

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Física
Departamento de Astronomia

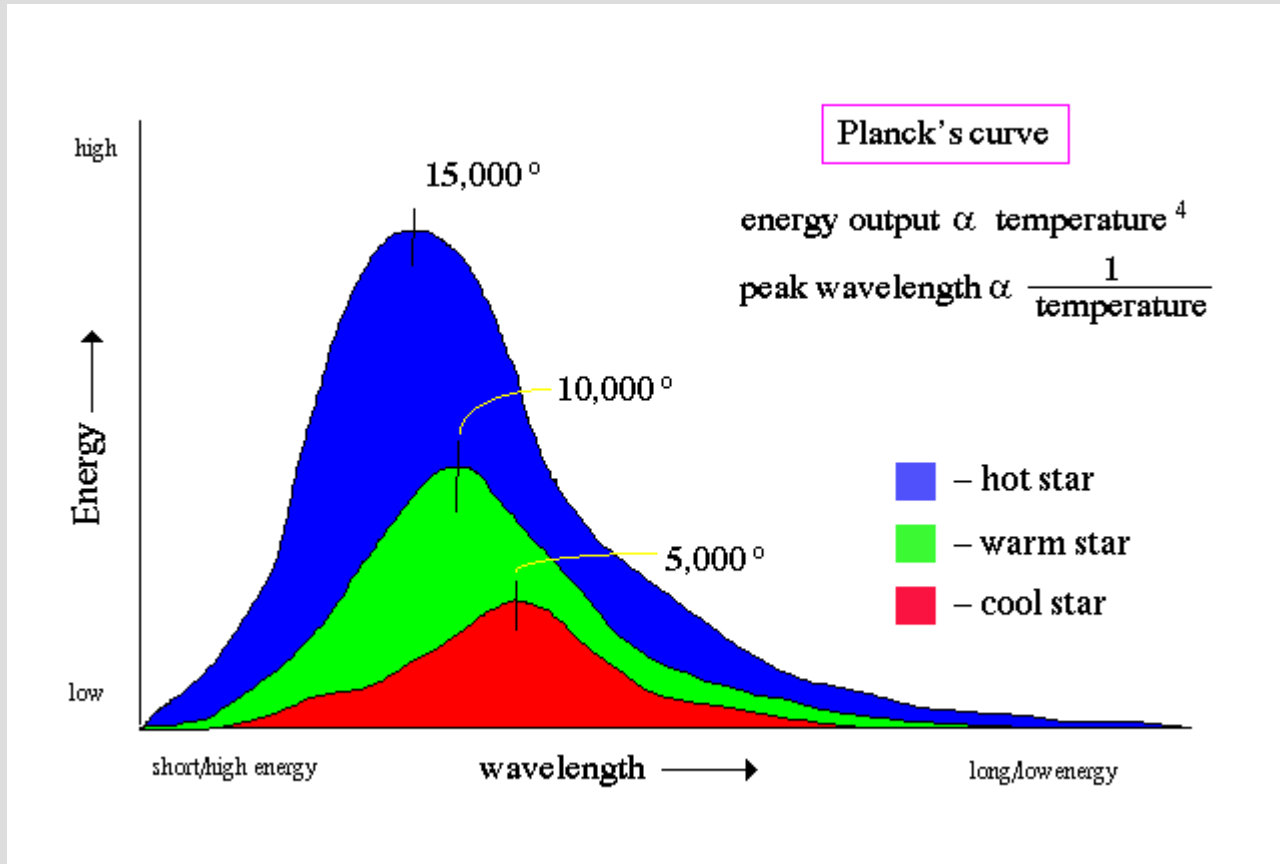
Estrelas

Prof. Tibério B. Vale

Propriedades

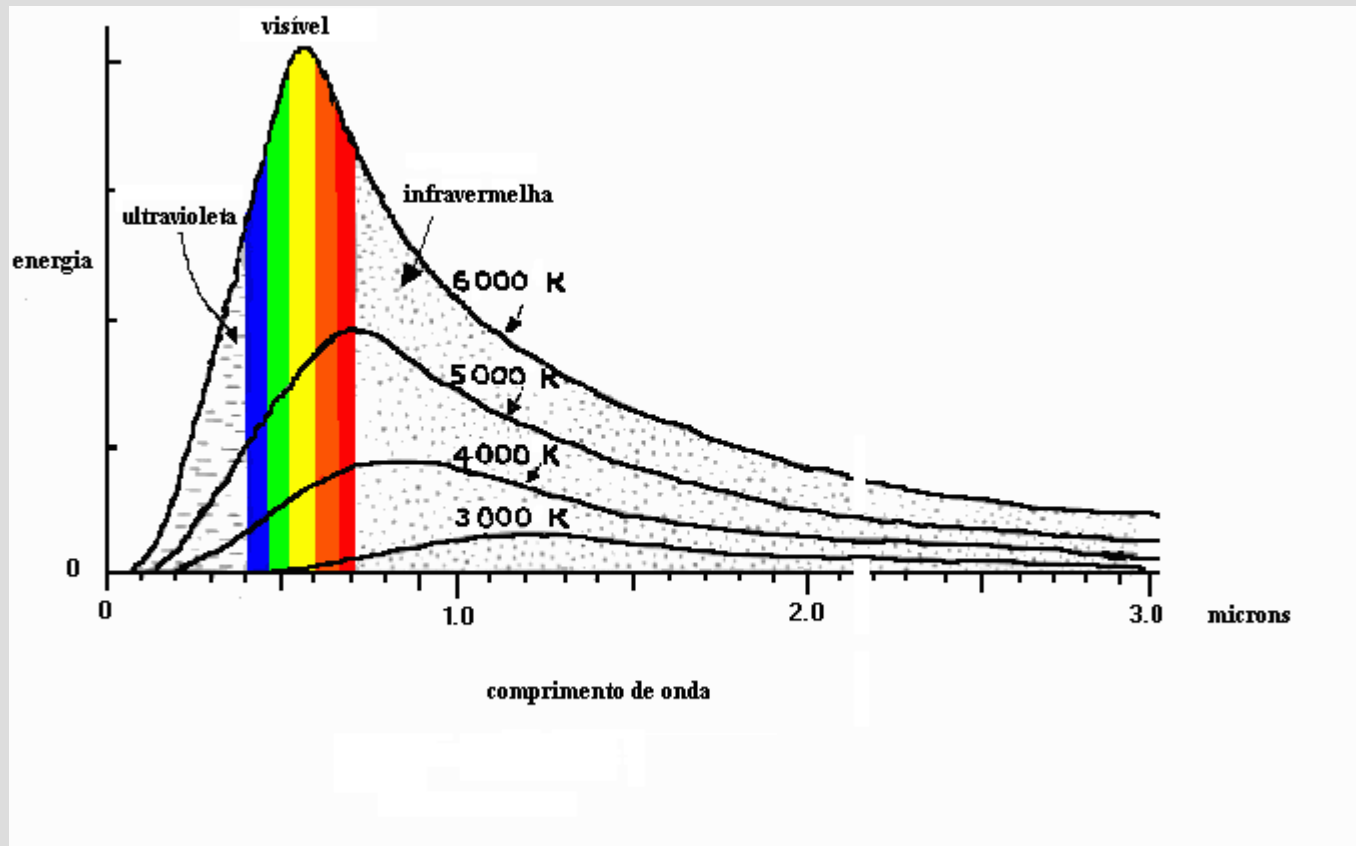
- Estrelas são esferas autogravitantes de gás ionizado, cuja fonte de energia é a transmutação de elementos através de reações nucleares, isto é, da fusão nuclear de hidrogênio em hélio e, posteriormente, em elementos mais pesados.
- As estrelas tem massas entre 0,08 e 100 (140) vezes a massa do Sol.
- Temperaturas efetivas entre 2500 K e 30 000 K.
- Luminosidades desde 10^{-4} até $10^6 L_{\text{Sol}}$;
- Raios desde 10^{-2} até $10^3 R_{\text{Sol}}$

Porque não vemos estrelas Verdes ou Rosadas?

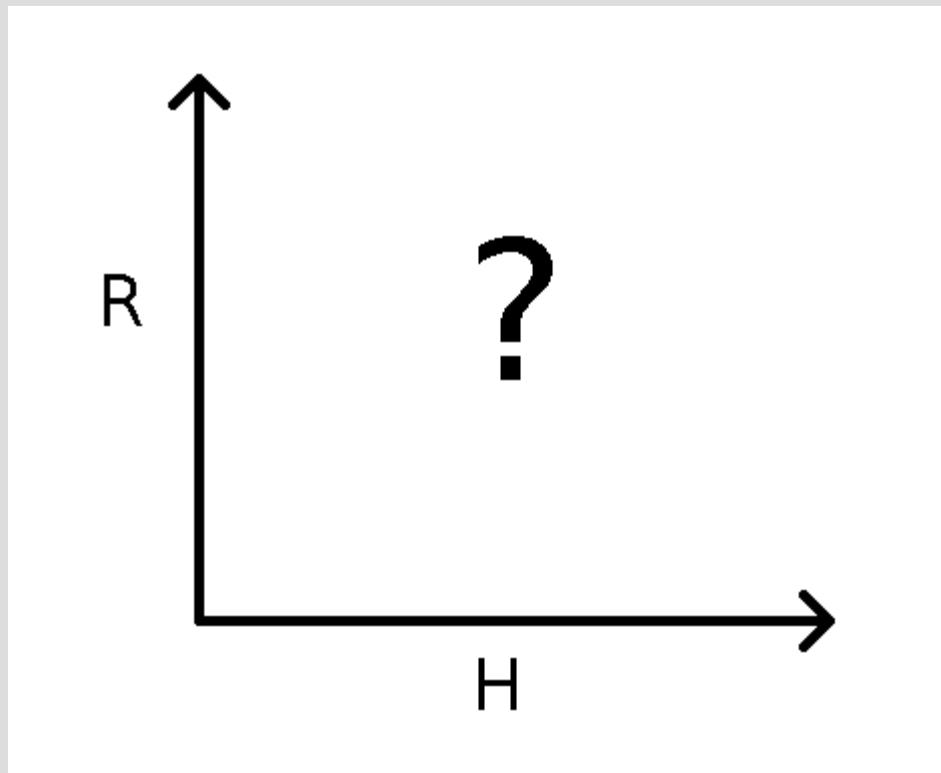


O que é cor?

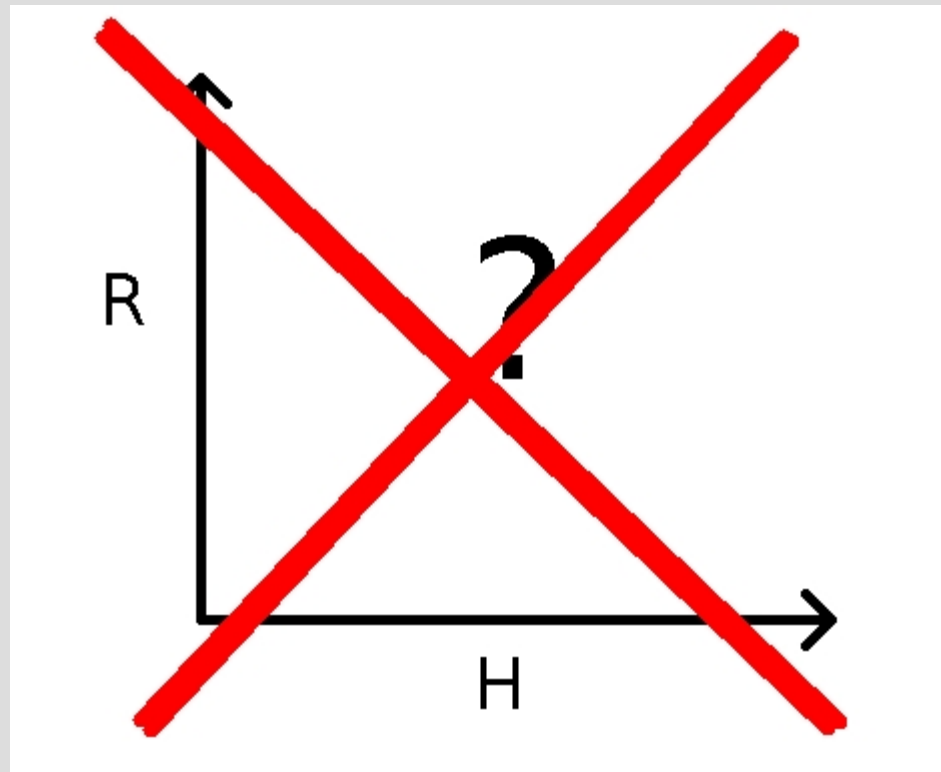
Porque não vemos estrelas Verdes ou Rosadas?



O diagrama HR (Hertzprung Russel)



O diagrama HR (Hertzsprung Russel)

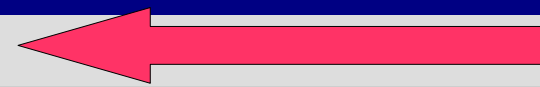
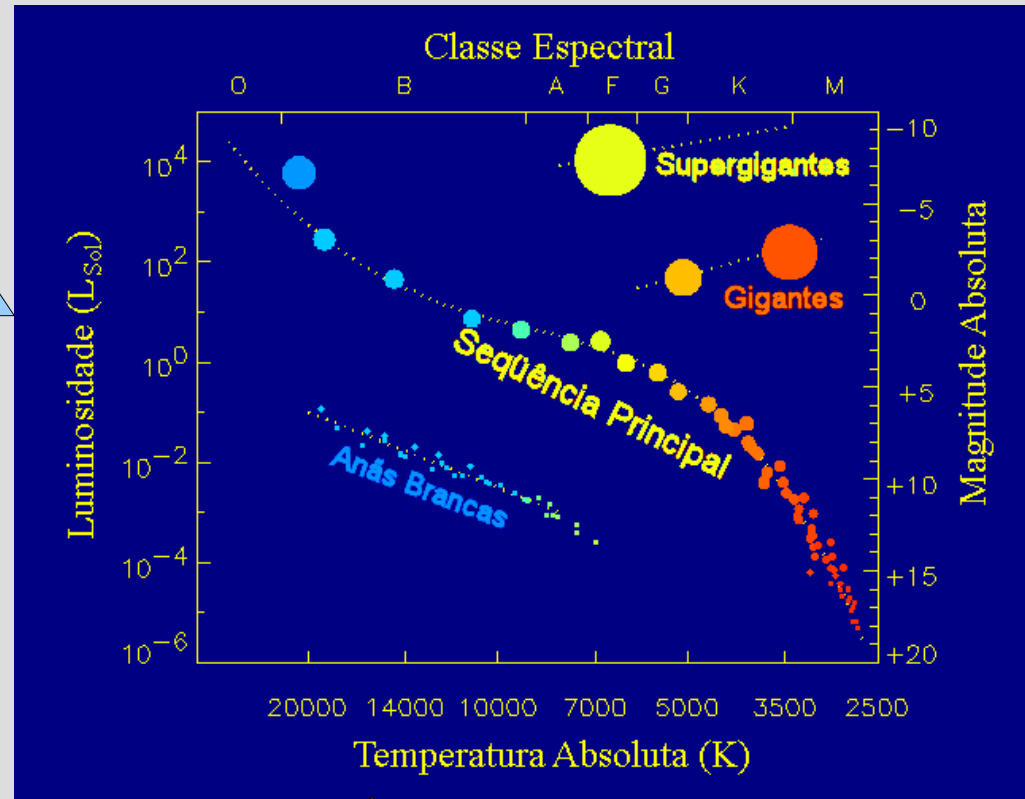


O diagrama HR (Hertzsprung Russel)

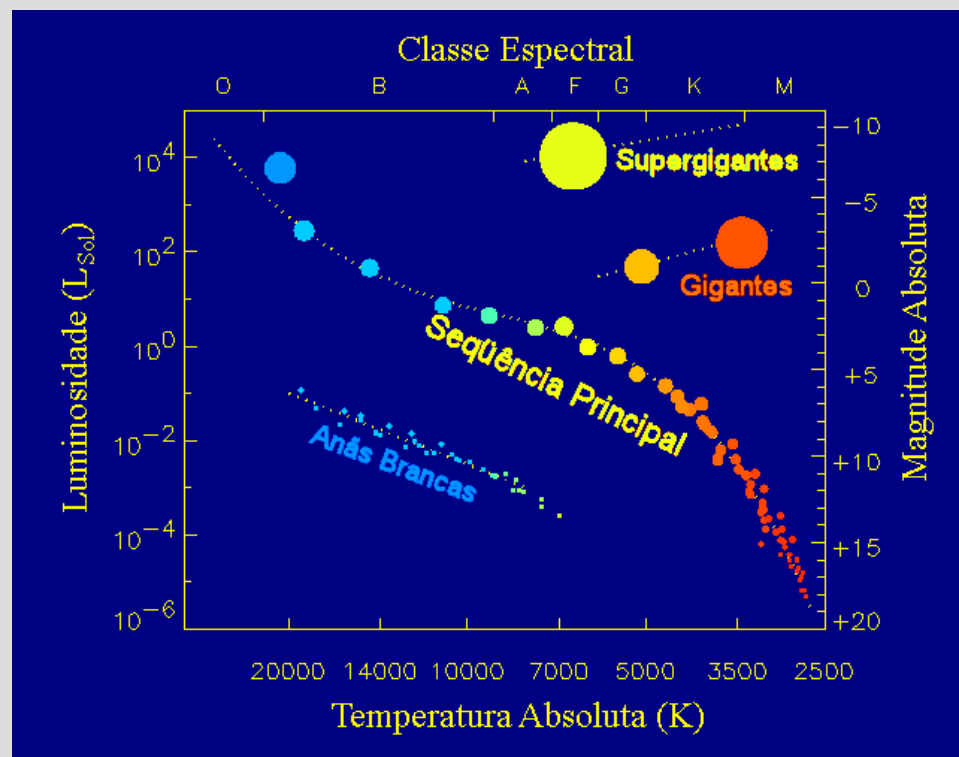
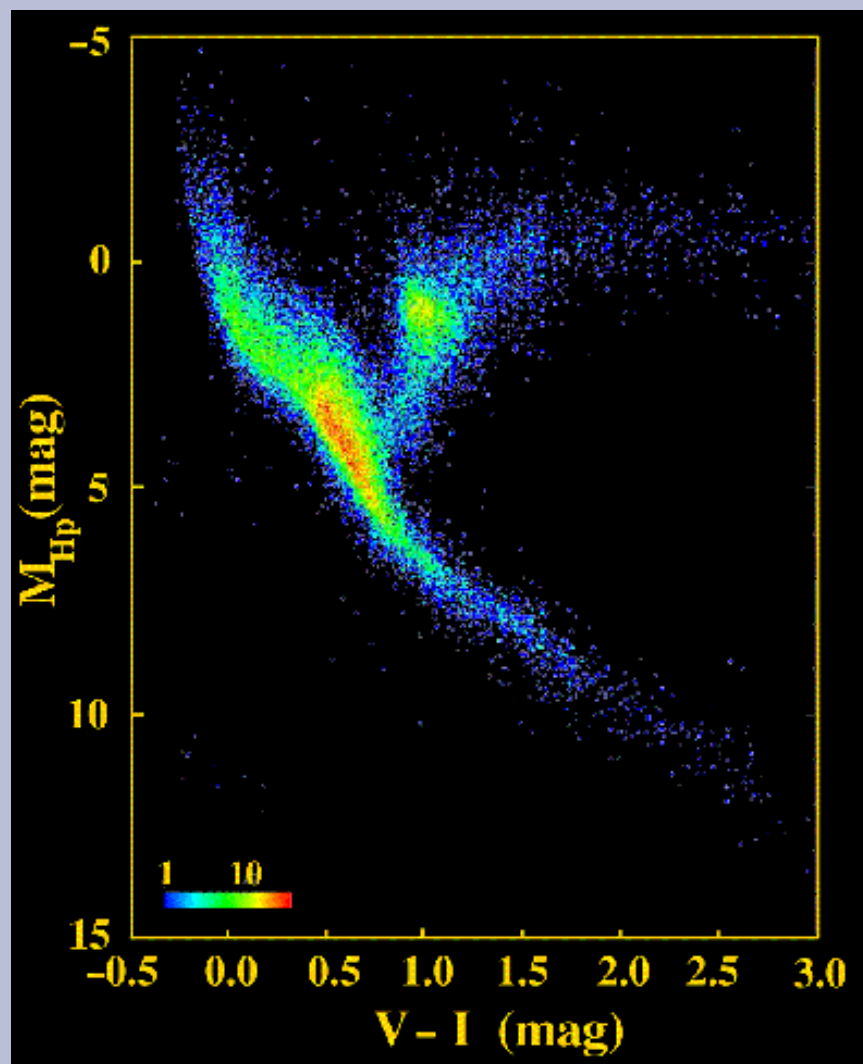
- **Seqüência Principal:** estrelas mais massivas são mais quentes e mais luminosas. As estrelas da SP têm, por definição, classe de luminosidade V, e são chamadas de anãs.

Desde estrelas quentes e muito luminosas até estrelas frias e pouco luminosas.

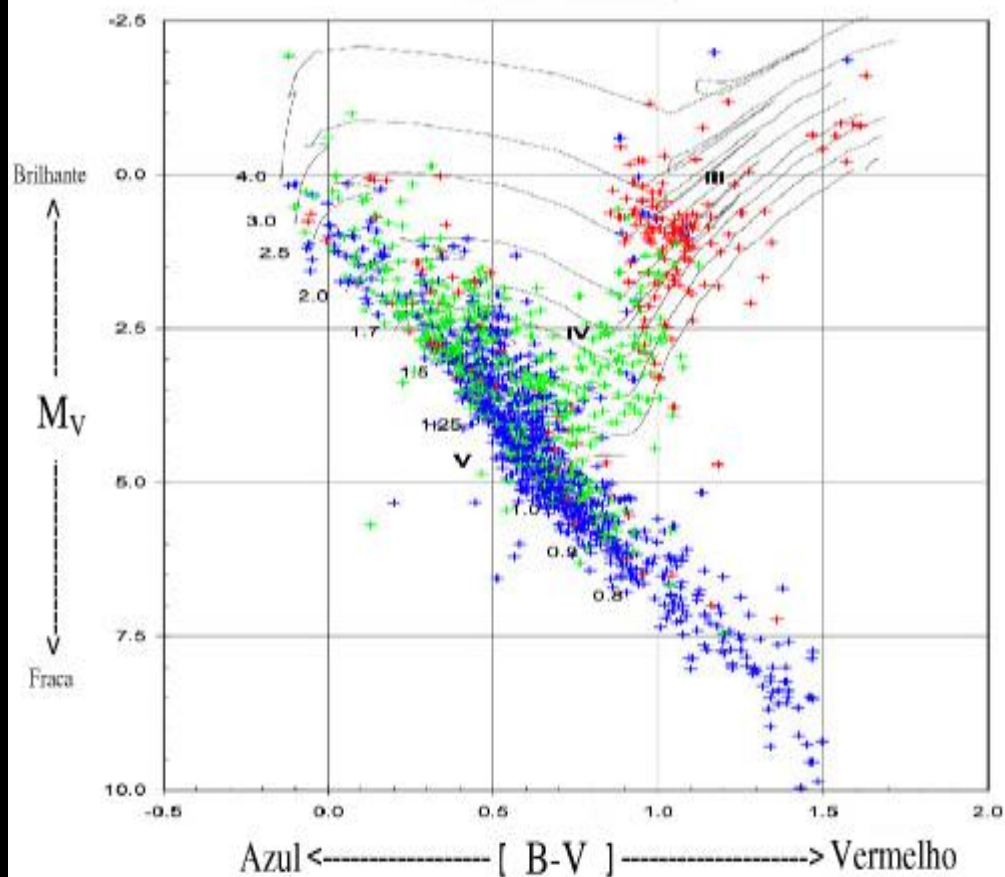
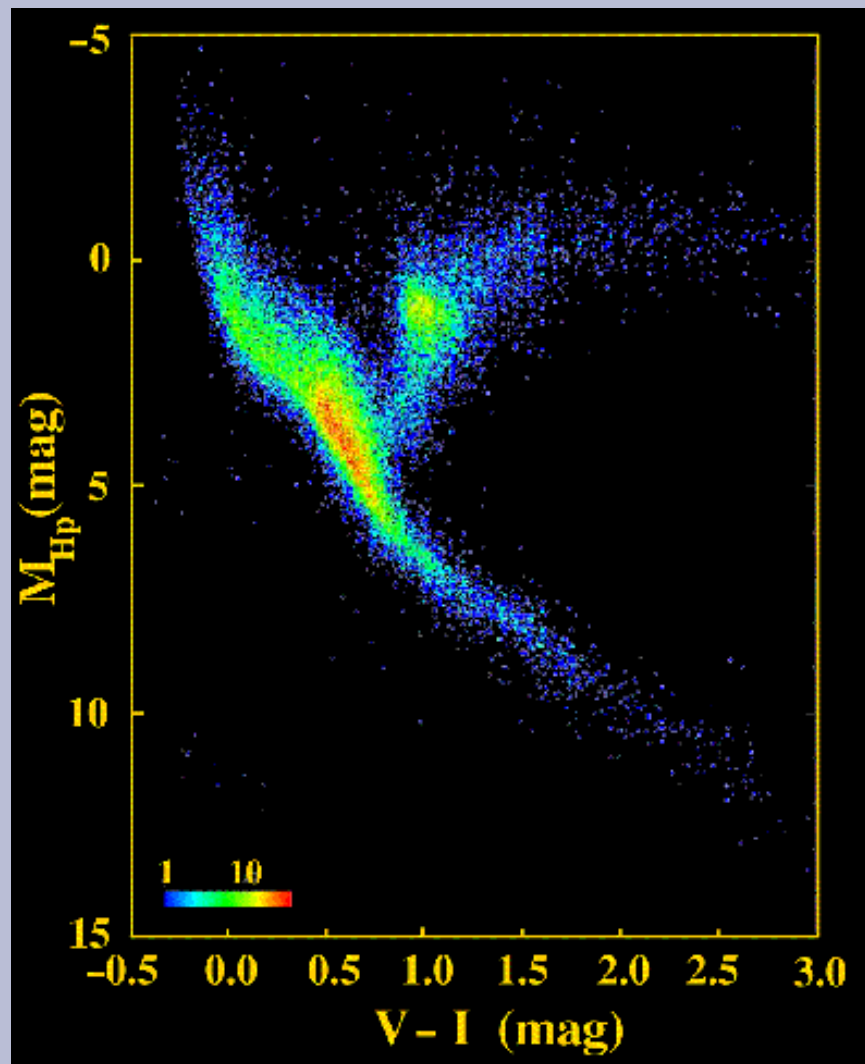
- **Gigantes:** estrelas frias e luminosas. Pertencem à classe de luminosidade II ou III.
- **Supergigantes:** classe de luminosidade I.
- **Anãs Brancas:** estrelas quentes e pouco luminosas



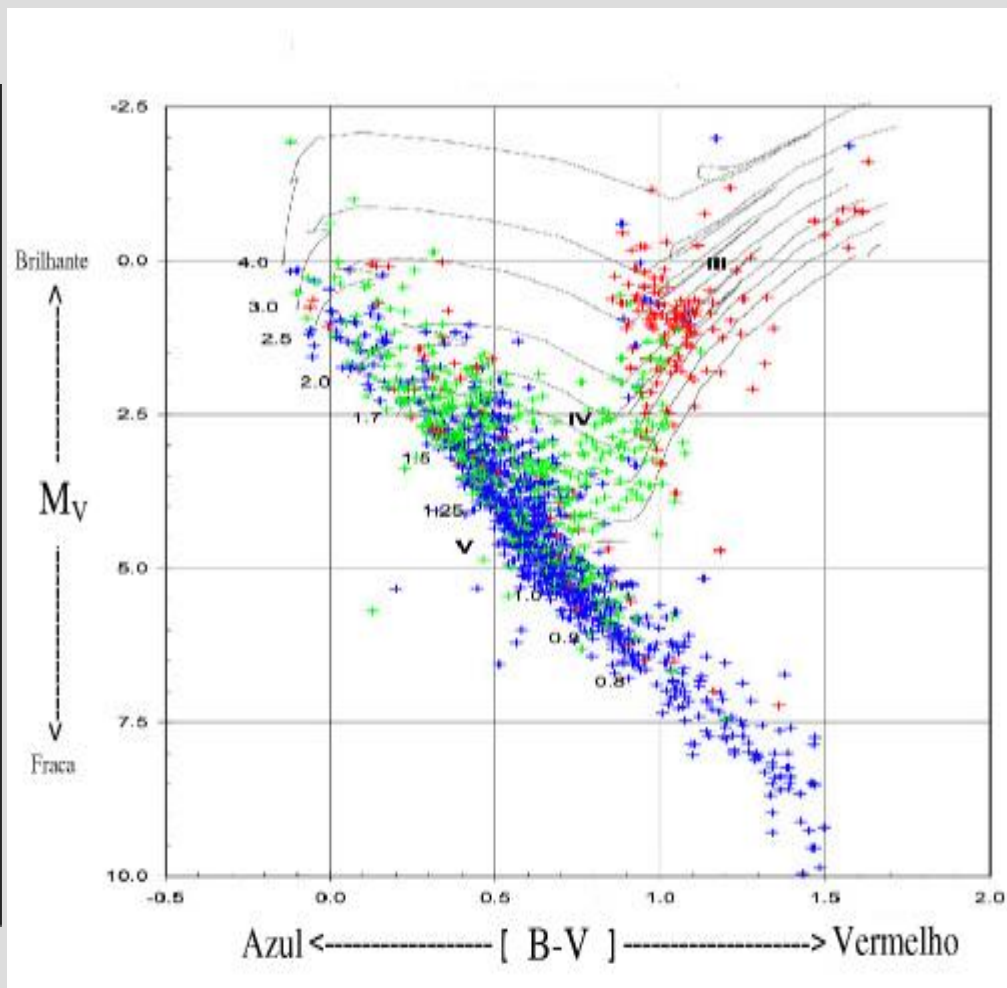
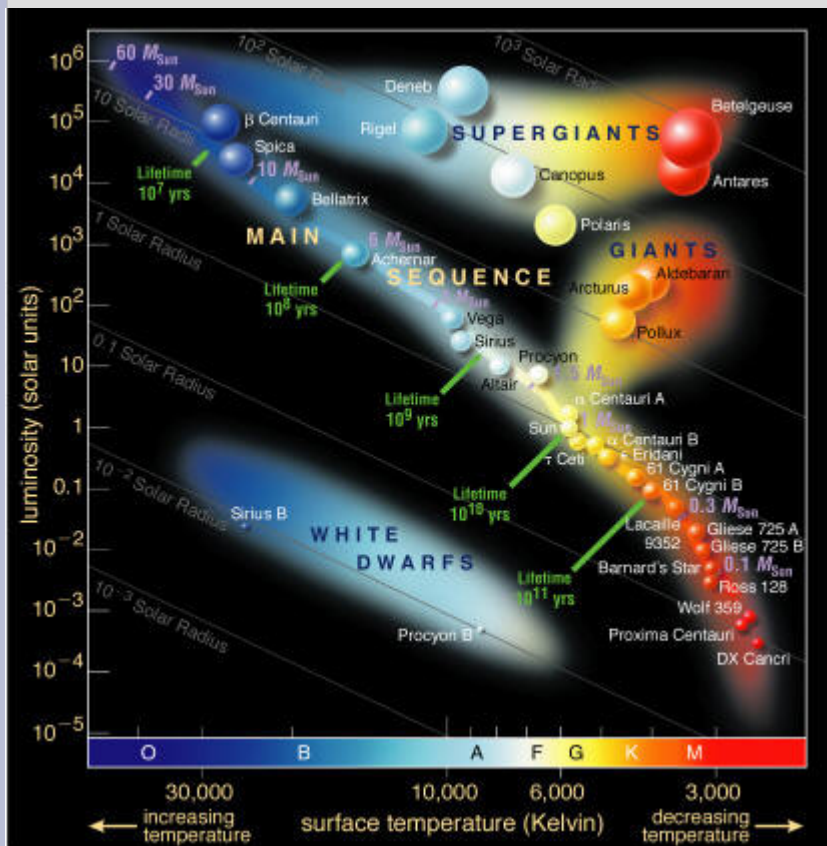
O diagrama HR (Hertzsprung Russel)



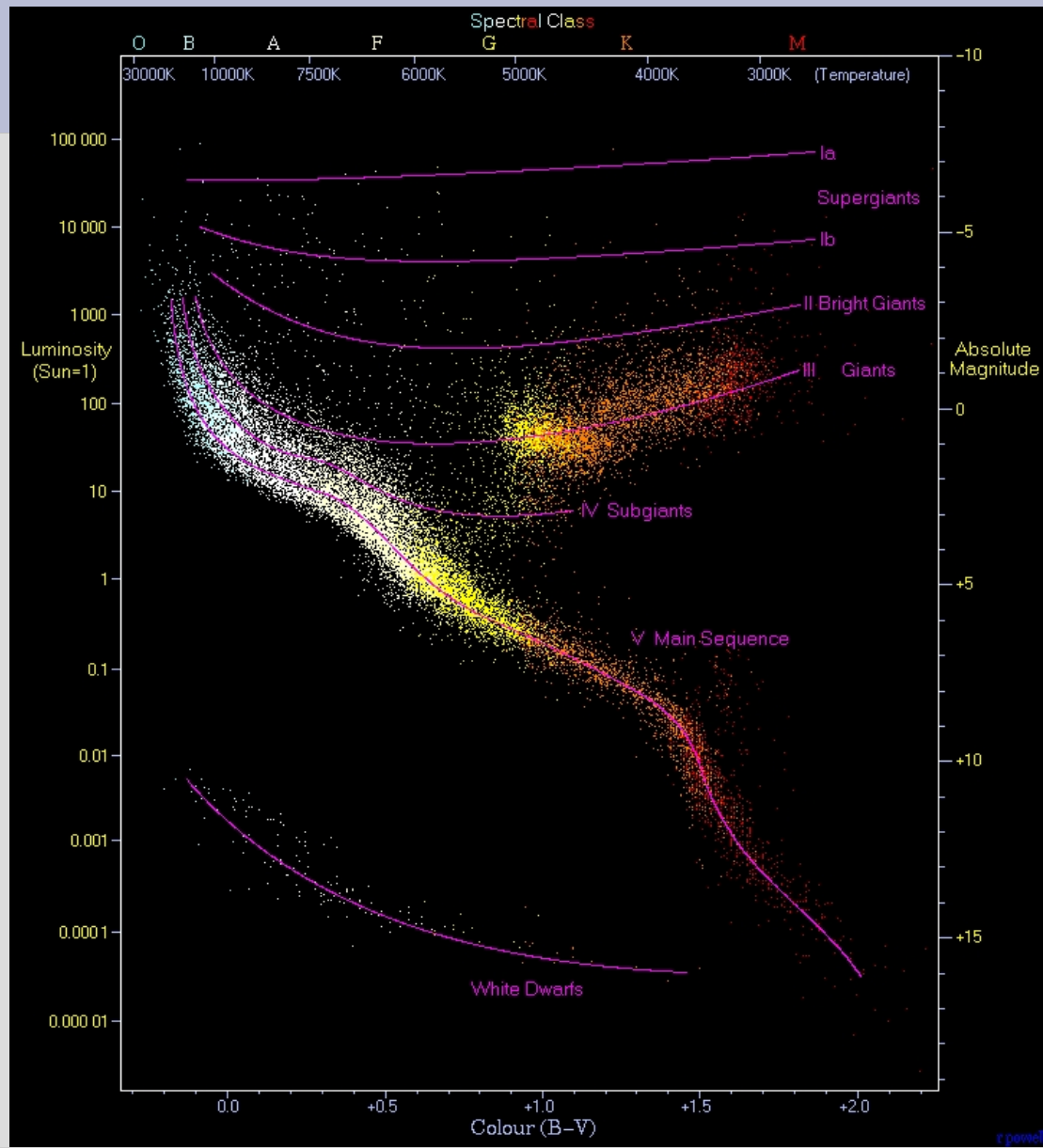
O diagrama HR (Hertzsprung Russel)



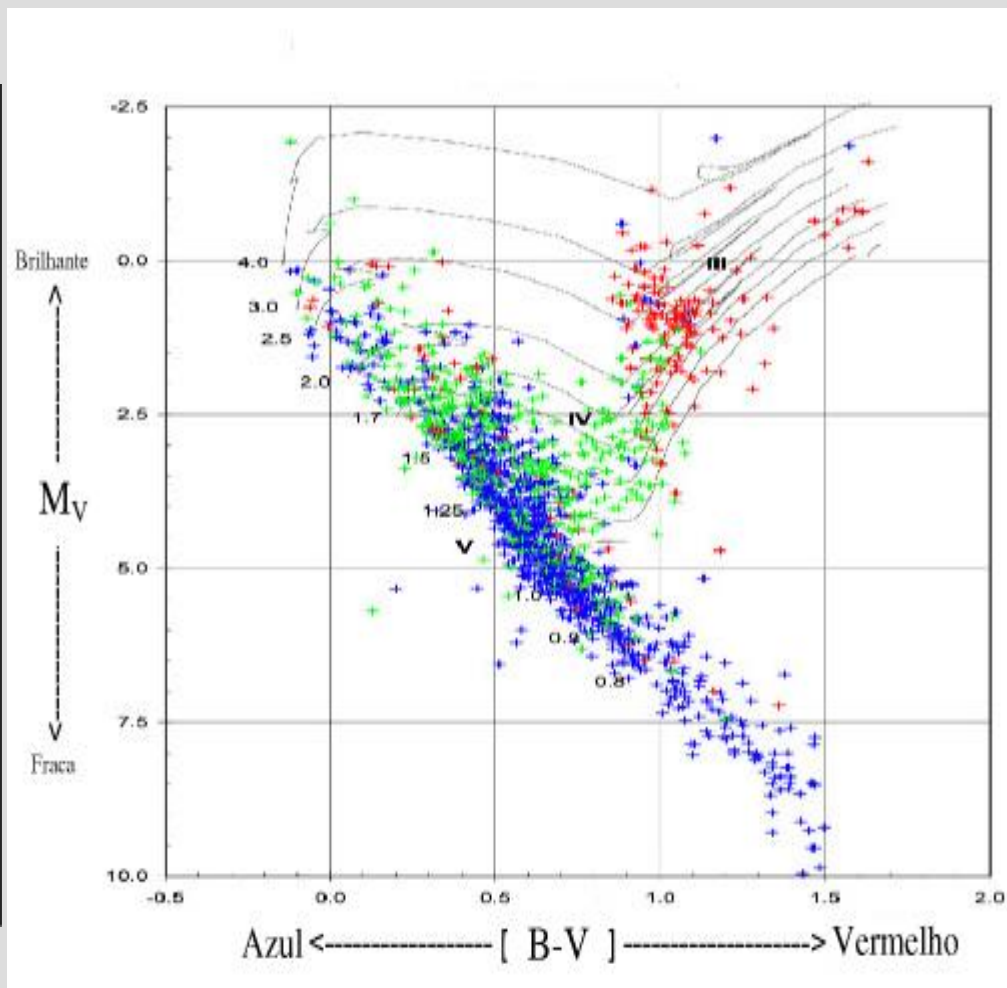
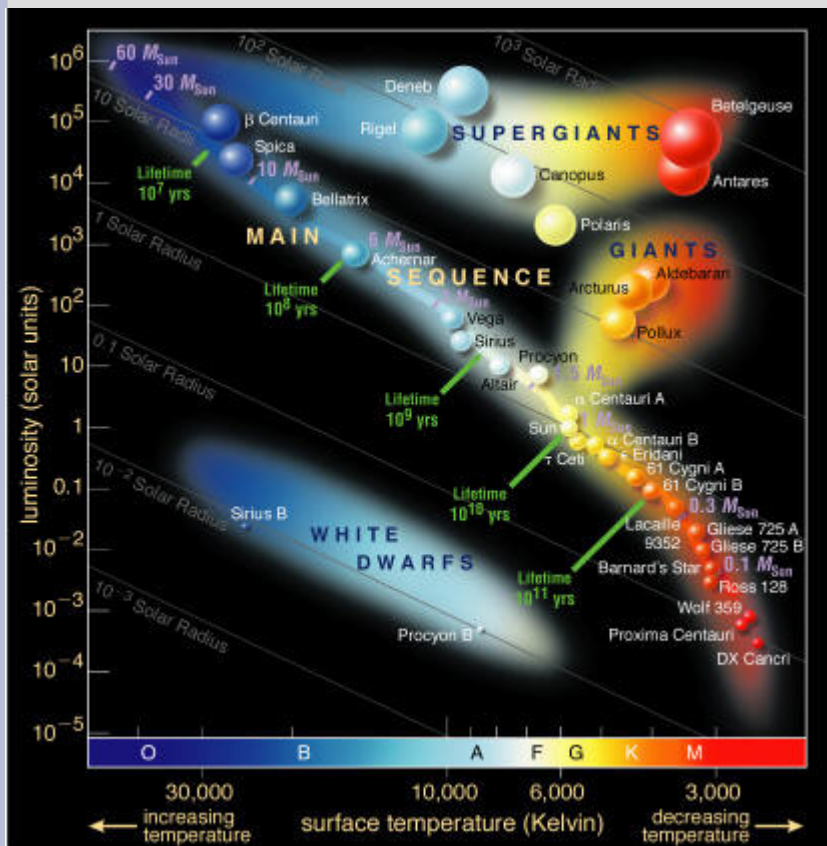
O diagrama HR (Hertzsprung Russel)



O diagrama HR (Hertzsprung Russel)

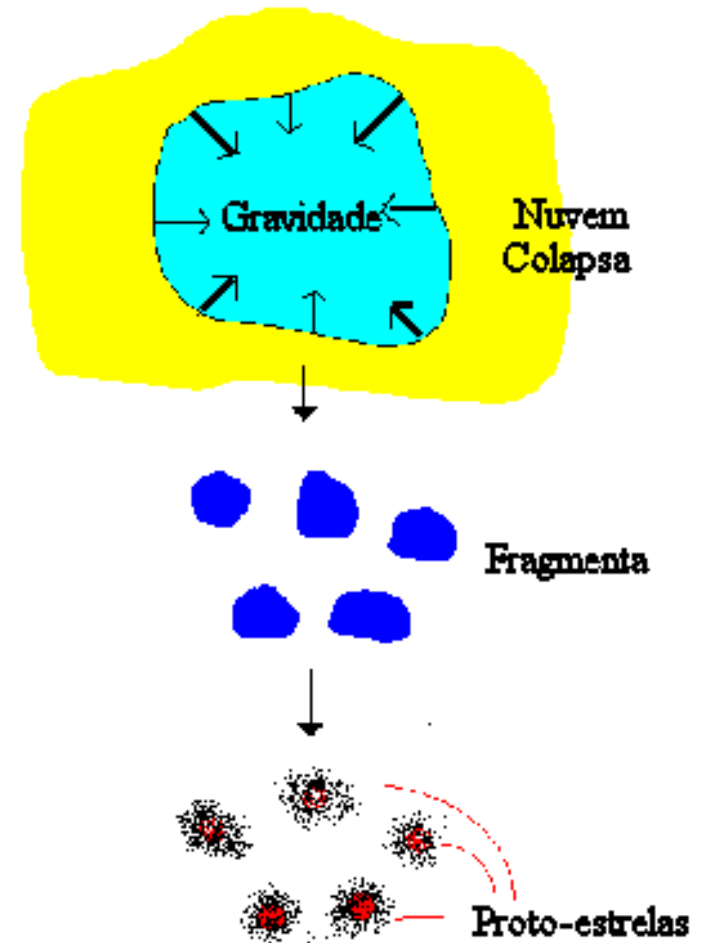


O diagrama HR (Hertzsprung Russel)



Aglomerados Estelares

- As estrelas de um aglomerado estelar formam-se da mesma nuvem de gás e portanto tem a mesma idade, a mesma composição química e a mesma distância.
 - Aglomerados abertos
 - Aglomerados globulares



Aglomerados Abertos

- Têm dezenas a centenas de estrelas



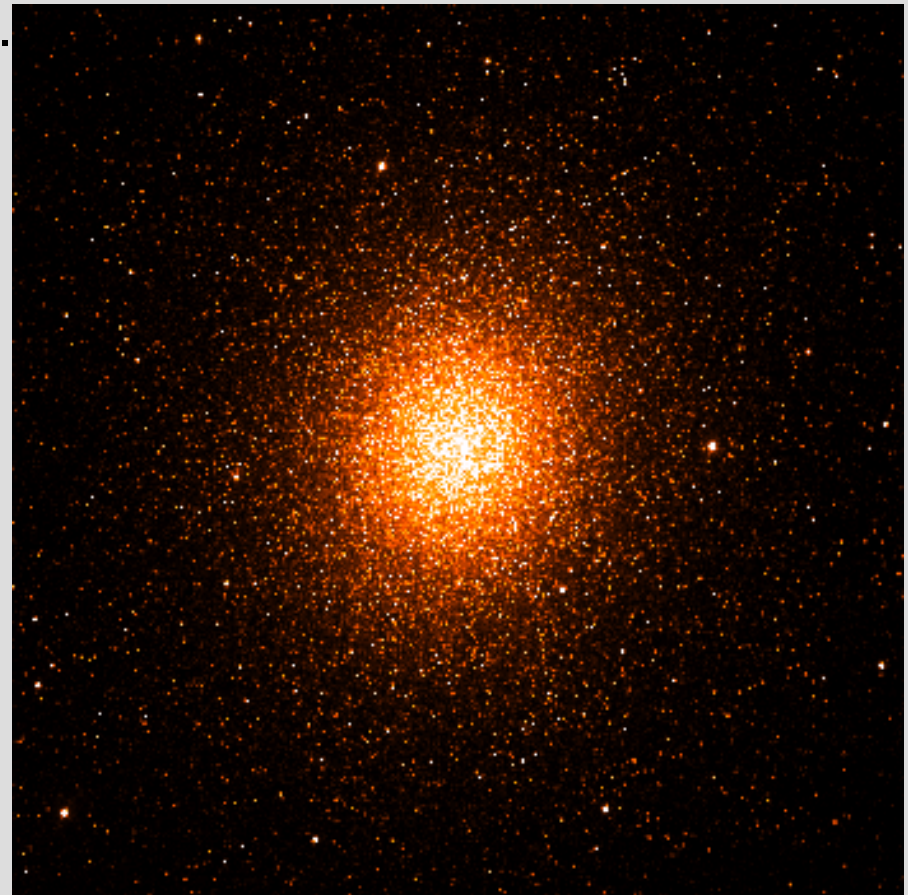
Plêiades

Aglomerados Globulares

- Centenas de milhares de estrelas
- ~160 globulares na nossa galáxia.

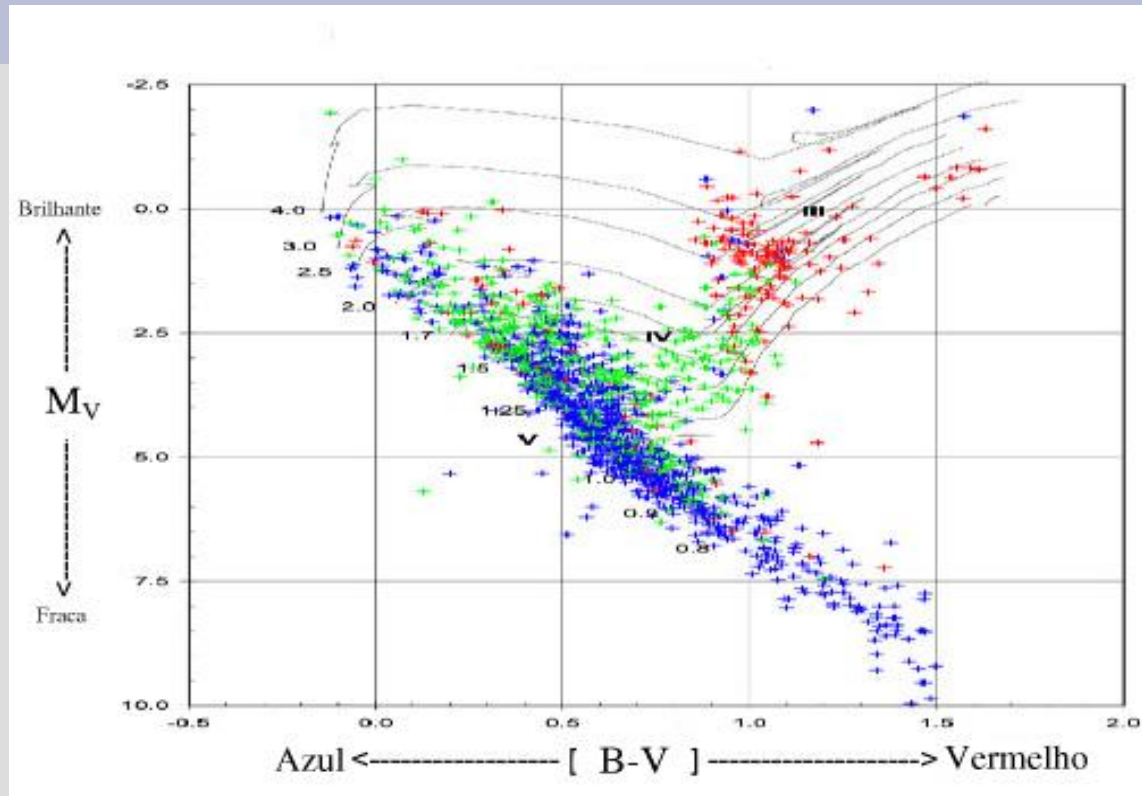


M80



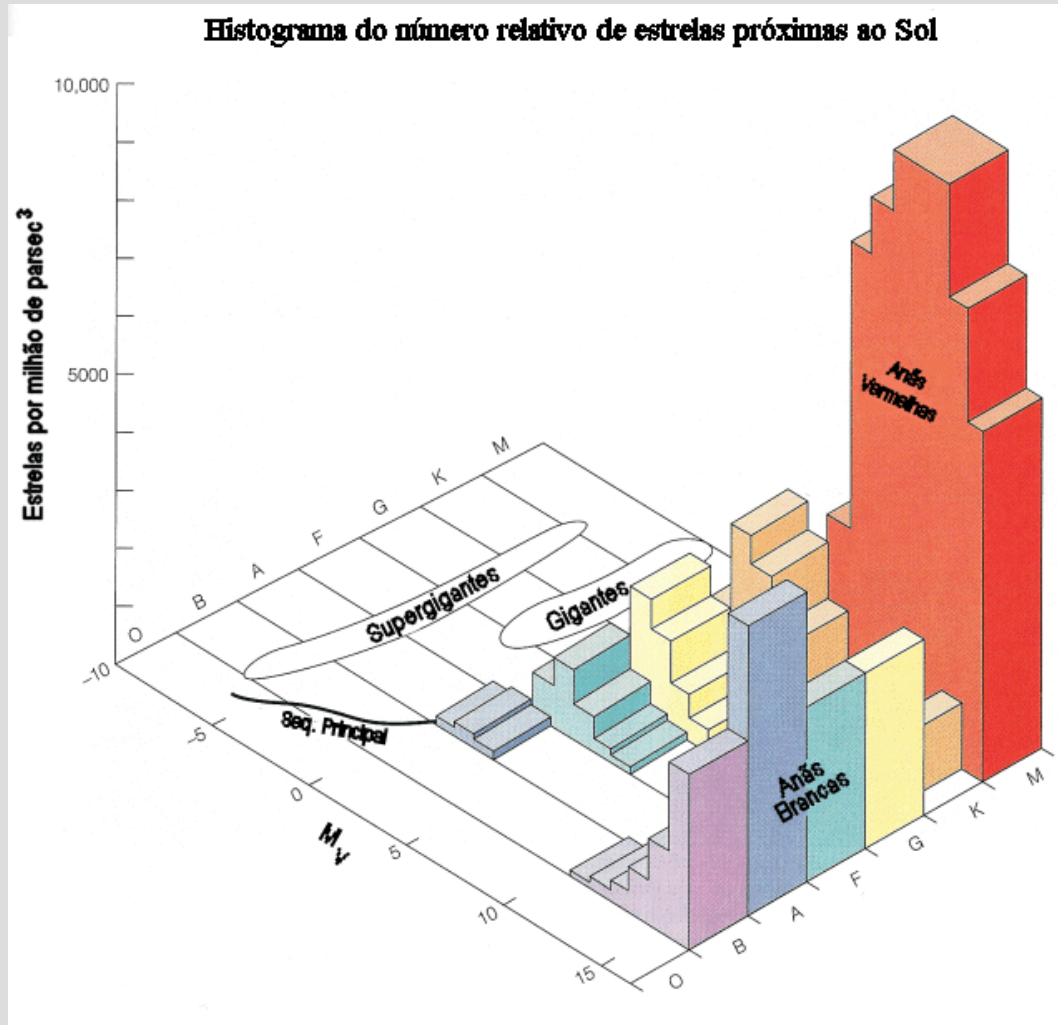
Omega Centauri (NGC5139)

Aglomerados Estelares



- Para uma amostra de estrelas limitada por brilho ou por distância, a seqüência principal não é uma linha fina, mas uma banda larga. A largura da seqüência principal é devida a variações na composição química de estrelas de mesma massa.

Estrelas na vizinhança do Sol



Distâncias espectroscópicas

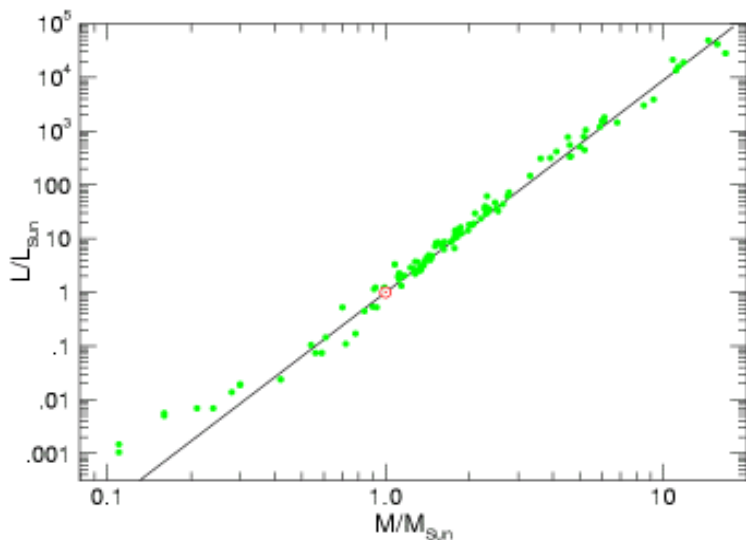
- Através do espectro ou do índice de cor, estima-se o **Tipo espectral**
- Através do tipo espectral, encontra-se no diagrama HR a **Luminosidade** correspondente
- Comparando **Luminosidade** com a **magnitude aparente** determina-se a **distância** pelo módulo de distância

$$(m - M) = -5 + 5 \log d \longrightarrow d = 10^{(m - M + 5)/5}$$

- Esta maneira de se obter as distâncias das estrelas, a partir do seu tipo espectral e da sua classe de luminosidade, é chamada método das ***paralaxes espectroscópicas***.

A Relação Massa-Luminosidade

- As massas das estrelas podem ser determinadas no caso de estrelas binárias, aplicando-se a Terceira Lei de Kepler.
- Essas observações têm mostrado que as massas das estrelas aumentam de baixo para cima ao longo da seqüência principal



$$M \geq 3M_{\odot} \longrightarrow L \propto M^3$$

$$3M_{\odot} \geq M \geq 0,5M_{\odot} \longrightarrow L \propto M^4$$

$$M \leq 0,5M_{\odot} \longrightarrow L \propto M^{2,5}$$

Em média:

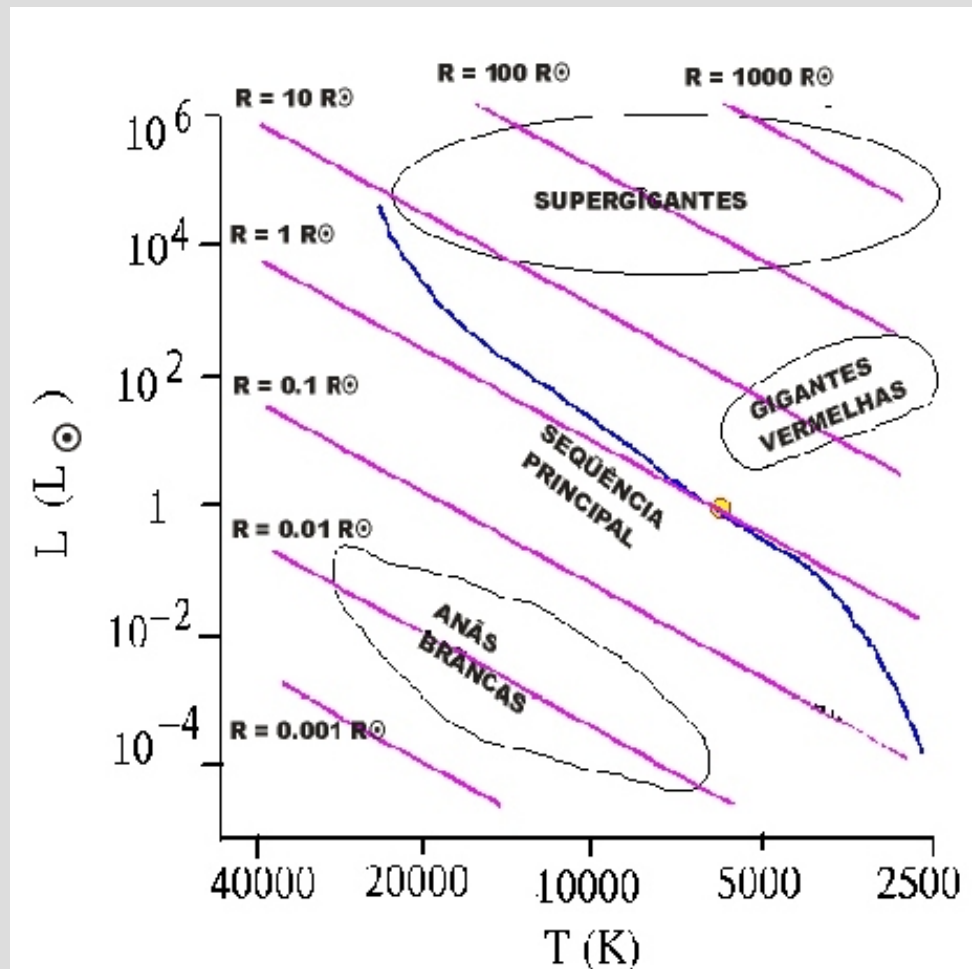
$$L \propto M^3$$

- As massas das estrelas variam entre 0,08 e 100 (140) massas solares, ao passo que as luminosidades das estrelas variam entre 10^{-4} e 10^6 vezes a luminosidade do sol.

Extremos de luminosidade, raios e densidades

- A luminosidade de uma estrela é proporcional à sua temperatura efetiva na 4ª potência e ao seu raio ao quadrado.

$$L = 4\pi R^2 \sigma T_{ef}^4$$



Extremos de luminosidade, raios e densidades

- **Seqüência Principal:** A maioria das estrelas (85%), incluindo o Sol, se encontram na Seqüência Principal.

$$L=10^{-2} \text{ a } 10^6 L_{\text{Sol}} \quad T=2500 \text{ a } > 50000 \text{ K} \quad R=0.1 \text{ a } 10 R_{\text{Sol}}$$
$$\rho \sim \rho_{\text{Sol}}$$

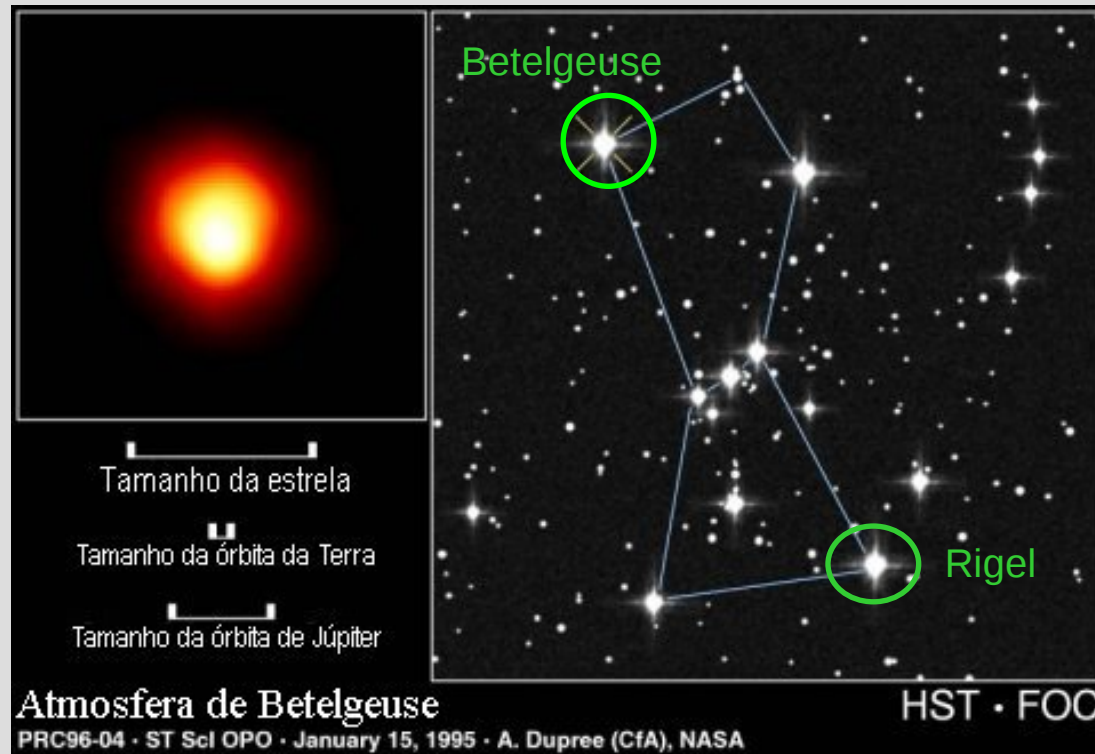
- **Gigantes :** Grandes mas frias com um grande intervalo de luminosidades

$$L = 10^3 \text{ a } 10^5 L_{\text{Sol}} \quad T < 5000 \text{ K} \quad R = 10 \text{ a } 100 R_{\text{Sol}}$$

- **Supergigantes:** São as estrelas maiores, no topo do diagrama HR, com grande intervalo de temperatura efetiva mas relativamente pequeno intervalo de luminosidade

$$L = 10^5 \text{ a } 10^6 L_{\text{Sol}} \quad T = 3000 \text{ a } 50000 \text{ K} \quad R \sim 10^3 R_{\text{Sol}}$$
$$\rho \sim 10^{-7} \rho_{\text{Sol}}$$

Extremos de luminosidade, raios e densidades



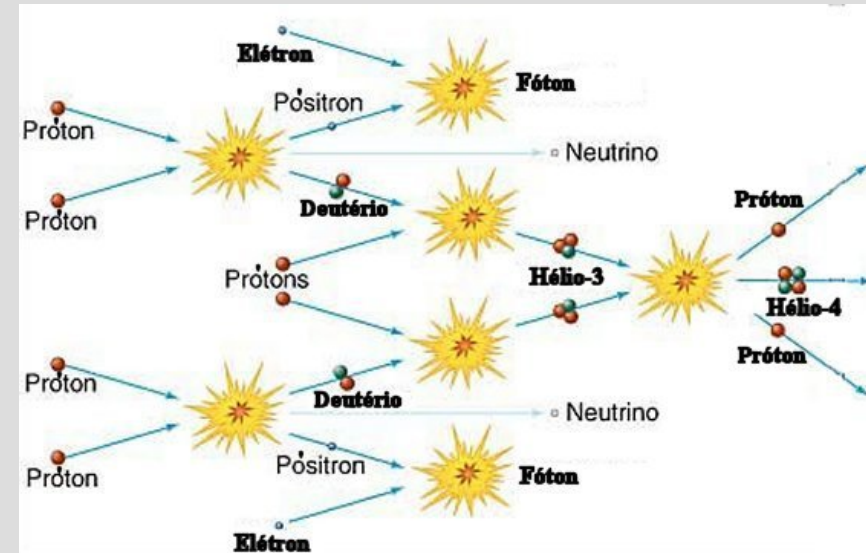
- Betelgeuse, a segunda estrela mais brilhante da constelação do Órion (a mais brilhante é Rigel a 800 a.l.) está a uma distância de cerca de 600 anos-luz. Sua luminosidade é 14 000 vezes maior que a do Sol, embora tenha somente 20 vezes sua massa. Seu raio é de cerca de 1000 vezes o raio do Sol.

Extremos de luminosidade, raios e densidades

- **Anãs vermelhas e anãs marrons:** As estrelas anãs vermelhas são muito menores e mais compactas do que o Sol.
 - $T \sim 2700 \text{ K}$
 - $M_{\text{bol}} = + 13$
 - $R \sim 1/10 R_{\text{Sol}}$
 - $M \sim 1/10$ da massa do sol,
 - $\rho \sim 100 \rho_{\text{Sol}}$
- **Anãs brancas:** Estrelas quentes mas pouco luminosas que ocupam o canto inferior esquerdo do diagrama HR. Elas são muito mais fracas do que as estrelas da SP de mesma temperatura. Pela relação luminosidade-raio-temperatura, elas devem portanto ser muito menores do que as estrelas de mesma temperatura da SP.
 - $R \sim 0.01 R_{\text{Sol}}$ (~Tamanho da Terra!)
 - $\rho \sim 10^7 \rho_{\text{água}}$

Por que as estrelas brilham?

- As estrelas brilham porque são quentes.
 - Emitem radiação térmica (radiação de corpo negro)
 - O calor "vaza" através de suas fotosferas
- Luminosidade = taxa de perda de energia
- Para permanecerem quentes as estrelas precisam repor a energia perdida, do contrário esfriariam.
- Duas fontes de energia disponíveis:
 - contração gravitacional (durante algum tempo...)
 - fusão termonuclear (a maior parte do tempo): 4 núcleos de hidrogênio (4 prótons) se fundem para formar 1 núcleo de hélio.



Tempo de vida das estrelas

- O tempo de vida de uma estrela é a razão entre a energia que ela tem disponível e a taxa com que ela gasta essa energia, ou seja, sua luminosidade.
- Como a luminosidade da estrela é tanto maior quanto maior é a sua massa, resulta que o tempo de vida é controlado pela massa da estrela: **quanto mais massiva a estrela, mais rapidamente ela gasta sua energia, e menos tempo ela dura.**

Tempo de vida do Sol

- **Constante solar** = energia/segundo/área que chega à Terra = 1367 watts/m².
 - **Distância Terra-Sol** = 150 milhões de quilômetros. Isso leva a:
 - **Luminosidade do Sol** = $3,9 \times 10^{26}$ watts!
 - Para manter essa luminosidade:
 - **600 milhões de toneladas de H** convertidas em **He** a cada segundo
 - Dessas 600, aproximadamente 4 (=0,7% de 600) são convertidas em energia
 - Quanta energia o Sol tem disponível?
 - O Sol contém **2×10^{21} milhões de toneladas de H**
 - Apenas 10% da massa do Sol (a região do núcleo) é quente o suficiente para a fusão ocorrer
- Logo:
- $E = 0,007(\%) \times 10(\%) \times 10^{30} \text{ kg} \times (3 \times 10^8 \text{ m/s})^2 = 1,26 \times 10^{44} \text{ J}$.
- Juntando tudo, encontramos:
 - **Tempo de vida** = $1,26 \times 10^{44} \text{ J} / 3,9 \times 10^{26} \text{ J/s} = \text{aprox. } 10 \text{ bilhões de anos}$



Luminosidade do Sol na SP

Tempo de vida para as demais estrelas

- Tempo de vida = Energia interna/ Luminosidade
- **Energia interna:**
 - Energia nuclear: $E_N \sim M c^2$
- **Luminosidade:**
 - Em geral: $L \sim M^3$
- Portanto: tempo de vida $\sim M^{-2}$

- Em relação ao tempo de vida do Sol:
 - $t_{\text{est}}/t_{\text{Sol}} = (M_{\text{est}}/M_{\text{Sol}})^{-2}$
 - $t_{\text{est}} = (M_{\text{est}}/M_{\text{Sol}})^{-2} \times 10 \text{ bilhões de anos}$

Evolução Estelar

