

9

Nota Final : A

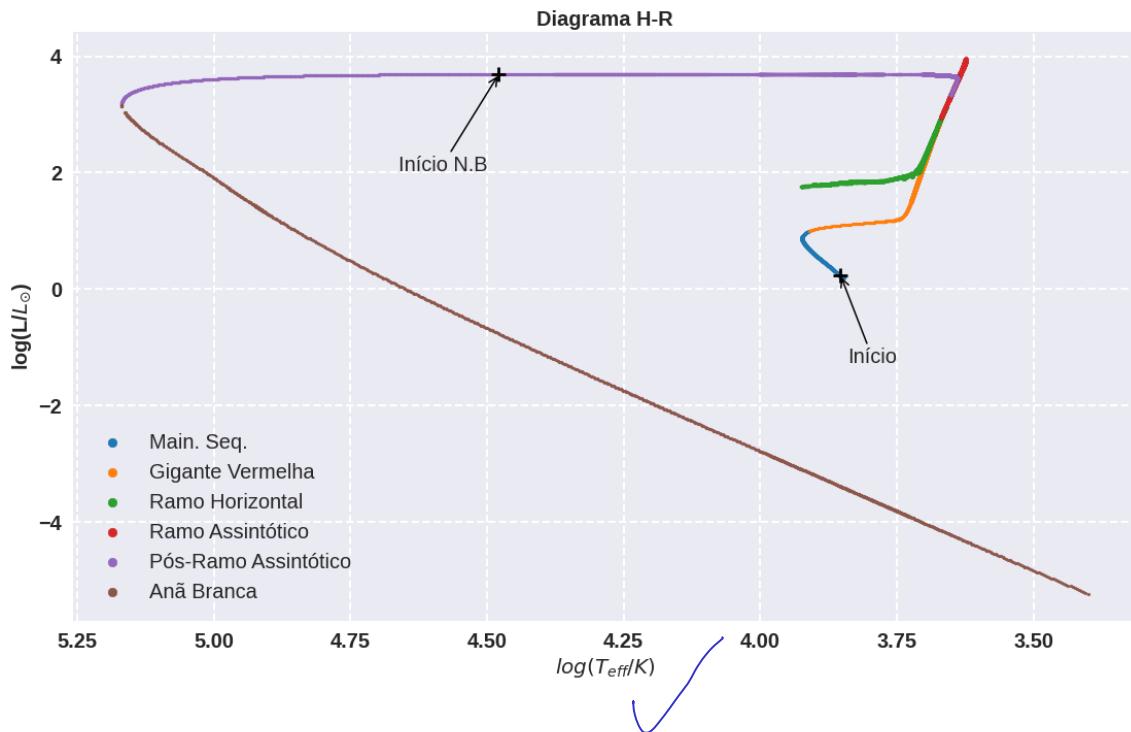
TRABALHO FINAL: Evolução Estelar

Mateus Guimarães - 00302049
Astrofísica B (FIS2002) - UFRGS

17 de novembro de 2020

Resumo

A estrela do atual trabalho tem como características: $1.0M_{\odot}$ e metalicidade $Z = 0.00001$ etapas descritas serão: Sequência Principal, Ramo das Gigantes Vermelhas, Ramo Horizontal, Ramo Assintótico, Pós-Ramo Assintótico e Anã Branca, sendo que nestes podem existir pequenas fases que terão suas características descritas, como por exemplo a fase do pulsos térmicos. A seguir, apresenta-se o diagrama de Hertzsprung-Russel da estrela já com as fases explicitadas.



1 Sequência Principal:

Como a estrela tem massa menor que $1,2M_{\odot}$, se encaixa na chamada baixa sequência principal. Marcamos o fim da sequência principal quando o hidrogênio central se esgotada, porém, como o hidrogênio central nunca é realmente igual a zero, tratamos como zero todo número menor que 1×10^{-10} . Com isso, temos que a sequência principal na estrela durou aproximadamente 5,5 bilhões de anos, como podemos ver no gráfico abaixo: na Fig. 1

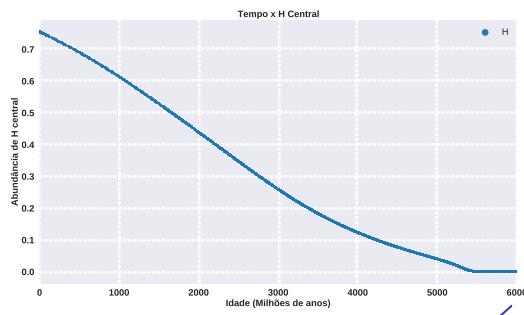


Figura 1: Abundância central de Hidrogênio.

O núcleo da estrela durante a Sequência Principal é radiativo com envelope convectivo e ainda possui o ciclo próton-próton como fonte energética principal. → Gráfico?

2 Ramo das Gigantes Vermelhas:

Iniciamos o Ramo das Gigantes Vermelhas logo após o fim da Sequência Principal, quando não há mais hidrogênio no núcleo. A estrela ainda não possui temperatura central suficiente para a queima de hélio (He) no núcleo, com isso a fonte energética da estrela é uma camada de hidrogênio que envolve o núcleo e continua aumentando a temperatura e a abundância de He central, com o ciclo CNO. Quando o núcleo atingir uma temperatura na ordem de $T \sim 10^8 K$, teremos o flash de hélio que marca o início da fusão central de He na estrela e também o fim do Ramo das Gigantes Vermelhas.

O flash acontece porque o núcleo está suportado pela pressão de um gás de elétrons degenerado.

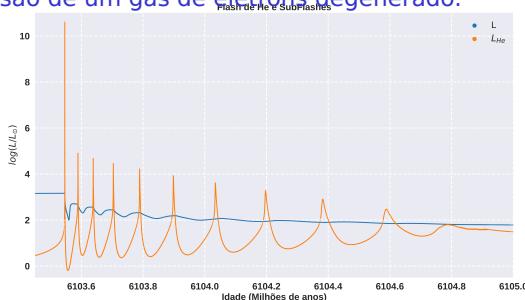


Figura 2: Flashes e Sub-Flashes de He

Na figura 2, vemos claramente o Flash de He e ainda nove sub-flashes marcando o início da queima central de He e o fim

do período da nossa estrela no Ramo das Gigantes Vermelhas. Como a sequência principal durou 5 bilhões de anos, temos que a estrela levou meio bilhão de anos, aproximadamente, nessa etapa.

3 Ramo Horizontal

Nessa etapa quem reina é o ciclo triplo alpha (3α) no núcleo convectivo com a fusão de He, porém ainda temos a presença da camada de H envelopando o núcleo e gerando uma região com transmissão de energia radiativa. A atual etapa perdura enquanto tivermos He presente no núcleo para que a fusão aconteça, no gráfico abaixo temos a abundância de He central e já aproveitamos pra perceber que esta é um etapa curta que dura aproximadamente 75 milhões de anos, começando com a fusão de He no núcleo e terminando quando não há mais He central.

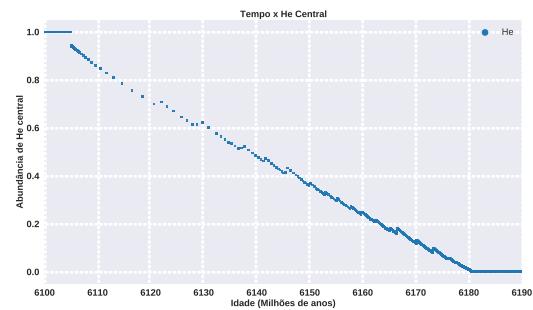


Figura 3: Abundância central de He durante o Ramo Horizontal.

4 Ramo Assintótico

Iniciamos o Ramo Assintótico quando não existe mais He no núcleo para fusão, porém, como percebe-se na figura 4, o núcleo agora é formado basicamente por Oxigênio (O_{16}) e Carbono (C_{12}) por suas produções terem se tornado mais fáceis em termos de abundância, durante o Ramo Horizontal. Temos um problema pois a estrela não consegue fazer a fusão de carbono e oxigênio e então temos um núcleo sem reações, mas existe agora uma camada de He envelopando o núcleo, da mesma maneira que tínhamos anteriormente uma camada de H, que por sua vez ainda está presente.

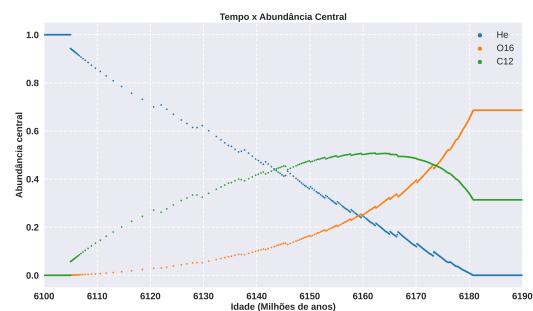


Figura 4: Abundância central.

Nessa etapa acontecem os pulsos térmicos em função da instabilidade presente na fusão de He ~~presente~~ na camada que envolve o núcleo. Percebemos os pulsos pelos picos na luminosidade nos seguintes gráficos:

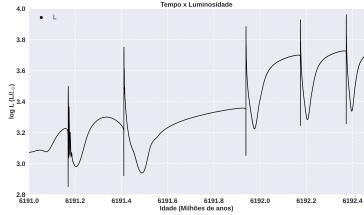


Figura 5: Luminosidade da estrela.

estrela ficou apenas 0,05 milhões de anos, aproximadamente, na etapa do Pós-Ramo Assintótico.

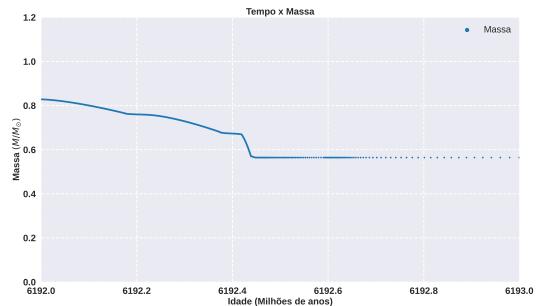


Figura 8: Perda de massa durante os pulsos térmicos

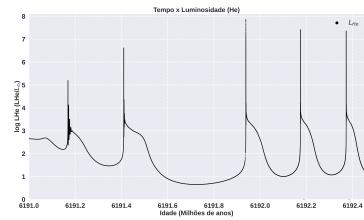


Figura 6: Luminosidade oriunda da camada de He.

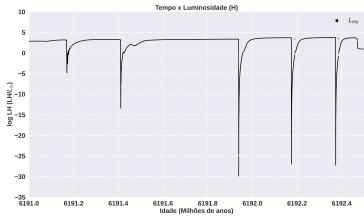


Figura 7: Luminosidade oriunda da camada de H.

O Ramo Assintótico acaba juntamente com o último pulso térmico da estrela, no nosso caso durando aproximadamente 12 milhões de anos. O pulsar da estrela faz com que as camadas mais externas, quando arremessadas para muito longe do núcleo, não consigam se *rejuntar* com as camadas interiores, fazendo com que a estrela perca muita massa que não poderá mais ser recuperada.

5 Pós-Ramo Assintótico

Terminado o último pulso, temos uma estrela com uma massa menor que a inicial pois camadas externas foram expulsas do ~~meio gravitacional~~ e, em razão disso, a temperatura efetiva (T_{eff}) da estrela aumenta. Aumenta tanto que, quando atingimos $T_{eff} \sim 30,000K$, a estrela consegue ionizar o gás de poeira que fora ejetado anteriormente, a partir deste momento, temos as belíssimas Nebulosas Planetárias. Marcamos o fim da etapa do Pós-Ramo Assintótico no momento em que temos o pico da T_{eff} , uma vez que depois desse momento entramos na curva de resfriamento, que ~~assemelha-se mais com a próxima etapa a ser apresentada: a Anã Branca~~. Com isso, nossa

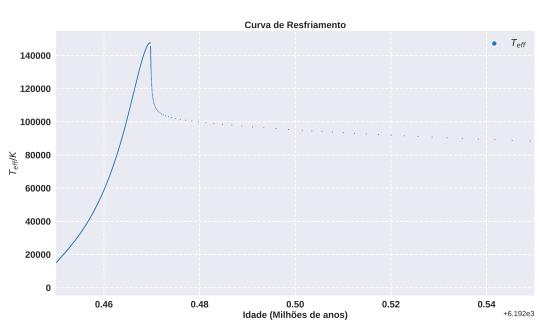


Figura 9: Pico da Temperatura Efetiva

6 Anã Branca

Chegamos na última etapa da nossa estrela, iniciando-a depois do pico da T_{eff} , que neste caso foi de, aproximadamente, 140,000K (figura 9), essa etapa é a mais longa e mais monótona de todas, durando na ordem de 17 bilhões de anos. Essa etapa é monótona para a nossa estrela pois não temos massa suficiente para *queimar* o ~~oxigênio~~ e o carbono presente no núcleo (a massa da estrela é menor que a massa de Chandrasekhar), fazendo com que a única fonte de energia da estrela sejam as camadas externas que sobraram após os pulsos térmicos, porém agora com menos massa, essas camadas produzem energia térmica até não possuírem mais temperatura para tal, por isso, chamamos essa etapa também de Curva de Resfriamento, uma vez que a estrela vai resfriando até o fim do que chama-se de sua vida.

³ As camadas em combustão duram pouco, depois a energia vem do calor armazenado nos íons do núcleo.



Figura 10: Diagrama HR na etapa da Anã Branca

7 Evolução Química

Quando analisamos a evolução química da estrela, podemos perceber claramente as fases e etapas descritas no trabalho, salvo algumas exceções que, por esse último gráfico englobar toda a *vida* da estrela, acabam não aparecendo por muito tempo, como é o caso da diminuição do He central que mais parece uma queda abrupta. Percebe-se também que a parcela de oxigênio e carbono na fase da anã branca se mantém constante como era de se esperar pois não há queima destes elementos.

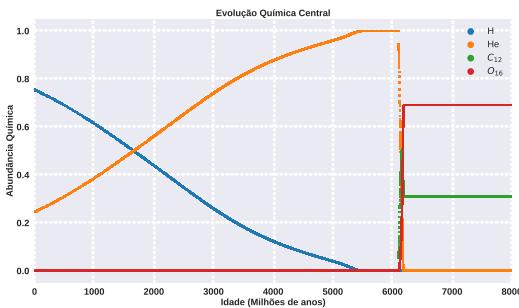


Figura 11: Evolução Química da estrela

Obs: Não coloquei o gráfico até o final dos dados pois o OverLeaf não compilava.