

ESCOLA DE INVERNO DO  
OBSERVATÓRIO NACIONAL

# AGLOMERADOS ESTELARES

Simone Daflon



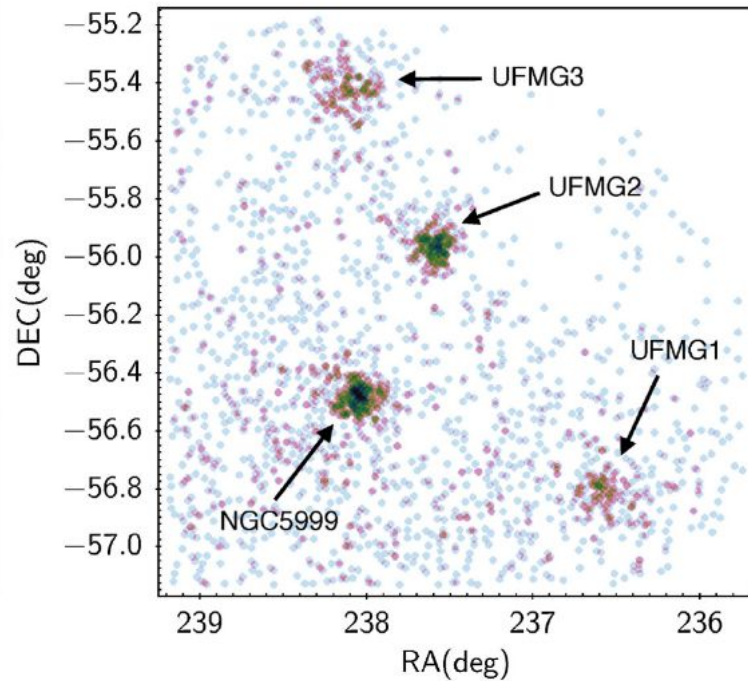
Observatório  
Nacional

MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÃO



# Como definir um aglomerado estelar?

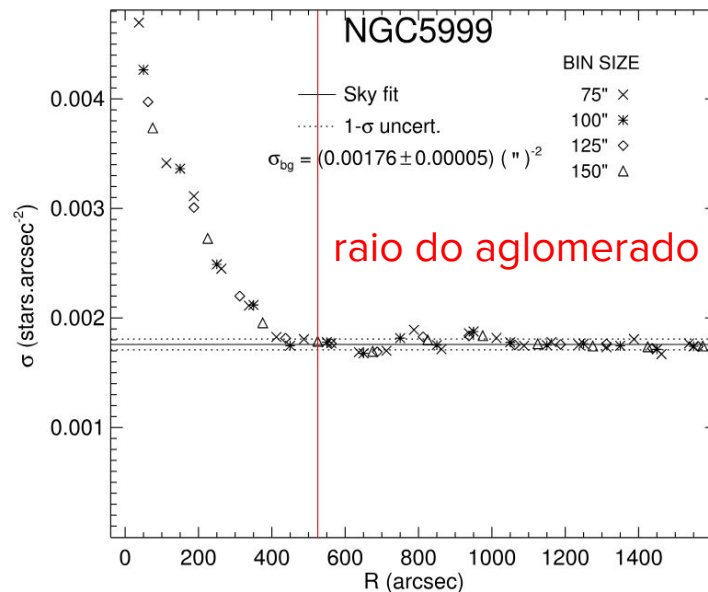
- Algumas estrelas se apresentam em sistemas múltiplos (2,3,4 ... estrelas)
- Qual a diferença entre um sistema múltiplo e um aglomerado estelar?
- Diferentes definições:
  - grupo de estrelas que estão gravitacionalmente ligadas
  - grupo de estrelas com densidade grande o suficiente para sobreviver aos processos de diluição
  - grupo de estrelas com densidade de massa maior do a densidade média de estrelas do campo
- Aglomerados se dissipam com o tempo



# Perfil de densidade radial

perfil de densidade radial mostra a densidade de estrelas (número de estrelas por unidade de volume ou área, dependendo da análise) em função da distância ao centro do aglomerado.

$$\frac{\text{número de estrelas em anéis concêntricos}}{\text{área de cada anel}}$$



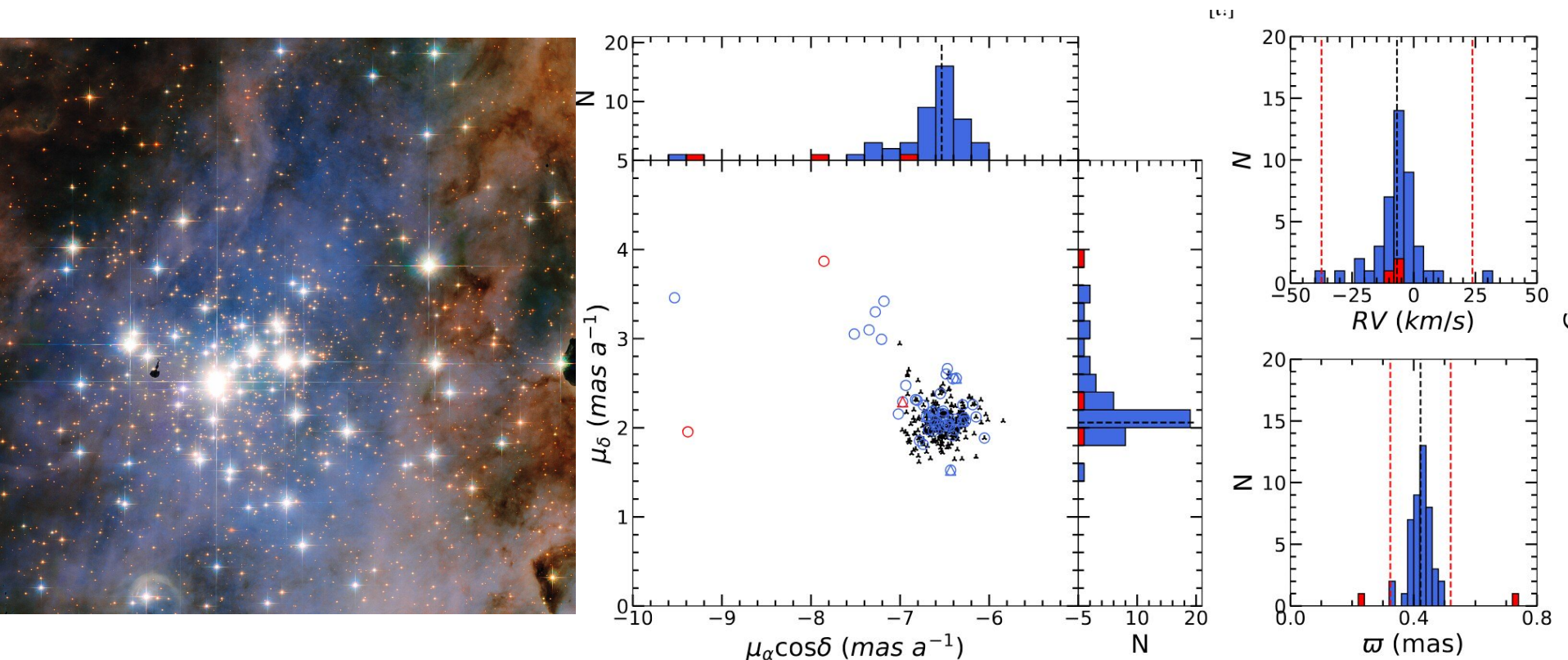
Importante para a definição do Raio do núcleo de um aglomerado

densidade média de estrelas no background

(Ferreira et al 2019)

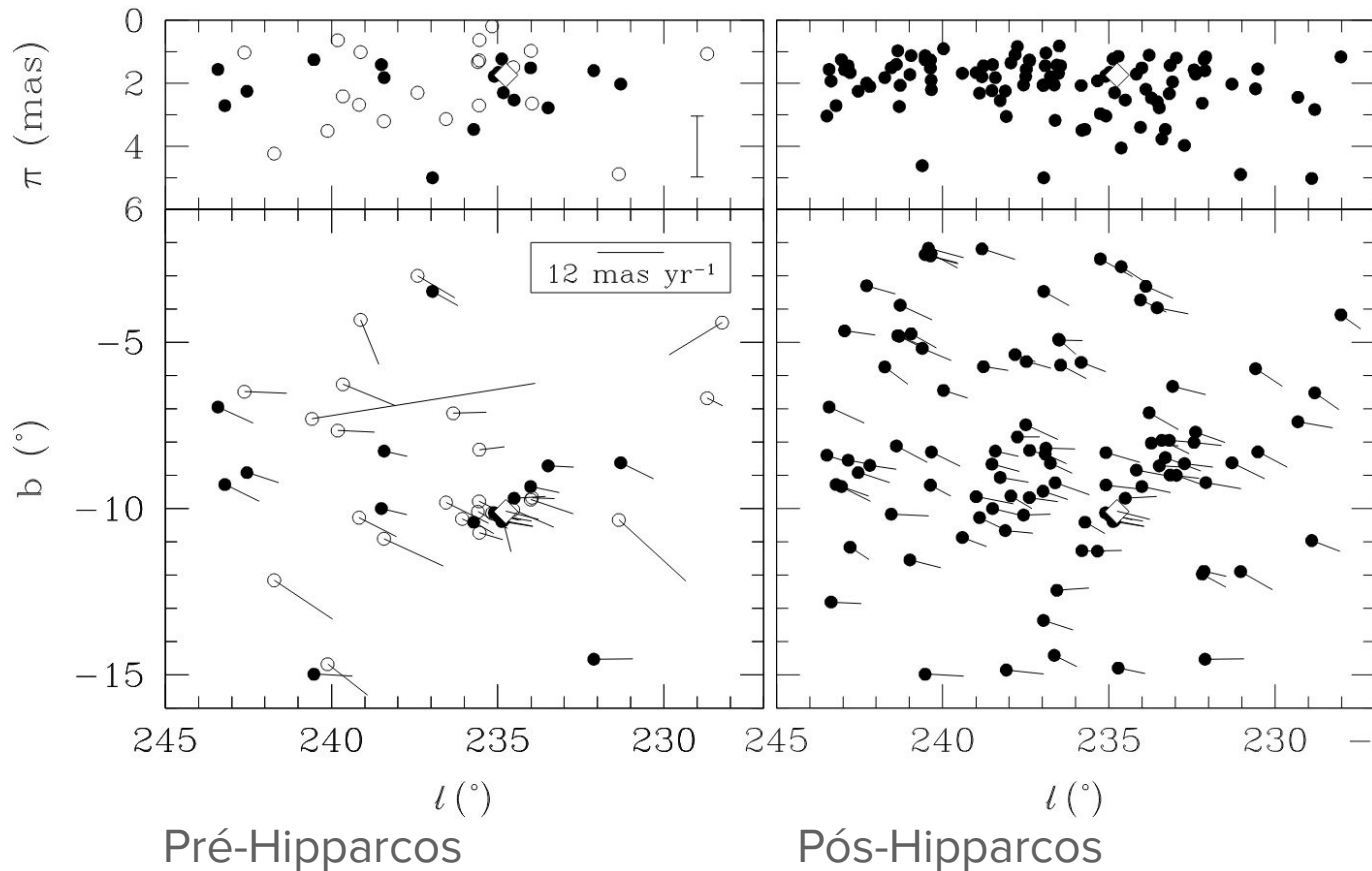
# Análise de adesão de membros (*membership*): identificação das estrelas que pertencem a um aglomerado

Análise de propriedades cinemáticas (movimento próprio, velocidade radial) e distância (paralaxe)



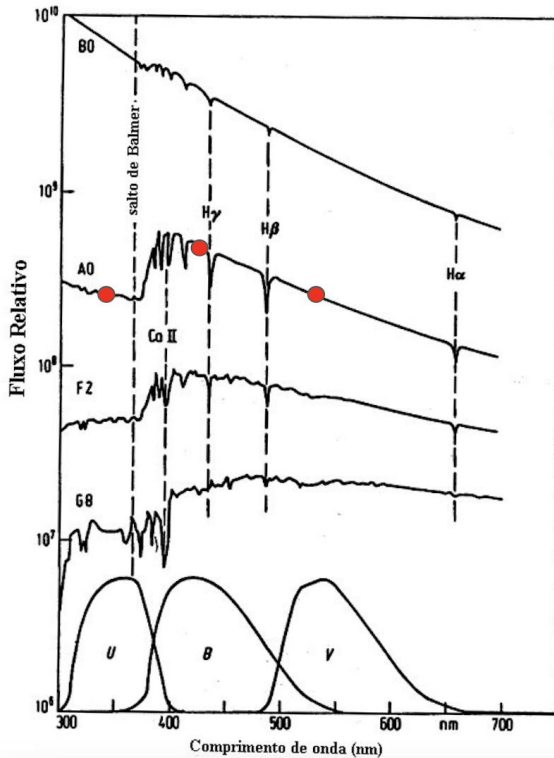
Trumpler 14 (Santos et al 2025)

# Análise de associações ou *moving groups*



**Método do ponto convergente:** O movimento comum de estrelas em um *moving group* resulta na convergência dos seus movimentos próprios em um ponto no céu.

Collinder 121  
(Zeeuw et al 1999)

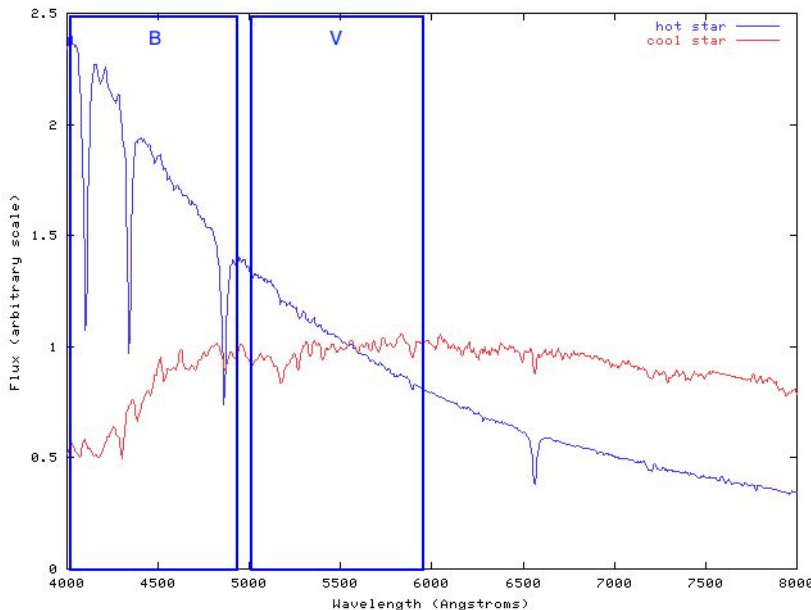


# Fotometria

Medidas da luz proveniente de um objeto → medidas do fluxo em determinadas porções do contínuo estelar definidas por filtros fotométricos

Existem vários sistemas fotométricos; o mais comum é o Sistema Johnson ou UBV

Filtro	$\Delta\lambda$ (Å)	$\lambda_0$ (Å)
U	~700	3640
B	~900	4420
V	~900	5400



índice de cor

- Estrela quente: mais brilhante em B (magnitude menor, mais negativa) do que em V (magnitude maior) → B-V será negativo
- Estrela fria: mais fraca em B (magnitude maior) do que em V (magnitude menor) → B-V será positivo

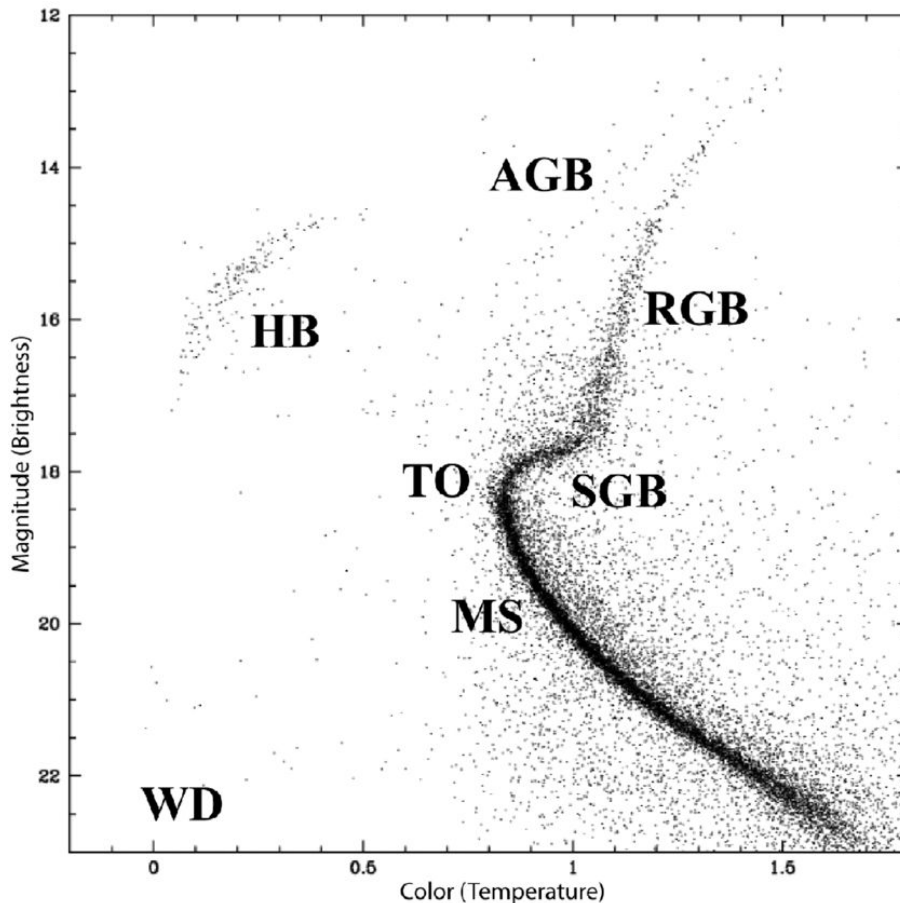


## Diagrama Cor x magnitude (CMD)

- Eixo x: cor, indicadora de temperatura
- Eixo y: magnitude absoluta, indicadora de luminosidade ou Log g

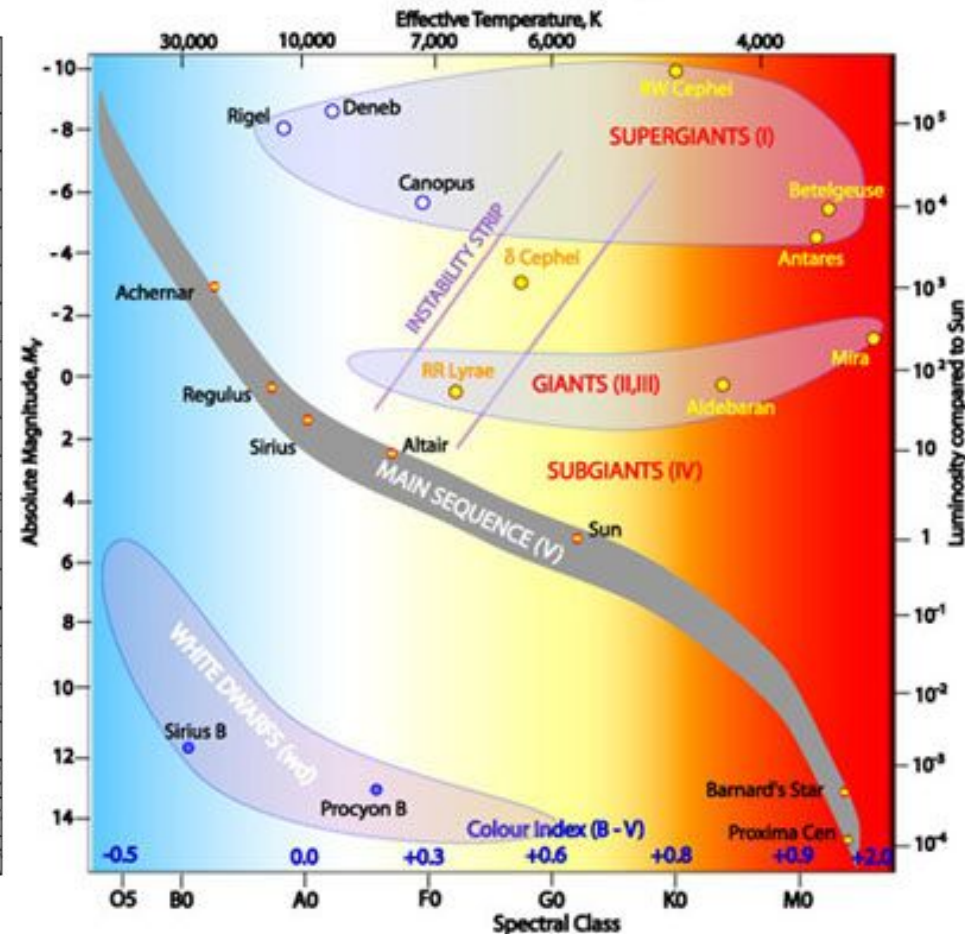
Dados fotométricos observados

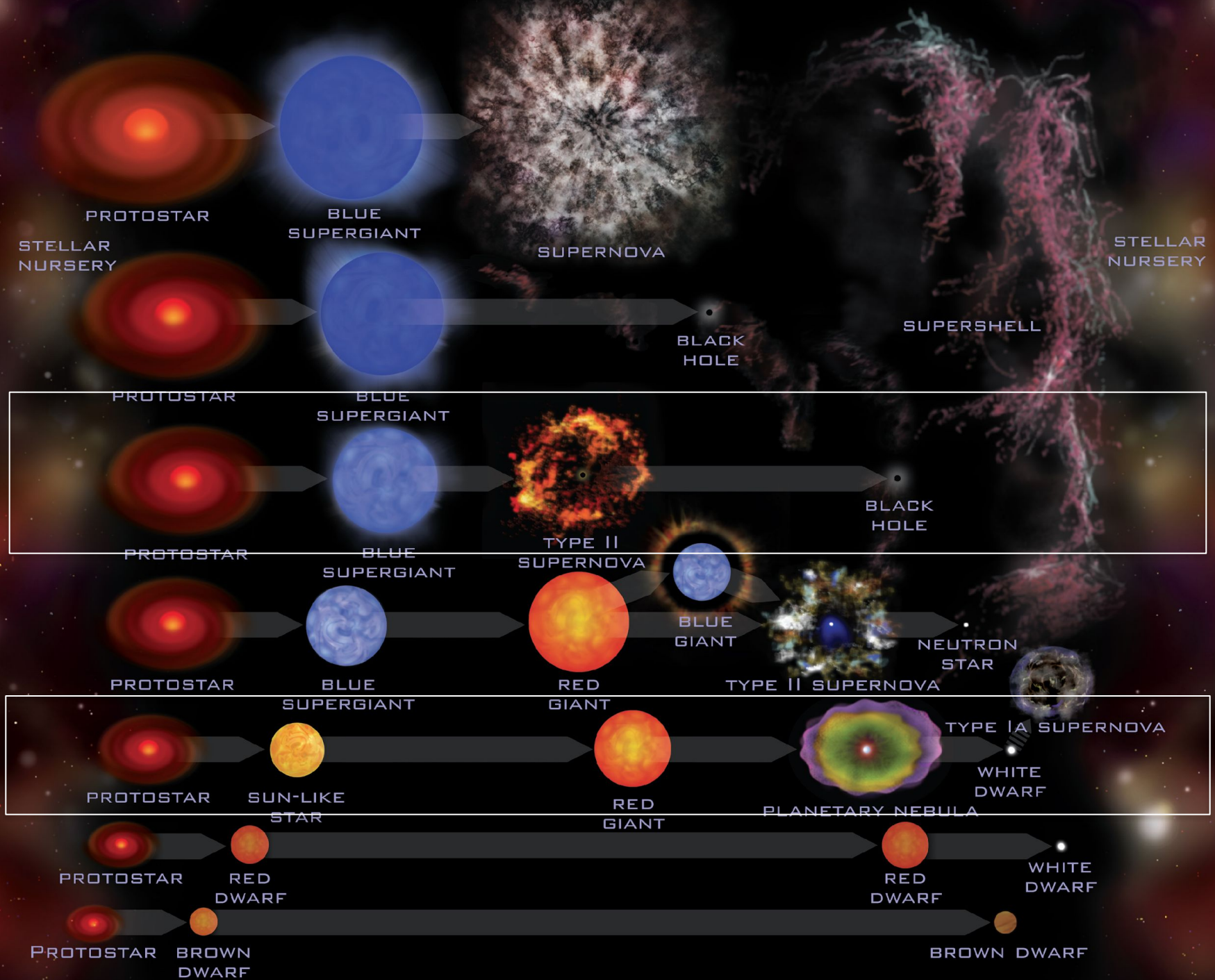
**Estrelas agrupadas em nichos de acordo com suas características presentes**



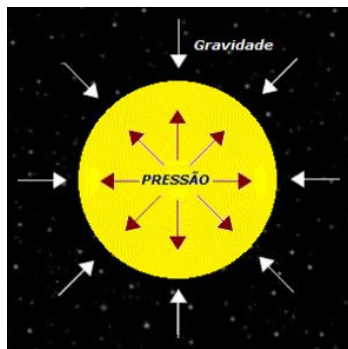
## Diagrama Hertzsprung-Russel (HR)

- Eixo x: Tipo espectral ou temperatura efetiva
- Eixo y: Luminosidade ou Magnitude absoluta ou Log g









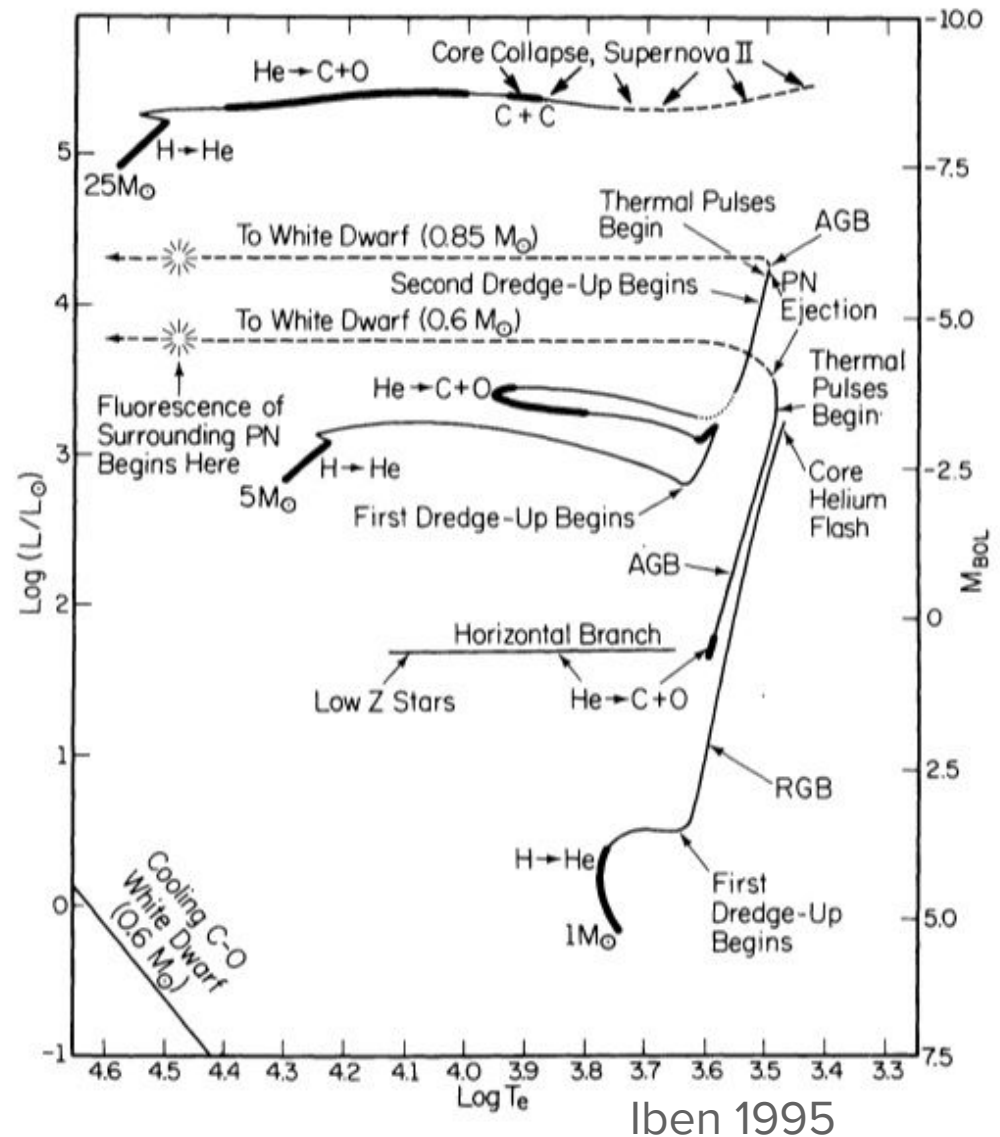
$$\text{Duração de cada fase} = \frac{\text{quantidade de combustível}}{\text{taxa de queima}}$$

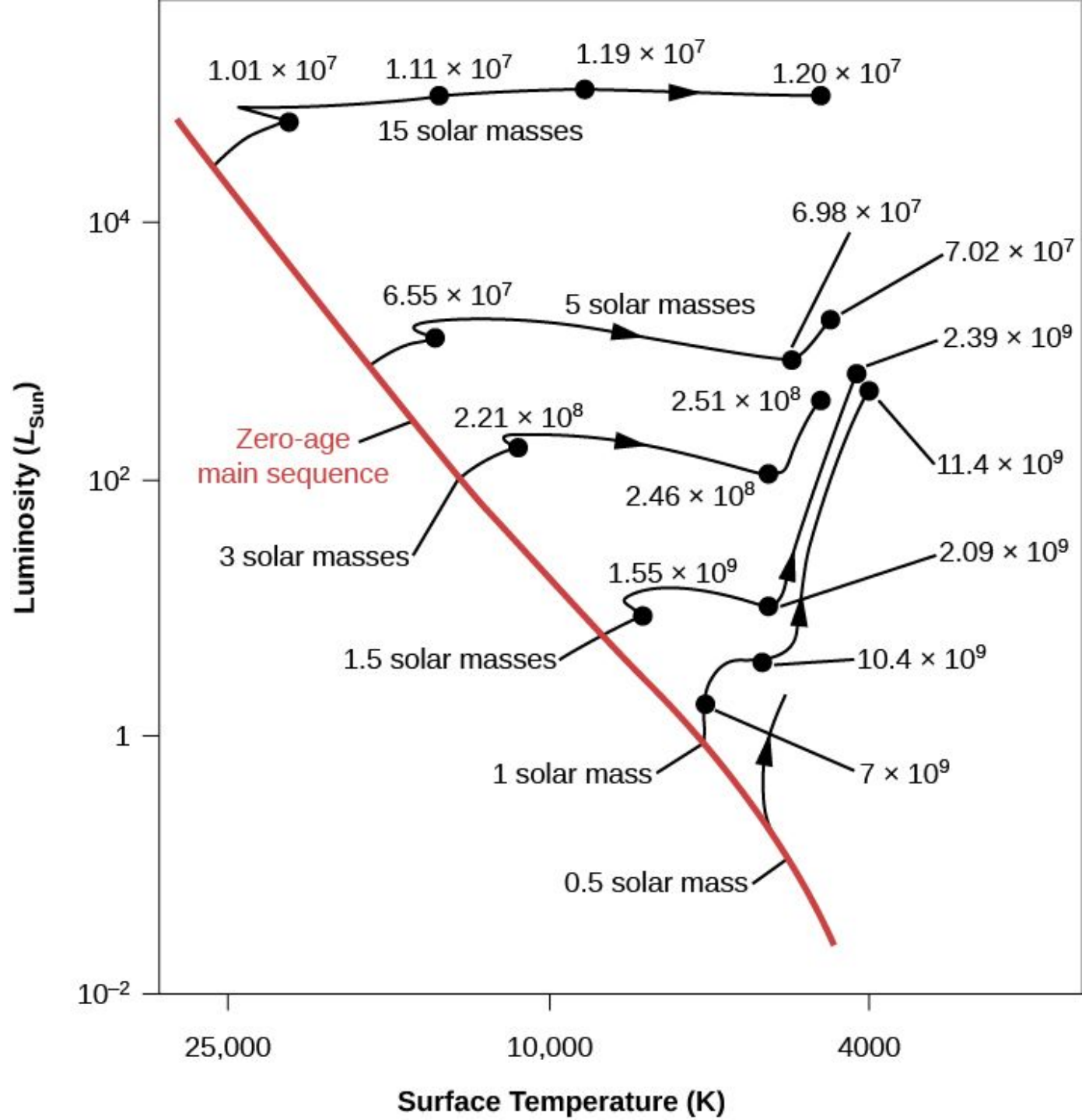
Evolução estelar depende principalmente da massa inicial, mas também depende da metalicidade

Trajетórias evolutivas descrevem a evolução temporal de estrelas individuais

Variação de parâmetros estelares (temperatura, pressão, raio) em função do tempo  $t$

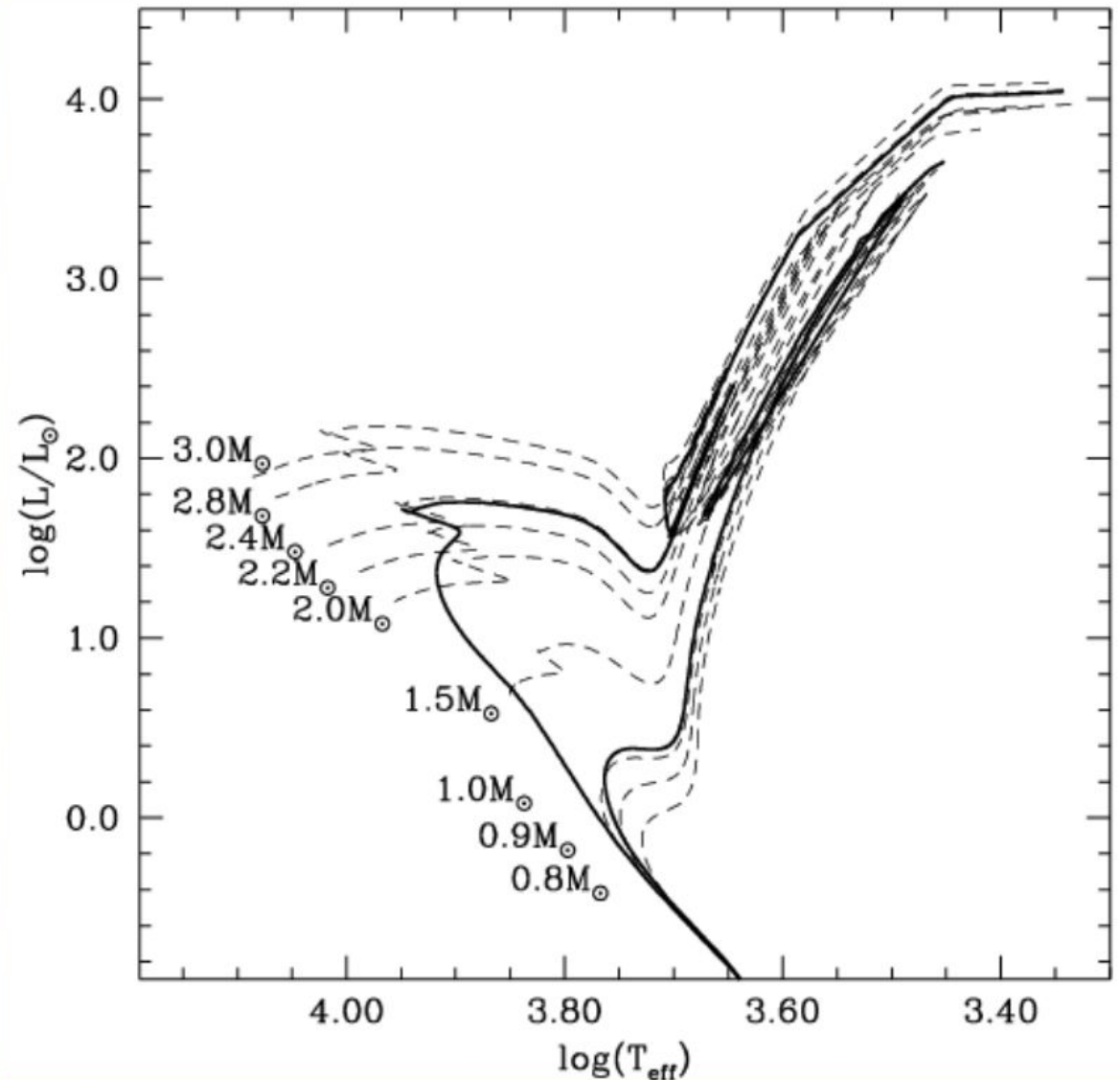
idade é **diferente** de estágio evolutivo

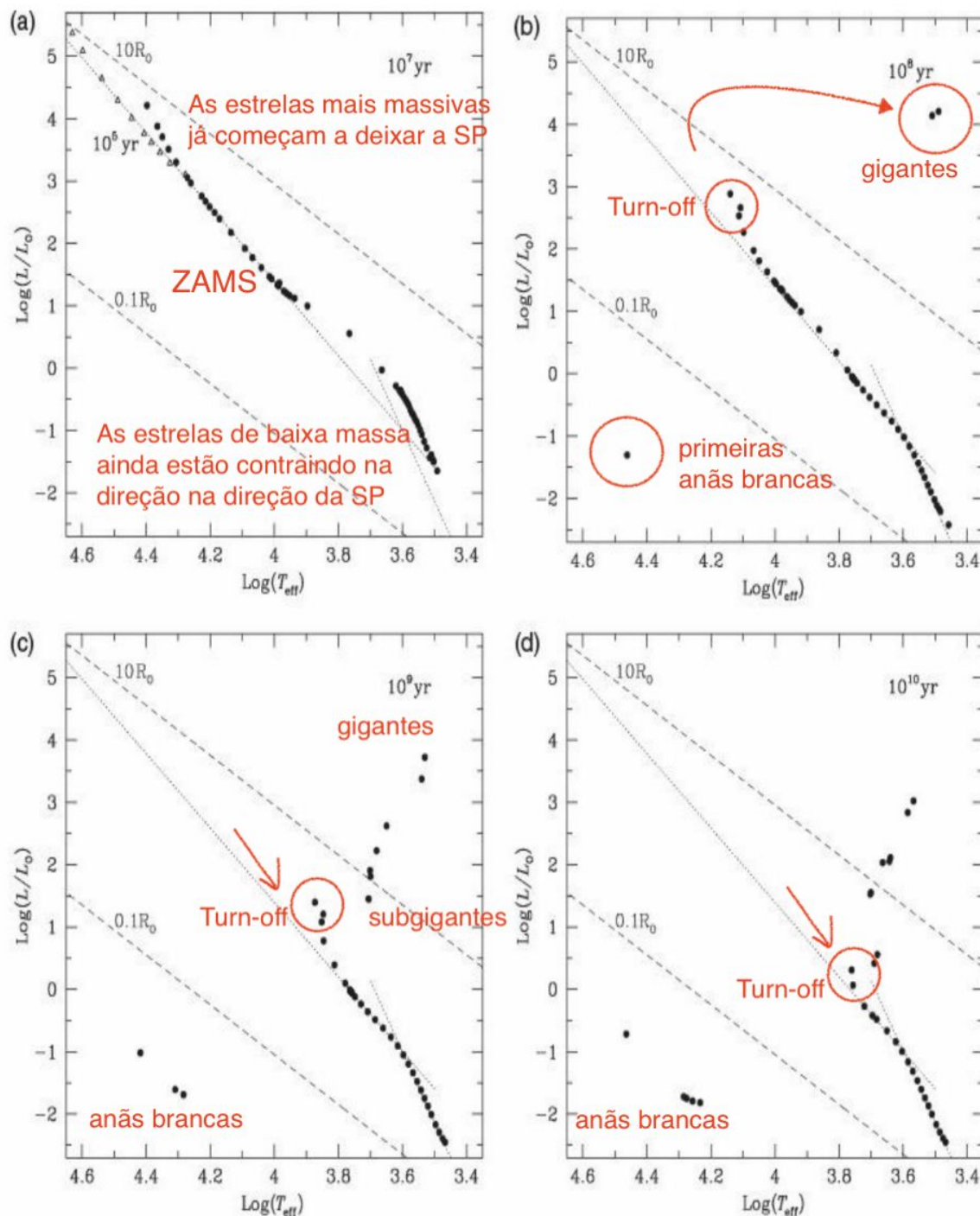




## ISÓCRONAS

- considere um conjunto de trajetórias evolutivas calculadas para a mesma composição química e para diferentes massas estelares
- diferentes pontos ao longo de uma trajetória individual correspondem a diferentes instantes  $t$
- uma isócrona de idade  $t'$  é uma curva que conecta os diferentes pontos  $t$  de diferentes trajetórias (um ponto por trajetória)
- quando nos movemos ao longo da isócrona, o tempo é constante



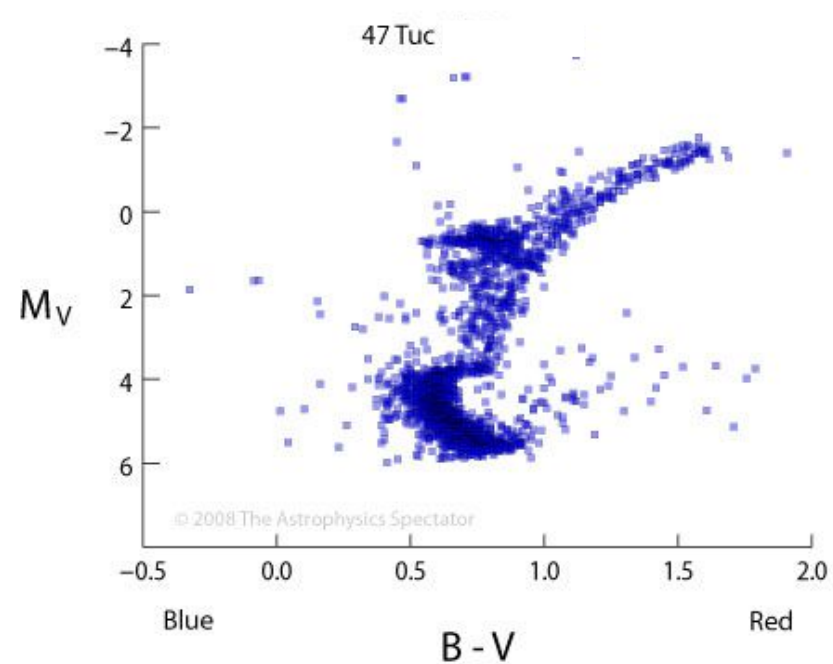
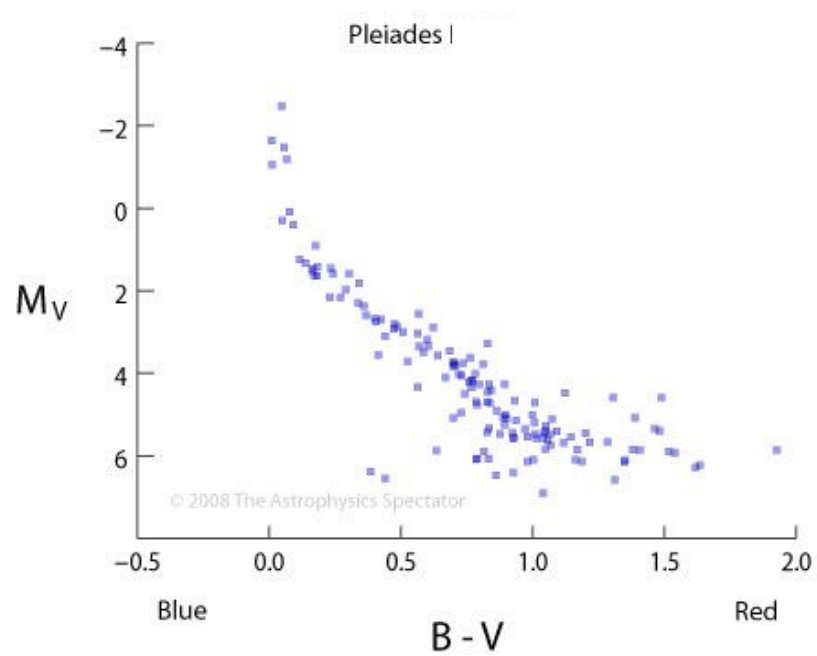


# CMD de aglomerados

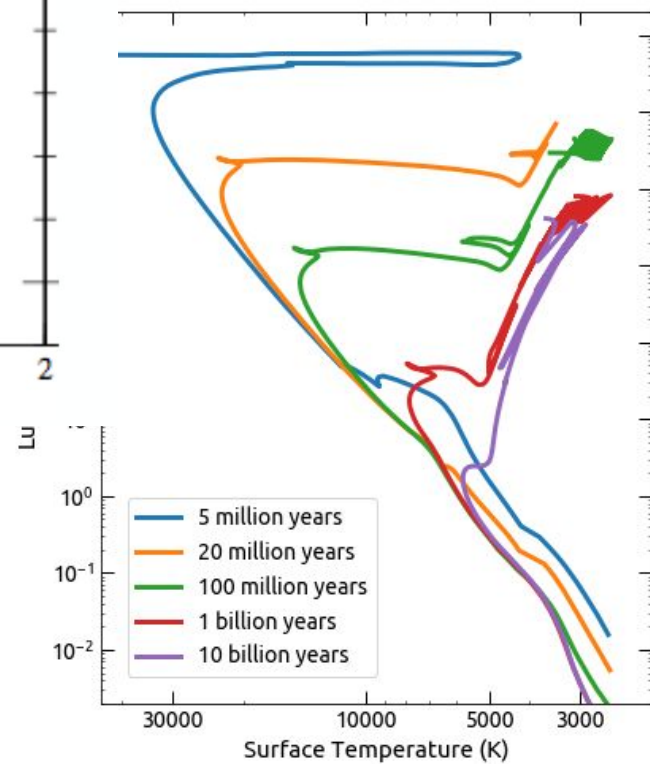
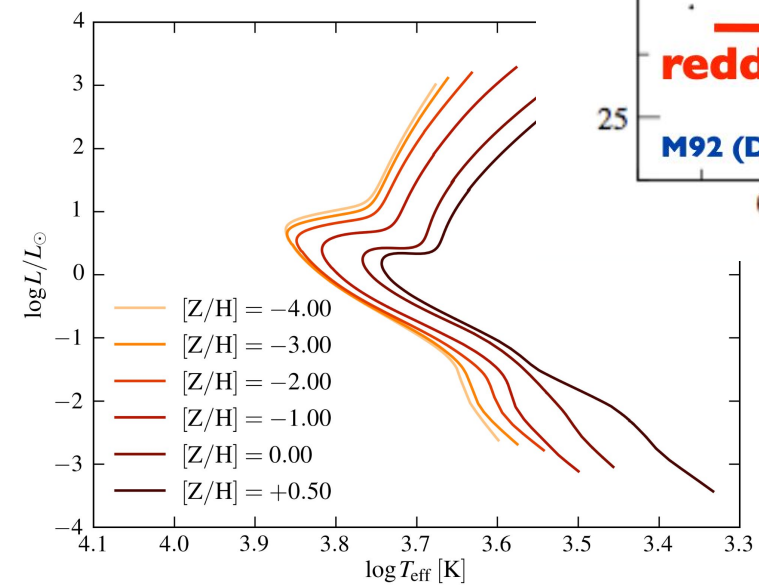
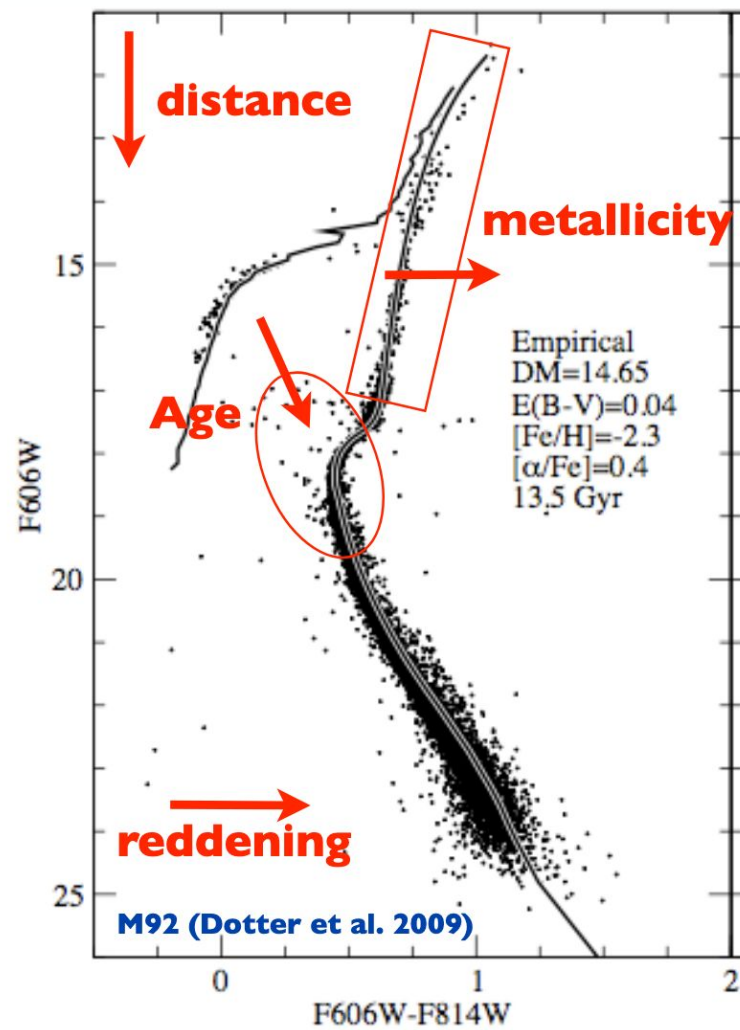
- Estrelas são formadas a partir da contração de fragmentos de nuvens até que atingem a Sequência Principal (SP)
- O tempo de vida de uma estrela na SP depende principalmente da massa da estrela no início da SP
  - estrelas mais massivas evoluem mais rapidamente
- O ponto que marca a saída das estrelas mais massivas da SP (*turn-off point*) é um indicador da idade do aglomerado

(Prialnik 2010)



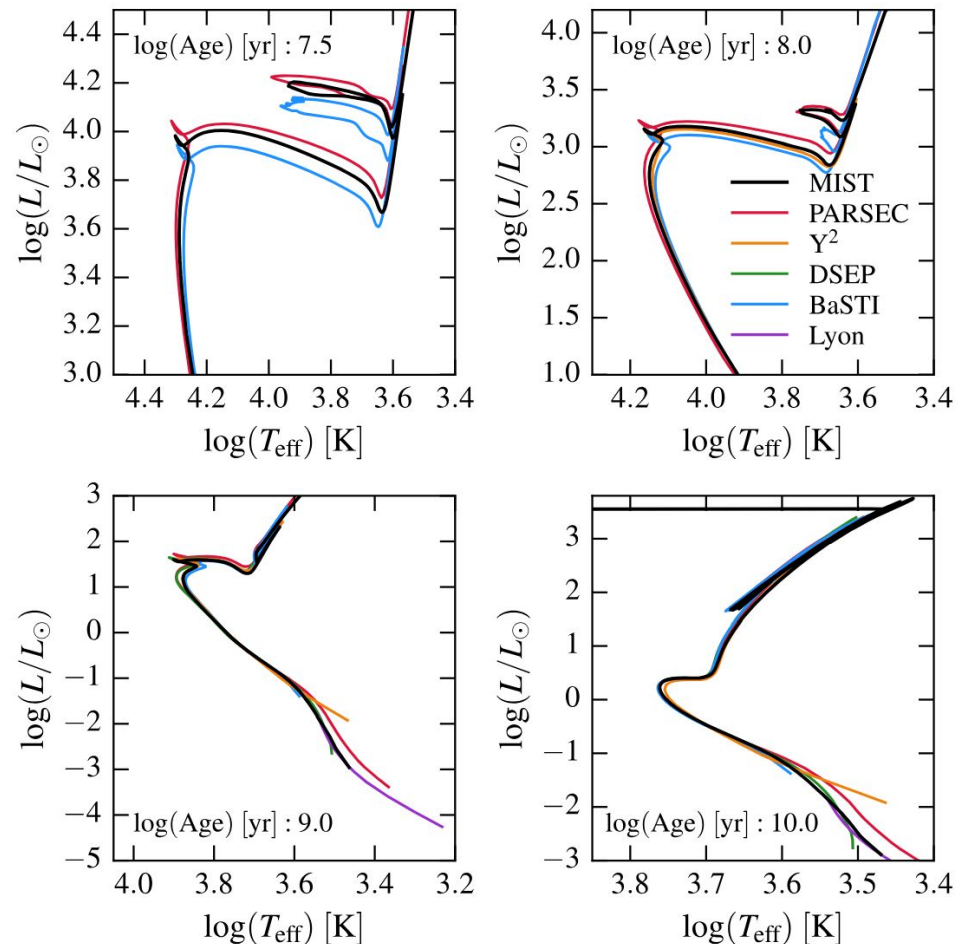






# Modelos de isócronas

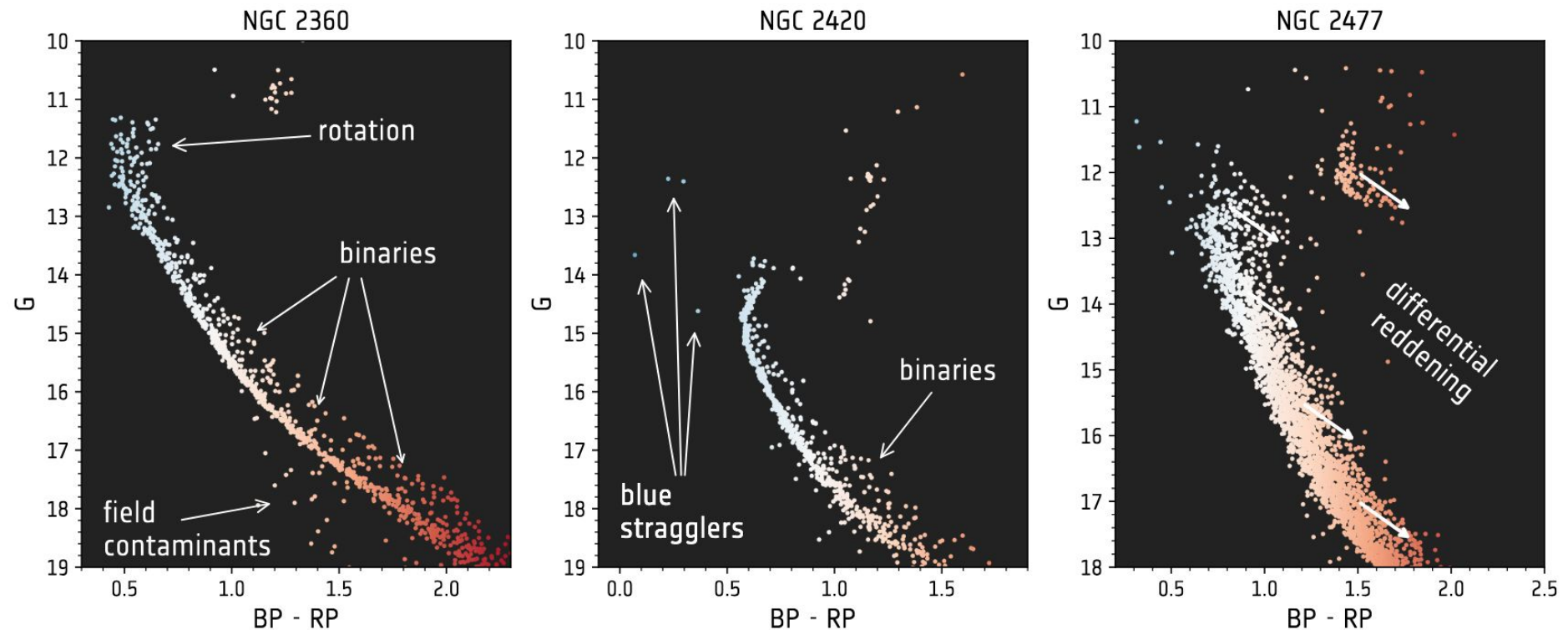
- PARSEC (PAdova and TRIeste Stellar Evolution Code)
  - Grid de trajetórias evolutivas e isócronas cobrindo intervalos de massas (0.1 a  $350 M_{\odot}$ ), idades ( $\log(t)$  entre 6.6 e 10.13) e metalicidades (-2.0 a +0.3)
  - diferentes opções de rotação, extinção
  - isócronas disponíveis para diferentes sistemas fotométricos
- MIST (MESA Isochrones & Stellar Tracks)
  - Trajetórias evolutivas calculadas com código Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA)
  - Grids de modelos de evolução de estrelas isoladas cobrindo todas as fases evolutivas, com espaço de parâmetros cobrindo intervalos de massas (0.1 a  $300 M_{\odot}$ ), idades ( $\log(t)$  entre 5 e 10.3) e metalicidades (-4.0 a +0.5)
  - isócronas disponíveis para diferentes sistemas fotométricos
- E outros...



isócronas para  $Z = Z_{\odot}$  com diferentes códigos  
(Choi et al 2016)

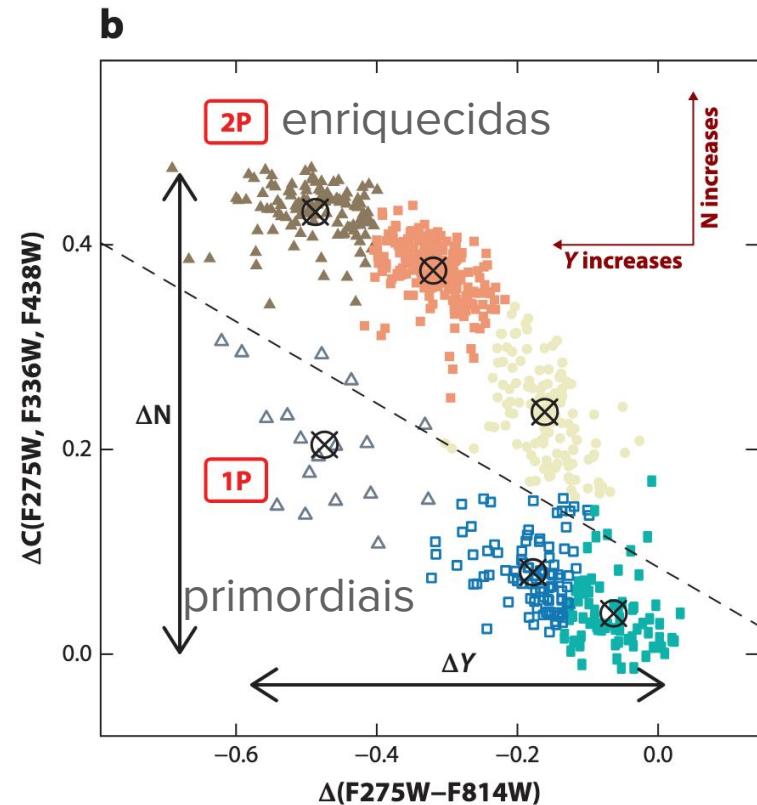
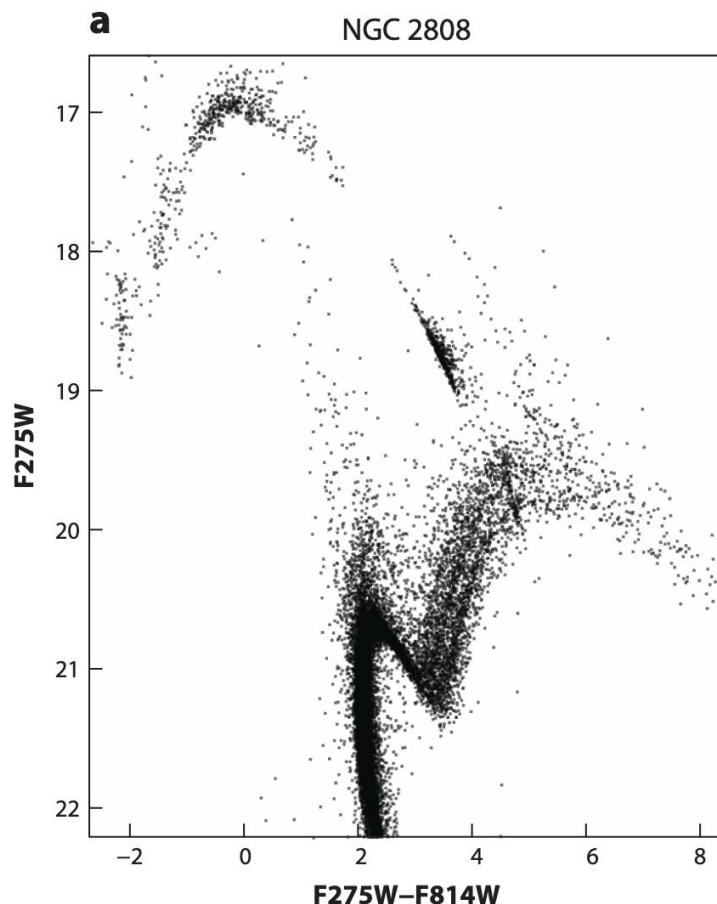
## Usando o CMD além dos nichos principais:

- identificação de membros
- blue stragglers, yellow stragglers
- efeitos de rotação, binaridade e avermelhamento: splits na SP, alargamento da SP



# Pseudo-CMD ou "Chromosome map"

- Ferramenta bastante útil para separar distintas populações estelares em aglomerados globulares (múltiplas populações)
- sensibilidade para diferentes filtros a variações nas abundâncias de diferentes elementos (ex.: He, C, N, O)
- F275W, F336W e F438W da câmera WFC3/UVIS do HST; F606W e F814W da câmera WFC/ACS do HST



(Bastian & Lardo 2018)