

A dramatic night sky filled with dark, heavy clouds. Several bright, jagged lightning bolts are visible, illuminating the clouds and the dark landscape below. The overall tone is dark and atmospheric, with the light from the lightning providing the primary illumination.

Física das Mudanças Climáticas

Balanço de Radiação

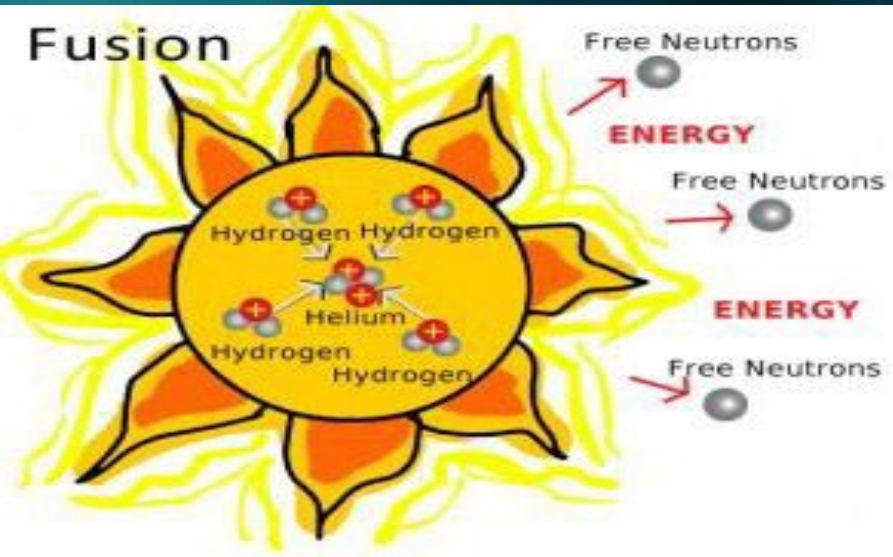
Prof Reinaldo Haas

Departamento de Física | CFM | UFSC



Física da Atmosfera Solar – O interior do sol

- O interior do sol é constituído basicamente de **hidrogênio** (90%) e **hélio**.
- O sol gera grandes quantidades de energia pela **fusão** de prótons (4 átomos de hidrogênio) em hélio.
- A cada segundo o sol destrói 4×10^6 ton de massa e gera 4×10^6 Joules de energia. (equivalente á um milhão de vezes a produção anual de energia);



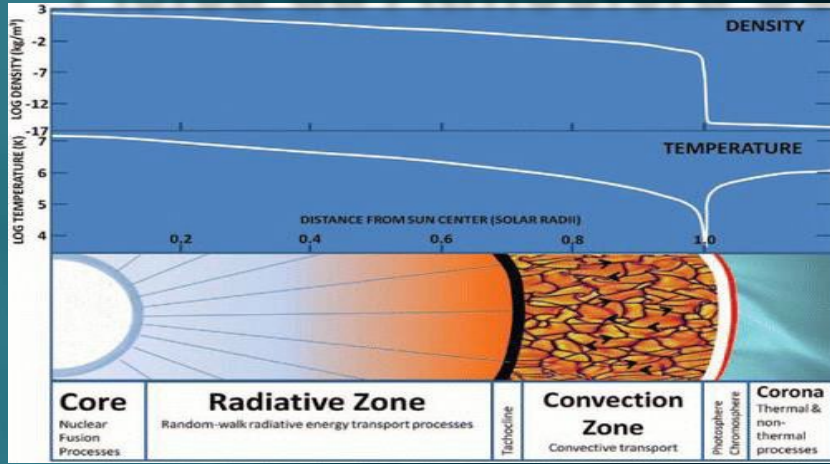
De acordo com a Teoria de Einsten $E = mc^2$ temos uma redução de massa que gera energia (radiação).

Agenda da Apresentação

- Energia solar e produção no interior do Sol
- Características da atmosfera solar e radiação
- Interação do vento solar com a Terra
- Composição da atmosfera terrestre e gases do efeito estufa
- Fenômenos atmosféricos e impacto climático
- Modelagem e balanço energético planetário



Física da Atmosfera Solar – A viagem do fóton



Esta produção tem ocorrido nos últimos **4 bilhões** de anos.

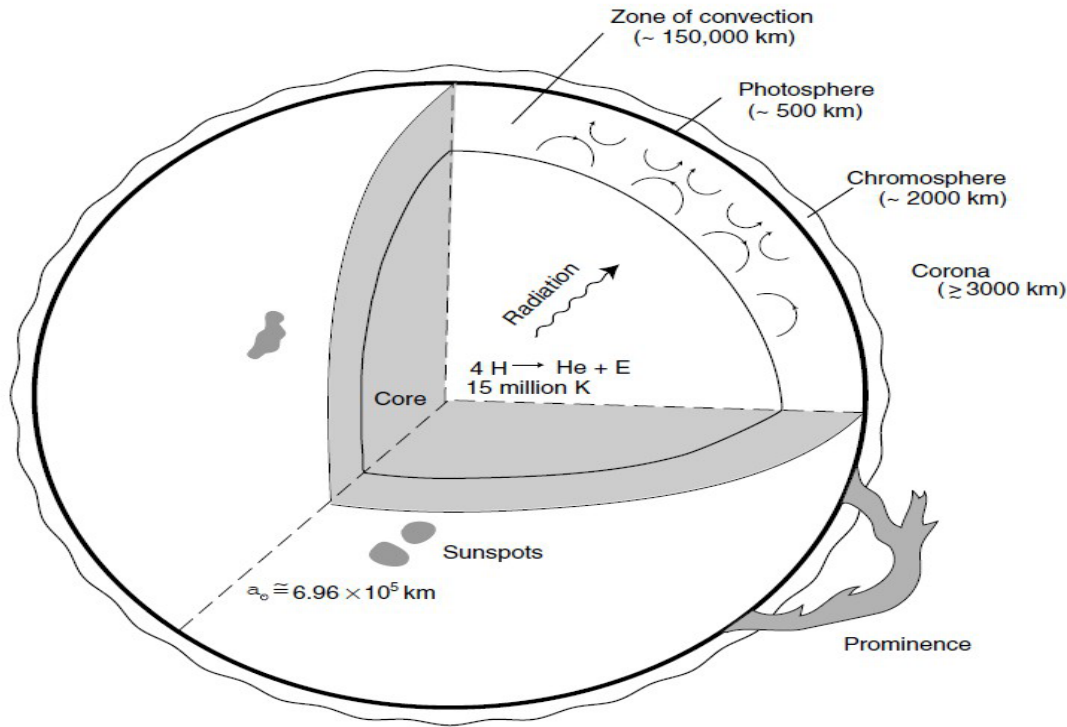
O produto da **fusão** são neutrinos e fótons de **radiação gama**.

Conforme os fótons transferem energia para o plasma ambiental, eles perdem energia e aumenta seu comprimento de onda, gerando luz visível e atingem a fotosfera (a superfície solar) onde escapam.

Neste caminho tortuoso o fóton demora **30 milhões** de anos para escapar.

Portanto, a luz solar que vemos foi gerada no tempo do Oligoceno, quando os continentes estavam começando a ser organizar como são hoje.

Física da Atmosfera Solar – A viagem do fóton

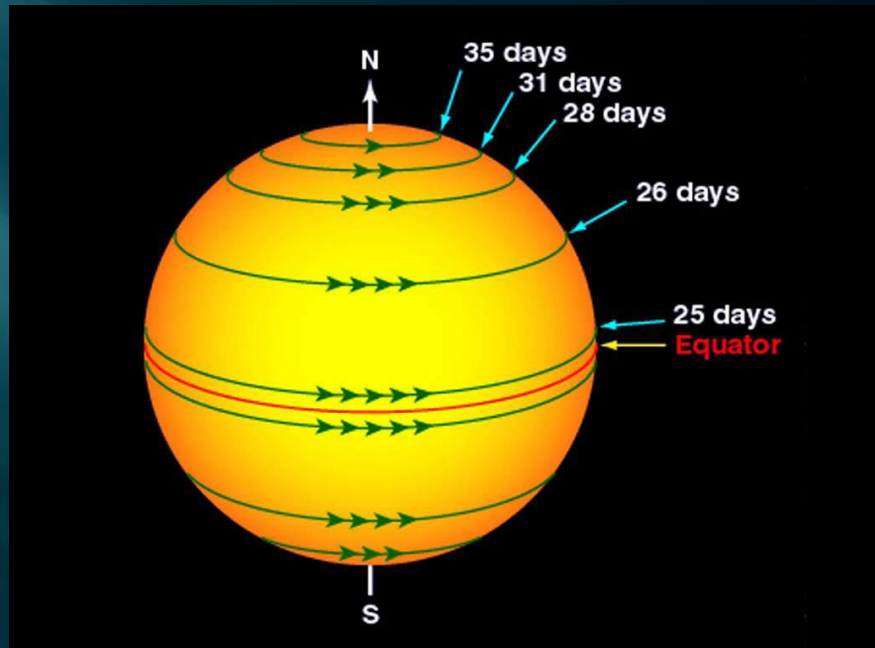


A região acima da fotosfera é denominada de **atmosfera solar**.

Ela é caracterizada por uma camada de gases solares. A atmosfera solar é dividida em duas regiões denominadas **cromosfera** e **corona**.

Livro: *Introduction to Atmospheric Radiation*, by Liou,

Rotação Solar

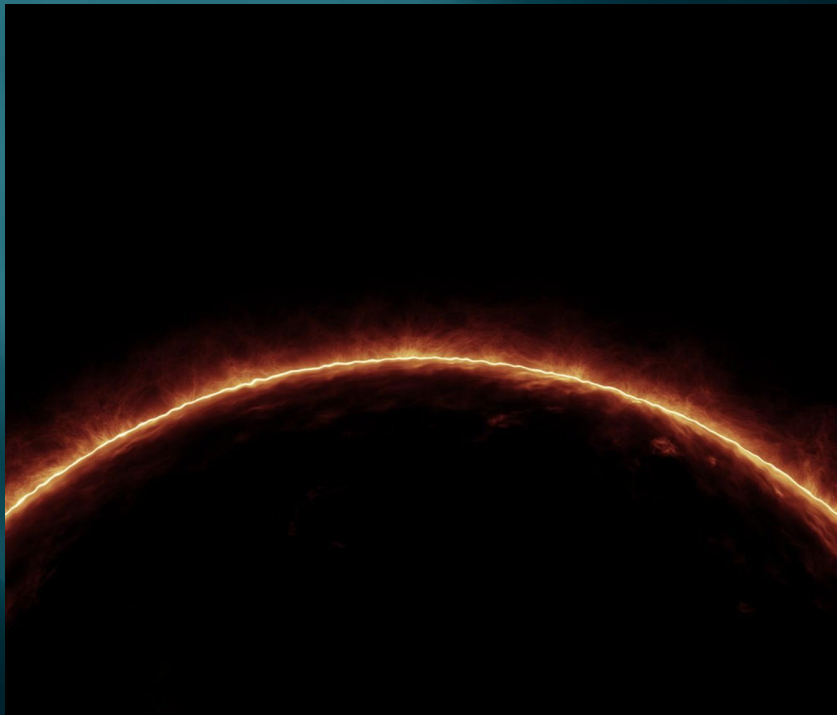


O sol não é um corpo sólido e portanto sua **rotação** não é simétrica.

Nas regiões polares a rotação é mais lenta (**36 dias**) do que no equador (**26 dias**), no centro ocorre rotação como corpo sólido (**27 dias**).

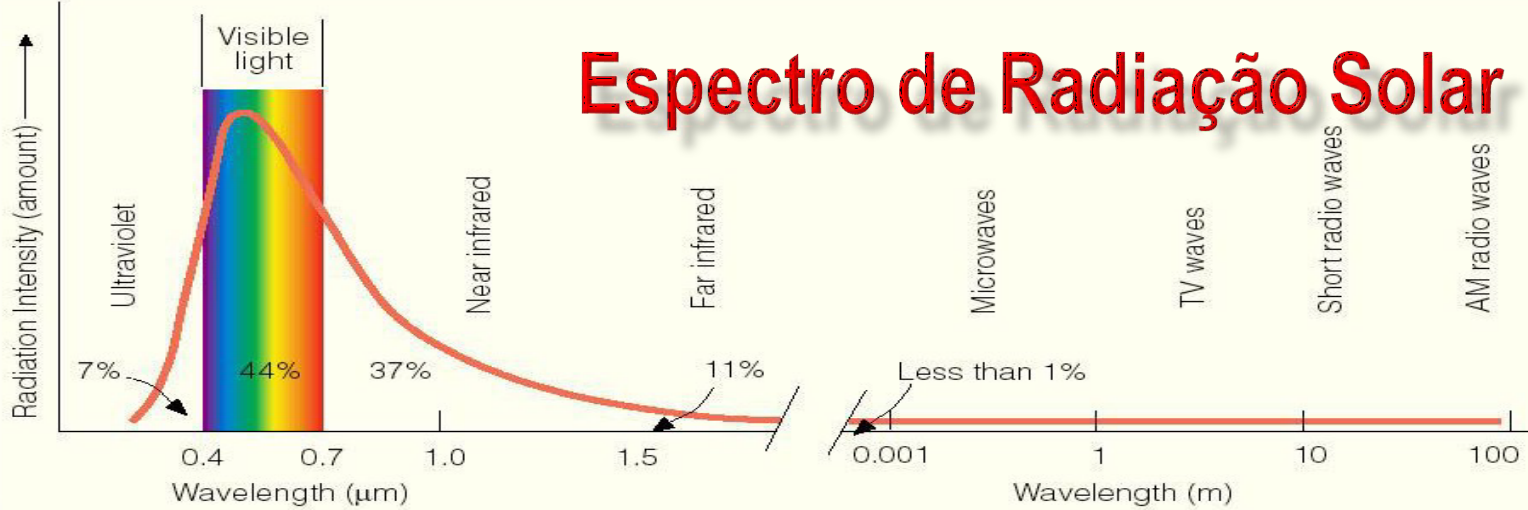
Estas rotações provocam fortes campos magnéticos.

Entendendo o Ciclo Solar

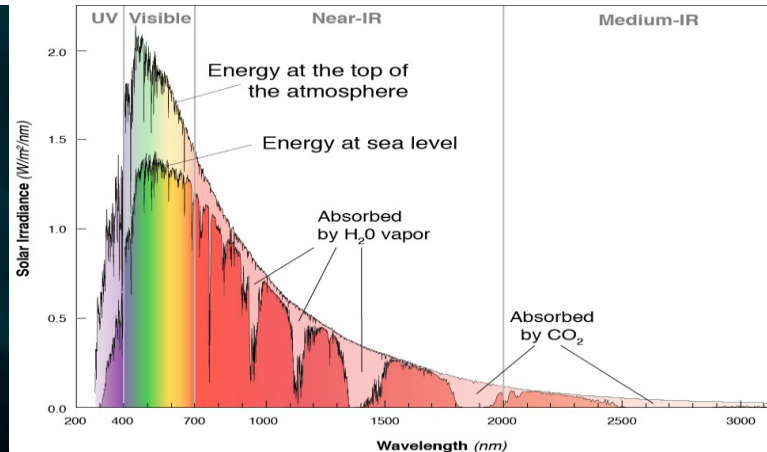


- O ciclo solar dura cerca de 11 anos, variando a atividade solar.
- Durante o pico do ciclo, ocorre aumento de manchas e explosões solares.
- O ciclo influencia o vento solar e o clima espacial na Terra.
- As variações no ciclo afetam a radiação e o balanço energético planetário.
- Estudar o ciclo é crucial para prever impactos no clima terrestre.

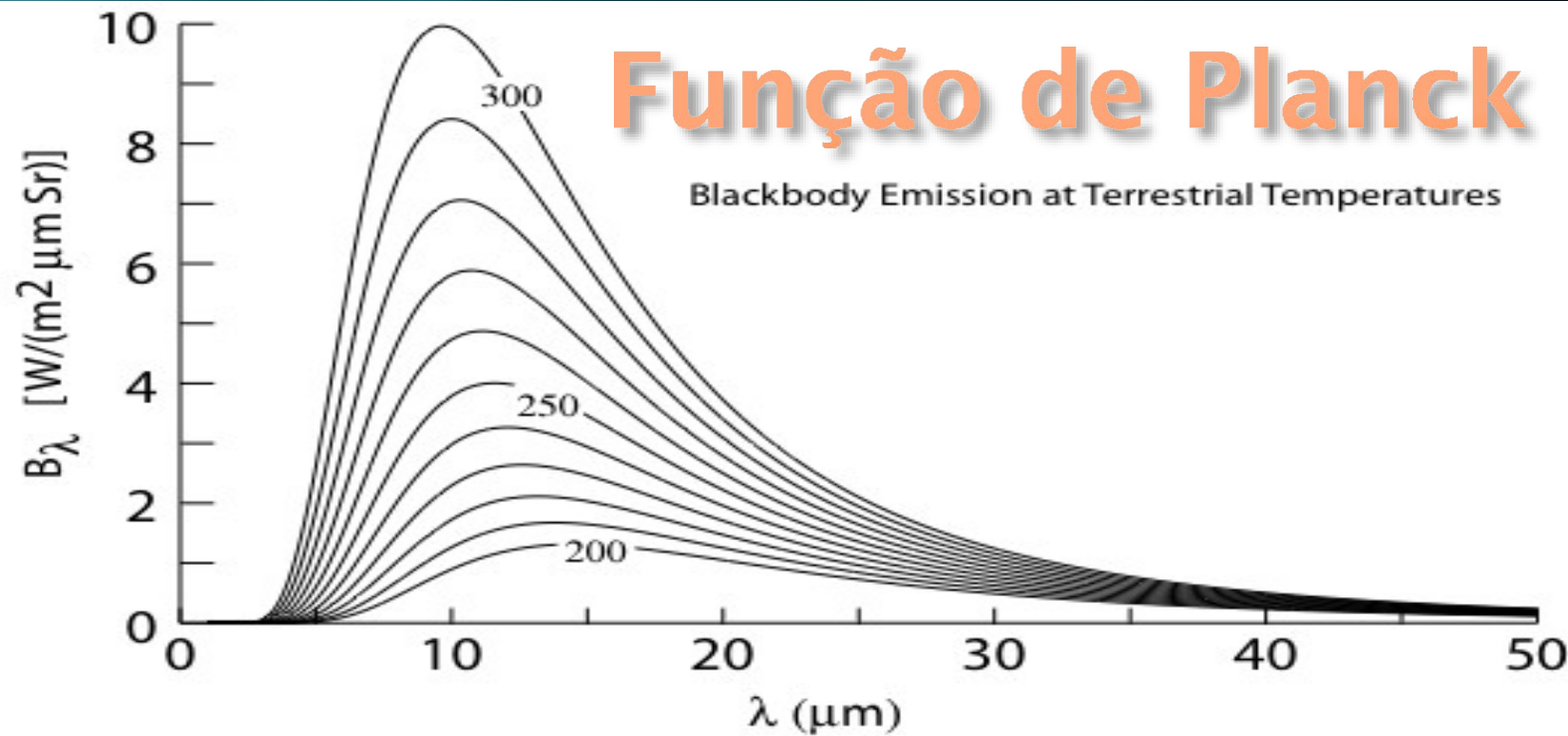
Espectro de Radiação Solar



© 2005 Thomson - Brooks/Cole



https://phet.colorado.edu/sims/html/blackbody-spectrum/latest/blackbody-spectrum_en.html



$$B_\lambda(T) \approx \frac{2hc^2}{\lambda^5 \left(\exp\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right) - 1 \right)}$$

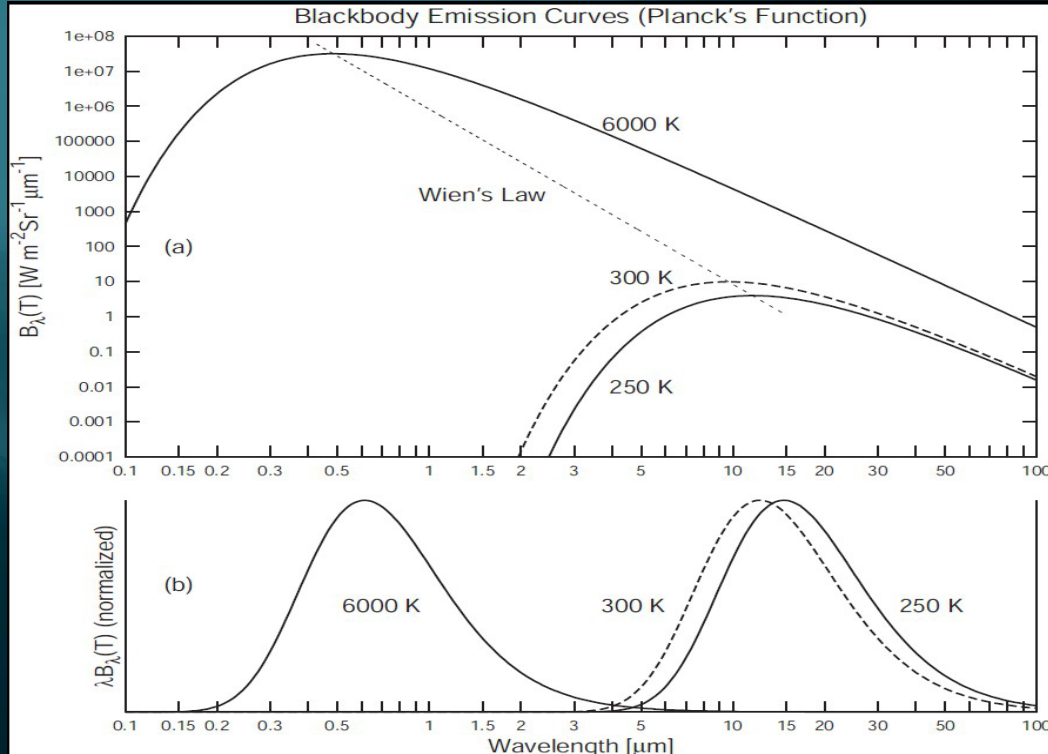
T = Temperatura,

λ = comprimento de onda

$$B_\lambda(T) \approx \frac{2ck_B}{\lambda^4} T \quad (\text{Rayleigh - Jeans Approximation, microwave, } \lambda > 1 \text{ mm})$$

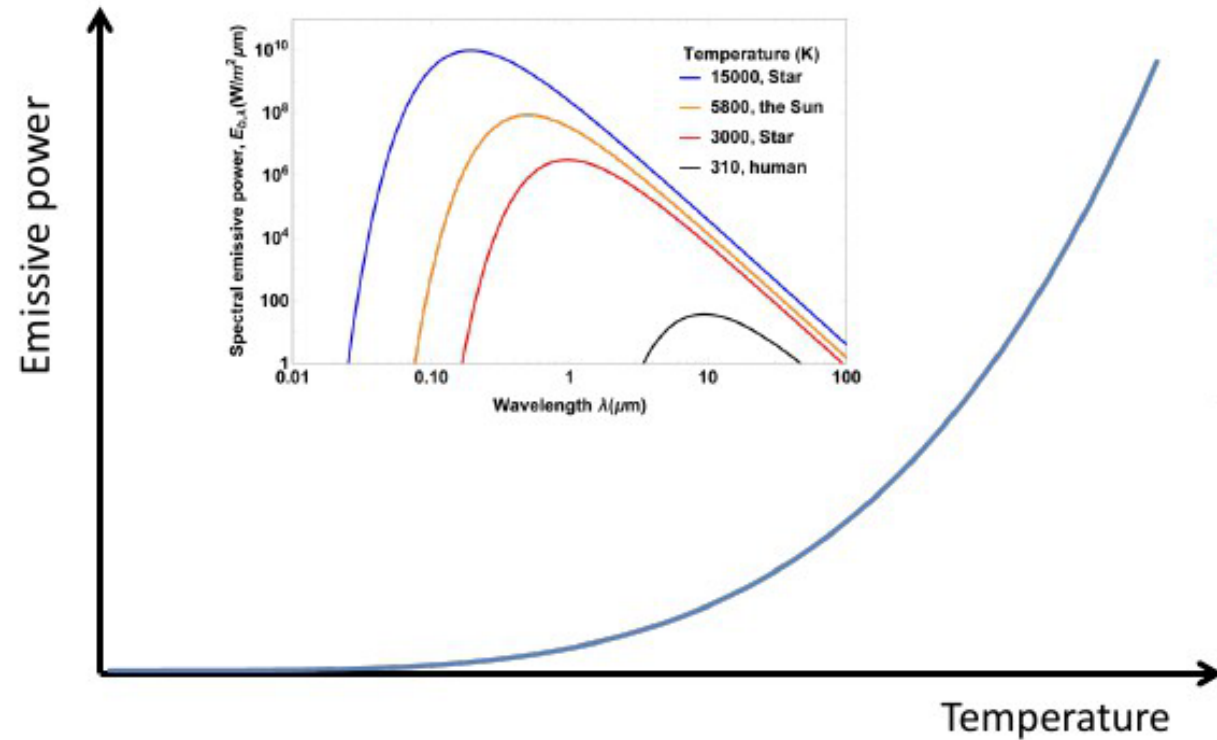
O comprimento máximo do pico da Função de Planck é dado pela Lei de deslocamento de **Wien**.

$$\lambda_{\max} = \frac{k_w}{T}$$



Onde $k_w = 2897 \mu m K$
O pico de emissão de um corpo negro com temperatura de 6000 K (o sol) ocorre a um comprimento de onda $= 0.48 \mu m$, e para um objeto á temperatura de 200-300 K o pico de emissão ocorre entre 9.6-14.4 μm .

Stefan-Boltzman $E = \sigma T^4$



$$E_{b,\lambda}(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda k_B T} - 1}$$

$$\lambda_{\max} T = 2898 \mu\text{m K}$$

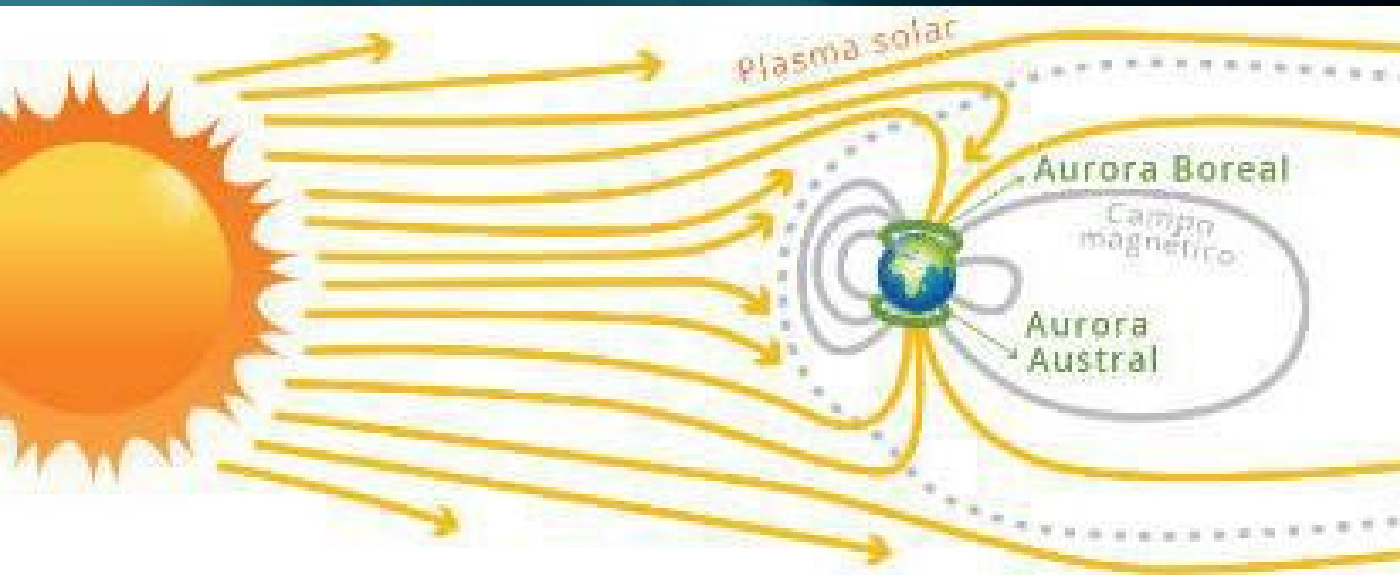
$$E_b = \sigma T^4$$

$$E_{\text{real}} = \varepsilon \sigma T^4 \quad \left(0 < \varepsilon = \frac{E}{E_b} < 1\right)$$

Obtida após a integração da Curva de Planck

Radiação - magnetosfera

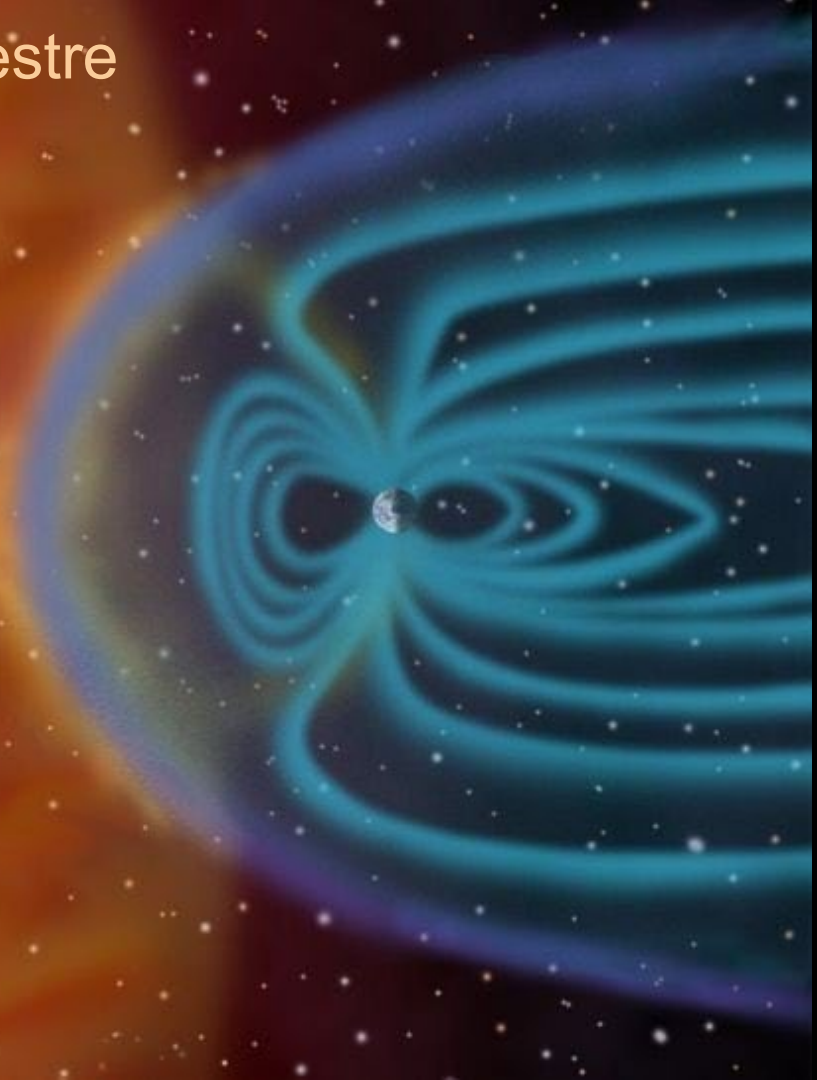
Interação do vento solar com a magnetosfera terrestre.



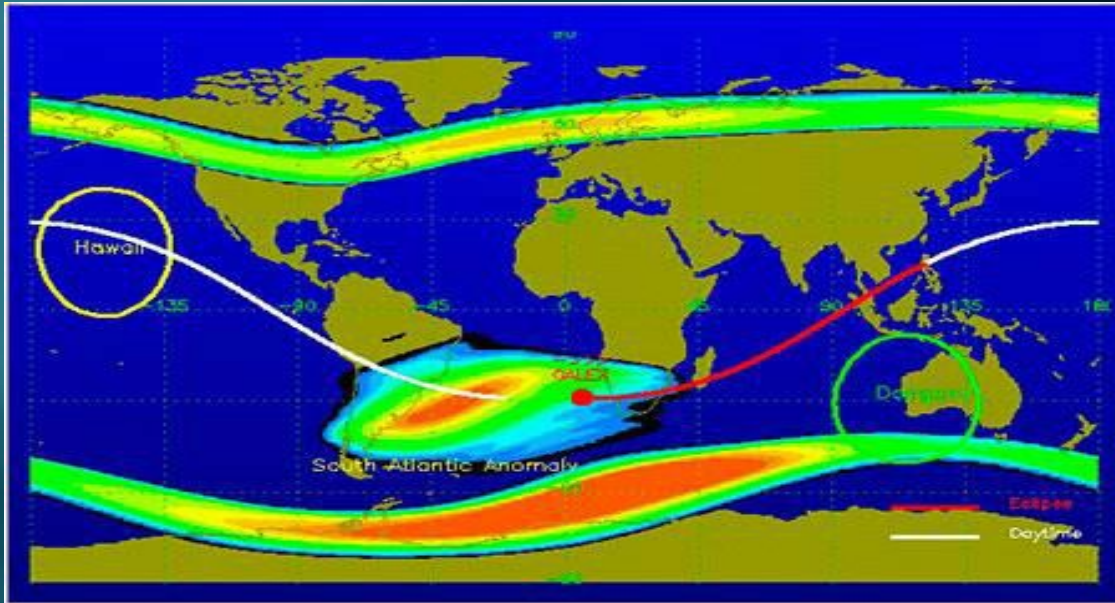


Do Clima Espacial para o Clima Terrestre

- A Terra protege-se das partículas solares nocivas por meio de sua magnetosfera.
- A radiação solar, principal fonte de energia para o planeta, é determinante para o clima.
- A forma como a atmosfera e a superfície absorvem e refletem essa energia é fundamental.
- A interação entre a radiação solar e a Terra influencia os padrões climáticos globais.
- Compreender esse processo é essencial para o estudo das mudanças climáticas no planeta.
- "Qual a importância desse fenômeno para as alterações climáticas na superfície?"



Anomalia Magnética do Atlântico Sul



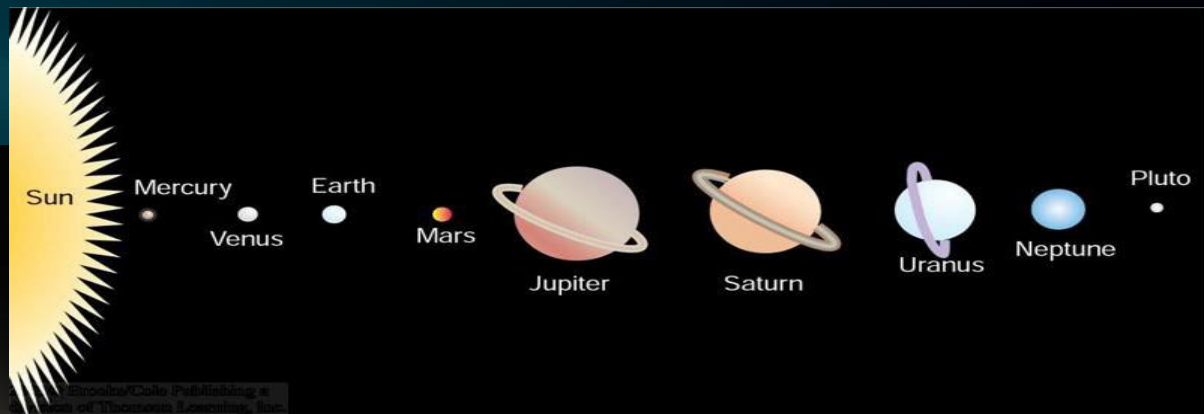
**Fluxo de elétrons (AP-8 MAX)
>1 MeV em 500 km altitude.**

**Os sensores de UV da sonda
Galex (e vários outros) são
desligados até que o satélite
cruze a Anomalia.**

**O telescópio Hubble não faz observações
quando está passando por esta região.**

**Nesta região onde o campo magnético é mais
fraco ocorre maior fluxo de raios cósmicos.**

Planeta Terra.



Nosso planeta possui uma atmosfera composta de vários gases que interagem com a radiação solar produzindo importantes processos que permitem a presença de seres vivos.

Planeta Terra – Composição atmosférica.

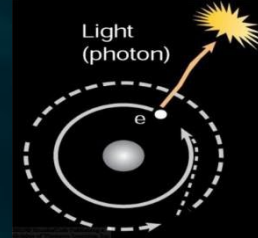
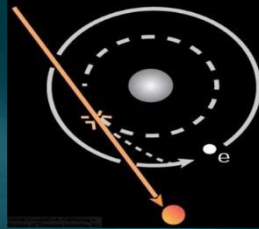
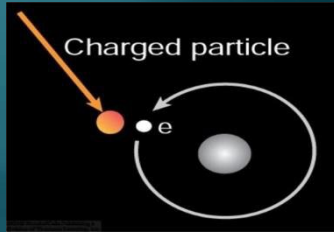
Gases Composição (% por volume)

▣ N ₂ (78,08)	↑ 99% ↓	Vapor d'água (0-4)
▣ O ₂ (20,95)		CO ₂ (0,042) Dióxido de Carbono
▣ Ar (0,93)		CH ₄ (0,00017) Metano
▣ Ne (0,018)		N ₂ O (0,00003) Dióxido Nitroso
▣ He (0,0005)		O ₃ (0,000004) Ozônio
▣ Partículas		Nuvens



Perfil vertical da atmosfera terrestre (gases e partículas).

Radiação – Aurora Boreal / Austral



As cores emitidas depende do tipo de gás da alta atmosfera. (oxigênio = verde e vermelha, nitrogênio = violeta e vermelha)

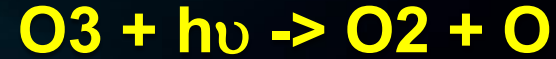
Aurora (Galileu)
= Deusa Romana
do Amanhecer.



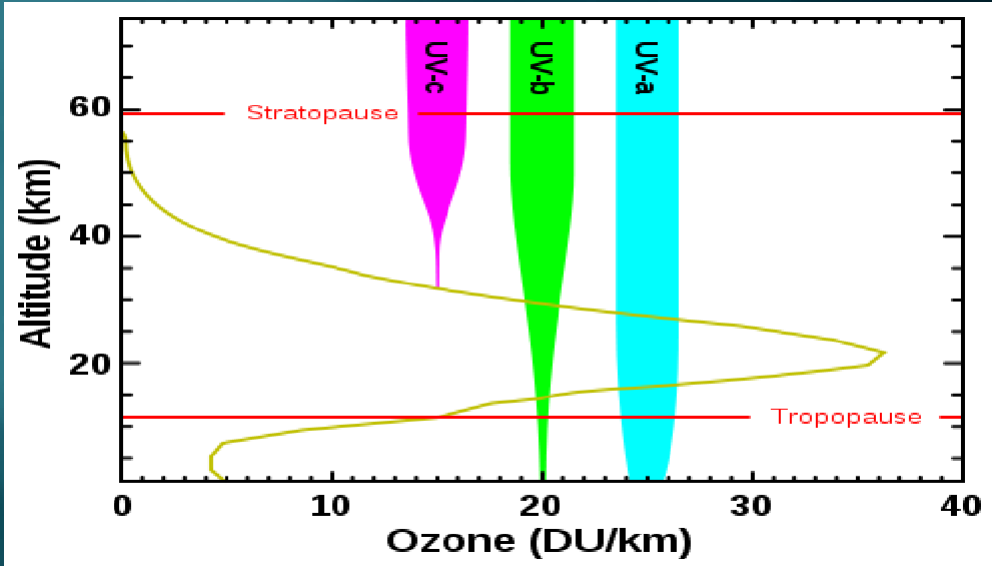
Aurora Boreal –
Noruega 12 Abril 2013

UV & Camada de Ozônio

Dissociação da Molécula de Ozônio (O₃)



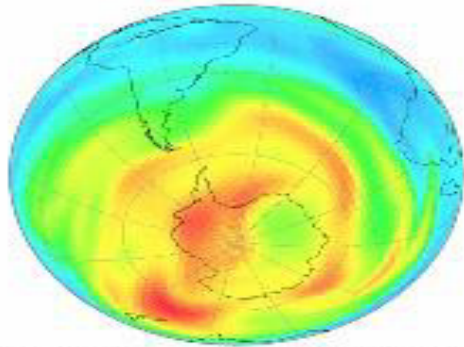
Nos meses de Setembro e Outubro (primavera no hemisfério sul) a concentração diminui tanto que tem aparecido um buraco na camada de O₃.



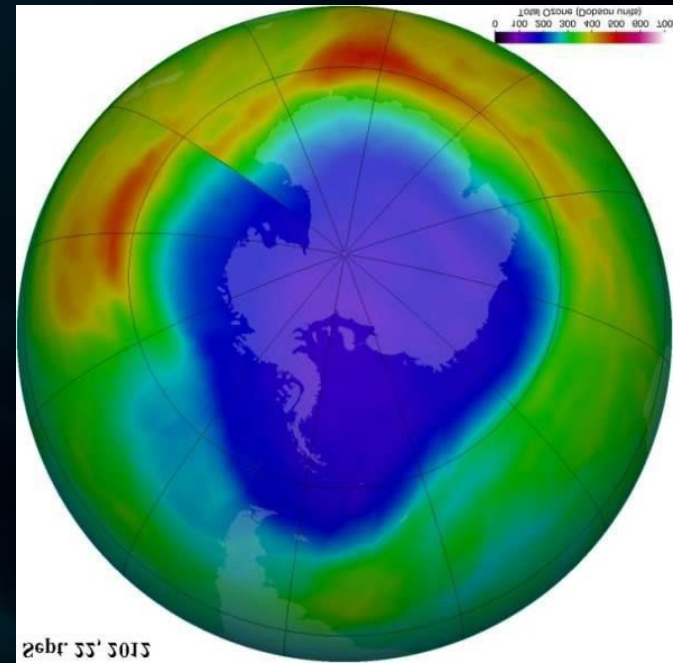
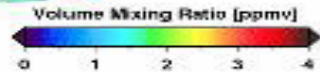
Buraco na Camada de Ozônio

GOME-2 / MetOp Analysis
Ozone at 55.4 hPa

Jul 13, 2011, 12:00 GMT
Southern Hemisphere

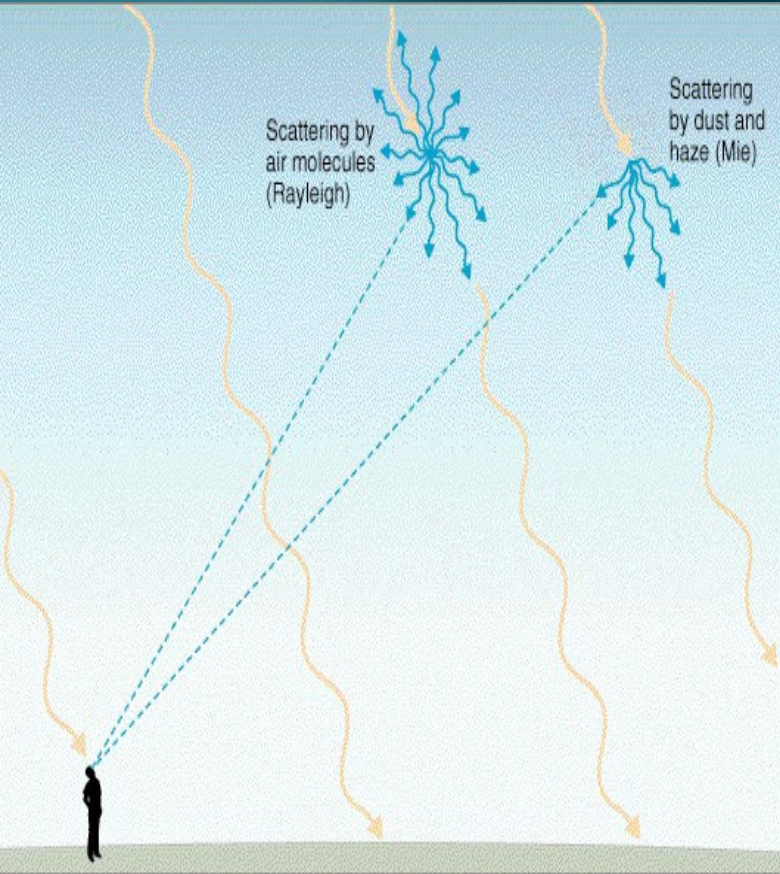


4DVar Chemical Data Assimilation
SACADA Version 2.4
<http://wdc.dlr.de>



<https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>

Radiação – espalhamento (céu azul e nuvens)

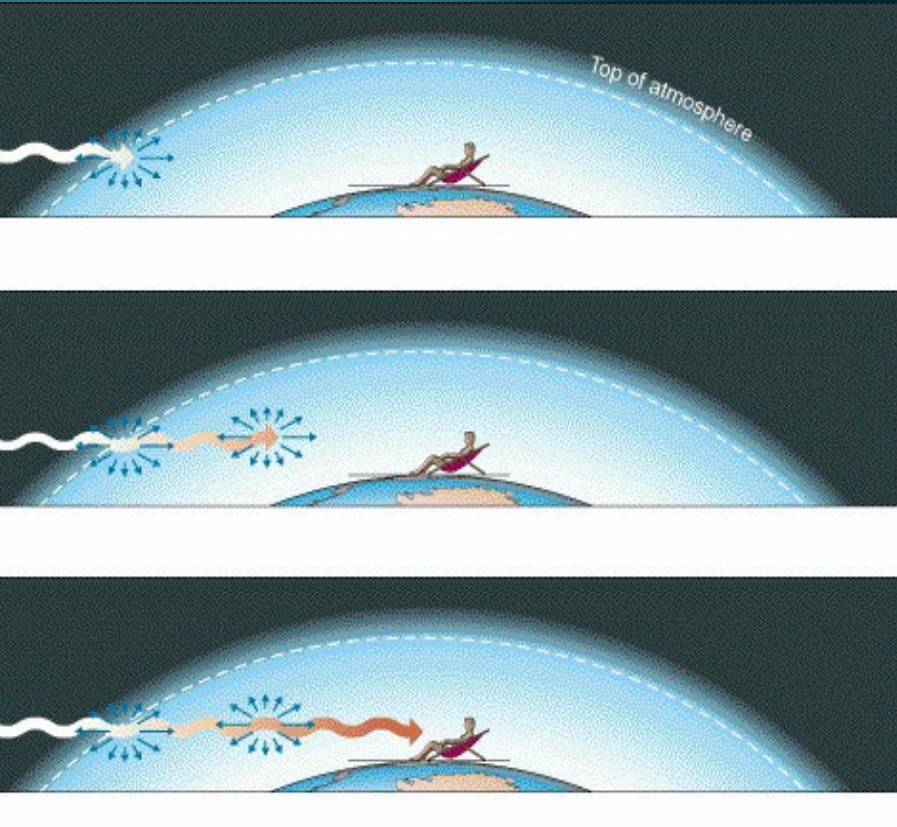


- **MOLÉCULAS DO AR** tendem a espalhar mais o comprimentos de ondas mais curtos, e em todas as direções → lado mais “azul” do espectro visível → a radiação difusa (do céu) parece “azul”

- **PARTÍCULAS** (gotículas e aerossóis) tendem a espalhar igualmente todos os comprimentos de onda → mistura de todas as cores: luz branca → nuvens

Radiação – transmissão pela atmosfera.




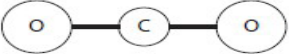

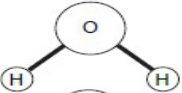
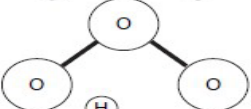
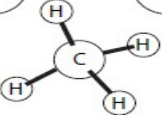
“quantidade de radiação que resta após atravessar toda a atmosfera”



- a) No topo da atm.: a luz começa a ser espalhada, principalmente sua parte “azul”
- b) Quando a rad. avança pela atm., mais rad. azul é espalhada
- c) A maior parte da luz transmitida é a luz amarela e vermelha

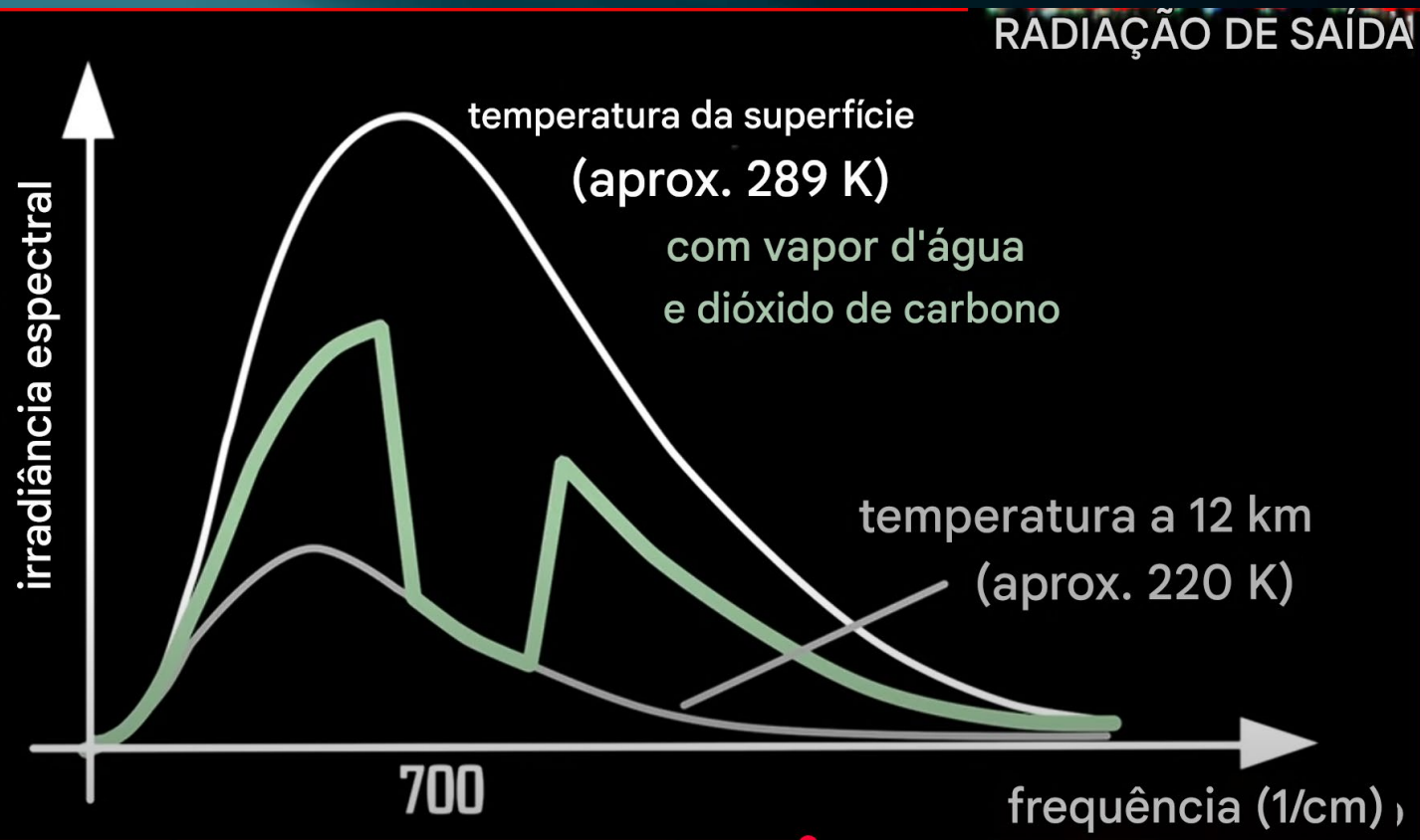
Transições Rotacionais

Conversão de energia radiativa em Energia Cinética

Molecule	Structure	Permanent Electric Dipole Moment?
Oxygen	 linear	No (has magnetic dipole moment)
Nitrogen	 linear	No
Carbon Monoxide	 linear	Yes
Carbon Dioxide	 linear	No
Nitrous Oxide	 linear	Yes
Water	 asymmetric top	Yes
Ozone	 asymmetric top	Yes
Methane	 spherical top	No

Estrutura molecular de vários constituintes atmosféricos depende do seu **momento de inércia**, e também se a molécula possui momento de dipolo elétrico ou magnético.

Como o Efeito Estufa REALMENTE Funciona



Absorção por Gases - Vibração

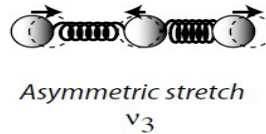
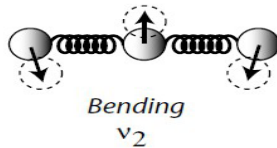
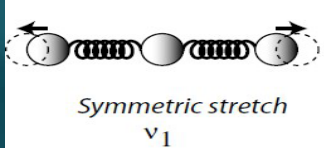
Moléculas poliatômicas

Quando uma molécula consiste de mais do que dois átomos, temos um aumento substancial de possibilidades de movimentos vibracionais.

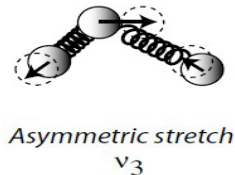
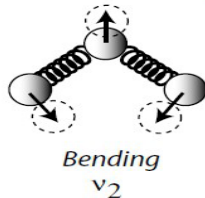
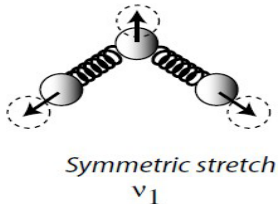
Diatomic (N_2 , O_2 , CO)



Linear triatomic (CO_2 , N_2O)

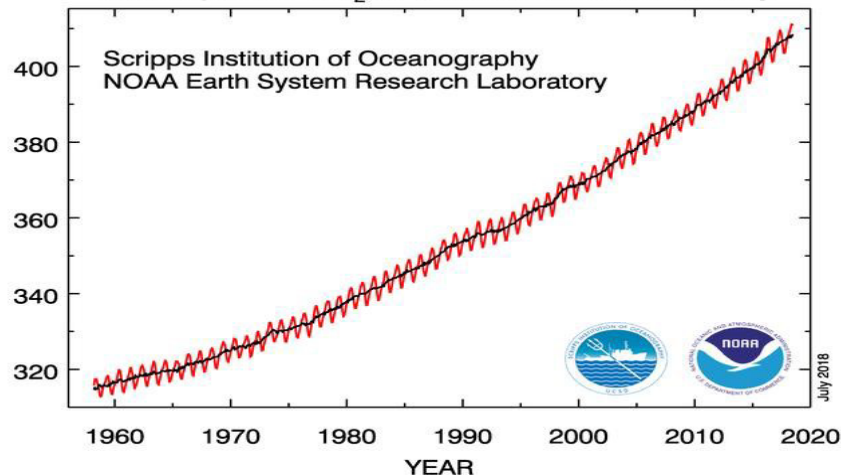


Nonlinear Triatomic (H_2O , O_3)

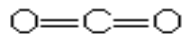


Forças inter-atômicas de ligação que envolvem **entortes** e **estiramentos** (estrutura molecular)

Atmospheric CO₂ at Mauna Loa Observatory

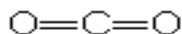


A concentração de CO₂ aumentou 40% desde a era industrial. 30 bi ton/ano.



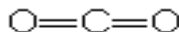
symmetric stretch

inactive
no dipole change

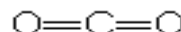


antisymmetric stretch

active



δ_{xz}

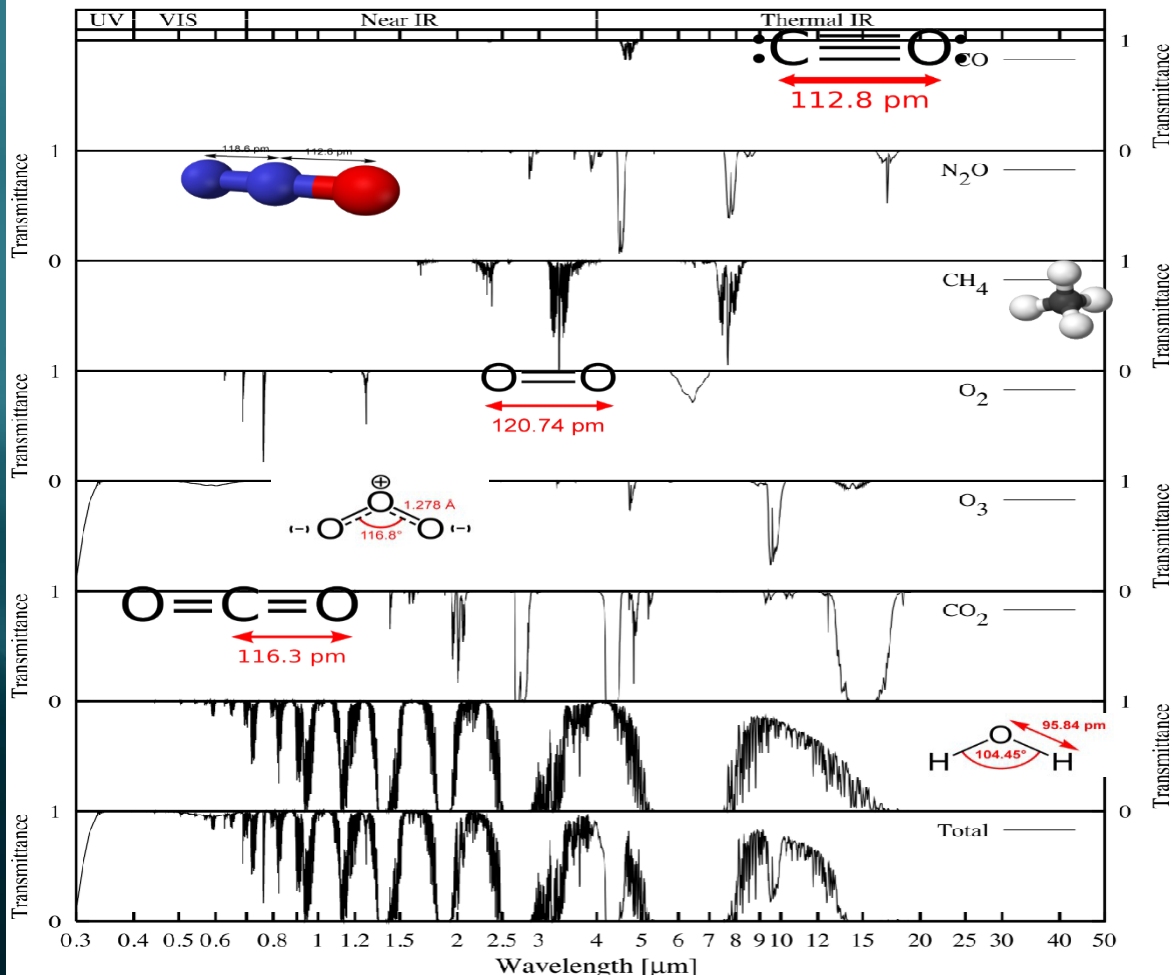


δ_{xy}

degenerate
same energy
one band

Transmissão Atmosférica: Lei de Beer $I(x)=I_0e^{(-\beta_{abs} x)}$

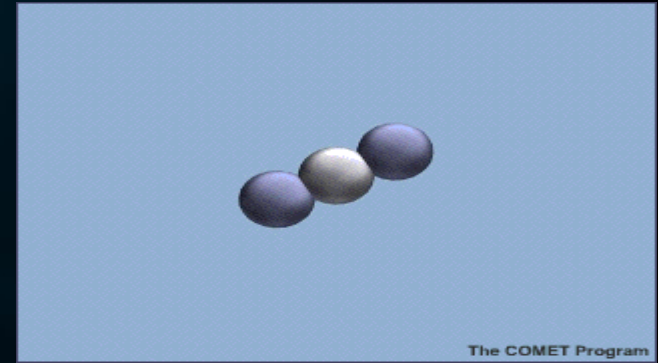
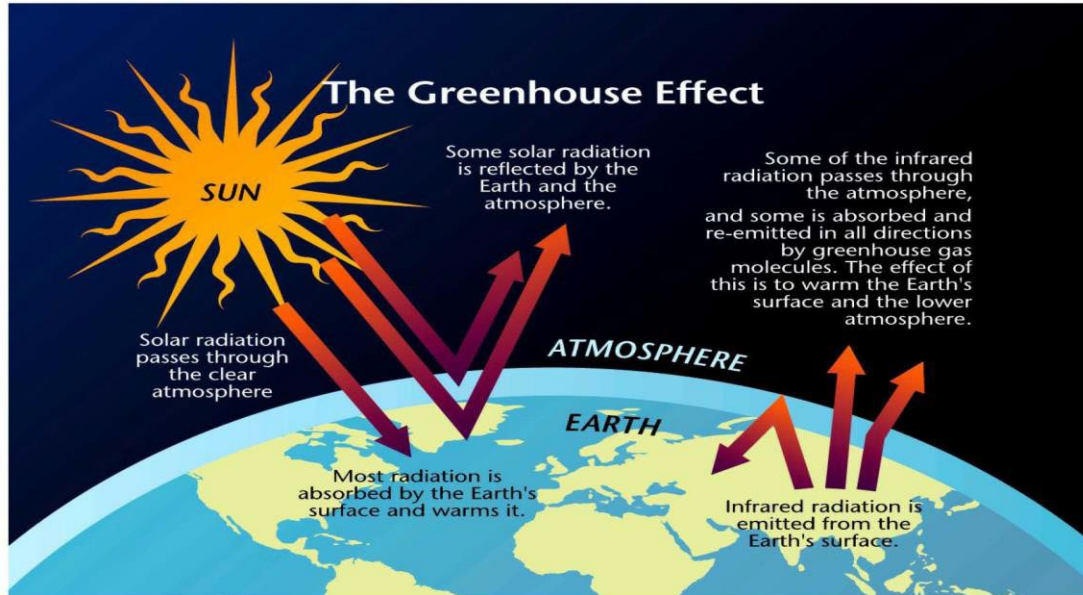
ZENITH ATMOSPHERIC TRANSMITTANCE



transmitância para céu claro e o efeito individual de alguns componentes.

Quais gases são ativos na banda IV e contribuem para o aquecimento do efeito estufa? Quais gases absorvem radiação solar?

Efeito estufa



Gases estufa como H_2O , CO_2 , N_2O e CH_4 possuem moléculas que podem vibrar ao receber energia de radiação de ondas longas e re-emití-las em outra direção.

Dinâmica da Atmosfera: Ventos

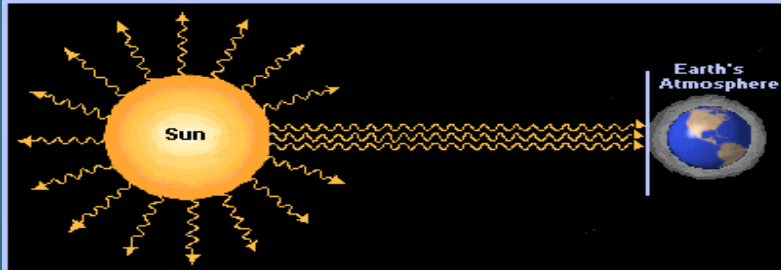
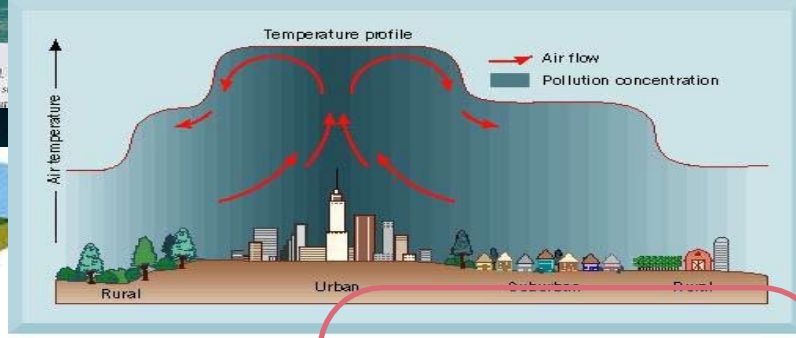
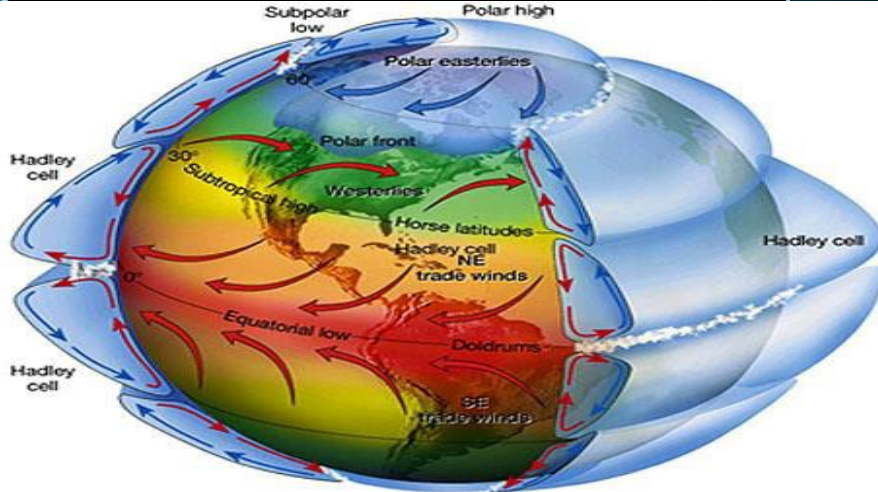


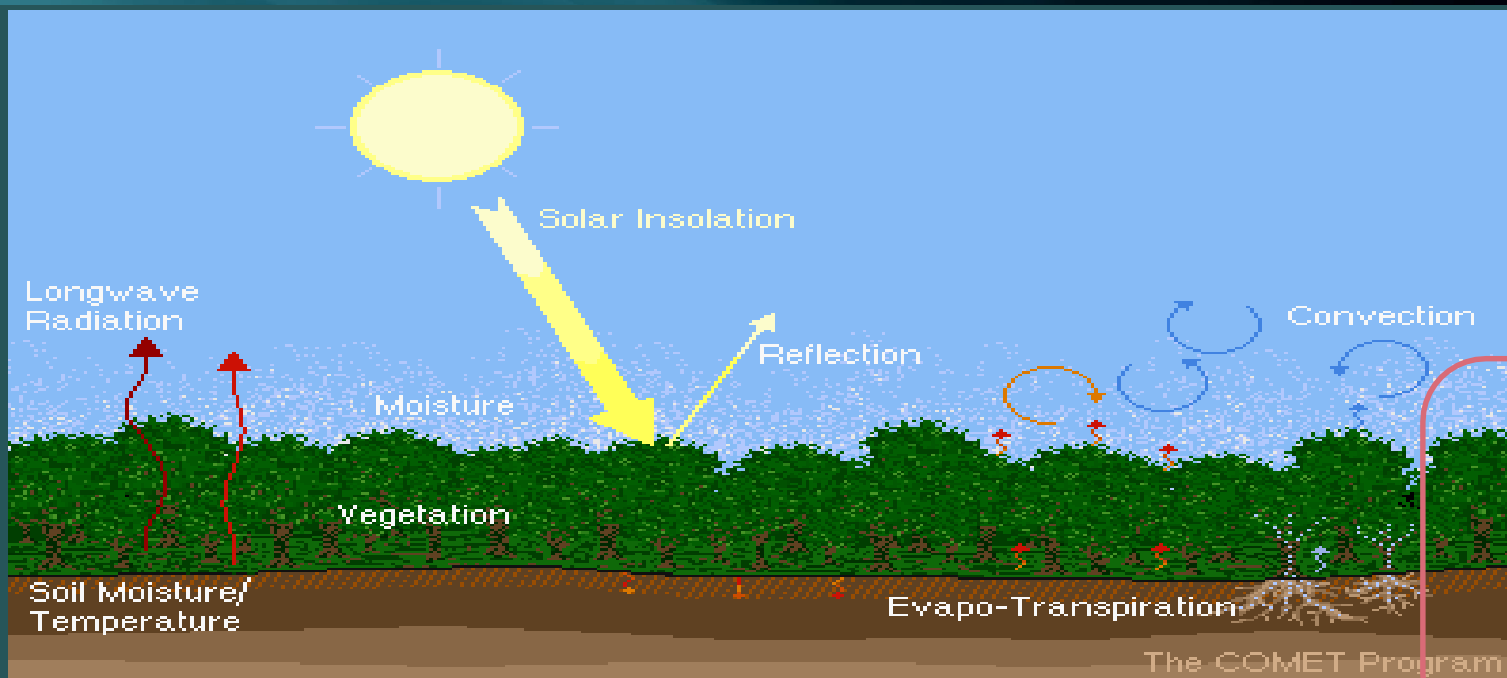
FIGURE 6.21
A cumulonimbus cloud:
defined anvil. Sunlight is
the anvil. Notice the high



imagem

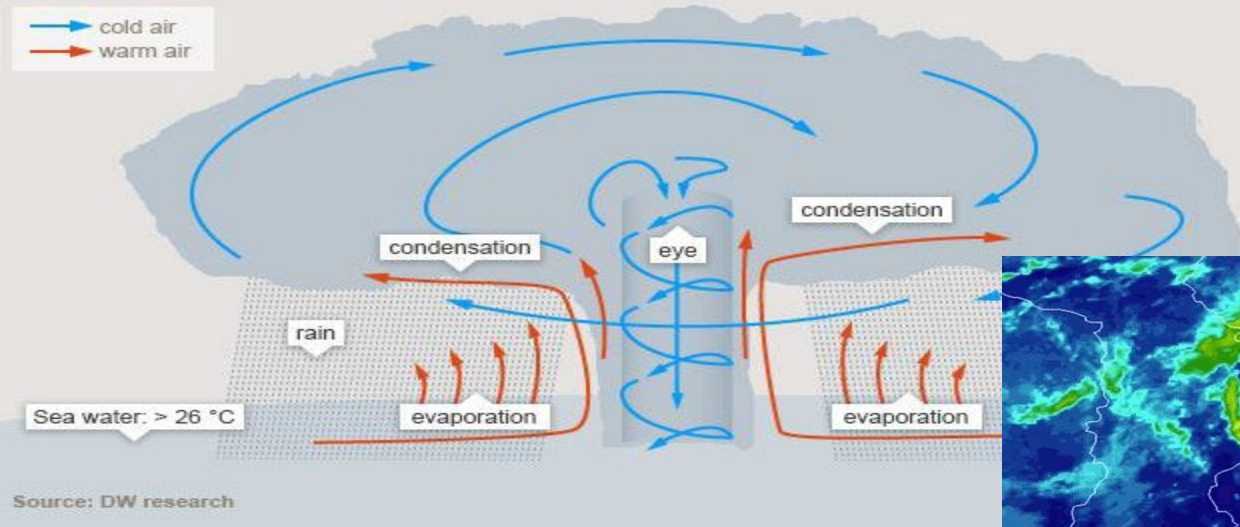


Condições de fronteira inferior: “interface solo-vegetação-atmosfera”

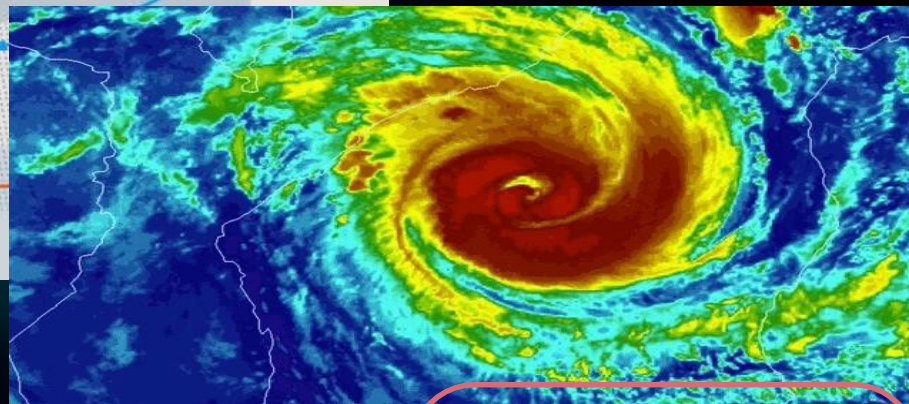


Ciclo da Água





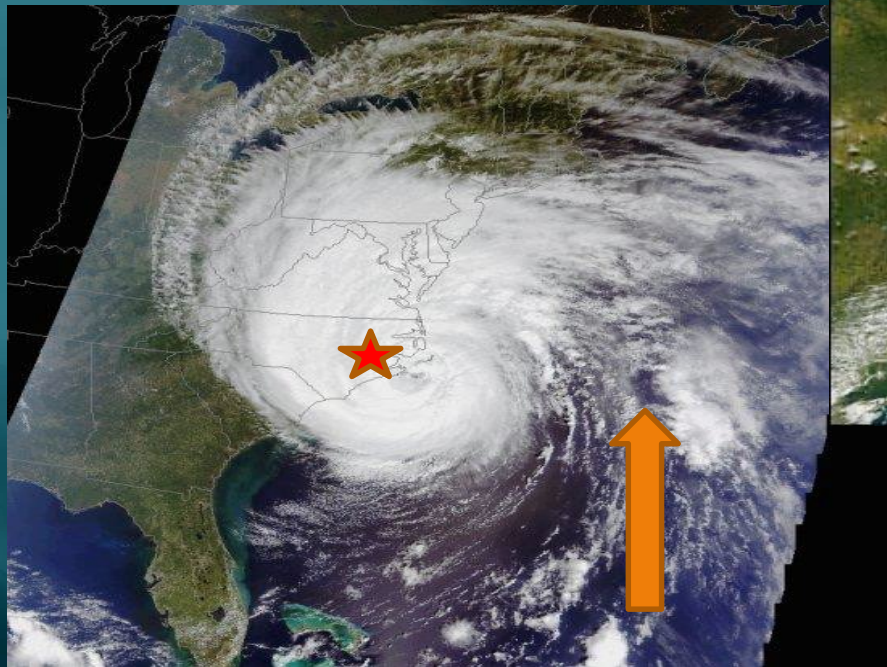
Quanto de energia possui um Furacão?



Furacão Idai – 14 Março 2019

Após transformação de energia solar em evaporação e condensação (44 kJ/mol)
Energia estimada de um furacão típico = $2,9 \times 10^{17}$ kJ
Energia estimada da bomba Little Boy = $6,3 \times 10^{10}$ kJ (15 kT TNT)
Equivale a 4,6 milhões de bombas nucleares (iguais de Hiroshima)

Furacão Isabel (Atlântico Norte) – Setembro 2005



Furacão Catarina (Atlântico Sul)– 2004

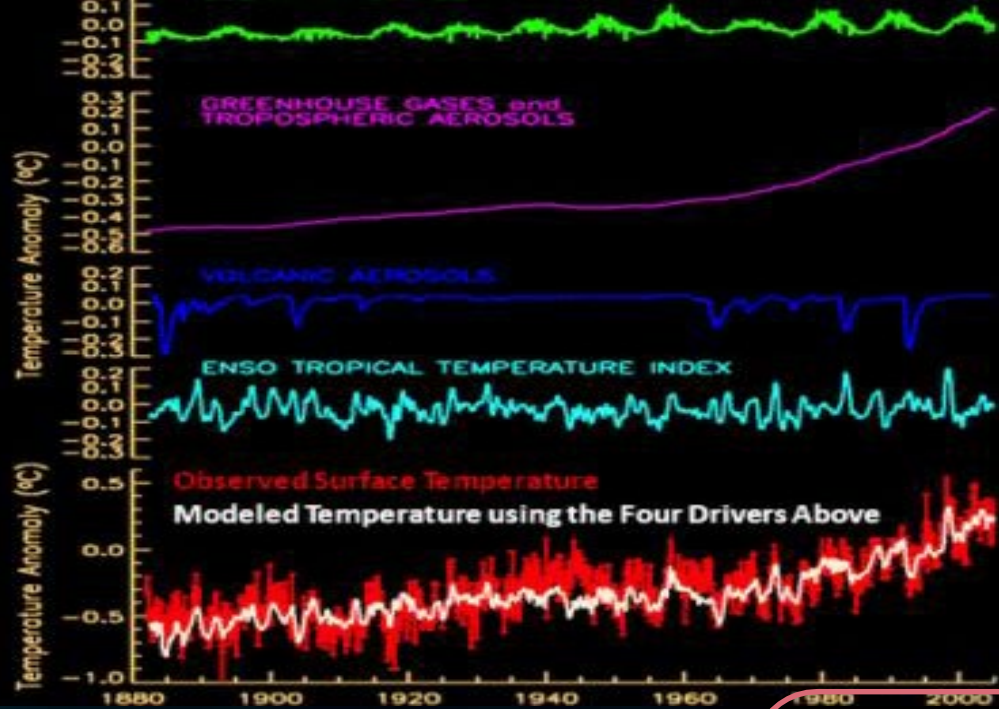


Redistribuição de Energia

What Drives Modern Climate?

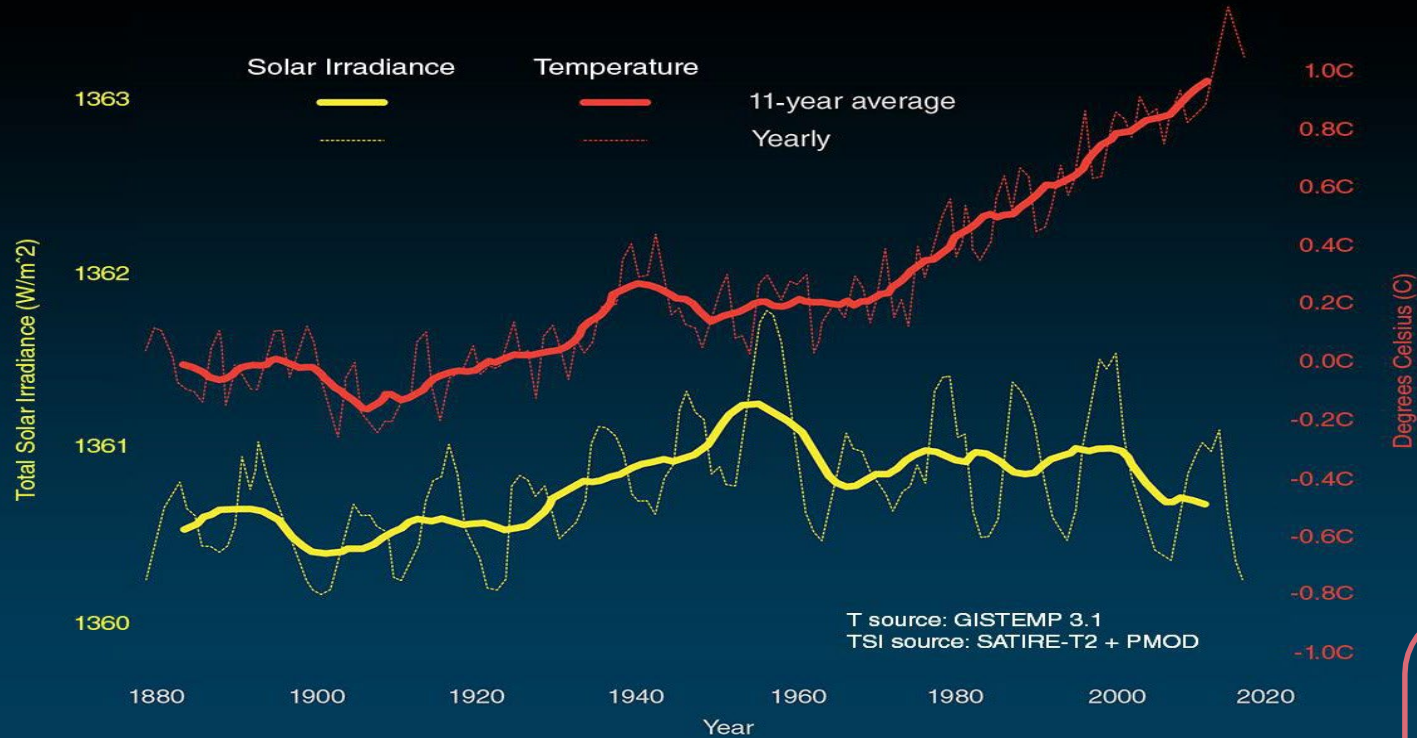
There are four major contributions to climate change. The sun is one of them

1. Solar Irradiance
2. Greenhouse Gasses
3. Volcanoes
4. ENSO (The El Niño Southern Oscillation)



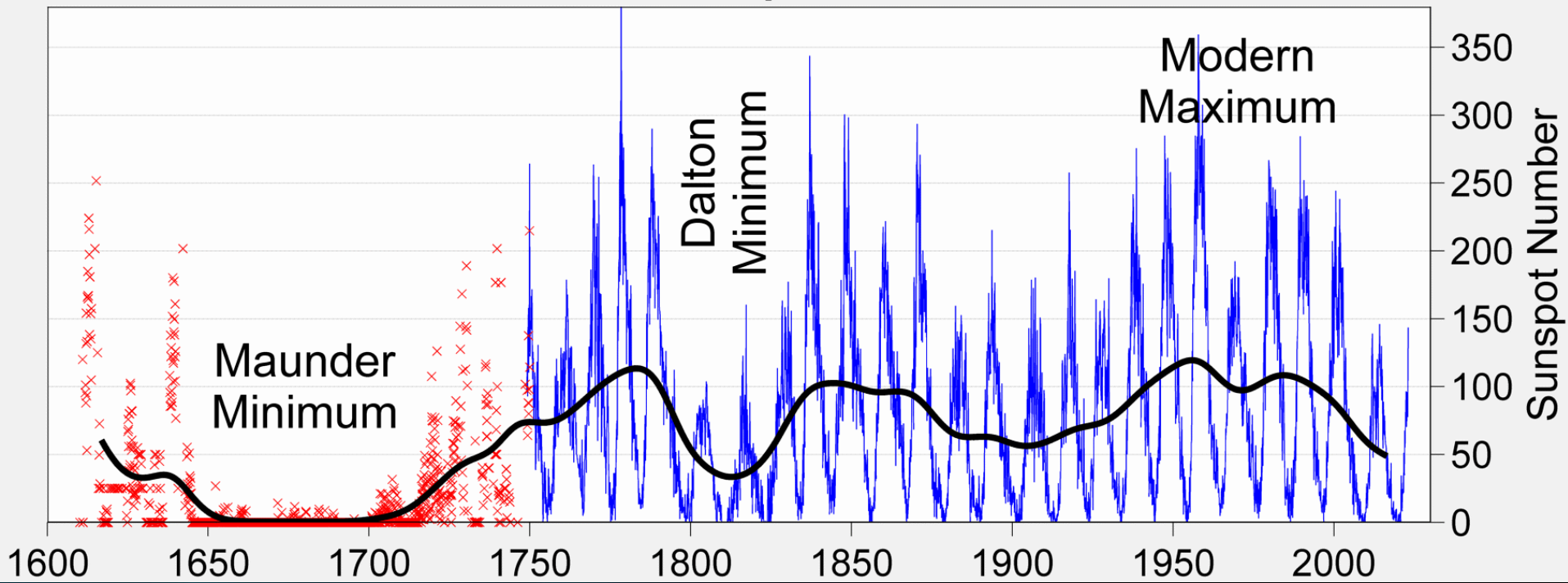
Os Gases de efeito estufa são a principal forçante da tendência de mudança climática

Temperature vs Solar Activity

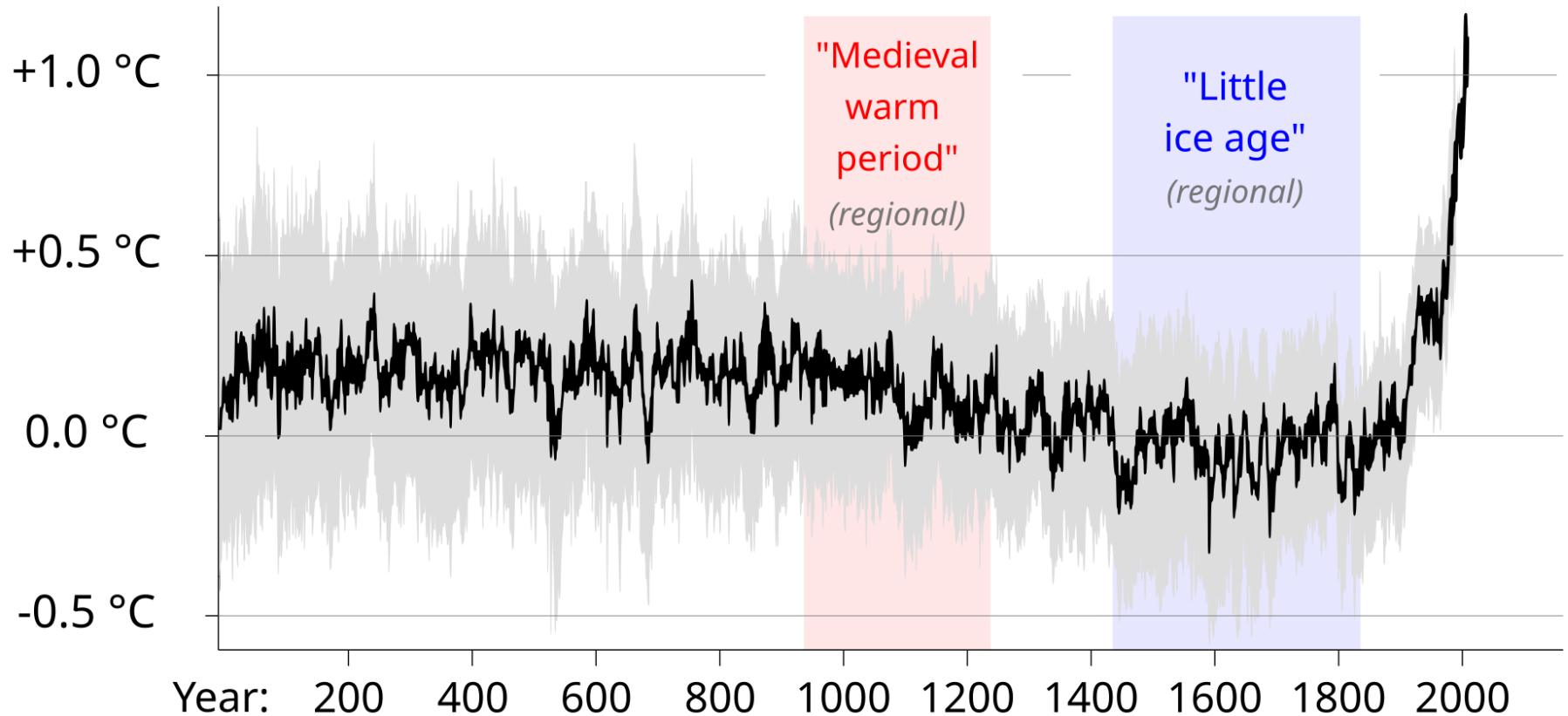


Variações Solares não influenciam no aquecimento global

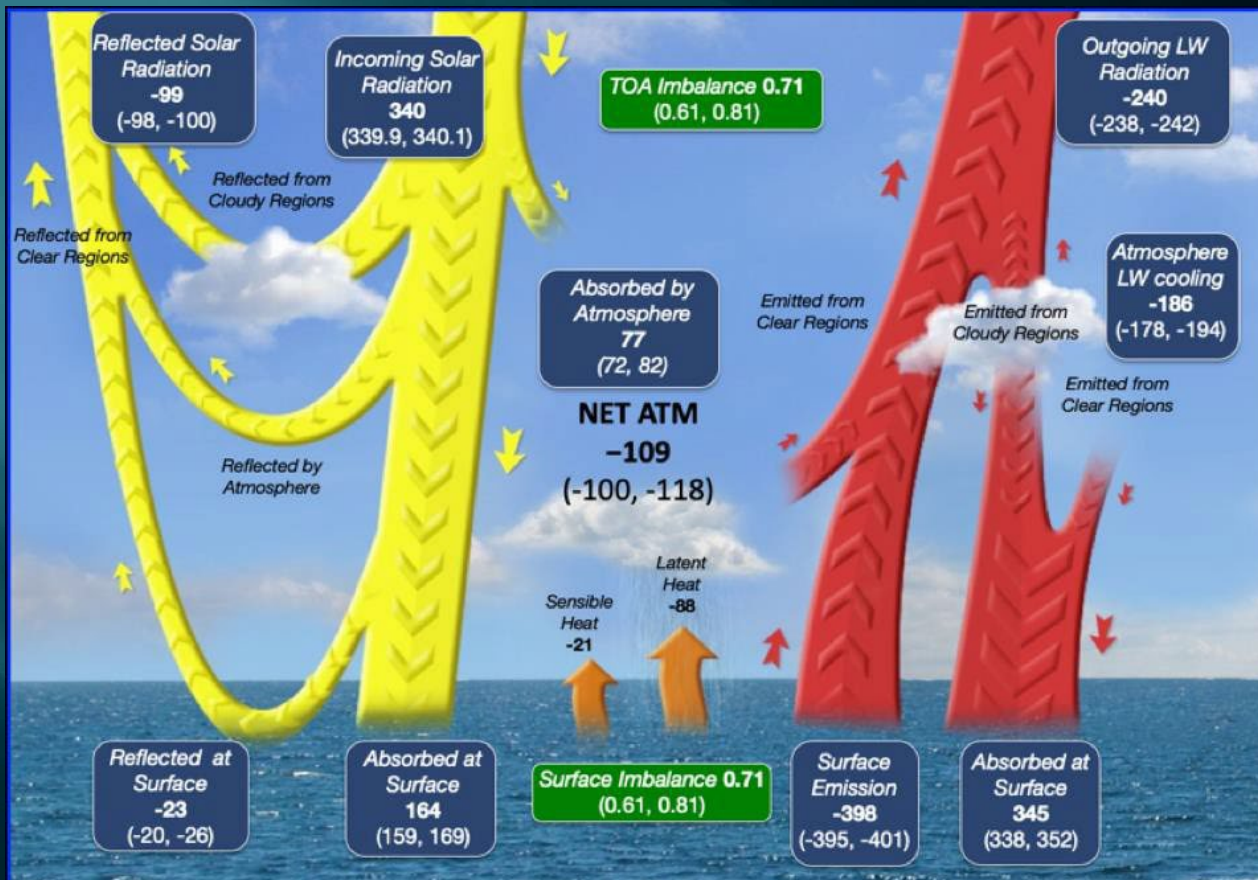
400 Years of Sunspot Observations



Global Average Temperature Change



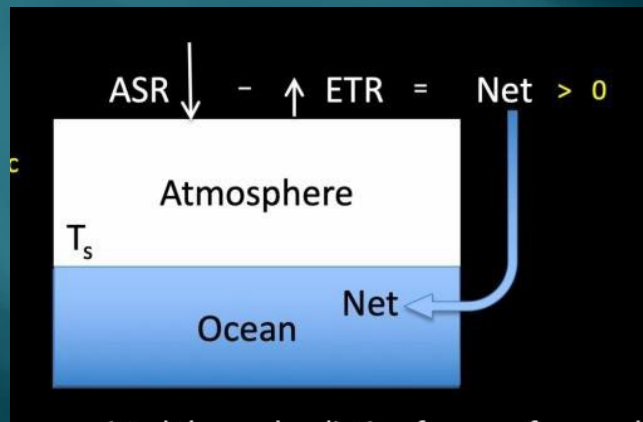
CERES – Balanço de Radiação



30 % é refletida de volta para o espaço pela atmosfera, nuvens e superfície. Com aumento da concentração dos gases menos energia tem sido emitida para o espaço. (~ 0.3% da Energia Solar).

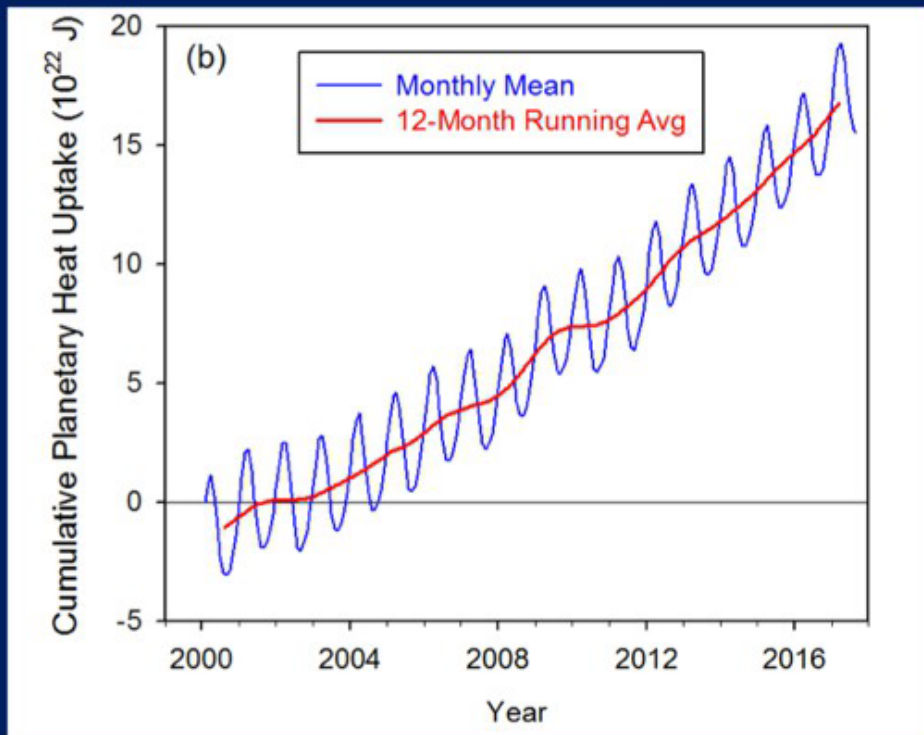
CERES – Balanço de Radiação

Estimativas do Balanço de Energia Planetária e Temperatura



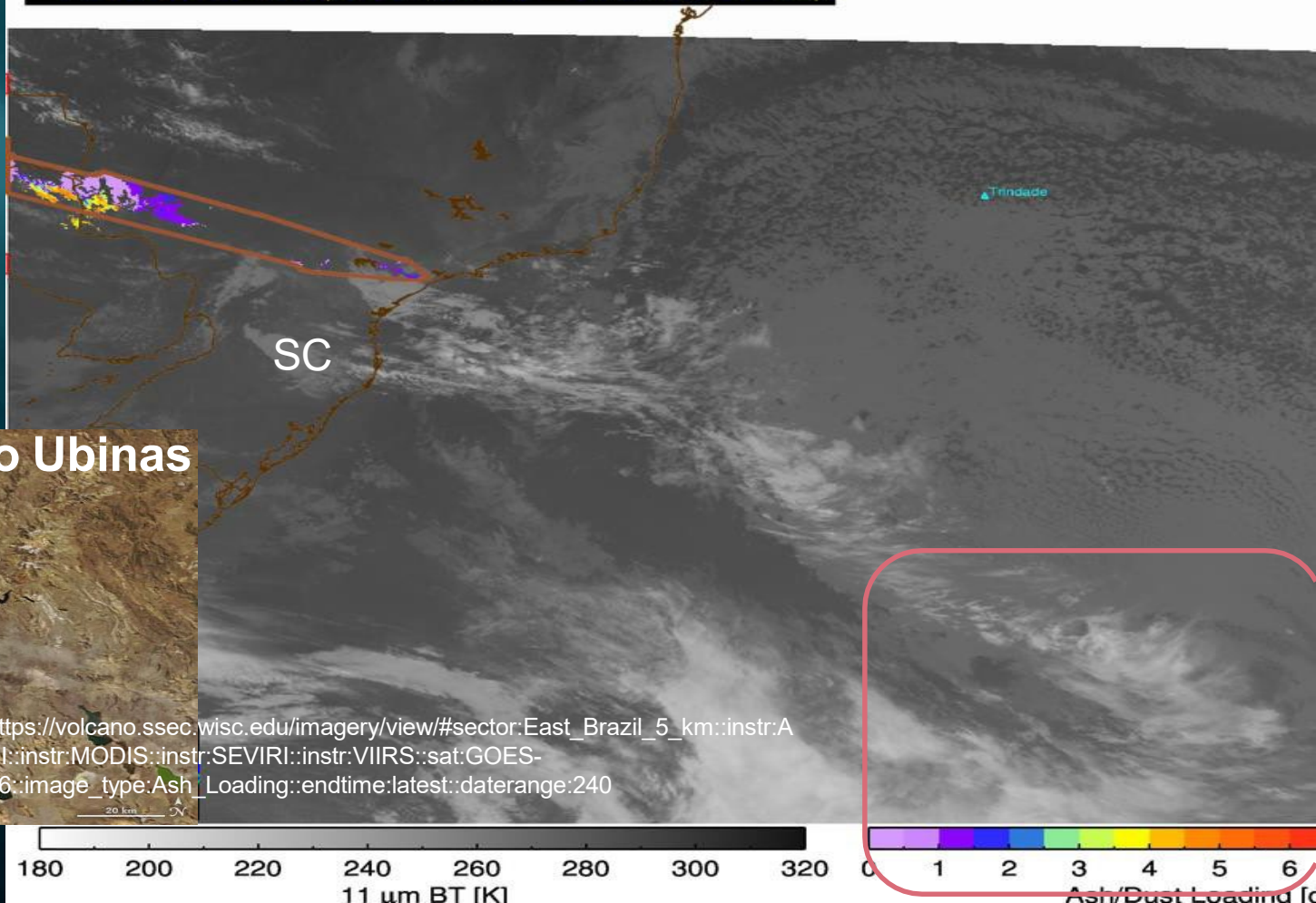
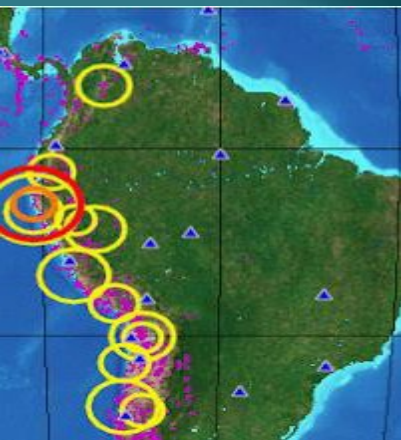
O aumento da concentração dos gases do efeito estufa, reduz a perda radiativa (ETR) e aumenta a energia térmica e temperatura da superfície (~93 % oceanos).

CERES Measurements of Planetary Heat Uptake



IR Window Imagery and Ash/Dust Loading

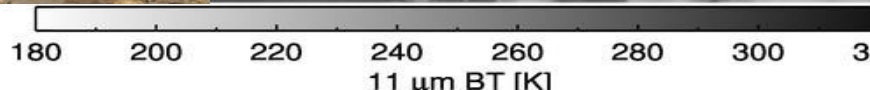
GOES-16 ABI (07/20/2019 – 12:00:30 UTC)



Erupção do Vulcão Ubinas
(Peru)
19 Julho 2019

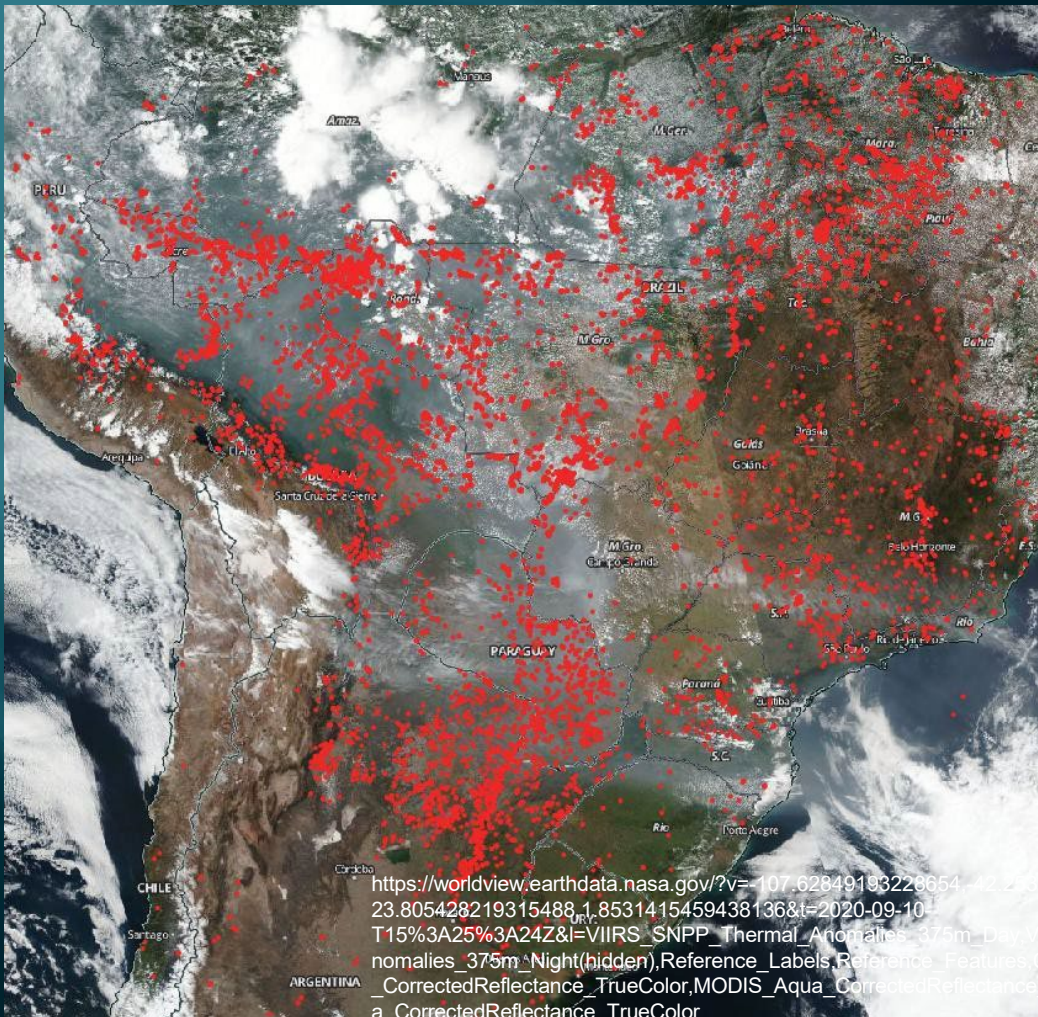


https://volcano.ssec.wisc.edu/imagery/view/#sector:East_Brazil_5_km::instr:A BI::instr:MODIS::instr:SEVIRI::instr:VIIRS::sat:GOES-16::image_type:Ash>Loading::endtime:latest::daterange:240



Interação da radiação com fumaça

Satélite Suomi NASA
11 Setembro 2020
Focos de incêndio



[https://worldview.earthdata.nasa.gov/?v=-107.62849183228654,-12.230756264929045,-23.805428219315488,1.8531415459438136&t=2020-09-10T15%3A25%3A24Z&f=VIIRS_SNPP_Thermal_Anomalies_375m-Day,VIIRS_SNPP_Thermal_Anomalies_375m-Night\(hidden\),Reference_Labels,Reference_Features,coastlines,VIIRS_SNPP_CorrectedReflectance_TrueColor,MODIS_Aqua_CorrectedReflectance_TrueColor,MODIS_Terra_CorrectedReflectance_TrueColor](https://worldview.earthdata.nasa.gov/?v=-107.62849183228654,-12.230756264929045,-23.805428219315488,1.8531415459438136&t=2020-09-10T15%3A25%3A24Z&f=VIIRS_SNPP_Thermal_Anomalies_375m-Day,VIIRS_SNPP_Thermal_Anomalies_375m-Night(hidden),Reference_Labels,Reference_Features,coastlines,VIIRS_SNPP_CorrectedReflectance_TrueColor,MODIS_Aqua_CorrectedReflectance_TrueColor,MODIS_Terra_CorrectedReflectance_TrueColor)

Importância do sol para o ecossistema (Abelhas)



https://www.youtube.com/watch?v=LU_KD1enR3Q

Sites interessantes

https://phet.colorado.edu/sims/html/molecules-and-light/latest/molecules-and-light_en.html

https://youtu.be/kyhsBqB2x_Y

<https://worldview.earthdata.nasa.gov>

<https://ceres.larc.nasa.gov/science>

<https://volcano.ssec.wisc.edu/>

<https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>