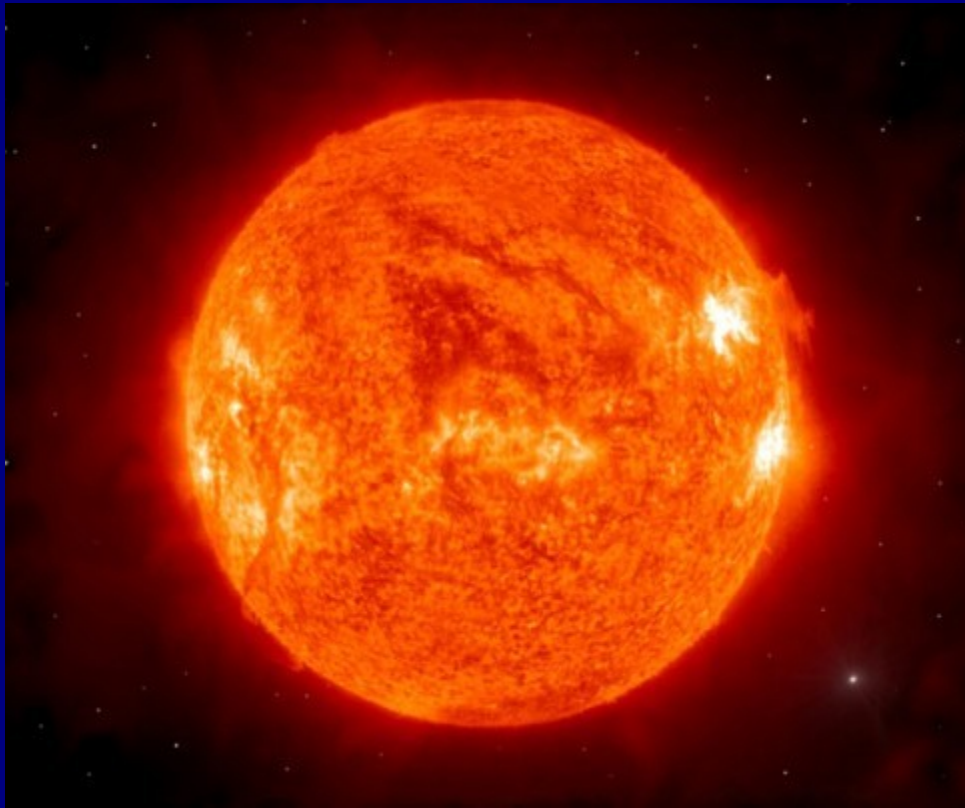




Características das Estrelas e Evolução Estelar



ESTRELA = esfera auto-gravitante de gás ionizado.
Fonte de energia: fusão nuclear de H em He, seguida por fusão em elementos mais pesados.

Massas: $0.08 M_{\odot}$ a $140 M_{\odot}$

Temperaturas: 2500 K a 40 000 K

* anãs brancas: até 200 000 K

* estrelas de nêutrons: até 1 500 000 K

Outras propriedades:

→ Distância (d): mede-se por paralaxe.

→ Luminosidade (L): mede-se a partir do fluxo observado.

$$F = L / (4\pi d^2)$$

→ Raio (R): depende de temperatura e da luminosidade.

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

→ Metalicidade (Z): fração da massa correspondente a metais.

$$X = m_{\text{H}}/M \quad Y = m_{\text{He}}/M \quad Z = m_{\text{Z}}/M$$

$$X + Y + Z = 1$$

What a chemist sees:

H																			He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne		
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar		
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
Fr	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uun	Uuu	Uub								
			La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
			Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

Diagrama Hertzsprung-Russell

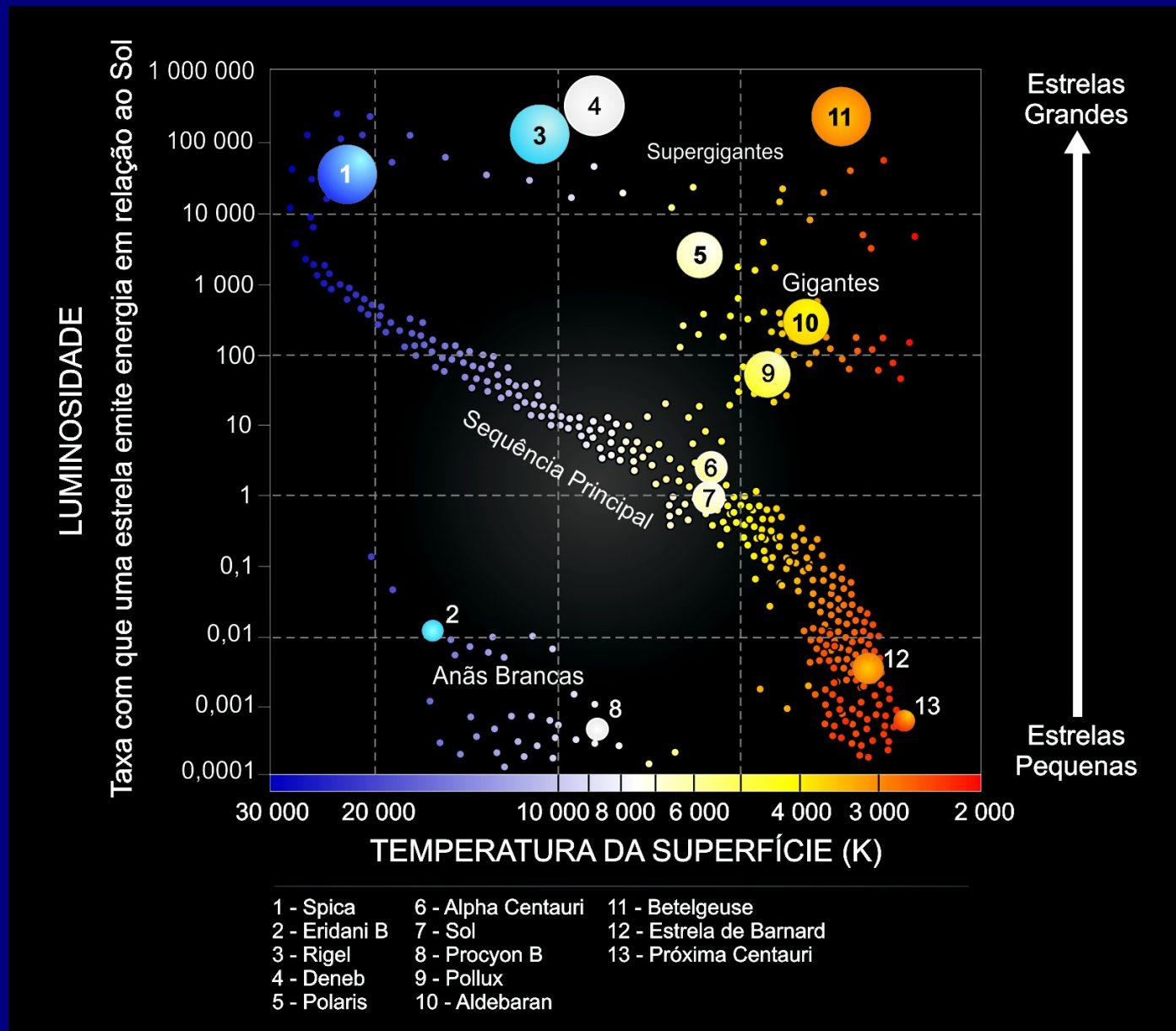


Diagrama Hertzsprung-Russell

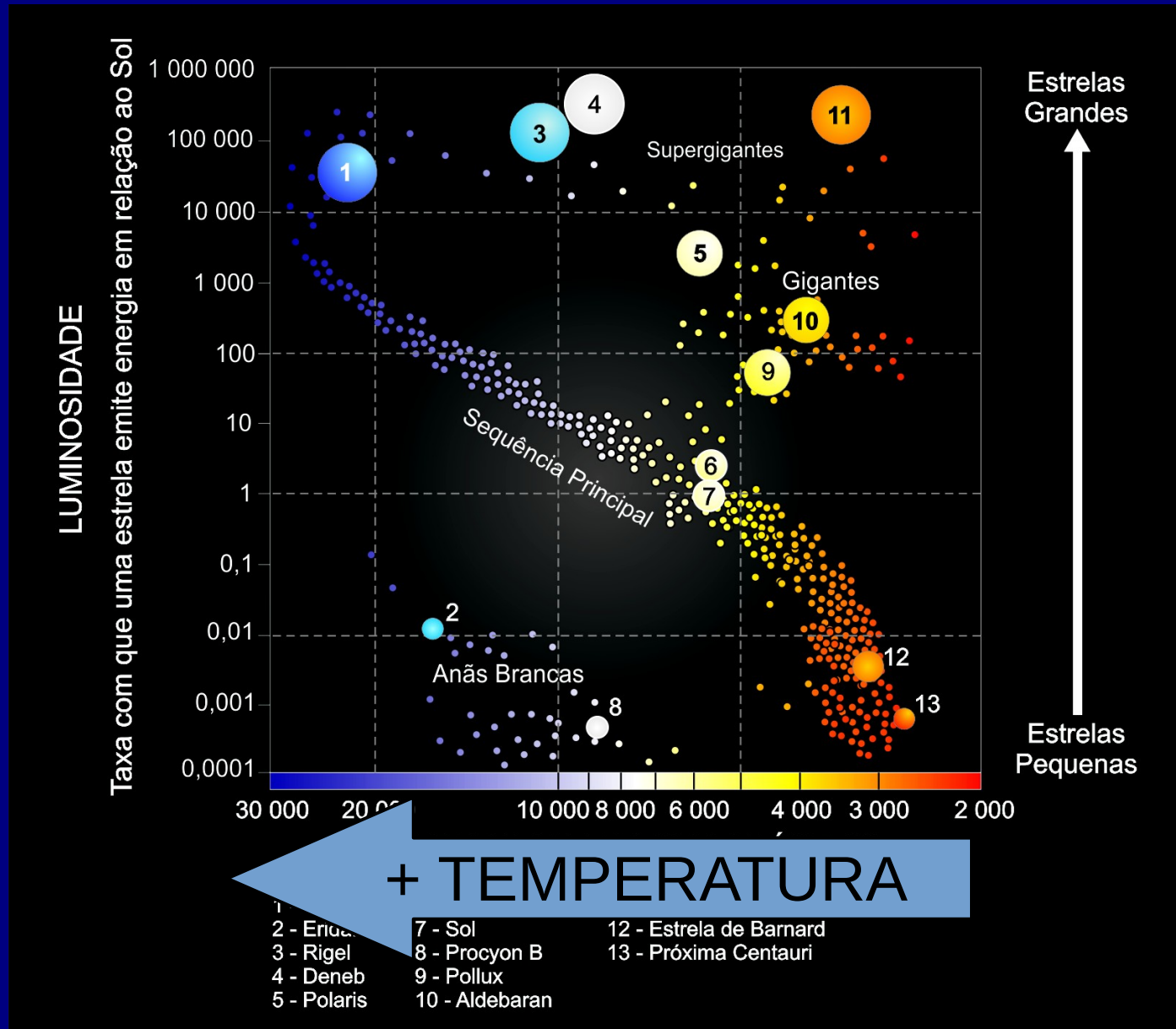


Diagrama Hertzsprung-Russell

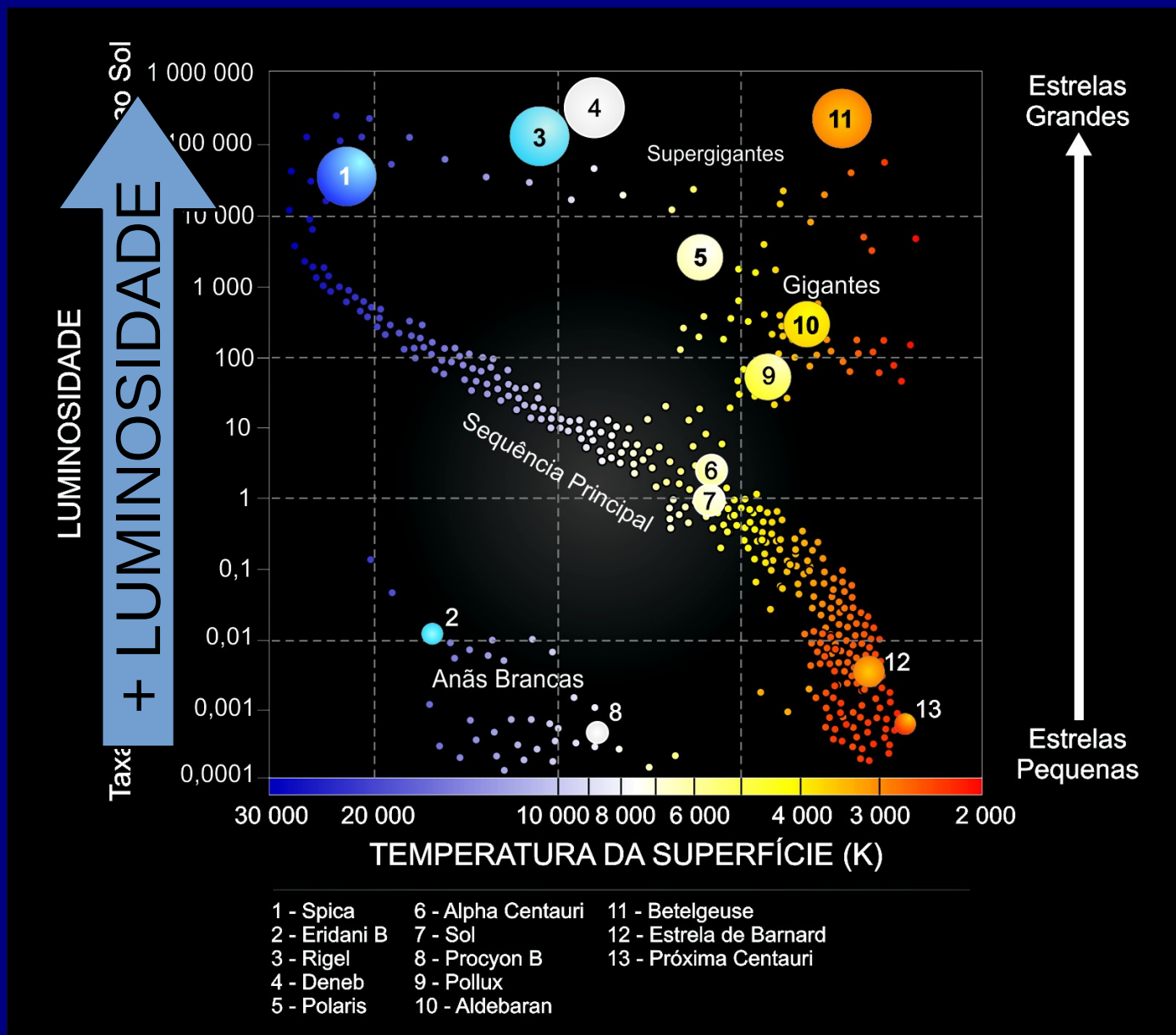


Diagrama Hertzsprung-Russell

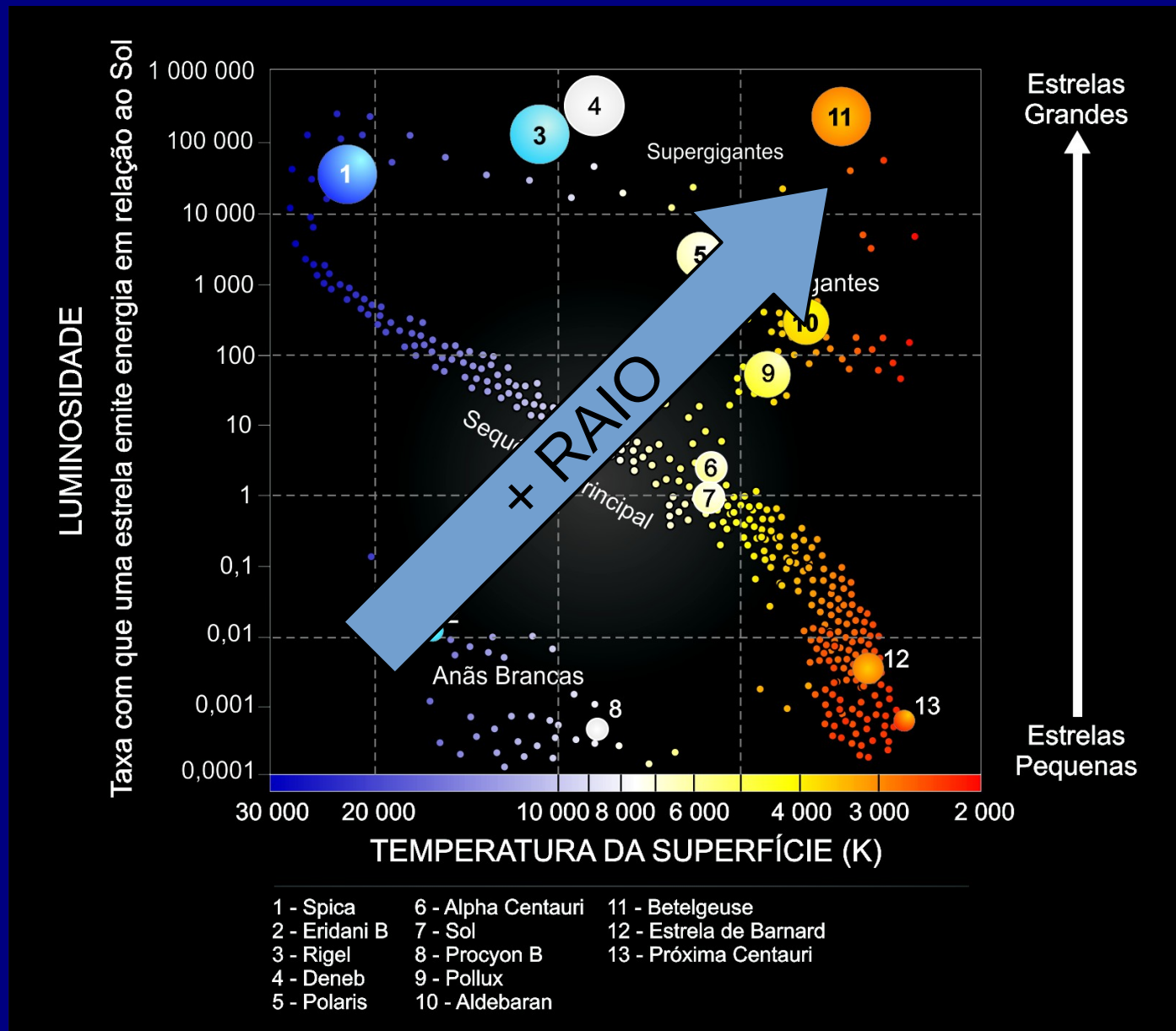


Diagrama Hertzsprung-Russell

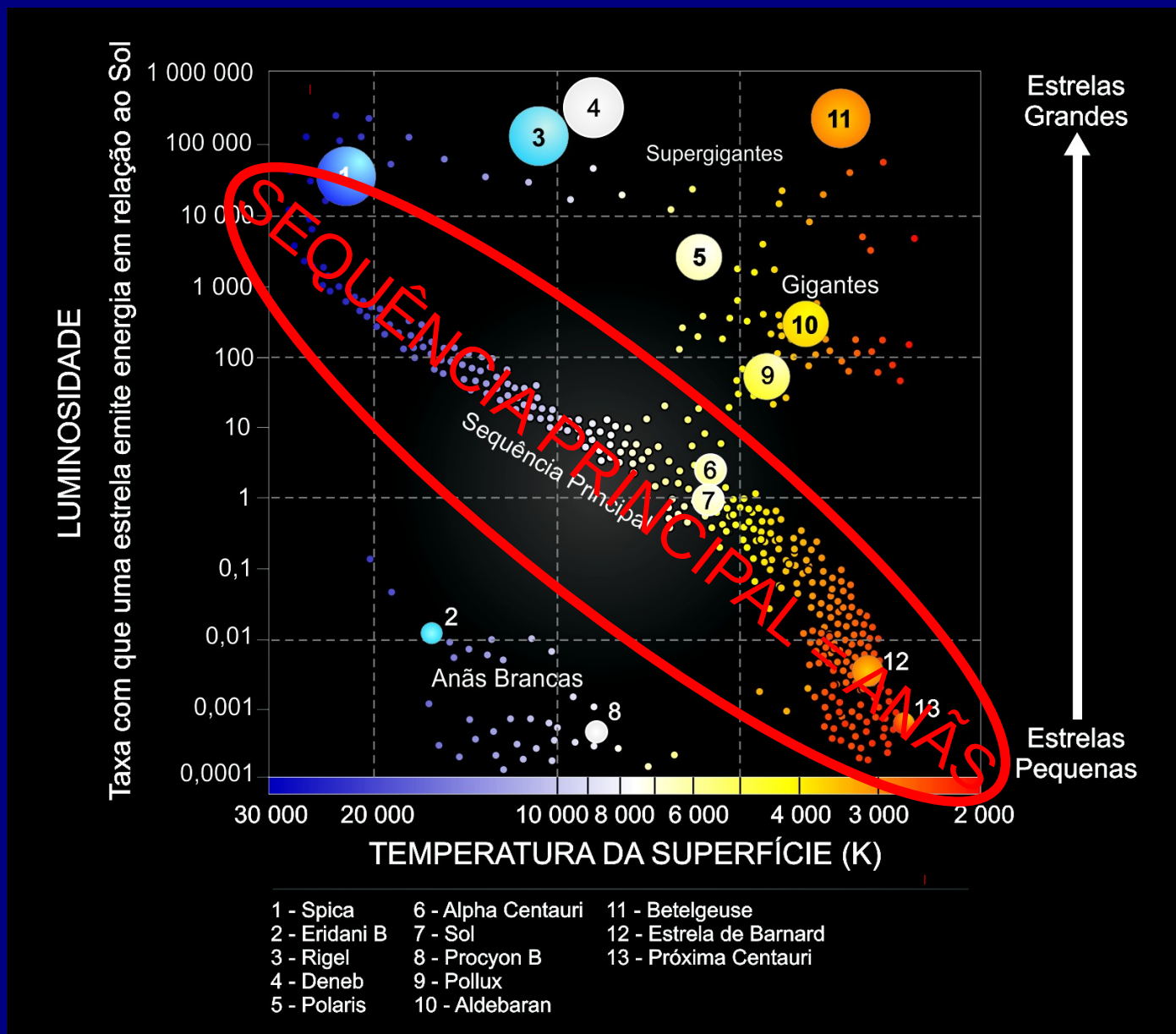


Diagrama Hertzsprung-Russell

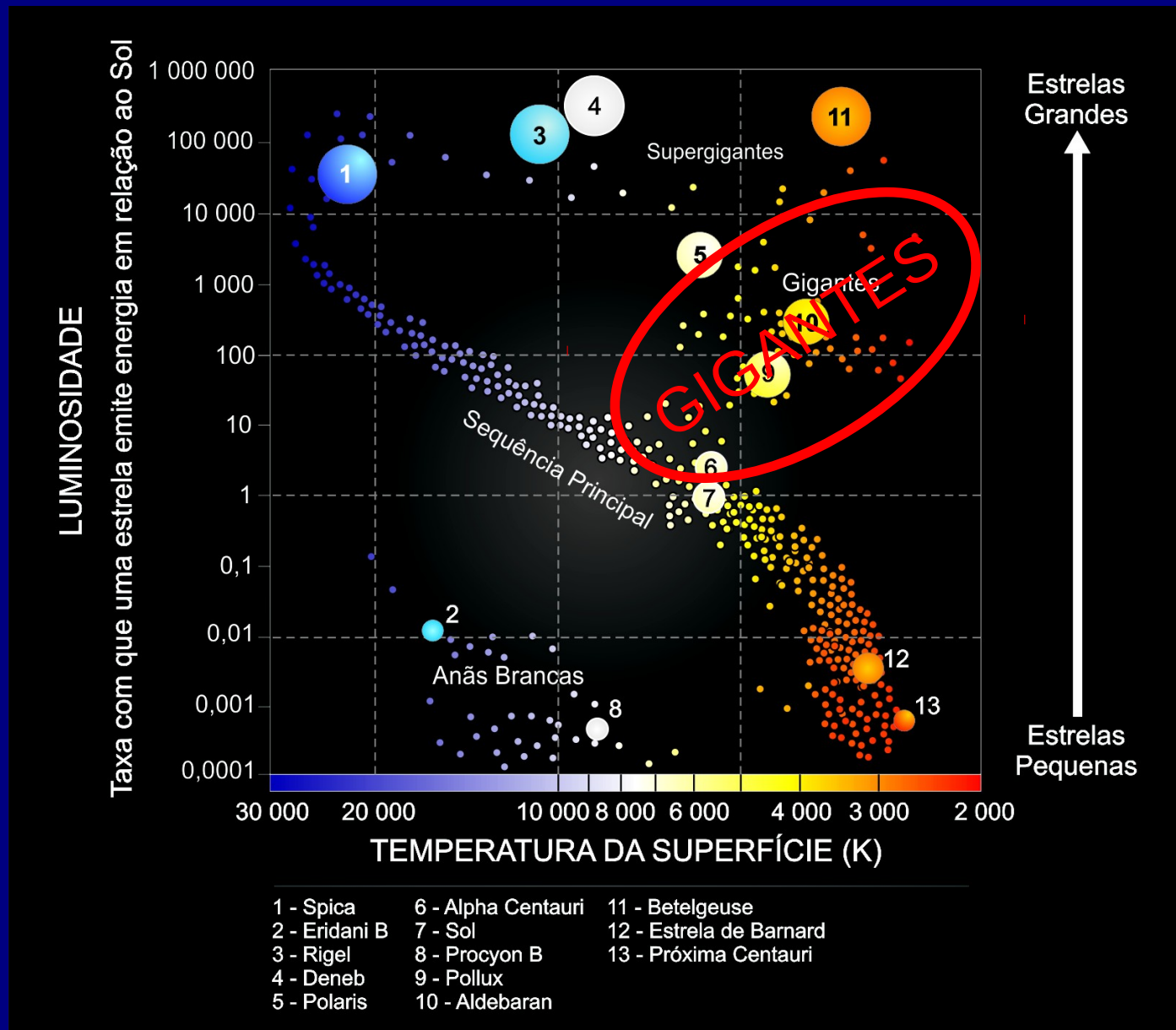


Diagrama Hertzsprung-Russell

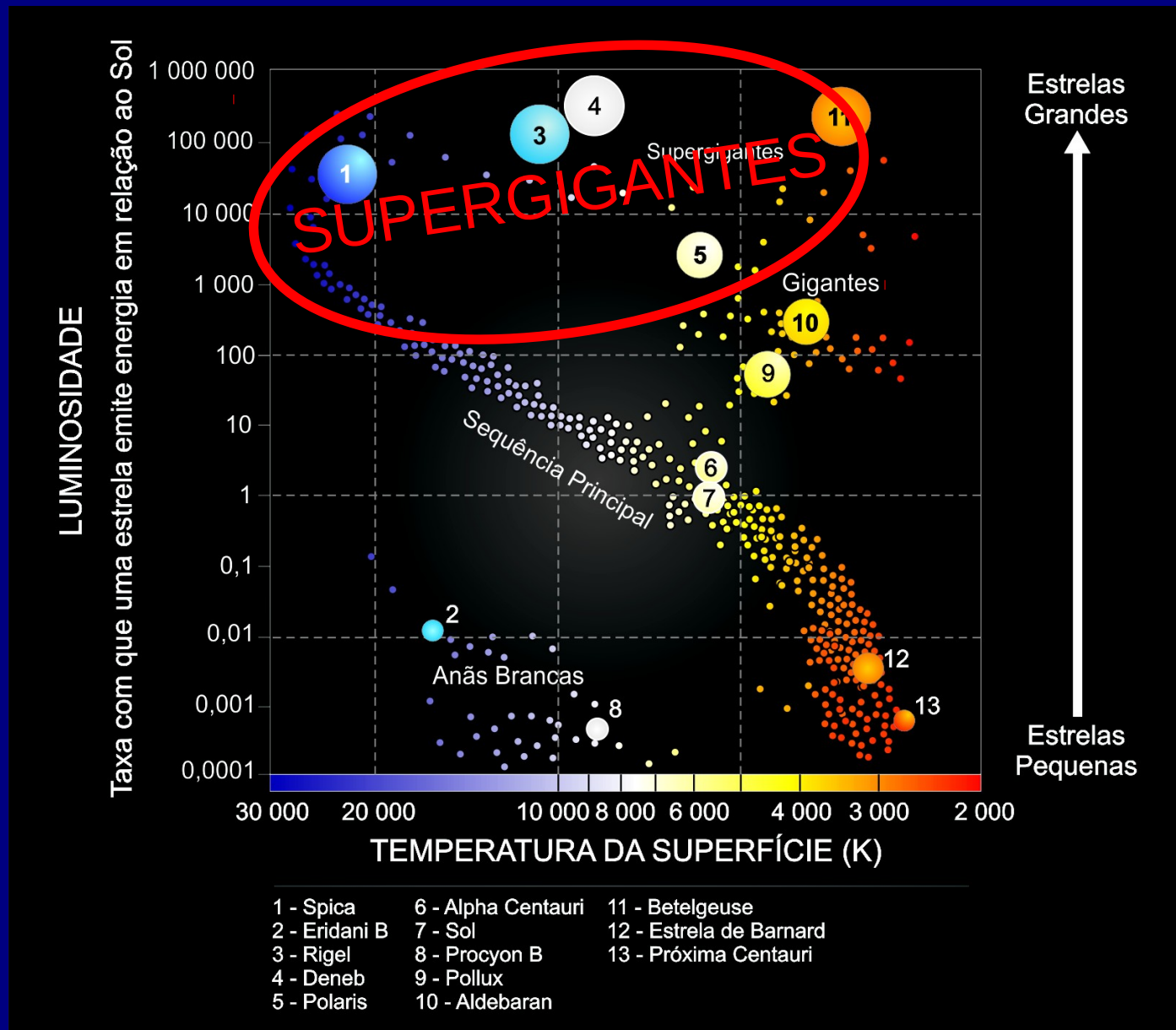
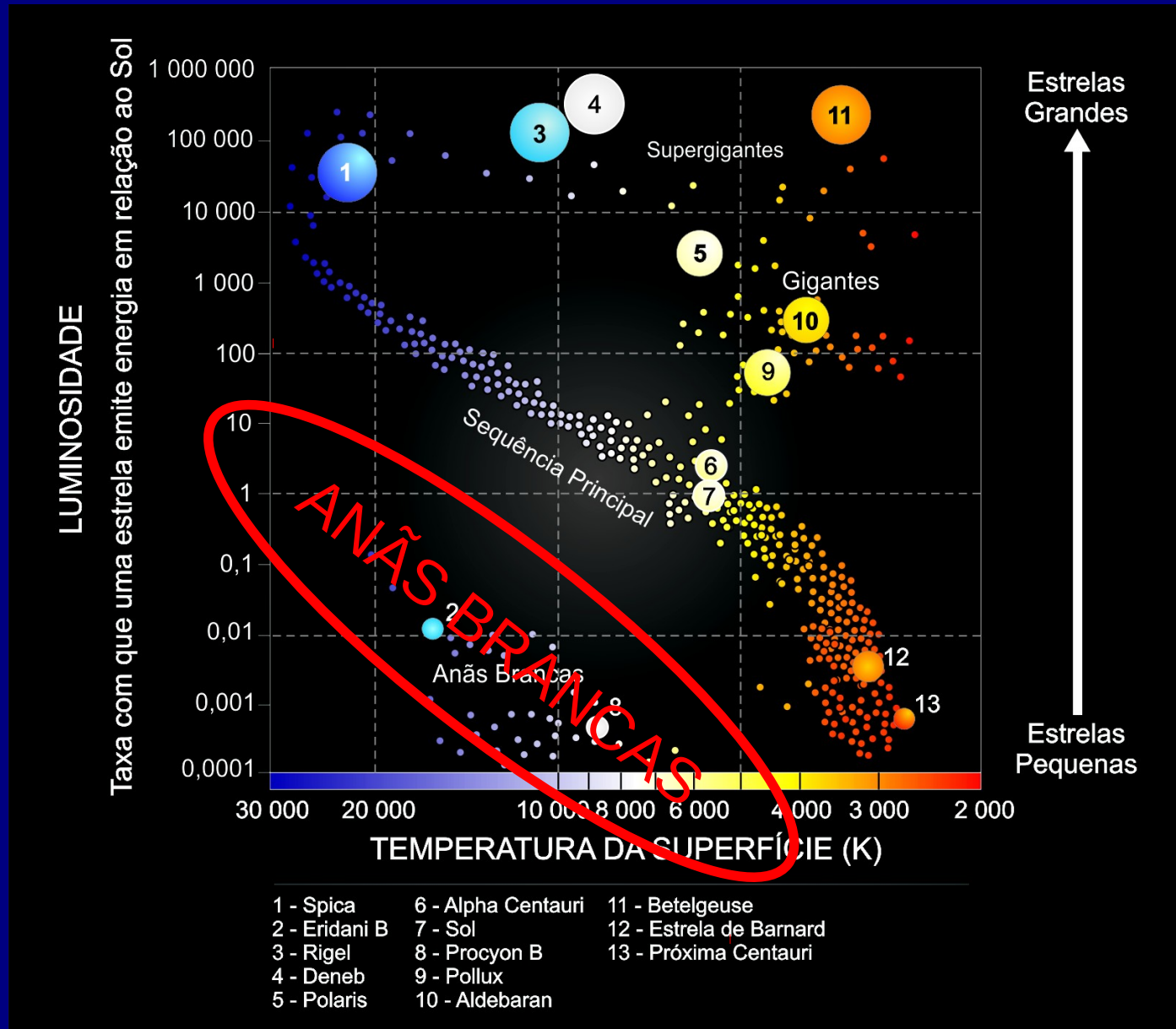
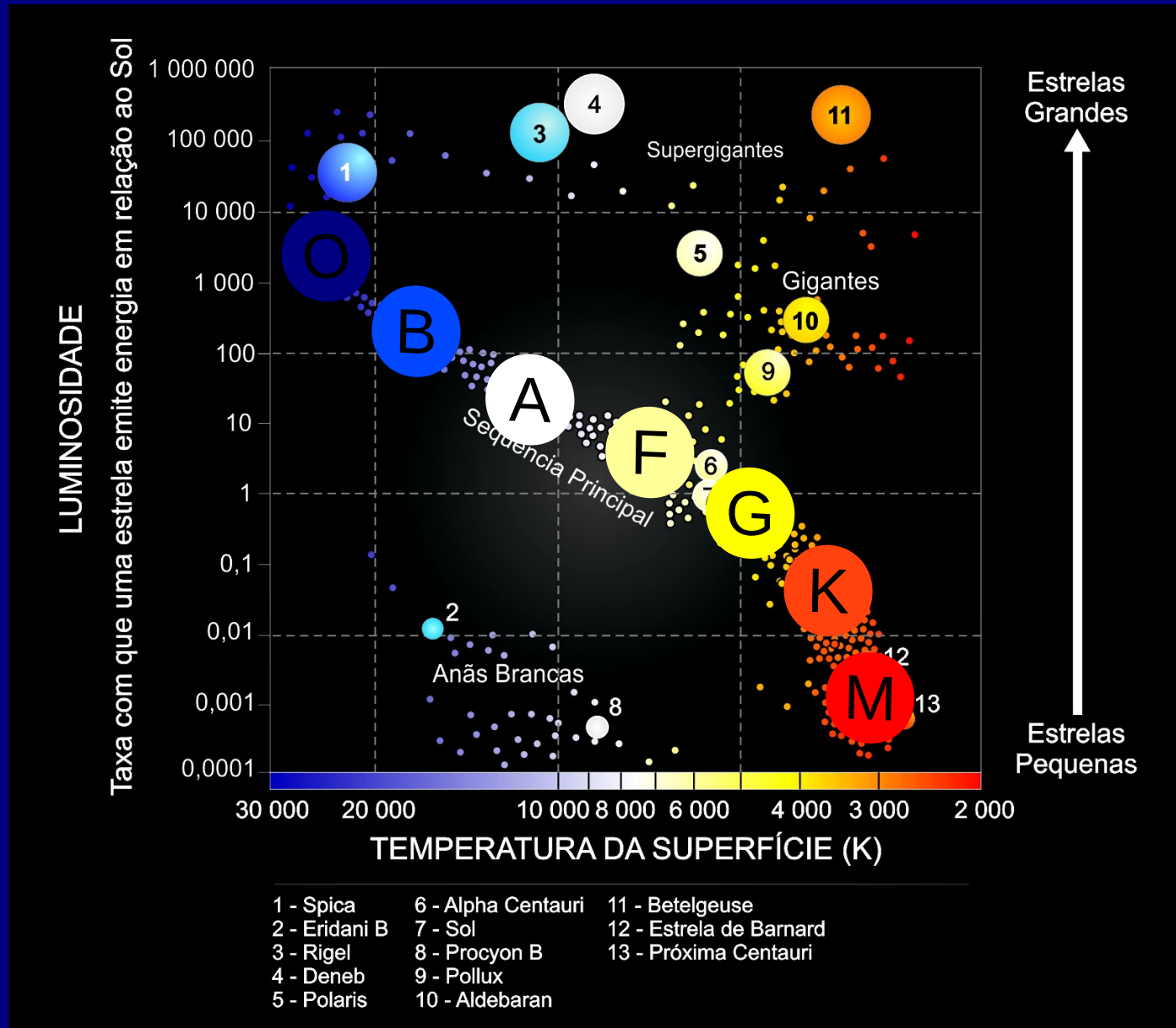


Diagrama Hertzsprung-Russell



Classe Espectral



Classe Espectral

Oh, Be A Fine Girl: Kiss Me!

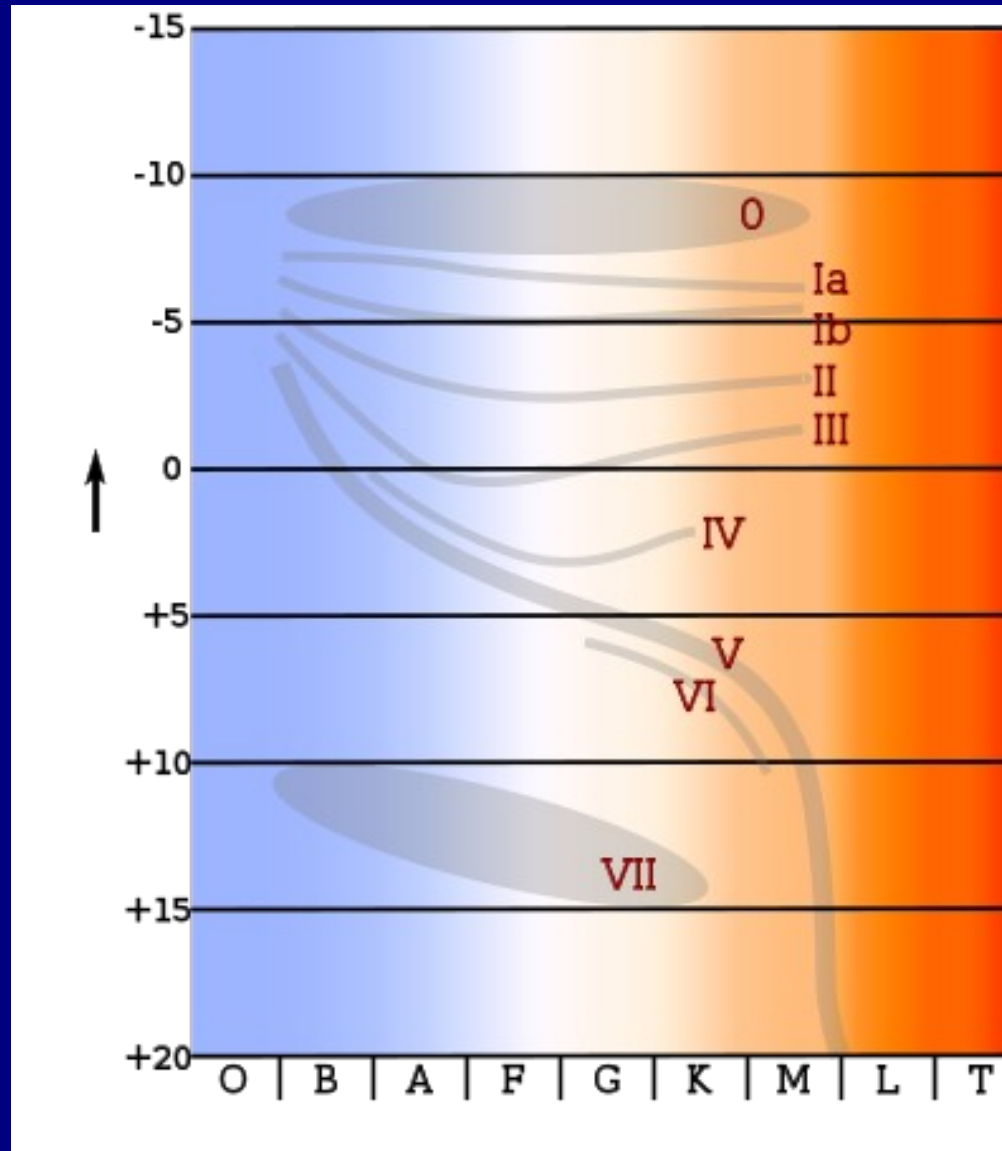
Only Boring Astronomers Find Gratification
Knowing Mnemonics!

OBA! Frango Grelhado “Kom” Molho!

Classe Espectral

O	Azuis, $T_{\text{ef}} = 20\ 000$ a $35\ 0000$ K, linhas de Hell e forte emissão no UV .
B	Branco-azuladas, $T_{\text{ef}} \approx 15\ 000$ K, linhas de Hel .
A	Branças, $T_{\text{ef}} \approx 10\ 000$ K, linhas de HI .
F	Branco-amareladas, $T_{\text{ef}} \approx 7\ 000$ K, linhas de metais .
G	Amareladas, $T_{\text{ef}} \approx 5\ 500$ K, linhas fortes de metais e linhas fracas de HI .
K	Alaranjadas, $T_{\text{ef}} \approx 4\ 000$ K, linhas metálicas dominantes.
M	Vermelhas, $T_{\text{ef}} \approx 3\ 000$ K, bandas moleculares (TiO) muito fortes.

Classe de Luminosidade



A Sequência Principal

~80% das estrelas na vizinhança do Sol.

A Sequência Principal

~80% das estrelas na vizinhança do Sol.

Fonte de energia: fusão de H em He.



A Sequência Principal

~80% das estrelas na vizinhança do Sol.

Fonte de energia: fusão de H em He.



Classe de luminosidade: V

A Sequência Principal

~80% das estrelas na vizinhança do Sol.

Fonte de energia: fusão de H em He.



Classe de luminosidade: V

Classe espectral: O, B, A, F, G, K, M
(diferentes posições no diagrama)

Posição no diagrama: depende da MASSA
(e da metalicidade!)

A Sequência Principal

~80% das estrelas na vizinhança do Sol.

Fonte de energia: fusão de H em He.



Classe de luminosidade: V

Classe espectral: O, B, A, F, G, K, M
(diferentes posições no diagrama)

Posição no diagrama: depende da MASSA
(e da metalicidade!)

Exemplos: Sirius A, Vega, Sol, Alpha-Centauri A e B...

Estrelas Gigantes

Menos de 1% das estrelas na vizinhança do Sol.

Estrelas Gigantes

Menos de 1% das estrelas na vizinhança do Sol.

Fonte de energia: fusão de H em He fora do centro,
fusão de He em C e O (se $M > 0.45 M_{\odot}$).

Estrelas Gigantes

Menos de 1% das estrelas na vizinhança do Sol.

Fonte de energia: fusão de H em He fora do centro,
fusão de He em C e O (se $M > 0.45 M_{\odot}$).

Classe de luminosidade: II ou III

Estrelas Gigantes

Menos de 1% das estrelas na vizinhança do Sol.

Fonte de energia: fusão de H em He fora do centro, fusão de He em C e O (se $M > 0.45 M_{\odot}$).

Classe de luminosidade: II ou III

Classe espectral: O, B, A, F, G, K, M
(como na sequência principal, mas mais luminosas)

Estrelas Gigantes

Menos de 1% das estrelas na vizinhança do Sol.

Fonte de energia: fusão de H em He fora do centro, fusão de He em C e O (se $M > 0.45 M_{\odot}$).

Classe de luminosidade: II ou III

Classe espectral: O, B, A, F, G, K, M
(como na sequência principal, mas mais luminosas)

Exemplos: Spica, Arcturus, Mira, Alcyone, Aldebarã...

Estrelas Supergigantes

Menos de 1% das estrelas na vizinhança do Sol.

Estrelas Supergigantes

Menos de 1% das estrelas na vizinhança do Sol.

Fonte de energia: fusão de H em He fora do centro, fusão de He em C e O, seguidas de queima de elementos pesados (se $M \gtrsim 10 M_{\odot}$).

Estrelas Supergigantes

Menos de 1% das estrelas na vizinhança do Sol.

Fonte de energia: fusão de H em He fora do centro, fusão de He em C e O, seguidas de queima de elementos pesados (se $M \gtrsim 10 M_{\odot}$).

Classe de luminosidade: I

Estrelas Supergigantes

Menos de 1% das estrelas na vizinhança do Sol.

Fonte de energia: fusão de H em He fora do centro, fusão de He em C e O, seguidas de queima de elementos pesados (se $M \gtrsim 10 M_{\odot}$).

Classe de luminosidade: I

Classe espectral: O, B, A, F, G, K, M
(como na sequência principal e nas gigantes, mas mais luminosas)

Estrelas Supergigantes

Menos de 1% das estrelas na vizinhança do Sol.

Fonte de energia: fusão de H em He fora do centro, fusão de He em C e O, seguidas de queima de elementos pesados (se $M \gtrsim 10 M_{\odot}$).

Classe de luminosidade: I

Classe espectral: O, B, A, F, G, K, M
(como na sequência principal e nas gigantes, mas mais luminosas)

Exemplos: Rigel, Canopus, Betelgeuse...

Anãs Brancas

~20% das estrelas na vizinhança do Sol.

Anãs Brancas

~20% das estrelas na vizinhança do Sol.

Fonte de energia: térmica.
(Estão resfriando lentamente.)

Anãs Brancas

~20% das estrelas na vizinhança do Sol.

Fonte de energia: térmica.
(Estão resfriando lentamente.)

Classe de luminosidade: VII

Anãs Brancas

~20% das estrelas na vizinhança do Sol.

Fonte de energia: térmica.
(Estão resfriando lentamente.)

Classe de luminosidade: VII

Classe espectral: D + O, B, A, C, Q, Z

Não necessariamente brancas!!!

Anãs Brancas

~20% das estrelas na vizinhança do Sol.

Fonte de energia: térmica.
(Estão resfriando lentamente.)

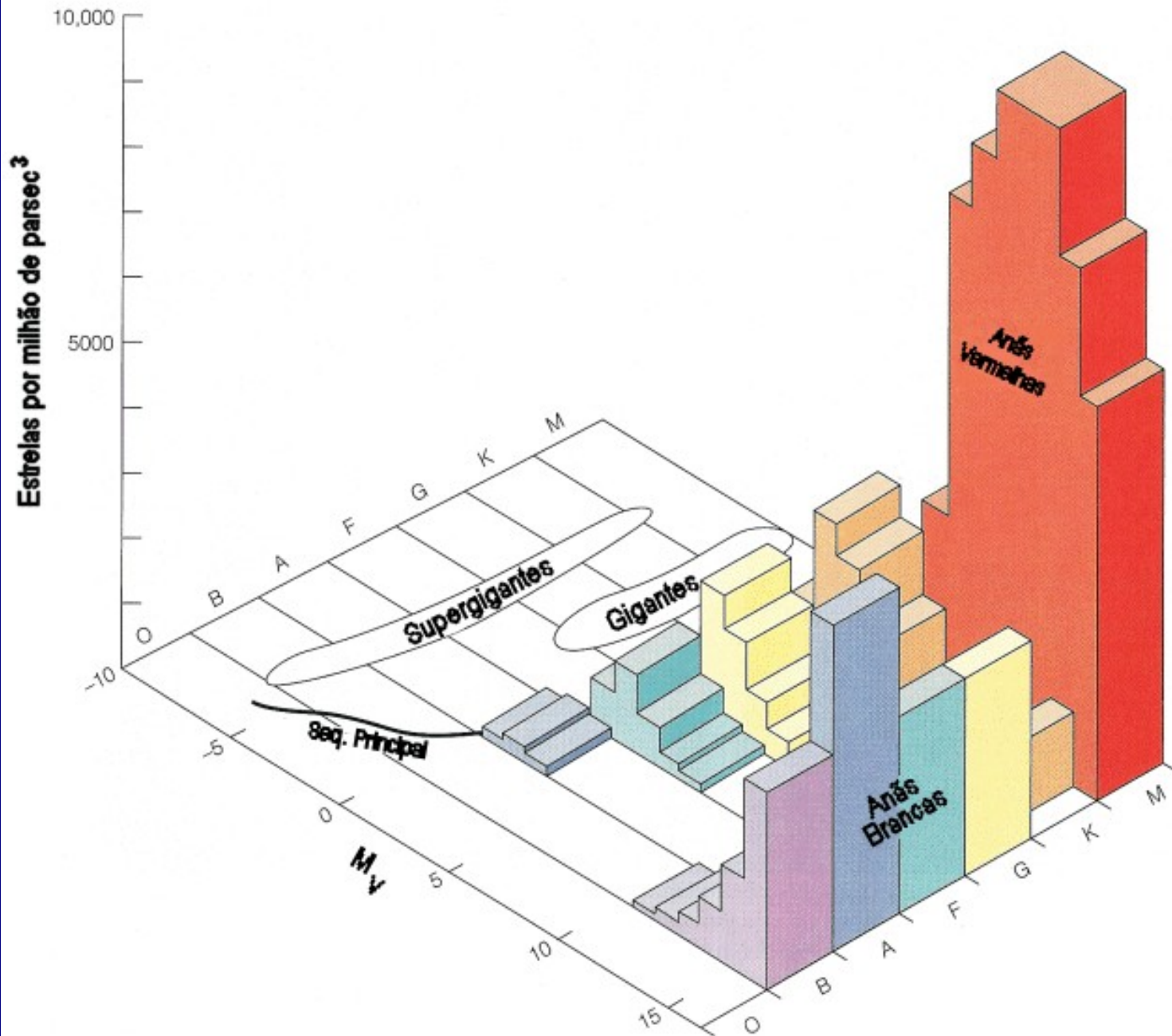
Classe de luminosidade: VII

Classe espectral: D + O, B, A, C, Q, Z

Não necessariamente brancas!!!

Exemplos: Sirius B, Procyon B...

Histograma do número relativo de estrelas próximas ao Sol



Evolução Estelar

O Diagrama HR NÃO é um caminho evolutivo!

(A estrela não muda seu tipo espectral ao longo da vida!)

A evolução de uma estrela depende de:

Evolução Estelar

O Diagrama HR NÃO é um caminho evolutivo!

(A estrela não muda seu tipo espectral ao longo da vida!)

A evolução de uma estrela depende de:

→ MASSA.

Evolução Estelar

O Diagrama HR NÃO é um caminho evolutivo!

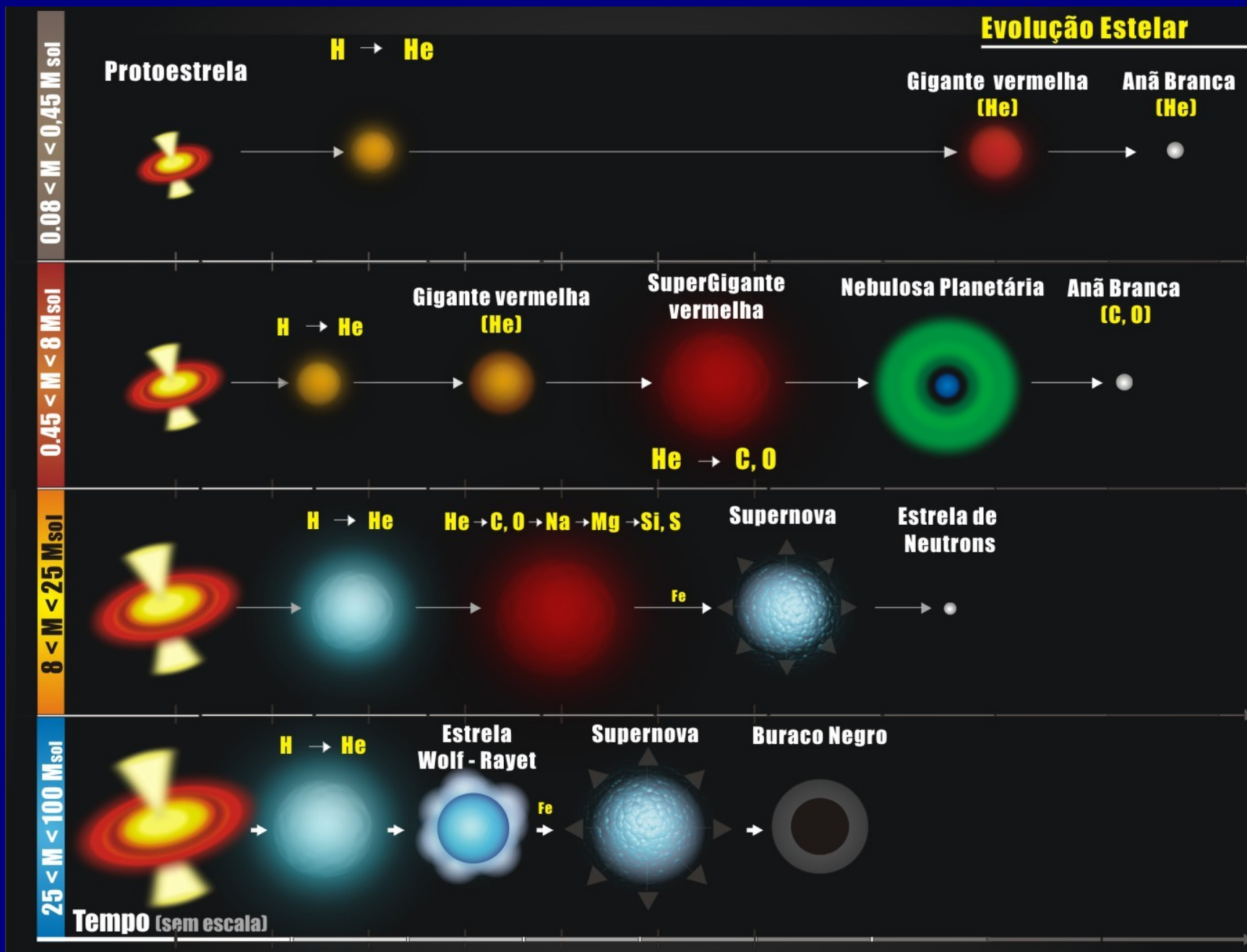
(A estrela não muda seu tipo espectral ao longo da vida!)

A evolução de uma estrela depende de:

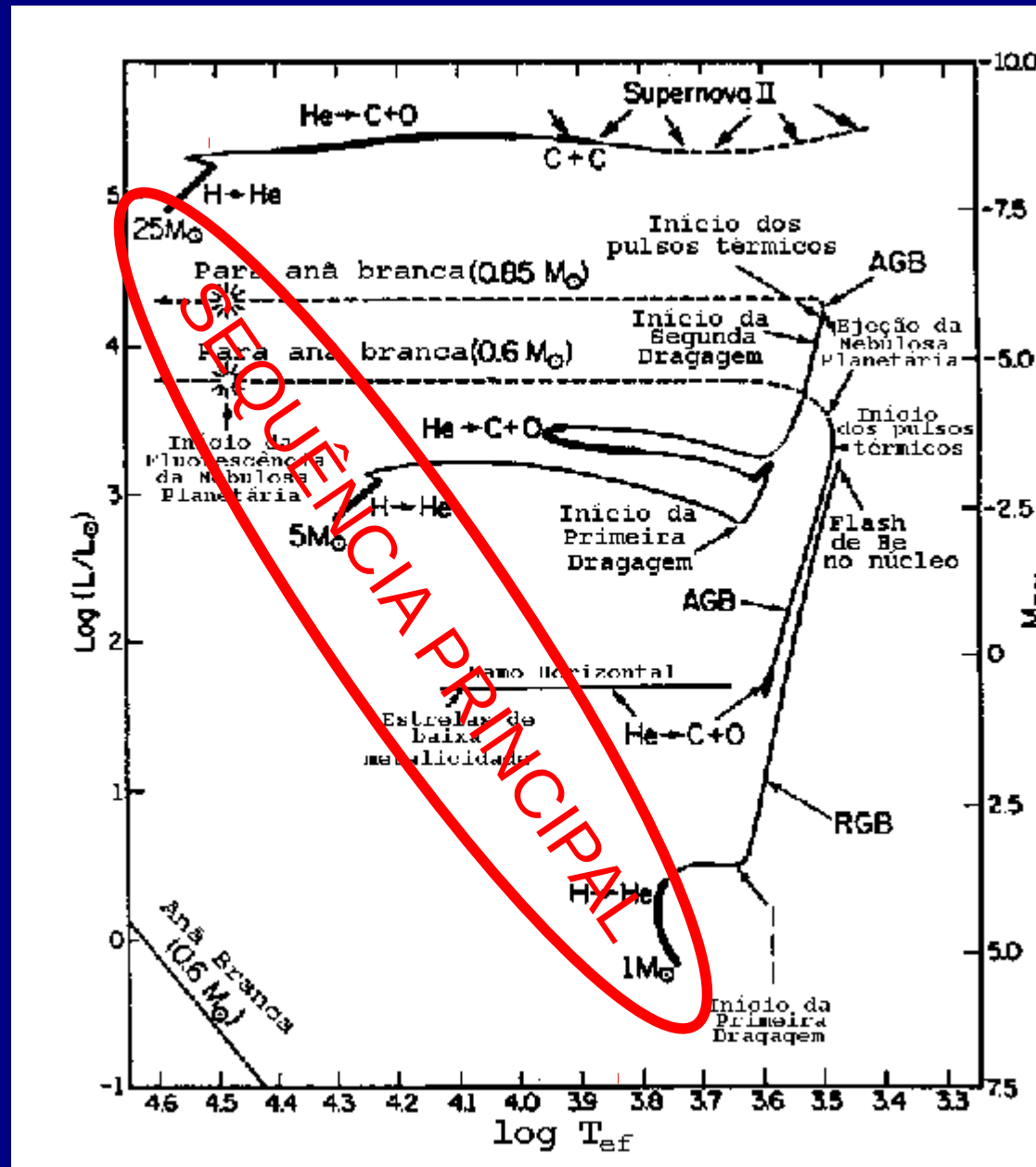
→ MASSA.

(e, em menor escala, da metalicidade.)

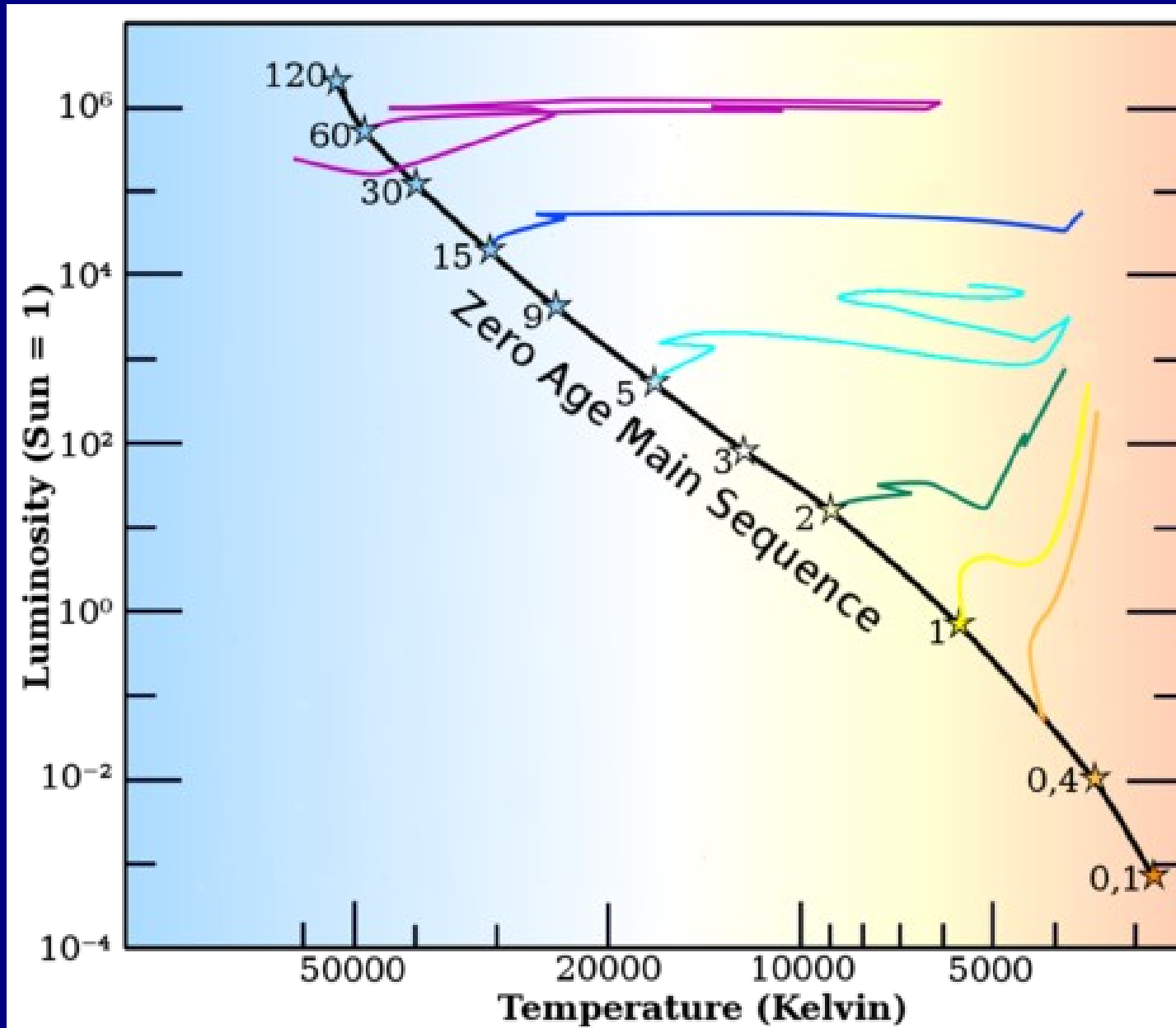
Evolução Estelar



Evolução Estelar



Evolução Estelar



Objetos com $M < 0.08 M_{\odot}$

→ Nunca atinge a temperatura necessária para queima de hidrogênio ($\sim 8 \cdot 10^6 \text{K}$)

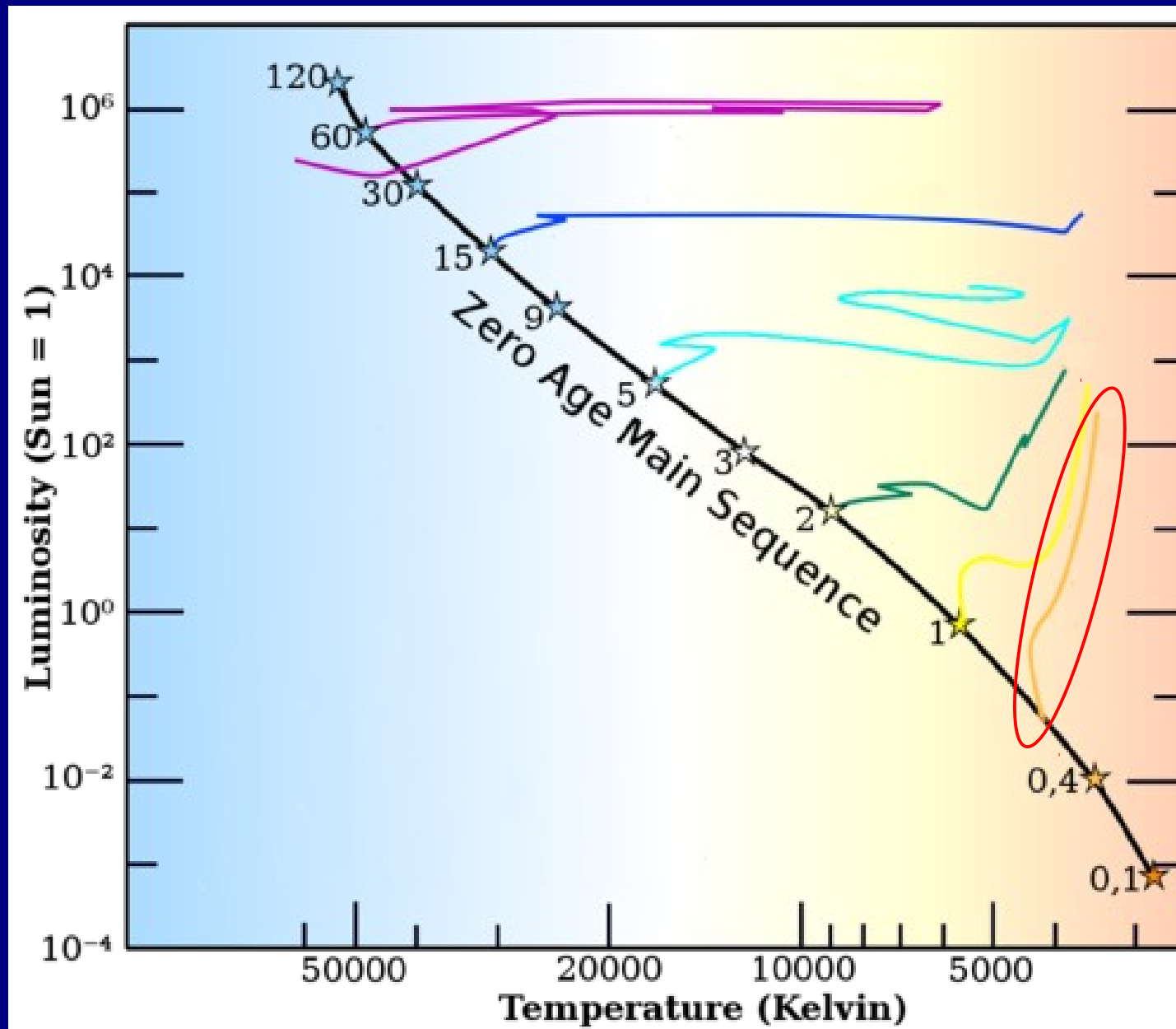
→ Não é estrela *por definição!*

→ $13 M_{\text{J}} < M < 0.08 M_{\odot}$ = anã marrom

Atinge temperatura suficiente para queimar ${}^2\text{H}_2$ (deutério) em ${}^3\text{He}_2$ ($T \sim 10^6 \text{K}$).

→ $M < 13 M_{\text{J}}$ = planeta.

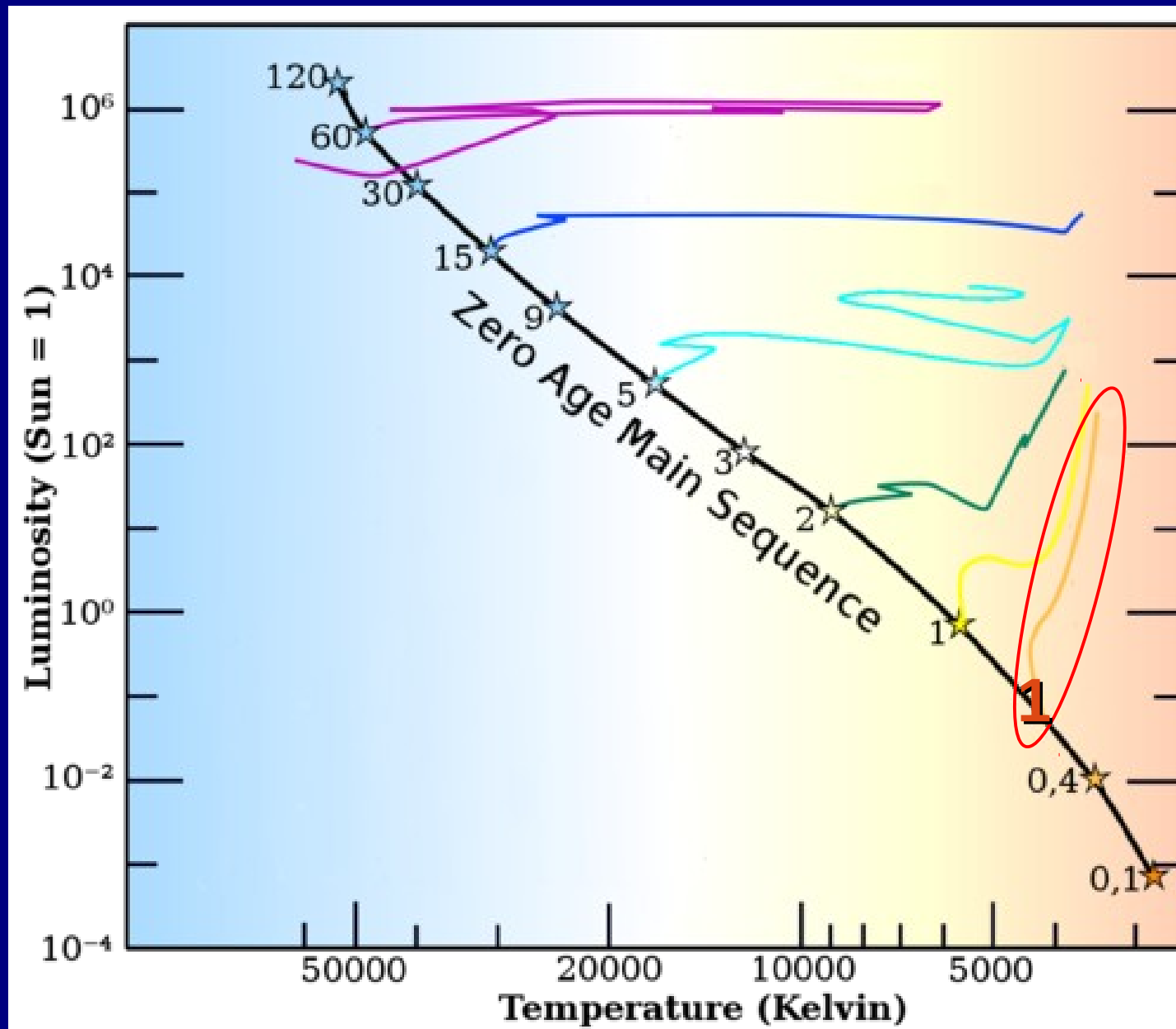
Evolução de uma estrela com $M < 0.45 M_{\odot}$



Evolução de uma estrela com $M < 0.45 M_{\odot}$

1. *Sequência principal*: queima de H em He no núcleo pelo ciclo p-p.

Evolução de uma estrela com $M < 0.45 M_{\odot}$

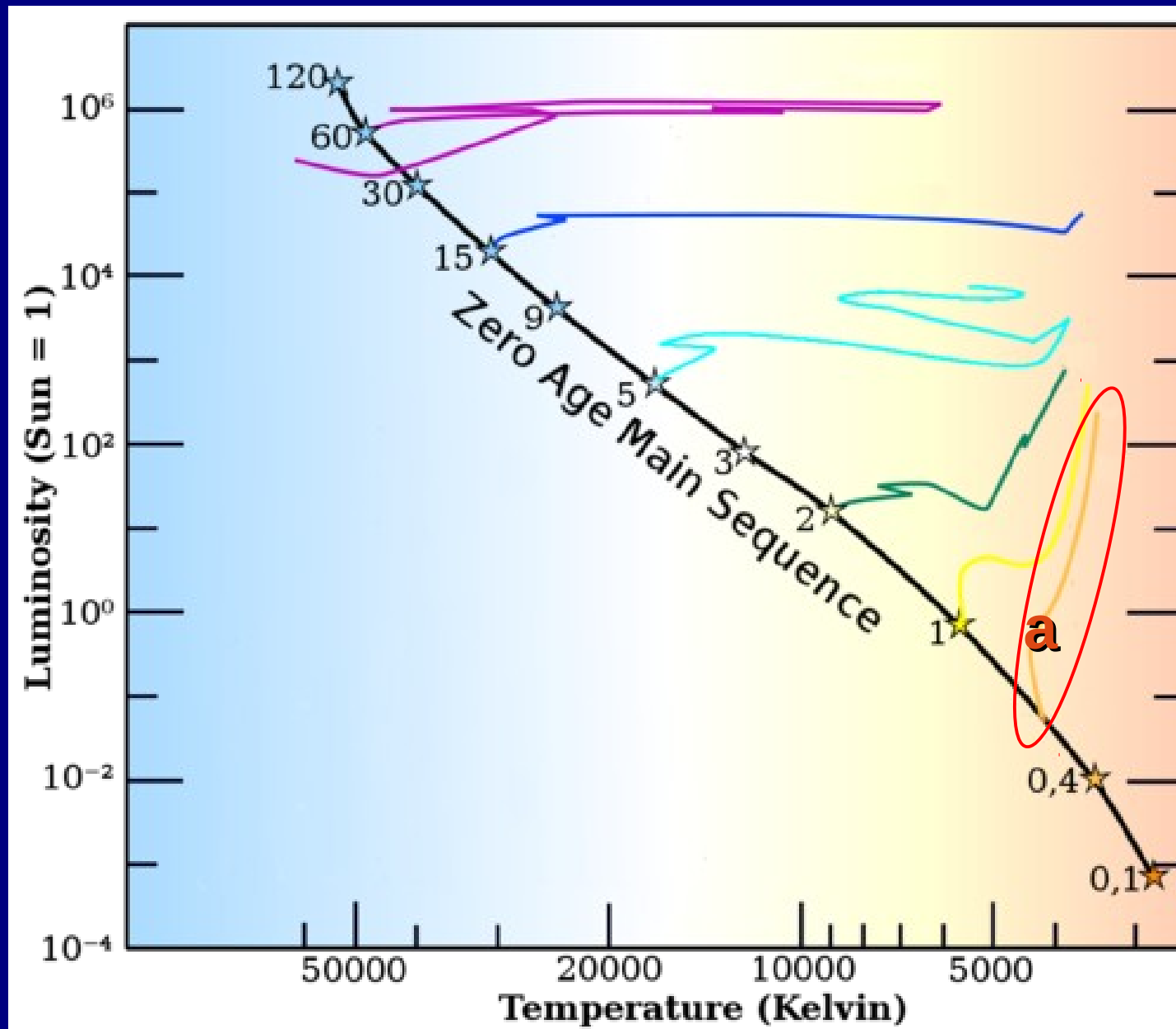


Evolução de uma estrela com $M < 0.45 M_{\odot}$

1. *Sequência principal*: queima de H em He no núcleo pelo ciclo p-p.

a) Combustível é exaurido no núcleo, que passa a contrair enquanto o exterior se expande.

Evolução de uma estrela com $M < 0.45 M_{\odot}$



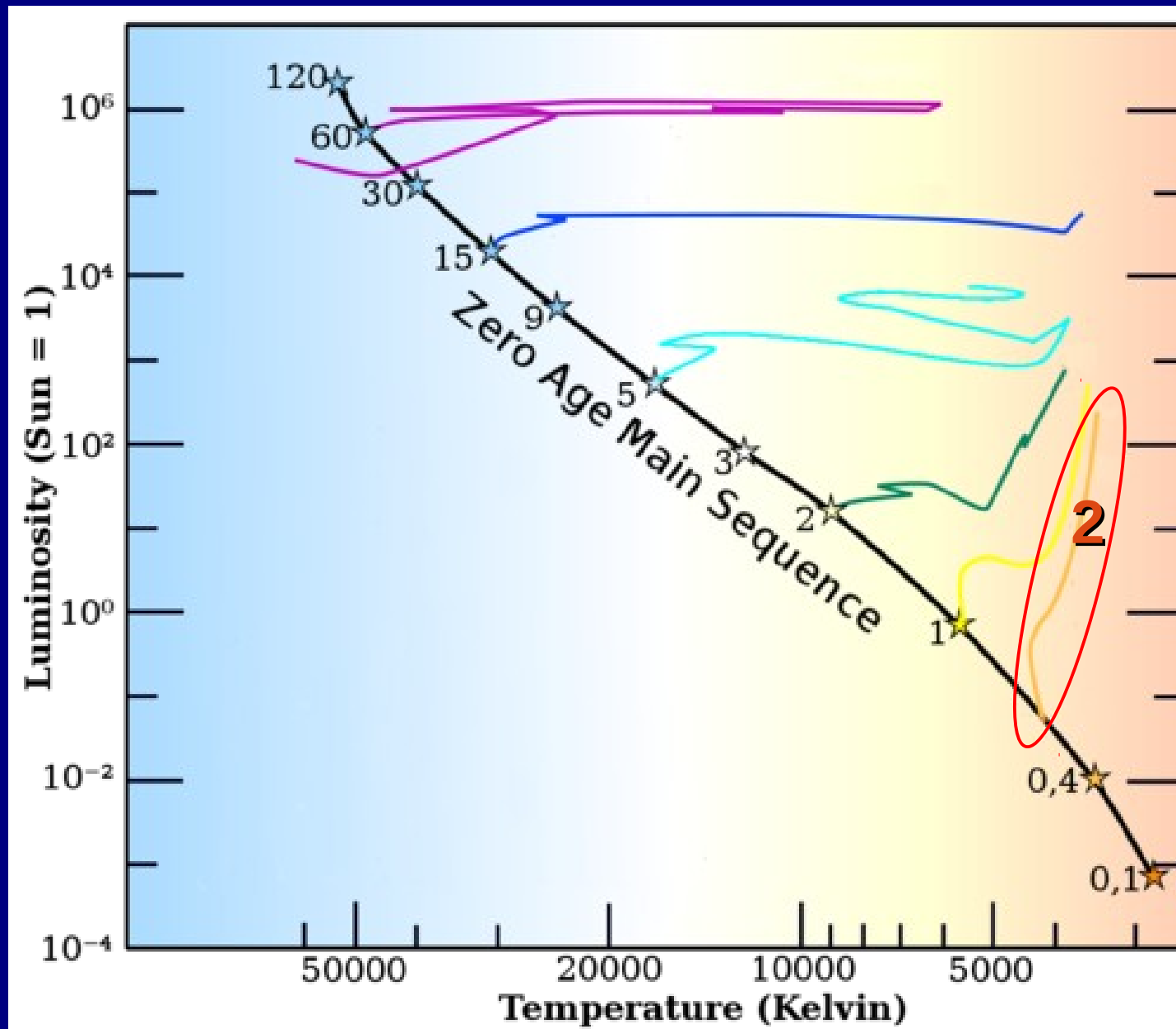
Evolução de uma estrela com $M < 0.45 M_{\odot}$

1. *Sequência principal*: queima de H em He no núcleo pelo ciclo p-p.

a) Combustível é exaurido no núcleo, que passa a contrair enquanto o exterior se expande.

2. *Gigante (RGB)*: estrela é tão fria que se torna completamente convectiva.

Evolução de uma estrela com $M < 0.45 M_{\odot}$



Evolução de uma estrela com $M < 0.45 M_{\odot}$

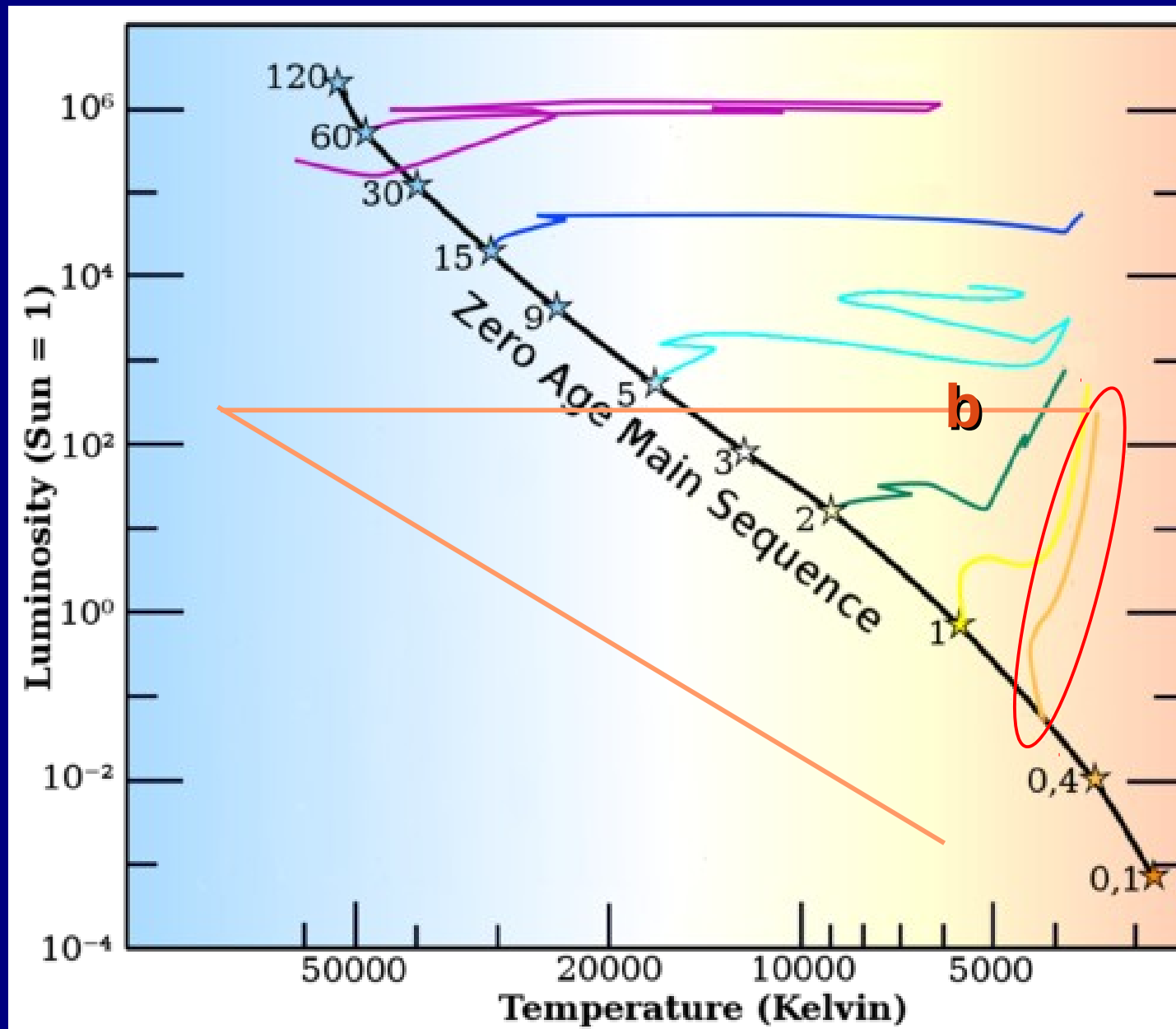
1. *Sequência principal*: queima de H em He no núcleo pelo ciclo p-p.

a) Combustível é exaurido no núcleo, que passa a contrair enquanto o exterior se expande.

2. *Gigante (RGB)*: estrela é tão fria que se torna completamente convectiva.

b) Camadas externas são ejetadas em um pulso térmico. Como vemos o interior da estrela, temperatura observada aumenta rapidamente.

Evolução de uma estrela com $M < 0.45 M_{\odot}$



Evolução de uma estrela com $M < 0.45 M_{\odot}$

1. *Sequência principal*: queima de H em He no núcleo pelo ciclo p-p.

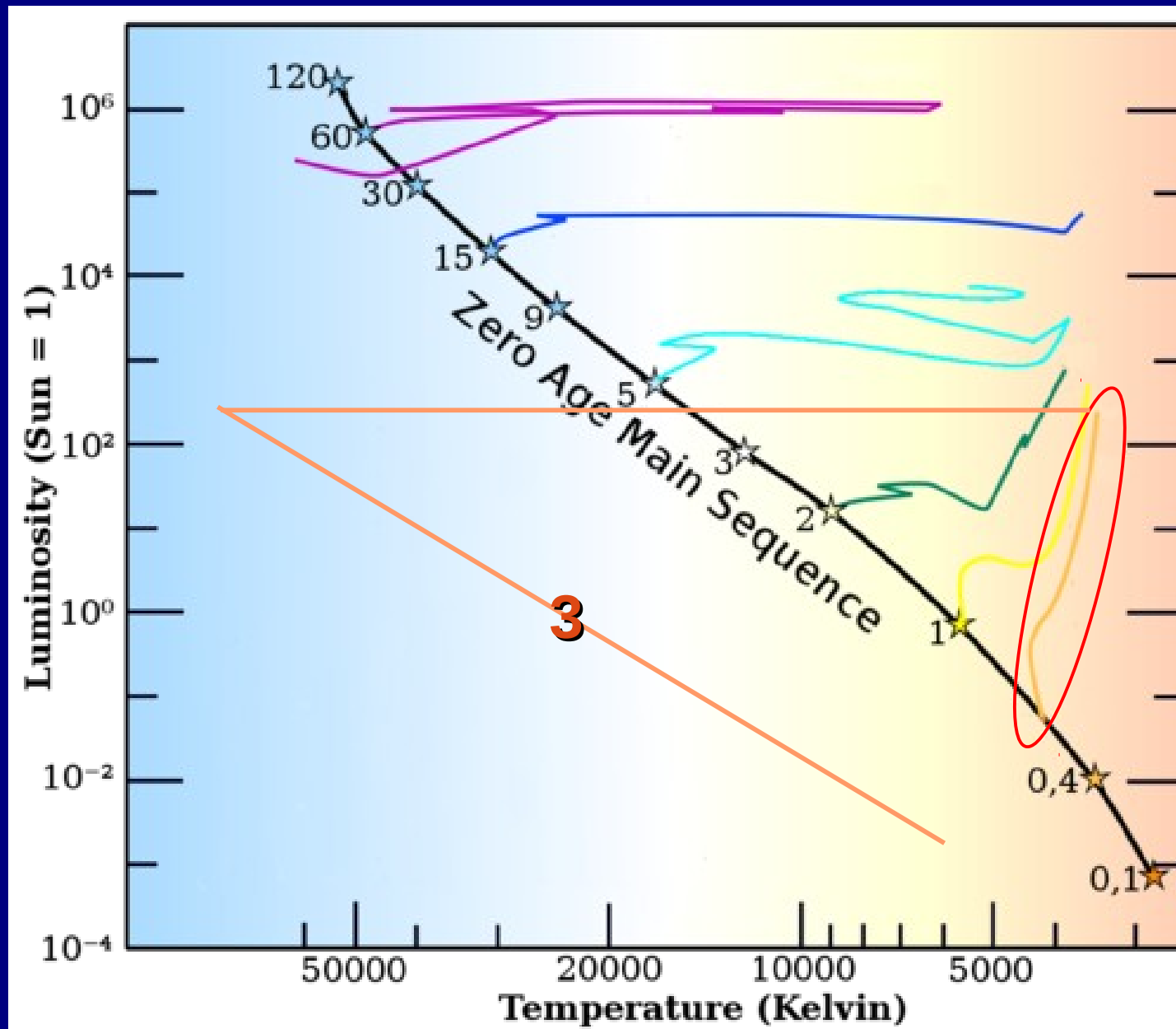
a) Combustível é exaurido no núcleo, que passa a contrair enquanto o exterior se expande.

2. *Gigante (RGB)*: estrela é tão fria que se torna completamente convectiva.

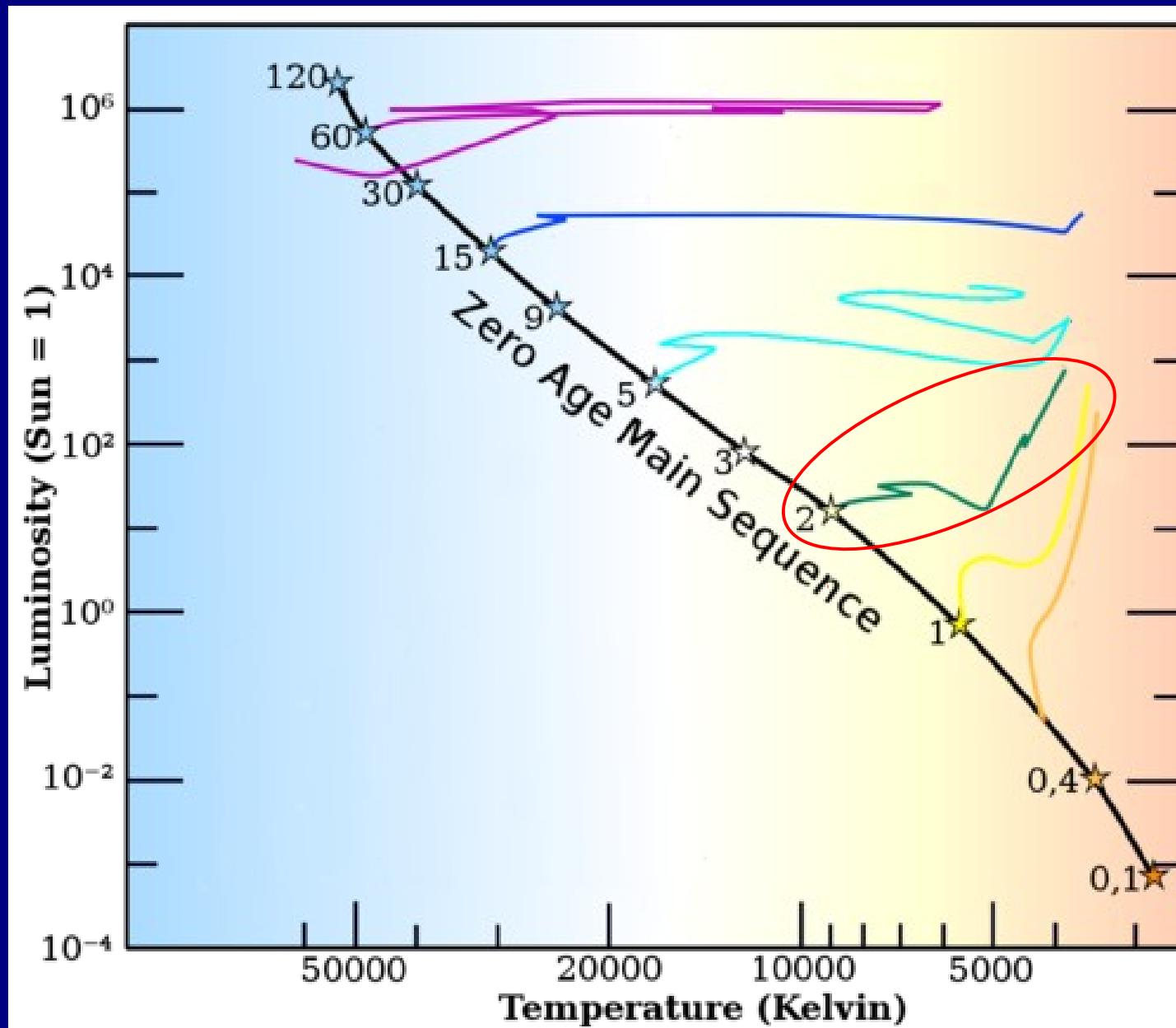
b) Camadas externas são ejetadas em um pulso térmico. Como vemos o interior da estrela, temperatura observada aumenta rapidamente.

3. *Anã Branca de He*: núcleo degenerado irá resfriar-se lentamente.

Evolução de uma estrela com $M < 0.45 M_{\odot}$



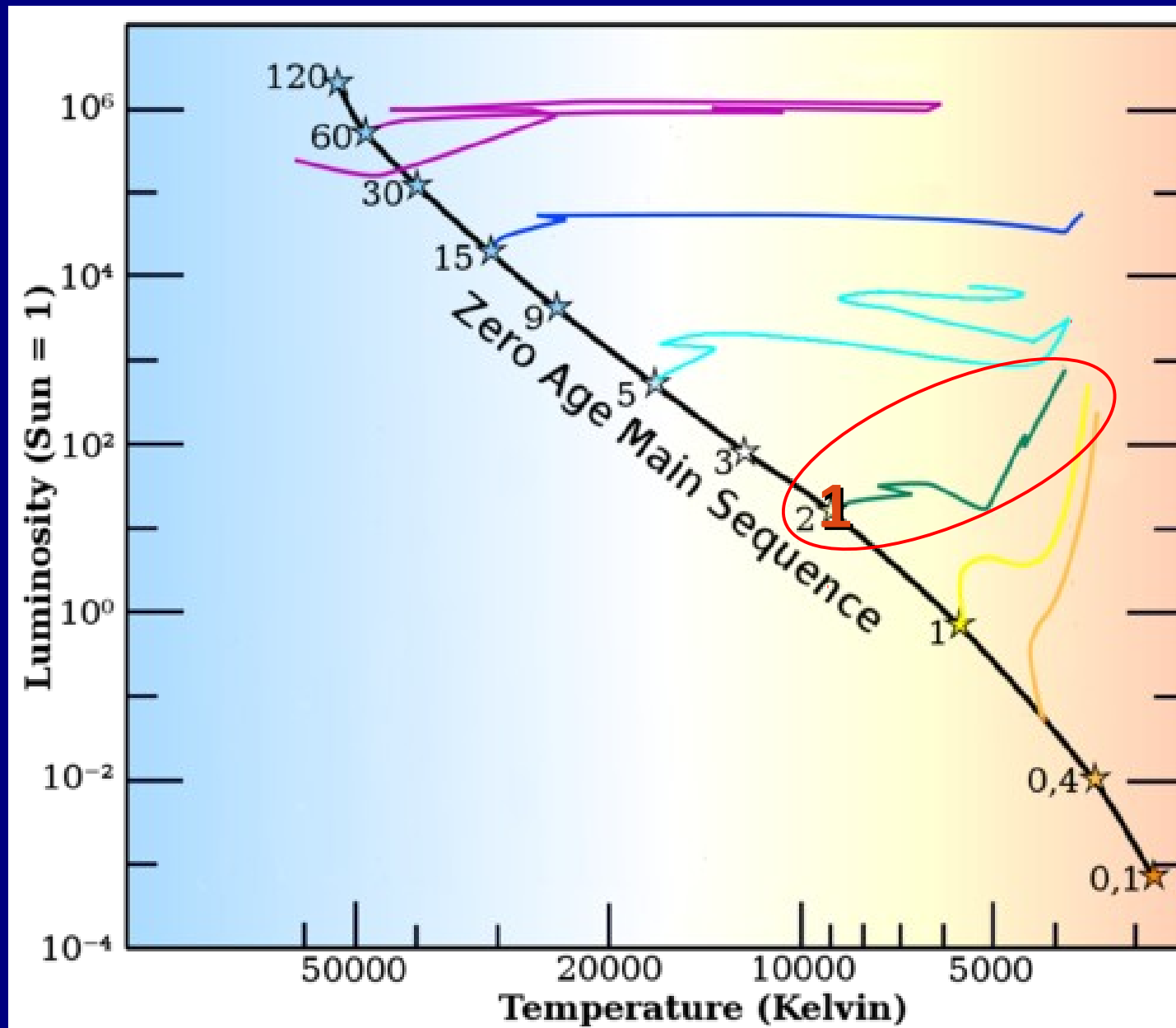
Evolução de uma estrela com $0.45 M_{\odot} < M \lesssim 1.8 - 2.3 M_{\odot}$



Evolução de uma estrela com $0.45 M_{\odot} < M \lesssim 1.8 - 2.3 M_{\odot}$

1. *Sequência principal*: queima de H em He no núcleo pelo ciclo p-p ($M < 1.2 M_{\odot}$) ou CNO ($M > 1.2 M_{\odot}$).

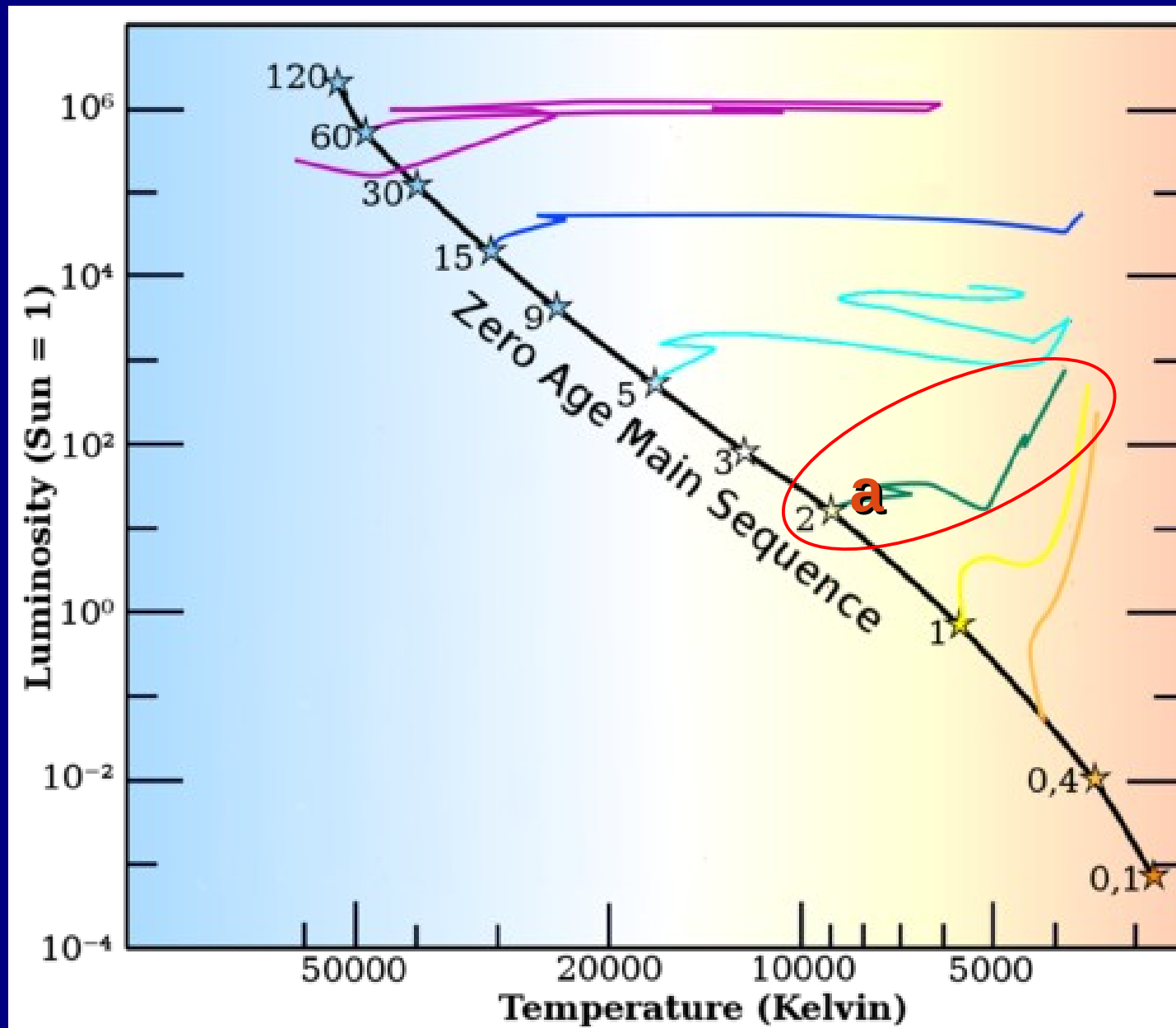
Evolução de uma estrela com $0.45 M_{\odot} < M \lesssim 1.8 - 2.3 M_{\odot}$



Evolução de uma estrela com $0.45 M_{\odot} < M \lesssim 1.8 - 2.3 M_{\odot}$

1. *Sequência principal*: queima de H em He no núcleo pelo ciclo p-p ($M < 1.2 M_{\odot}$) ou CNO ($M > 1.2 M_{\odot}$).
 - a) Combustível é exaurido no núcleo, que passa a contrair enquanto o exterior se expande.

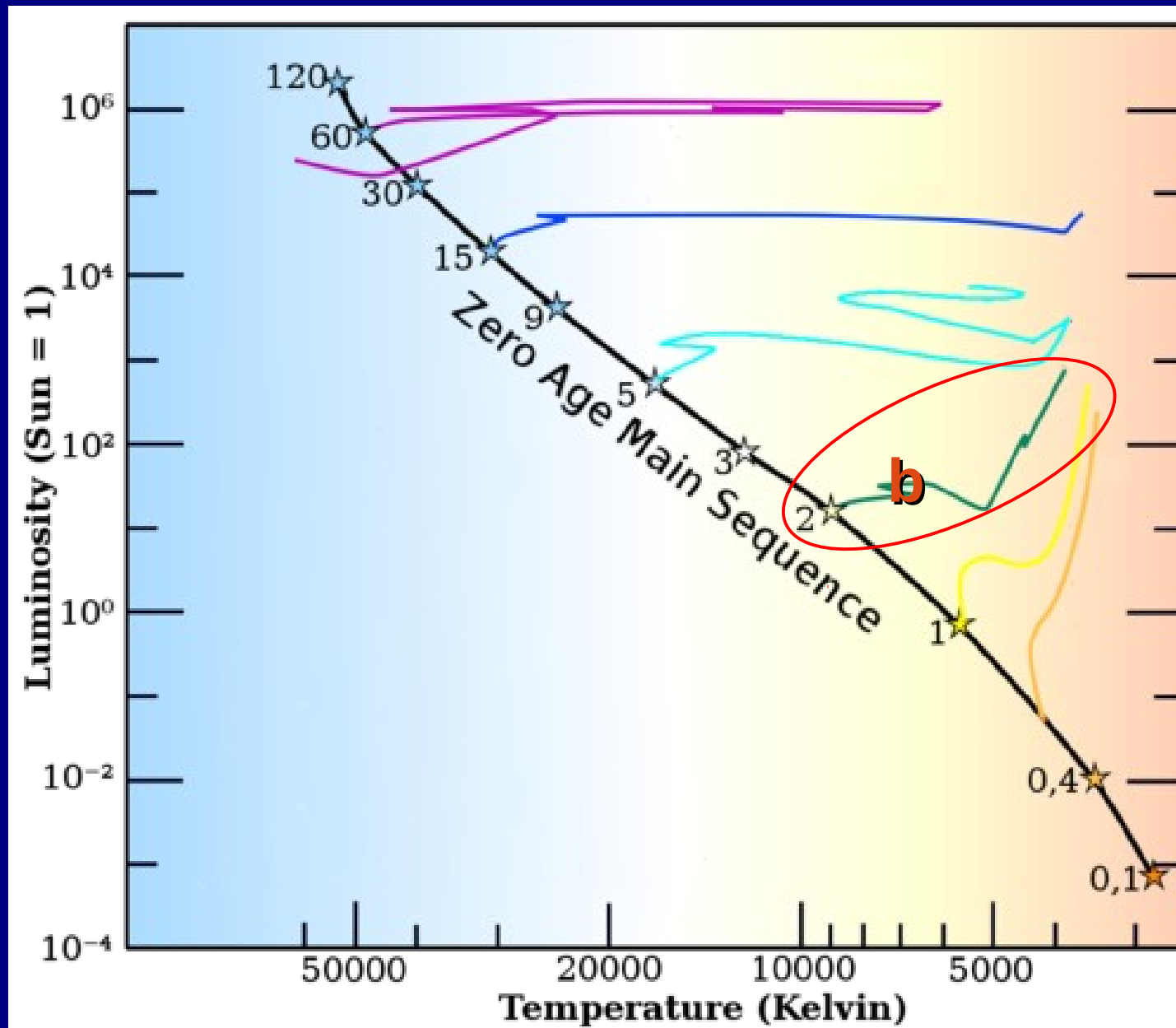
Evolução de uma estrela com $0.45 M_{\odot} < M \lesssim 1.8 - 2.3 M_{\odot}$



Evolução de uma estrela com $0.45 M_{\odot} < M \lesssim 1.8 - 2.3 M_{\odot}$

1. *Sequência principal*: queima de H em He no núcleo pelo ciclo p-p ($M < 1.2 M_{\odot}$) ou CNO ($M > 1.2 M_{\odot}$).
 - a) Combustível é exaurido no núcleo, que passa a contrair enquanto o exterior se expande.
 - b) Estrela queima H em camada externa ao núcleo e esquenta brevemente, depois esfria novamente.

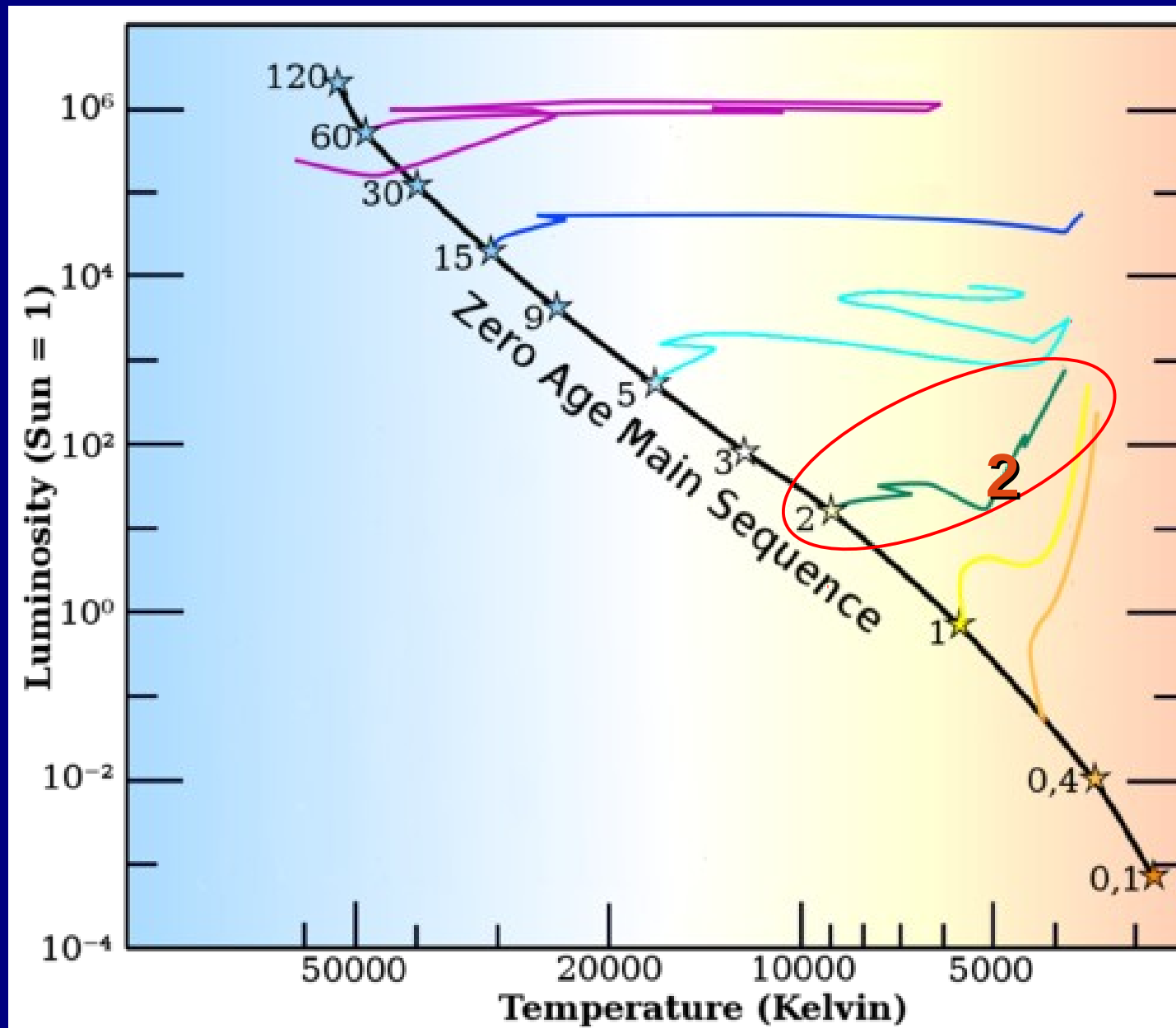
Evolução de uma estrela com $0.45 M_{\odot} < M \lesssim 1.8 - 2.3 M_{\odot}$



Evolução de uma estrela com $0.45 M_{\odot} < M \lesssim 1.8 - 2.3 M_{\odot}$

1. *Sequência principal*: queima de H em He no núcleo pelo ciclo p-p ($M < 1.2 M_{\odot}$) ou CNO ($M > 1.2 M_{\odot}$).
 - a) Combustível é exaurido no núcleo, que passa a contrair enquanto o exterior se expande.
 - b) Estrela queima H em camada externa ao núcleo e esquenta brevemente, depois esfria novamente.
2. *Gigante (RGB)*: estrela é tão fria que se torna completamente convectiva. A contração do núcleo continua.

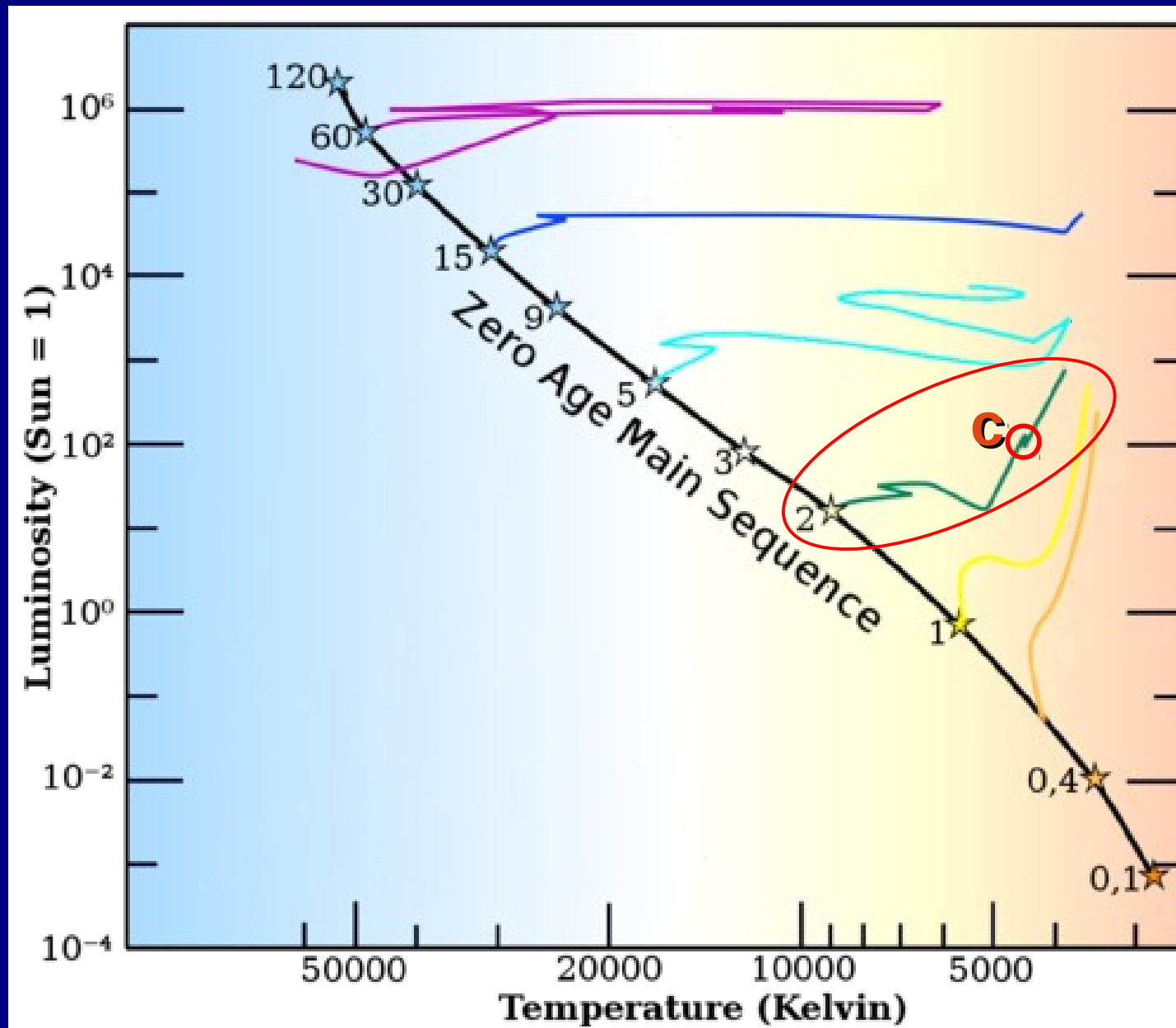
Evolução de uma estrela com $0.45 M_{\odot} < M \lesssim 1.8 - 2.3 M_{\odot}$



Evolução de uma estrela com $0.45 M_{\odot} < M \lesssim 1.8 - 2.3 M_{\odot}$

1. *Sequência principal*: queima de H em He no núcleo pelo ciclo p-p ($M < 1.2 M_{\odot}$) ou CNO ($M > 1.2 M_{\odot}$).
 - a) Combustível é exaurido no núcleo, que passa a contrair enquanto o exterior se expande.
 - b) Estrela queima H em camada externa ao núcleo e esquenta brevemente, depois esfria novamente.
2. *Gigante (RGB)*: estrela é tão fria que se torna completamente convectiva. A contração do núcleo continua.
 - c) Flash de He: a temperatura de queima de He ($\approx 10^8 \text{K}$) é atingida em um núcleo degenerado e ocorre fora do equilíbrio.

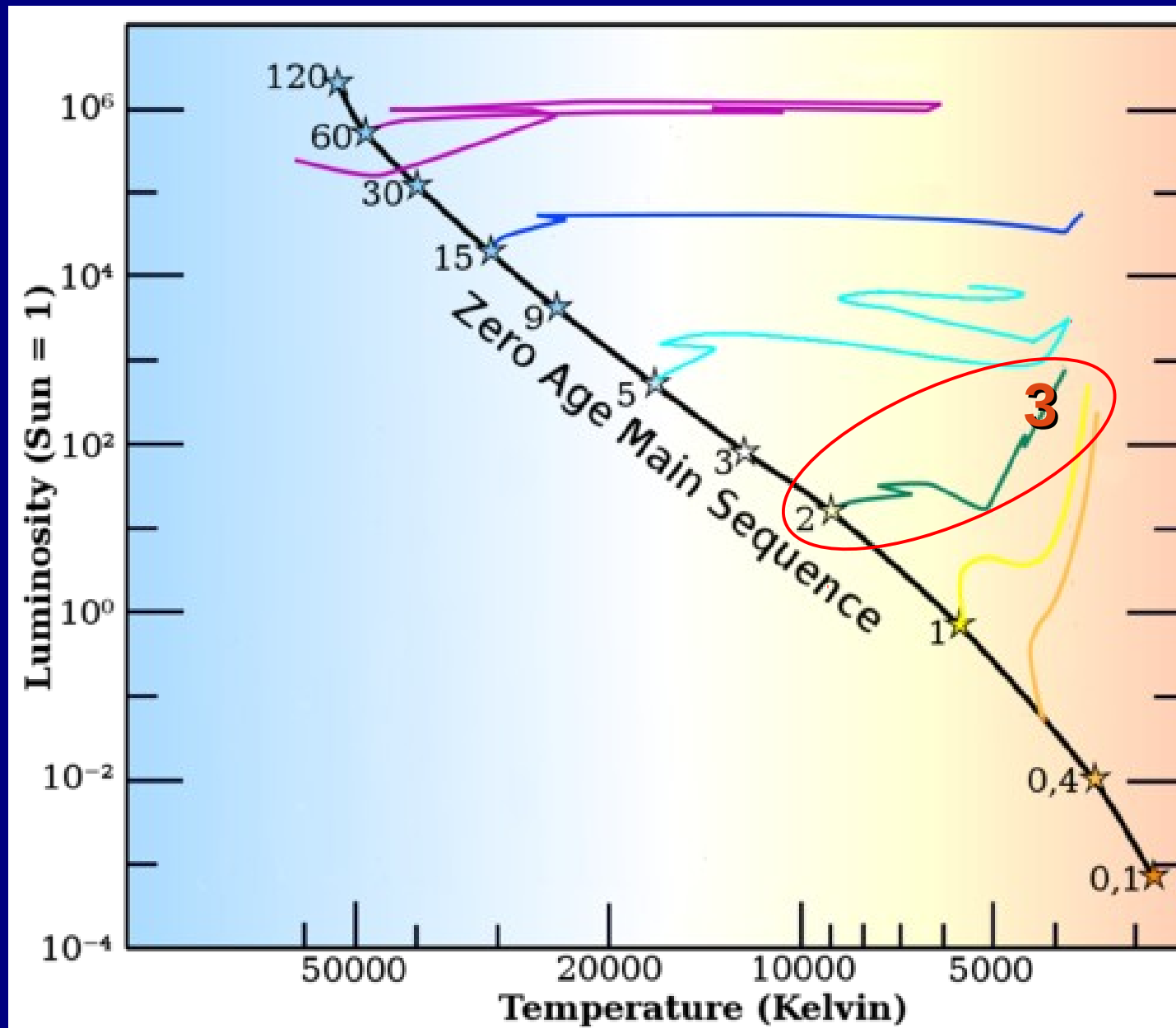
Evolução de uma estrela com $0.45 M_{\odot} < M \lesssim 1.8 - 2.3 M_{\odot}$



Evolução de uma estrela com $0.45 M_{\odot} < M \lesssim 1.8 - 2.3 M_{\odot}$

1. *Sequência principal*: queima de H em He no núcleo pelo ciclo p-p ($M < 1.2 M_{\odot}$) ou CNO ($M > 1.2 M_{\odot}$).
 - a) Combustível é exaurido no núcleo, que passa a contrair enquanto o exterior se expande.
 - b) Estrela queima H em camada externa ao núcleo e esquentando brevemente, depois esfria novamente.
2. *Gigante (RGB)*: estrela é tão fria que se torna completamente convectiva. A contração do núcleo continua.
 - c) Flash de He: a temperatura de queima de He ($\approx 10^8 \text{K}$) é atingida em um núcleo degenerado e ocorre fora do equilíbrio.
3. *Supergigante (AGB)*: as queimas de H em He e de He em C e O ocorrem em camadas alternadas fora do núcleo.

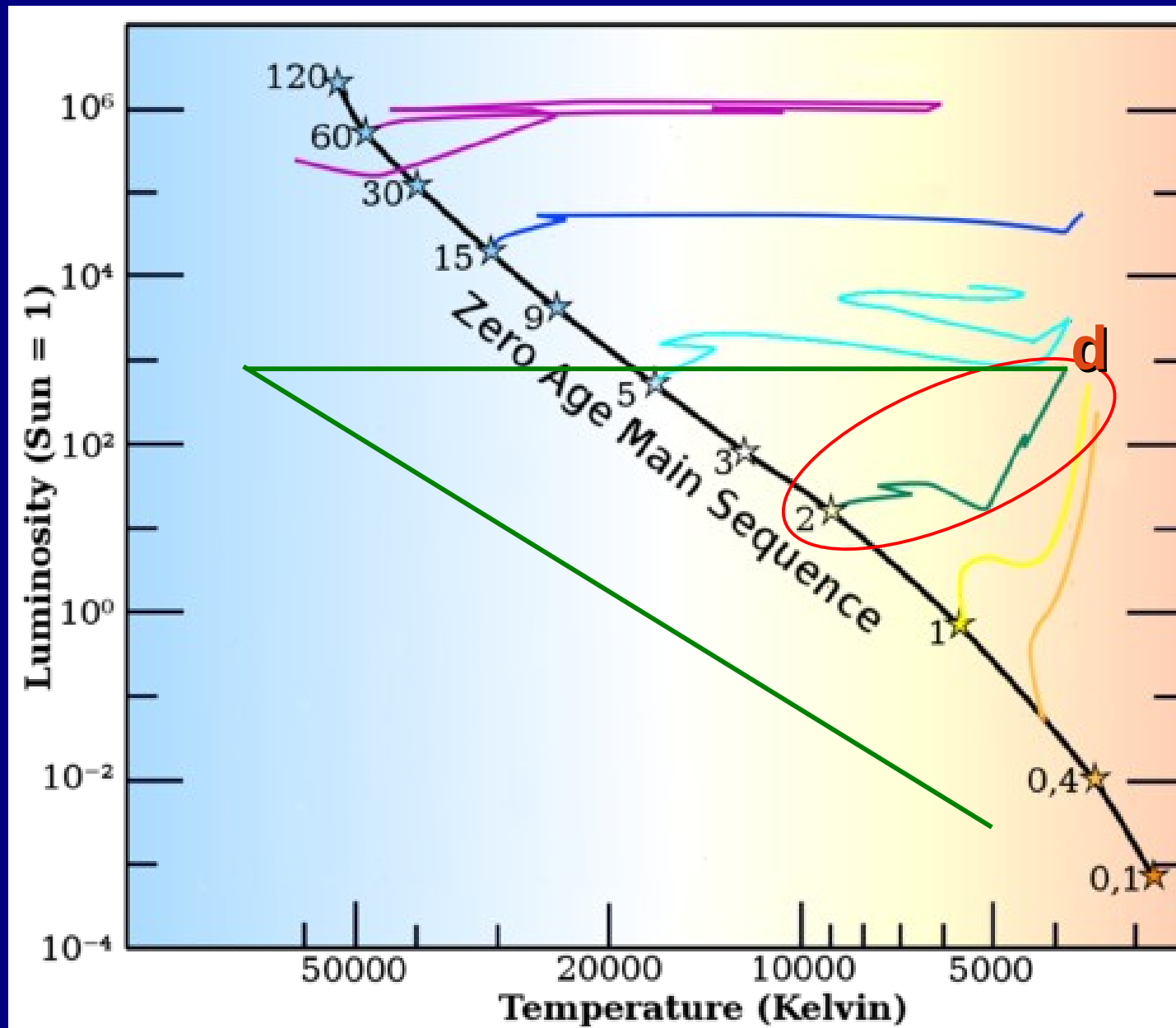
Evolução de uma estrela com $0.45 M_{\odot} < M \lesssim 1.8 - 2.3 M_{\odot}$



Evolução de uma estrela com $0.45 M_{\odot} < M \lesssim 1.8 - 2.3 M_{\odot}$

1. *Sequência principal*: queima de H em He no núcleo pelo ciclo p-p ($M < 1.2 M_{\odot}$) ou CNO ($M > 1.2 M_{\odot}$).
 - a) Combustível é exaurido no núcleo, que passa a contrair enquanto o exterior se expande.
 - b) Estrela queima H em camada externa ao núcleo e esquentando brevemente, depois esfria novamente.
2. *Gigante (RGB)*: estrela é tão fria que se torna completamente convectiva. A contração do núcleo continua.
 - c) Flash de He: a temperatura de queima de He ($\approx 10^8 \text{K}$) é atingida em um núcleo degenerado e ocorre fora do equilíbrio.
3. *Supergigante (AGB)*: as queimas de H em He e de He em C e O ocorrem em camadas alternadas fora do núcleo.
 - d) Camadas externas são ejetadas em um pulso térmico.

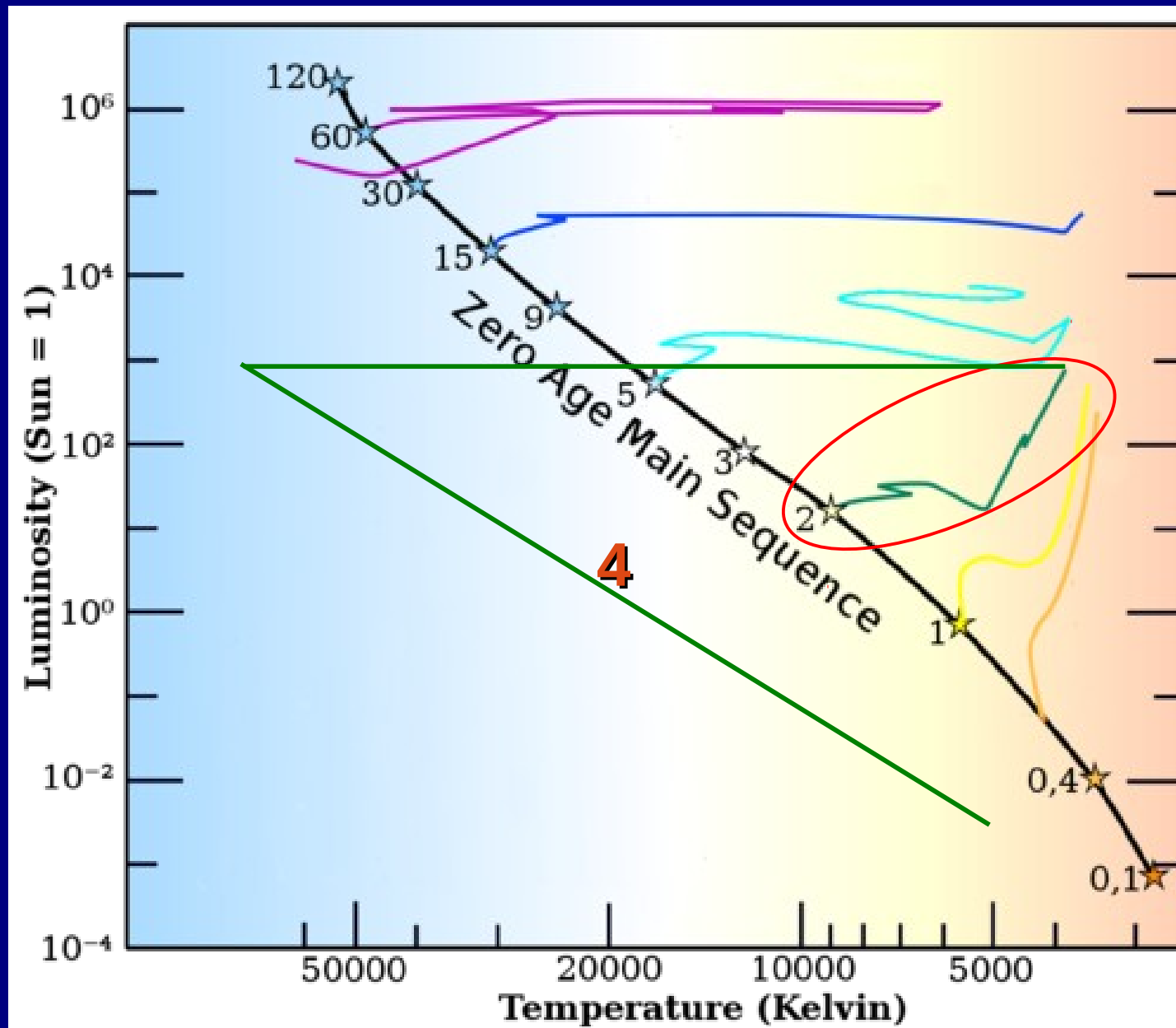
Evolução de uma estrela com $0.45 M_{\odot} < M \lesssim 1.8 - 2.3 M_{\odot}$



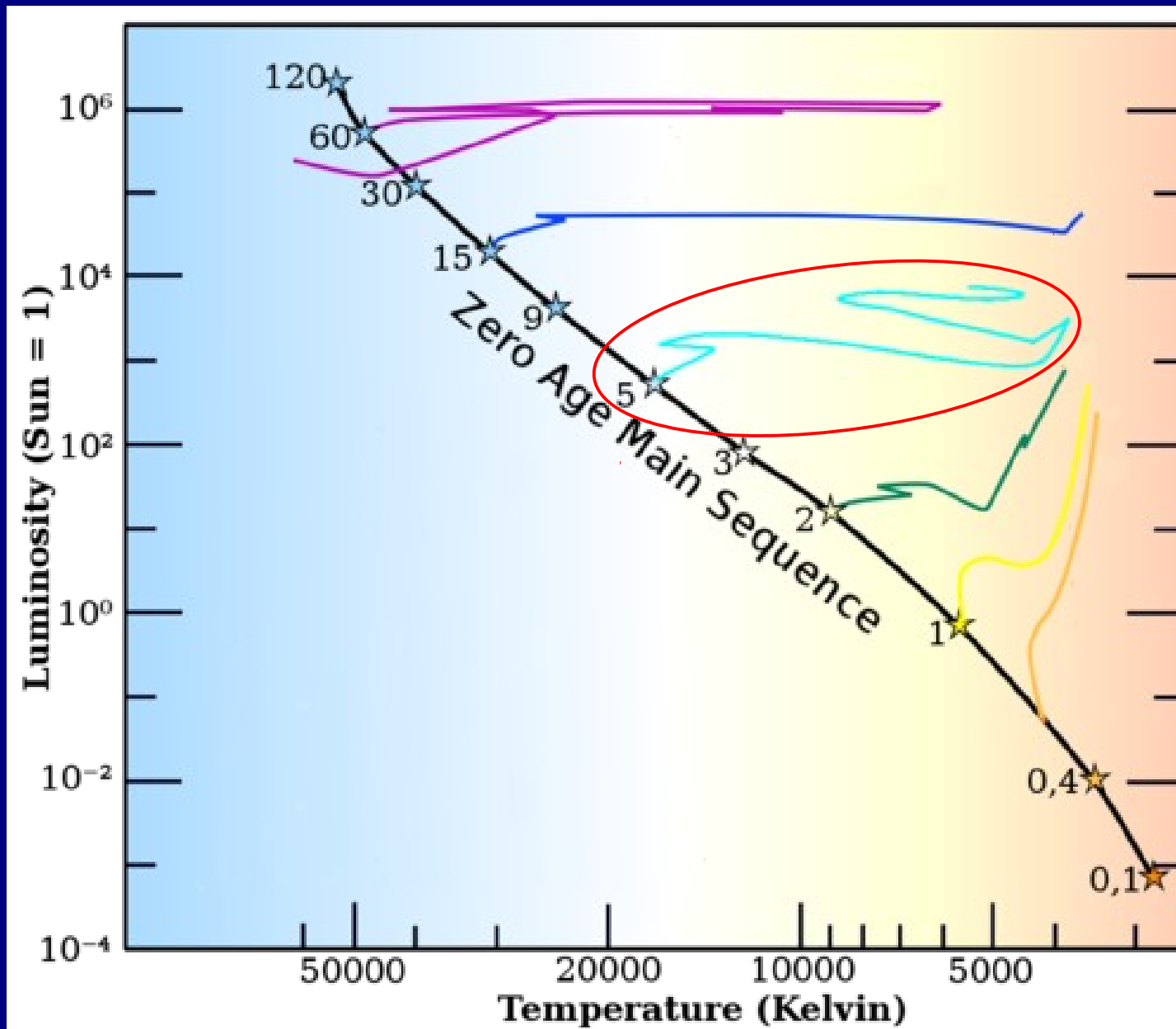
Evolução de uma estrela com $0.45 M_{\odot} < M \lesssim 1.8 - 2.3 M_{\odot}$

1. *Sequência principal*: queima de H em He no núcleo pelo ciclo p-p ($M < 1.2 M_{\odot}$) ou CNO ($M > 1.2 M_{\odot}$).
 - a) Combustível é exaurido no núcleo, que passa a contrair enquanto o exterior se expande.
 - b) Estrela queima H em camada externa ao núcleo e esquentava brevemente, depois esfria novamente.
2. *Gigante (RGB)*: estrela é tão fria que se torna completamente convectiva. A contração do núcleo continua.
 - c) Flash de He: a temperatura de queima de He ($\approx 10^8 \text{K}$) é atingida em um núcleo degenerado e ocorre fora do equilíbrio.
3. *Supergigante (AGB)*: as queimas de H em He e de He em C e O ocorrem em camadas alternadas fora do núcleo.
 - d) Camadas externas são ejetadas em um pulso térmico.
4. *Anã Branca de C/O*

Evolução de uma estrela com $0.45 M_{\odot} < M \lesssim 1.8 - 2.3 M_{\odot}$



Evolução de uma estrela com $1.8 - 2.3 M_{\odot} \lesssim M \lesssim 10 M_{\odot}$



Evolução de uma estrela com $1.8 - 2.3 M_{\odot} \lesssim M \lesssim 10 M_{\odot}$

1. *Sequência principal*: queima de H em He no núcleo pelo CNO.

a) Combustível é exaurido no núcleo, que passa a contrair enquanto o exterior se expande.

b) Estrela queima H em camada externa ao núcleo e esquenta brevemente, depois esfria novamente.

2. *Gigante (RGB)*: estrela é tão fria que se torna completamente convectiva. A contração do núcleo continua.

c) **Ramo horizontal**: a temperatura de queima de He é atingida e a estrela passa por uma fase de **queima estável** de He, semelhante à SP.

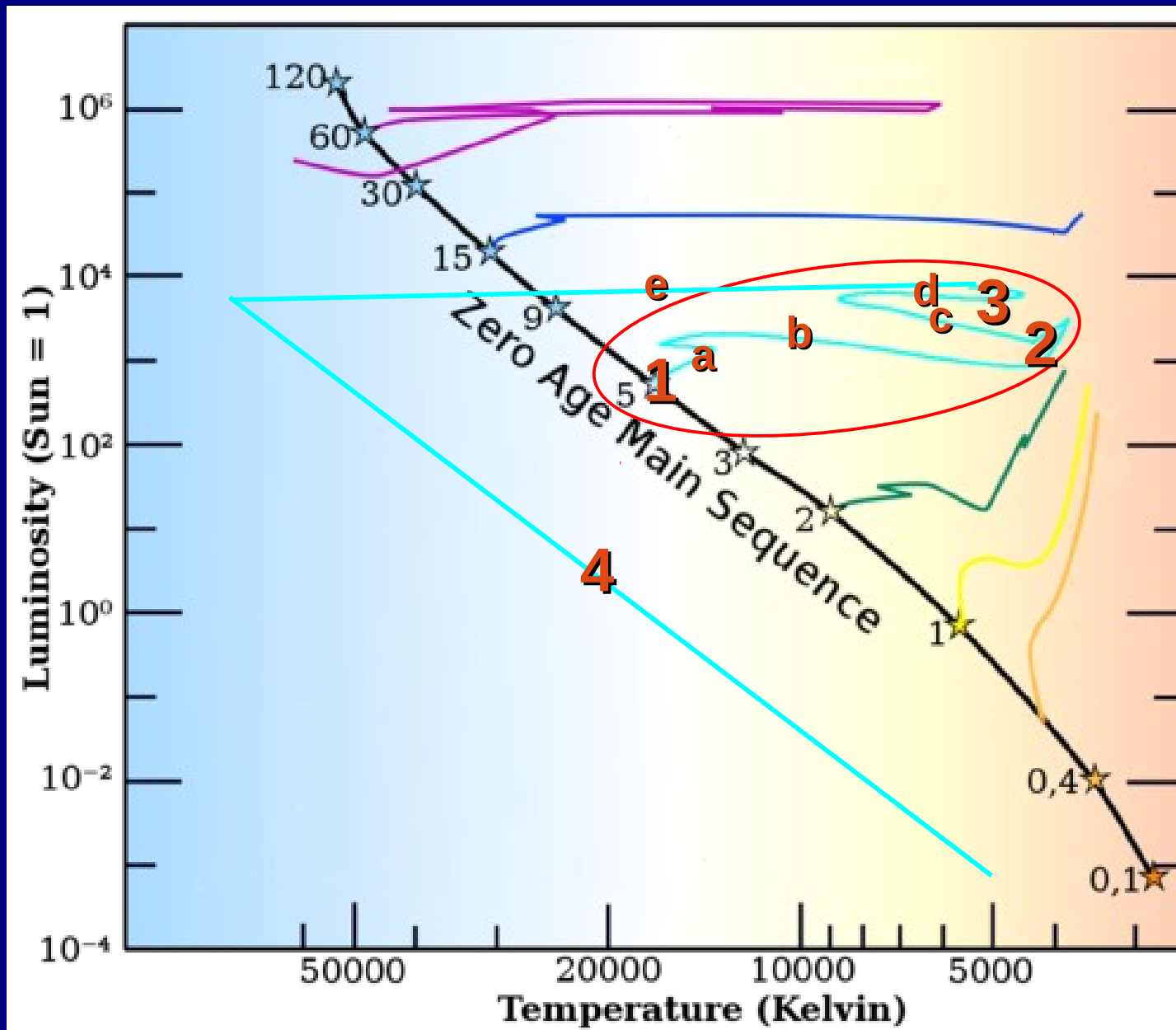
d) Com a diminuição da quantidade de He no núcleo, a estrela resfria.

3. *Supergigante (AGB)*: as queimas de H em He e de He em C e O ocorrem em camadas alternadas fora do núcleo. Para $\gtrsim 8 M_{\odot}$, temperatura de queima de C e O ($T \approx 10^9$) pode ser atingida.

e) Nebulosa planetária: camadas externas são ejetadas em um pulso térmico.

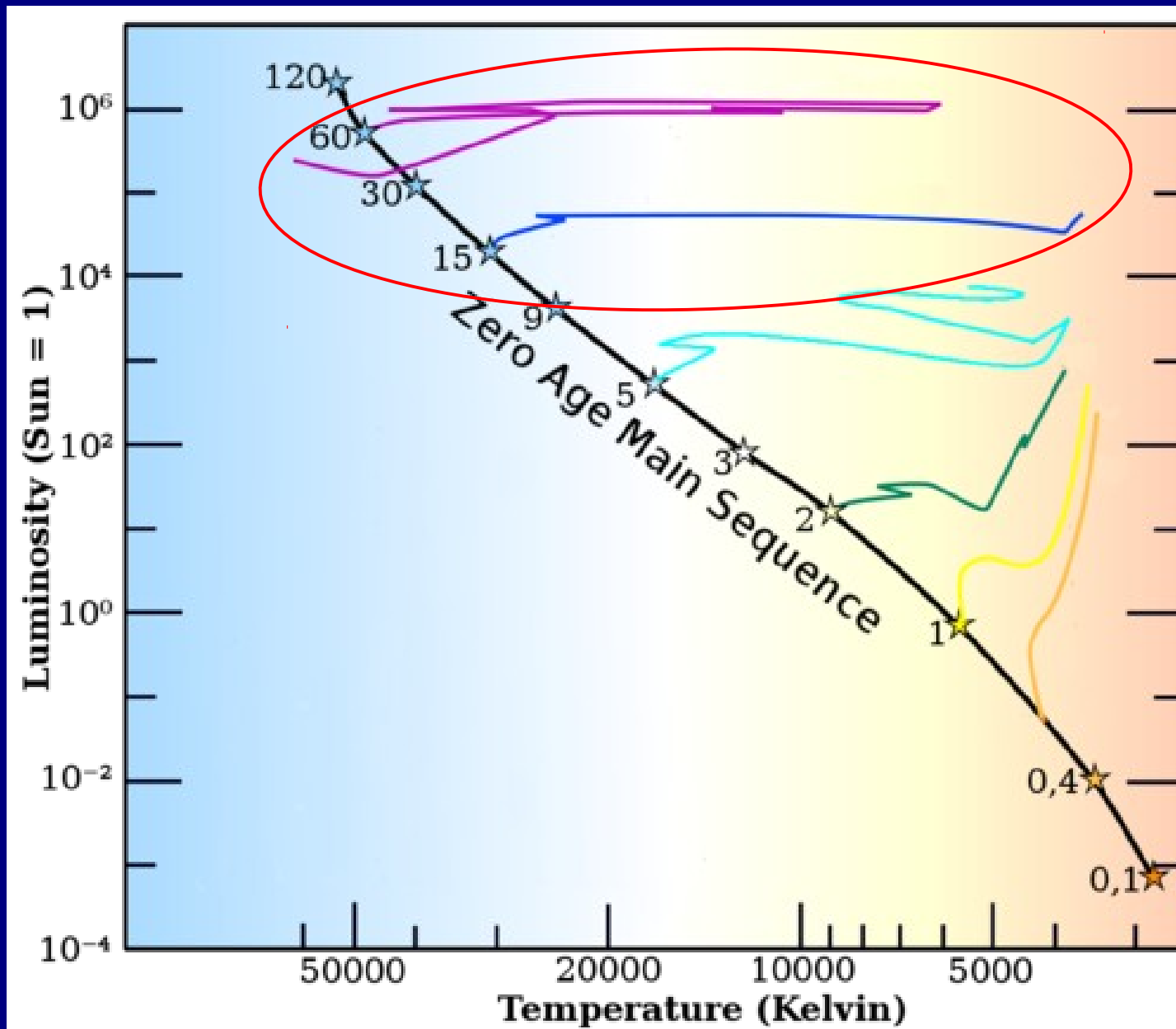
4. *Anã Branca de C/O ou O/Ne/Mg*

Evolução de uma estrela com $1.8 - 2.3 M_{\odot} \lesssim M \lesssim 10 M_{\odot}$



Vídeo

Evolução de uma estrela com $M \gtrsim 10 M_{\odot}$



Evolução de uma estrela com $M \gtrsim 10 M_{\odot}$

1. *Sequência principal*: queima de H em He no núcleo pelo CNO.

a) Combustível é exaurido no núcleo e a estrela desloca-se para o azul.

b) Estrela queima H em camada externa ao núcleo, que ainda se contrai.

2. RGB e AGB são consecutivos, a estrela atinge temperaturas altas o bastante para queimar He, C, O, Ne, Mg, Si... Fe.

c) Após a formação de ferro, não é mais possível extrair energia por fusão, e o equilíbrio hidrostático não será mantido: a estrela colapsa.

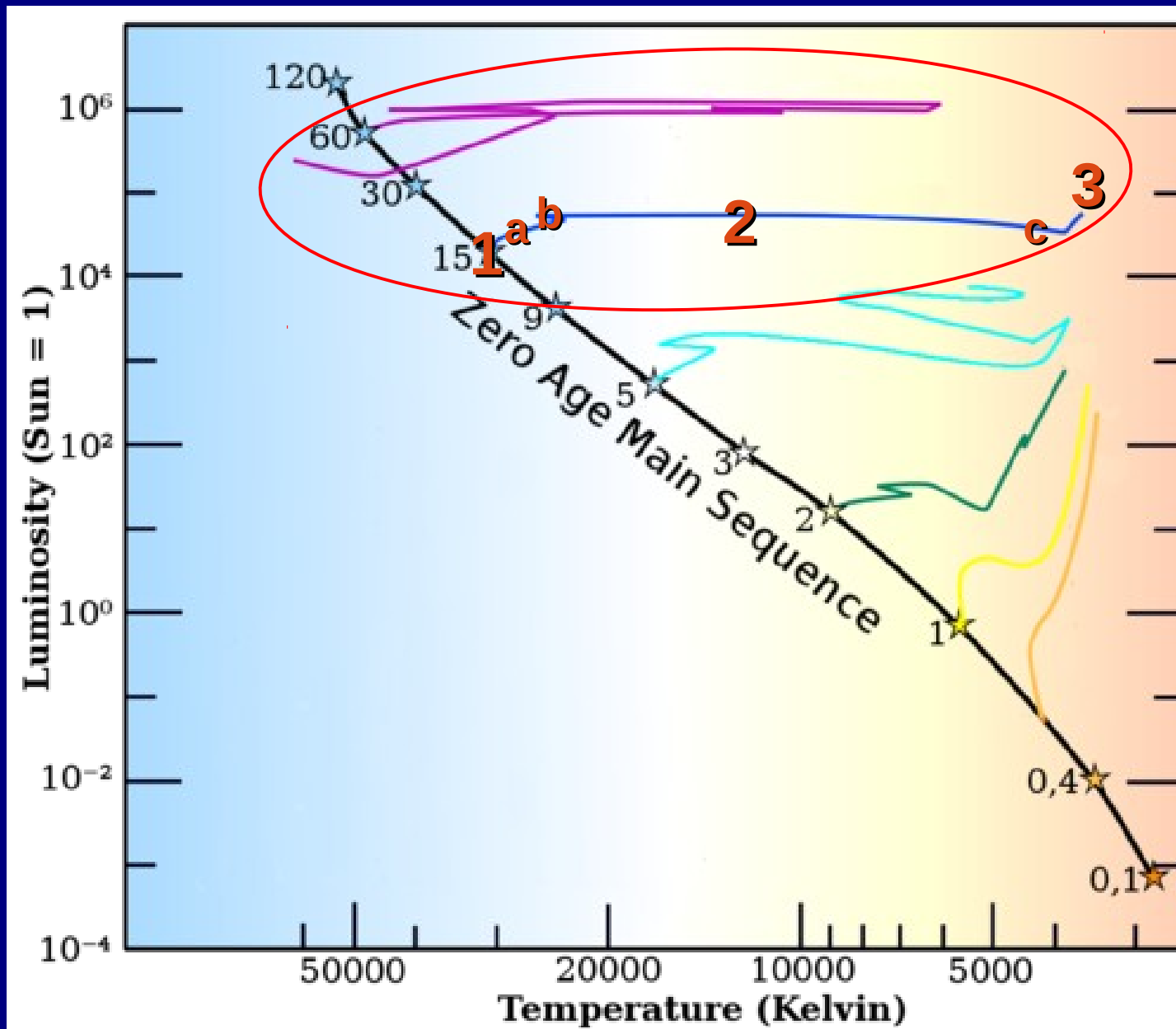
3. *Supernova*: há um aumento abrupto de luminosidade devido à liberação de energia durante o colapso.

Ocorre decaimento β inverso: próton e elétron colidem formando nêutron.

$10 M_{\odot} \lesssim M \lesssim 25 M_{\odot}$: a pressão de degenerescência dos nêutrons é suficiente para manter equilíbrio hidrostático \Rightarrow *estrela de nêutrons*.

$M \gtrsim 25 M_{\odot}$: o equilíbrio hidrostático não se mantém \Rightarrow *buraco negro*.

Evolução de uma estrela com $M \gtrsim 10 M_{\odot}$



Vídeo

Um pouco mais sobre Buracos Negros

→ Objeto tão denso que deforma o espaço-tempo a tal ponto que, a partir de uma dada distância chamada *raio de Schwarzschild*, nem a luz escapa.

Um pouco mais sobre Buracos Negros

→ Objeto tão denso que deforma o espaço-tempo a tal ponto que, a partir de uma dada distância chamada *raio de Schwarzschild*, nem a luz escapa.

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

$$v_e = c$$

$$R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

Um pouco mais sobre Buracos Negros

→ Objeto tão denso que deforma o espaço-tempo a tal ponto que, a partir de uma dada distância chamada *raio de Schwarzschild*, nem a luz escapa.

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{r}} \quad \xrightarrow{v_e = c} \quad R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

Para a massa do Sol, por exemplo: $R_s = 3 \text{ km}$.

Um pouco mais sobre Buracos Negros

→ Objeto tão denso que deforma o espaço-tempo a tal ponto que, a partir de uma dada distância chamada *raio de Schwarzschild*, nem a luz escapa.

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{r}} \quad \xrightarrow{v_e = c} \quad R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

Para a massa do Sol, por exemplo: $R_s = 3 \text{ km}$.

O ponto a partir do qual a luz não escapa é chamado *horizonte de eventos*.

Um pouco mais sobre Buracos Negros

Canais de formação:

- Supernovas tipo Ia: colapso de um sistema binário de estrelas;
- Supernovas tipo Ib, Ic, II: colapso de uma estrela massiva.

Um pouco mais sobre Buracos Negros

Canais de formação:

- Supernovas tipo Ia: colapso de um sistema binário de estrelas;
- Supernovas tipo Ib, Ic, II: colapso de uma estrela massiva.

* *Buracos negros primordiais*: teoricamente, durante os primeiros instantes após o Big-Bang, as condições de temperatura e pressão eram tais que simples flutuações de densidade poderiam originar regiões densas o suficiente para criar buracos negros.

Um pouco mais sobre Buracos Negros



Sugerido por Stephen
Hawking em 1974.



* *Buracos negros primordiais*: teoricamente, durante os primeiros instantes após o Big-Bang, as condições de temperatura e pressão eram tais que simples flutuações de densidade poderiam originar regiões densas o suficiente para criar buracos negros.

Um pouco mais sobre Buracos Negros

São candidatos à
matéria escura no
halo.

* *Buracos negros primordiais*: teoricamente, durante os primeiros instantes após o Big-Bang, as condições de temperatura e pressão eram tais que simples flutuações de densidade poderiam originar regiões densas o suficiente para criar buracos negros.

Um pouco mais sobre Buracos Negros

São candidatos à matéria escura no halo.

Busca-se evidência da sua presença com o Fermi Gamma-ray Space Telescope (FGST)



* *Buracos negros primordiais*: teoricamente, durante os primeiros instantes após o Big-Bang, as condições de temperatura e pressão eram tais que simples flutuações de densidade poderiam originar regiões densas o suficiente para criar buracos negros.

Um pouco mais sobre Buracos Negros

Evaporação de buracos negros:

- Buracos negros emitem uma quantidade de radiação inversamente proporcional à sua massa.
= Radiação Hawking.
(análogo a um corpo negro)

Um pouco mais sobre Buracos Negros

Evaporação de buracos negros:

- Buracos negros emitem uma quantidade de radiação inversamente proporcional à sua massa.
= Radiação Hawking.
(análogo a um corpo negro)

Sendo assim, *buracos negros pequenos* (temperatura de Hawking inferior a 2.7 K, o que implica massa menor que a da Lua) perdem massa e desaparecem com o tempo.

Um pouco mais sobre Buracos Negros

Evaporação de buracos negros:

- Buracos negros emitem uma quantidade de radiação inversamente proporcional à sua massa.
= Radiação Hawking.
(análogo a um corpo negro)

Sendo assim, *buracos negros pequenos* (temperatura de Hawking inferior a 2.7 K, o que implica massa menor que a da Lua) perdem massa e desaparecem com o tempo.

- São os flashes emitidos nessa evaporação que o FGST procura.

Um pouco mais sobre Buracos Negros

→ A Relatividade Geral prevê que os menores buracos negros primordiais já evaporaram, mas se existissem dimensões espaciais extras, a evaporação seria mais lenta e tais buracos negros poderiam ser detectados.

Um pouco mais sobre Buracos Negros

- A Relatividade Geral prevê que os menores buracos negros primordiais já evaporaram, mas se existissem dimensões espaciais extras, a evaporação seria mais lenta e tais buracos negros poderiam ser detectados.
- Dimensões extras são uma das consequências da **Teoria de Cordas**.

Um pouco mais sobre Buracos Negros

→ A Relatividade Geral prevê que os menores buracos negros primordiais já evaporaram, mas se existissem dimensões espaciais extras, a evaporação seria mais lenta e tais buracos negros poderiam ser detectados.

→ Dimensões extras são uma das consequências da **Teoria de Cordas**.

(sem elas, a teoria não é matematicamente consistente)

Nessa teoria, as partículas pontuais usuais são substituídas por cordas unidimensionais em diferentes estados quânticos.

Um pouco mais sobre Buracos Negros

→ A Relatividade Geral prevê que os menores buracos negros primordiais já evaporaram, mas se existissem dimensões espaciais extras, a evaporação seria mais lenta e tais buracos negros poderiam ser detectados.

→ Dimensões extras são uma das consequências da **Teoria de Cordas**.

(sem elas, a teoria não é matematicamente consistente)

Nessa teoria, as partículas pontuais usuais são substituídas por cordas unidimensionais em diferentes estados quânticos.

→ Então o FGST poderia indiretamente verificar a existência de buracos negros primordiais e favorecer a Teoria de Cordas.

Um pouco mais sobre Buracos Negros

Mas nada foi encontrado até agora!

Físicos renomados como Richard Feynman e Roger Penrose criticam a Teoria de Cordas por não fazer previsões a energias acessíveis.

A teoria tem *diversas* soluções possíveis, ou seja, poderia explicar qualquer coisa...