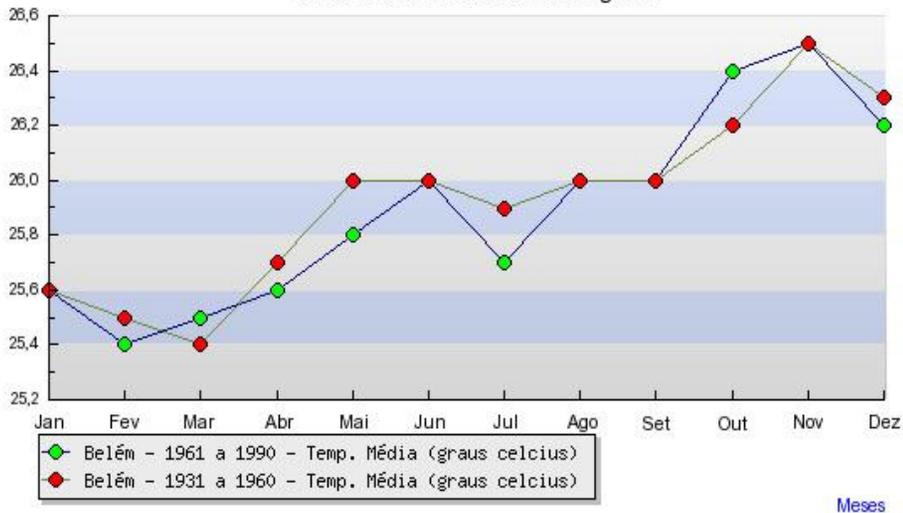
$$T = (T_{9h} + 2 \times T_{21h} + T_{máx} + T_{mín}) / 5$$

- Temperaturas normais (aprox. 30 anos e servem como referência para caracterização do clima)



Instituto Nacional de Meteorologia - INMET

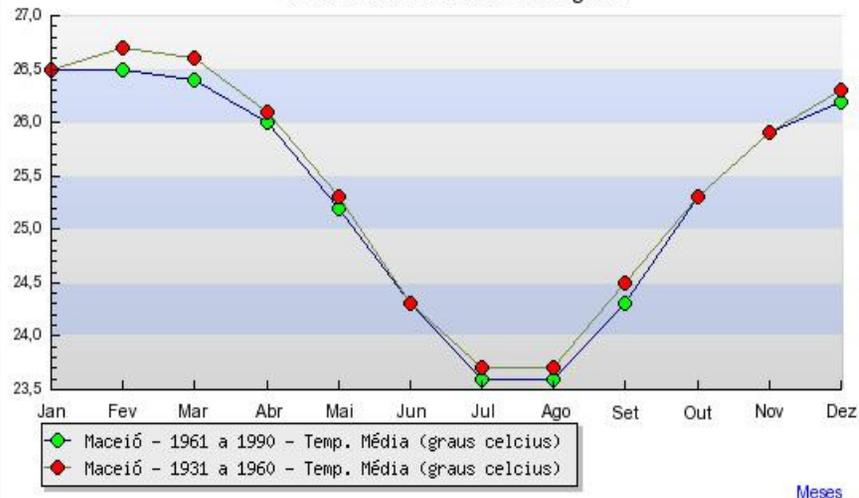
Gráfico das Normais Climatológicas



Meses

Instituto Nacional de Meteorologia - INMET

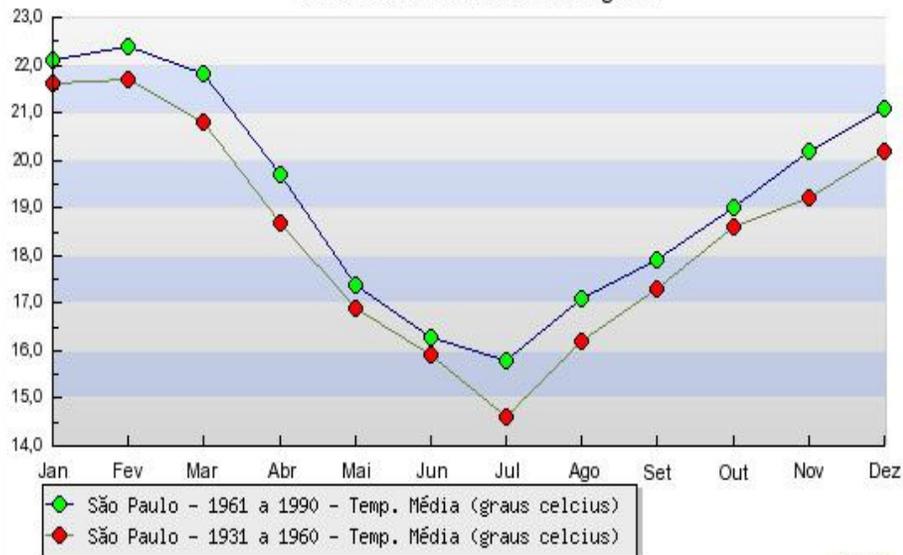
Gráfico das Normais Climatológicas



Meses

Instituto Nacional de Meteorologia - INMET

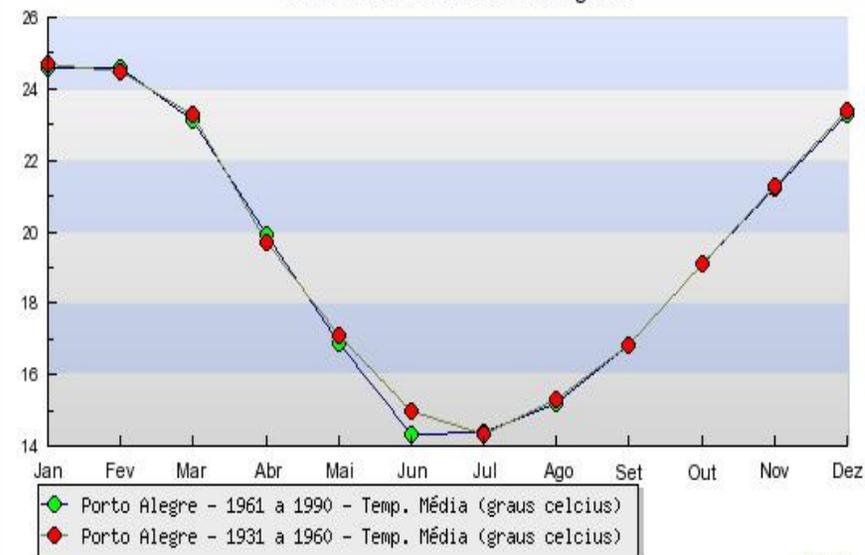
Gráfico das Normais Climatológicas



Meses

Instituto Nacional de Meteorologia - INMET

Gráfico das Normais Climatológicas



Meses

Variação temporal da temperatura do ar

Acompanha as trajetórias diária e anual aparentes do Sol, que definem a quantidade de energia disponível para aquecimento do sistema climático, de acordo com as interações das feições geográficas locais e com a dinâmica de atuação dos sistemas atmosféricos.

Ciclo diário da Temperatura do ar

Temperatura mínima (?? h)

Temperatura máxima (?? h)

Amplitude térmica

Ex.: Sem nebulosidade e ventos (Porque?)

Efeito das nuvens (dia / noite / Amplitude térmica diária)

Efeitos dos ventos (advecção) – Transporte de calor/frio

Variação temporal da temperatura do ar

- **Latitudes baixas (menor amplitude anual) comparado a latitudes altas**

Motivos: Quantidade de energia e influência das massas polares

Pergunta: Porque as massas polares não chegam nas latitudes baixas?

Regiões tropicais/próximas ao equador:

- **Inverno/Chuvoso e Verão/Quente e menos chuvoso**

Variação Espacial da temperatura do ar

- Diferença da temperatura do ar sobre continentes e oceanos. Oceanos aquecem e resfriam mais lentamente que continentes.

DIA

**Continente se aquece mais do que oceanos/água
Ar mais quente sobre continentes**

Noite

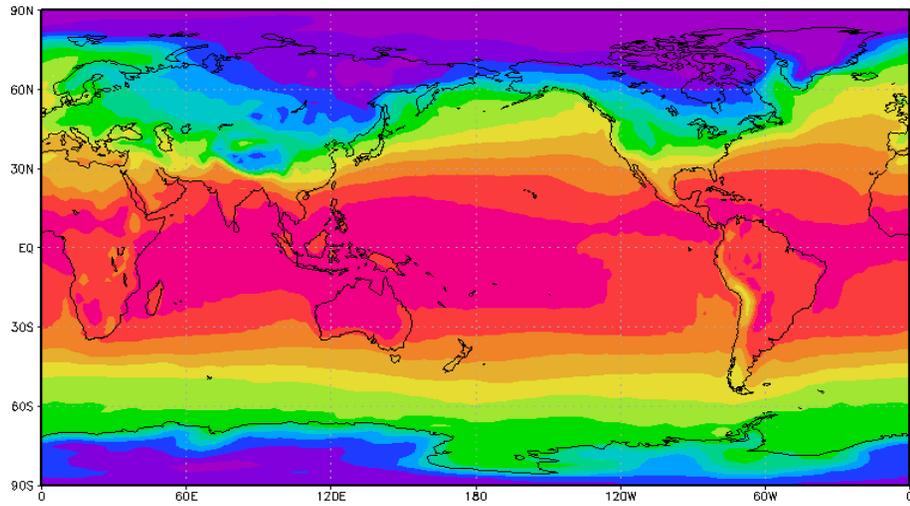
**Continente resfria mais rápido do que a água que armazenou energia durante todo o dia
Ar mais quente sobre oceanos**

OCEANOS

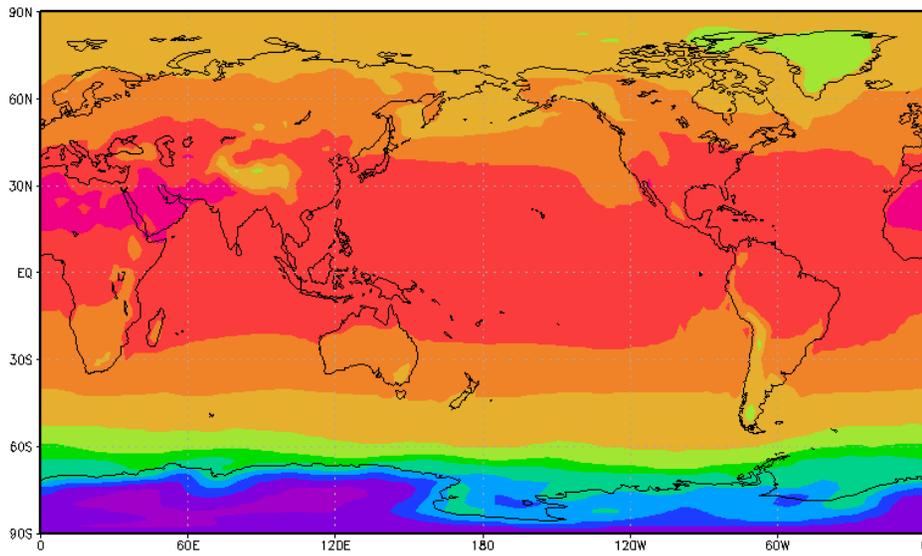
- **Correntes marítimas (distribuição de energia equador-pólos)**
- **Variação na densidade da água do mar (salinidade)**

IMPORTANTE

- **Valores normalmente observados em mapas são valores ajustados ao nível médio do mar.**



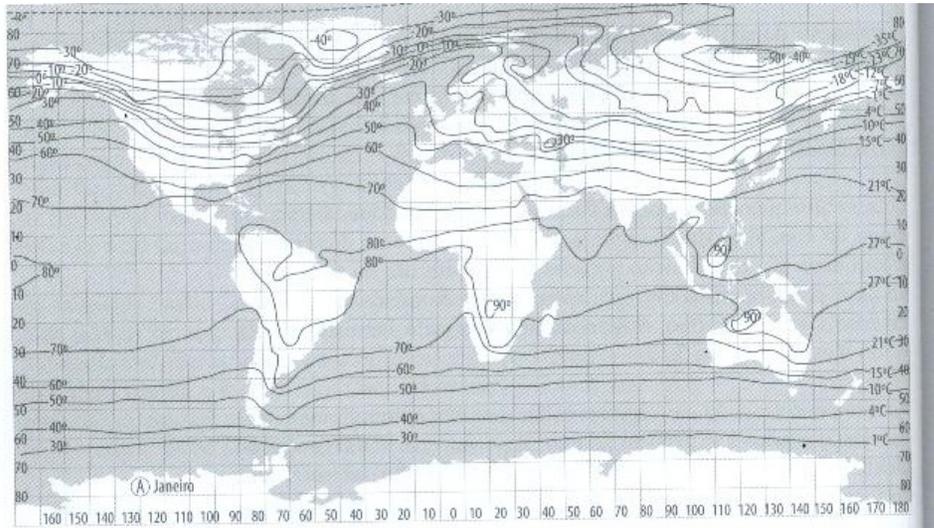
Verão



Inverno



Verão



Inverno

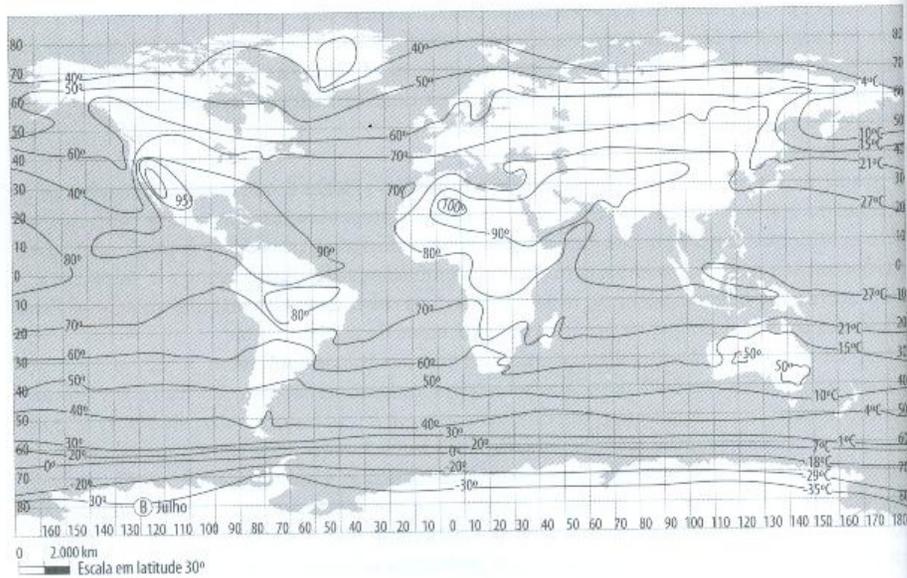
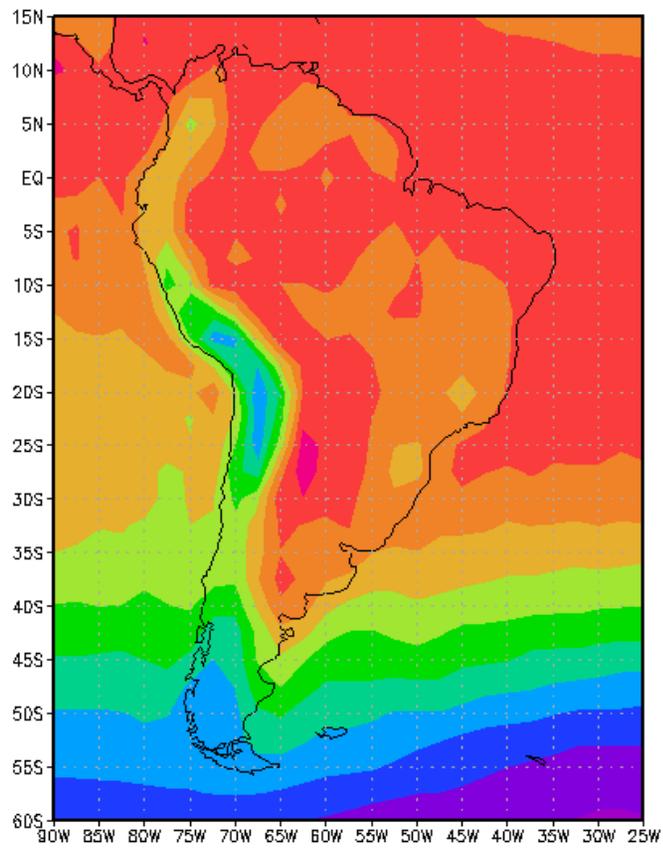
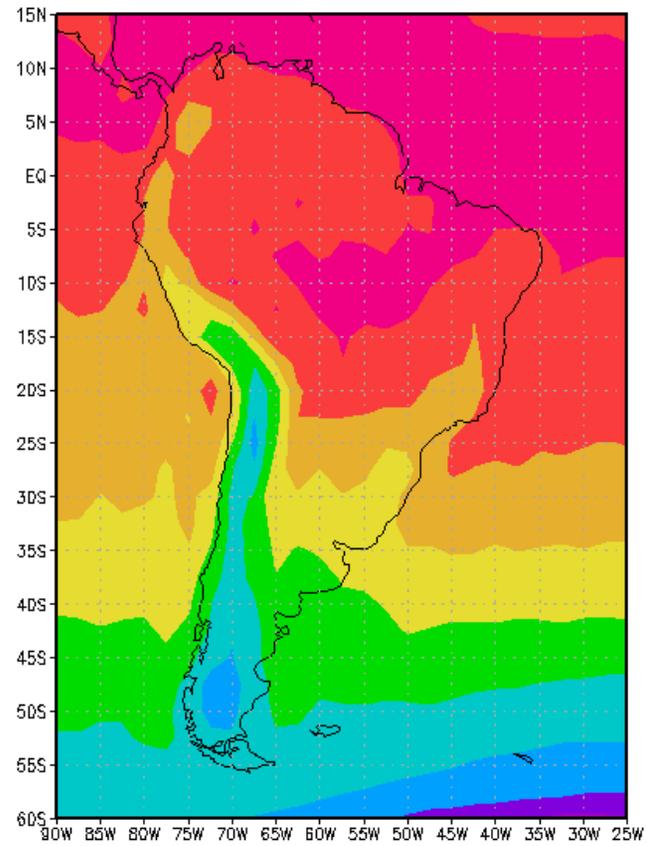
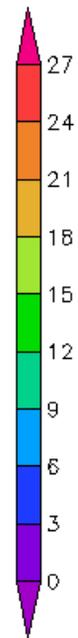


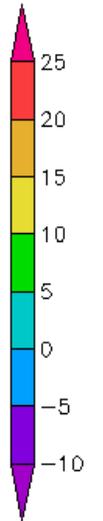
Fig. 3.13 Temperatura média do ar em janeiro (A) e em julho (B). Valores de temperatura à esquerda em °F e valores à direita em °C



Verão



Inverno



Variação Vertical de Temperatura

- Lapse Rate (Troposfera $6,5^{\circ}\text{C}/\text{km}$)
- Inversão térmica (ao invés de resfriar com a altura, o ar passa a aquecer)

Ar frio (mais pesado) abaixo do ar mais quente – Dificulta a mistura vertical do ar e afeta a poluição em superfície

