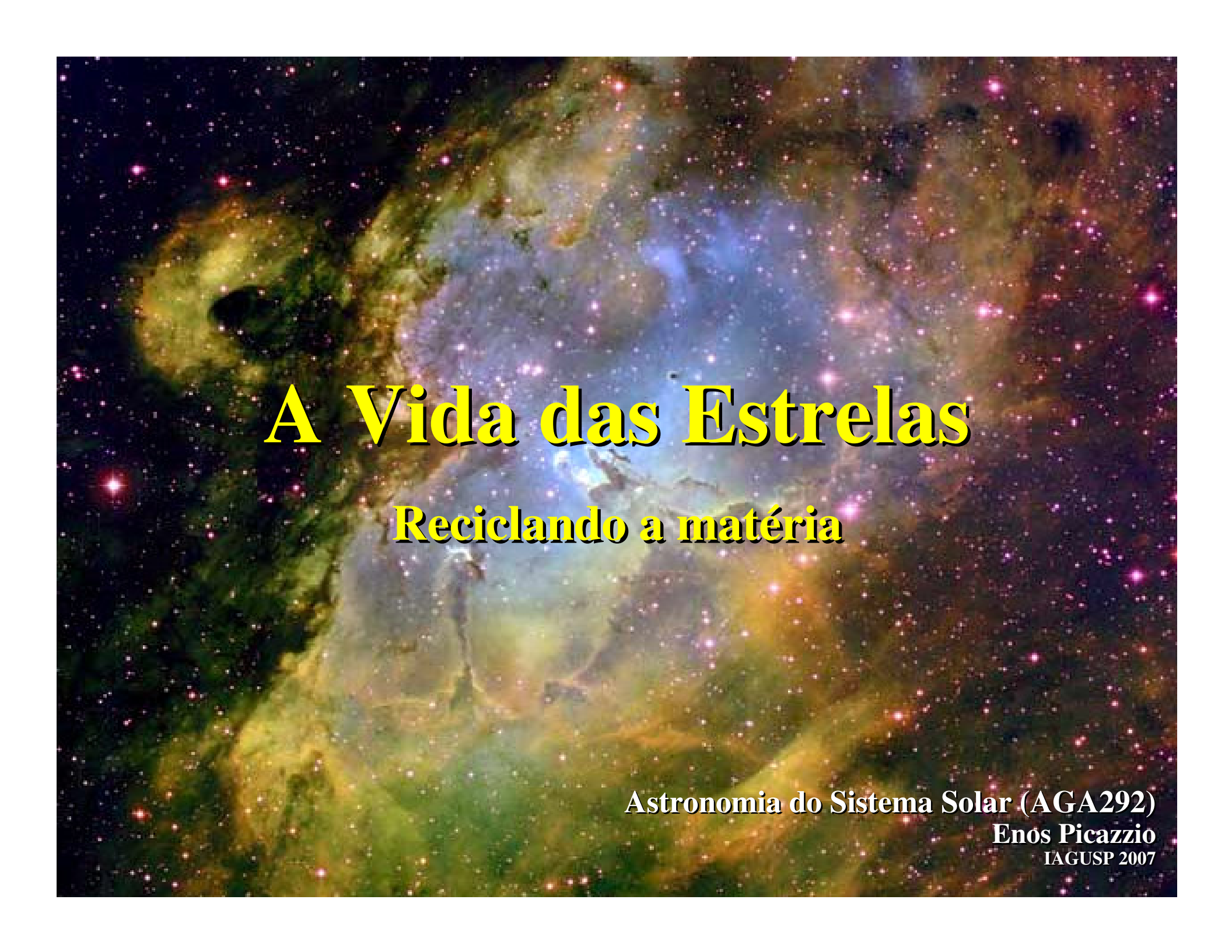




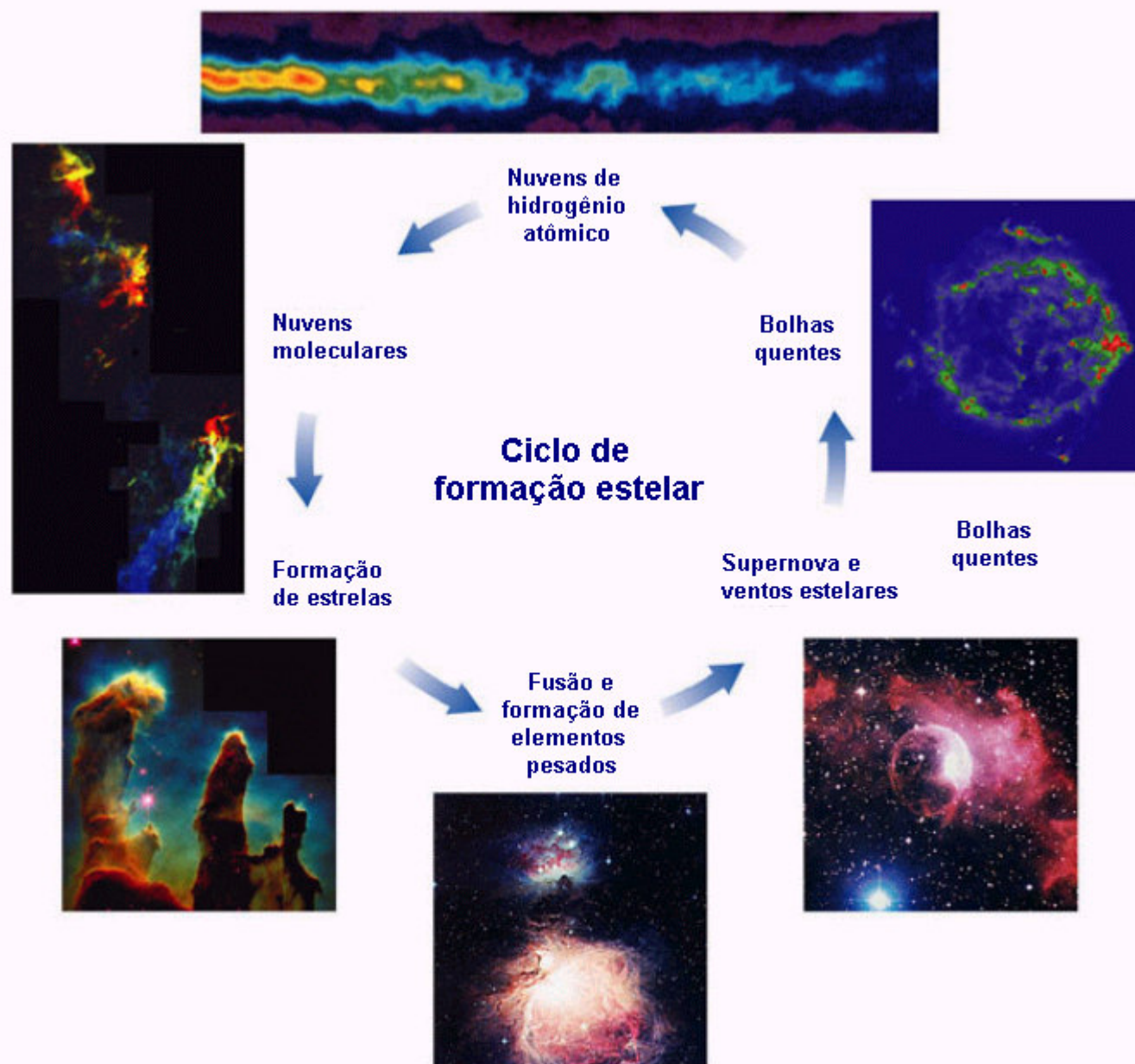
A Vida das Estrelas

Reciclando a matéria

Astronomia do Sistema Solar (AGA292)

Enós Picazzio

IAGUSP 2007



Copyright © 2004 Pearson Education, publishing as Addison Wesley.

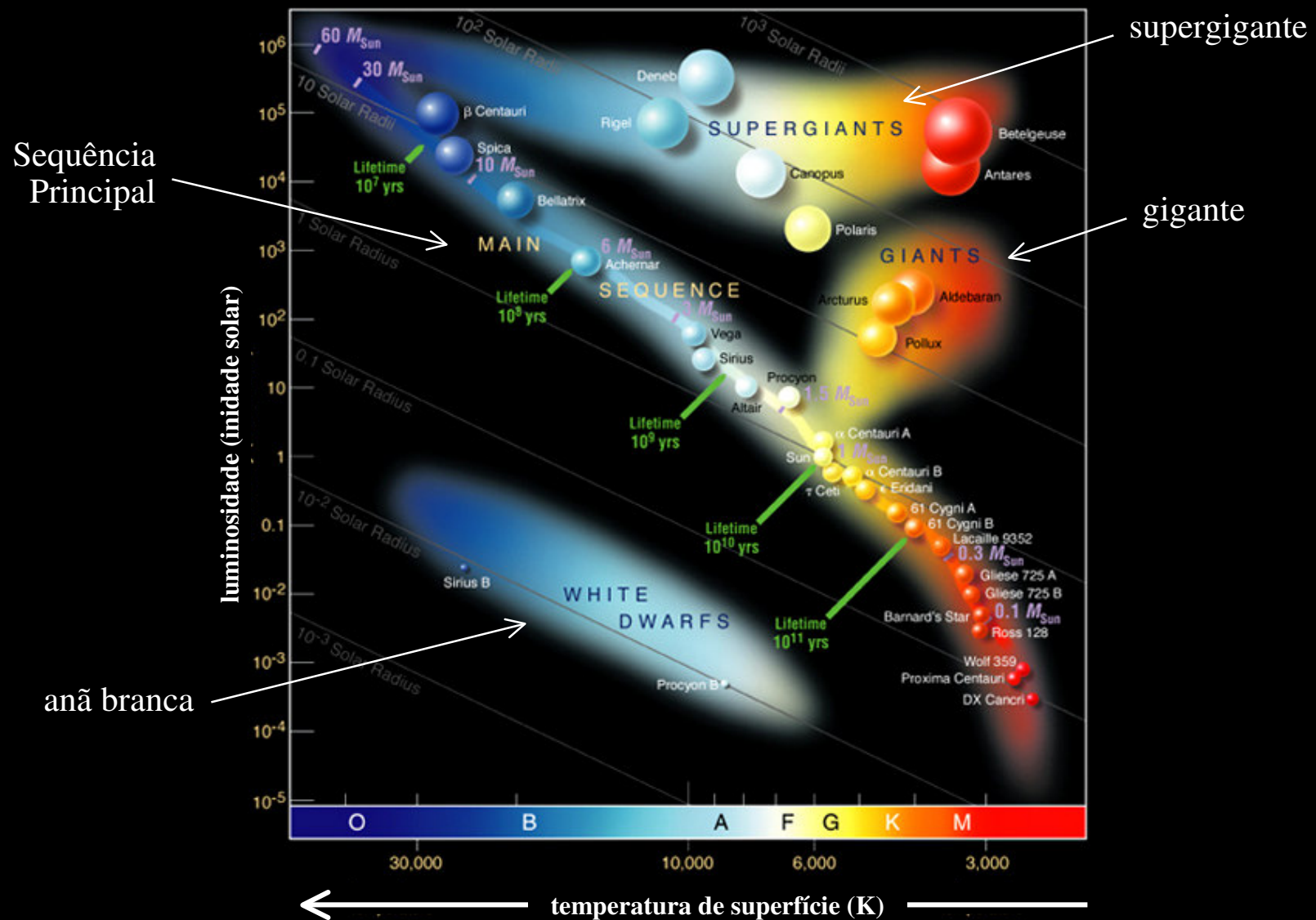
Abundância cósmica dos elementos

Elementos	Qde. de partículas no núcleo	Abundância em número (%)
Hidrogênio	1	90
Hélio	4	9
Grupo do Lítio	7-12	0,000001
Grupo do Carbono	12-20	0,2
Grupo do Silício	23-48	0,01
Grupo do Ferro	50-62	0,01
Grupo de peso médio	63-100	0,000000001
Grupo dos mais pesados	mais que 100	0,000000001

Fonte: Chaisson & McMillan, Astronomy Today

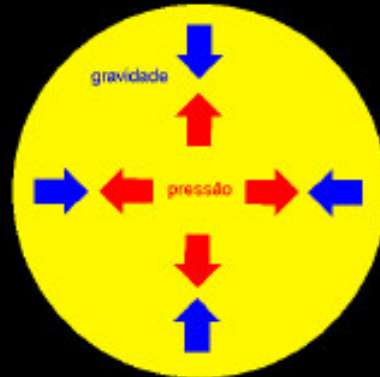
Classificação espectral das estrelas

Diagrama Hertzsprung-Russel



Do nascimento à Sequência Principal

Equilíbrio da nuvem molecular densa depende da relação entre as pressões interna (controlada pela temperatura local) e externa (controlada pela força gravitacional).



Perdendo a sustentação a nuvem entra em colapso. O movimento de contração é lento no início mas aumenta gradativamente com a contração. Vários glóbulos podem se formar.

Sir James Jeans (início de 1900):

uma nuvem com cerca de 1.000 massas solares e temperatura de 50 K entra espontaneamente em colapso se ela estiver encerrada em um volume com 2 pc (6,52 AL) de raio.



Do nascimento à Sequência Principal

Uma lei básica da Física:

conservação da energia

- pode ser transformada em outras espécies, mas a energia total do sistema se conserva.

Na contração do glóbulo:

- a energia potencial gravitacional transforma-se basicamente em energia térmica e cinética.
- quanto mais a nuvem se contrai, mais ela se aquece e mais rapidamente ela gira.



- densidade, temperatura e pressão aumentam nas regiões centrais → nasce a proto-estrela

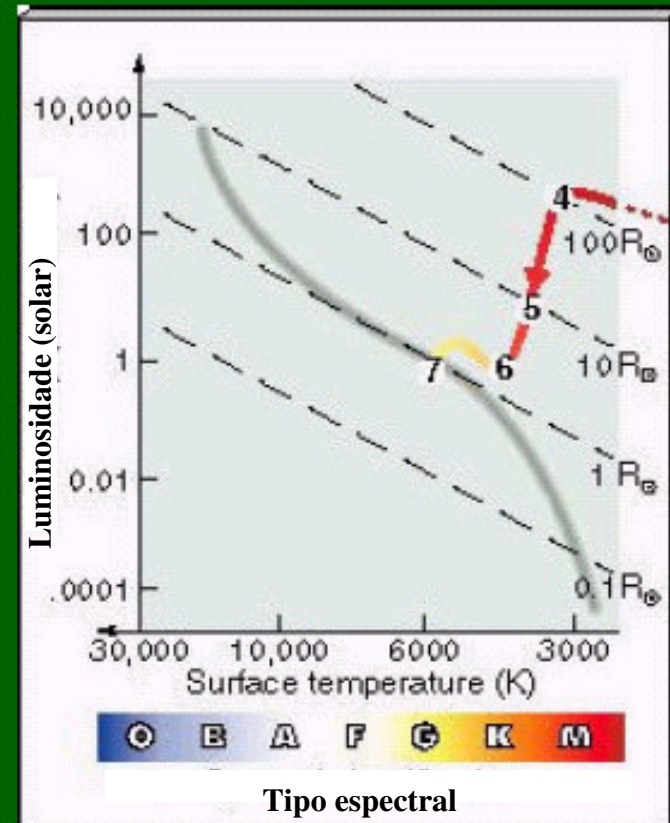
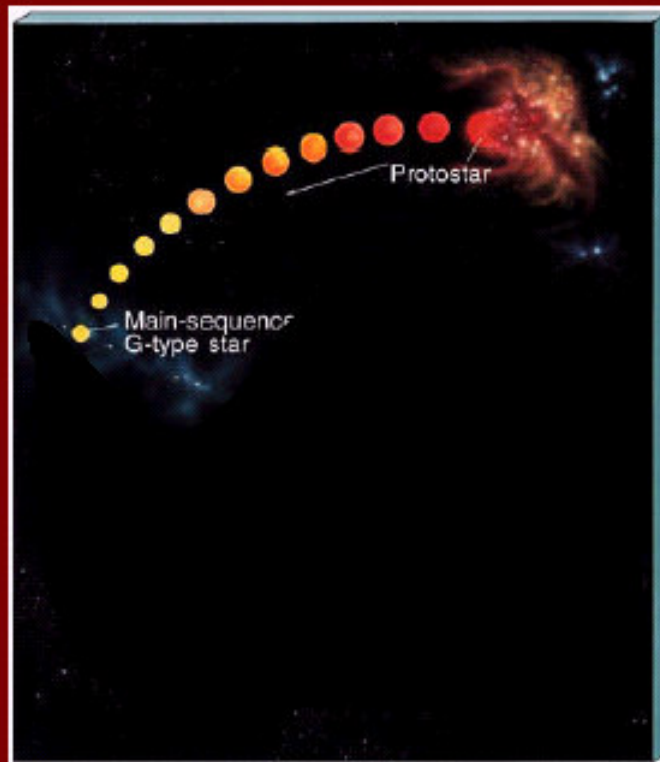
- calor flui do centro quente para a periferia fria.

- proto-estrela brilha como um corpo de cor vermelho profundo. A maior parte da energia é irradiada no infravermelho.

Do nascimento à Seqüência Principal

De início, a proto-estrela é imensa, brilhante, com temperatura superficial baixa e cor avermelhada.

Gradativamente ela se contrai, sua luminosidade diminui, sua temperatura aumentado e sua cor torna-se mais clara.



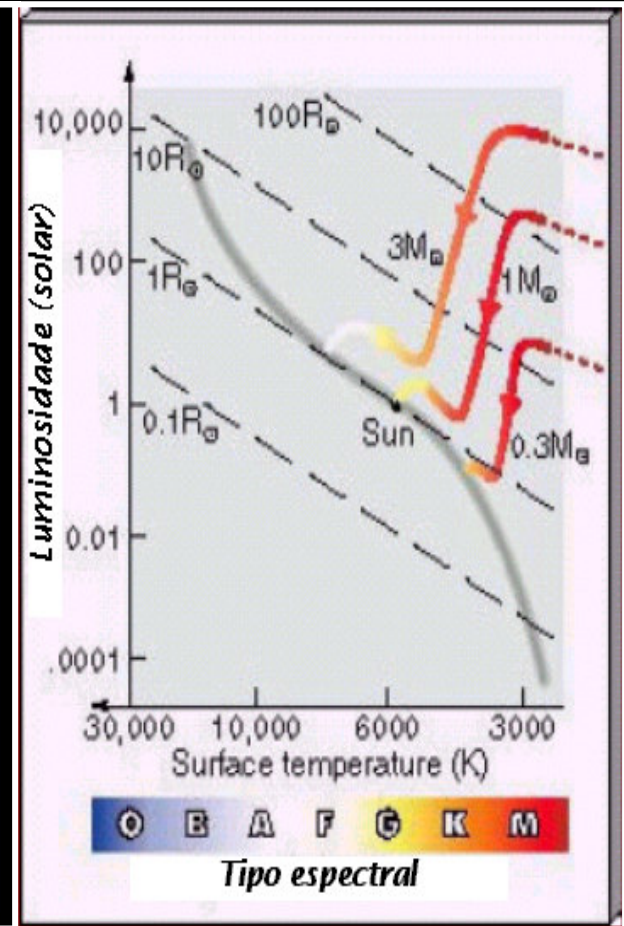
No Diagrama HR, esse comportamento se manifesta através de uma trajetória quase vertical.

A gestação das estrelas

Do nascimento à Sequência Principal

O tempo que uma estrela leva do nascimento à fase de geração de energia por fusão nuclear (Sequência Principal) depende da massa.

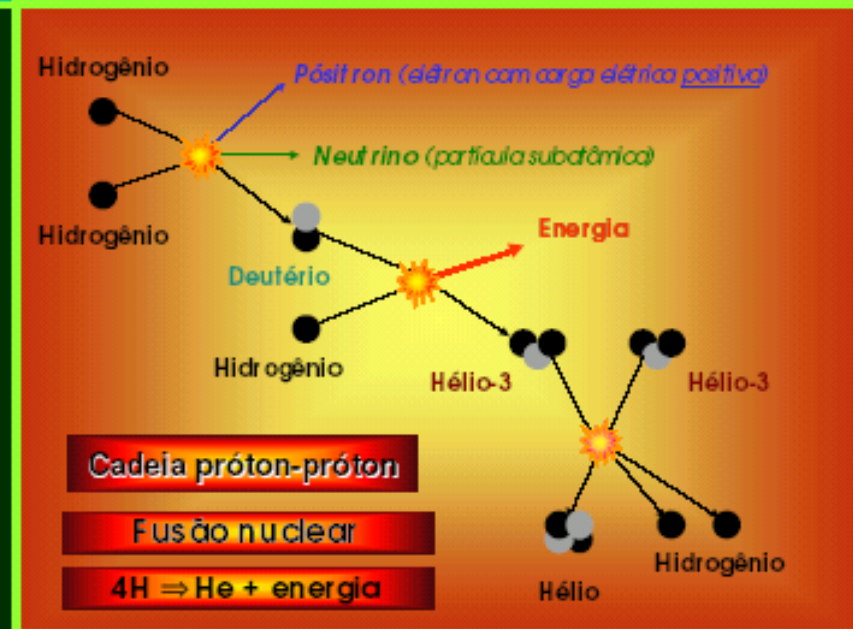
Massa	Tipo espectral	Tempo para chegar à SP
30 M_{SOL}	O6	30.000 anos
10	B3	300.000
4	B8	1.000.000
2	A4	8.000.000
1 Sol	G2	30.000.000
0.5	K8	100.000.000
0.2	M5	1.000.000.000



Produção de energia no interior da estrela

De onde vem a energia liberada na fusão?

- 4 núcleos de H = $6,69008 \times 10^{-24}$ g
- 1 núcleo He = $6,64258 \times 10^{-24}$ g
- diferença = $0,0475 \times 10^{-24}$ g
= 0,7% do H



- Albert Einstein: matéria e energia são duas manifestações distintas de uma coisa única, ou seja, uma se converte na outra através da $E = mc^2$

$$\text{energia} = \text{massa} \times (\text{velocidade da luz})^2$$

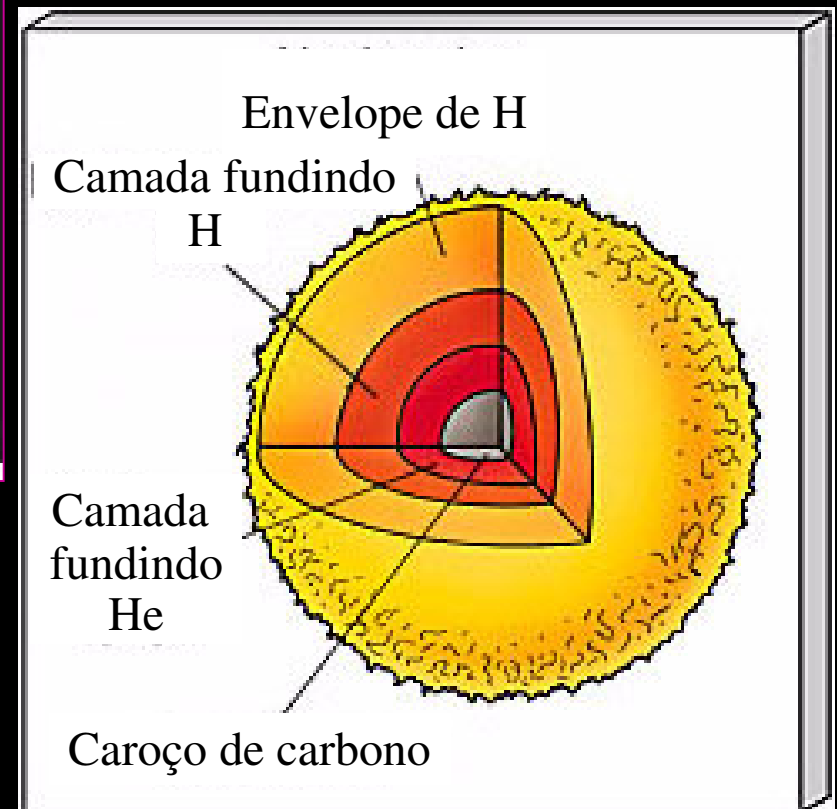
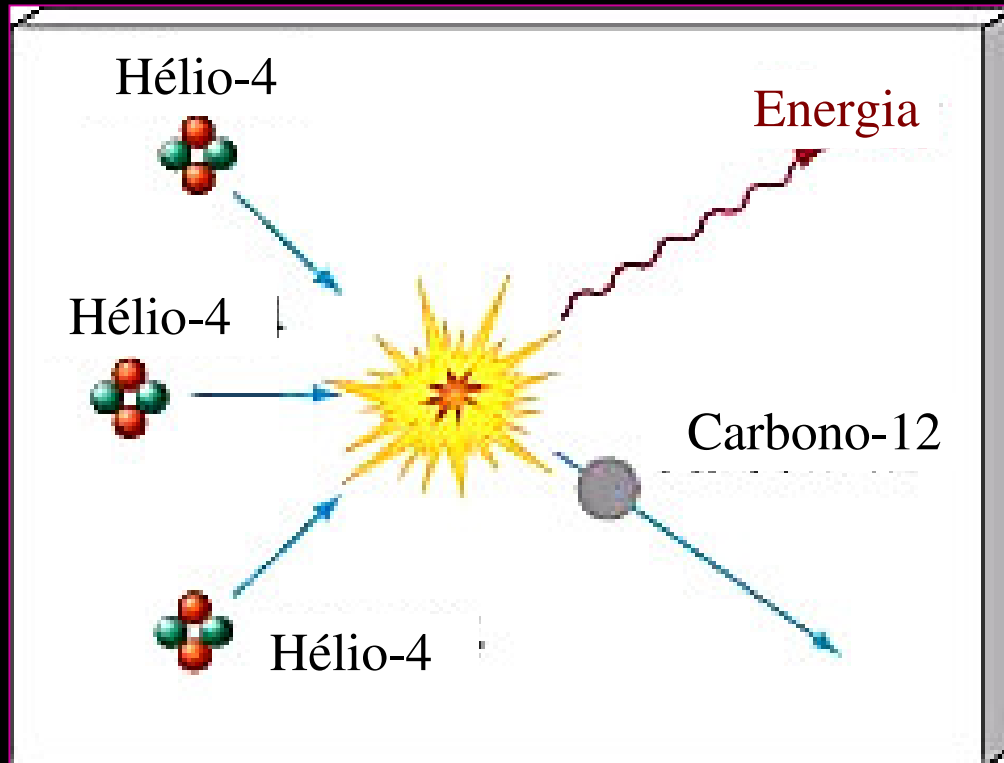
- c^2 é um número muito grande ($9 \times 10^{20} \text{ cm}^2/\text{s}^2$)
- conclusão: **mesmo uma massa tão diminuta gera uma quantidade enorme de energia**
- mecanismo capaz de manter o Sol brilhando na mesma taxa que a atual por um período equivalente à sua idade (4,6 bilhões de anos).

Tempo de vida das estrelas

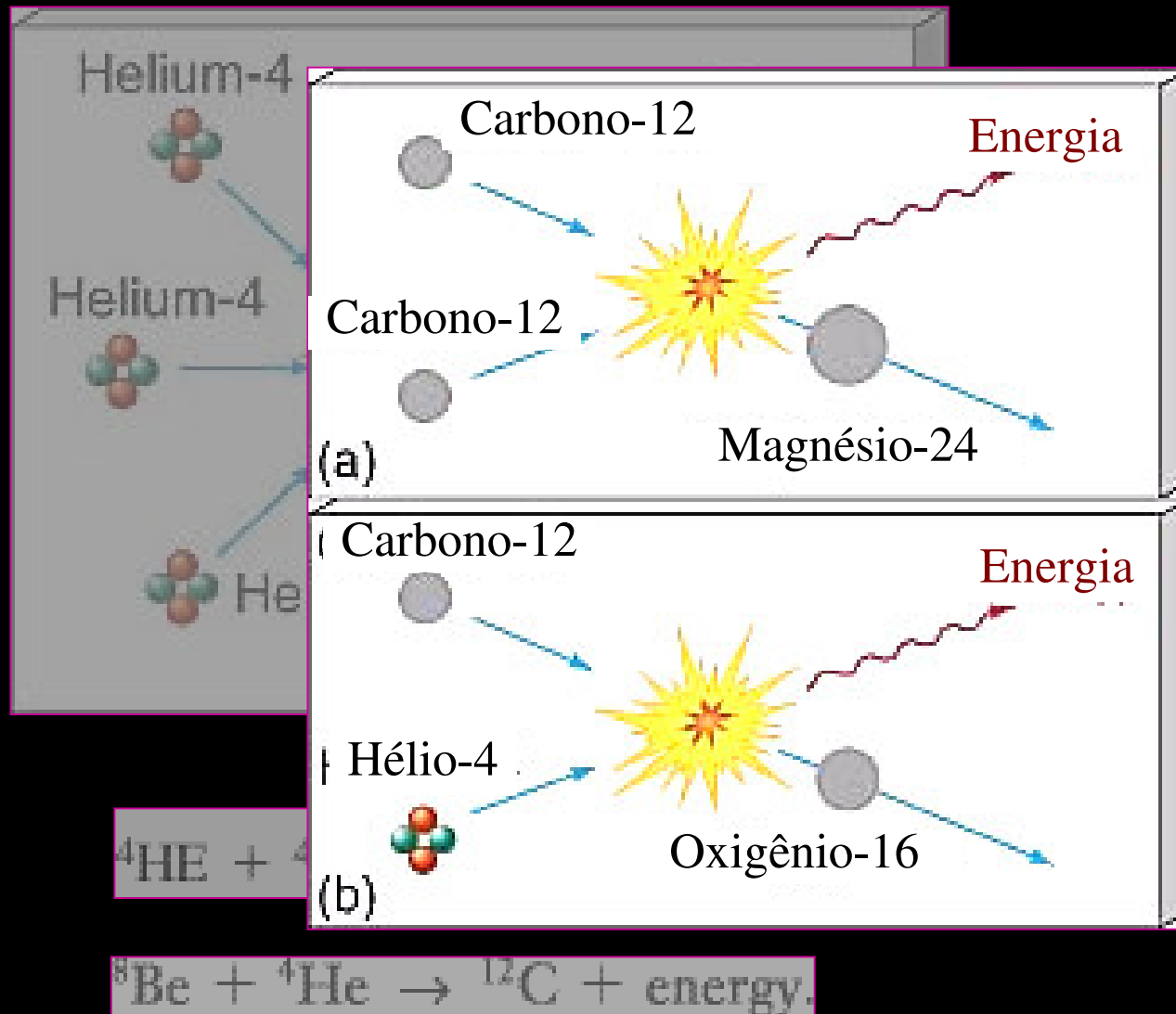
Quem brilha mais forte, vive menos.

<i>Massa</i>		<i>Tempo de vida na SP ($\approx 10^{10} / M^2$ anos)</i>
60 M_{SOL}		2 milhões anos
30		5 milhões
10		25 milhões
3		350 milhões
1,5		1,6 bilhão
1	Sol	9 bilhões
0,1		Trilhões

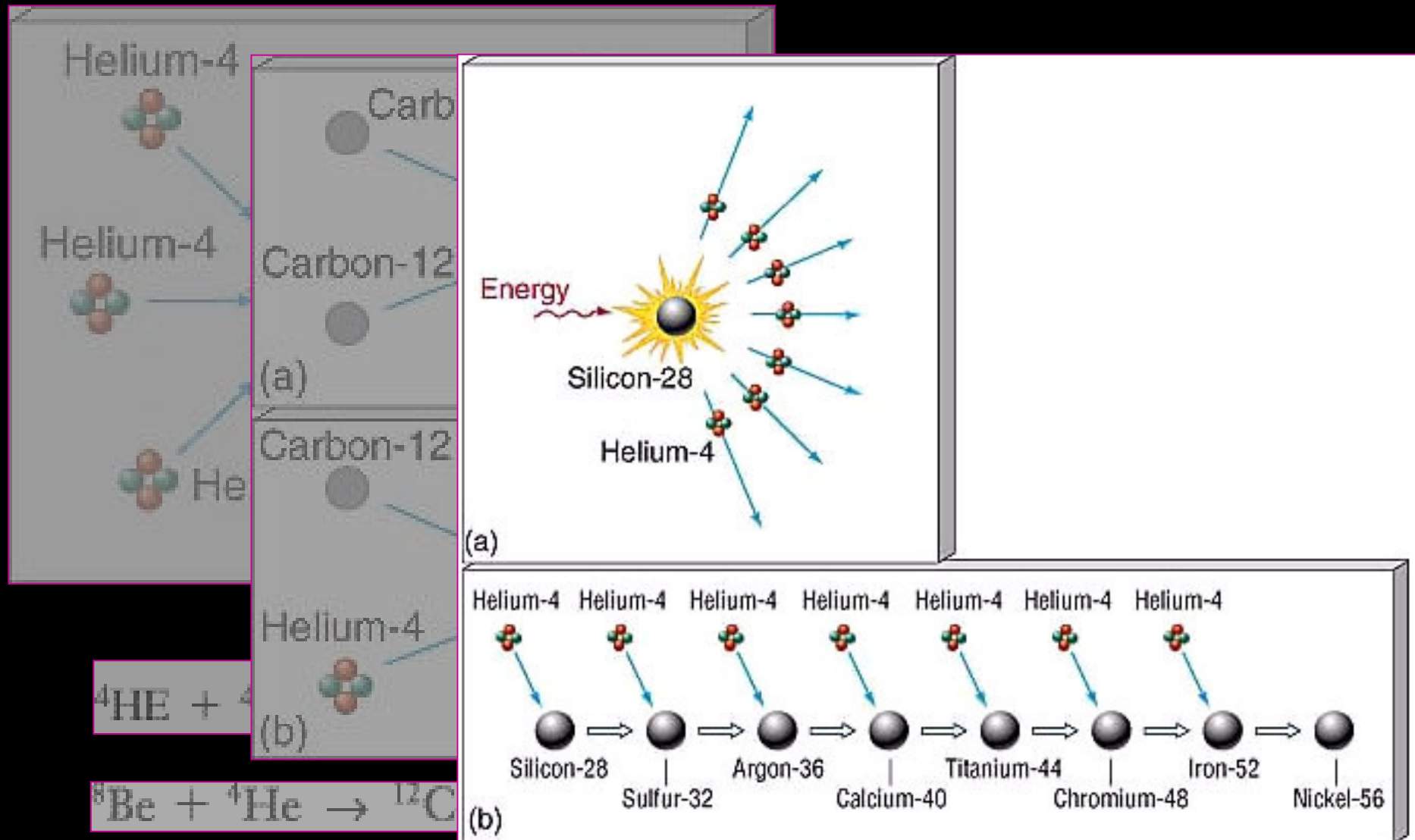
Fusão nuclear fora da Sequência Principal o ciclo da morte



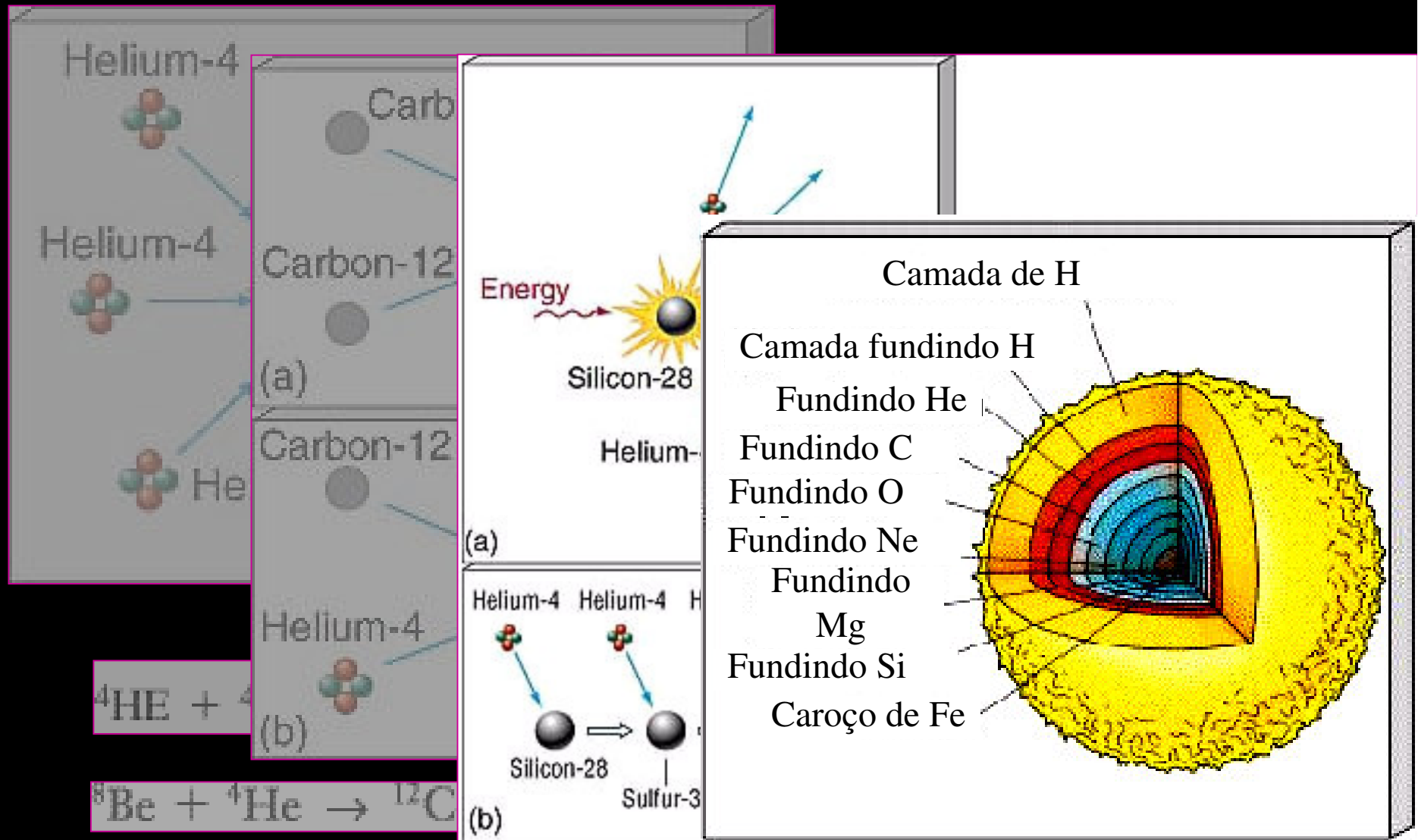
Fusão nuclear fora da Sequência Principal o ciclo da morte



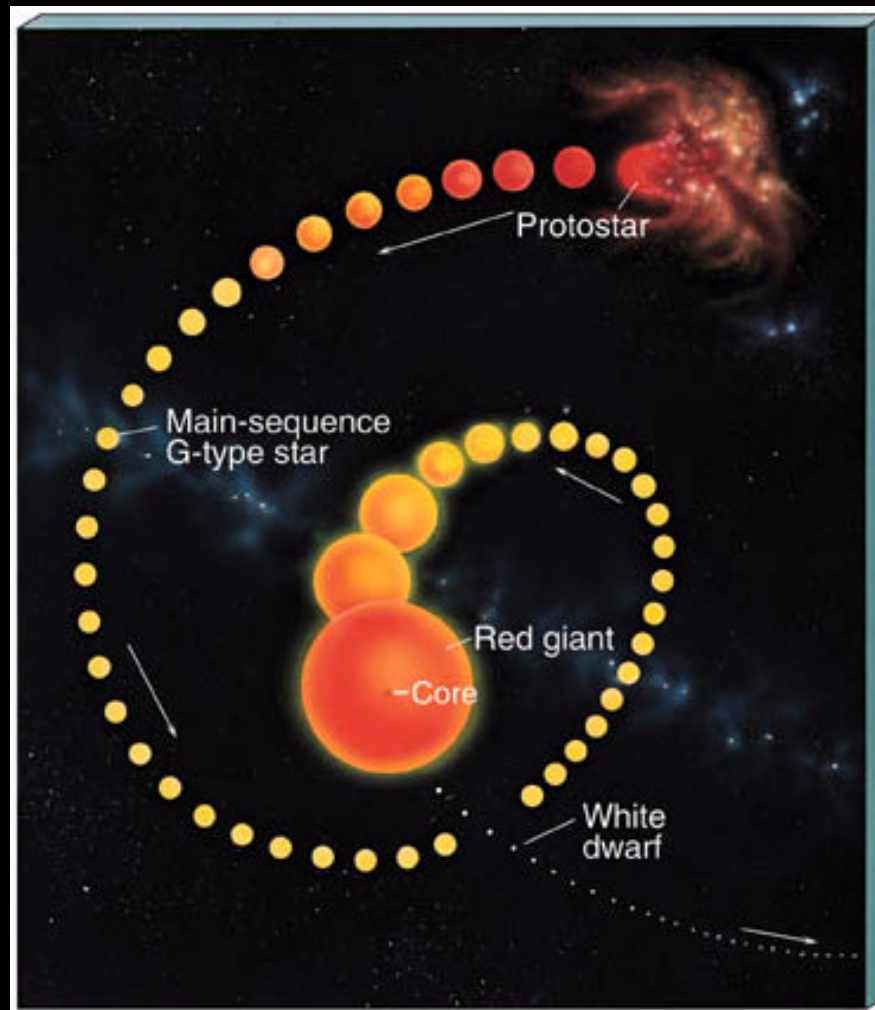
Fusão nuclear fora da Sequência Principal o ciclo da morte



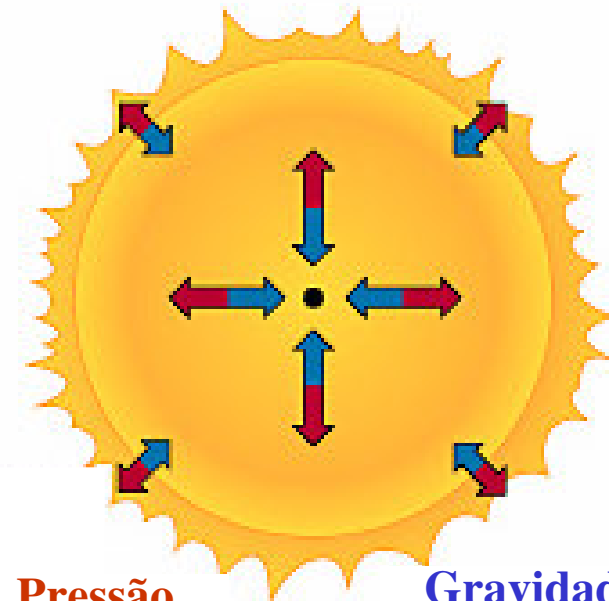
Fusão nuclear fora da Sequência Principal o ciclo da morte



A morte do Sol



Densidade na **Gigante Vermelha**:
núcleo: $\sim 100 \text{ kg/cc}$ (Sol $\sim 150 \text{ g/cc}$)
superfície: $\sim 10^{-6} \text{ g/cc}$



**Pressão
para fora**

**Gravidade
para dentro**

As Nebulosas Planetárias



Hubble Space Telescope photographs of planetary nebulae. In 4.5 billion years, our Sun will become a planetary, and then become a white dwarf star. <http://hubblesite.org/>

Resquícios de Supernovas

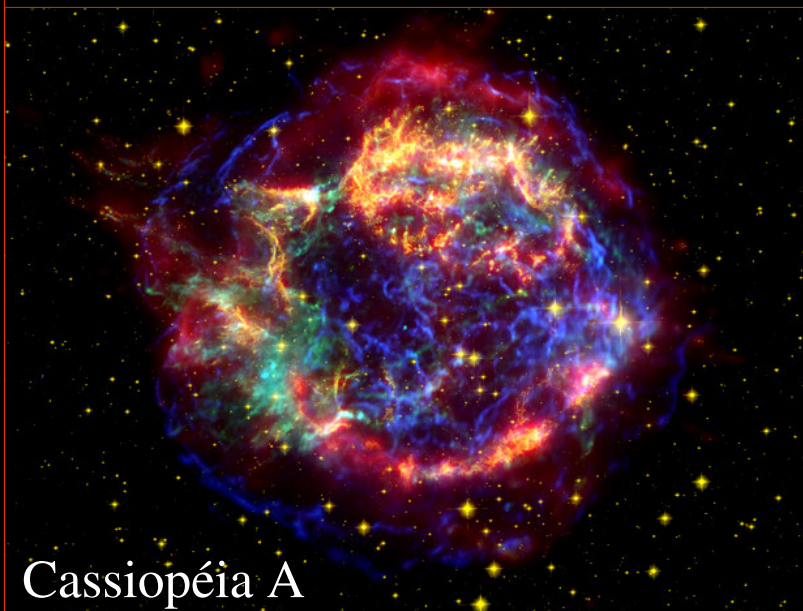
“Loop” em Cisne



W89

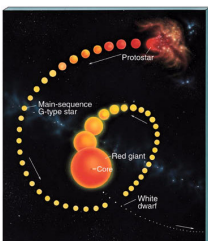


Cassiopeia A



Nebulosa de Kepler





Evolução Estelar: um resumo

De 0,8 a 11 massas solares

Estrela de Seq. Principal
(B, A, F ou G)

Gigante Vermelha
com núcleo de hélio

Supergigante Vermelha
com núcleo de
carbono-oxigênio

Nebulosa Planetária
com estrela central

Anã branca

De 11 a 50 massas solares

Estrela de Seq. Principal
(O ou B)

Supergigante
Vermelha ou Azul
com núcleo de hélio

Supergigante com
núcleo de ferro

Supernova
Tipo II

Estrela de
Nêutrons

Maior que 50 massas solares

Estrela de Sequência
Principal tipo O, com
vento estelar intenso

Estrela tipo
Wolf-Rayet

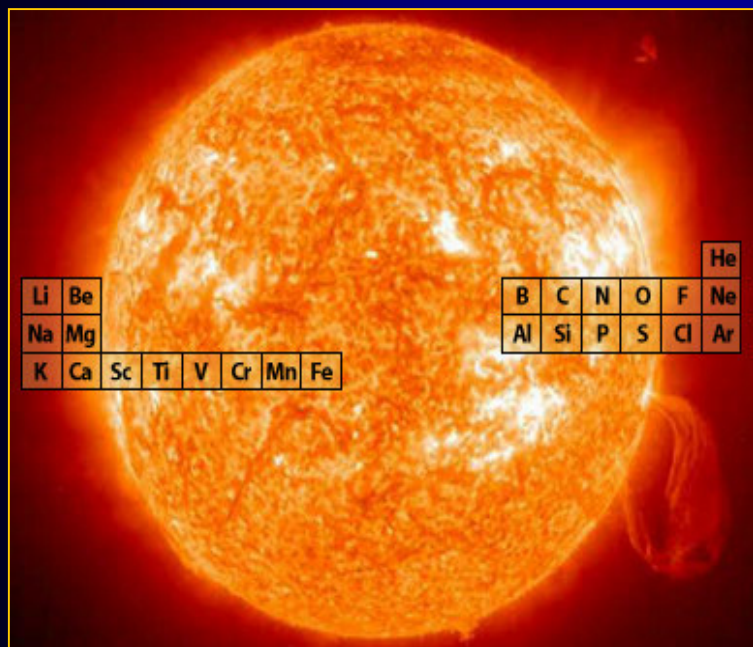
Supernova
tipo Ib

Buraco Negro

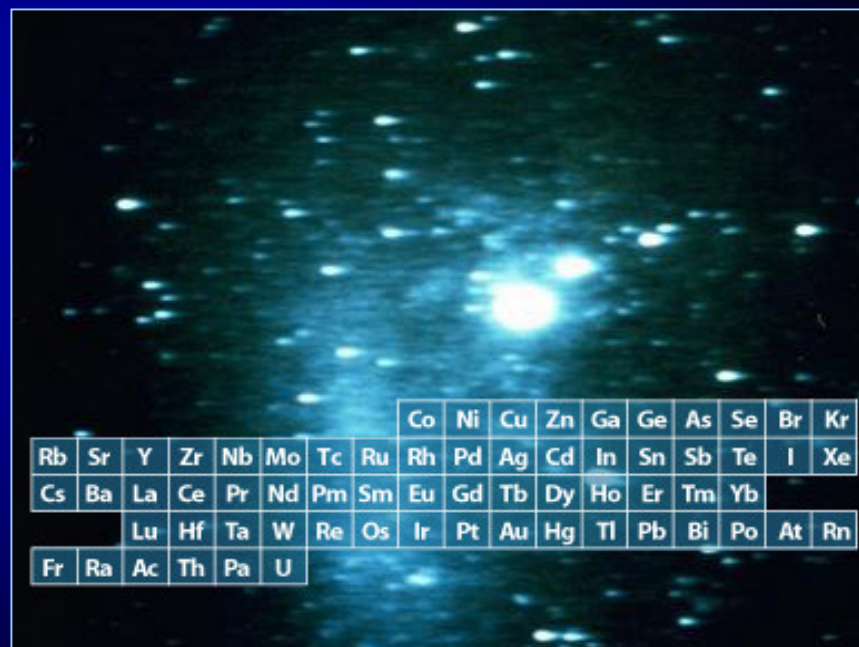
A síntese dos elementos químicos

A energia das estrelas vêm da **fusão nuclear**:
átomos de menor massa são fundidos em outros de maior massa.

É a **transmutação nuclear**.

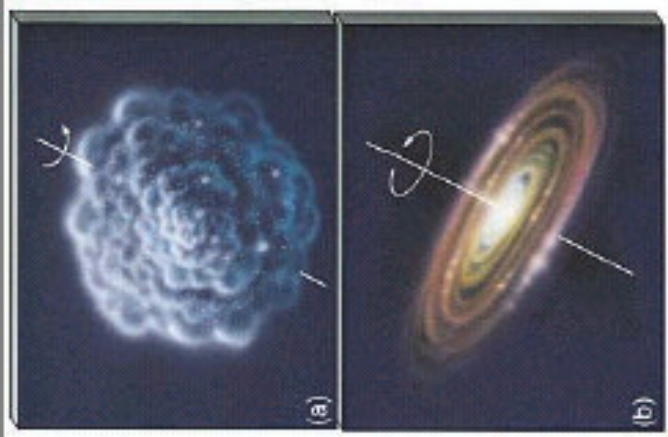
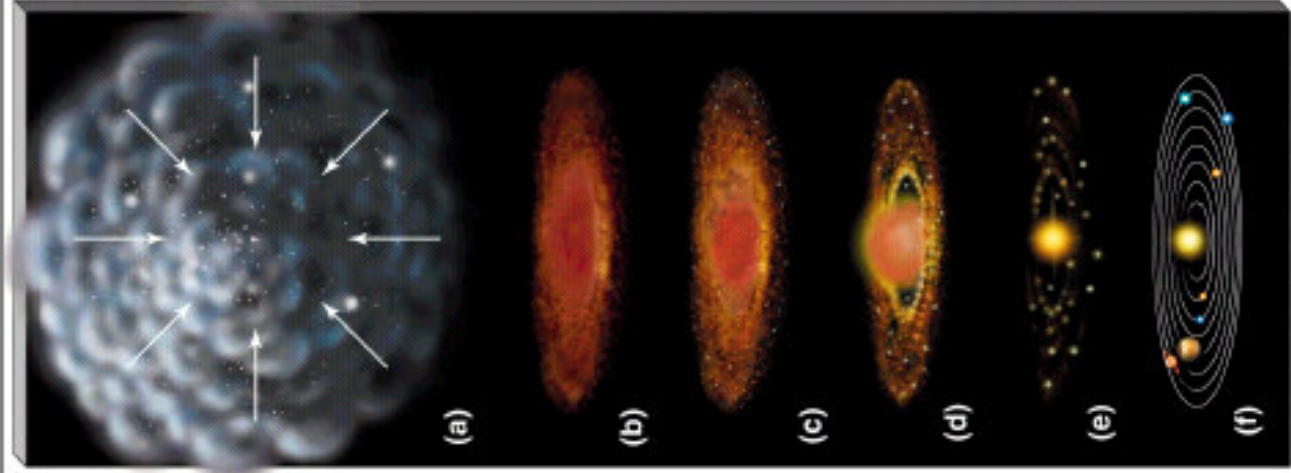


Elementos químicos até o peso do ferro são manufaturados nas estrelas.



Elementos químicos mais pesados que o ferro são formados na explosão de uma supernova.

Contração Nebular e a Formação dos Planetas



Sequência de formação do Sistema Solar, a partir do colapso da Nebulosa Solar Primordial.

O colapso induz rotação e provoca o achatamento.

No centro vai sendo formado o *Proto Sol* (ainda não é uma estrela).

No seu plano equatorial forma-se um disco de matéria, dele surgirão planetas e demais corpos.

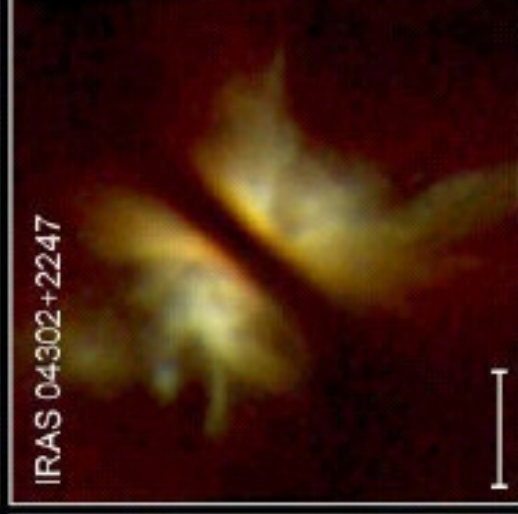
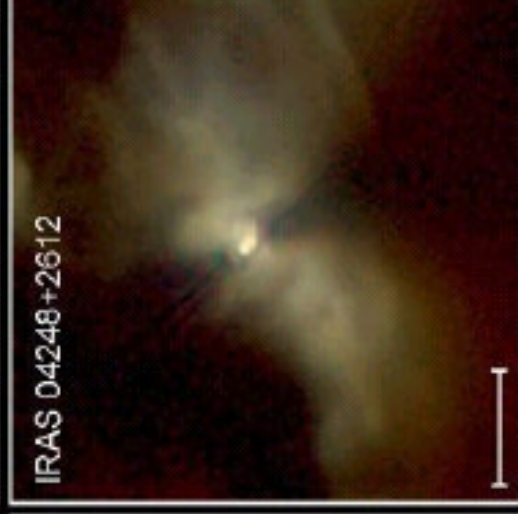
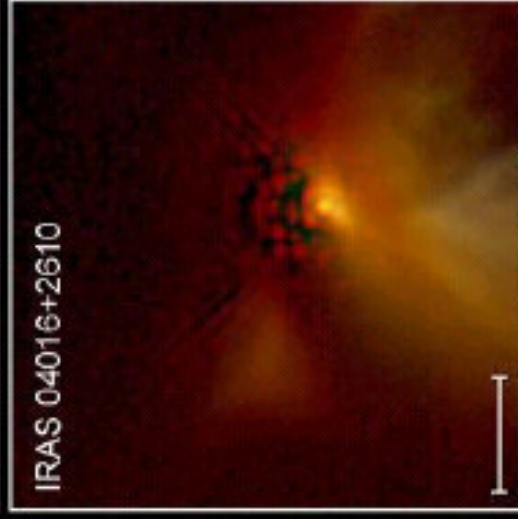
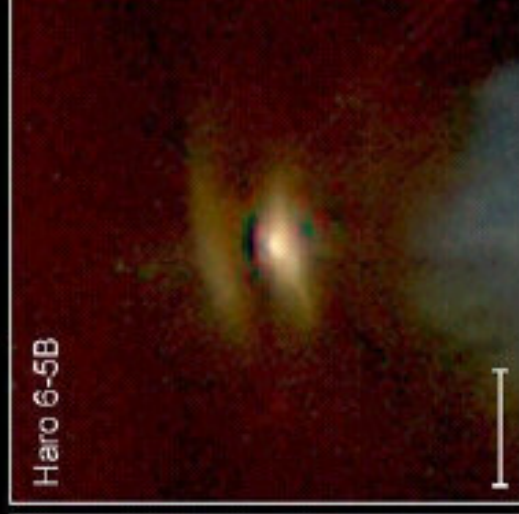
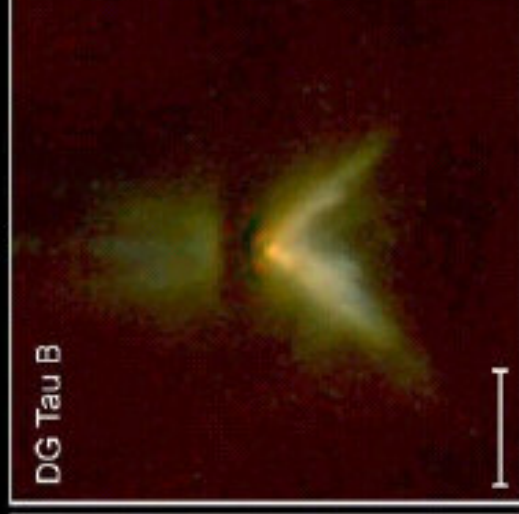
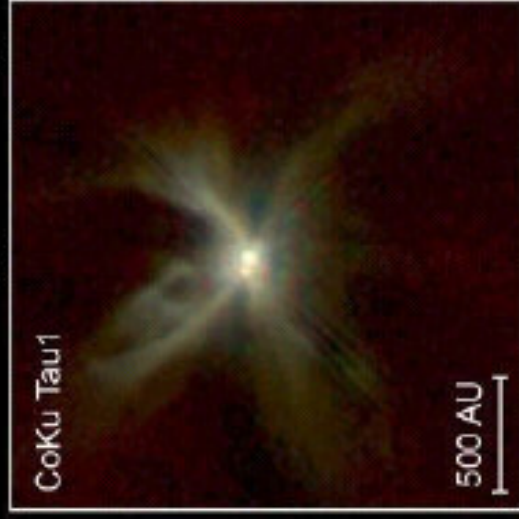
É nesse plano básico que se localiza a eclíptica. A quase totalidade dos corpos do Sistema Solar têm órbitas próximas a esse plano.

A rotação da nuvem primitiva é condição para formação de disco

Discos de gás e poeira

Enos Picazzillo
IAIGUSP
Agosto 2006

Figuras típicas de objetos estelares jovens.



Young Stellar Disks in Infrared

PRC99-05a • STScI OPO

D. Padgett (IPAC/Caltech), W. Brandner (IPAC), K. Stapelfeldt (JPL) and NASA

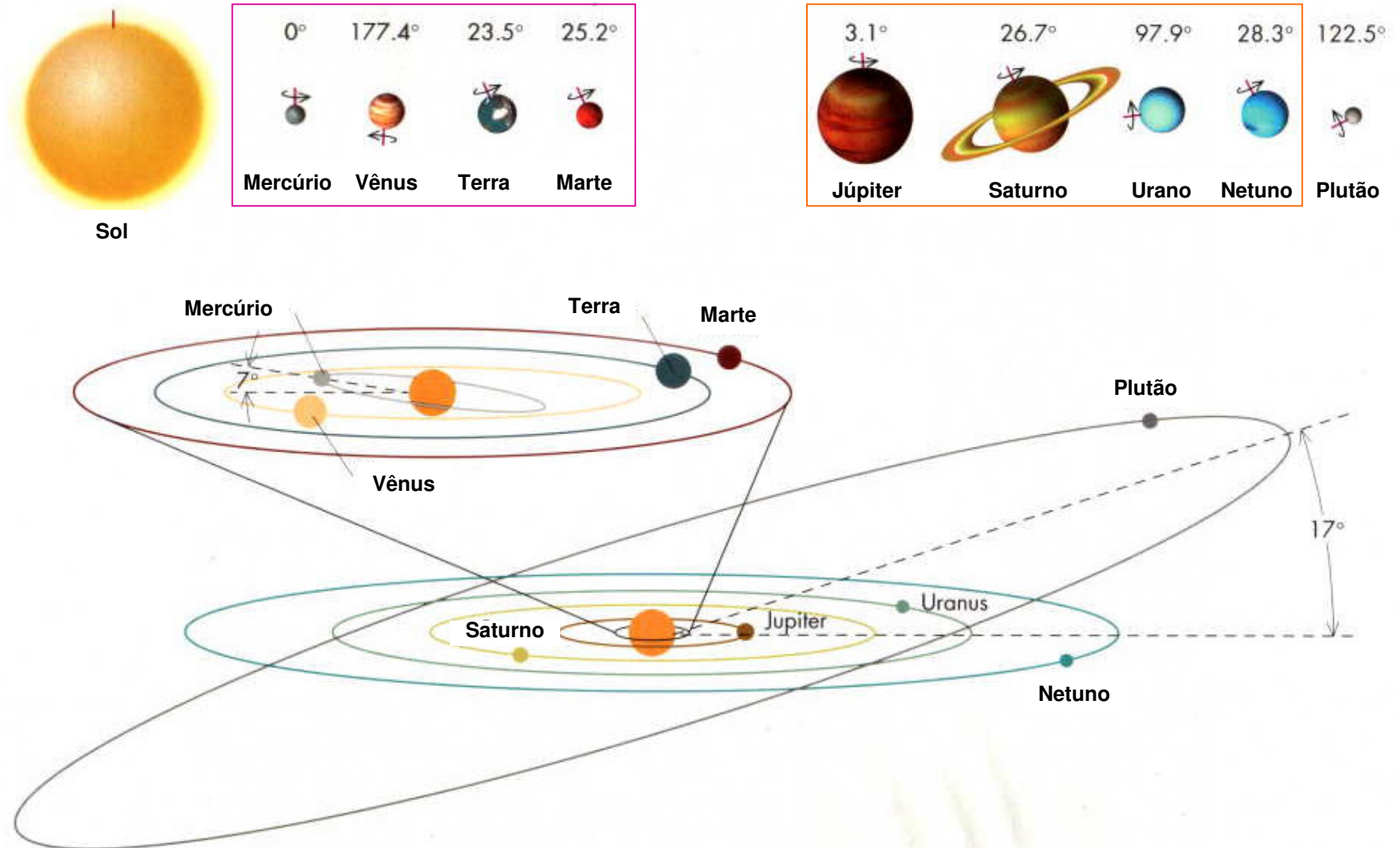
HST • NICMOS

Sistema Solar – a família do Sol

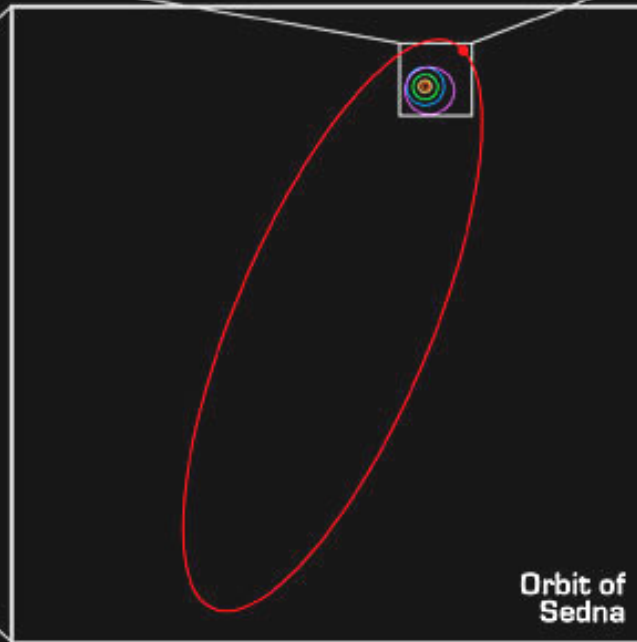
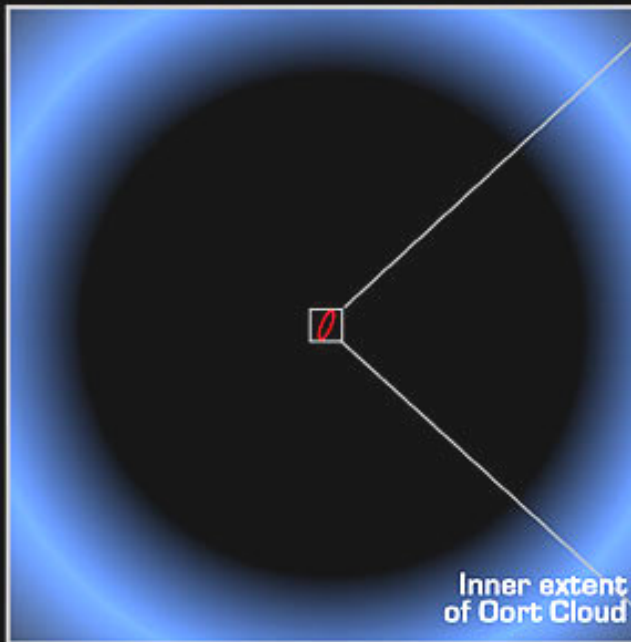
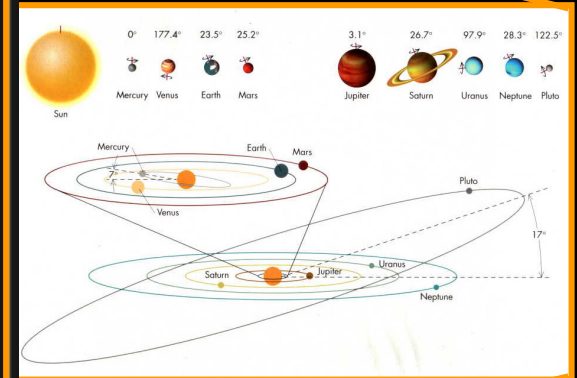
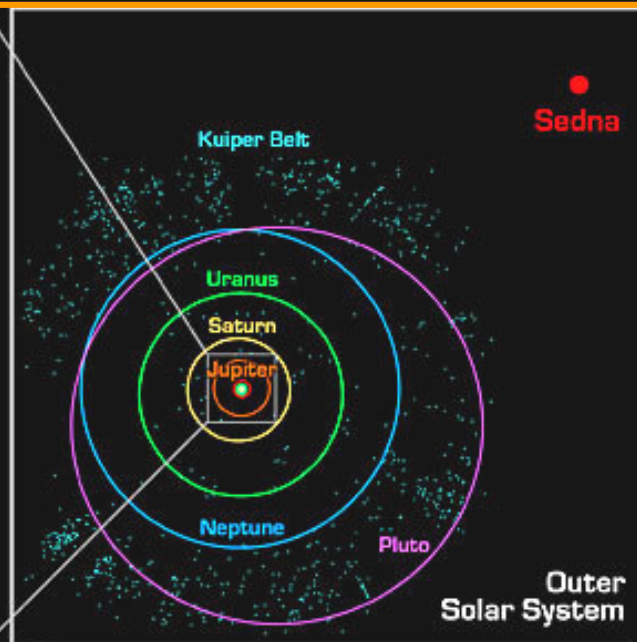
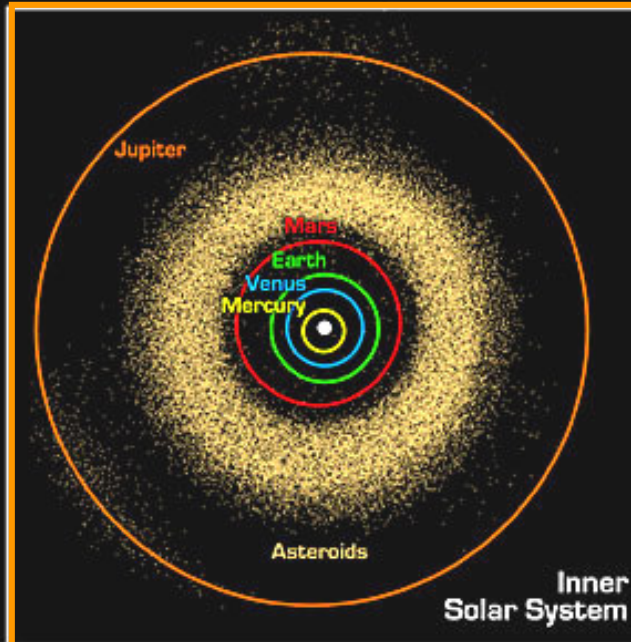


solarsystem.nasa.gov

Sistema Solar – a família do Sol



Sistema Solar – a família do Sol



O que veremos na disciplina?



Histórico e Coordenadas Celestes

Órbitas planetárias: parâmetros orbitais, Leis de Kepler, Leis de Newton.

Planetas e Satélites.

Corpos Menores: Asteróides, Cometas, Cinturão de Kuiper e Nuvem de Oort, Meteoróides, Meteoros, Poeira Zodiacal.

Formação do Sistema Solar: nebulosa primitiva e colapso gravitacional

Exoplanetas: observação e casos conhecidos

Sol: estrutura interna e atmosfera, atividade solar, vento solar.