

Ciclos solares: como as variações do Sol afetam nosso clima e atmosfera?

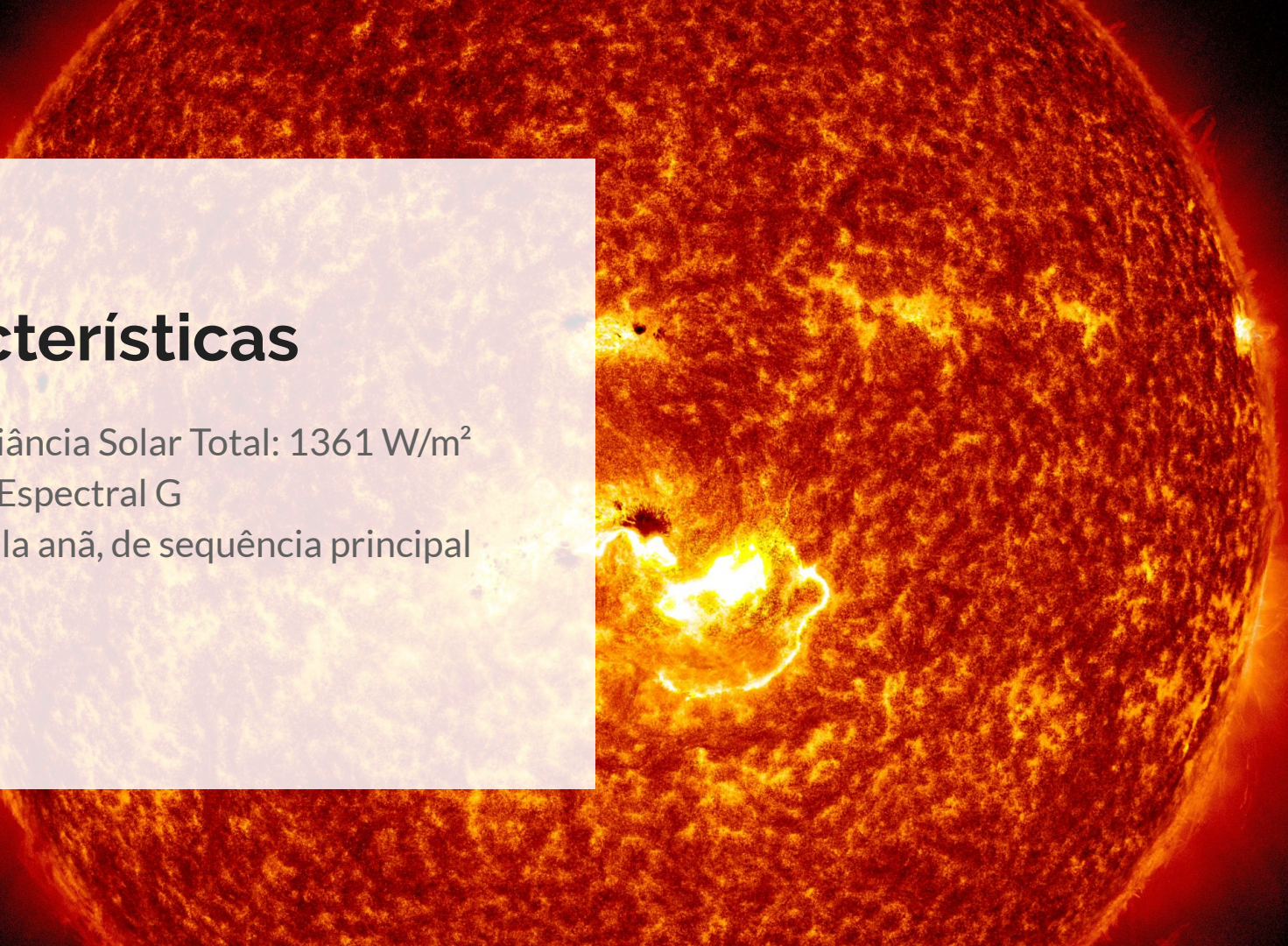
Ana Clara B. Saraiva Sá
Fernando Henrique Ribeiro
Gabriela Carvalho

O Sol



Características

- Irradiância Solar Total: 1361 W/m^2
- Tipo Espectral G
- Estrela anã, de sequência principal

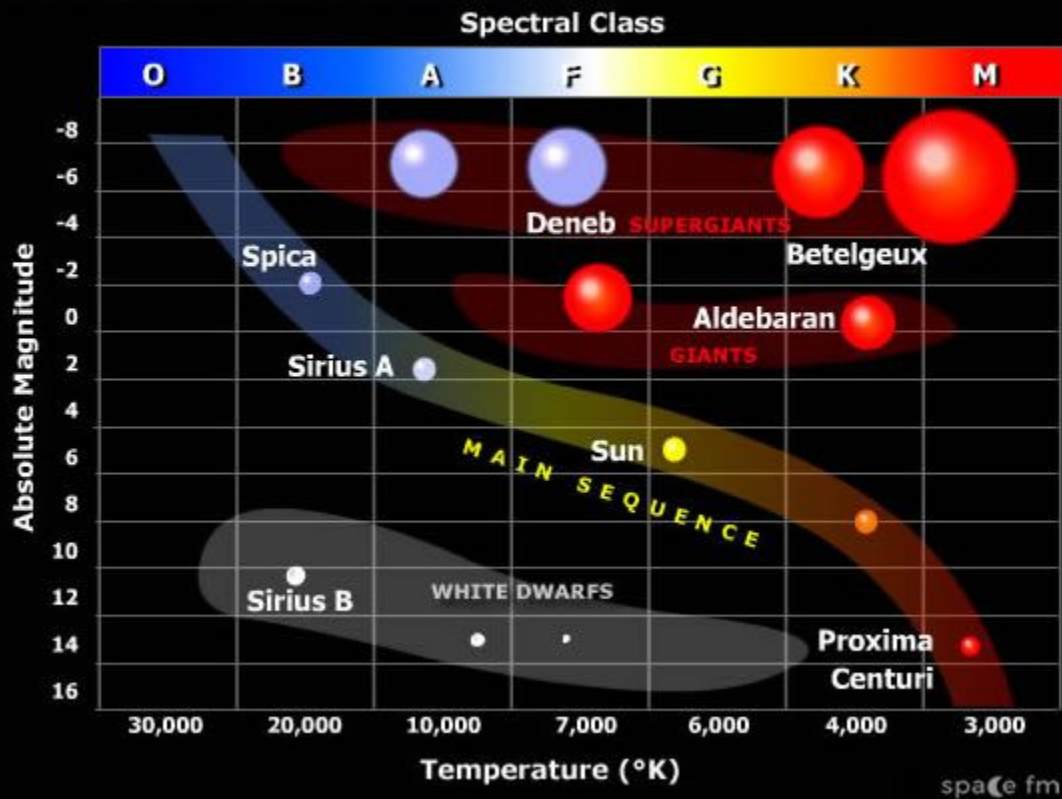


Características

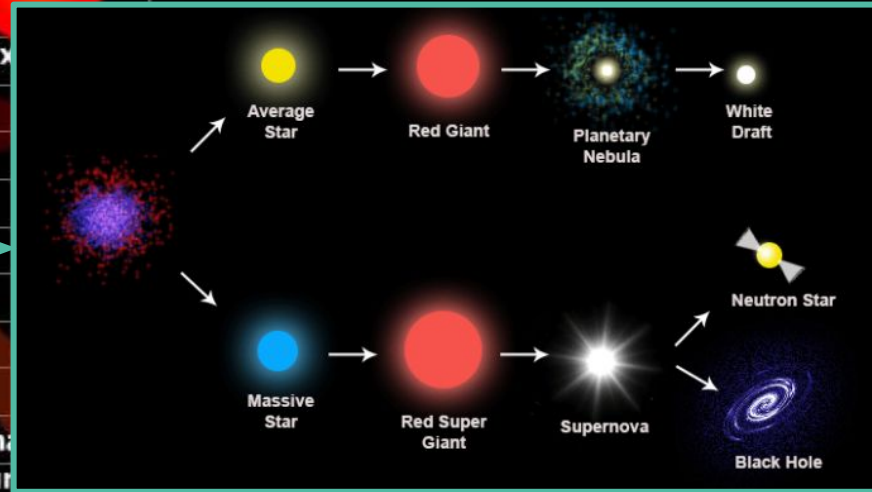
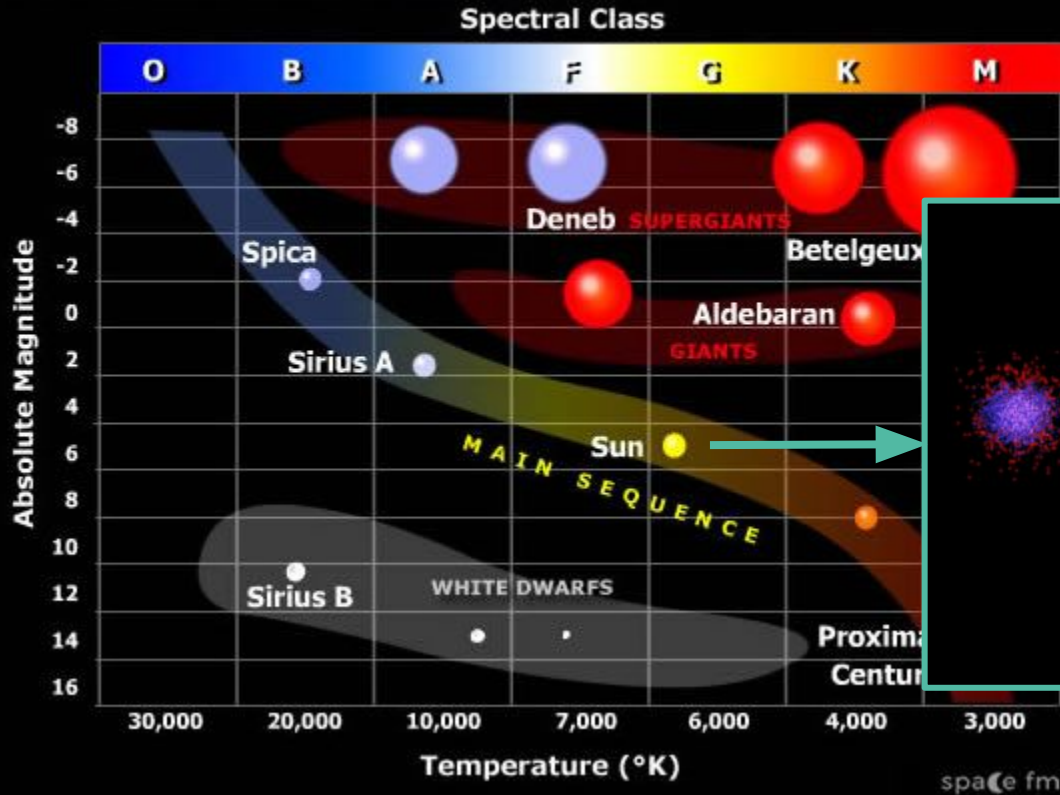
- Irradiância Solar Total: 1361 W/m^2
- Tipo Espectral G
- Estrela anã, de sequência principal

**Representa 99.96% da
energia recebida pela Terra!**

HERTZSPRUNG-RUSSELL DIAGRAM

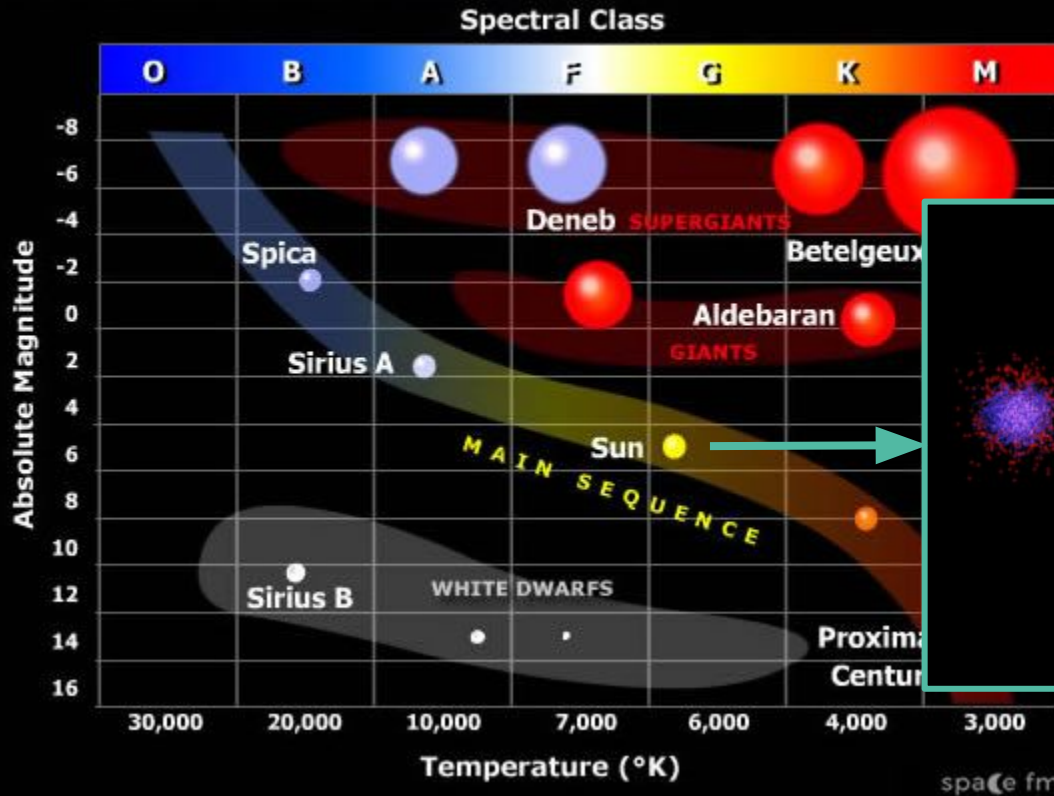


HERTZSPRUNG-RUSSELL DIAGRAM



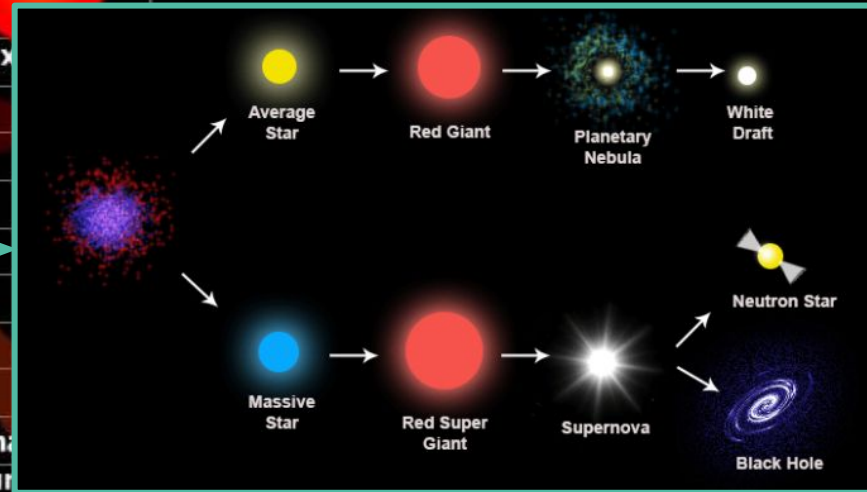
space fm

HERTZSPRUNG-RUSSELL DIAGRAM



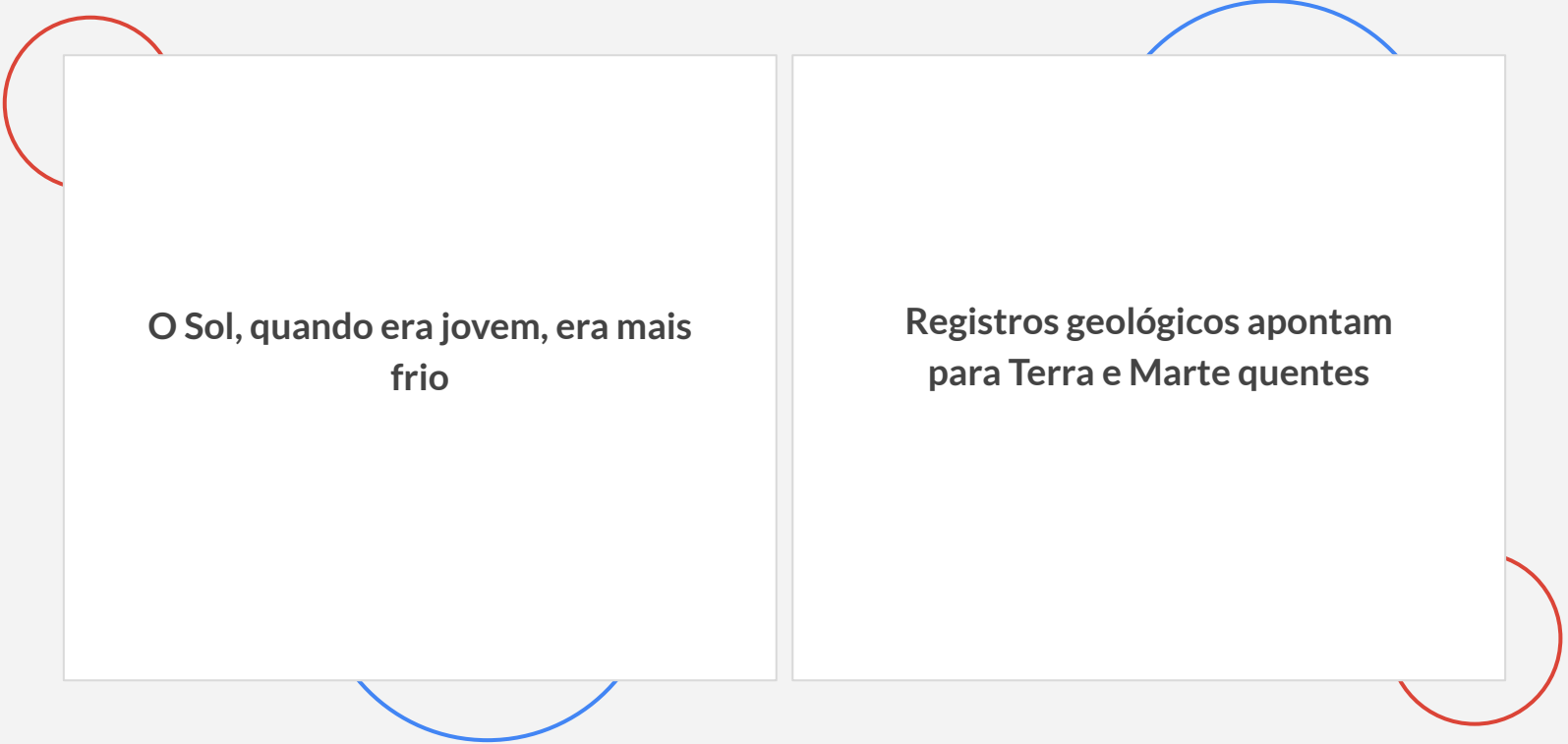
Variação de muito longo prazo!

Temperatura e raio solares mudam.



space fm

Paradoxo do Sol jovem



O Sol, quando era jovem, era mais frio

Registros geológicos apontam para Terra e Marte quentes

Paradoxo do Sol jovem

O Sol, quando era jovem, era mais frio

Registros geológicos apontam para Terra e Marte quentes

Outros fatores devem ser importantes para o clima da Terra!



Constante Solar

Média do fluxo de radiação do Sol incidente por unidade de área no topo da atmosfera.

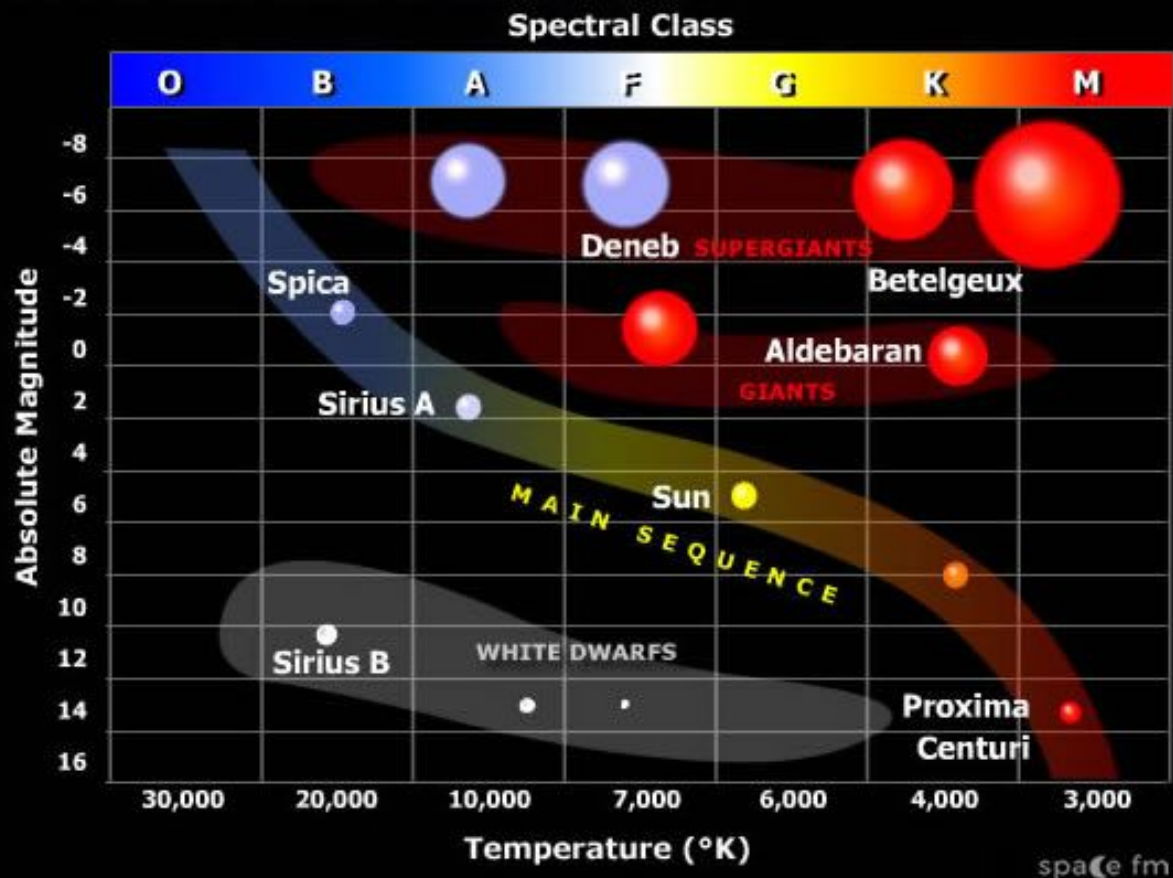


Constante Solar

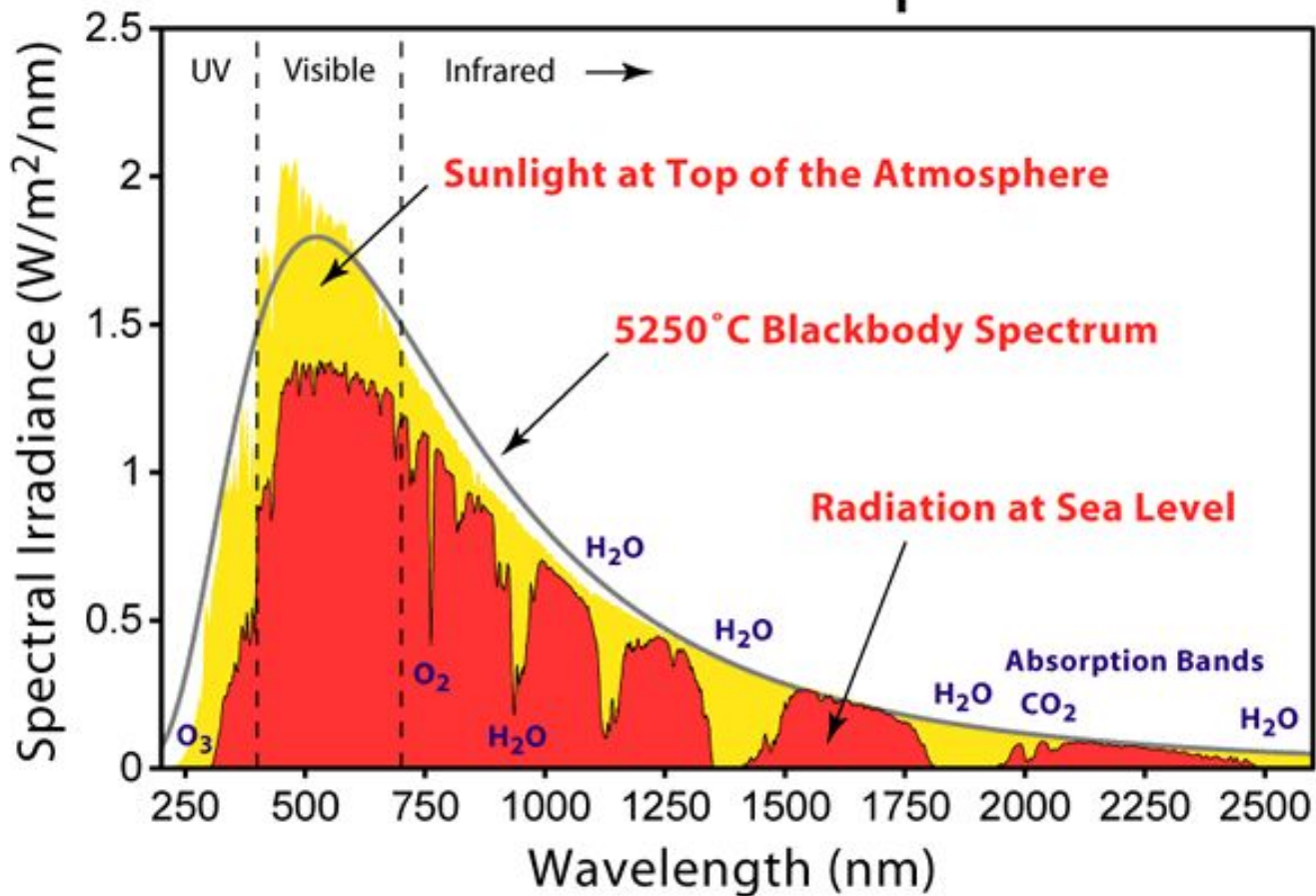
Média do fluxo de radiação do Sol incidente por unidade de área no topo da atmosfera.

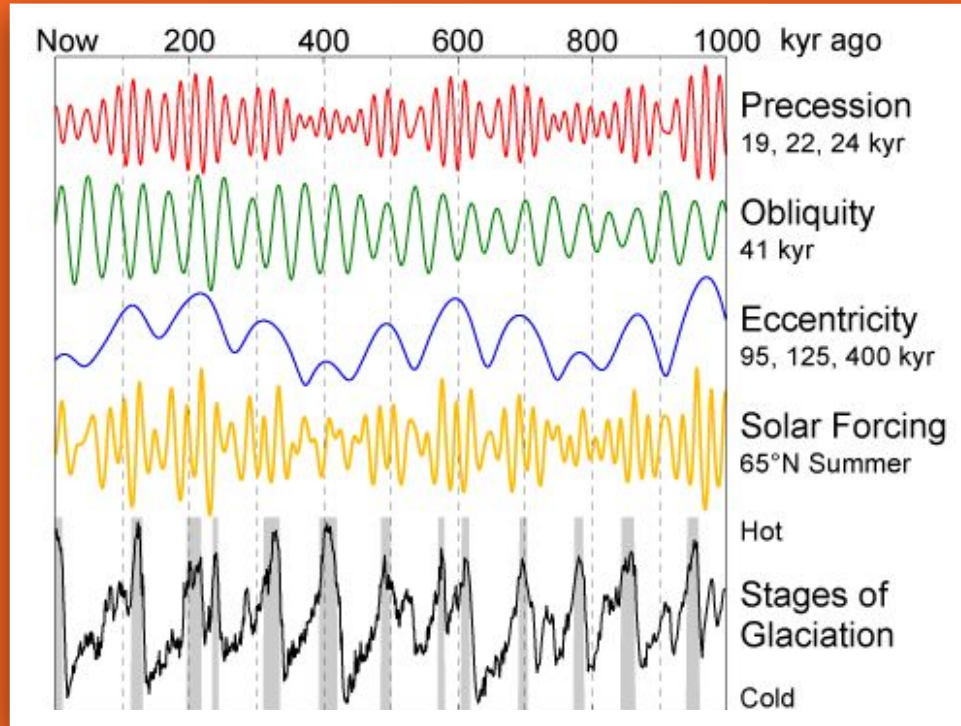
Não é constante!

HERTZSPRUNG-RUSSELL DIAGRAM



Solar Radiation Spectrum



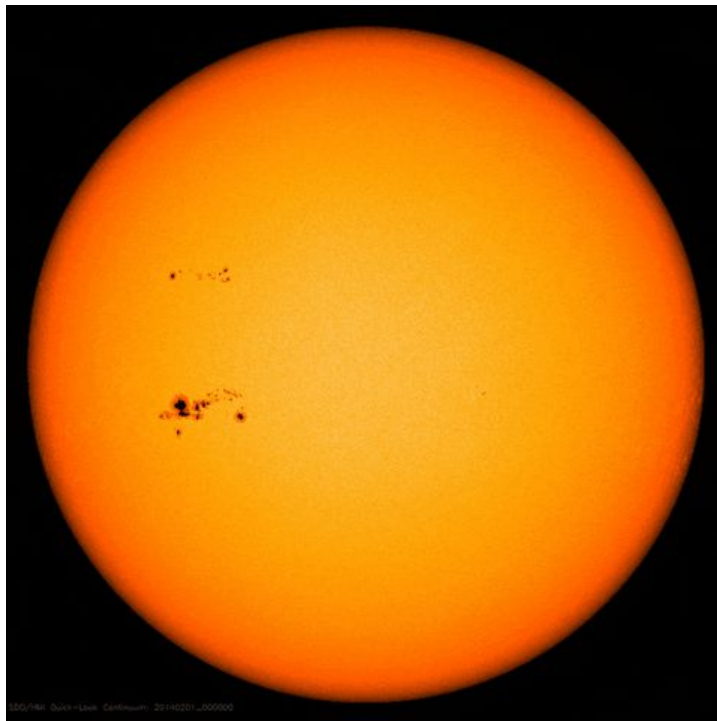


Ciclo de Milankovitch

Sobreposição de fatores orbitais:

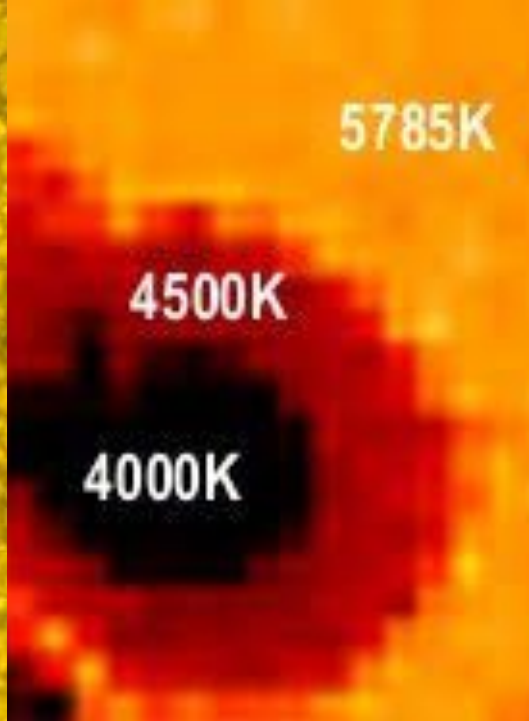
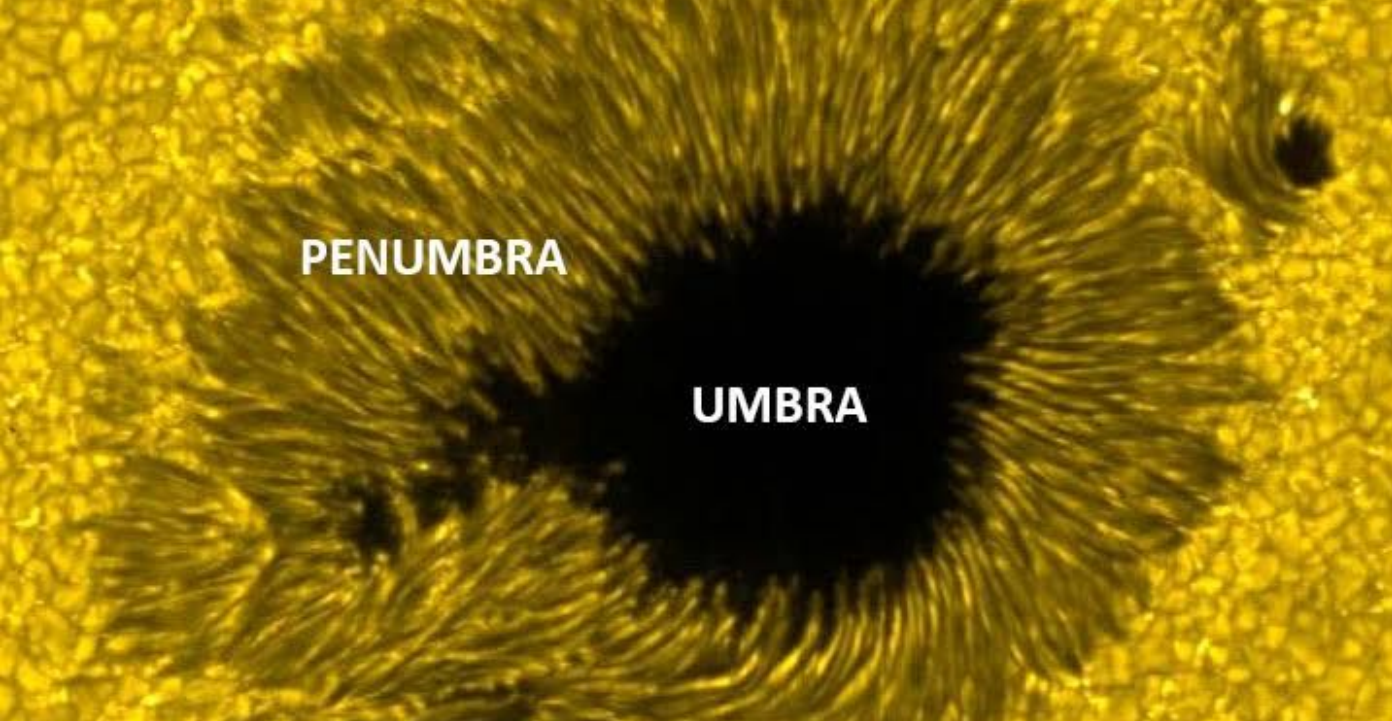
- Precessão dos Equinócios
- Excentricidade Orbital
- Inclinação do Eixo Terrestre

Ciclo de manchas de 11 años



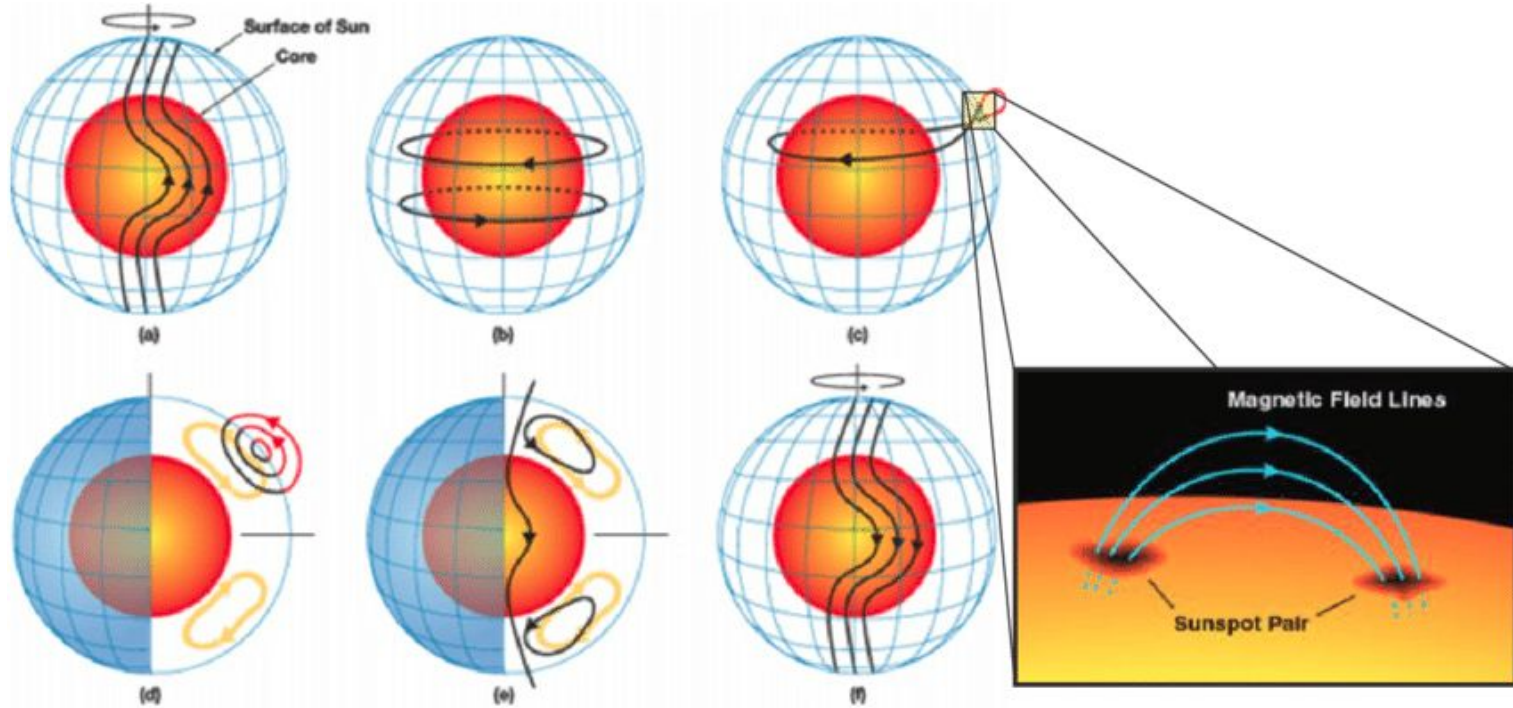
O que é uma
mancha solar?



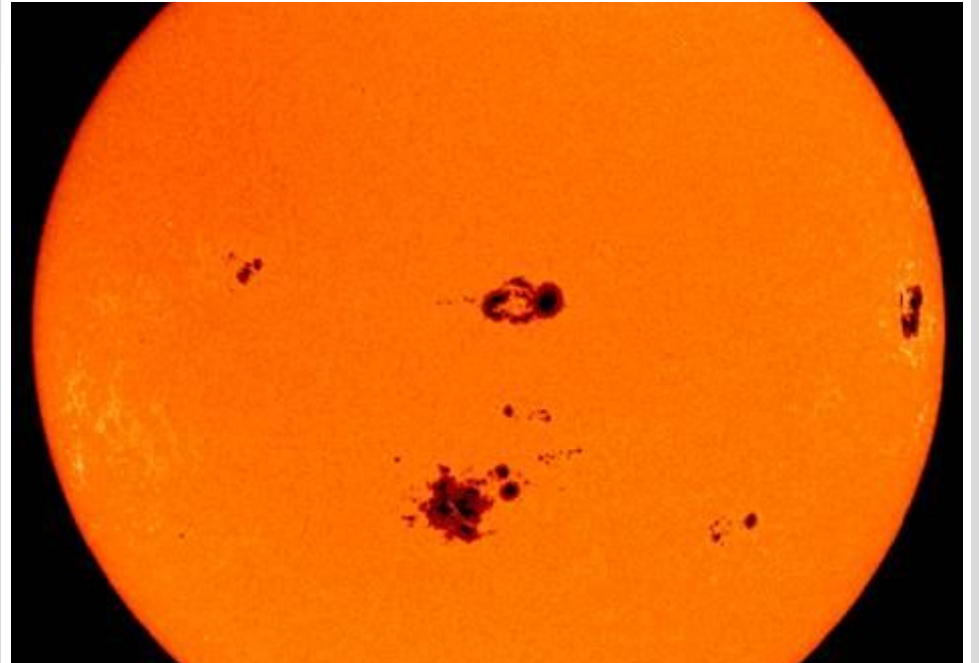


O que é uma mancha solar?

Dínamo Solar



Ciclos Solares



Sunspots daily and 13 months smoothed data

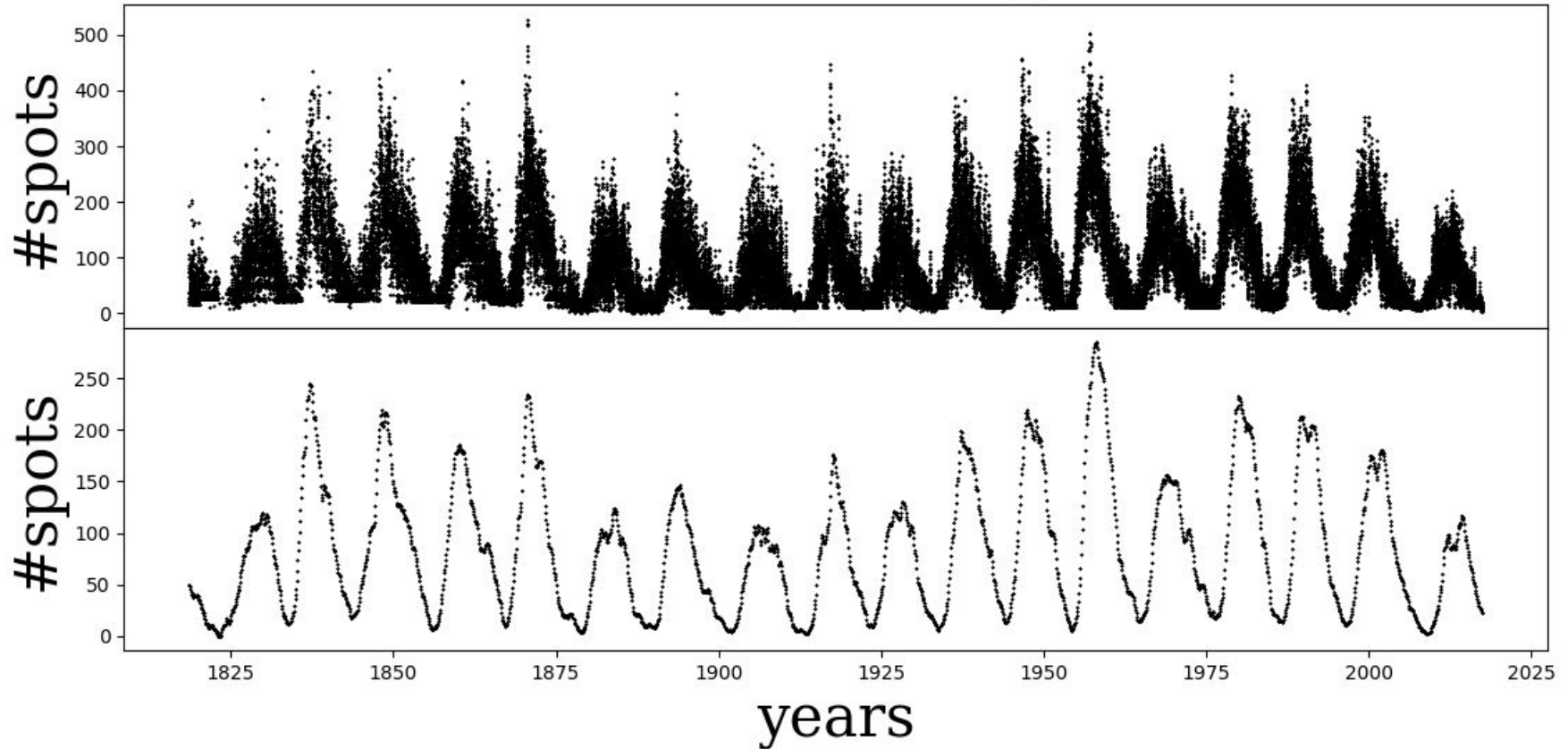
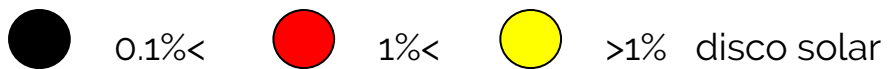
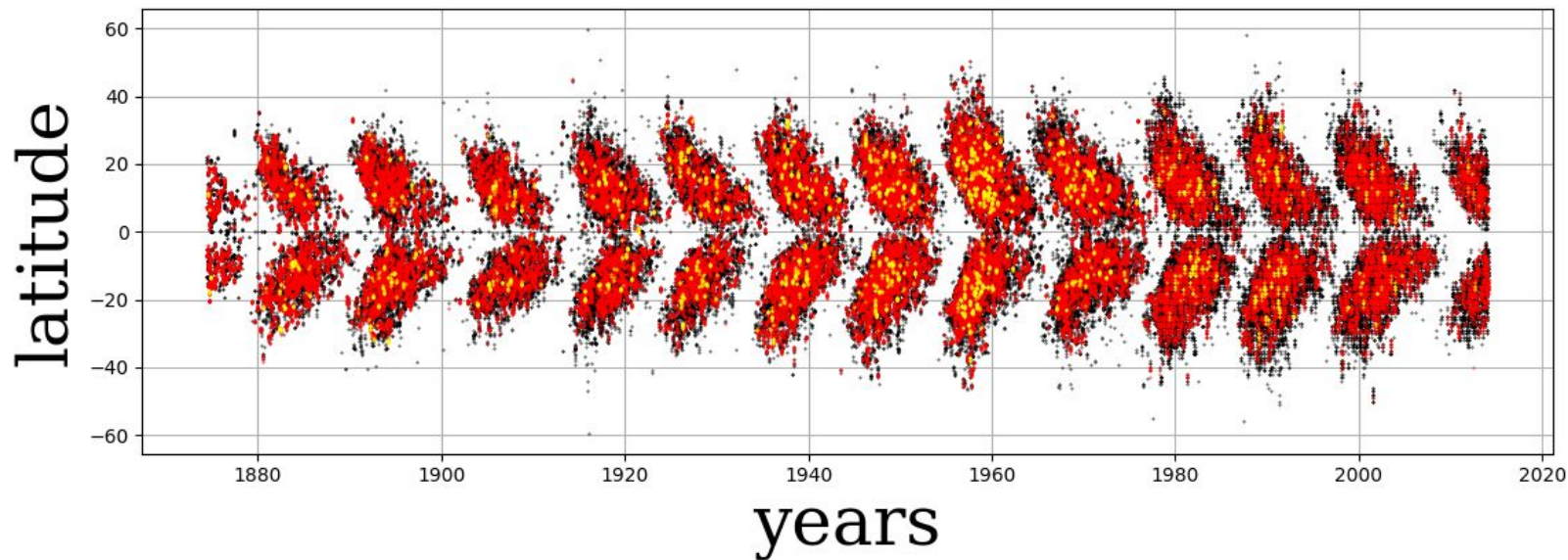
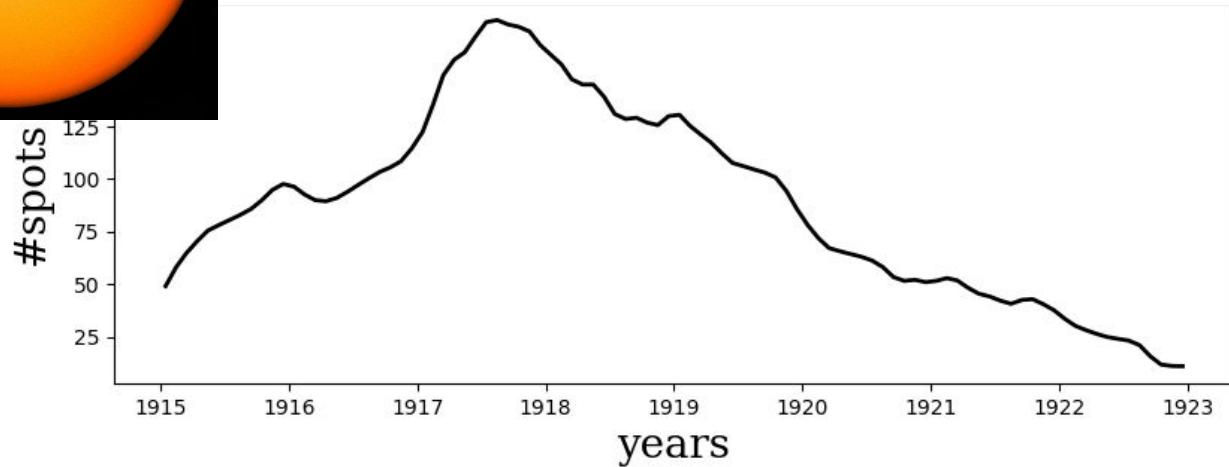
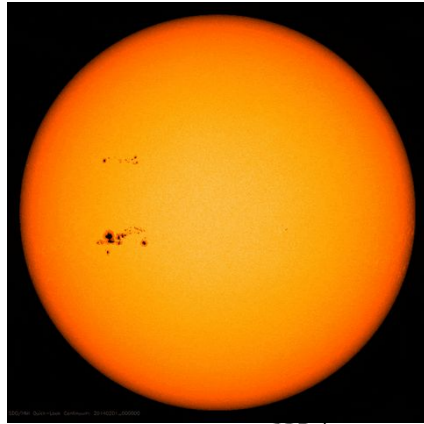


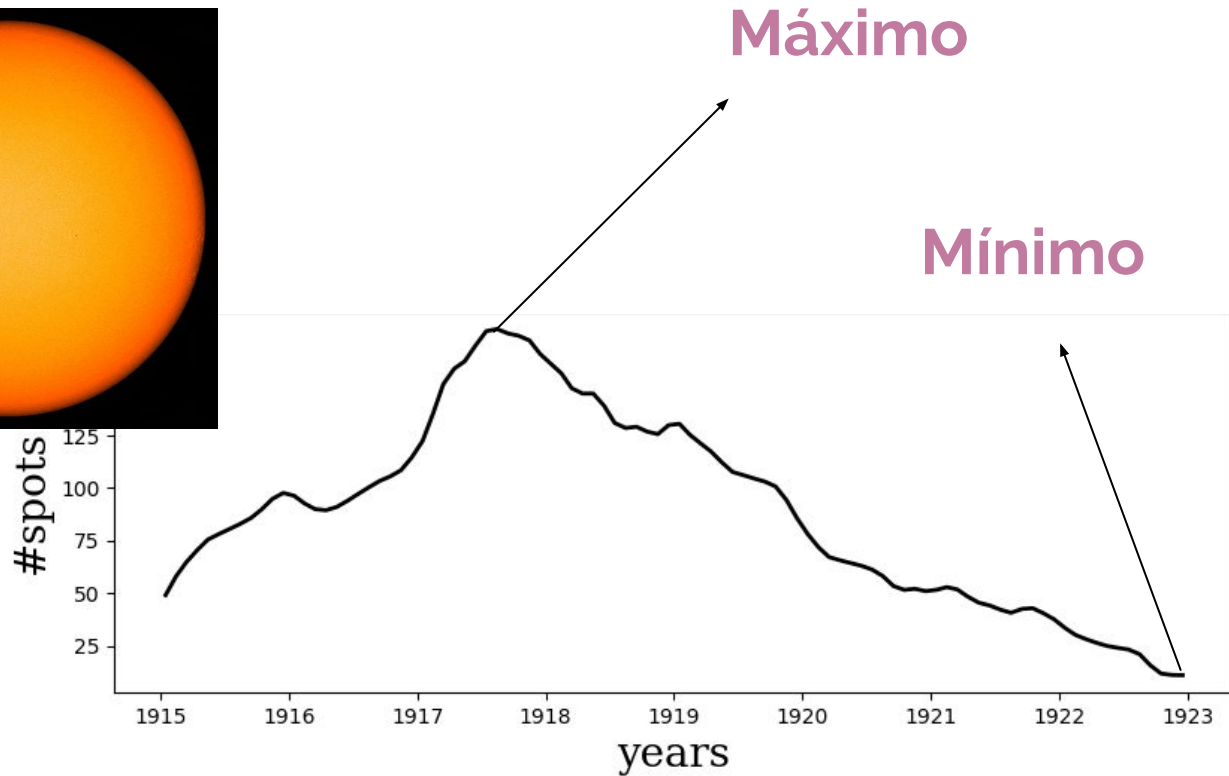
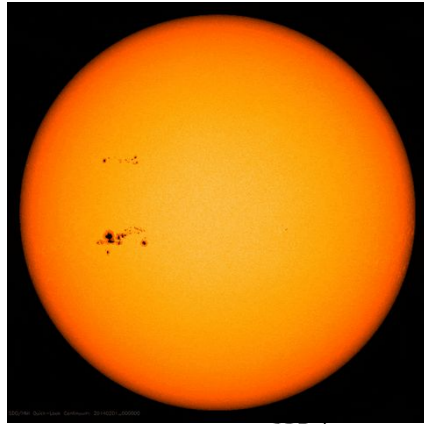
Diagrama da Borboleta



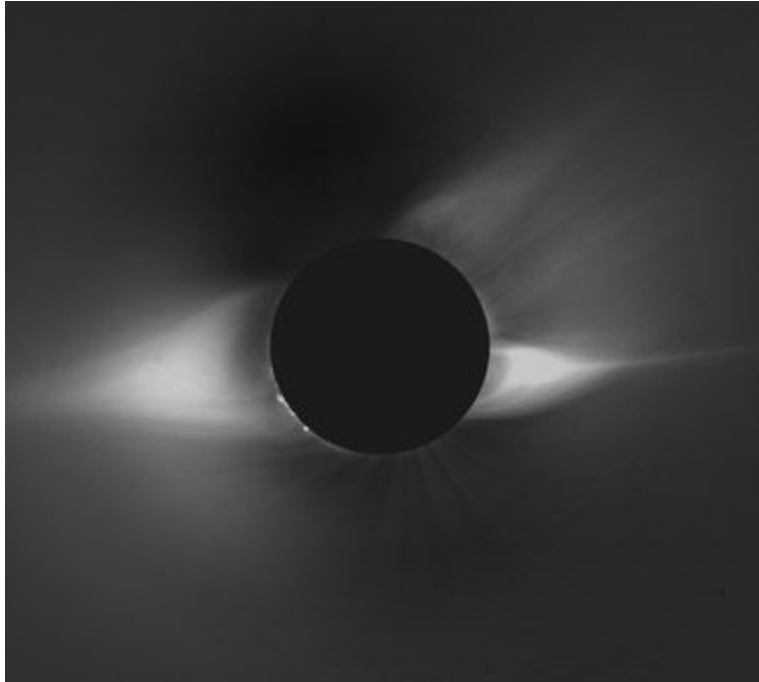
Ciclo de manchas de 11 anos



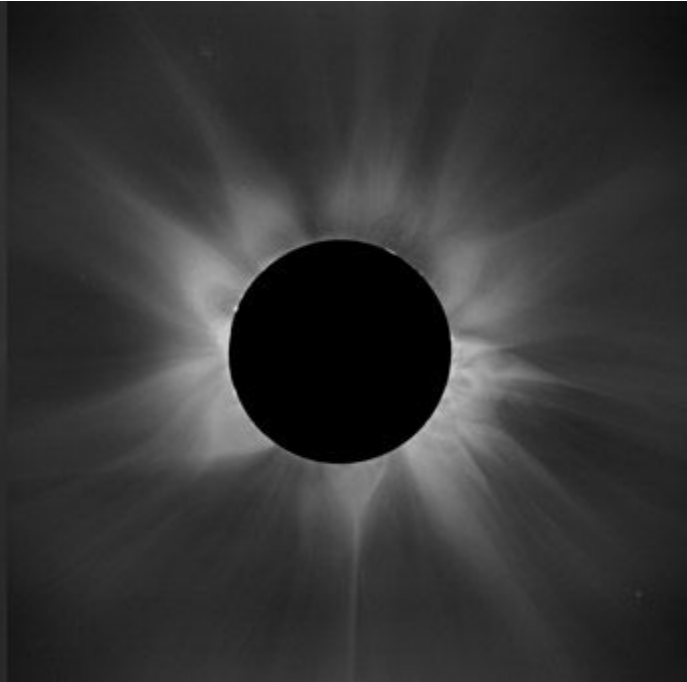
Ciclo de manchas de 11 años




Mínimo (1980)



Máximo (1994)



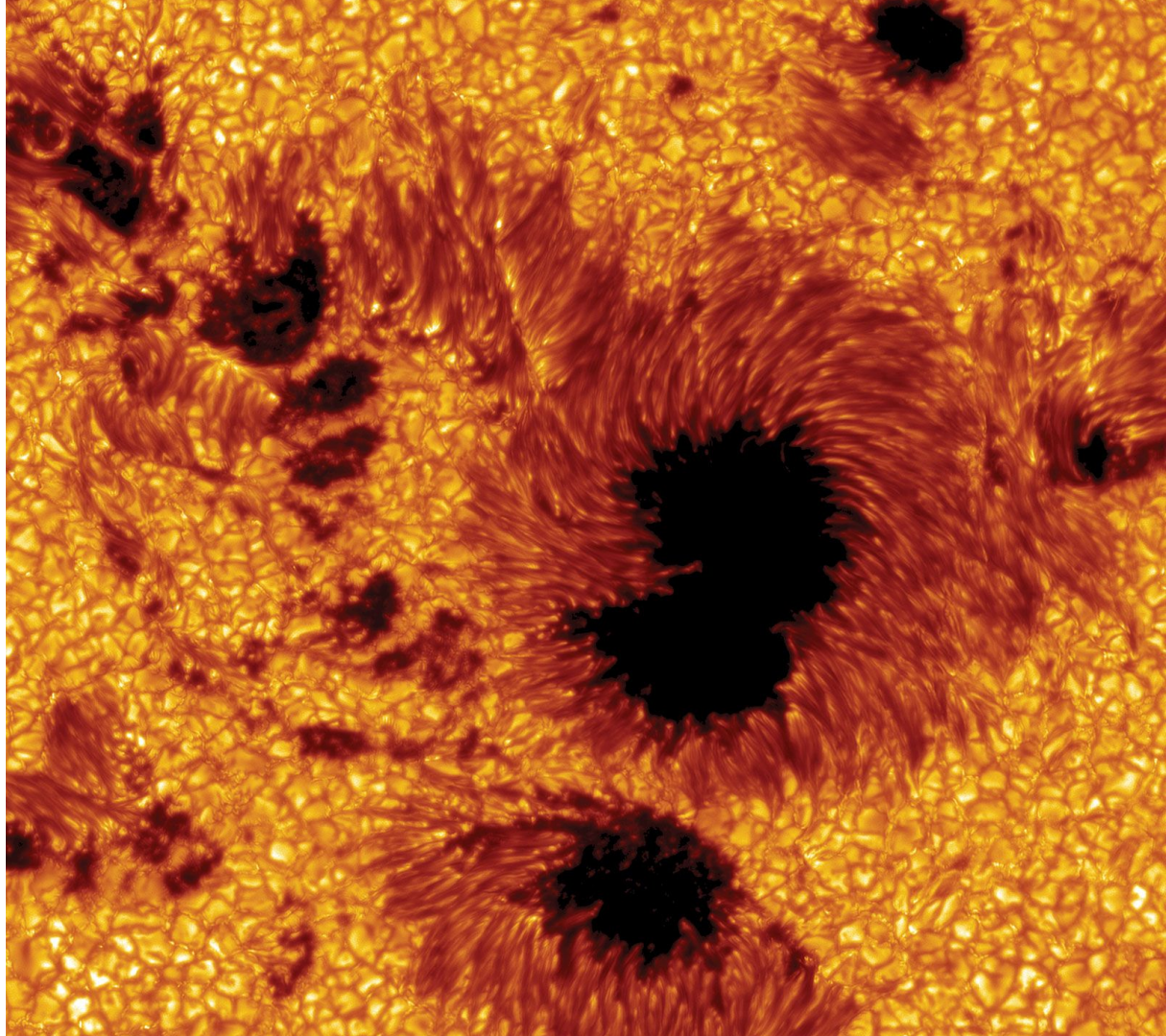


**Os registros dos
máximos também se
mostram em anéis de
árvores!**

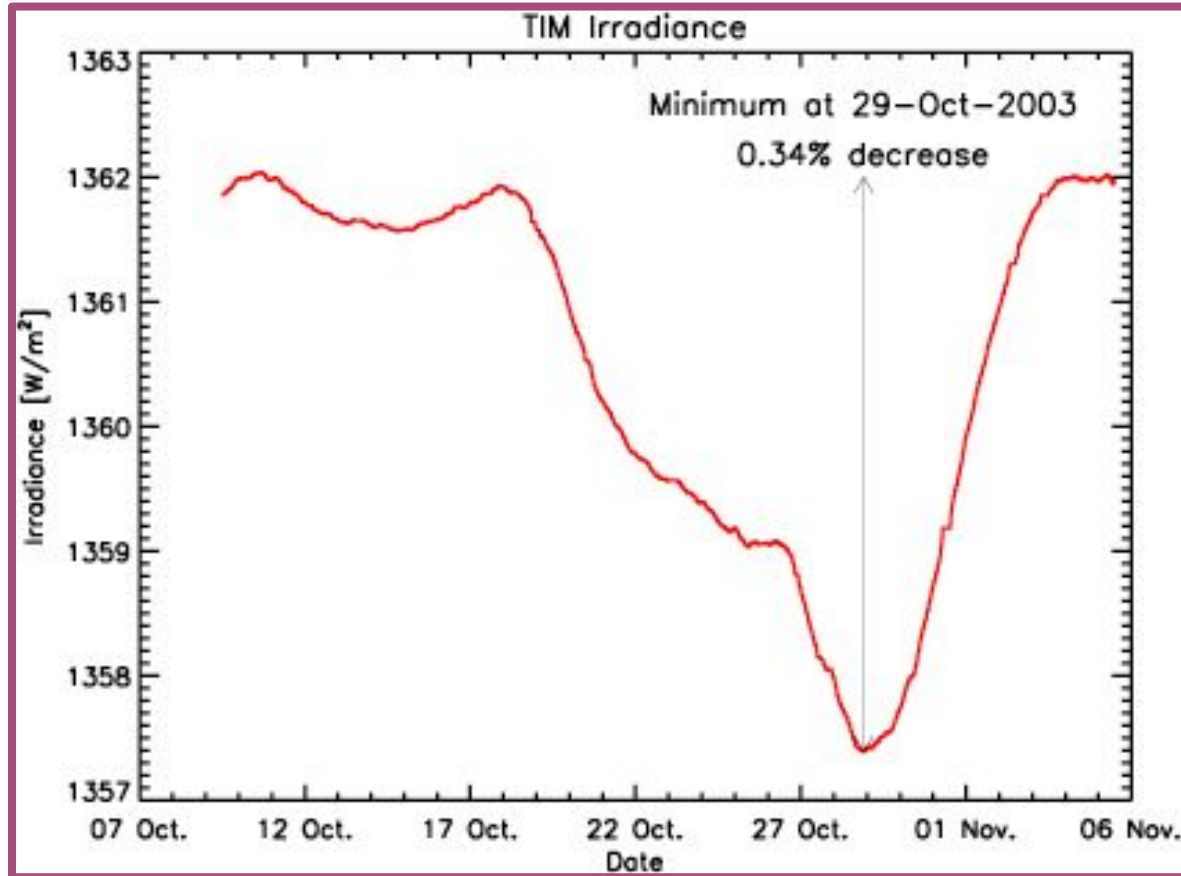


**Auroras acontecem,
também, com maior
frequência durante
máximos.**

TSI durante passagem de grandes manchas solares



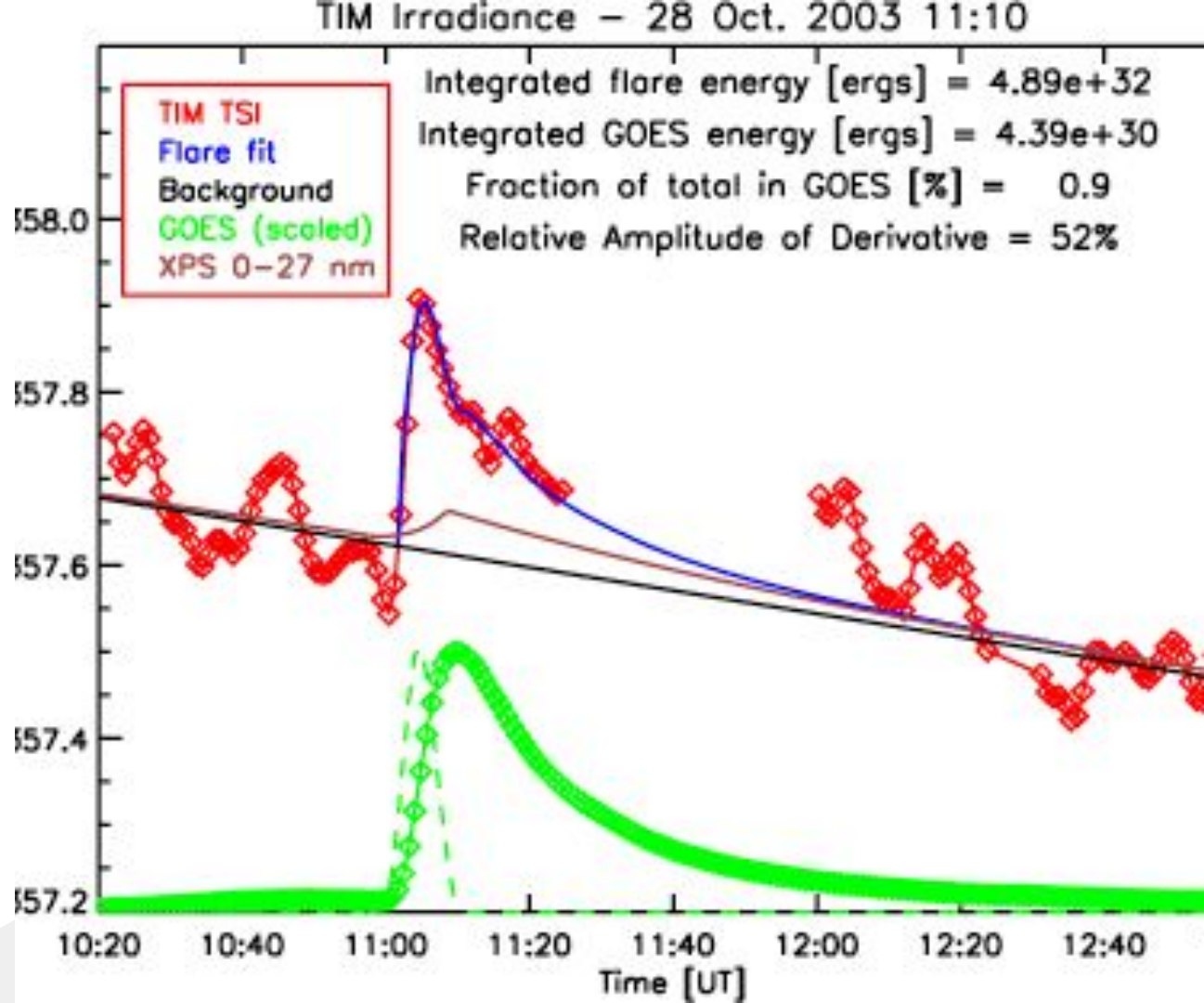
Diminuição do TSI devido a mancha





**TSI
durante
flares**

Súbito aumento do TSI após flare





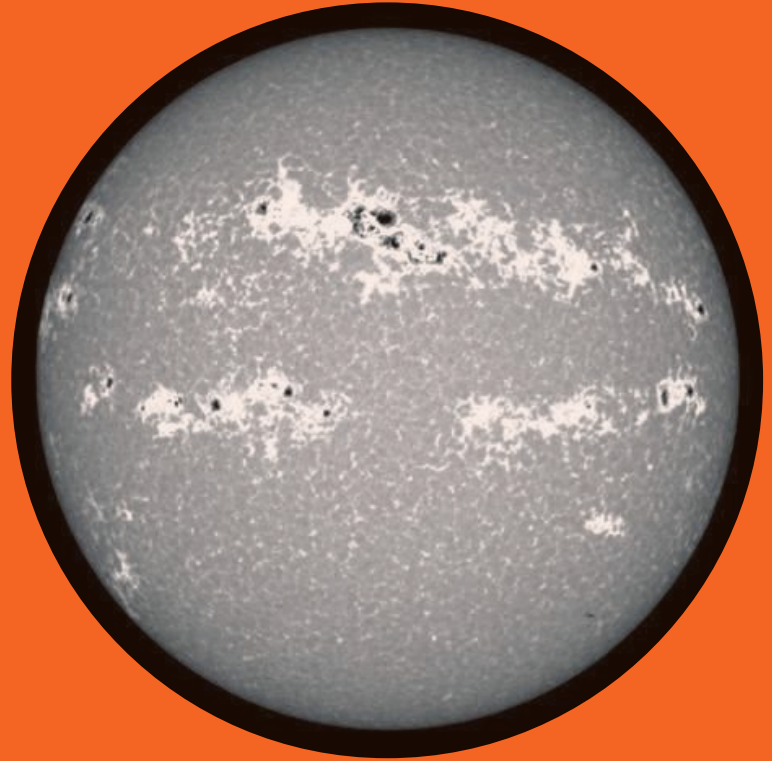
**Aumento de manchas solares significa
diminuição da energia recebida por m^2 ?**



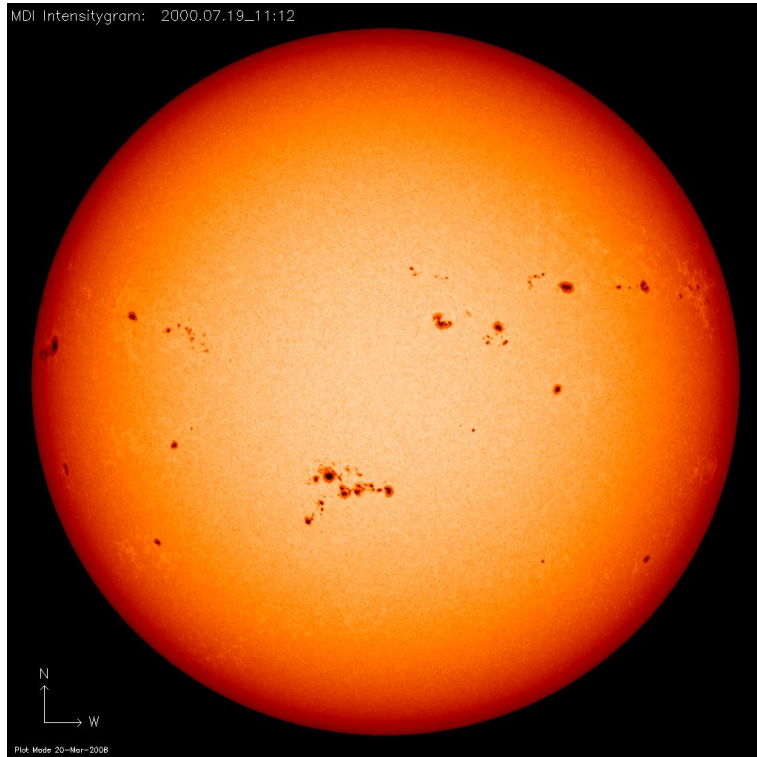
**Aumento de manchas solares significa
diminuição da energia recebida por m^2 ?**

Não necessariamente!

Fáculas

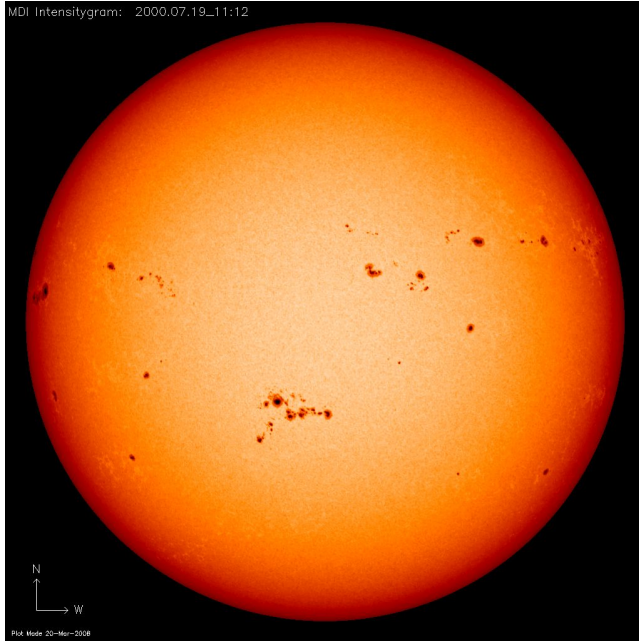


Fáculas



- Se destacam na região do Limbo
- Possuem pouco contraste com o disco na faixa da luz branca
- Se estendem até a cromosfera onde são chamadas de plages ou fáculas cromosféricas

Fáculas

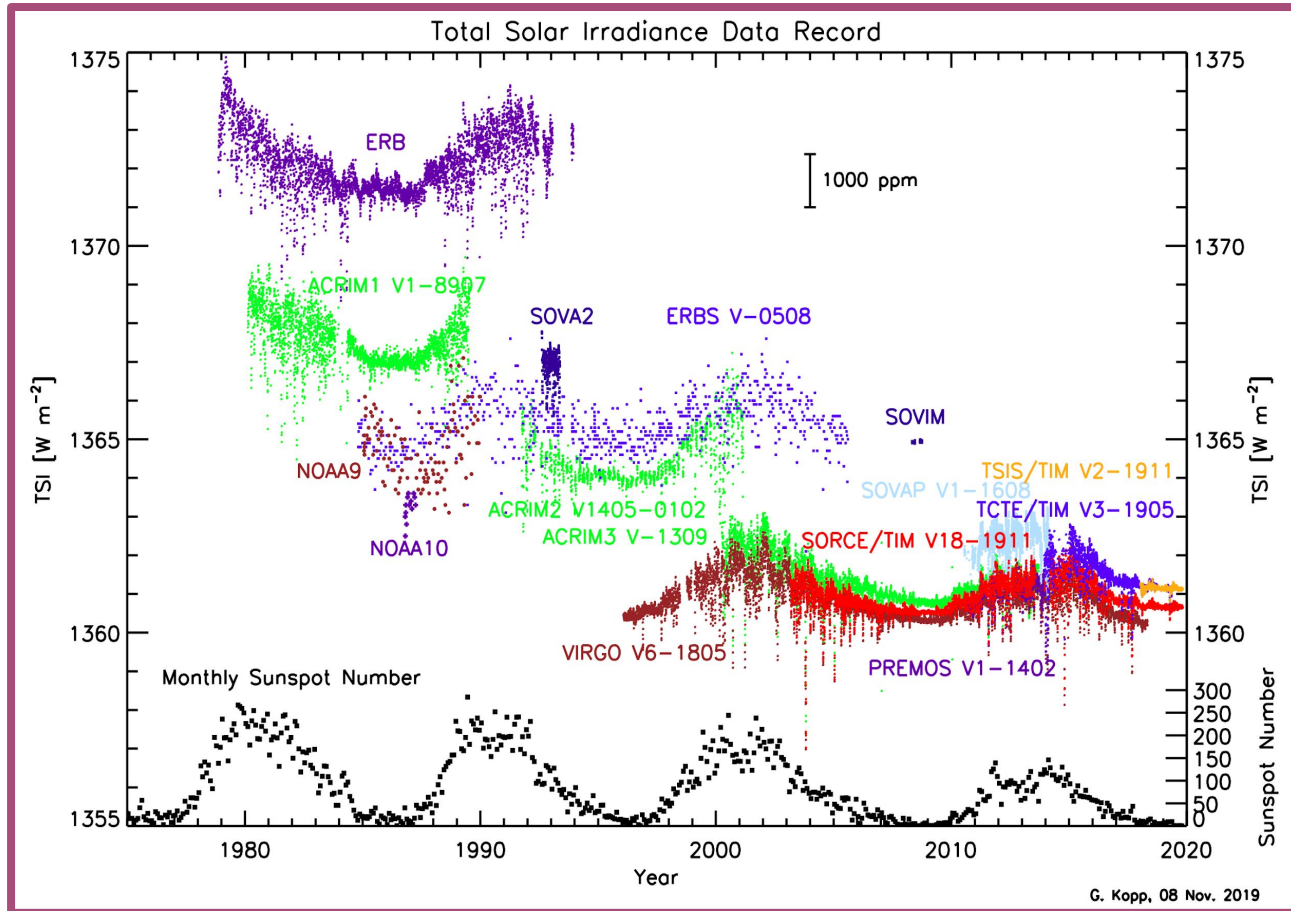


Assim como as manchas, também acompanham o Ciclo de 11 anos!

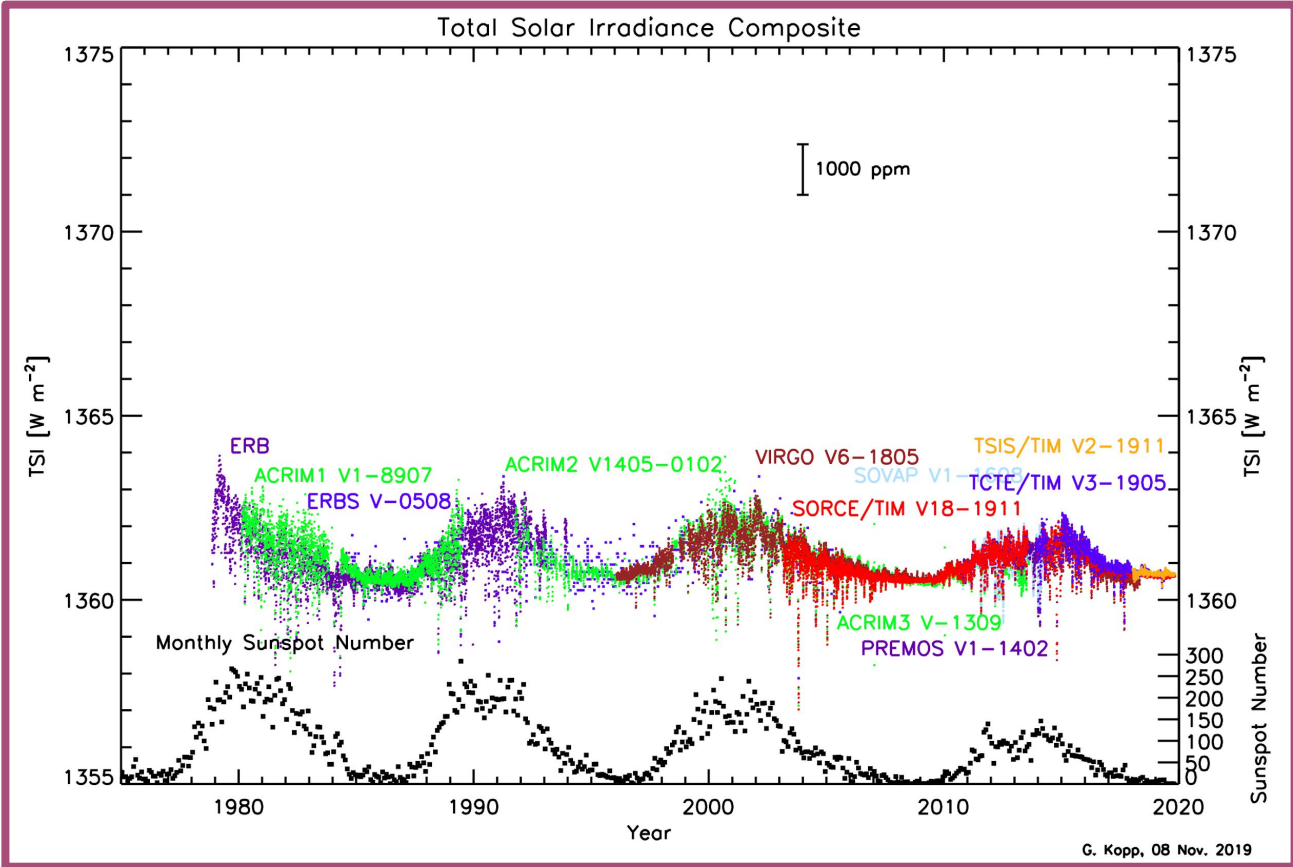
Total Solar Irradiance (TSI)

Disco Solar + Fácúlas - Manchas Solares

TSI



TSI rescaled

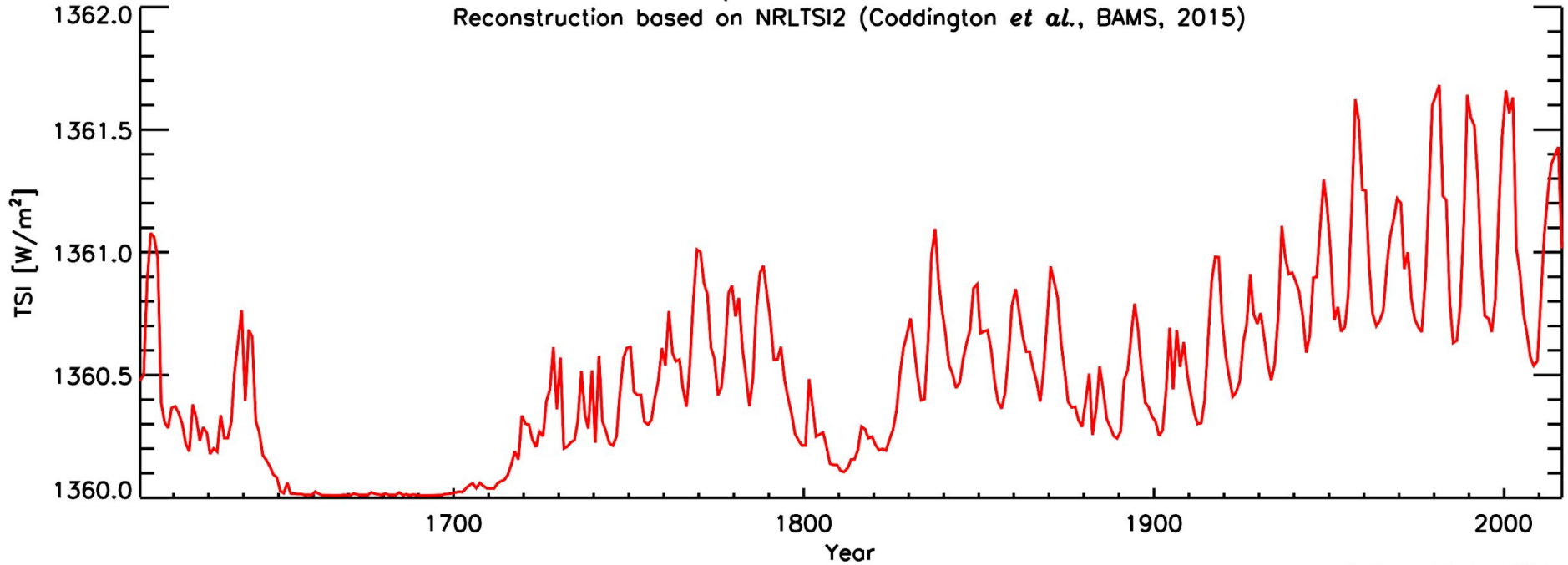




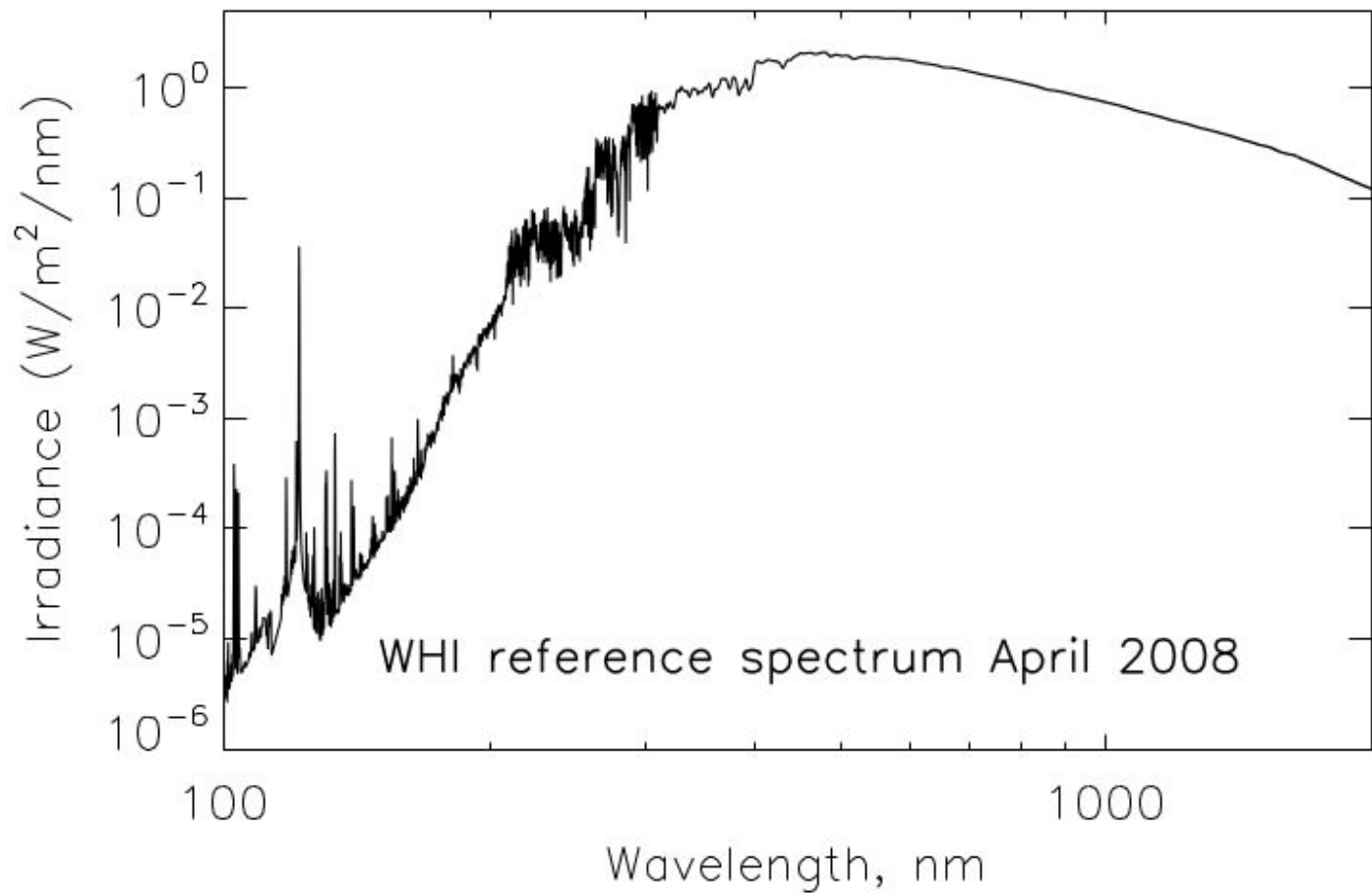
TSI e a Pequena Era do Gelo

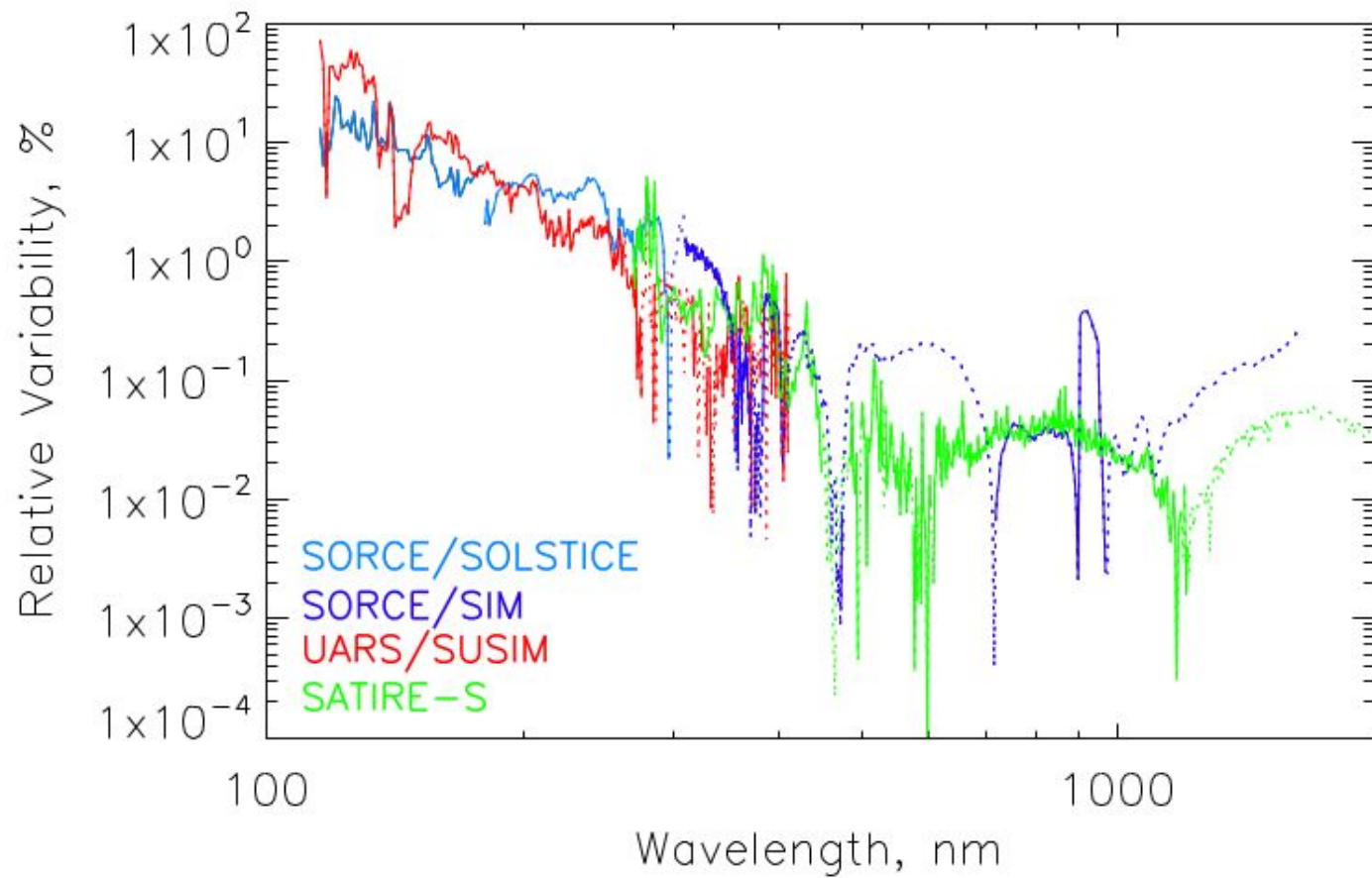
Mínimo de Maunder

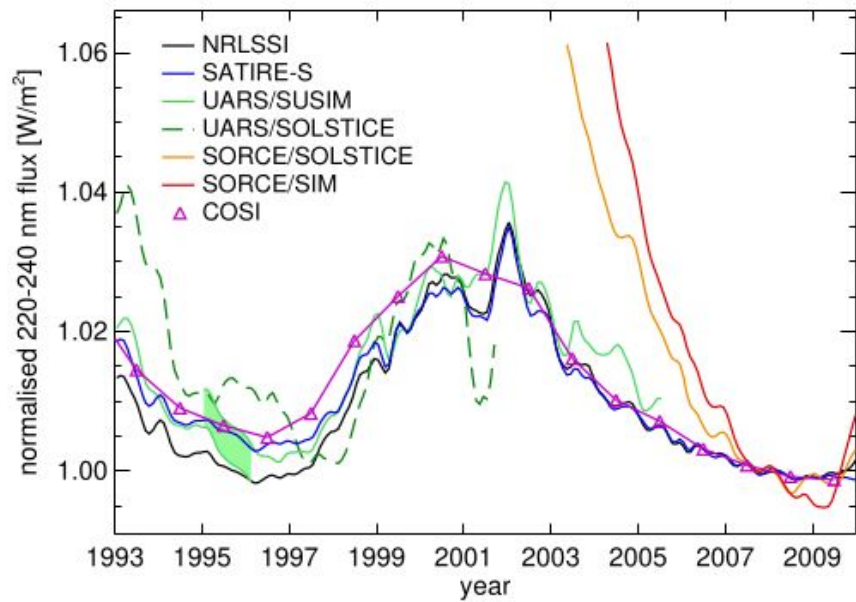
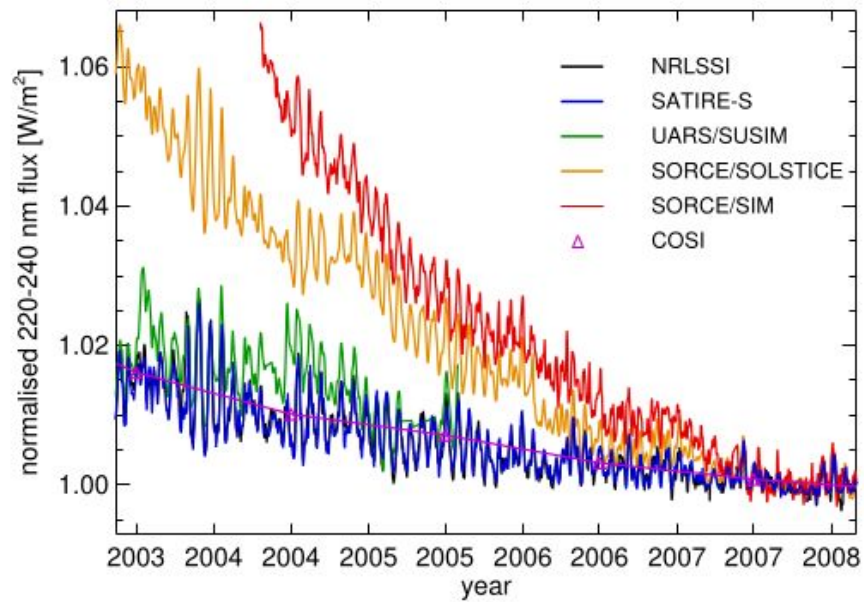
SORCE/TIM TSI Reconstruction
Reconstruction based on NRLTSI2 (Coddington *et al.*, BAMS, 2015)



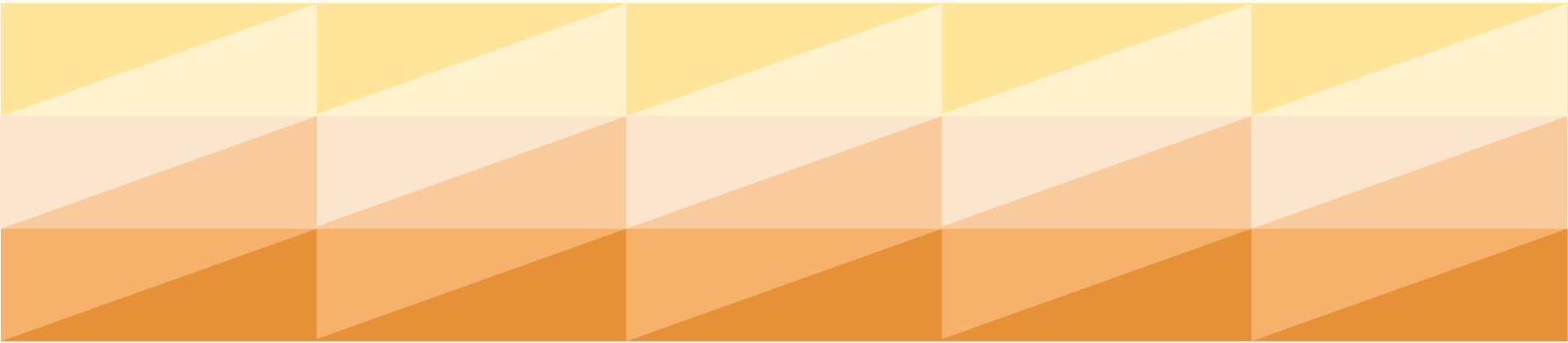
Medidas do SSI (Spectral Solar Irradiance)



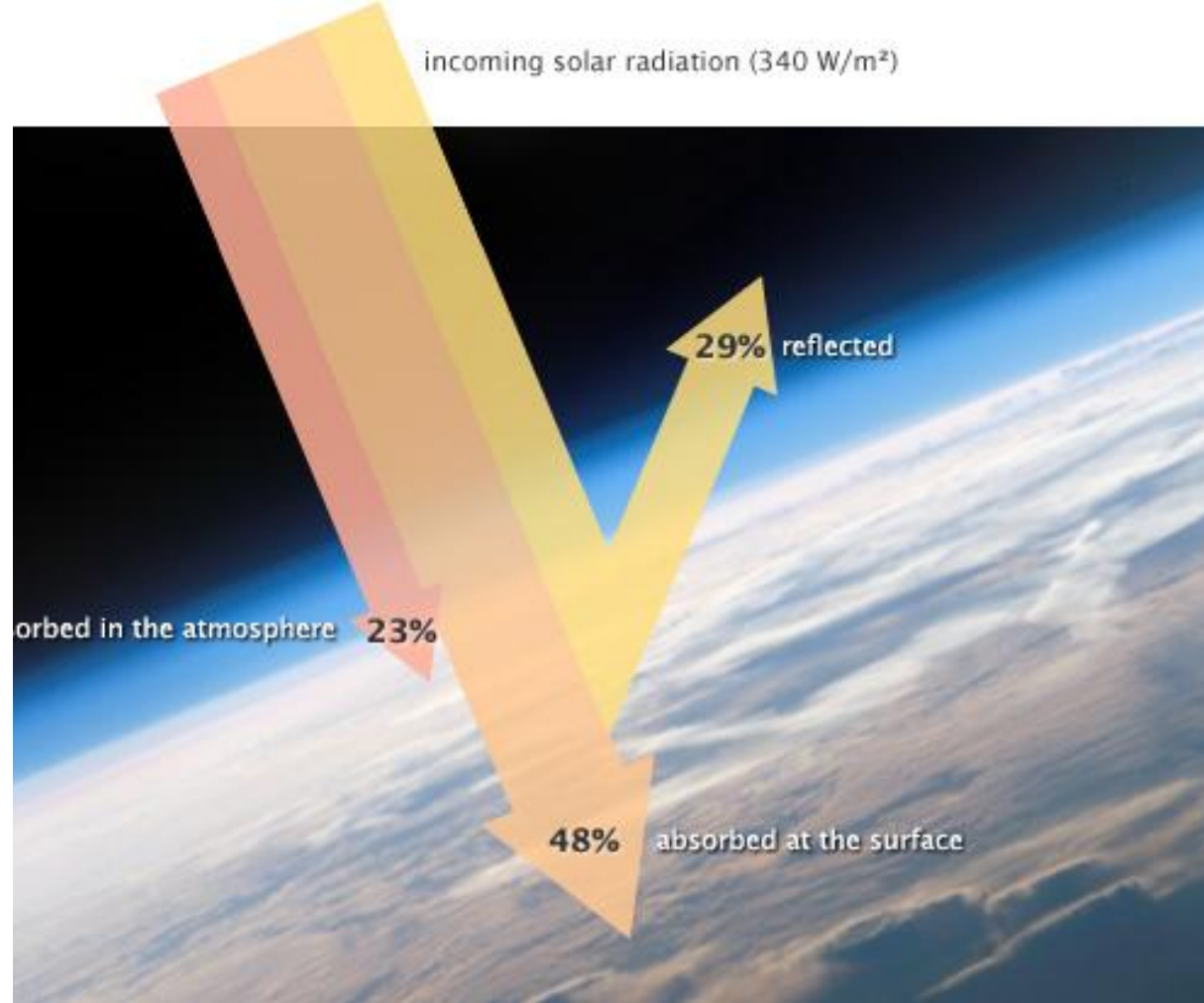




Variação do TSI e a forçante radiativa



Forçante Radiativa



A constante de proporcionalidade, λ , tem suas melhores medidas em torno de $0.6\text{KW}^{-1}\text{m}^2$.
Ou seja, a resposta de uma RF de 1Wm^2 será 0.6K .

A constante de proporcionalidade, λ , tem suas melhores medidas em torno de $0.6\text{KW}^{-1}\text{m}^2$.
Ou seja, a resposta de uma RF de 1Wm^2 será 0.6K .

Sol incide em uma projeção
de πR^2

A constante de proporcionalidade, λ , tem suas melhores medidas em torno de $0.6\text{KW}^{-1}\text{m}^2$.
Ou seja, a resposta de uma RF de 1Wm^2 será 0.6K .

Sol incide em uma projeção
de πR^2

Mas isso é dividido entre
 $4\pi R^2$ da Terra, e 30% da
irradiância é refletida

Então, um aumento de 1Wm^2
iria implicar um aumento da FR
de $0.7/4 = 0.175\text{Wm}^2$.
Ou seja, com $\lambda = 0.6$, um
aumento de 0.1K na
temperatura média global.



Obrigado!



Referências

- SOLANKI, Sami K.; KRIVOVA, Natalie A.; HAIGH, Joanna D. “Solar irradiance variability and climate”. **Annual Review of Astronomy and Astrophysics**, v. 51, p. 311-351, 2013.
- C.-J. Wu; N. A. Krivova; S. K. Solanki; I. G. Usoskin. “Solar total and spectral irradiance reconstruction over the last 9000 years”. **A&A**, 620 (2018) A120
- Kopp, G., Krivova, N., Wu, C.J. et al. “The Impact of the Revised Sunspot Record on Solar Irradiance Reconstructions”. **Sol Phys** (2016) 291: 2951. <https://doi.org/10.1007/s11207-016-0853-x>