



A Energia das Estrelas: Da matéria à luz

Realizado por: Cristina Viana Simon, Francisco Ferraz, João Lago, Martim Flores

O que é uma Estrela?

- É uma esfera que emite luz própria;
- É composta por H e He no estado de plasma, a altas temperaturas e com elevada energia cinética;
- Existe um equilíbrio hidrostático entre as forças que atuam no seu interior;

Fases de Evolução Estelar

A massa inicial das estrelas é o fator que define as fases de evolução que a estrela atravessa.

As estrelas são formadas nas nebulosas estelares, onde acontece um colapso gravitacional. Nesta fase, o núcleo das estrelas contrai-se até criar as condições necessárias para produzir energia.

Após a sequência principal, a estrela contrai o seu núcleo e queima alguns elementos 'mais pesados', expulsando as camadas exteriores, e restando assim só o núcleo - anã branca.

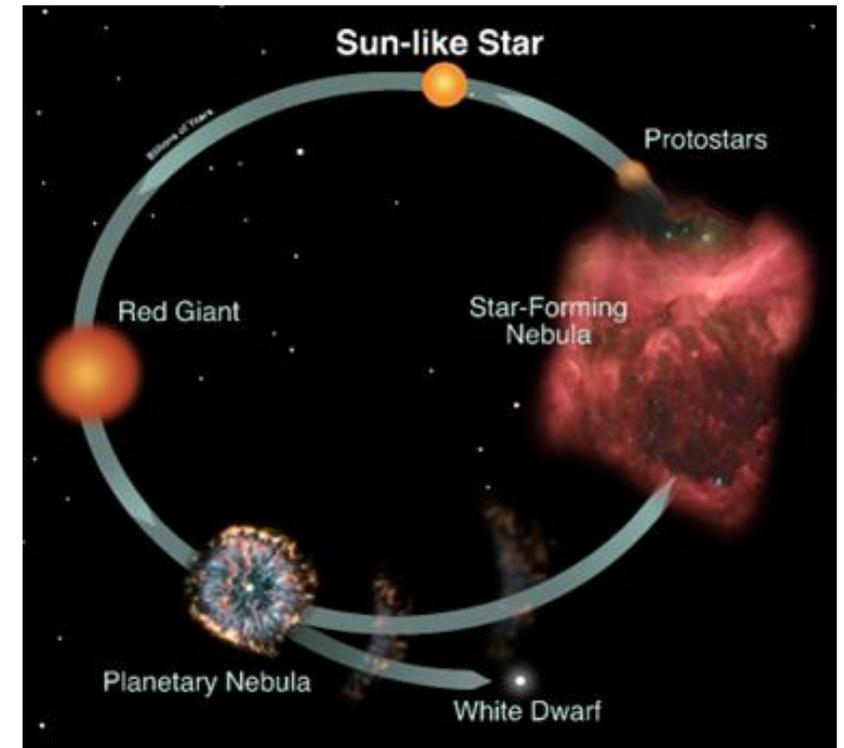


Diagrama HR do Sol

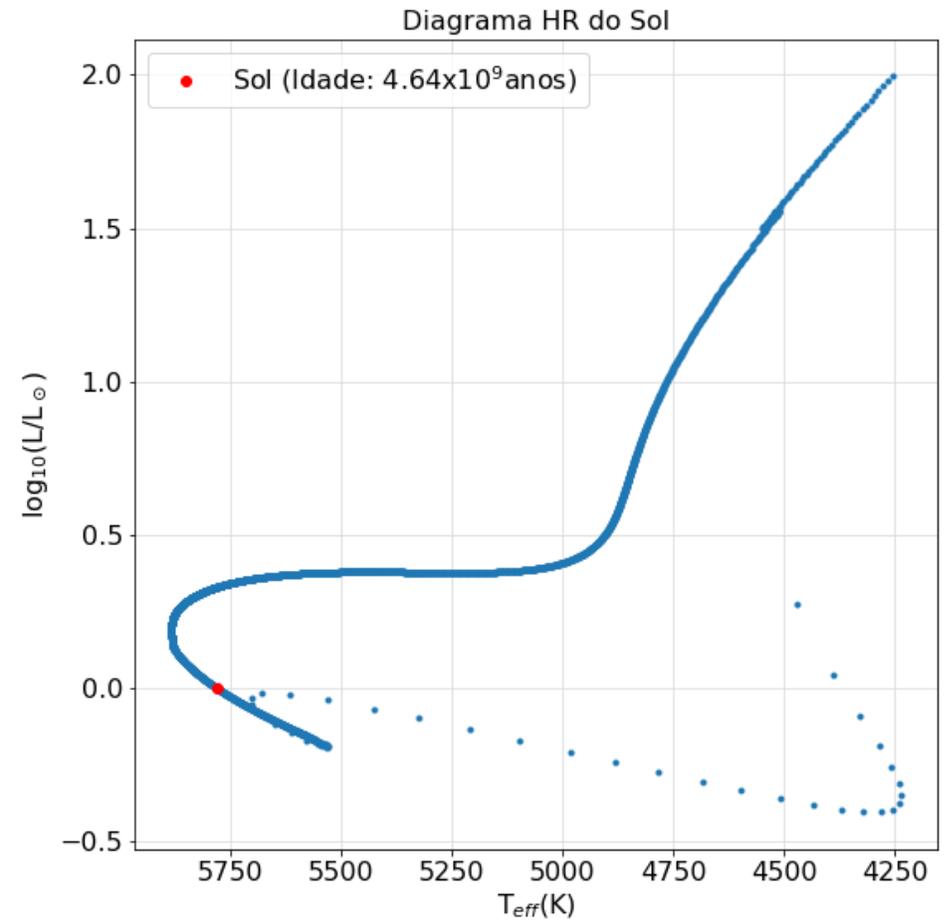
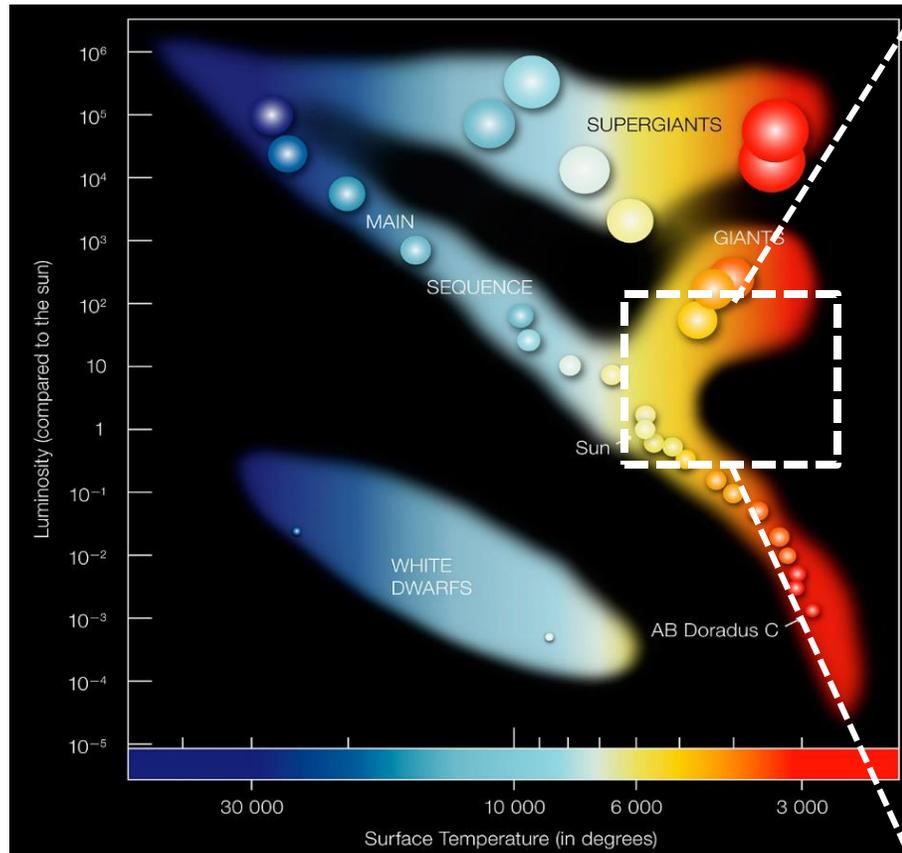


Diagrama HR do Sol

PMS

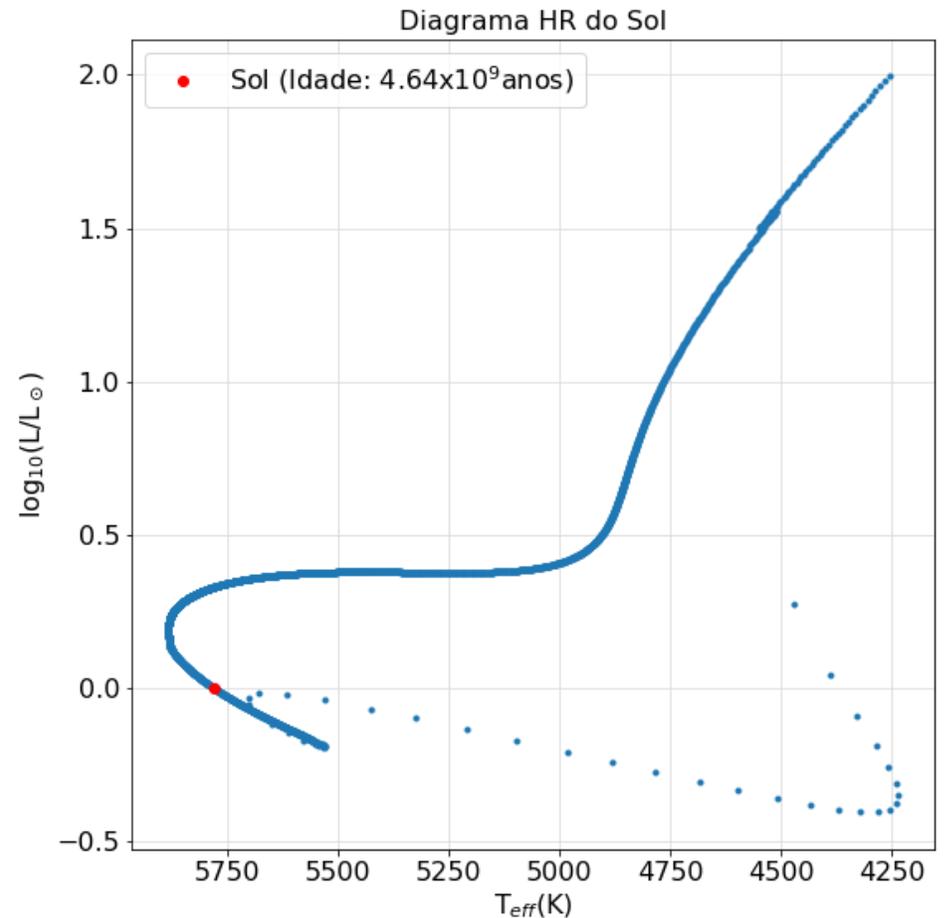
Nascimento da estrela

MS

Onde permanece a maior parte da sua vida ($\sim 10^{10}$ anos)

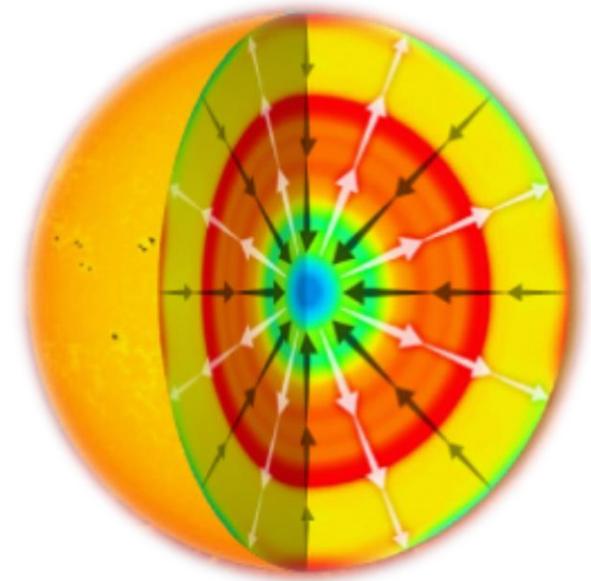
PoMS

Fases de fim de vida



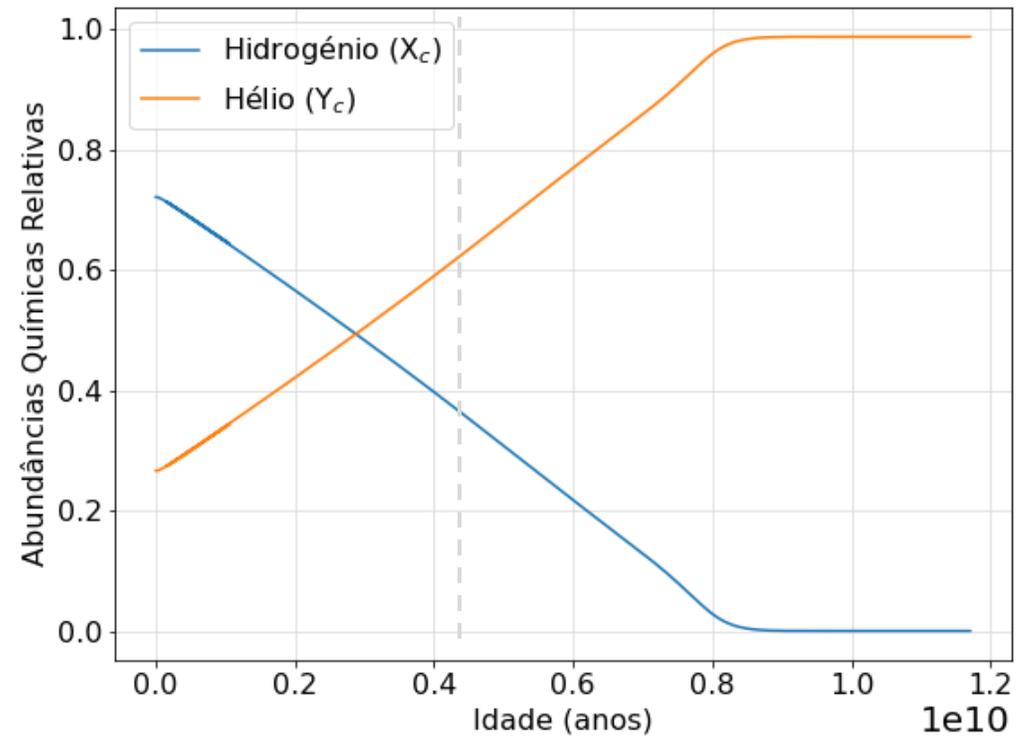
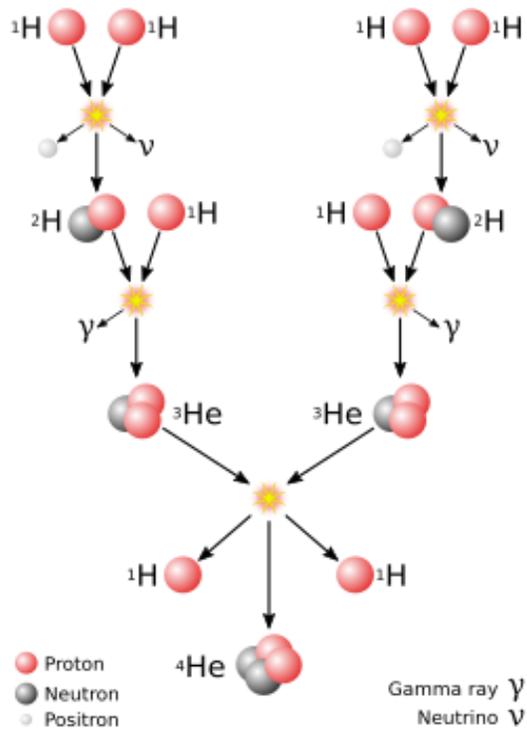
Necessidade de Produzir Energia

- Manter o equilíbrio hidrostático;
- Forças internas se contrapõem, $F_r = 0$;
- Força Gravitacional tende a colapsar a estrela;
- Força de Pressão de Radiação a contrapõe;
- Núcleo estelar – produção de energia pela fusão nuclear;
- Fótons vão do núcleo para o envelope estelar e o exterior.



Como Produz Energia?

O Sol produz energia através do processo de fusão nuclear.



O Modelo Politrópico

Equação da massa:

$$\frac{dm}{dr} = 4\pi r^2 \rho(r)$$

Equilíbrio hidrostático:

$$\frac{dP}{dr} = -\frac{Gm(r)\rho(r)}{r^2}$$

Solução politrópica:

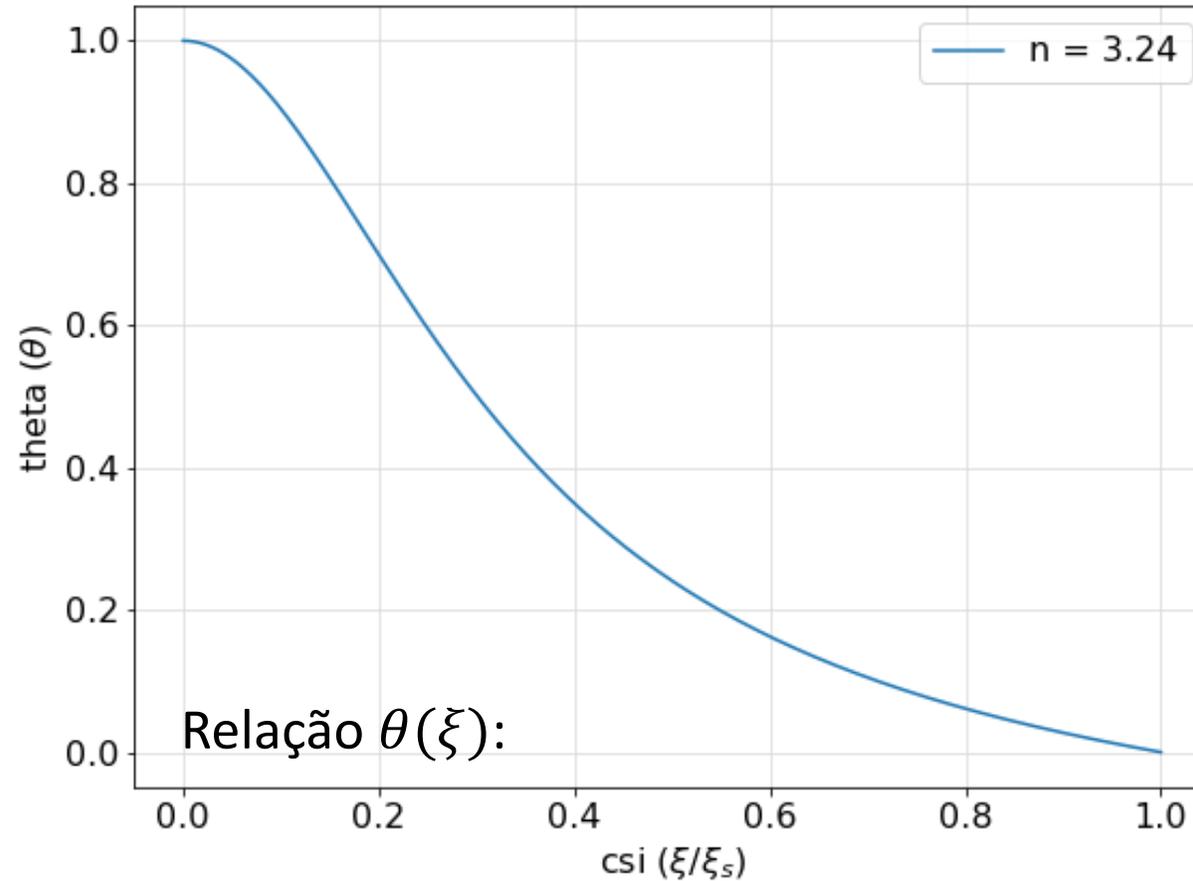
$$P = K\rho^{1+1/n}$$

Equação de Lane-Emden, cuja solução descreve um modelo politrópico de índice n :

$$\frac{1}{\xi^2} \frac{d}{d\xi} \left(\frac{1}{\xi^2} \frac{d\theta}{d\xi} \right) + \theta^n = 0$$

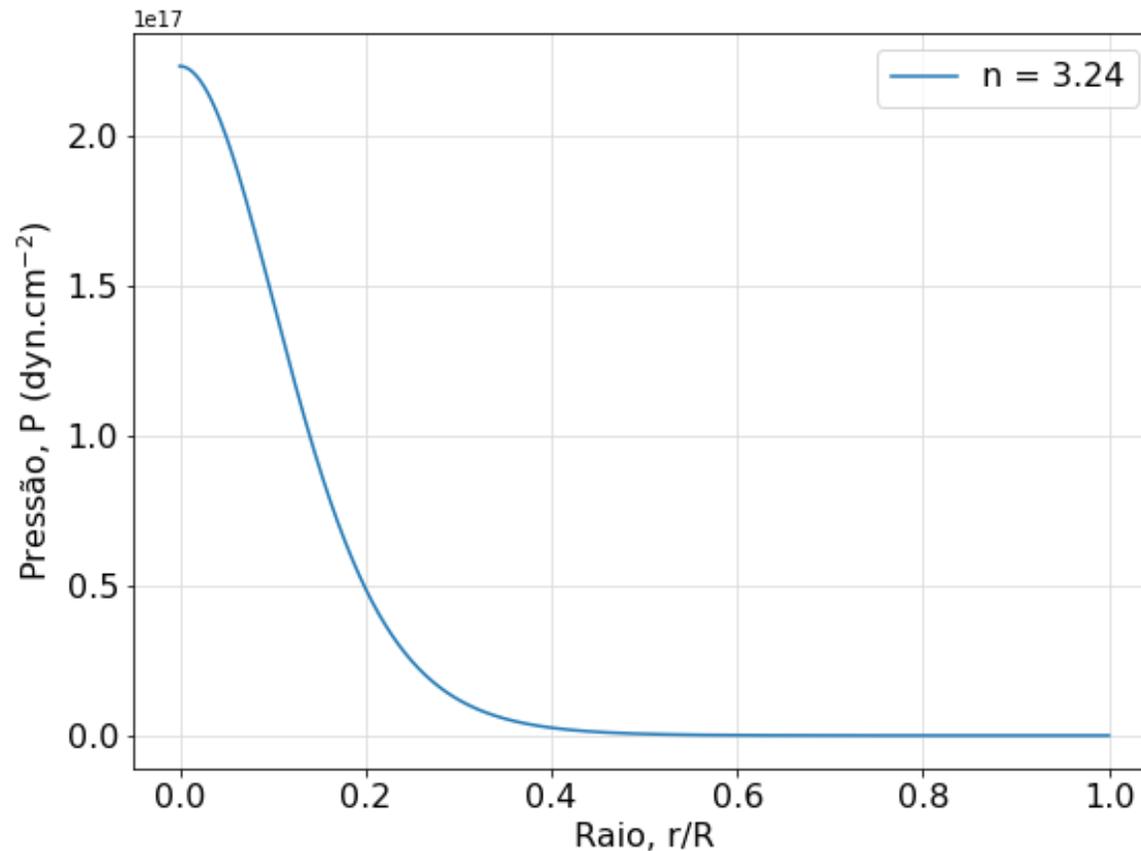
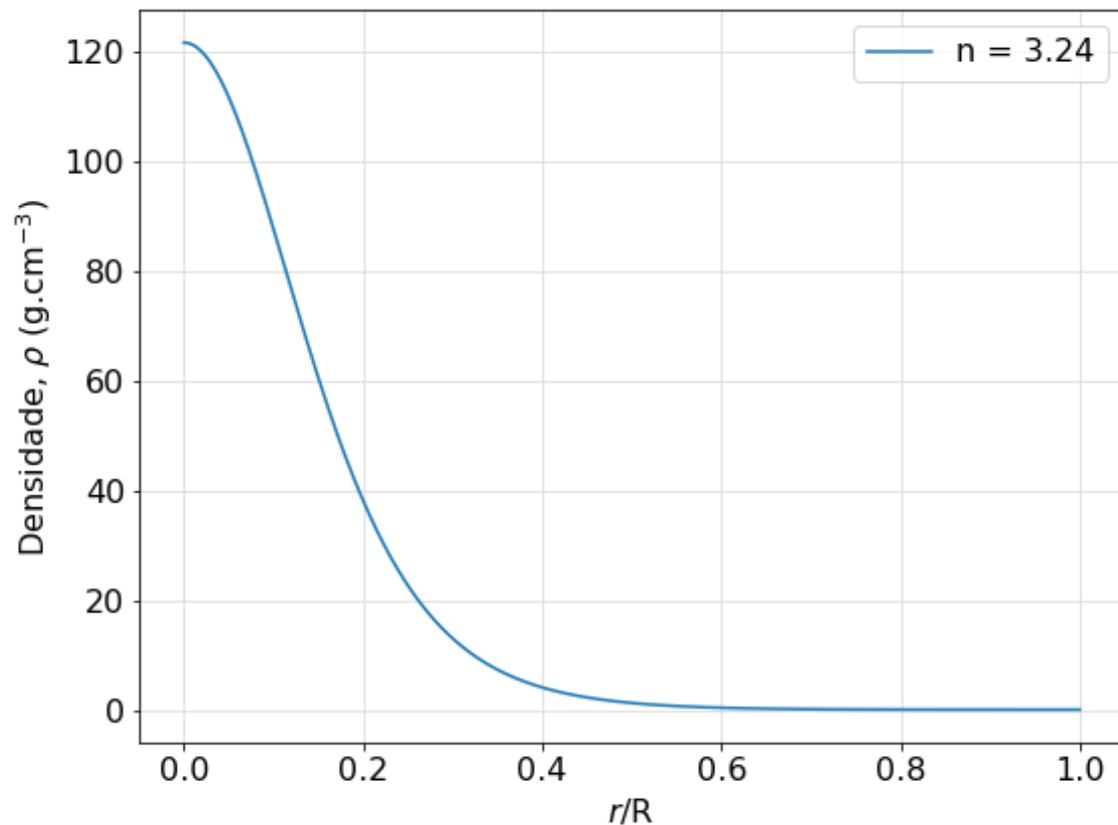
$n=3.24$ representa o melhor modelo politrópico para uma estrela como o Sol.

O Modelo Politrópico

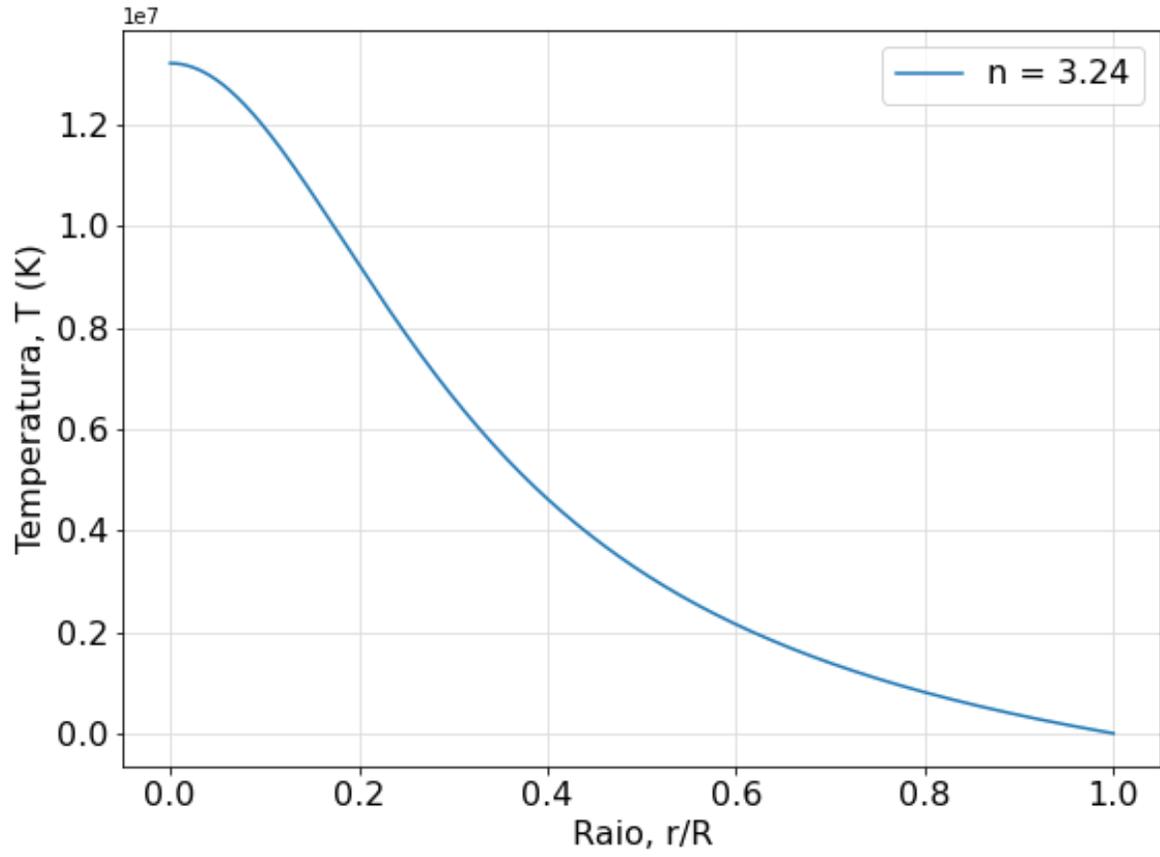


Raio: $r = R \frac{\xi}{\xi_s}$ Densidade: $\rho = \frac{3M}{4\pi R^3} \frac{\xi_s}{-3\theta'_s} \theta^n$

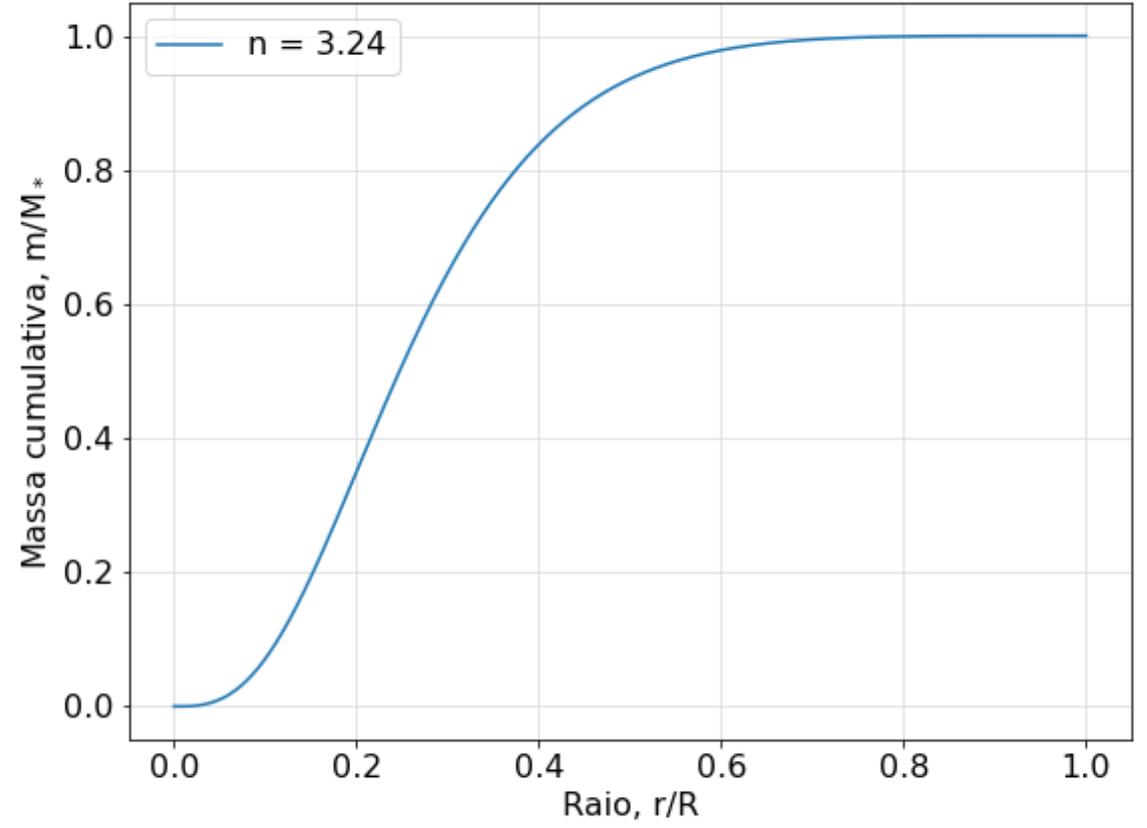
Pressão: $P = K\rho^{1+1/n}$



Temperatura: $T = T_c \theta$ onde $T_c = \frac{\mu P_c}{\mathcal{R} \rho_c}$

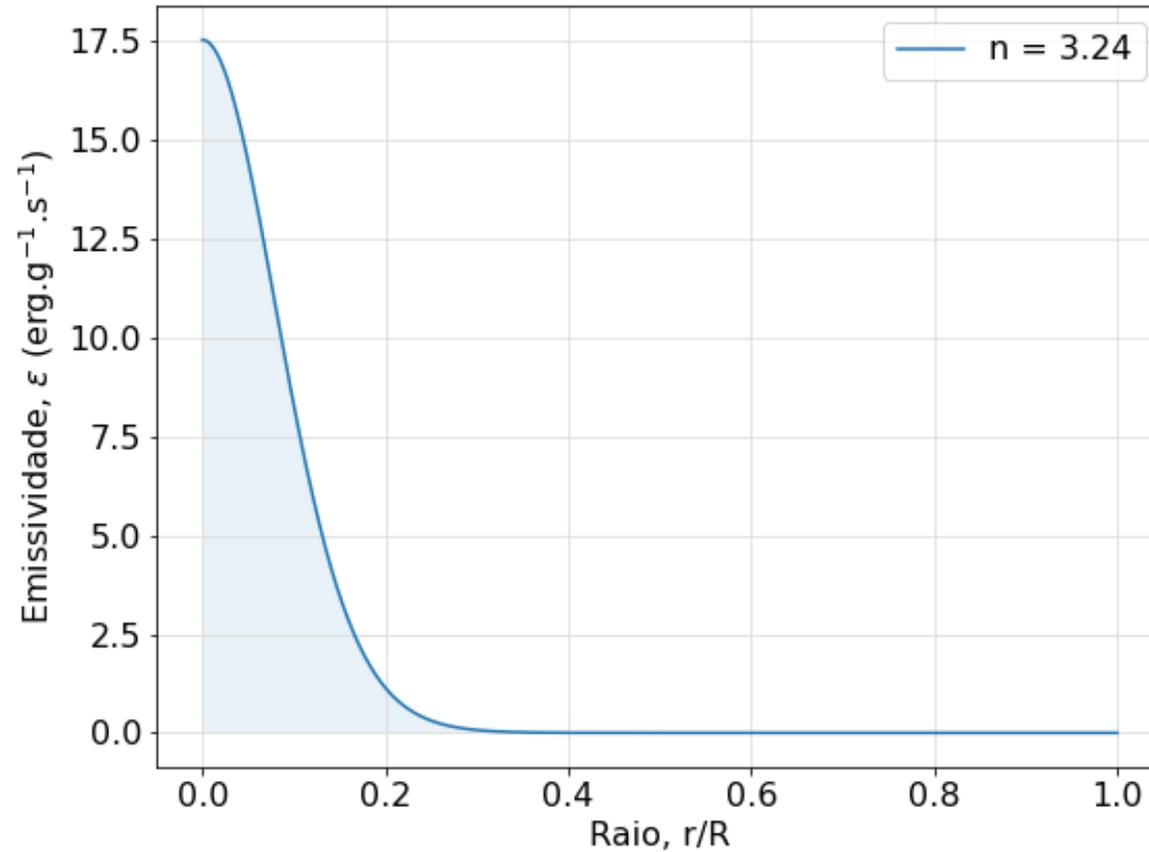


Massa cumulativa: $\frac{m}{M} = \left(\frac{\xi}{\xi_s}\right)^2 \frac{\theta'}{\theta'_s}$

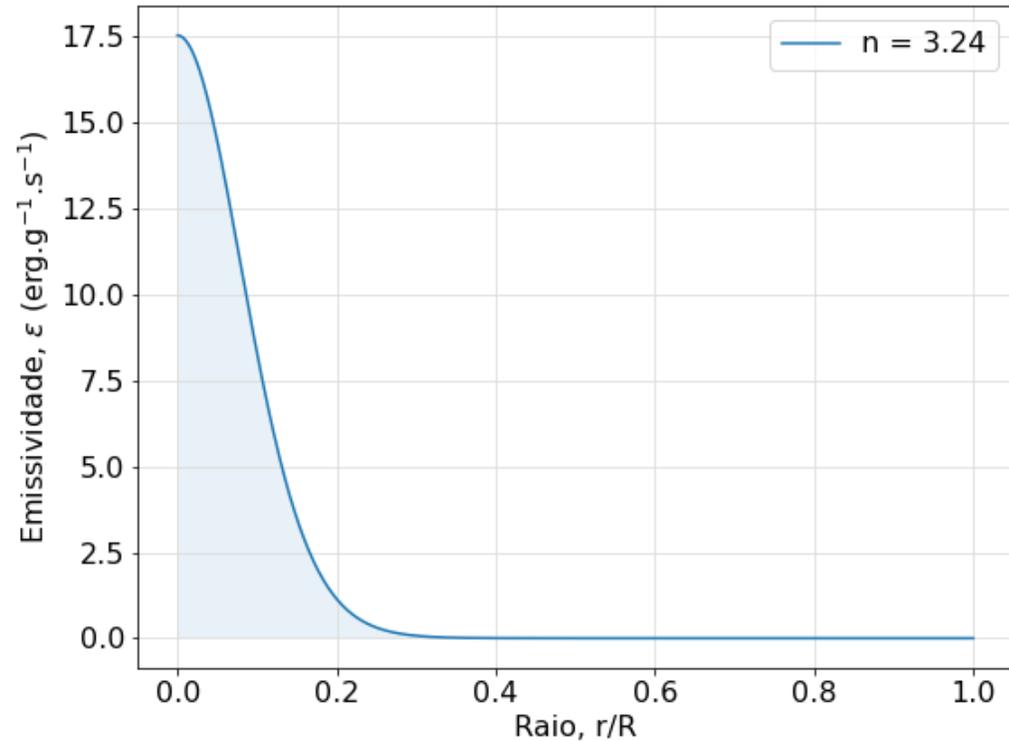


Emissividade: $\epsilon \simeq \epsilon_0 \rho T^4$

Luminosidade: $L_r(r) = \int_0^m \epsilon(r) \delta m = \int_0^r 4\pi r^2 \rho(r) \epsilon(r) dr$



Análise Gráfica



Parâmetros do Sol ($n = 3.24$)

Luminosidade, L_*	$1.01 L_{\odot}$
Raio do núcleo, $R_{\text{núcleo}}$	$0.36 R_{\odot}$
Massa do núcleo, $M_{\text{núcleo}}$	$0.78 M_{\odot}$

	Centro da estrela ($r = 0$)	Limite do núcleo ($r = R_{\text{núcleo}}$)
Densidade, ρ [g.cm^{-3}]	121.1	6.8
Pressão, P [dyn.cm^{-2}]	2.23×10^{17}	4.57×10^{15}
Temperatura, T [K]	1.32×10^7	5.28×10^6

Conclusões

- Estudámos uma previsão da evolução do Sol no Diagrama HR, encontrando o modelo que melhor o descreve hoje, e estimando a sua idade atual (~4.6 mil milhões de anos).
- Estudámos as reações de fusão que acontecem no núcleo, que produzem energia e permitem o equilíbrio hidrostático da estrela.
- Programámos o modelo politrópico que melhor descreve o interior do Sol, e estimámos como os parâmetros estelares variam no interior da estrela.