

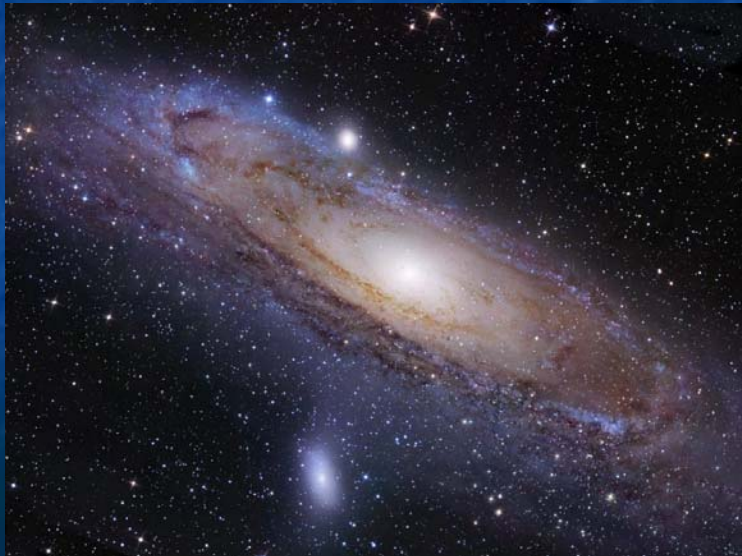


Populações

Estelares

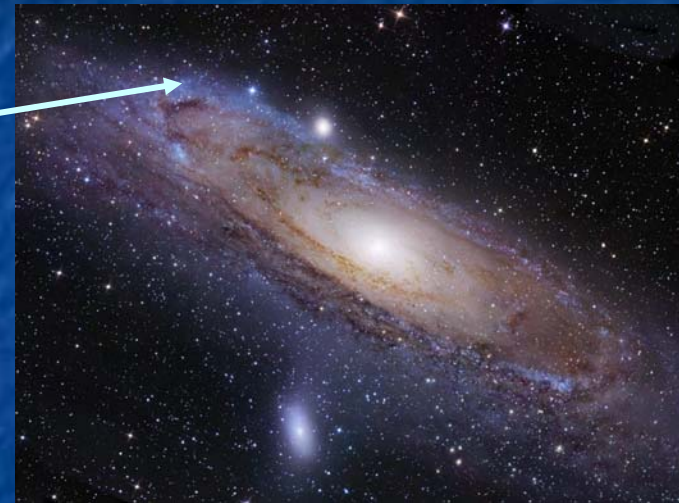
Definição

- Termo: Walter Baade (1893-1960)
- 1944: Telescópio 2.5m, Mt. Wilson: Observação da galáxia de Andrômeda (M 31)
⇒ Duas “populações” estelares



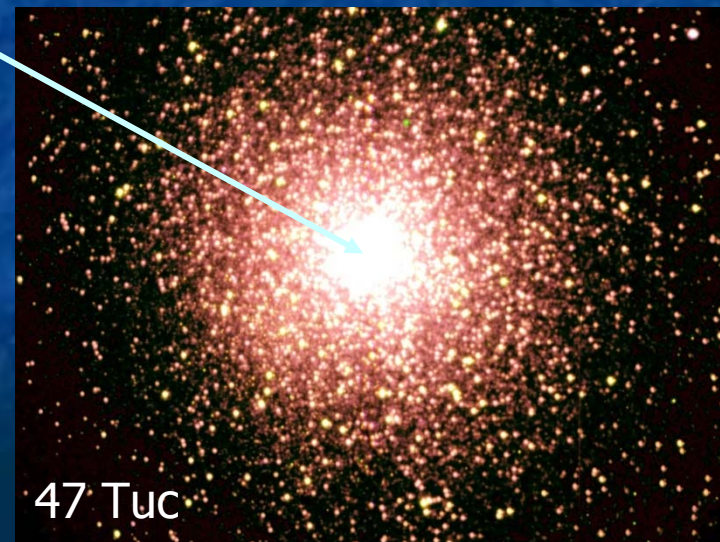
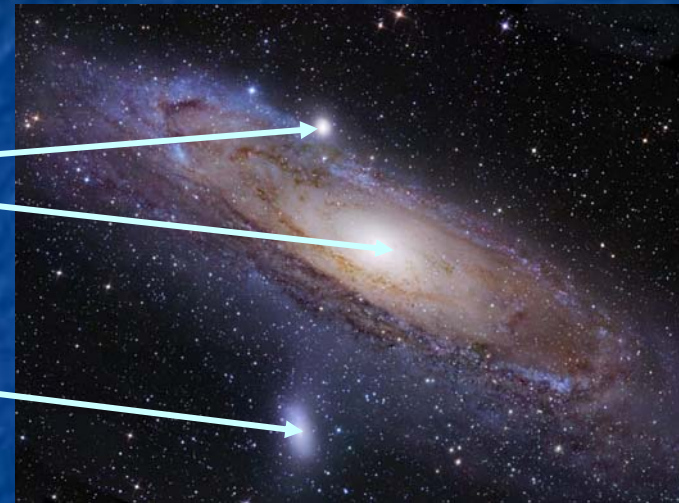
Definição

- População I:
braços espirais de M 31,
Via Láctea:
vizinhança solar
(aglomerados abertos,
meio interestelar):
 - Estrelas OB azuis
($M_V \sim -7$),
estrelas "normais",
nebulosas planetárias,
novas
- ⇒ jovem,
alta metalicidade



Definição

- População II:
bojo de M31,
M32,
NGC205,
Via Láctea:
"estrelas de alta velocidade"
aglomerados globulares
- Gigantes vermelhas
($M_V \sim -3$), RR Lyras,
sub-anãs
⇒ velha, baixa metalicidade
- População III ($Z=0$)
(ainda) não encontrada



Definição

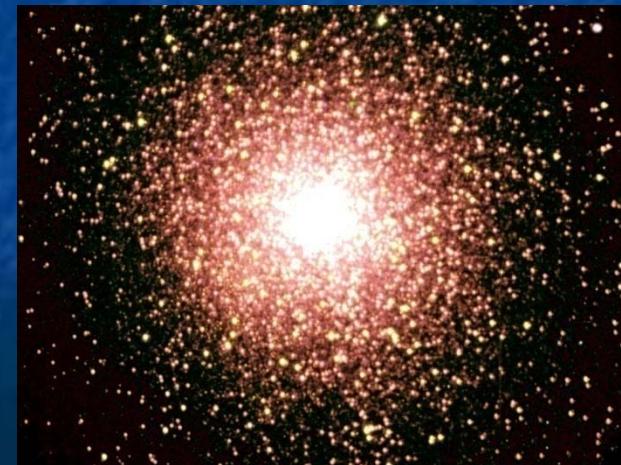
- Hoje:
População estelar = conjunto de estrelas com história de formação em comum
 - População Simples (SSP, ingl. "Simple Stellar Population") formada no colapso de uma nuvem de gás
 - => estrelas com
 - mesma idade
 - mesma composição química
- ex. aglomerados estelares



Nebulosa de Orion

Parâmetros de populações

- População Simples (SSP) determinada por:
 - Massa
 - Idade
 - Metalicidade



Síntese evolutiva de populações simples

Determinação dos parâmetros de populações de uma dada População Simples (de um aglomerado estelar), ou seja

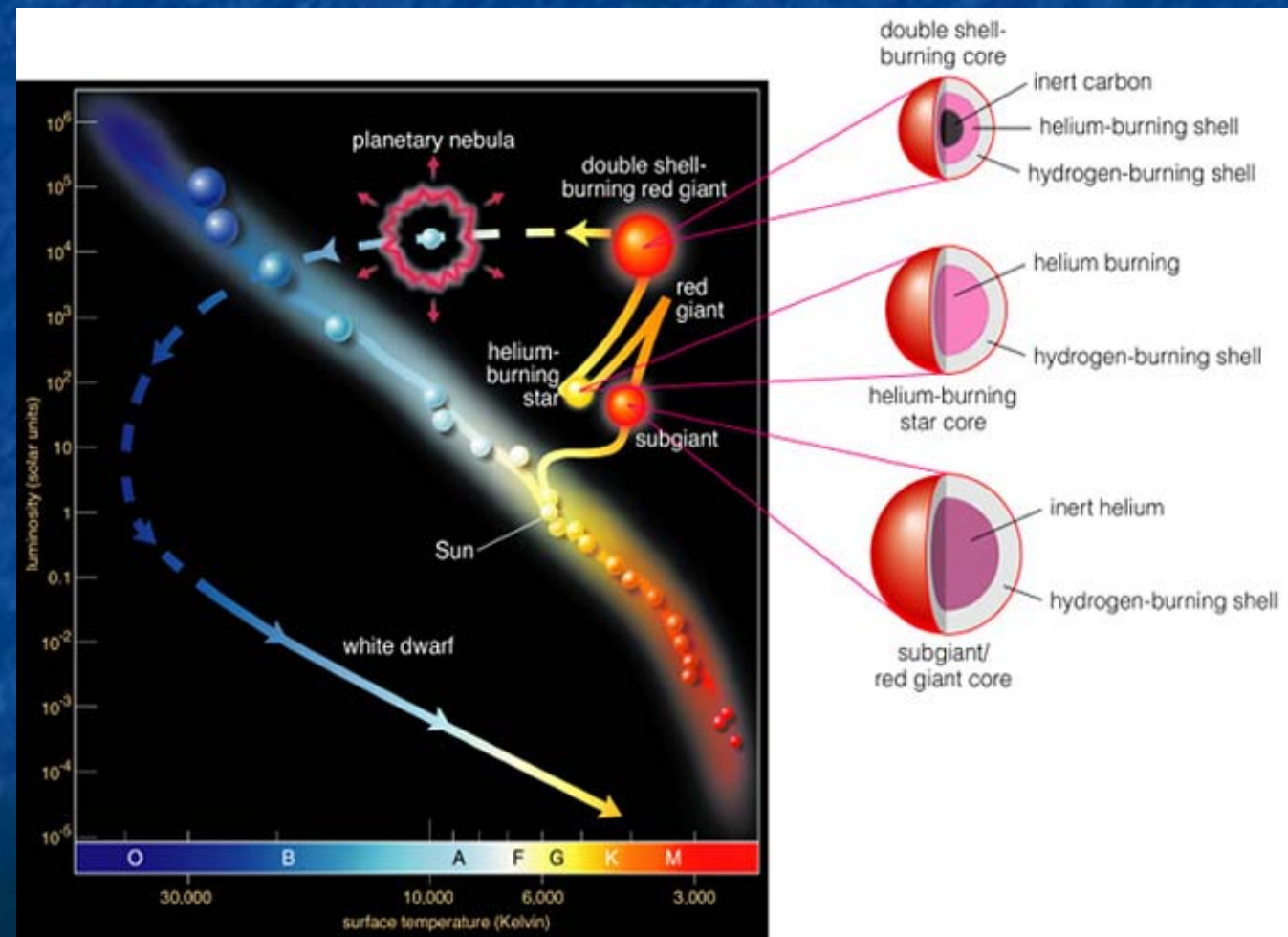
Determinação da sua

- Massa
- Idade
- Metalicidade

Síntese evolutiva de populações simples

Ingredientes:

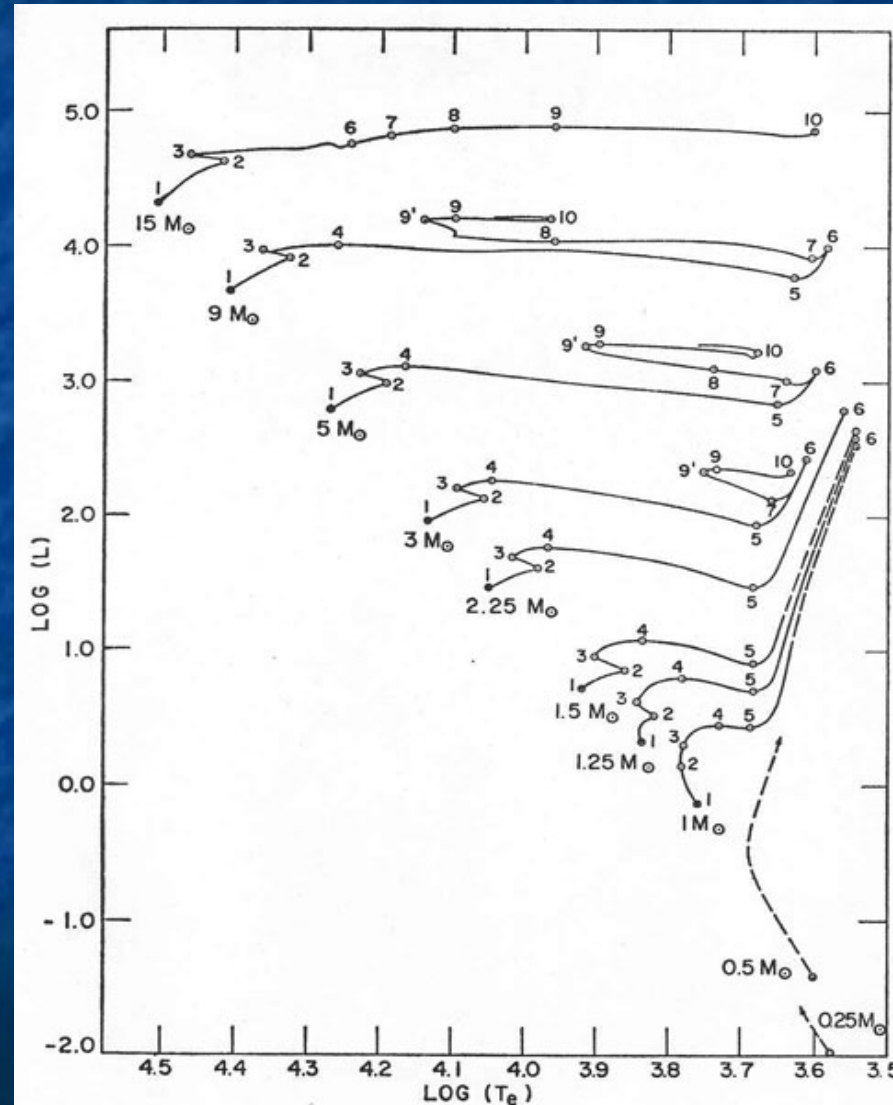
- Modelos de evolução estelar
- ⇒ Caminhos evolutivos
- ⇒ mini-curso do Jules

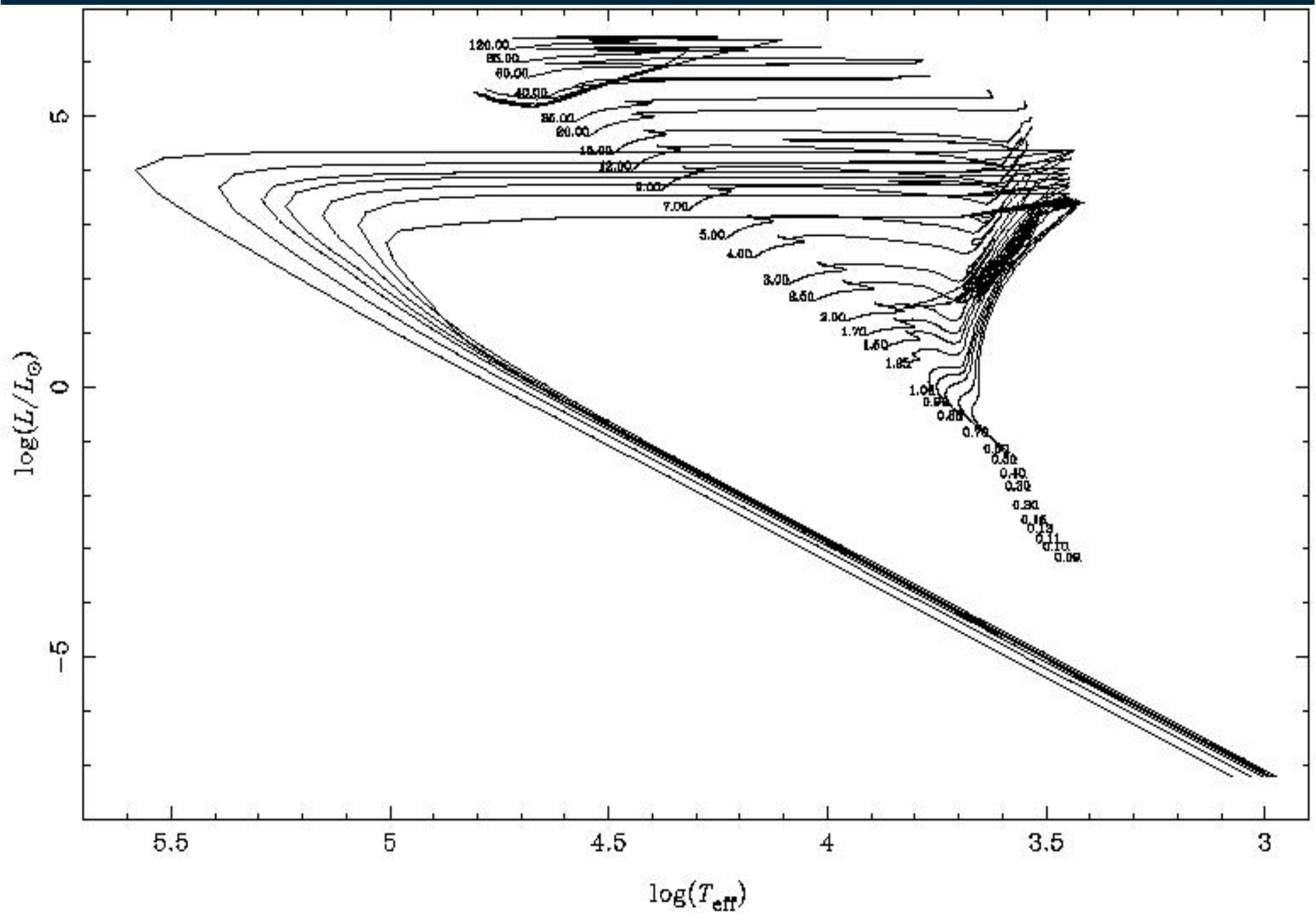


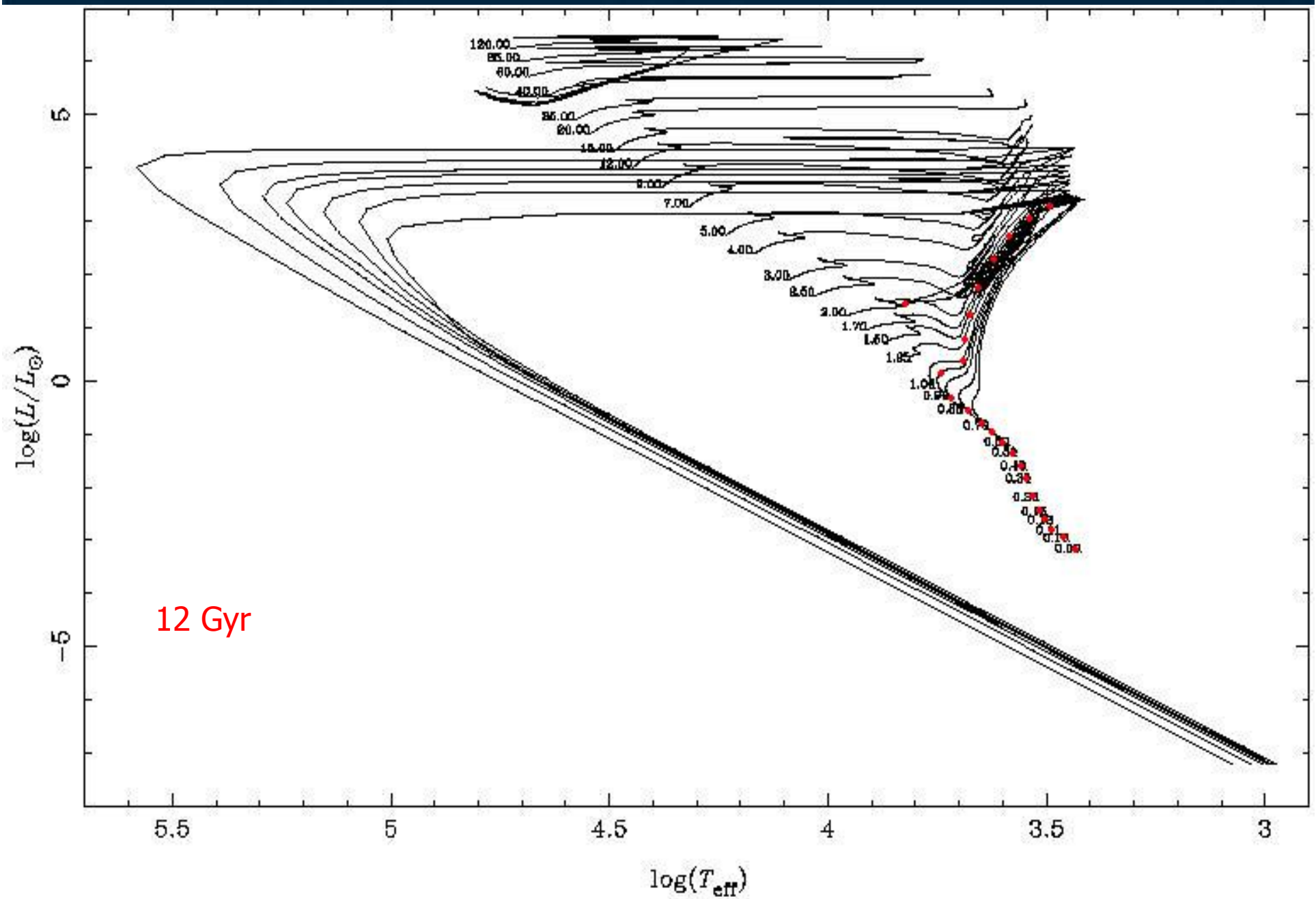
Síntese evolutiva de populações simples

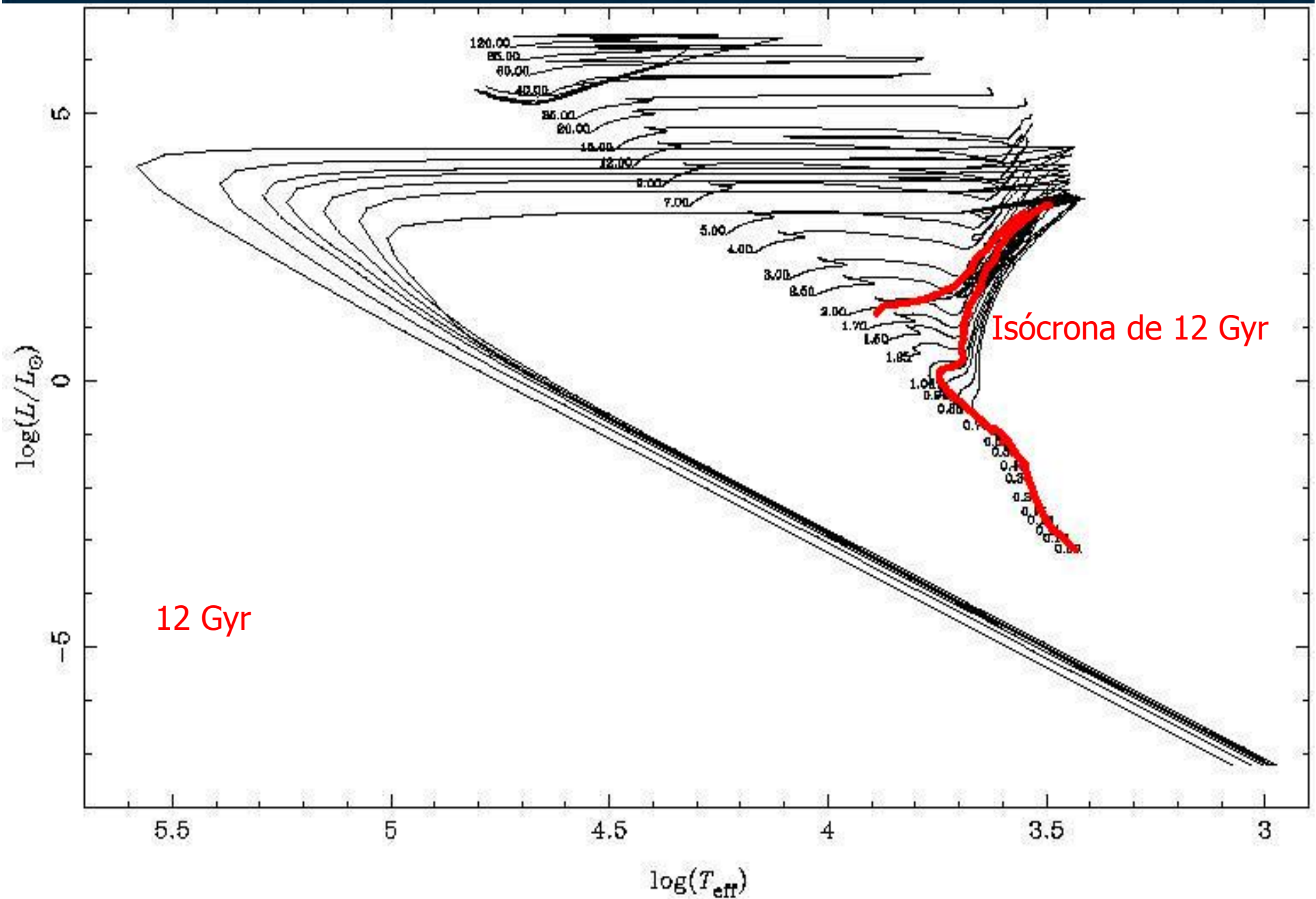
Ingredientes:

- Modelos de evolução estelar
- ⇒ Caminhos evolutivos
- ⇒ mini-curso do Jules







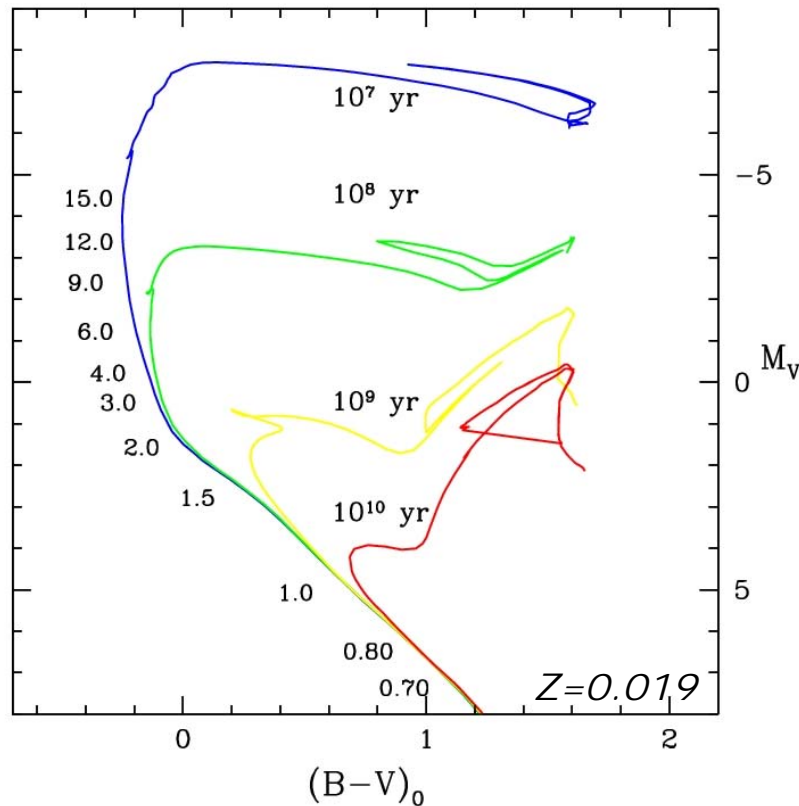


Teoria de evolução estelar

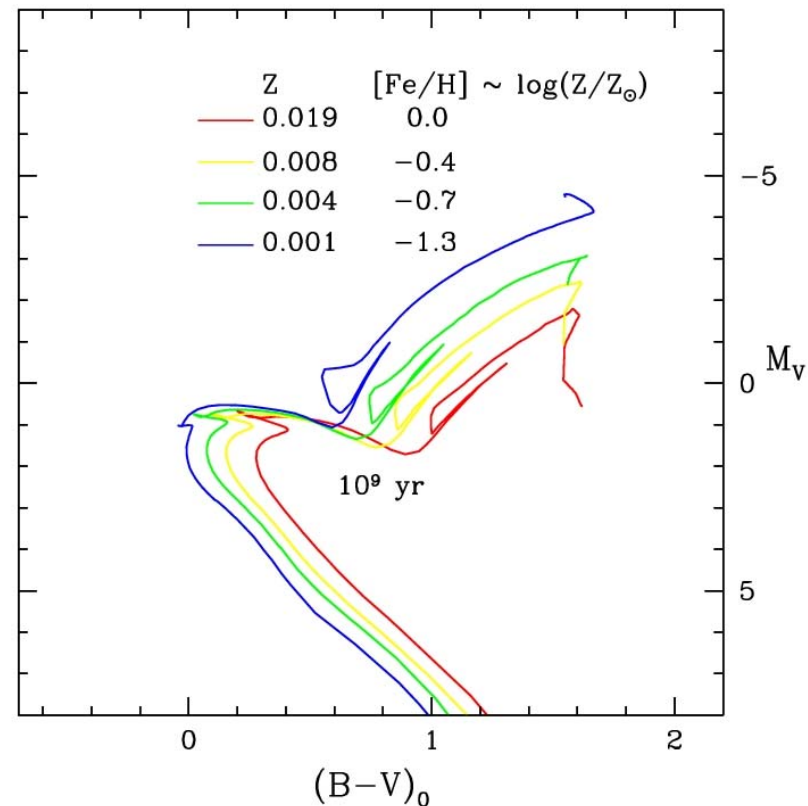
ISÓCRONA → estrelas com mesma idade e composição química

- brilhante
+ brilhante
Mag. absoluta → Luminosidade

Efeito da idade



Efeito com a metalicidade (Z)



Índice de cor → temperatura
+ quente + frio

Isócronas: Pádova (Girardi et al. 2002)

Ajuste de isócrona

Aglomerados Abertos

M6



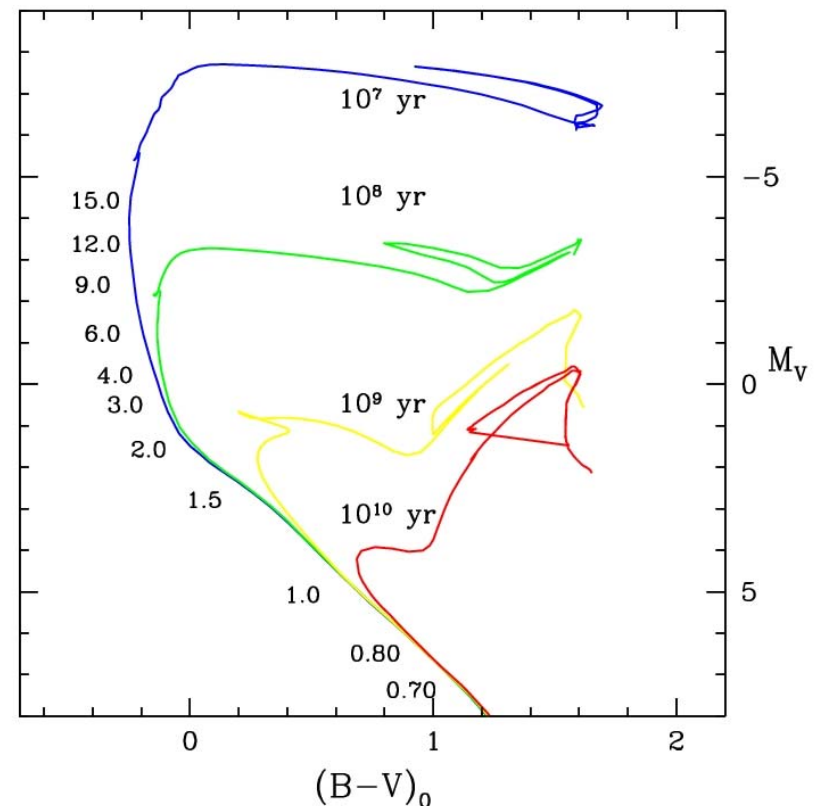
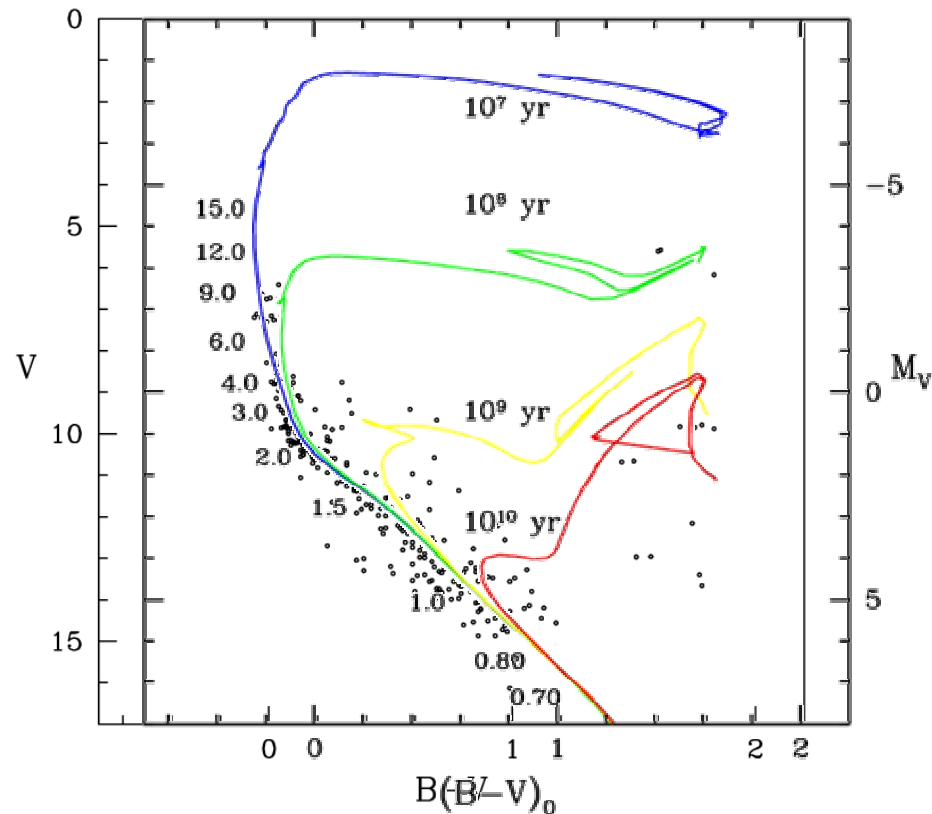
Ajuste de isócrona:

$$V = M_V + A_V + 5 \log(d/\text{pc}) - 5$$

$$B-V = (B-V)_0 + E(B-V)$$

$$A_V = 3.1E(B-V)$$

IDADE, Z, DISTÂNCIA, $E(B-V)$



Ajuste de isócrona

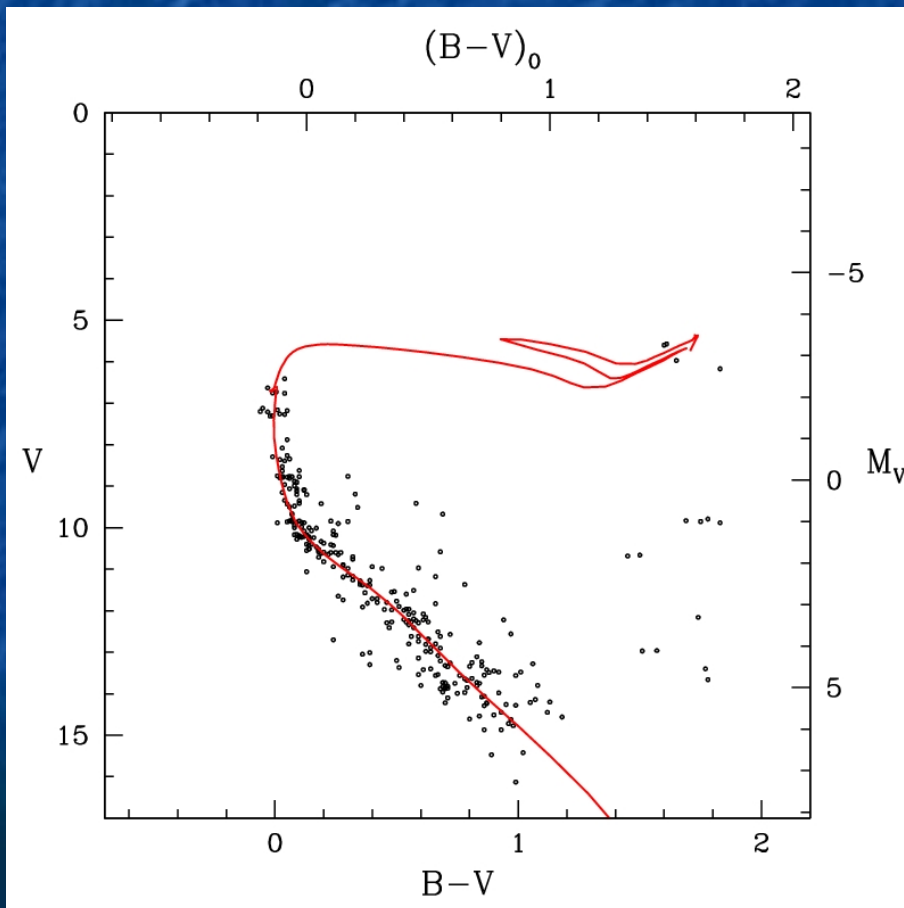
Aglomerados Abertos

M6



$$V = M_V + A_V + 5 \log(d/\text{pc}) - 5$$
$$B-V = (B-V)_0 + E(B-V)$$
$$A_V = 3.1 E(B-V)$$

IDADE, Z, DISTÂNCIA, E(B-V)



IDADE = 100 mi anos
→ $\log(\text{idade})=8.00$

Z = 0.019 (SOLAR)

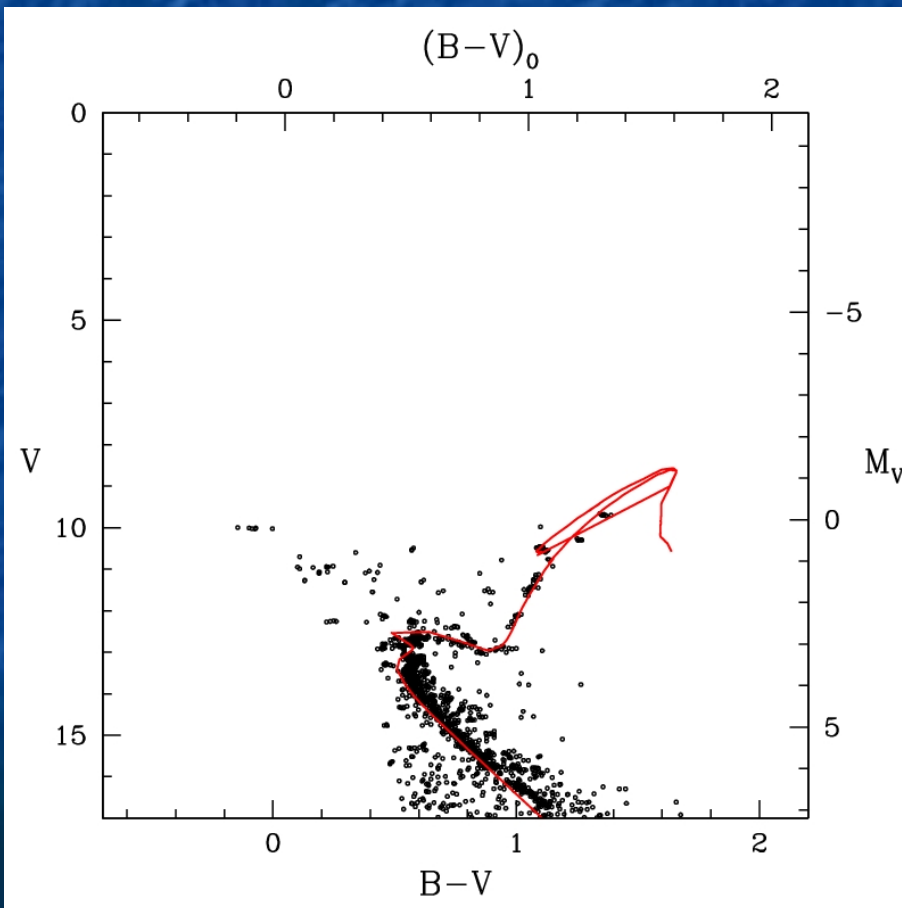
DISTÂNCIA = 0.49 kpc = 1600 a. l.

E(B-V) = 0.13

Ajuste de isócrona

Aglomerados Abertos

M67



IDADE = 3.5 bi anos $\rightarrow \log(idade) = 9.55$

Z = 0.012 $\rightarrow [Fe/H] = -0.2$

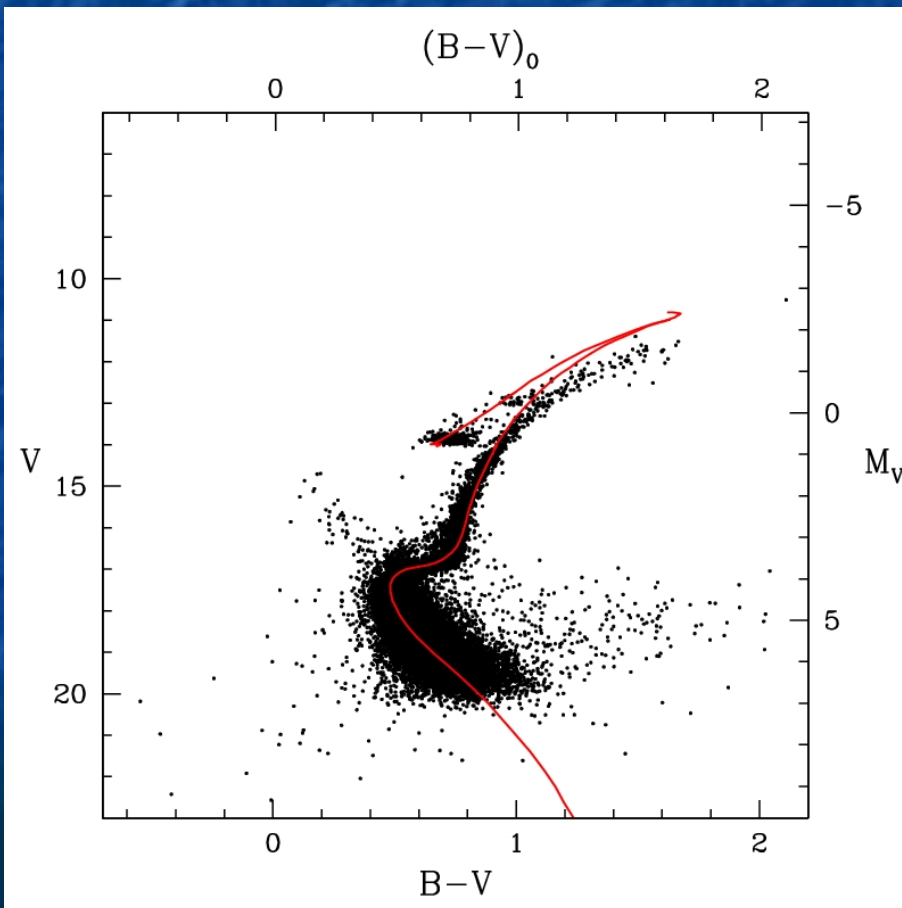
DISTÂNCIA = 0.85 kpc = 2800 a. l.

E(B-V) = 0.05

Ajuste de isócrona

Aglomerados
Globulares

47 Tuc



IDADE = 13 bi anos $\rightarrow \log(\text{idade}) = 10.11$

DISTÂNCIA = 4.4 kpc = 14300 a. l.

E(B-V) = 0.01

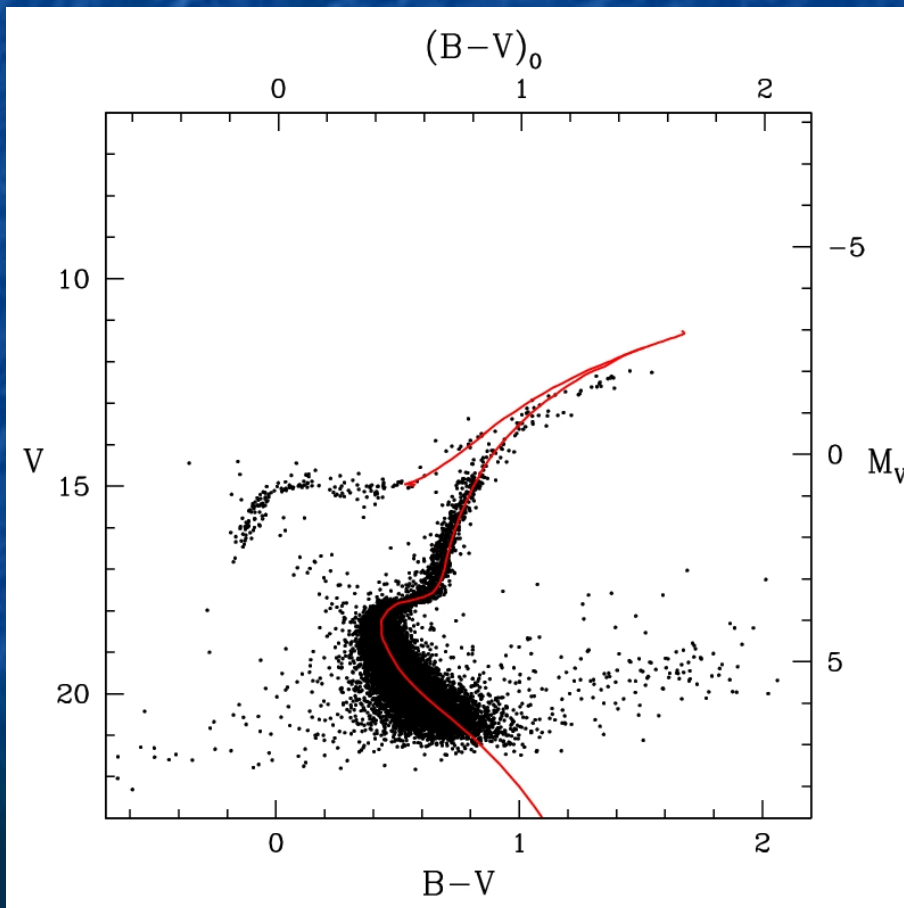
Z = 0.004 $\rightarrow [Fe/H] = -0.7$

Dados: Piotto et al.

Ajuste de isócrona

Aglomerados
Globulares

M5



IDADE = 13 bi anos $\rightarrow \log(\text{idade}) = 10.11$

DISTÂNCIA = 6.9 kpc = 22500 a. l.

E(B-V) = 0.01

Z = 0.001 $\rightarrow [Fe/H] = -1.3$

Dados: Piotto et al.

Diagrama cor-magnitude observado

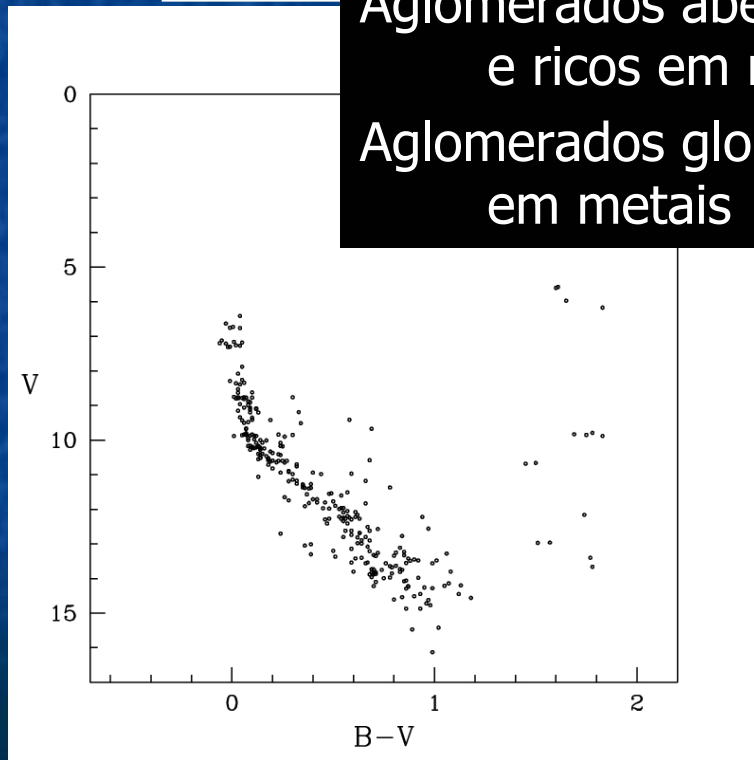
Aglomerados Abertos



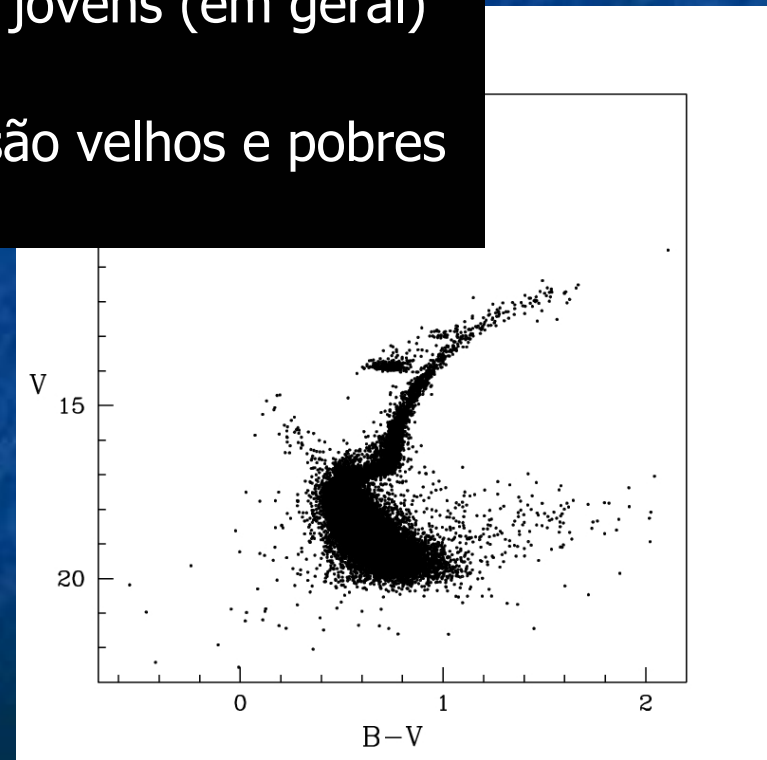
Aglomerados Globulares



Aglomerados abertos são jovens (em geral)
e ricos em metais
Aglomerados globulares são velhos e pobres
em metais



Dados: WEBDA

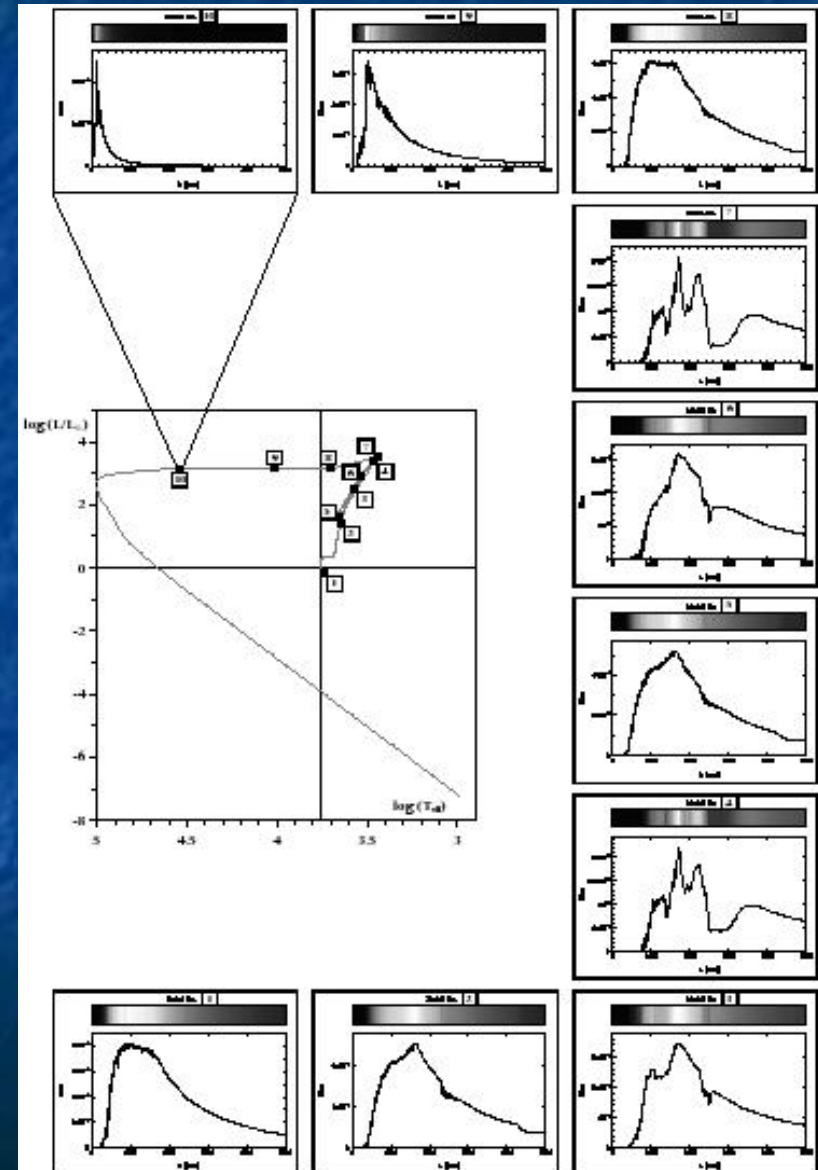


Dados: Piotto et al.

Síntese evolutiva de populações simples

Quando se tem o espectro do aglomerado em lugar do diagrama cor-magnitude:

- Biblioteca estelar
- ⇒ Contem para cada combinação de parâmetros (para cada estrela da população) o espectro



Síntese evolutiva de populações simples

Ingredientes:

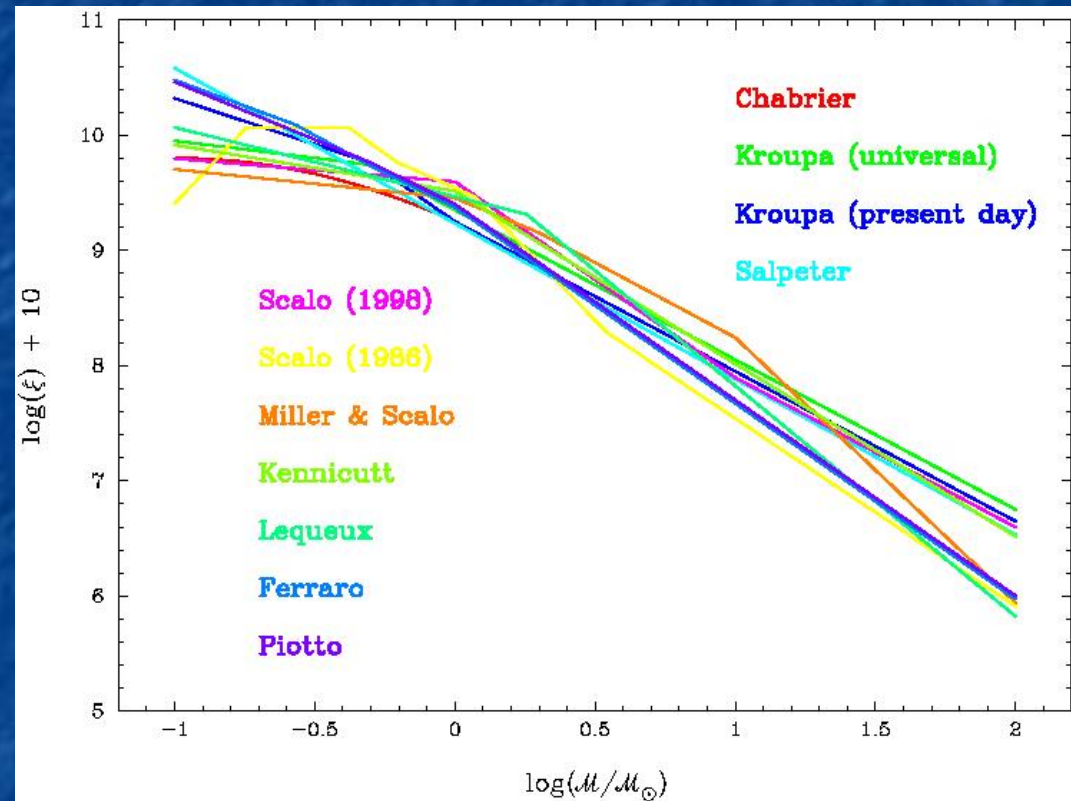
- Função de Massas Iniciais (IMF)

⇒ Número de estrelas formadas em função das suas massas iniciais:

$$dN = \xi(M) d(\ln M)$$

$$M_{\text{tot}} = \int M \xi(M) d(\ln M)$$

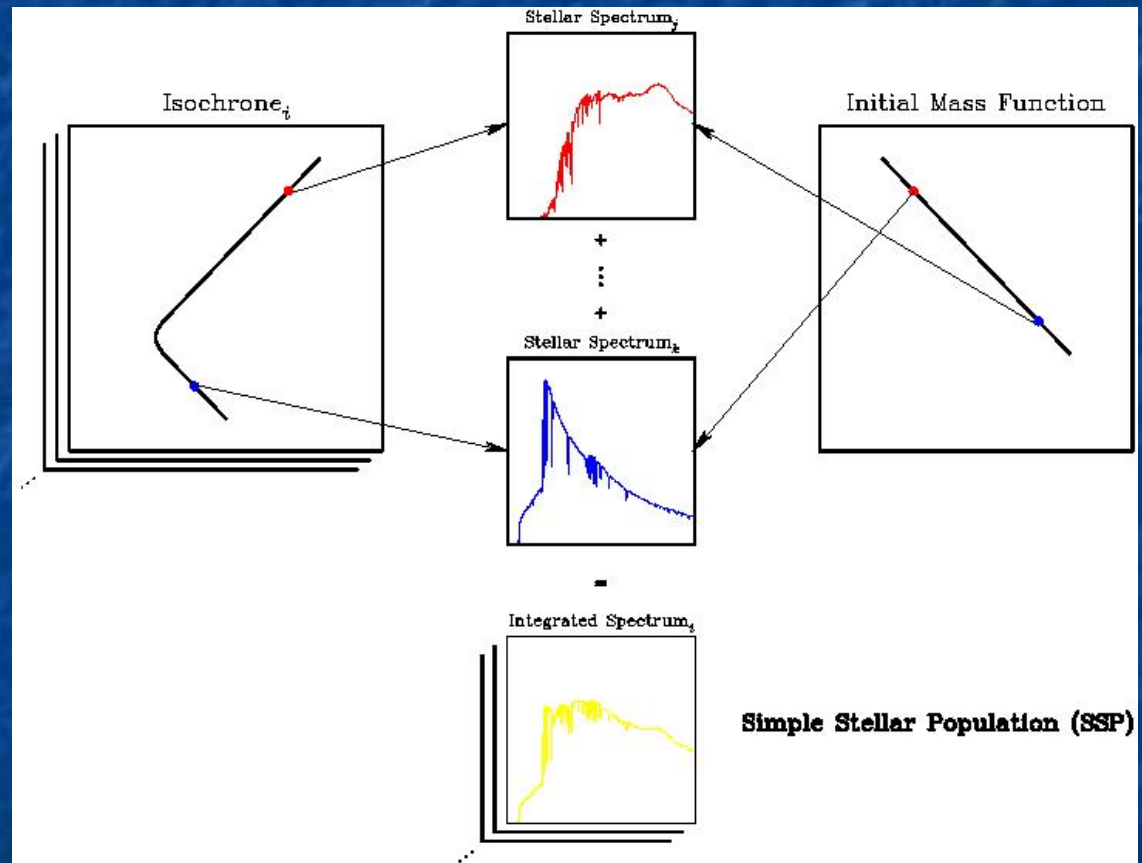
- Aparadamente universal:
Independente de metalicidade, vizinhança, ...



Síntese evolutiva de populações simples

Método

- Somar espectros estelares correspondendo às pontos de uma dada isócrona (idade, metalicidade) com peso dado pela IMF

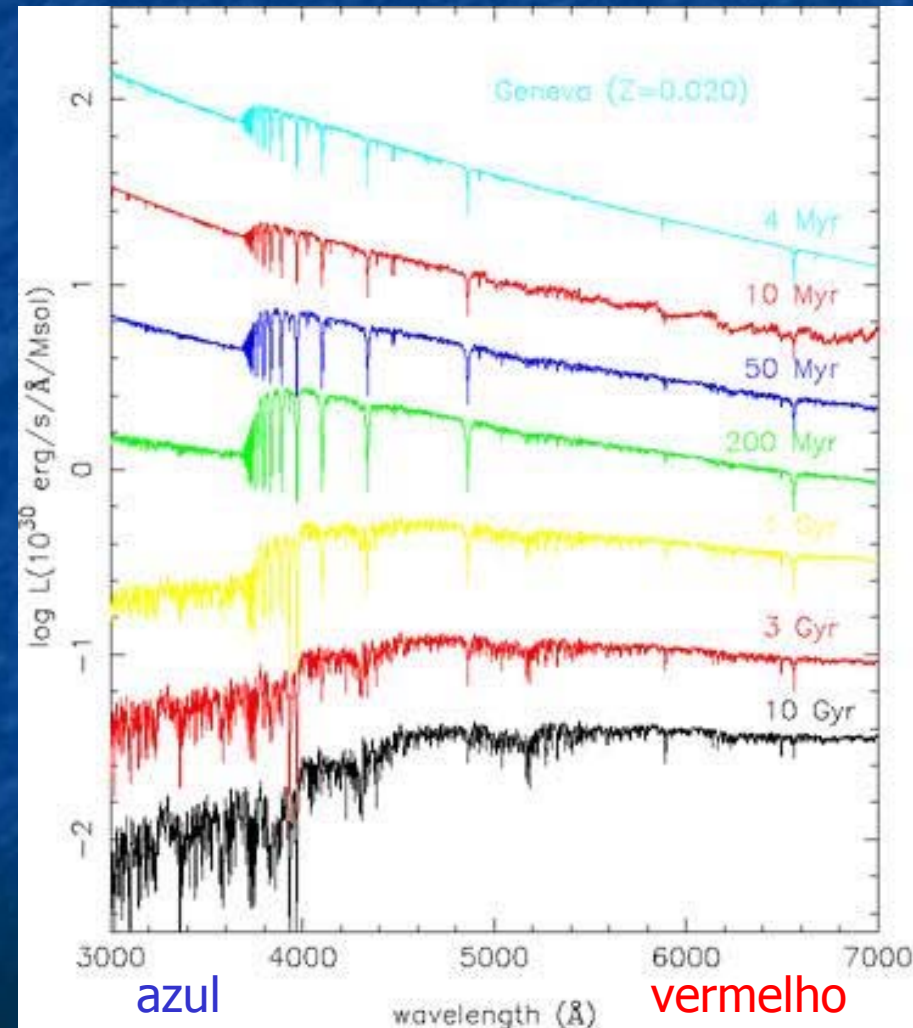


⇒ Espectro integrado da SSP de massa, idade e metalicidade desejadas

Síntese evolutiva de populações simples

Resultados

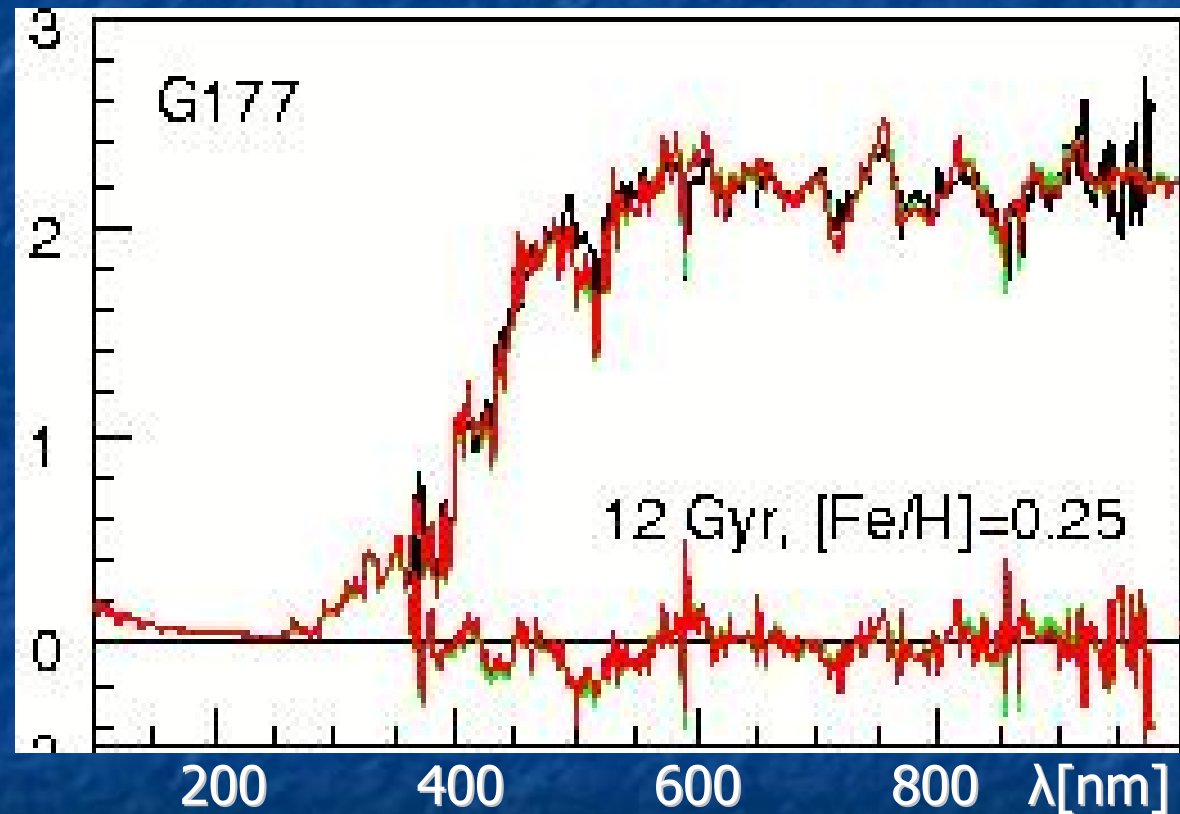
- Evolução espectral de uma SSP
- SSPs se evoluem do azul pro vermelho, luminosidade diminui



Síntese evolutiva de populações simples

Resultados

- Ajuste espectral de uma SSP
- ⇒ Determinação dos parâmetros de populações



Síntese evolutiva de populações simples

Dificuldades

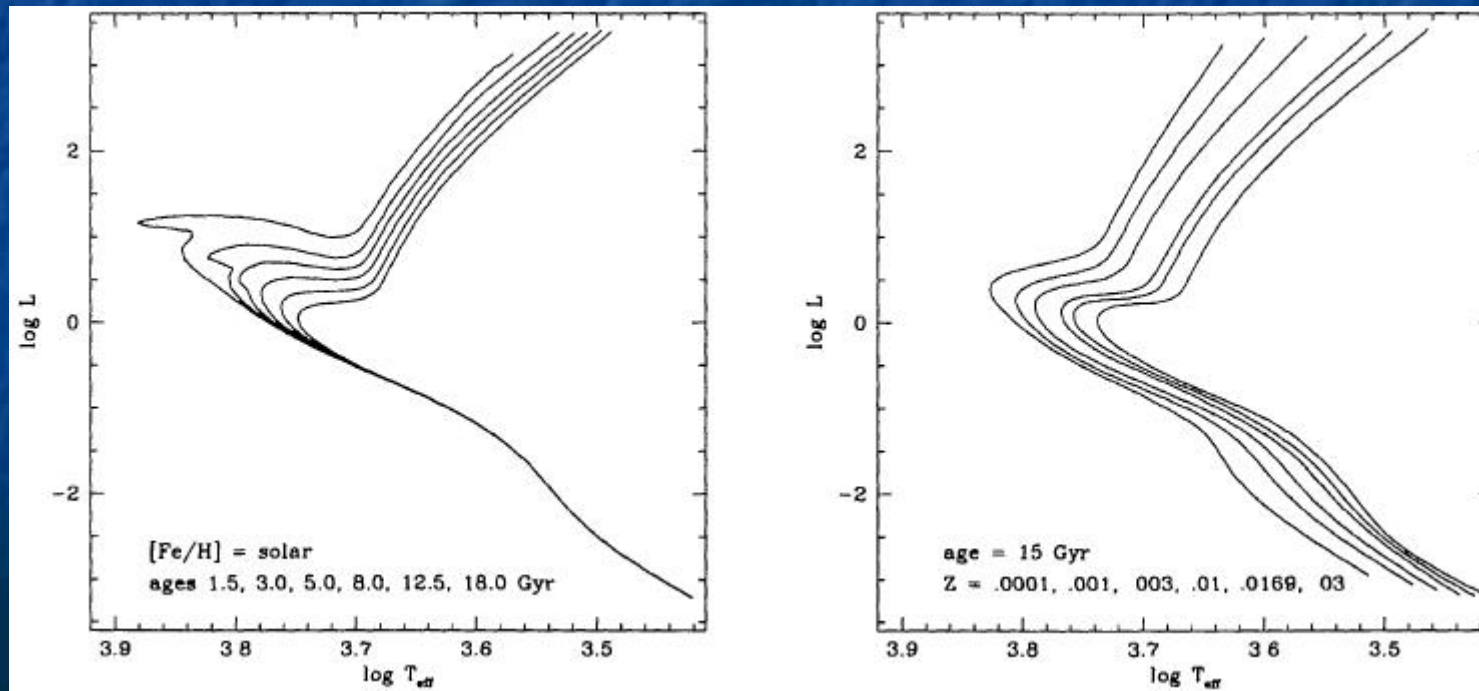
- Imperfeições nos ingredientes (modelos de evolução estelar, biblioteca de espectros, IMF)
- Relações de abundâncias não-solares:
 - Elementos α : (C, N), O, Ne, Mg, Si, S, Ar, Ca, Ti vindo de supernovas tipo II
 - Elementos "iron peak" V, Cr, Mn, Fe, Co e Ni vindo de supernovas tipo I
- Flutuações estatísticas de estrelas brilhantes e pouco numerosas
- Absorção interestelar, "avermelhamento" (imita populações mais velhas / mais ricas em "metais")

Síntese evolutiva de populações simples

Dificuldades

Degenerescência idade-metalicidade
(“age-metallicity degeneracy”, AMD)

- Efeitos de idade e de metalicidade similares

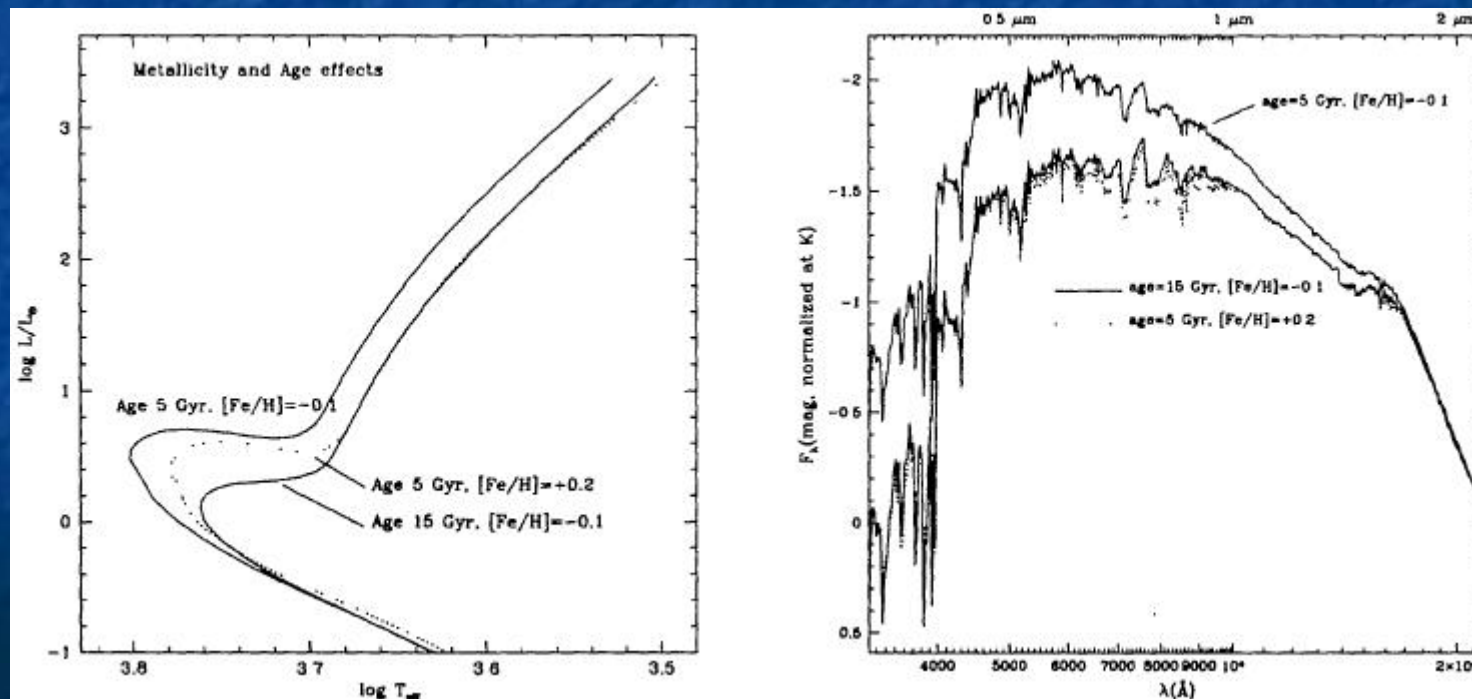


Síntese evolutiva de populações simples

Dificuldades

Degenerescência idade-metalicidade

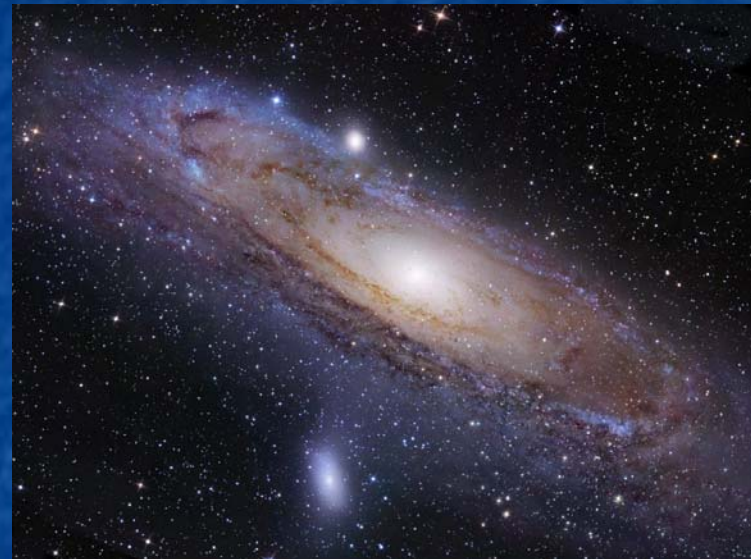
- 3/2 degenerescência: multiplicar idade por fator 3 quase mesmo efeito que multiplicar metalicidade por 2



Síntese evolutiva de populações compostas

- População Composta (CSP, ingl. "Composite Stellar Population") formada em vários períodos de formação estelar (ou um período contínuo)
 - => estrelas com
 - várias idades
 - várias metalicidades
 - => combinação de SSPs

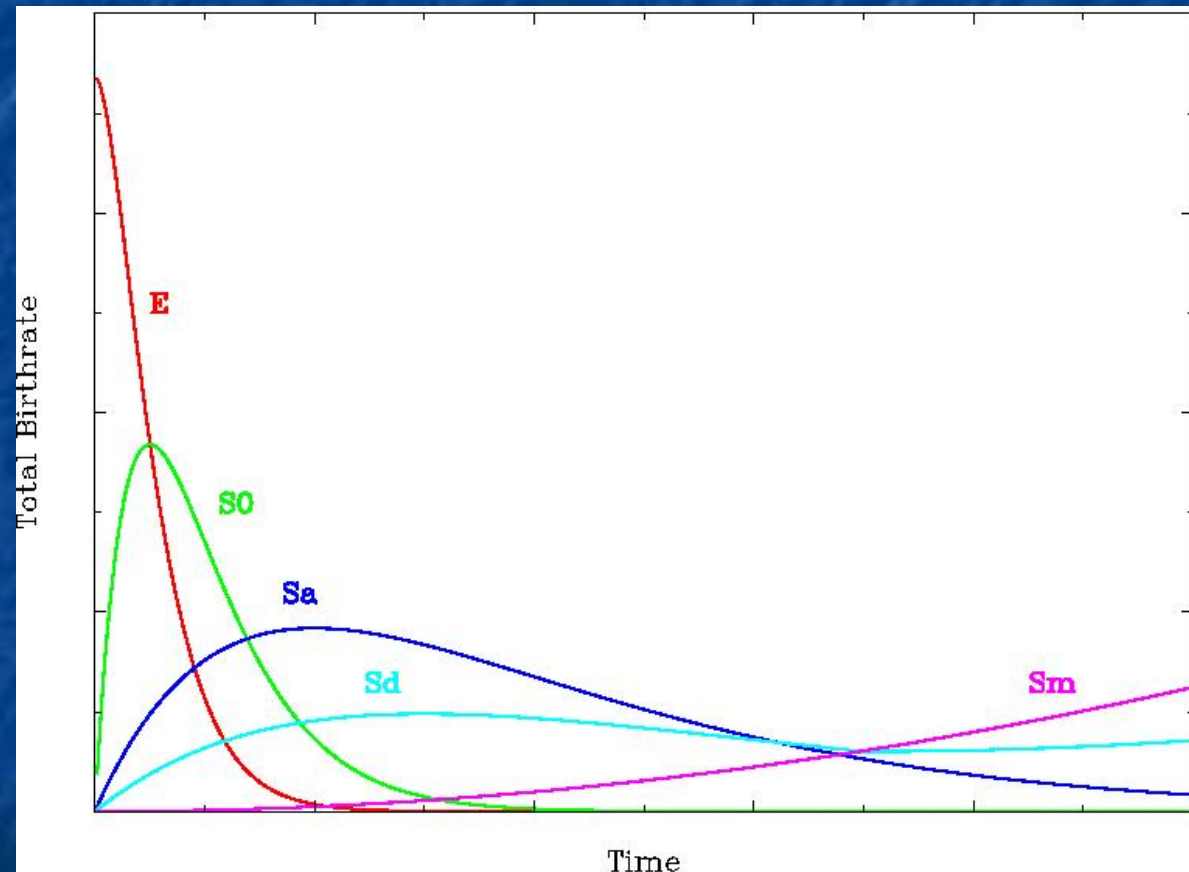
ex. galáxias



Síntese evolutiva de populações compostas

Ingredientes

- Biblioteca de espectros de SSPs
- Modelo de evolução galáctica, ou seja, da história de formação estelar (SFH, "Star Formation History")

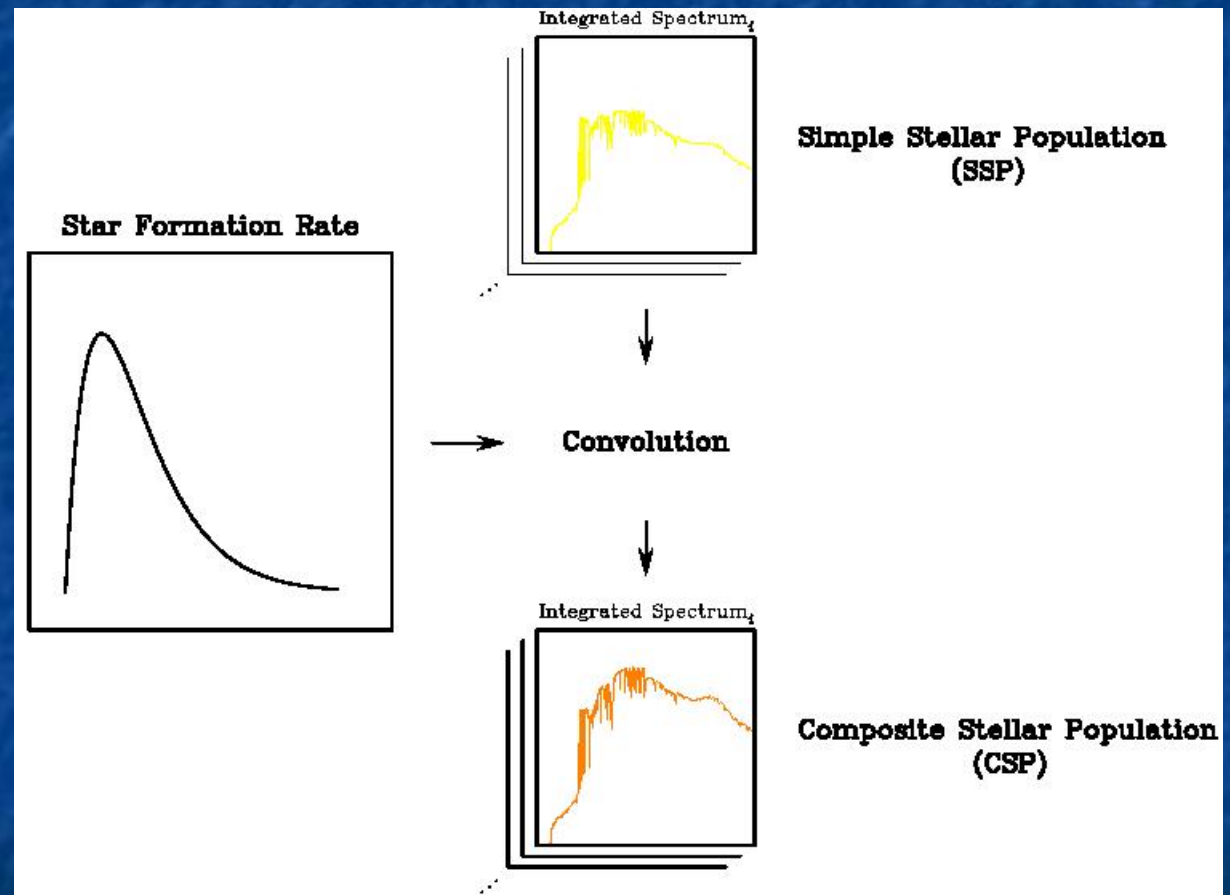


Taxa de formação estelar para vários tipos de galáxia

Síntese evolutiva de populações compostas

Método

- Somar espectros de SSPs correspondendo às idades e metalicidades do SFH com peso dado pela taxa de formação estelar

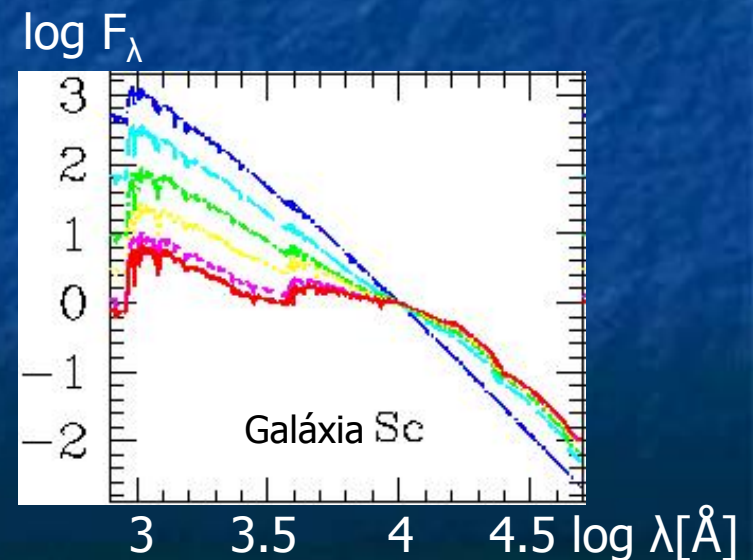
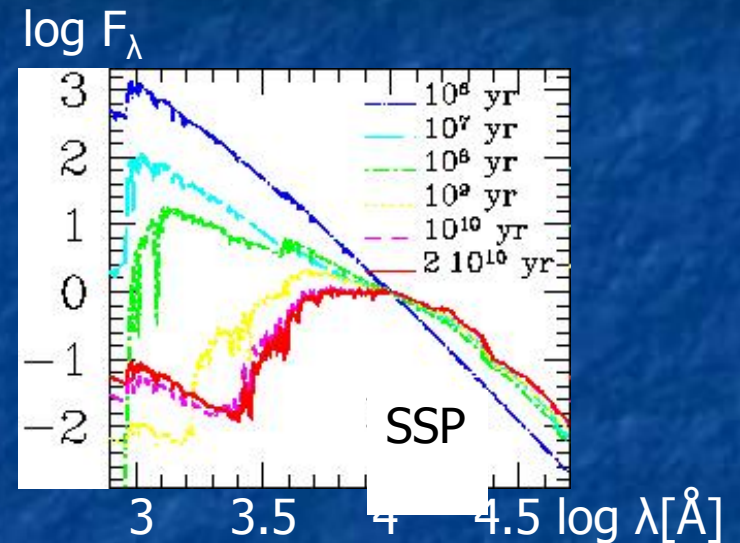


⇒ Espectro integrado da galáxia modelo

Síntese evolutiva de populações compostas

Resultados

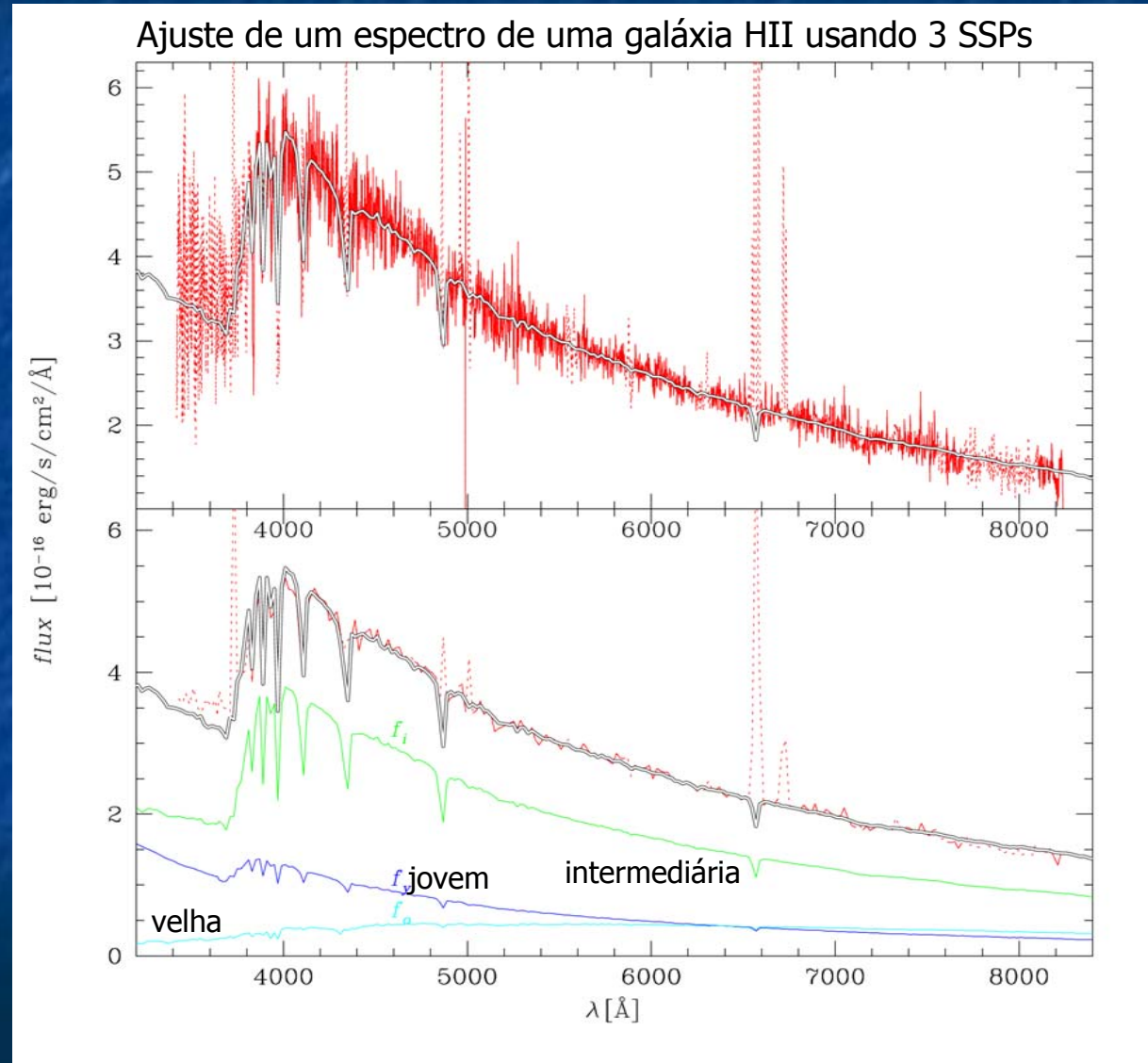
- Evolução espectral de uma CSP
- CSPs (galáxias) com taxa de formação contínua se evoluem do azul pro vermelho mais lentamente do que SSPs (aglomerados)



Síntese evolutiva de populações compostas

Quando não se sabe o tipo de galáxia/
não se tem modelos de SFH:

- Ajuste espectral usando (pequeno) número finito de SSPs variando seus parâmetros de populações

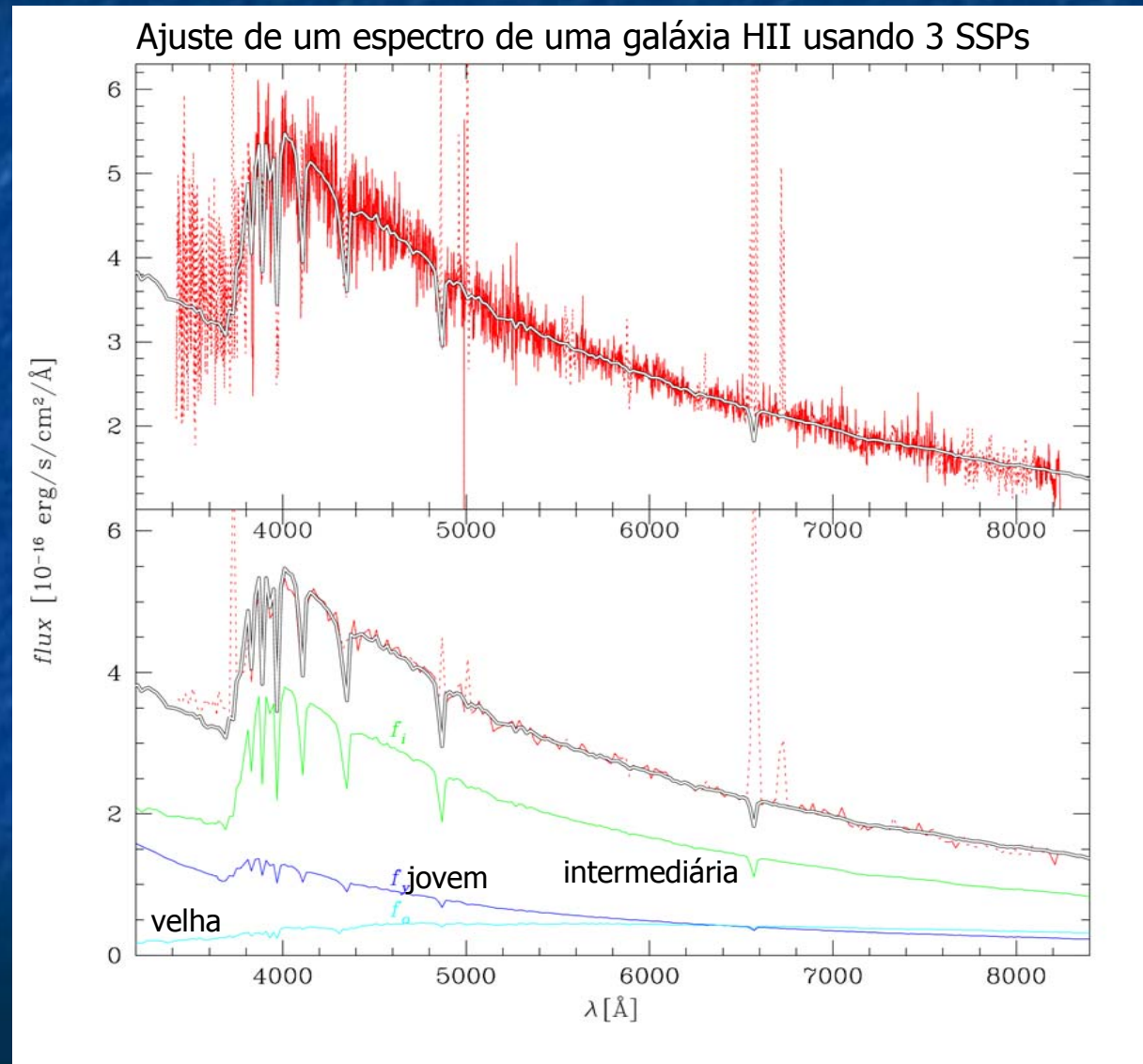


Síntese evolutiva de populações compostas

Resultados

- Espectro bem reproduzido usando 3 SSPs (ou mais):
 - jovem (< 1 mi anos)
 - intermediária
 - velha (≥ 1 bi a)

⇒ Galáxias velhas (> 10 bi anos) com formação estelar desde o começo



Síntese evolutiva de populações compostas

Dificuldades

- As mesmas do que para a síntese de SSPs:
Imperfeições nos modelos, flutuações estatísticas,
relações de abundâncias não-solares,
avermelhamento, Degenerescência idade-metalicidade
- Novas degenerescências:
 - soma de uma população jovem e uma população velha pode imitar uma população intermediária
 - soma de uma população pobre em metais e uma população rico em metais pode imitar uma população com metalicidade intermediária
 - ...

⇒ Número de parâmetro/SSPs que pode ser determinado

Conclusões finais

- População estelar = conjunto de estrelas com história de formação em comum
 - Síntese de populações
=> conteúdo estelar de sistemas estelares como aglomerados, galáxias
 - Dificuldades:
 - Imperfeições nos modelos (modelos de evolução estelar, biblioteca de espectros, IMF, evolução galáctica)
 - Degenerescências
 - Outras (abundâncias não-solares, flutuações estatísticas)
- ⇒ O trabalho continua

A dense field of stars, likely a star cluster or galaxy core, with a concentration of bright stars in the center. The stars are predominantly yellow and white, with some blue and red stars scattered throughout. The background is dark, making the stars stand out. The text 'FIM' is overlaid in the center in a bold, blue, sans-serif font.

FIM