

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP)
FACULDADE DE FÍSICA - CURSO REDEFOR**

FABIO ROBERTO LESSA DE OLIVEIRA

**A FORMAÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS POR FUSÃO
NUCLEAR**

Da concepção espontânea ao fato

Campinas

2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP)

FACULDADE DE FÍSICA/CURSO REDEFOR

FABIO ROBERTO LESSA DE OLIVEIRA

Orientador: Prof. Edson Pedro Cecílio Junior

**A FORMAÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS POR FUSÃO
NUCLEAR**

Da concepção espontânea ao fato

**Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado à Faculdade de Física da
Unicamp, Curso RedeFor, na
conclusão do "Curso de
Especialização em Física", sob a
orientação do Prof. Edson Pedro
Cecílio Junior**

Campinas

2011

RESUMO

A compreensão da origem dos diversos elementos químicos, de todos eles, é difícil e muito pouco intuitiva. Um levantamento feito com alunos do 3º ano do Ensino Médio de uma escola estadual, que vem apresentando bom aproveitamento em provas como Saesp e ENEM (E.E.Suetônio Bittencourt Jr., localizada em Santos, SP), demonstrou que nenhum dos alunos tem uma ideia correta a respeito da origem dos elementos químicos. Acreditando que tal conhecimento não é de domínio popular em alunos do Ensino Médio, mas que pode vir a ser, este Trabalho propõe um plano pedagógico objetivo e de fácil compreensão sobre a origem dos elementos químicos por fusão, usando uma linguagem acessível ao público a que se destina (Ensino Médio) e ferramentas pedagógicas eficazes para o aprendizado, como textos objetivos, imagens, gráficos e filmes. Após o plano pedagógico aqui desenvolvido ser ministrado em sala, espera-se que o aluno seja capaz de responder, se não corretamente, ao menos de modo aproximado, como surgiram verdadeiramente os diversos elementos químicos constituintes do nosso planeta e do Universo. O aluno deverá entender o processo de formação dos corpos celestes e os processos de evolução estelares, que basicamente são os locais de surgimento dos elementos químicos constituintes do Universo.

Palavras-chave: estrela; evolução estelar; fusão; termonuclear; elemento químico.

SIGLAS E ABREVIATURAS

Cadeia P-P: Cadeia próton-próton

CNO: Ciclo carbono-nitrogênio-oxigênio

EM: Ensino Médio

ENEM: Exame Nacional do Ensino Médio

Fuvest: Fundação Universitária para o Vestibular

K: Kelvin

Ms: Massa Solar ($\sim 2 \times 10^{30}$ Kg)

Saresp: Sistema de Avaliação de Rendimento Escolar do Estado de São Paulo

SUMÁRIO

1	OBJETIVO	6
2	INTRODUÇÃO	6
3	CONTEXTUALIZAÇÃO	7
4	ALGUMAS RESPOSTAS	8
5	ANÁLISE DOS RELATOS OBTIDOS	9
6	PLANO PEDAGÓGICO	11
6.1	O QUE É O UNIVERSO?	11
6.2	O QUE DIZ A TEORIA DO BIG-BANG?	12
6.3	COMO SE DEU A EVOLUÇÃO COSMOLÓGICA	13
6.4	COMO SE FORMARAM OS CORPOS CELESTES?	13
7	EVOLUÇÕES ESTELARES	17
8	FUSÃO NUCLEAR: O QUE É E COMO SE DÁ	21
9	EVOLUÇÃO ESTELAR	26
9.1	ESTRELAS DE PEQUENA MASSA	27
9.2	ESTRELAS COM MASSA ENTRE 0,5 E 10 VEZES A MASSA SOLAR	28
9.3	ESTRELAS COM MASSA ENTRE 8 E 15 VEZES A MASSA SOLAR	30
9.4	ESTRELAS COM MASSAS SUPERIORES A 25 VEZES A MASSA SOLAR	32
9.5	RESUMO DO CAPÍTULO	34
10	CONCLUSÃO	35
11	REFERÊNCIAS	36
12	ANEXOS	38

1- OBJETIVO

O conhecimento sobre a origem dos elementos químicos não é de domínio popular em alunos do Ensino Médio. Acreditando que possa vir a ser, propõe-se um plano pedagógico objetivo e de fácil compreensão sobre a origem dos elementos químicos por fusão, usando-se uma linguagem acessível ao público a que se destina (Ensino Médio) e ferramentas pedagógicas eficazes para o aprendizado, como textos objetivos, imagens, gráficos e filmes. Após o plano pedagógico aqui desenvolvido ser ministrado em sala, espera-se que o aluno seja capaz de responder, se não corretamente, ao menos de modo aproximado como verdadeiramente surgiram os diversos elementos químicos constituintes do nosso planeta e do Universo.

2- INTRODUÇÃO

Não há informações a respeito da origem dos elementos químicos na grande maioria dos livros didáticos de física, normalmente adotados no Ensino Médio¹. Há uma tendência nas provas de vestibulares concorridos, como os da Unicamp, Fuvest e ENEM, de se abordar cada vez mais questões conceituais sobre os mais diversos temas.

É normal lermos em livros didáticos, voltados para o Ensino Médio, que a obra é “completa”. Mas isso não é verdade, pois não responde a algumas perguntas que os alunos mais curiosos formulam ao professor, como, por exemplo: “De onde veio cada um dos elementos químicos?”

¹ Por exemplo, livros comercializados e conhecidos, como os de Máximo e Alvarenga, Kazuito e Fuke, Sampaio e Calçada, dentre outros.

Tal pergunta me fora feita durante uma aula. Como a resposta era complexa (mencionei no momento apenas que vinha “de coisas estranhas que acontecem na evolução estelar”, ou algo parecido), preferi me preparar melhor para respondê-la.

3. CONTEXTUALIZAÇÃO

Num momento oportuno, solicitei a todos os alunos, de todas as salas do 3ºEM da escola estadual onde leciono (E.E. Suetônio Bittencourt Jr.), que respondessem da melhor forma possível à seguinte questão:

“Qual a origem dos elementos químicos? Como será que cada um foi formado? Pensem, por exemplo, nos elementos químicos hidrogênio, carbono, ferro e ouro.”

Tal questão fora feita para saber que ideia os alunos possuíam a este respeito. Gaspar, em *Ensino Informal de Ciências: de sua viabilidade e interação com o ensino formal à concepção de um centro de ciências*, diz:

“Ao contrário do que pensam muitos, sob o ponto de vista de Vygotsky, uma concepção espontânea, mesmo incorreta, não é obstáculo à aprendizagem do conceito correlato, mas sim um elemento de apoio a essa aprendizagem, enquanto que a ausência dessa concepção implica numa abordagem formal abstrata e de difícil compreensão. Dessa forma, pode-se afirmar que quanto maior for o repertório de concepções espontâneas que uma pessoa dispuser, maior será a sua possibilidade de compreender e adquirir conceitos científicos”. (Alberto Gaspar)

As respostas obtidas me estimularam a produzir um material simples e que fosse objetivamente ao encontro dos anseios de tal grupo escolar.

Abaixo, um relato fiel de como os alunos responderam à questão (fizeram em duplas, e responderam a partir do consenso).

4 - ALGUMAS RESPOSTAS

- 1- *“Na minha opinião, durante a evolução, materiais que se misturaram e ajudaram na composição de cada um.”*
- 2- *“Acredita-se que as descargas elétricas dos raios e as radiações favoreceram a ocorrência de combinação entre materiais que compunham a atmosfera primitiva, de substâncias como o gás hidrogênio e o gás hélio.”*
- 3- *“Com a explosão do Big-Bang, houve várias formações de substâncias.”*
- 4- *“A partir da perspectiva de que há um Criador, entende-se que tais compostos foram formados por Ele. Portanto, quando as respostas não chegam, é porque existe uma inteligência superior para poder respondê-las.”*
- 5- *“Há teorias aceitáveis de que os elementos surgiram como consequência da temperatura da Terra (resfriamento ou aquecimento exagerado) ou causas naturais (relâmpagos, trovões etc.).”*
- 6- *“Esses elementos se formaram na origem do planeta, quando seu ambiente era hostil, formado de gases na atmosfera – fenômenos naturais constantes.”*
- 7- *“A partir de muitas pesquisas, se formaram várias opiniões, entre elas, a de que o planeta possivelmente foi criado por Deus. Umas pessoas não acreditam que exista um ser superior, capaz de criar todos esses astros científicos e físicos naturais, totalmente planejados para manter nossa existência hoje.”*
- 8- *“Carbono e hidrogênio são elementos já oferecidos com a construção do Universo. Depois de muitas explorações, o homem descobriu um objeto e lhe deu o nome de ferro; e descobriu outro, meio amarelo e brilhoso, e lhe deu o nome de ouro.”*
- 9- *“Hidrogênio: surgiu a partir das primeiras combinações dos elementos do Universo, servindo para formar as primeiras formas de vida.
Carbono: ele surgiu junto com os primeiros vulcões, que formaram as primeiras rochas vulcânicas, tendo estas carbono em sua composição.
Ferro: o minério de ferro surgiu em grande profundidade, por causa do aquecimento próximo ao centro da Terra e à elevação da temperatura de alguns materiais, que se combinaram e formaram o ferro.
Ouro: surgiu em locais próximos ao centro da Terra, resultado de altíssimas temperaturas e um longo período de exposição.”²*
- 10- *“Hidrogênio: pode ter surgido na água; alguém pode ter descoberto hidrogênio dentro da água.
Carbono: pode ter surgido entre a vida e a morte; depois de algum tempo devem ter descoberto que isso é carbono.
Ferro: o ferro pode ter surgido quando alguém quis construir algo de ferro e assim foi útil para a humanidade.
Ouro: na minha opinião, surgiu em algum lugar do Universo, lá pode ter existido um alguém que criou o ouro e alguém descobriu e trouxe para cá.”*
- 11- *“Após a formação catastrófica da Terra, durante milênios a Terra passou por transformações absurdas e avassaladoras e altos níveis de radiação, e assim acredito que foram surgindo os elementos químicos que formaram essas coisas, como a Teoria da Sopa Orgânica.”*
- 12- *“Hidrogênio: por ser um dos elementos mais simples, surgiu a partir das explosões que originaram o próprio Universo.
Carbono: foi a partir das erupções de vulcões.
Ferro: foi a partir da concretização de magma.*

² Escrito por alunos considerados bons, por mim e pelos meus colegas professores.

Ouro: fusão de determinadas rochas e cristais.”

13- *“Todos os elementos foram criados por Deus.*

Hidrogênio: para a respiração.

Carbono: ele aparece na vida e na morte.

Ferro: é essencial para construções.

Ouro: riqueza.”

14- *“Acreditamos que os elementos surgiram após a explosão do Big-Bang, com as misturas das químicas que a explosão causou. O hidrogênio e o carbono nasceram da interação de fatores causados pelo Big-Bang, elementos essenciais para a vida. Já o ferro e o ouro surgiram a partir de matérias-primas mais básicas, como carvão, pedras, rochas, etc.”*

15- *“Foi Deus que criou tudo, mas cada um com um propósito diferente. O hidrogênio que forma a água e o ar para vivermos e os outros com suas utilidades. Ele criou a partir de palavras e pensando no melhor para o mundo, ele apenas disse: ‘Haja isso’, e houve.”*

5- ANÁLISE DOS RELATOS OBTIDOS

A partir das respostas coletadas, pude constatar que:

- Deus apareceu em três respostas, o que demonstra que a ideia de um ser criador de tudo e de todos é bastante comum.
- Big-Bang apareceu em duas repostas, o que demonstra que alguns alunos reconhecem tal teoria como sendo a provável origem de todo o Universo.
- A ideia de combinação ou mistura apareceu em cinco ocasiões. Isso leva a crer que alguns alunos acreditam que algum tipo combinação entre partículas possa ter acontecido para a formação dos elementos.
- Explosões ou fenômenos térmicos apareceram em cinco oportunidades, demonstrando que alguns alunos possuem a ideia de que a temperatura é capaz de mutar os materiais.
- Teoria da Sopa Orgânica – que trata de como moléculas orgânicas poderiam ter surgido nas condições especiais da Terra primitiva – surgiu apenas uma vez.
- Nenhum aluno citou termos técnicos como fusão, reação termonuclear, ou estrelas e sua evolução, supernovas ou processo de captura de nêutrons.

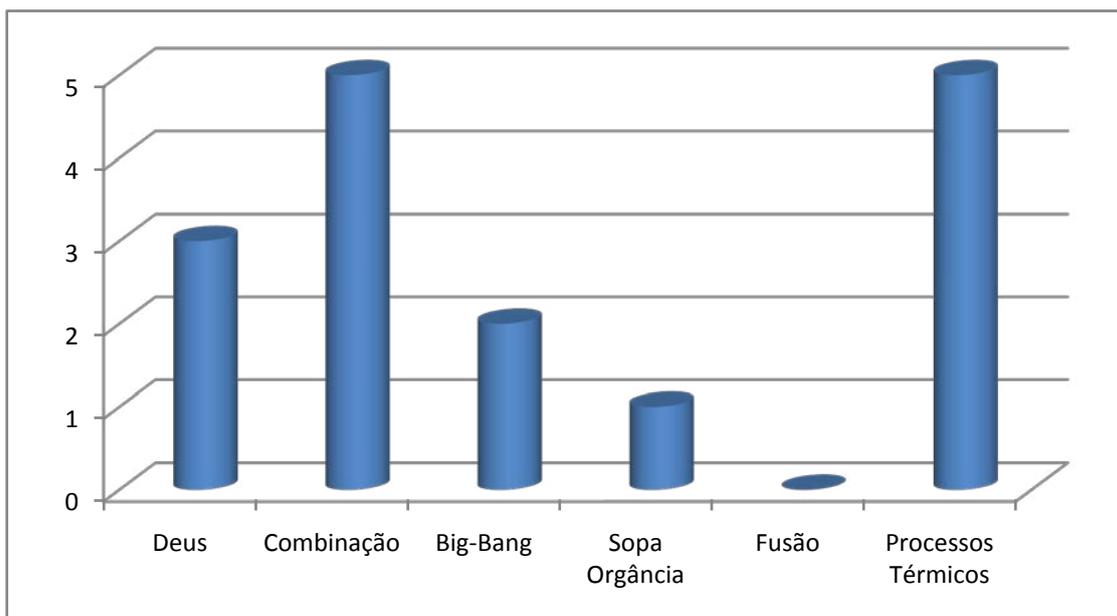


Gráfico: Ilustra, a partir das 15 respostas analisadas ao acaso, a incidência de palavras-chave utilizadas pelos alunos para a explicação da origem de alguns elementos.

Os alunos responderam, mas nenhuma resposta obtida chegou perto da real origem dos elementos químicos.

Muitas foram as obras consultadas para a preparação deste trabalho. Os livros de Física voltados ao Ensino Médio não costumam abordar fusão ou fissão nuclear aplicadas à formação dos inúmeros elementos químicos.³ Isso demonstra que os alunos do Ensino Médio que estudam em obras clássicas – ou seja, quase a totalidade deles – não têm acesso à informação sobre a verdadeira origem dos elementos disponíveis na Terra e no Universo. Por isso a relevância deste trabalho.

³ Diversos livros foram analisados. Dentre as obras consultadas, apenas a obra de Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga trazia informações relativas ao tema aqui abordado.

6- PLANO PEDAGÓGICO PARA AJUDAR ALUNOS DO ENSINO MÉDIO A COMPREENDEREM A ORIGEM DOS ELEMENTOS QUÍMICOS

Acredito que, para ter a correta compreensão da origem dos elementos químicos, o aluno deve possuir alguns pré-requisitos, competências e habilidades normais ao Ensino Médio tradicional, em especial sobre o tema aqui abordado, ou seja, a origem dos elementos químicos. Penso ser de suma importância o aluno conhecer alguns dos tópicos elencados abaixo.

- O que é o Universo?
- O que diz a Teoria do Big-Bang?
- Como se deu a evolução cosmológica
- Como se formaram os corpos celestes?
- Evoluções Estelares e a formação dos elementos químicos

Sendo assim, eis uma breve descrição conceitual sobre tais tópicos.

6.1 - O QUE É O UNIVERSO?

De acordo com o site *Wikipedia* (<http://pt.wikipedia.org/wiki/Universo>), o Universo é constituído de tudo o que existe fisicamente, da totalidade do espaço e tempo e de todas as formas de matéria e energia. O termo Universo pode ser usado em sentidos contextuais ligeiramente diferentes, denotando conceitos como o cosmo, o mundo ou natureza.

A palavra Universo é geralmente definida como englobando tudo. Entretanto, usando uma definição alternativa, alguns cosmologistas têm especulado que o "*Universo*", composto do "*espaço em expansão, como o conhecemos*", é somente um dos muitos "*Universos*", desconectados ou não, que são chamados multiversos.

6.2 - O QUE DIZ A TEORIA DO BIG-BANG

É a teoria segundo a qual o Universo teve início a partir de uma singularidade e, desde então, vem se expandindo. Comprovações de tal teoria foram obtidas pela análise da Radiação Cósmica de Fundo em Micro-ondas e pela observação de que as galáxias apresentam movimento de afastamento relativo, demonstrando que o espaço e o Universo vêm se expandindo continuamente.

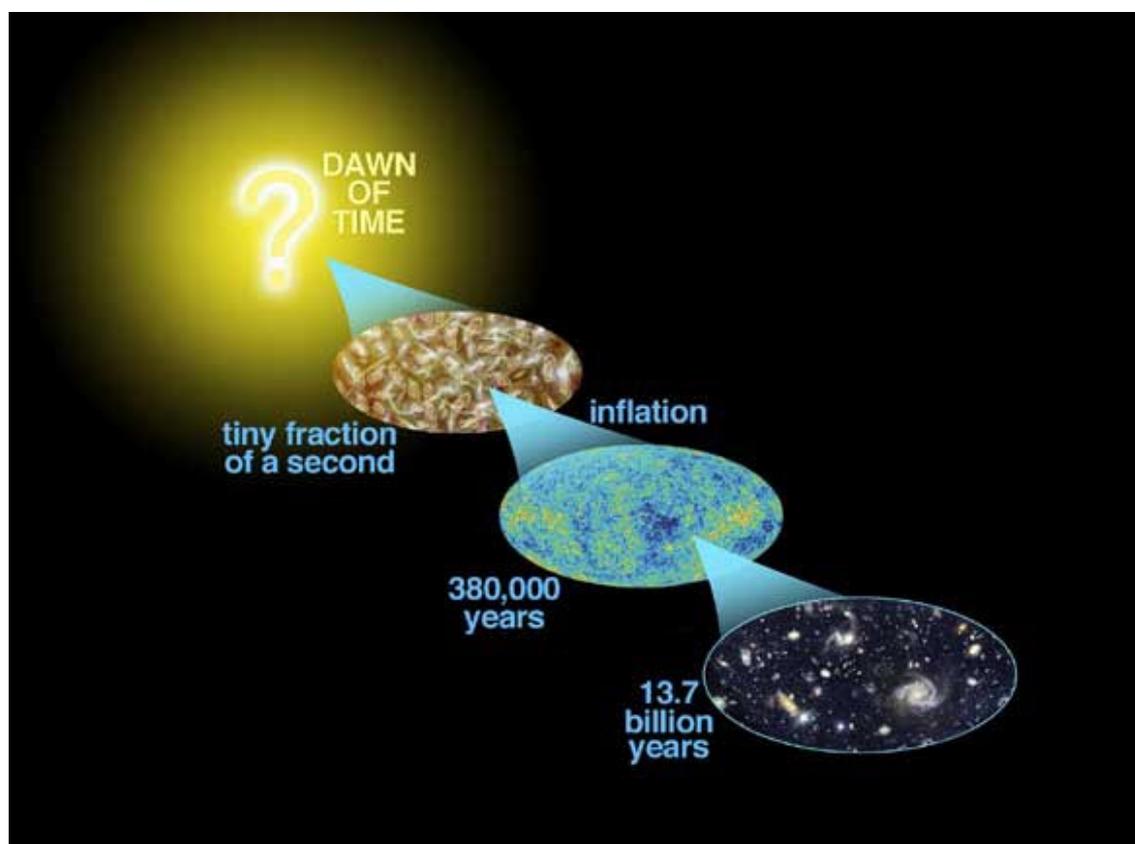


Figura: concepção artística do Big-Bang. Fonte: NASA

Tais informações foram adaptadas do site da NASA⁴.

⁴ Adaptado de http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/ask_astro/answers/971108a.html

6.3 - COMO SE DEU A EVOLUÇÃO COSMOLÓGICA?

Abaixo, uma breve apresentação da evolução cosmológica até a atualidade⁵.

- i. Big-Bang: 13,7 bilhões de anos
- ii. A Era da Matéria: Entre 300 mil anos e 500 milhões de anos após o Big-Bang
- iii. Formação das estrelas: 200 milhões de anos após o Big-Bang
- iv. Formação das galáxias: 500 milhões de anos após o Big-Bang
- v. Formação do Sol e da Terra: 4,5 bilhões de anos atrás

6.4 - COMO SE FORMARAM OS CORPOS CELESTES?⁶

As estrelas e os planetas devem ter surgido a partir de grandes nuvens no espaço, as quais continham gases e partículas sólidas (Hipótese Nebular). Foi no século XVIII que Immanuel Kant e Pierre Simon de Laplace propuseram independentemente uma teoria. Concluíram que o fato de os planetas e o cinturão de asteroides girarem no mesmo sentido em torno do Sol, em órbitas praticamente coplanares, não era coincidência.

⁵ Adaptado de http://pt.wikipedia.org/wiki/Cronologia_do_Universo

⁶ Baseado no material RedeFor - Unicamp – Física 2011, FS0083.

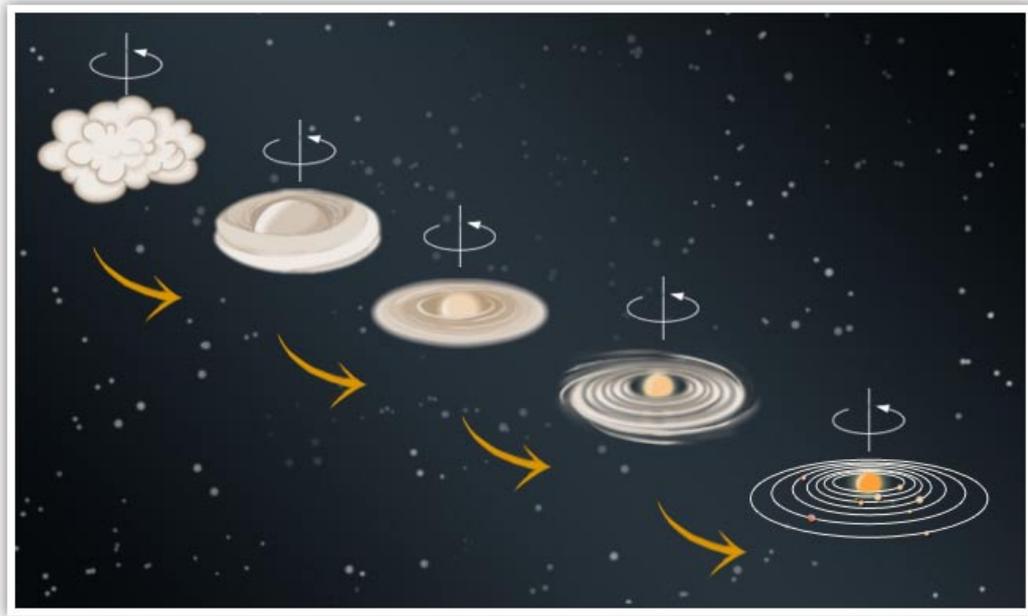


Figura: Hipótese nebular, de Laplace.
 Fonte: RedeFor – Unicamp – 2011.

Além disso, o próprio Sol teria se formado da mesma nuvem, girando também no mesmo sentido dos planetas. A hipótese nebular não estava muito de acordo com as observações, pois o Sol deveria girar muito mais rápido do que gira, por ser mais massivo e, assim, deveria possuir maior momento angular. Porém, o momento angular dos planetas é bem maior que o do Sol.

O texto *Teoria Nebular, de FS0083 - Universo, Terra e Vida*, da RedeFor Unicamp, diz:

“Há, no entanto, alguns problemas graves com essa teoria. Um deles é que, de acordo com essa hipótese, o Sol deveria girar muito mais rapidamente do que gira. Se quase toda a massa que constituía a nuvem foi para o seu centro e formou o Sol, este deveria ter também quase todo o momento angular da nuvem. No entanto, o momento angular dos planetas é maior do que o do Sol. O modelo de Laplace não explica isso. Mas nenhum outro modelo explica todas as características conhecidas do Sistema Solar.”

(REDEFOR - UNICAMP - O nascimento das estrelas e dos planetas)

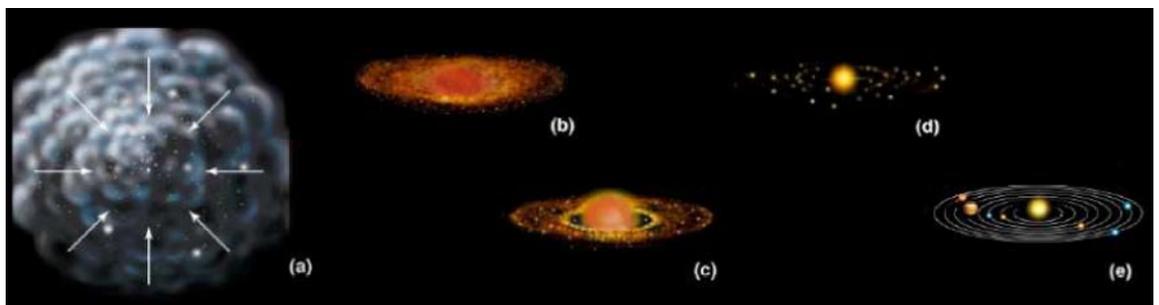


Figura: Momento angular do Sistema Solar
Fonte: REDEFOR – Unicamp – 2011

Ainda hoje, tal modelo é aceito, visto que ainda não há nenhum outro perfeito que seja suficientemente bom em vários aspectos.

De acordo com esse modelo, à medida que a velocidade de rotação da nuvem se elevasse, a velocidade linear da sua parte mais externa iria atingir um valor tal que essa rotação permitiria que a matéria ficasse em órbita, em torno da região central. Ainda que a matéria externa permanecesse em órbita, haveria a contração do resto da nuvem e novamente a velocidade da sua parte externa se tornaria suficiente para que a matéria mais externa ficasse em órbita, e assim por diante.

Abaixo, mais uma representação do modelo de formação dos corpos celestes.



Fonte: Aprofundamento em Astronomia para a docência – USP

Onde:

- a) Nuvem de gás do meio interestelar
- b) Parte da nuvem colapsando

c) Protossistema

d) Formação dos planetesimais

e) Sistema formado

De modo simples:

- A nuvem de gás e partículas, com uma lenta rotação, se contrai.
- A matéria central se aquece formando uma protoestrela.
- Mais distante da protoestrela, são formados os planetas gasosos, pois, a tais distâncias, os materiais voláteis (grande quantidade na nuvem original) ainda seriam sólidos. Daí os planetas terem massas maiores.
- À medida que os planetas cresciam, capturavam quase a totalidade da massa ao redor do Sol.
- O cinturão de asteroides deve ter sido formado da mesma forma que os anéis que se transformaram em planetas. Porém, o movimento de tais corpos era perturbado pela forte atração gravitacional dos grandes planetas, produzindo colisões e quebrando-os, além de desviá-los para outras órbitas, em vez de uni-los para formar um planeta.
- A Lua pode ter se formado no impacto de um protoplaneta com a Terra. Supõe-se que a Lua foi o resultado de uma colisão gigantesca que arrancou uma parte do nosso planeta.
- No caso dos planetas de maior massa, é provável ter havido nuvens secundárias girando em torno deles, onde provavelmente deva ter ocorrido o processo de acreção de partículas, formando então seus satélites.

É importante ressaltar que, embora tenha sido analisada a hipótese de formação dos corpos celestes do nosso Sistema Solar, os demais sistemas devem ter tido as mesmas origens, visto que as Leis da Física são universais.

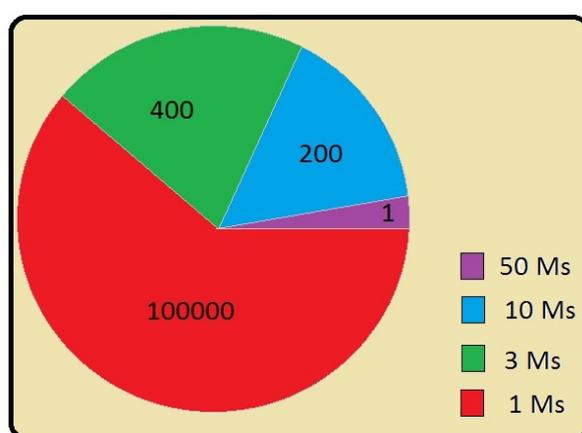
7- EVOLUÇÕES ESTELARES E A FORMAÇÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS

É fundamental, para a compreensão de como se dá a evolução estelar, saber primeiramente alguns aspectos sobre estrelas.

Estrelas são, segundo o glossário de *Universo, Série Atlas Visuais*, “*bolas luminosas de gás que brilham devido à energia gerada no seu interior por reações nucleares*”. Ainda de acordo com a obra, as características das estrelas como tamanho, massa e temperatura variam enormemente (é difícil precisar tais valores, visto que há uma ampla gama de trabalhos sobre o assunto).

- Diâmetro: de 450 vezes menor que o do Sol até 1.000 vezes maior que o do Sol.
- Massa: entre 1/20 Ms e 50 Ms.
- Temperatura superficial: entre 3.000°C a mais de 50.000°C.

Em nossa galáxia, o número de estrelas como o nosso Sol é fato comum. Raras são as estrelas com grande massa. Abaixo, um gráfico que ilustra tal ideia.



Na nossa Galáxia, para cada estrela de 50 Ms, nascem aproximadamente 200 de 10 Ms, 400 estrelas de 3 Ms e 100.000 de 1 Ms.

Em *Aprofundamento em Astronomia para a docência – Evolução Estelar*, tal informação é clara:

“Estrelas de alta massa nascem em número muito menor que as estrelas de pequena massa. Por exemplo, na vizinhança solar, nascem aproximadamente 300 estrelas com 1 massa solar para cada uma de 10 Ms. Na nossa Galáxia, para cada estrela de 50 Ms, nascem aproximadamente 200 de 10 Ms, 400 estrelas de 3 Ms e 100.000 de 1Ms. Podemos concluir que o nascimento de uma estrela de alta massa é um evento raro.” (Pavani, Ortiz e Gonçalves)



Figura: Cinturão de Orion

As estrelas mais quentes são azuladas e as mais frias são avermelhadas. Nosso Sol está entre os extremos e possui coloração amarelada. A energia produzida por uma estrela é resultado da fusão nuclear em seu centro. O brilho de uma estrela é medido por sua magnitude: quanto maior a magnitude, menos brilhante ela é. Existem dois tipos de magnitude:

- a) Aparente (seu brilho pode ser visto da Terra).
- b) Absoluta (como seu brilho seria observado à distância padrão de 10 parsecs – 32,6 anos-luz).

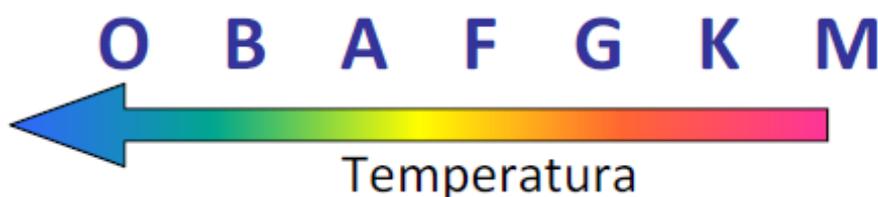
Ao se analisar a luz emitida por uma estrela, é possível determinar com grande precisão os elementos químicos nela presentes, em especial, na sua atmosfera.

Abaixo, algumas estrelas por classe espectral e temperatura.

Classe Espectral	Cor da Estrela	Temperatura Superficial (K)	Exemplo
O	Azul	30.000	Mintaka
B	Branco-azulado	20.000	Rigel
A	Branco	10.000	Sírius
F	Branco-amarelado	7.000	Prócion
G	Amarelo	6.000	Capella
K	Alaranjado	4.000	Aldebarã
M	Vermelho	3.000	Betelgeuse

Fonte: Formação de Alguns Elementos Químicos no Universo - Professora Isabel Carreira, 2007

De acordo com o Dr. Diego F. Gonçalves, em seu texto para Aprofundamento em Astronomia para a Docência, o esquema de classificação espectral surgiu para relacioná-lo a uma sequência real de temperatura:



“As estrelas do tipo espectral O são as mais quentes, seguidas pelas estrelas do tipo espectral B, e assim por diante, até as de tipo M, as mais frias. Entre duas classificações subsequentes, introduziu-se 10 subclasses indicadas por número. Por exemplo, A0, A1, A2 ... até A9, sendo a A0 a de maior temperatura superficial, e a A9 a mais fria dentro do tipo espectral A.”(Diego Gonçalves)

A magnitude e o tipo espectral podem ser dispostos num diagrama denominado Hertzsprung-Russell⁷, que mostra que as estrelas tendem a se arranjar em diversos grupos bem definidos.

⁷ Em Astronomia, o Diagrama de Hertzsprung-Russell é um gráfico de distribuição que mostra a relação entre a magnitude absoluta ou luminosidade versus o tipo espectral ou classificação estelar e a temperatura efetiva.

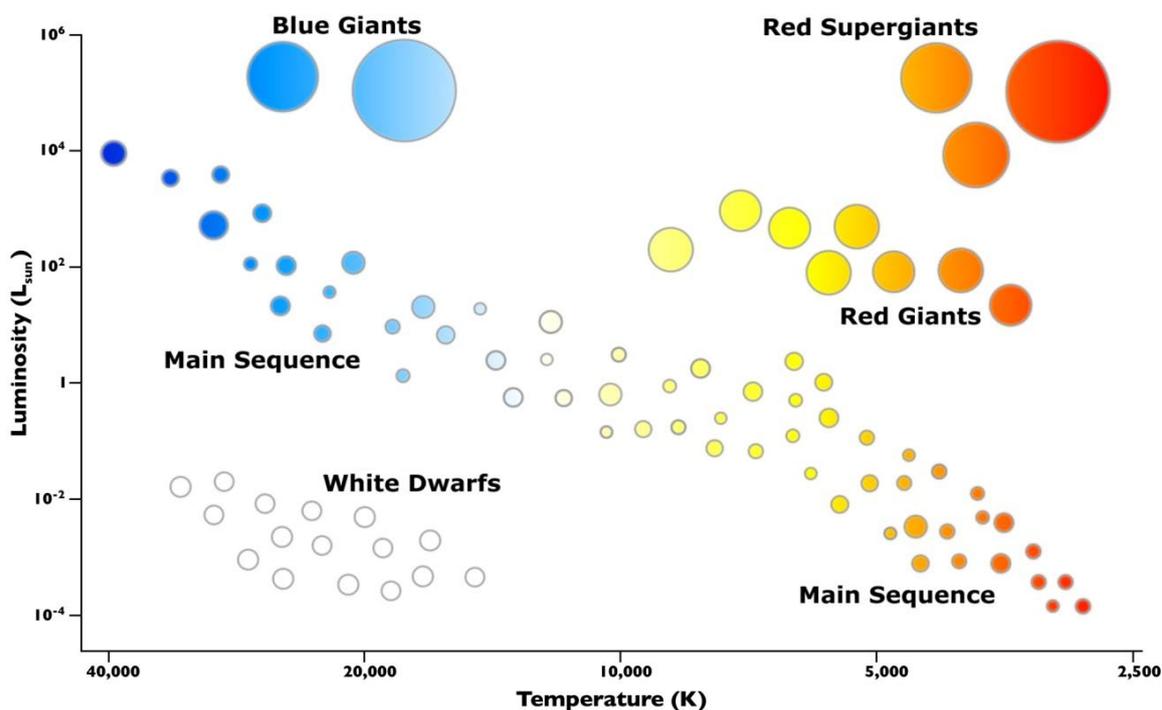


Diagrama H-R. Fonte: <http://lcoqt.net/en/book/h-r-diagrams>

Os grupos principais são:

- Sequência Principal – Sirius A, com grande massa; Sol, Anã Amarela da sequência principal.
- Gigantes – Arcturus (Gigante vermelha)
- Supergigantes – Deneb (Supergigante azul) e Betelgeuse (Supergigante vermelha)
- Anãs Brancas – Sirius B

Ainda em *Aprofundamento em Astronomia para a docência*, Diego Gonçalves afirma que, quanto à luminosidade, as principais classes são:

“I – supergigantes, com luminosidades de 10.000 a 1.000.000 de vezes a luminosidade do Sol.

III – gigantes, com luminosidades de 100 a 10.000 vezes a luminosidade do Sol.

V – estrelas da sequência principal.

VI – anãs brancas, cerca de 1.000 a 10.000 vezes menos luminosas que o Sol.”

(Gonçalves)

8- FUSÃO NUCLEAR – O QUE É E COMO SE DÁ

A ideia de que o Sol emite luz e calor é antiga. Talvez, tão antiga quanto esta ideia é a curiosidade a respeito de como nossa estrela emite luz e calor. Como ou a partir do que, a luz e o calor são produzidos pelo Sol e demais estrelas? Algumas hipóteses foram levantadas, desde a queima de madeira, carvão, petróleo, etc. Até mesmo a de que no interior da estrela ocorressem processos de fusão nuclear.

Foi o astrônomo inglês Sir Arthur Stanley Eddington quem propôs a Teoria da Fusão Nuclear.

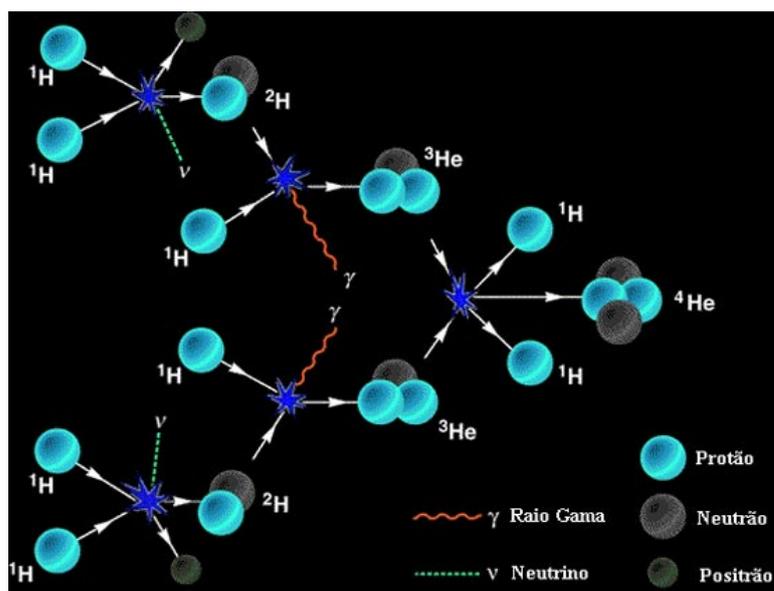
“O astrônomo inglês Sir Arthur Stanley Eddington (1882-1944) foi quem primeiro sugeriu a fonte de energia que hoje se acredita ser aquela que mantém o Sol brilhando. Fazendo uso de novas teorias, Eddington encontrou uma solução. Apresentou a ideia de que uma intensa fonte no núcleo da estrela geraria a pressão que contrabalança a força da gravidade, estabilizando a estrela.” (Aprofundamento em Astronomia para a docência – Evolução Estelar – USP)

Ele propôs que, se a massa de quatro prótons (que são os núcleos de hidrogênio) se convertesse em um núcleo de hélio, a diferença entre as massas dos núcleos inicialmente isolados e do átomo de hélio gerado seria convertida em uma grande quantidade de energia. Determinou que a conversão seria suficiente para fazer o Sol brilhar por bilhões de anos. Einstein nos deu a famosa equação:

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$$

Esta equação significa que a massa perdida na transformação de quatro prótons em um núcleo de He pode ser convertida em energia.

Independentemente, Hans Albrecht Bethe e Carl Friedrich von Weizsäcker propuseram dois conjuntos de reações nucleares, para dar conta das energias produzidas pelas estrelas: o ciclo próton-próton e o ciclo do carbono.



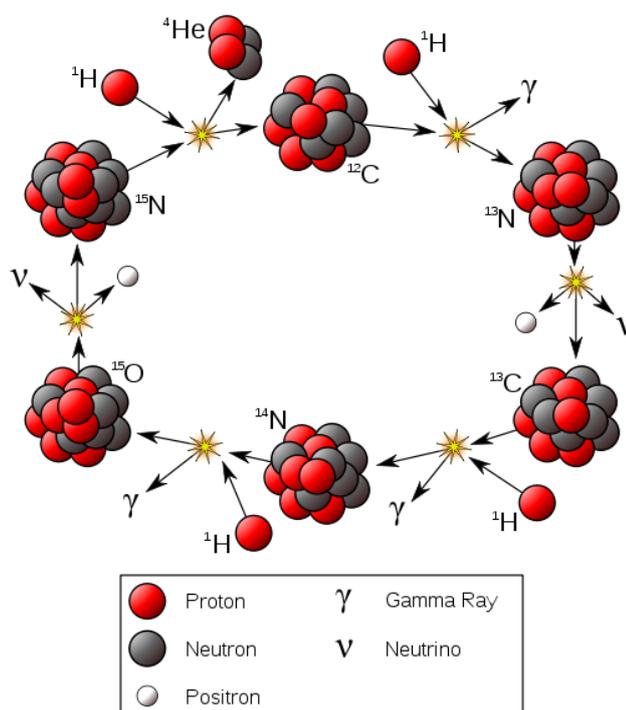
Ciclo P-P

Este esquema representa, em sequência, as etapas do processo de fusão de núcleos de hidrogênio com produção de hélio, fótons (energia) e neutrinos. Esta cadeia de reações recebe o nome de ciclo PP. A fase de queima do hidrogênio ocupa a maior parte da vida das estrelas. As reações de fusão termonucleares em seu interior fornecem a energia para compensar a gravidade. Uma estrela com a massa do Sol atinge temperaturas na parte central que possibilitam somente a ocorrência da cadeia ou ciclo próton-próton de reações para “queima” do hidrogênio (quando 4 prótons convertem-se em 1 núcleo de hélio).

Fonte: http://www.prof2000.pt/users/angelof/af16/ts_sol/bigsol23.htm

Acima dos 12 milhões de graus, ocorre o ciclo do carbono, que é dominante, se comparado ao ciclo próton-próton apenas para temperaturas superiores a 17 milhões de Kelvin.

No ciclo do carbono, núcleos de carbono se fundem com os de hidrogênio. A complexa cadeia do processo envolve a formação temporária de oxigênio e nitrogênio, que decaem logo que são formados. O resultado final do ciclo é a transformação de quatro prótons em um átomo de hélio, assim como no Ciclo P-P, mas agora o carbono serve de catalisador dos processos, ou seja, ele participa das reações, mas no final do processo ele não é alterado.



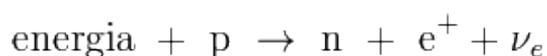
*Ciclo CNO. Tal ciclo é dominante apenas em estrelas com uma massa mínima de 1,5 vezes a massa solar.
Fonte: wikipedia.*

Modelos teóricos mostram que o ciclo CNO é a fonte de energia dominante nas estrelas mais massivas. No ciclo CNO, quatro prótons se fundem usando isótopos de carbono, nitrogênio e oxigênio que atuarão como catalisadores para produzir uma partícula alfa, dois pósitrons e dois neutrinos. Os pósitrons irão sempre aniquilar-se instantaneamente com elétrons, liberando energia na forma de raios gama. Os neutrinos escapam da estrela levando alguma energia. Os isótopos de carbono, nitrogênio e oxigênio são, para todos os efeitos, um núcleo que irá passar por um número de transformações em um ciclo sem fim, reciclando-se.

Na Física Nuclear, existe um fato importantíssimo: a massa por núcleon não é constante para todos os núcleos. A massa é maior para os núcleos leves, alcança seu valor mínimo para o ferro e tem valores intermediários para núcleos mais pesados. O ferro é o mais estável dentre todos os núcleos. Quando há fusão de núcleos leves, o núcleo obtido é menos massivo do que a soma de suas partes. Já quando os núcleos mais pesados sofrem fissão, as massas possuem menos massa do que o núcleo original. A variação de massa nos dois casos é

convertida em energia. Qualquer transformação nuclear que mova núcleos mais leves em direção ao ferro, combinando-os, ou que mova núcleos mais pesados em direção ao ferro, dividindo-os, libera energia.

O Sol está repleto de hidrogênio, cujo núcleo é um simples próton. Na reação de fusão dos átomos de hidrogênio, quatro prótons dão origem ao núcleo de hélio, o qual tem massa de menor valor do que a soma das massas dos prótons que deram origem a ele. Este fato se deve à força nuclear fraca, ou força fraca, descoberta em 1896 por Bequerel, responsável pelo decaimento beta (β^+), processo no qual um próton é convertido num nêutron, com a emissão de um pósitron, e de um neutrino de elétron.



A diferença de massa ocorre devido à conversão em energia, de acordo com a expressão famosa de Einstein ($E = mc^2$).

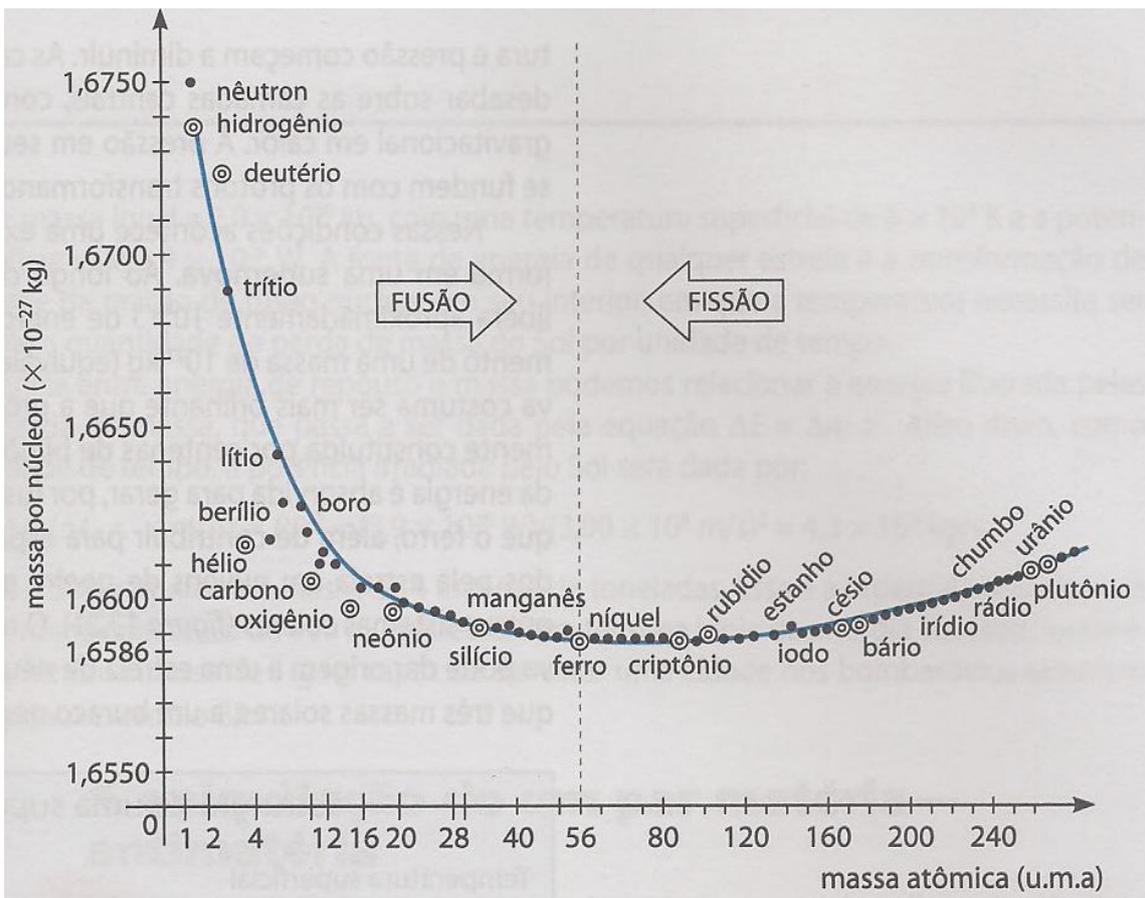
A reação de fusão do hidrogênio é apenas uma das muitas reações de fusão que ocorrem no interior de estrelas. Em estados mais avançados de evolução estelar, ocorre a fusão de átomos de hélio, carbono, nitrogênio, oxigênio e até de ferro. Após o ferro, não há mais reação de fusão nuclear, pois somente até a fusão do ferro é que existe a liberação de energia.

É preciso fornecer energia aos átomos de ferro para que se fundam. Sendo assim, o ferro é o derradeiro elemento gerado por fusão em estrelas. É bom ressaltar que, para os principais isótopos de núcleos leves como carbono, nitrogênio e oxigênio, o número de prótons e nêutrons é igual.

De onde vêm, então, os elementos mais pesados que o ferro?

Tais elementos surgem em algum estágio da evolução de estrelas massivas, bem maiores que o nosso Sol, como durante a explosão de uma Supernova, por exemplo. *Mas tais elementos pesados não são obtidos por fusão e não serão analisados neste trabalho.*

Isso demonstra que todos os elementos e átomos, que temos aqui em nosso planeta, um dia estiveram no interior de alguma estrela.



Fonte: Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga, Física volume único, 2010, página 573.

De acordo com Hewitt, o gráfico equivalente, em seu livro, é o mais importante da obra, pois constitui a chave para a compreensão de fenômenos nucleares.

9- Evolução estelar: do nascimento à morte e a formação dos elementos químicos por fusão em estrelas⁸

Ao se estudar estrelas, tenta-se estabelecer uma sequência evolutiva entre os diversos estágios pelos quais cada uma passa, indo desde o seu surgimento até a sua “morte”. É com o auxílio de modelos matemáticos e da Física que os astrônomos observam estrelas de diversas massas e em diferentes estágios evolutivos, sendo a massadaas estrelas o parâmetro crucial para sua evolução.

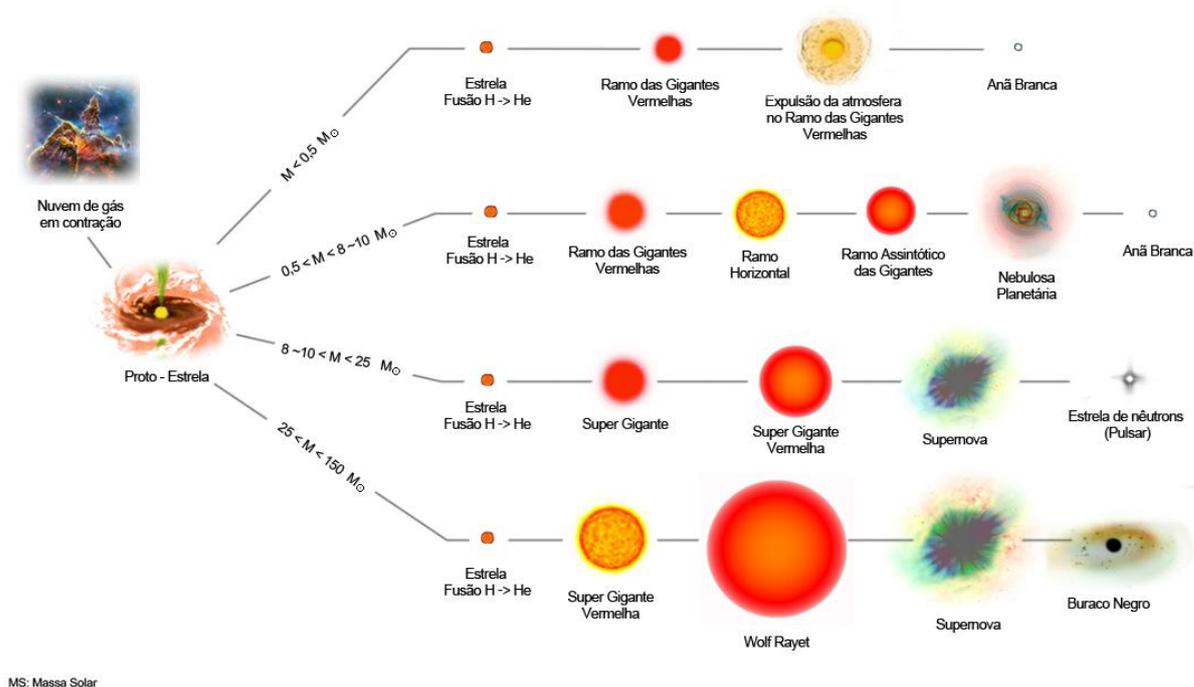
Na sequência principal, quando as estrelas convertem hidrogênio em hélio, as mais massivas são as mais quentes, e as menos massivas são aquelas mais frias.

Descobriu-se que a faixa de massa das estrelas gigantes e supergigantes é a mesma das estrelas de sequência principal, ou seja, fica entre a fração de massa solar até uma centena de massas solares.

É pouco intuitivo entender que estrelas com massas iguais possam ter características físicas como temperatura e luminosidade tão diferentes. Mas, entender a sua evolução, nos torna aptos à compreensão.

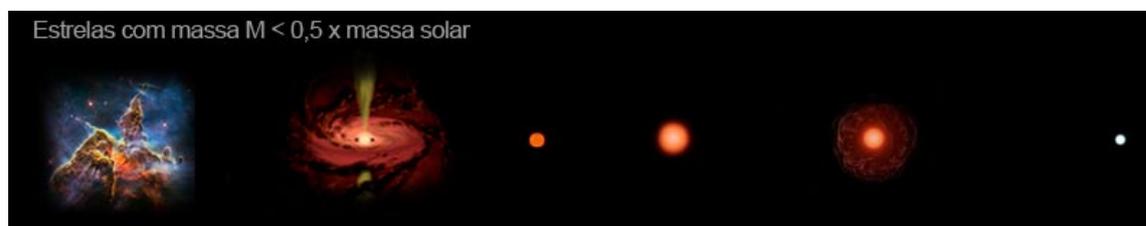
Abaixo, um panorama geral de como se dá a evolução das estrelas.

⁸ Este tópico é baseado no material disponibilizado no curso de Aperfeiçoamento em Astronomia para a Docência, USP, 2011. <http://moodle.stoa.usp.br/course/view.php?id=1677> e O UNIVERSO, série Atlas Visuais, Ática. 1996.



fonte: http://moodle.stoa.usp.br/file.php/1677/semana_12/5_B.jpg

9.1 - Estrelas de pequena massa (até 0,5Ms)



Aperfeiçoamento em Astronomia para a Docência – USP – 2011.

O limite de 0,08 Ms estabelece o destino de uma nuvem molecular em contração⁹:

- Se a massa for inferior a 0,08 Ms, ela jamais atingirá o estado de "estrela", formando uma "anã marrom".
- Se a massa inicial estiver situada entre $0,08 \text{ Ms} < M < 0,5 \text{ Ms}$, ocorre queima de hidrogênio no centro da estrela, com a consequente formação de um núcleo de hélio, e esta região central se torna degenerada, não conseguindo atingir temperatura suficiente para dar início às reações

⁹Observatório Nacional.

nucleares com o hélio. Como consequência, ela não se transforma em uma estrela gigante. Seu estágio final de evolução é a formação de uma estrela anã branca, com núcleo de hélio.



Aprofundamento em Astronomia para a docência- semana 12: Evolução Estelar

O tempo total de vida estimado para uma estrela com massa de 0,1 vezes a do Sol é superior a 1 trilhão de anos.

9.2 - Estrelas com massa entre 0,5 e 8~10 (massas solares - nosso Sol)



Aperfeiçoamento em Astronomia para a Docência – USP – 2011.

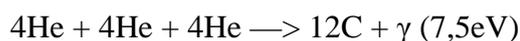
a) $0,5 M_{\text{sol}} < M < 1,0 M_{\text{sol}}$

Aqui, a contração muito lenta do núcleo continua e a temperatura central da estrela aumenta pouco. Sua superfície continua a se expandir e, neste caso, a estrela irá se transformar em uma estrela gigante vermelha. Devido à sua pequena massa, a luminosidade

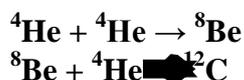
da estrela é gerada pelo processo de convecção. Após ejetar a maior parte do seu envoltório, neste intervalo de massa, as estrelas se tornam anãs brancas com núcleos de hélio, mas sem passar pelo estágio de nebulosas planetárias.

b) $1,0 M_{\odot} < M < 2 M_{\odot}$

Nestas estrelas, o núcleo apresenta contração e aquecimento elevados. Quando a temperatura na região central das estrelas atinge $T \sim 10^8$ K, um novo tipo de reação nuclear, desta vez envolvendo o hélio, irá ocorrer. O resultado desta fusão é um novo elemento químico, o carbono.



Este é o processo triplo-alfa (três hélios):



Eventualmente, dependendo da temperatura, o carbono pode se fundir com partículas alfa para formar o oxigênio: ${}^{12}\text{C} + {}^4\text{He} \longrightarrow {}^{16}\text{O}$.

O carbono vai se acumulando na região central da estrela. Ela passa a ter, então, um núcleo de carbono inerte, pois o carbono só consegue participar de reações nucleares, quando a temperatura é de cerca de 10^9 K.

Quando a estrela esgota o seu conteúdo de hélio, acontece tudo exatamente igual ao processo descrito anteriormente para a transformação de hidrogênio em hélio. O seu núcleo agora está rico em carbono e oxigênio (principais produtos da fusão do He), mas ainda há queima de H em He em torno dele. Ao término da fusão, a pressão de radiação diminui e ocorre um colapso gravitacional. A parte externa que colapsa logo em seguida, incidindo no

núcleo já colapsado, migra para fora da estrela. Forma-se então o que é denominada Nebulosa Planetária.



Nebulosa Olho de Gato

O final da evolução de tais estrelas é também de uma Anã Branca, com abundância de carbono e oxigênio.

9.3 - Estrelas com massa entre 8 e 15 vezes a massa solar

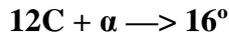
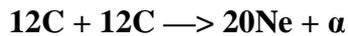


Aperfeiçoamento em Astronomia para a Docência – USP – 2011.

a) Até 10 Ms

Aqui também há fusão de hélio com a conseqüente formação de um núcleo de carbono. Em algum momento, a temperatura da região central deverá atingir $T \sim 10^9 \text{K}$, o que é suficiente para dar início a um novo conjunto de reações nucleares envolvendo o carbono.

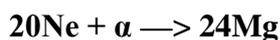




A evolução de tais estrelas é semelhante ao caso anterior, mas com uma sutil diferença: o processo conhecido como "flash de carbono", no qual a energia liberada é tão intensa que provoca a destruição da estrela. A estrela explode, formando uma supernova tipo II.

b) $M > 10 M_{\odot}$

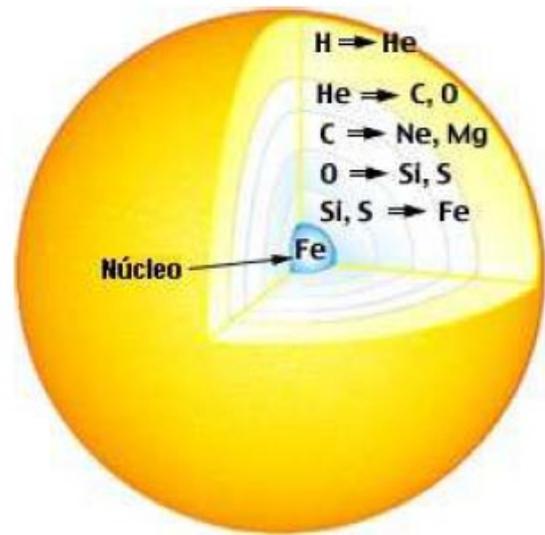
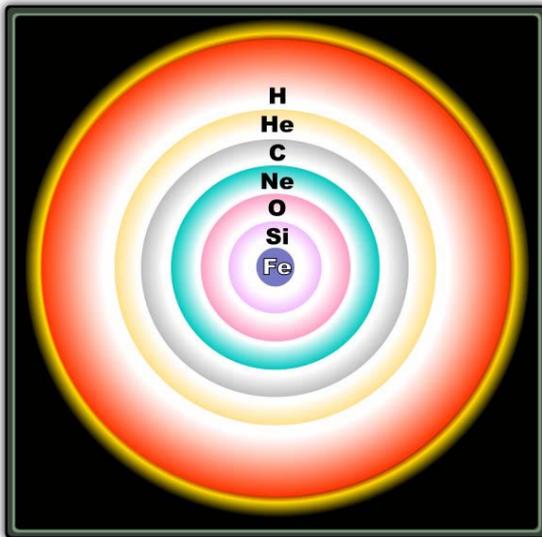
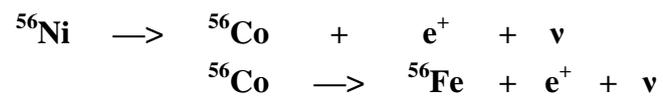
Estrelas assim evoluem ao longo de vários estágios de queima nuclear com a produção residual de vários elementos químicos pesados, e não passam por explosões violentas durante sua evolução, apenas em seu estágio final. Elas se contraem, aquecendo suavemente o núcleo até que uma reação particular comece. Quando este elemento é esgotado, a contração gravitacional transfere a queima nuclear para um anel em torno do novo núcleo. Outra contração do núcleo faz com que a temperatura nesta região aumente e seja iniciado o próximo estágio de fusão nuclear. Até $20M_{\odot}$, a estrela é capaz de iniciar apenas a fusão do oxigênio e do neônio, formando silício, enxofre e magnésio.



c) $M > 20 M_{\odot}$

Por fusão de He com elementos pesados, ocorrem as reações para formação dos elementos ^{16}O , ^{20}Ne , ^{24}Mg , ^{32}Si ... até o ^{56}Fe . A fusão do silício se dá a partir de $3 \times 10^9\text{K}$.

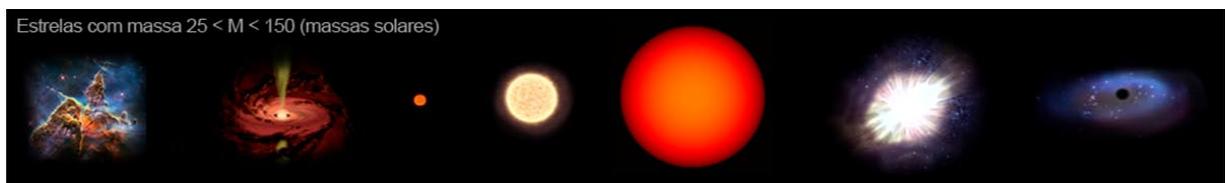




Camadas semelhantes à de uma cebola.

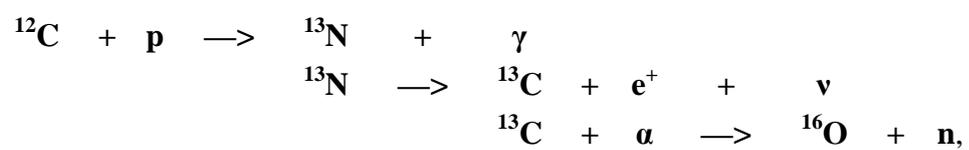
Este núcleo ficará rico em Ferro e Níquel.

9.4 - Estrelas com massas 25 vezes superiores à massa solar



Aperfeiçoamento em Astronomia para a Docência – USP – 2011.

A partir de reações nucleares como



um número muito grande de nêutrons é produzido e liberado no interior da estrela, os quais combinam-se com vários átomos, formando isótopos pesados destes elementos. Ocorre que os núcleos ricos em nêutrons são instáveis e decaem para estados de menor energia. O importante é entender que este é o processo de formação dos elementos pesados que encontramos em todo o Universo.

A altíssima luminosidade da estrela gera intenso vento estelar. A taxa de perda de massa aumenta. A estrela expulsa metade de sua massa através do vento estelar. Forma-se uma estrela chamada de Wolf-Rayet¹⁰.

Processos de fusão geram elementos cada vez mais pesados em seu núcleo. A evolução de uma estrela massiva é muito rápida, especialmente sua fase final. Para uma estrela de 25 vezes a massa do Sol, por exemplo, os modelos mostram que a etapa de fusão de carbono no núcleo ocorre em cerca de mil anos. Já a fusão do Si para formar o Fe, ocorre em cerca de um dia apenas. Após a formação de um núcleo rico em ferro e níquel, este núcleo experimenta um violento colapso gravitacional, e as camadas externas da estrela são expelidas. Então a estrela explode como uma supernova.

Se a massa desta estrela de nêutrons, ou seja, do núcleo que permanece após a explosão da supernova, for superior a três vezes a massa do nosso Sol, nem mesmo a estrutura compacta dos nêutrons conseguirá suportar a força da gravidade. Formam-se os buracos negros, embora não sejam buracos.

¹⁰Estrelas Wolf-Rayet são um estágio normal na evolução de estrelas massivas, na qual linhas de emissão de hélio e nitrogênio (sequência 'WN') ou hélio, carbono e oxigênio (sequência 'WC') são visíveis. Por causa de suas fortes linhas de emissão, elas podem ser identificadas em galáxias próximas. Fonte: Wikipedia.

9.5 - Resumo do capítulo

Daniela Borges Pavani, Roberto Pereira Ortiz e Diego Falceta Gonçalves, em *Aprofundamento em Astronomia para a docência - leitura semana 12: EVOLUÇÃO ESTELAR - ESTRELAS II*, fazem um resumo sobre tais ideias:

- “Estrelas com massas entre 0,08 e 0,5 vezes a massa do Sol são capazes somente de “queimar” hidrogênio. Quando o núcleo de hélio é formado, elas saem da Sequência Principal, passando à fase de gigante vermelha e posteriormente anã branca com núcleo central de hélio.”
- “Estrelas com massas entre 0,5 e 10 vezes a massa do Sol são capazes de “queimar” outros elementos além do hélio, após abandonarem a Sequência Principal. Elas evoluirão como gigante vermelha e finalmente formarão uma nebulosa planetária. O destino final das estrelas nesse intervalo de massa será uma anã branca com núcleo de carbono e oxigênio.”
- “Estrelas com massa entre 10 e 25 vezes a massa do Sol são capazes de “queimar” elementos ainda mais pesados, tais como o neônio, magnésio e silício durante a fase de supergigante vermelha. Ao final de sua evolução ela desenvolverá um núcleo central de ferro e posteriormente explodirá como uma supernova, cujo remanescente será uma estrela de nêutrons.”
- “Estrelas com massa maior que 25 vezes a massa do Sol podem passar por todos os ciclos de “queima” nuclear. Após saírem da Sequência Principal tornar-se-ão estrelas supergigantes vermelhas com intensa perda de massa. Durante algumas dezenas de milhares de anos elas lançarão ao espaço cerca de metade de sua massa e posteriormente transformar-se-ão em variáveis do tipo Wolf-Rayet, com temperatura efetiva da ordem de $T_{\text{ef}} \sim 30\,000$ a $60\,000\text{K}$. Estas estrelas possuem um envoltório de poeira e gás ejetado da estrela pela forte pressão de radiação. Essas

estrelas também desenvolverão um núcleo de ferro que colapsará, formando uma supernova. O remanescente poderá ser um buraco negro.”

10- CONCLUSÃO

Espera-se ter conseguido, neste Trabalho, sintetizar e hierarquizar boa quantidade de informações relevantes sobre como se formam os elementos químicos no Universo, o que basicamente se dá por processos evolutivos estelares.

Desde a sua formação até a sua “morte”, as estrelas evoluem e passam por muitos estágios. Entender o combustível que as alimenta e o final dele é de suma importância. Hans Bethedesenvolveu a teoria de como a fusão nuclear podia produzir a energia que faz as estrelas brilharem, o que lhe valeu o Prêmio Nobel em 1967.

O brilho das estrelas vem de um processo termonuclear completamente diferente de uma combustão simples. A fusão termonuclear em estrelas é, basicamente, a junção de núcleos atômicos leves formando núcleos atômicos mais pesados. Inicialmente, nas estrelas, ocorre fusão de núcleos de hidrogênio – formados por prótons – que, tendo cargas elétricas positivas, tendem a se repelir. Para vencer tal repulsão, é necessária uma temperatura elevadíssima, da ordem de dezenas de milhões de graus Kelvin. A esta temperatura, a estrela está num estado da matéria denominado plasma.

Na fusão nuclear das estrelas, a fusão dos átomos de hidrogênio gera átomos de hélio, com liberação de energia, sendo esta apenas uma das muitas reações de fusão que ocorrem no interior de estrelas. Em estados mais avançados de evolução estelar, ocorre a fusão de outros átomos até o ferro. Após o ferro, não há mais reação de fusão nuclear, pois é somente até a fusão do ferro que há a liberação de energia. É preciso fornecer energia aos átomos de ferro

para que se fundam. Sendo assim, o ferro é o derradeiro elemento gerado por fusão em estrelas.

Elementos mais pesados que o ferro surgem em algum estágio da evolução, durante a explosão de uma Supernova. Isso demonstra que todos os elementos e átomos que temos aqui em nosso planeta um dia estiveram no interior de alguma estrela.

11- REFERÊNCIAS

Sites consultados

http://pt.wikipedia.org/wiki/Nucleoss%C3%ADntese_estelar, acesso em 23/10/11.

<http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node10.htm>, acesso em 24/10/11.

<http://www.youtube.com/watch?v=gy6Wu3aKbkA&feature=youtu.be>, acesso em 24/10/11.

http://pt.wikipedia.org/wiki/Stanley_Miller, acesso em 24/10/11.

<http://www.astro.iag.usp.br/~jane/aga215/apostila/cap11.pdf>, acesso em 24/10/11.

<http://www.astro.iag.usp.br/~jane/aga215/apostila/cap12.pdf>, acesso em 24/10/11.

<http://www.laboratoriodefisica.com.br/GREF/mec/mec33.pdf>, acesso em 24/10/11.

<http://www-istp.gsfc.nasa.gov/stargaze/SnucEnerA-2.htm>, acesso em 25/10/11.

http://pt.wikipedia.org/wiki/Part%C3%ADcula_beta, acesso em 25/10/11.

<http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20032/Humberto/pagina1.html>, acesso em 25/10/11.

http://pt.wikipedia.org/wiki/Nucleoss%C3%ADntese_estelar, acesso em 26/10/11.

http://pt.wikipedia.org/wiki/Cronologia_do_Universo, acesso em 26/10/11.

<https://autoria.ggte.unicamp.br/unicamp-redefor/pages/public/main.jsf>, acesso em 26/10/11.

<http://lcogt.net/en/book/h-r-diagrams>, acesso em 27/10/11.

http://pt.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_Hertzsprung-Russell, acesso em 27/10/11.

<http://portuguese.christianpost.com/noticias/20110516/ateus-vs-cristaos-stephen-hawking-diz-nao-ha-ceu-nem-vida-apos-a-morte/>, acesso em 29/10/11.

<http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node14.htm>, acesso em 29/10/11.

http://pt.wikipedia.org/wiki/Estrela_Wolf-Rayet ,acesso em 02/11/11.

<http://www.journal.ufsc.br/index.php/fisica/article/viewFile/7493/6872> ,acesso em 02/11/11.

http://www.on.br/site_edu_dist_2011/site/conteudo/modulo4/cap10-gigantes-supergigantes/gigantes.html ,acesso em 03/11/11.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Formação de Alguns Elementos Químicos no Universo - Externato Cooperativo da Benedita, Física e Química A (Ano 1), Professora Isabel Carreira, 2007.
- HEWITT, P. G., Física Conceitual 9ª Edição. Bookman. Rio Grande do Sul, 2008.
- LUZ, A.M.R., ALVARENGA, B., **Física volume único**. Scipione: São Paulo, 2010
- O UNIVERSO, Série Atlas Visuais. Ática. São Paulo, 1996.
- PARANÁ, D. N. S. **Física Volume Único**. Ática: São Paulo, 2003
- RAMALHO, F. R. J. , TOLEDO, P. A. S.; FERRARO, N. G. **Os Fundamentos da Física** São Paulo: Moderna, 7ª ed., 1999
- SAMPAIO, J.L., CALÇADA, C.S., **Universo da Física 3**. Atual: São Paulo, 2005
- TOLEDO, P. A. S.; FERRARO, N. G. **Aulas de Física**. Atual: São Paulo, 1991
- YAMAMOTO, K., FUKU, L. F., **Física para o Ensino Médio 3**. Saraiva: São Paulo, 2010

12-ANEXOS

Anexo 1 – Resposta de uma aluna

Nome: Fernanda nº07 Diferença nº30 3ºA

14/08/11

A origem dos elementos



1) Como se deu a origem de todas as coisas?

2) Como o hidrogênio, hélio, ferro e ouro se formaram?
de quais circunstâncias?

1. "No princípio criou Deus os céus e a terra.

A terra era sem forma e vazia; e havia trevas sobre a face do abismo, mas o Espírito de Deus pairava sobre a face das águas.

Disse Deus: - Haja luz. E houve luz.

[...] E disse Deus: - Haja um firmamento no meio das águas, e haja separação entre águas e águas.

[...] Fez, pois, Deus o firmamento, e separou as águas que estavam por cima do firmamento. E assim foi.

(Gênesis 1:1-8)

Nós acreditamos que Deus é o criador de todas as coisas, criou os céus e a terra, assim como tudo que há nelas.

2. Há teorias aceitáveis de que os elementos como "consequência" de temperatura da terra (resfriamento ou aquecimento exagerado) ou causas naturais (relâmpagos, trovões, etc.)

Anexo 2 – Respostas de vários alunos.

2. A origem da perspectiva de que há um Cosmos, entende-se que três cosmólogos foram decisivos para isso. Portanto, quando as estrelas não chegam é porque existe na interseção alguma outra estrutura.

a) Como o hidrogênio, hélio, ferro e ouro se formaram? Sob quais circunstâncias?

Com a explosão do big bang houve várias formações de substâncias.

3. Há teorias científicas de que os elementos como "consequência" de temperatura da terra (resfriamento ou aquecimento exagerado) ou causas naturais (relâmpagos, trovões, etc.)

Esses elementos se formaram no início do planeta, quando seu ambiente era hostil, formado de gases na atmosfera formaram naturalmente compostos.

Comparto de muitas pesquisas se formaram essas espécies logo após o planeta se estabilizar por isso uma pessoa não acredita de fato que existe um respirar após de uma vida em outro estado, pois a física mostra totalmente plausível para muitas outras estruturas logo

4. Acredito-se que as forças elétricas durante as condições favoráveis a formação de combinações entre a matéria, que compõem a atmosfera primitiva, resultam com o gás hidrogênio e o gás hélio.

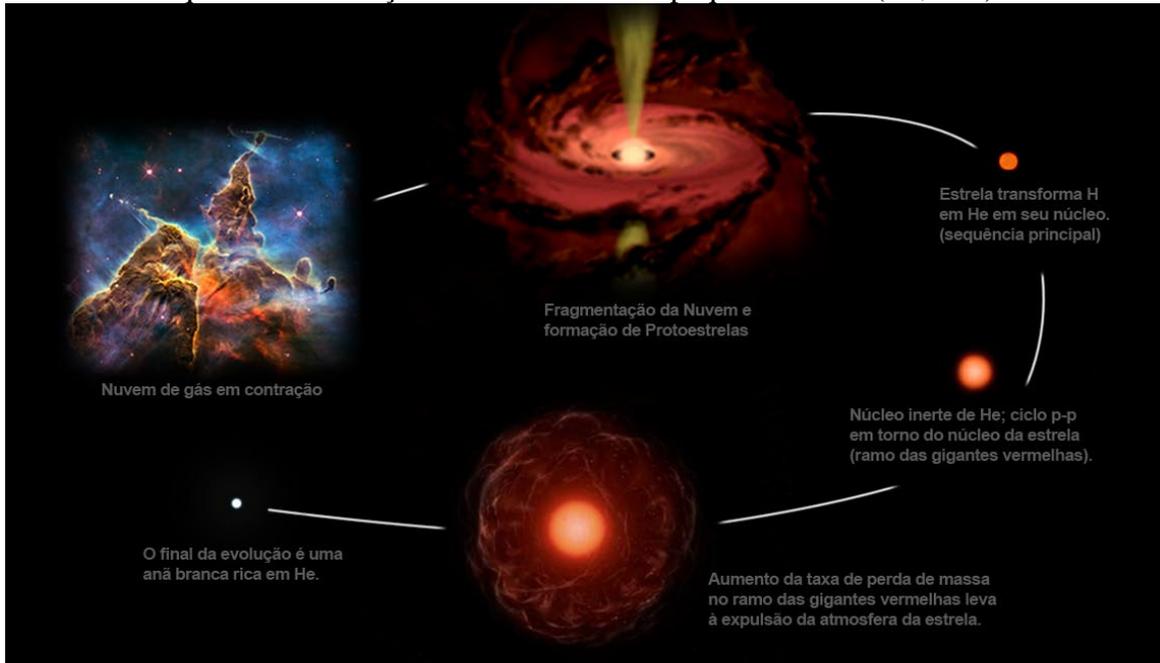
2. Carbono e o hidrogênio são elementos fundamentais para a construção dos seres vivos. Apesar de muitos elementos e formas químicas e um objeto a quem se nome de ferro e outro com o mesmo nome e bulhoso dizem o nome de ouro.

2- Após a formação catastrófica do planeta, durante milhões de anos passou por transformações de ondas e varreduras e altos níveis de oxidação, e assim acredita que foram surgindo os elementos químicos que formaram essas coisas. Como na teoria de vida orgânica.

Todos os elementos foram criados por Deus

- Hidrogênio: para a respiração
- Carbono: ele aparece na vida e na morte
- ferro: é essencial para construção
- ouro: riqueza

Anexo 3 – Esquema da evolução de uma estrela de pequena massa (<math><0,5M_{\text{s}}</math>)



Anexo 4 - Esquema da evolução de uma estrela entre 0,5Ms e 10Ms

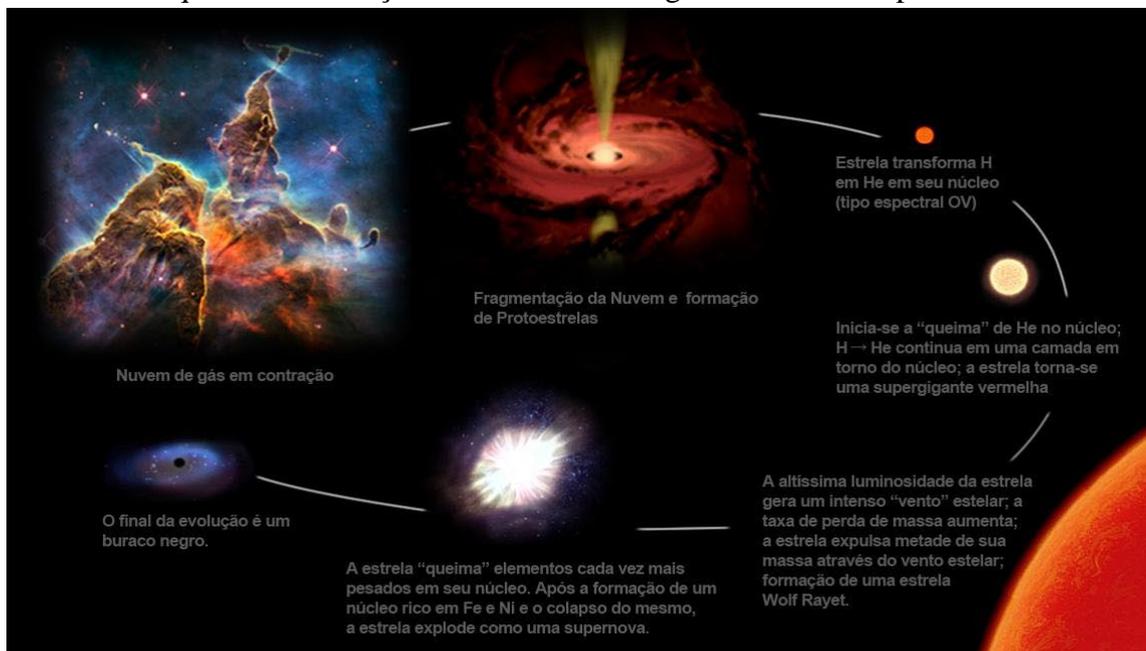


Fonte para os anexos 3, 4, 5 e 6: Aperfeiçoamento em Astronomia para a Docência USP/ 2011.
<http://moodle.stoa.usp.br/course/view.php?id=1677>

Anexo 5 - Esquema da evolução de uma estrela entre 8Ms e 25Ms



Anexo 6 - Esquema da evolução de uma estrela de grande massa – a partir de 25Ms



Fonte para os anexos 3, 4, 5 e 6: Aperfeiçoamento em Astronomia para a Docência USP/ 2011.
<http://moodle.stoa.usp.br/course/view.php?id=1677>