



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



THIAGO NUNES CESTARI

**UMA PROPOSTA DE ENSINO DE FUNDAMENTOS DE ASTRONOMIA E
ASTROFÍSICA VIA ENSINO SOB MEDIDA**

Tramandaí, RS

2018

THIAGO NUNES CESTARI

**UMA PROPOSTA DE ENSINO DE FUNDAMENTOS DE ASTRONOMIA E
ASTROFÍSICA VIA ENSINO SOB MEDIDA**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul em parceria com a Sociedade Brasileira de Física, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Gabriel dos Santos
Coorientador: Prof. Dr. Rafael Aislan Amaral

Tramandaí, RS

2018

CIP - Catalogação na Publicação

Cestari, Thiago Nunes

Uma Proposta de Ensino de Fundamentos de
Astronomia e Astrofísica via Ensino sob Medida /
Thiago Nunes Cestari. -- 2018.

129 f.

Orientador: Márcio Gabriel dos Santos.

Coorientador: Rafael Aislan Amaral.

Dissertação (Mestrado Profissional) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Campus
Litoral Norte, Programa de Pós-Graduação do Mestrado
Nacional Profissional em Ensino de Física, Tramandaí,
BR-RS, 2018.

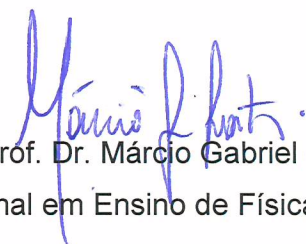
1. Ensino de Física. 2. Ensino de Astronomia. 3.
Ensino de Astrofísica. 4. Metodologias Ativas de
Ensino. 5. Ensino sob Medida. I. Santos, Márcio
Gabriel dos, coorient. II. Amaral, Rafael Aislan.

THIAGO NUNES CESTARI

**UMA PROPOSTA DE ENSINO DE FUNDAMENTOS DE ASTRONOMIA E
ASTROFÍSICA VIA MÉTODO ATIVO DE ENSINO**

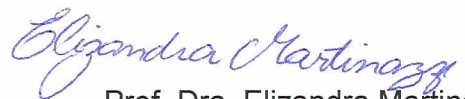
Dissertação apresentada ao curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul em parceria com a Sociedade Brasileira de Física, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em 24 de agosto de 2018.



Prof. Dr. Márcio Gabriel dos Santos

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – UFRGS



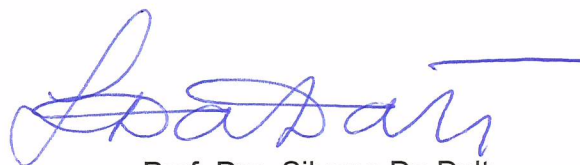
Prof. Dra. Elizandra Martinazzi

Instituto Federal do Rio Grande do Sul – IFRS



Prof. Dr. Dakir Larara Machado da Silva

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – UFRGS



Prof. Dra. Silvana Da Dalt

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – UFRGS

Dedico esta dissertação a todos que me auxiliaram.

RESUMO

Observar o céu é uma atividade que a humanidade realiza desde as primeiras civilizações. É considerada a primeira ciência feita pelo homem e o berço da Física. Atualmente, é uma área que possibilita a interação da Física com diversas outras disciplinas como Matemática, Química e Biologia. Infelizmente, muitas vezes é esquecida nos currículos do Ensino Médio e nos livros didáticos. Logo, esta dissertação de mestrado tem como objetivo ensinar fundamentos de Astronomia e Astrofísica no Ensino Médio a partir de uma sequência didática que resulta em um produto educacional formulado a partir de um método ativo de ensino. O método empregado na sequência didática possui o intuito de proporcionar maior envolvimento dos estudantes no processo de aprendizagem. O método escolhido foi o Ensino sob Medida (EsM) que proporciona aos estudantes um contato prévio com os conteúdos e ao professor uma ideia dos conhecimentos prévios dos estudantes. A sequência foi aplicada em uma turma de primeira série do Ensino Médio de uma escola particular de Gravataí-RS. A elaboração de todo o material didático, assim como a sua aplicação, levou em conta os aspectos centrais da Teoria de Aprendizagem Significativa de David Ausubel. Esse material foi planejado para ser executado em 5 aulas de 50 minutos cada.

Palavras-chave: Ensino de Física. Astronomia. Astrofísica. Ensino sob Medida.

ABSTRACT

Observing the sky is an activity that the humankind performs since the very first civilizations. It is considered to be the first science made by men and the cradle of Physics. Nowadays, it is a field that allows the interaction between physics and many other disciplines, such as Mathematics, Chemistry, and Biology. Unfortunately, it is often forgotten in the high school curriculums and in the textbooks. Therefore, this masters' thesis aims to teach the fundamentals of Astronomy and Astrophysics in high school, through a task sequence that results in an educational product made from an active teaching method. The approach used in the task sequence intent to actively engage the students in the process of learning. The method chosen was Just-in-Time Teaching (JiTT); a method that gives the students previous contact with the contents and gives the teacher an idea of the students' acquaintance. The task sequence was done with a first year of high school group, at a private school in Gravataí-RS. Both the elaboration of the teaching material and its application took into consideration the main aspects of Ausubel Meaningful Learning Theory. This material was planned for five classes of fifty minutes each.

Keywords: Physics teaching. Astronomy. Astrophysics. Just-in-Time Teaching.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Uma Noite Estrelada no Brasil.	10
Figura 2	– Distribuição Anual de Teses e Dissertações sobre Educação em Astronomia	12
Figura 3	– Publicações relacionadas ao Ensino de Astronomia presentes no Caderno Brasileiro de Ensino de Física e na Revista Brasileira de Ensino de Física entre os anos de 1990 e 2012.....	13
Figura 4	– As quatro forças fundamentais se separam por causa de quebra de simetrias no universo primordial	31
Figura 5	– Os objetos de nosso Universo, desde os menores imagináveis até o limite do quasar mais distante observado.	32
Figura 6	– “Briga” entre a auto gravidade da estrela e sua pressão interna.	33
Figura 7	– Etapas do processo de formação do Sistema Solar de acordo com o modelo da nebulosa solar.	35
Figura 8	– Lente Gravitacional.	37
Figura 9	– Diagrama Hertzsprung-Russell – HR.	40
Figura 10	– Cadeia de fusão nuclear próton-próton.....	42
Figura 11	– Esquema da evolução estelar para diferentes massas.....	44
Figura 12	– Tarefa de leitura no <i>Google Forms</i>	46
Figura 13	– Planilha eletrônica com as respostas dos alunos à TL, fornecida pelo <i>Google Forms</i>	46
Figura 14	– <i>Slide</i> utilizado em aula com uma seleção de respostas dos alunos à TL1 referente a pergunta 2.....	48
Figura 15	– <i>Slide</i> utilizado em aula com uma seleção de respostas dos alunos à TL1 referente a pergunta 3.....	49
Figura 16	– Percentual de respostas dos estudantes à TL1 referente a pergunta 4. ...	49
Figura 17	– Percentual de resposta dos estudantes referente ao teste de confiança...50	
Figura 18	– <i>Slide</i> utilizado em aula com uma seleção de respostas dos alunos à TL2 referente a pergunta 2.....	52
Figura 19	– <i>Slide</i> demonstra o interior aquecido de uma estrela atingindo seu máximo.	52
Figura 20	– Percentual de resposta dos estudantes referente à pergunta 3 da TL2. .53	
Figura 21	– Percentual de resposta dos estudantes referente à pergunta 4 da TL2. .53	

Figura 22 – Diagrama HR utilizado para explicar o funcionamento do mesmo.	54
Figura 23 – Percentual de resposta dos estudantes referente ao teste de confiança...	54
Figura 24 – Porcentagem de acertos nas questões conceituais inseridas na prova.	63
Figura 25 – Gráfico do percentual de acerto dos estudantes.....	65

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Lei da Gravitação Universal de Newton.	29
Equação 2 – Cálculo da distância percorrida por um objeto.	32
Equação 3 – Relação massa-energia de Einstein.	37
Equação 4 – Quantização da Energia de Max Planck.	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Histórico do Ensino e Aprendizagem de Astronomia e Astrofísica	11
1.2 Referencial teórico	15
2 METODOLOGIA	19
2.1 Estruturação das Aulas	21
2.2 Material Elaborado	21
3 FUNDAMENTOS DE ASTRONOMIA E ASTROFÍSICA	24
3.1 Breve Histórico	24
3.2 Big Bang	29
3.3 Estrelas	33
3.5 Fusão Nuclear	35
3.6 Diagrama Hertzsprung-Russell	37
3.7 Evolução estelar	41
4 APLICAÇÃO DA PROPOSTA DE ENSINO	45
4.1 Relato das atividades	45
4.2 Relato das aulas	47
5 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO	56
REFERÊNCIAS	67
APÊNDICE A – TEXTO DE APOIO	71
APÊNDICE B – TAREFA DE LEITURA 1	83
APÊNDICE C – TAREFA DE LEITURA 2	85
APÊNDICE D - QUESTÕES CONCEITUAIS	87
APÊNDICE E – SLIDES UTILIZADOS NA AULA 1	89
APÊNDICE F – SLIDES UTILIZADOS NA AULA 5	92
APÊNDICE G – PRODUTO EDUCACIONAL	97
ANEXO A – QUESTIONÁRIO DE OPINIÕES:	126

1 INTRODUÇÃO

A presença dos astros no céu atrai a atenção da humanidade desde os primórdios. Além do encantamento com a sua beleza, havia o encantamento com a regularidade de seus movimentos, por exemplo, o nascer e o por do Sol dividindo o dia e a noite, a Lua mudando de fase a cada semana e um ciclo completo ao final de um mês (KEPLER E SARAIVA, 2017).

Foi com a percepção dessa regularidade nos movimentos que alguns antigos se arriscaram a fazer levantamento de hipóteses com a ideia de que o mundo poderia evoluir a partir de leis determinadas, tendo assim, o seu primeiro contato com a ciência (NOGUEIRA, 2009).

Dessa forma, o nosso conhecimento em relação à Astronomia remete a épocas remotas. Após observar a beleza de um céu estrelado – e.g. Figura 1 – é natural que surjam perguntas que irão desde “o que é o universo?” até “há vida em outro planeta?”. A curiosidade que é uma característica intrínseca ao ser humano, que possibilitou buscar respostas a essas perguntas. Atualmente, os conceitos astronômicos são utilizados diariamente para explicar, por exemplo, as estações do ano, as divisões do calendário, a energia do Sol que sustenta a vida, bem como a diversidade de produtos inventados (reinventados) no desenvolvimento tecnologia aeroespacial – relógios digitais, câmeras digitais, alimentos, fraldas etc. (NARDI, 2009).

Ao longo da história, as observações dos céus levaram a descobertas que tiveram grande impacto na população. Um exemplo disso é a transição da civilização nômade para o sedentarismo, mudança na qual foi necessário ter conhecimento maior relação entre a época de plantio e o resultado na colheita (MASON, 1962). Outro exemplo é a civilização egípcia ter organizado um calendário, com base na posição das estrelas, no qual havia três partes: o período das cheias, o período do plantio e o período da colheita (SPARROW, 2018).

Até mesmo o surgimento da Matemática pode ter resultado de observações antigas do céu, feitas a fim de acompanhar as estações e as inundações sazonais nas áreas férteis da Terra. Observações dos movimentos da lua e dos planetas levaram a uma compreensão da gravidade e das forças que governam seus movimentos (PANNEKOEK, 1961).

A Figura 1 apresenta uma noite estrelada e sem nuvens em um local afastado da poluição luminosa das grandes cidades exibindo uma imagem de beleza

incalculável na cidade de Campos no Rio de Janeiro. Percebe-se ao fundo a nossa Galáxia Via Láctea, bem como as constelações (ligadas pelas linhas brancas) de Sagitário e Escorpião, as estrelas *Alpha Centauri* e a gigante *Omega Centauri*, bem como o Polo Sul Celeste. Desse modo é fácil entender como as observações astronômicas afetaram e afetam as pessoas ao longo dos tempos.

Figura 1 – Uma Noite Estrelada no Brasil com as constelações destacadas.



Fonte: Babak Tafreshi (TWAN) - Créditos e direitos autorais.

O espaço pode ser considerado um laboratório cósmico gratuito para o estudo da matéria e da radiação em condições que muitas vezes não é possível replicar aqui na Terra. O Ensino de Astronomia e Astrofísica possibilitarão o desenvolvimento de habilidades úteis em todos os ramos do saber e do cotidiano da ciência (LANGHI E NARDI, 2013). Com isso, fomenta-se o interesse dos estudantes pela área possibilitando um aumento nas pesquisas e conseqüentemente em novas descobertas. Portanto, investir no Ensino de Astronomia e Astrofísica é investir no futuro.

Nos próximos itens desse capítulo estão descritos Histórico do Ensino e Aprendizagem de Astronomia e Astrofísica (item 1.1). Após os estudos anteriores da Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel e do Ensino sob Medida (item 1.2) bem como ambos foram aplicados ao longo da seqüência didática.

1.1 HISTÓRICO DO ENSINO E APRENDIZAGEM DE ASTRONOMIA E ASTROFÍSICA

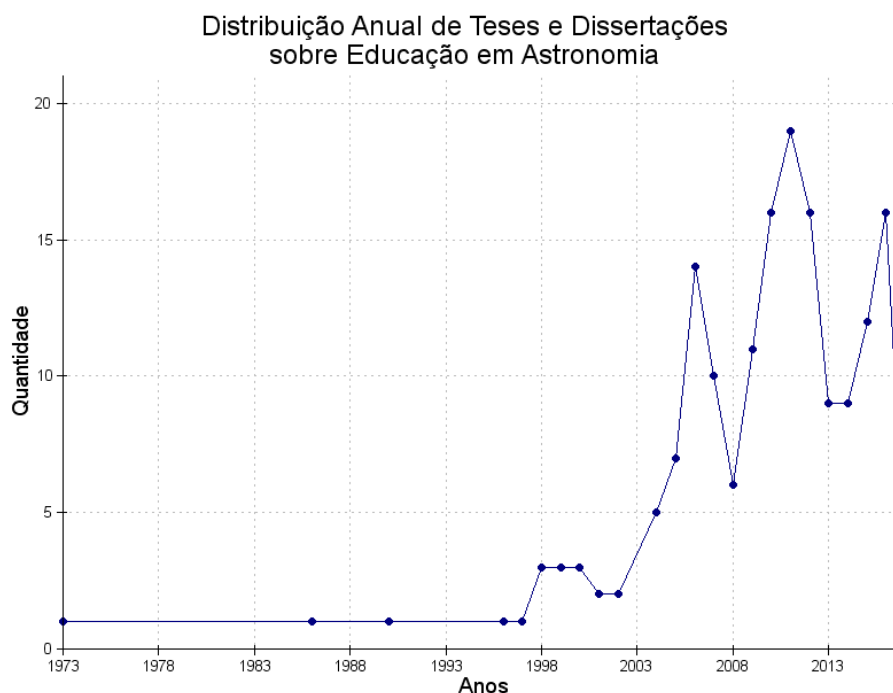
A Astronomia é o estudo científico dos astros, dessa forma, estuda sua origem, seu desenvolvimento e seus fenômenos. Portanto, é uma área multidisciplinar que possibilita ao professor abordar conceitos de diversas disciplinas como Matemática, Biologia, Física e Química. No presente trabalho, foram selecionados alguns conceitos de Astrofísica, que é uma área da Astronomia, que aplica os conceitos físicos para explicar os fenômenos que ocorrem com os astros, bem como conceitos de Cosmologia para serem desenvolvidos com os estudantes.

O Ensino de Astronomia, por mais que seja indicado nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's), Brasil (2006, p. 50) – Tema 6. Origem e evolução da vida – muitas vezes não é trabalhado no ensino básico. Alguns artigos apontam para um sensível crescimento nas pesquisas na área de Ensino de Astronomia. Langhi (2011, p. 4402-4404) destaca que esse crescimento é pequeno nas últimas décadas. Ressaltando o aumento em dissertações de mestrados, trabalhos de iniciação científica e conseqüentemente, o aumento nos periódicos da área e apresentação em eventos nacionais e internacionais.

Mesmo com esse aumento, o número de pesquisas continua sendo pequeno em comparação ao total de publicações e produções em ensino geral. A Figura 2 representa um gráfico que demonstra a distribuição anual de teses e dissertações realizadas em âmbito nacional sobre Educação em Astronomia ao longo de 41 anos (1973-2014) retirado do Banco de Teses e Dissertações sobre Educação em Astronomia da Universidade Federal de São Carlos (UFScar) – São Paulo.

O qual foi, inicialmente, baseado em pesquisas (BRETONES; MEGID NETO, 2005; LANGHI, 2009) e complementado por Bretones (2011), professor da UFScar que ficou responsável pela atualização desse catálogo. Para isso, busca no Banco de Teses da CAPES as teses e dissertações de mestrado cujo tema principal é o Ensino ou a Educação em Astronomia.

Figura 2 – Distribuição Anual de Teses e Dissertações sobre Educação em Astronomia



Fonte: Universidade Federal de São Carlos.

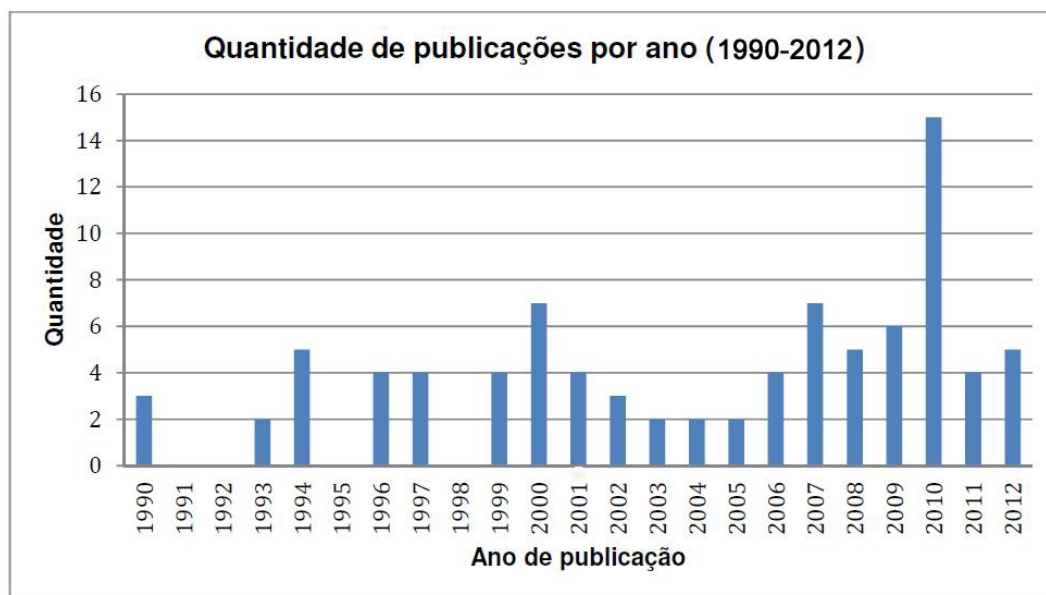
Disponível em: <<http://www.btdea.ufscar.br/estatisticas>> Acessado em 31 de maio de 2017.

A observação do gráfico, apresentado na Figura 2, permite inferir que a quantidade de publicações em Ensino de Astronomia é exígua. Caso as publicações fossem restritas apenas para Astrofísica, os números seriam ainda menores.

O que também pode ser constatado é que existem poucas revistas na área de Astronomia no Brasil, podendo-se citar a *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia* (RELEA) publicada pela UFScar que possui trabalhos relacionados ao Ensino de Astronomia bem como a revista *Planetária – Educação* que é ligada à Associação Brasileira de Planetários (ABP).

A Figura 3 mostra que o número de publicações no Caderno Brasileiro de Ensino de Física e na Revista Brasileira de Ensino de Física – revistas que são referências nacionais na área de ensino de Física – não é muito elevado ao ser comparado ao total de publicações, entretanto, no ano de 2010 teve um recorde de 15 artigos divulgados. Fato que, provavelmente, ocorreu devido ao ano de 2009 ter sido o ano internacional da Astronomia e assim impulsionando as pesquisas e conseqüentemente os artigos.

Figura 3 – Publicações relacionadas ao Ensino de Astronomia presentes no Caderno Brasileiro de Ensino de Física e na Revista Brasileira de Ensino de Física entre os anos de 1990 e 2012.



Fonte: Iachet e Nardi, 2014.

A partir da análise da Tabela 1, percebe-se que do total de mais de 32mil artigos produzidos em todos os periódicos apenas 57 são sobre pesquisa em Educação em Astronomia. Totalizando um percentual inferior a 0,5% dos artigos publicados.

Tabela 1 – Levantamento de artigos de Pesquisa sobre Educação em Astronomia publicados entre 2004 a 2014 em periódicos nacionais com *qualis* A1, A2 e B1

32092	Total de títulos produzidos em todos periódicos
57	Total de artigos encontrados sobre Pesquisa em Educação em Astronomia
0,2%	Porcentagem de artigos de EA sobre a produção total nacional de 2004 a 2014

Fonte: Langhi.

Disponível em: <http://goo.gl/W24Nko> acessado em 25 de maio de 2017.

Caso os artigos sobre Educação em Astronomia fossem restritos apenas para as pesquisas sobre metodologias para o Ensino de Astronomia o número seria ainda menor. Um exemplo disso é que Araújo e Abib (2003) *apud* Langhi e Nardi (2013) analisaram 92 publicações nas revistas supramencionadas que abordavam atividades práticas para o ensino de Física e sendo apenas três desse total relacionadas à Astronomia.

No âmbito acadêmico existe, na Universidade de São Paulo, o programa de Mestrado Profissional em Ensino de Astronomia (MPEA) que está associado ao Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IGA) e iniciou as

atividades em agosto de 2013. Costa (2015, p.41) em sua dissertação de mestrado do programa supracitado, apresentou uma pesquisa com professores que lecionavam de ciências (Física, Química e Biologia) na qual os questionava se consideravam seus níveis de aprendizado em Astronomia satisfatórios. Como resultado obteve que todos os professores afirmaram que não consideravam satisfatórios ou que não haviam tido formação alguma nessa ciência.

Não só a formação dos profissionais é prejudicada, mas também os livros didáticos de Física seguidamente apresentam equívocos. De acordo com Langhi e Nardi (2007, p.91) os principais erros encontrados nos materiais são os conteúdos referentes às estações do ano, Lua e suas fases; movimentos e inclinação da Terra; representação de constelações; estrelas; dimensões dos astros no Sistema Solar; número de satélites e anéis em alguns planetas; pontos cardeais; características planetárias; aspectos de ordem histórica e filosófica relacionados com Astronomia.

Portanto, na tentativa de qualificar o Ensino de Astronomia, o desenvolvimento de uma sequência didática com a utilização de um método ativo de aprendizagem surge como uma inovação da prática docente. Segundo Langhi (2011, p.391) pesquisadores que se debruçam em linhas temáticas relacionadas à Educação em Astronomia repetidamente demonstram que inovações são necessárias com relação à prática docente.

Em uma pesquisa feita com 125 estudantes da primeira série do Ensino Médio, Iachel (2011) constatou diversas concepções alternativas sobre o conceito de uma estrela: alguns estudantes pensam que as estrelas possuem pontas; poucos estudantes sabem que uma estrela apresenta um ciclo evolutivo, portanto não sabem que podem tornar-se buracos negros ou nebulosas e também não sabem que são esferas gasosas auto gravitantes (o que desmistificaria o fato de ter pontas). Muitos estudantes pensam que o Sol é a maior e a mais quente estrela que existe devido a nossa percepção e poucos acham que as outras estrelas são extensões do Sol. Cinquenta desses estudantes afirmaram nunca terem reparado a existência de estrelas com colorações diferentes no céu noturno.

Essas concepções prévias foram consideradas para a elaboração de todo o material utilizado nas aulas: tarefas de leituras, apresentação de *slides*, seleção de vídeos, conforme ficará mais claro no Capítulo 4, no qual é descrito em detalhe o material elaborado.

Preocupado com o desenvolvimento geral da área de Astronomia, o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) através da Portaria Nº10, de 17 de junho de 2009 publicada no Diário Oficial da União, designa representantes para compor a Comissão Especial de Astronomia para elaboração do Plano Nacional para Astronomia Brasileira o qual foi finalizado e publicado em outubro de 2010. O Plano Nacional de Astronomia – PNA – (Brasil, 2010) afirma que o Ensino de Astronomia no Brasil está sendo negligenciado por currículos escolares há anos.

As reformas indicadas nos últimos anos do século passado (PCN's), bem como a Base Comum Curricular para o Ensino Médio (BRASIL, 2017), ressaltam a importância do Ensino de Astronomia na compreensão científica do universo e do cosmos, bem com da evolução das ideias científicas. Portanto, a elaboração de uma sequência didática nesses tópicos de Astronomia pode facilitar o trabalho de outros professores que venham desejar trabalhar esses conceitos em aula.

Reforçando a necessidade de materiais, cursos e incentivo ao Ensino de Astronomia, o PNA (BRASIL, 2010, p.49) realiza recomendações em relação ao Ensino de Astronomia que consiste em dar continuidade à intensificação na capacitação dos professores de Ensino Médio e Fundamental que trabalham conceitos de Astronomia com os estudantes através da inserção de disciplinas de Astronomia nos currículos dos cursos de ensino superior de pedagogia e das licenciaturas, bem como fortalecer os programas de pós-graduação existentes para qualificação do profissional que não está mais cursando o ensino superior. Recomenda, também, a estimular as instituições de ensino a flexibilizar os currículos para que sejam introduzidos conceitos de Astronomia como formação multidisciplinar dos estudantes.

Percebe-se, então, que esse documento explicita a necessidade de mudanças para que seja possível qualificar o Ensino de Astronomia no país e conseqüentemente qualificar a formação dos profissionais da área.

1.2 REFERENCIAL TEÓRICO

1.2.1 Aprendizagem Significativa de David Ausubel

A Teoria de Aprendizagem Significativa (TAS) de David Ausubel (1918-2008) considera que o conhecimento prévio é o fator fundamental para que ocorra aprendizagem significativa. Segundo Ausubel (2003, p.71):

A essência do processo de aprendizagem significativa consiste no fato de que novas ideias expressas de forma simbólica (a tarefa de aprendizagem) se relacionam àquilo que o aprendiz já sabe (a estrutura cognitiva deste numa determinada área de matérias), de forma não arbitrária e não literal, e que o produto desta interação ativa e integradora é o surgimento de um novo significado, que reflete a natureza substantiva e denotativa deste produto interativo.

Essa ideia parece ser de simples entendimento, porém, é necessário diferenciar “aquilo que o aprendiz já sabe” – estrutura cognitiva, e que está na estrutura cognitiva do indivíduo que aprende, do pré-requisito estabelecido para o conteúdo em estudo. Portanto, a estrutura cognitiva do estudante é o conteúdo total da organização das ideias e conceitos do mesmo.

Por exemplo, para o aluno entender as equações horárias do movimento, tanto uniforme quanto uniformemente acelerado, seria um pré-requisito saber as funções de primeiro e segundo grau. No entanto, Ausubel denomina de subsunçor as ideias, conceitos, proposições existentes na estrutura cognitiva do aluno a respeito de movimentos, por exemplo, o que ele entende como posição (inicial e final), deslocamento e variação no tempo.

De acordo com Moreira (1983), a teoria de Ausubel é centralizada na aprendizagem significativa, processo no qual uma nova informação é relacionada de maneira não arbitrária e não literal à estrutura cognitiva do estudante. Portanto, neste processo ocorre a nova informação interage com o conceito subsunçor existente na estrutura cognitiva de quem aprende.

Conforme Moreira e Mansini (1982), para que ocorra a aprendizagem significativa é necessário que o material seja adequado para o indivíduo que aprende, ou seja, o material precisa ter significado lógico e psicológico para aquele que aprende. Isso torna o material potencialmente significativo para aquele indivíduo.

Outra condição para que ocorra aprendizagem significativa é que o aluno queira aprender significativamente, isto é, que apresente disposição para associar de maneira substantiva e não arbitrária o novo conhecimento à sua estrutura cognitiva.

Em oposição à aprendizagem significativa, Ausubel (2003) define aprendizagem por memorização (mecânica) como aquela em que as novas informações são adquiridas, porém não interagem com os subsunçores já presentes na estrutura cognitiva. Dessa forma, a nova informação é armazenada de forma

arbitrária e literal, não modificando os conceitos já existentes. Nesse caso essa aprendizagem visa poupar tempo e esforço, entretanto, tem utilidade limitada (e. g. saber um número telefônico).

Aprendizagem mecânica, então, proporciona pouco ou quase nenhum tipo de associação com a estrutura cognitiva; logo, não proporciona aprendizagem significativa, ocorrendo apenas a memorização de alguns conceitos sem interação com os já existentes. Isso é o que acontece com frequência nas aulas de Física, na medida em que muitos estudantes se preocupam apenas em memorizar e aplicar as fórmulas mecanicamente.

1.2.2 Ensino sob Medida

O Ensino sob Medida (EsM) foi desenvolvido na década de 90 do século passado por professores do Estados Unidos da América e tem sido aplicado com grande sucesso em diversas partes do mundo. Segundo Vieira (2014, p.23), Novak e Gavrin propuseram o método que denominaram de *Just-in-Time Teaching*, com duas finalidades básicas que são: o estudante se torna protagonista do processo de aprendizagem sendo corresponsável, bem como auxilia o professor a investigar os conhecimentos (ou dificuldades) prévias do aluno.

Araujo e Mazur (2013, p. 371) dizem que o professor deve mobilizar os estudantes para que eles leiam os materiais de apoio (e.g. algum capítulo de livro-texto, artigos curtos na internet) com os conteúdos que serão trabalhados nas aulas seguintes. Após essa leitura os alunos devem responder, eletronicamente (e.g. via e-mail ou postagens em portais de compartilhamento de materiais) questões conceituais sobre os tópicos lidos bem como questões que abordam a dificuldade da leitura. Essas respostas devem chegar ao professor em tempo hábil para que consiga preparar as estratégias que utilizará na aula a partir das respostas fornecidas. Para que seja efetivo o material de apoio deve ser potencialmente significativo para os estudantes.

Na sistemática desenvolvida por Mazur, após essas leituras, os alunos respondem a duas ou três questões e a partir das respostas o professor terá contato com os conhecimentos prévios dos estudantes, incluindo as curiosidades manifestas acerca do conteúdo, e procurando levá-los em conta no planejamento das próximas aulas.

Na aula posterior à tarefa de leitura o professor discute as respostas apresentadas pelos alunos naquela tarefa, projetando respostas de alguns alunos para iniciar essa discussão, mantendo, é claro, o anonimato do aluno. Segundo resultados de Formica, Easley e Spraker (2010 *apud* ARAUJO; MAZUR, 2013, p. 372) é comum que os estudantes que tiveram suas respostas selecionadas sintam-se motivados a participar mais intensamente das discussões. A partir das respostas dos alunos, o professor planeja a aula enfatizando os conceitos que apresentaram maior dificuldade de compreensão por parte dos alunos.

Conforme Araujo e Mazur (2013, p. 364-365) esse método foca a atenção do professor nas dúvidas dos próprios estudantes em relação ao material lido. Sendo mapeadas anteriormente à aula e utilizadas para elaboração de estratégias de ensino que sejam eficazes para aquelas dúvidas. Sendo assim uma aula sob medida para aquele estudante ou para aquela turma específica.

Isso facilita o processo de ensino-aprendizagem, pois, além de tornar o aluno protagonista, a aula se torna mais produtiva na medida em que o contato inicial com a matéria de estudo ocorre antes da aula. As respostas dos estudantes à tarefa de leitura foram avaliadas levando em conta o esforço do estudante em responder e não por estar conceitualmente certa ou errada a resposta. Para incentivar a leitura atenta do material a avaliação foi feita não só pelo esforço, mas também, pela qualidade da resposta dos estudantes e no cumprimento dos prazos estabelecidos, ou seja, se o estudante respondesse a tarefa de leitura com respostas curtas como “não sei”, por exemplo, não teria a nota máxima.

Como mencionado acima, iniciando a aula a partir de algumas respostas dos alunos acerca da leitura realizada, o estudante se sente valorizado (ARAUJO; MAZUR, 2013) e poderá perceber que não respondeu aquele teste apenas por responder. Dessa forma, serão motivados a participar das próximas tarefas de leituras, aulas planejadas e debates. No decorrer dos debates o professor pode fazer pequenas exposições orais, demonstrações de experimentos, simulações computacionais e situações que contradizem as concepções alternativas.

2 METODOLOGIA

Determinar o que os alunos já sabem não é tão complicado, apesar de requerer algum tempo do professor e instrumentos e/ou metodologias adequadas. Nesse trabalho, utilizou-se uma metodologia proporciona ao professor uma ideia do que os alunos já sabem antes de iniciar a aula.

Dessa forma, o método ativo de ensino foi utilizado com o objetivo de além de determinar o que o estudante já sabe, proporcionar o engajamento cognitivo dos estudantes, ou seja, para despertar a disposição do estudante em associar o conteúdo com sua estrutura cognitiva.

O engajamento do estudante no processo de ensino-aprendizagem é essencial. Para isso a escolha de um método que o coloque no centro desse processo é de crucial importância, pois o estudante não aprende passivamente, ele aprende agindo e participando ativamente.

Para despertar esse engajamento, foi selecionado o método de ensino Ensino sob Medida para trabalhar Fundamentos de Astronomia e Astrofísica com alunos da primeira série do Ensino Médio do Colégio Fundação Bradesco da cidade de Gravataí – RS, que é um colégio particular assistencial no qual os alunos não pagam mensalidade e são escolhidos por rigorosos critérios socioeconômicos.

A Fundação Bradesco de Gravataí, do qual o autor deste trabalho faz parte e onde a proposta didática foi aplicada possuía aproximadamente 60 professores e 3210 alunos em 2016¹. Atualmente, a escola proporciona aos estudantes todo o ensino básico além de cursos complementares a formação como: atendimento ao público, recreação, princípios de administração, entre outros.

O ano escolar é dividido em quatro bimestres nos quais os estudantes são avaliados apenas por provas sendo nos bimestres ímpares (1º e 3º) são realizadas três provas e nos pares duas provas. Essa diferença ocorre em virtude de realizarem uma prova a mais como avaliação externa elaborada pela matriz da rede. Para obter aprovação o estudante deve ter média igual ou superior à 6,0 pontos e 75% de frequência global nas aulas.

A estrutura Física do colégio está de acordo com a utilização do método pois todas as salas de aula estão equipadas com computador e projetor. Além de

¹ Dados extraídos do Relatório de Atividades de 2016 da Fundação Bradesco. Disponível em: <https://goo.gl/M6eBvr>

disponibilizar aos alunos um laboratório de informática com acesso à internet que pode ser utilizado no contra turno para realização de trabalhos; recurso necessário para o desenvolvimento do método.

A população-alvo é constituída por uma turma de 40 alunos, dos quais 21 eram do feminino. A média de idade da turma é de 15,7 anos, tendo o estudante mais velho com 17 anos e o mais novo com 14 anos.

O EsM, amplamente utilizado no exterior, de acordo com Araujo e Mazur (2013, p. 365) ainda “têm sido pouco utilizado no Brasil e mostra-se desconhecido pela maioria dos professores com os quais entramos em contato através de palestras e cursos de formação”. As poucas experiências que são localizadas do seu uso no Brasil mostraram-se bem-sucedidas (ARAUJO; VEIT; MOREIRA, 2004; BARROS *et al.*, 2004; ARAUJO; VEIT, 2008; MÜLLER *et al.*, 2012; ARAUJO; MAZUR, 2013; VIEIRA, 2014).

No EsM os alunos são orientados a estudar parte dos conteúdos, antes da aula realizando as chamadas tarefas de leitura. Nessas tarefas, são requeridas a leitura de textos de algumas poucas páginas e respostas a duas ou três perguntas. As respostas dos alunos são encaminhadas eletronicamente ao professor para que planeje as próximas aulas de modo mais adequado para seus alunos, ou seja, é um ensino sob medida para aqueles alunos. Devido a isso, recebeu esse nome.

Dessa forma, elaborou-se as tarefas prévias com o intuito de mapear os subsunçores dos alunos e a discussão dessas respostas em aula como uma tentativa de aumentar a pré-disposição dos alunos em estudar Física. Após mapear esses subsunçores, selecionou-se as questões, os exemplos, os vídeos que resultaram na elaboração de um material potencialmente significativo.

O método de ensino foi empregado com o objetivo de propiciar um engajamento maior por parte dos estudantes no ensino de Física. O conteúdo abordado foi Astronomia e Astrofísica, com especial ênfase na Cosmologia (do *Big Bang* a Evolução Estelar), usando como referencial de aprendizagem a Teoria de Aprendizagem Significativa (TAS) de David Ausubel (1918–2008), psicólogo e pesquisador norte-americano.

Diversas pesquisas na área de Ensino de Astronomia demonstram que as escolas de educação básica e superior promovem um ensino formal dos conteúdos de Astronomia de forma reduzida ou nula (BRETONES, 2006; LANGHI; NARDI 2010a; LANGHI; NARDI 2010b; BRASIL, 2010). Existem poucos materiais didáticos

(LANGHI, 2011; BRASIL, 2010), ou materiais didáticos com erros conceituais (LANGHI; NARDI, 2007). Existe, também, a necessidade de pesquisas na abordagem metodológica do Ensino de Astronomia (LANGHI; NARDI, 2013). Além de ser uma área que desperta muito interesse dos estudantes (BERNARDES *et al.*, 2006; PUZZO; TREVISAN, 2006; OLIVEIRA *et al.* 2007).

Dente estas constatações, pode-se ressaltar que os conceitos que esse conteúdo permite abordar, além de serem indicados pelos documentos normativos de educação do país, são conceitos que individualmente despertam o interesse dos estudantes seja pela beleza ou pela complexidade. Logo para aumentar esse interesse, o desenvolvimento de uma proposta de ensino tal como fora feito possibilitou que os estudantes se engajassem no processo de ensino-aprendizagem.

2.1 ESTRUTURAÇÃO DAS AULAS

Para desenvolver o conteúdo de Astrofísica e aplicar o método EsM descrito no item 1.2 foram reservadas cinco aulas com duração de 50 minutos cada, durante os quais buscou-se fomentar forte engajamento por parte dos alunos.

O Quadro 1 apresenta o planejamento de todas as aulas informando os conteúdos, objetivos de aprendizagem e as estratégias utilizadas em cada encontro.

2.2 MATERIAL ELABORADO

Nessa seção serão apresentados os materiais elaborados para a aplicação dos métodos tais como: texto de apoio, tarefas de leitura, questões conceituais e questionário de opiniões.

2.2.1 Textos de apoio, Tarefa de Leitura (TL) e Questões conceituais.

Os textos de apoio (Apêndice A) e as Tarefas de Leitura (Apêndice B) foram elaborados a partir do livro didático dos estudantes bem como a utilização dos sites de apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e da Universidade

de São Paulo (USP). Selecionou-se algumas questões do site² dos Professores Kepler Oliveira de Souza Filho e Maria de Fátima e outras foram criadas (Apêndice D). Esse texto elaborado está de acordo com a descrição feita do método e com a TAS ambas descritas no item 1.2.

2.2.2 Questionário de opiniões

Para avaliar a receptividade dos alunos quanto às metodologias foi realizado um questionário de opiniões adaptado da dissertação de Mestrado do Vagner Oliveira que utilizou o mesmo método acrescido de outros para ensinar tópicos de eletromagnetismo que está disponível no Anexo A. Vagner Oliveira, atualmente, é professor de física na carreira de magistério da rede federal exercendo suas funções no Instituto Federal Sul-Rio-Grandense de Pelotas e cursou o Mestrado em Ensino de Física da UFRGS.

O questionário é constituído com 8 perguntas cujo objetivo é identificar aspectos a melhorar na unidade didática, sendo este aplicado aos estudantes utilizando como ferramenta os formulários do *Google* cerca de um semestre após a aplicação da sequência didática para verificar se a utilização das metodologias impactou os estudantes de forma significativa.

² Site: <http://astro.if.ufrgs.br/exercicios/exercicios.htm>

Quadro 1 – Planejamento do módulo didático

Aula	Conteúdos	Objetivos de aprendizagem	Estratégias
1ª Aula 17/11/2017 Apresentação aos alunos do método utilizado.			Apresentação sobre o método EsM para proporcionar o maior engajamento por parte dos estudantes. Disponibilização do questionário da tarefa de leitura 1 na internet.
2ª Aula 20/11/2017	Estrela Formação do Sistema Solar.	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar o que é uma estrela. • Explicar os elementos básicos da teoria do <i>Big Bang</i>. • Identificar a fusão nuclear como o processo básico de geração de energia nas estrelas. 	Minixposições orais. Discussões e debates dos conceitos estudados.
3ª Aula 21/11/2017		<ul style="list-style-type: none"> • Idem à aula anterior. 	Exposição do episódio “A Vida e a Morte de uma Estrela” da série “O Universo” do canal <i>History</i> . <i>Link</i> do vídeo exibido: https://vimeo.com/181712659
4ª Aula 22/11/2017	Nascimento, vida e morte das estrelas.	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar os processos de nascimento, vida e morte das estrelas. • Relacionar a massa de uma estrela à duração de sua vida. 	Breve exposição oral sobre os conceitos abordados no filme assistido na aula anterior e debate do mesmo. Após foi avisado aos estudantes que a Tarefa de Leitura 2 estava disponível para ser realizada.
5ª Aula 27/11/2017	Evolução estelar Nucleossíntese Origem e expansão do universo	<ul style="list-style-type: none"> • Relacionar a massa de uma estrela à duração de sua vida. • Compreender os processos de formação dos elementos químicos nas estrelas. • Interpretar um diagrama H-R, reconhecendo nele os diferentes estágios da evolução estelar. • Explicar o conceito de expansão do universo e as evidências experimentais que o suportam. 	Minixposições orais. Discussões e debates dos conceitos na Tarefa de Leitura 2.

Fonte: próprio autor.

3 FUNDAMENTOS DE ASTRONOMIA E ASTROFÍSICA

A Astronomia é a ciência que estuda a origem, o movimento, a composição dos astros que constituem o espaço e como esse irá evoluir, ou seja, é o estudo dos astros (NOGUEIRA.2009). Pode ser dividida em duas grandes áreas: a Astronomia relacionada à dinâmica celeste que procura conhecer a posição, o movimento e as leis que esses astros descrevem e a Astrofísica, que é uma área da Astronomia que aplica conceitos físicos para explicar, por exemplo, a fonte de energia de uma estrela – fusão nuclear ou até mesmo é a utilização do efeito Doppler para explicar o desvio da radiação de fundo do universo para o vermelho – *red shift*.

Como descrito no capítulo anterior, uma diversidade de conceitos da Astronomia pode ser abordada em sala de aula e dentre esses será feito um Breve Histórico sobre Astronomia e logo após um aporte teórico dos conceitos relacionados à Astrofísica que foram abordados com os estudantes que são:

- a) Big Bang;
- b) Estrelas;
- c) A Origem do Sistema Solar;
- d) Fusão Nuclear;
- e) Diagrama Hertzsprung-Russell (HR);
- f) Evolução estelar.

3.1 BREVE HISTÓRICO

Olhar para o céu é um exercício que a muito tempo desperta curiosidade na mente humana na busca de uma compreensão maior da natureza e em virtude disso a Astronomia pode ser considerada como a mãe das ciências. As especulações em relação ao universo existem desde os tempos pré-históricos sendo os registros astronômicos mais antigos cerca de 3000 a.C. e se devem aos chineses, babilônios, assírios e egípcios. (KEPLER; SARAIVA, 2017).

Diversas culturas utilizaram as observações astronômicas para diversas finalidades, desde a elaboração de um calendário até para navegações. Dessa forma, a Astronomia durante muito tempo foi utilizada para marcação do tempo com interpretações filosóficas muitas vezes divinizadas, tais como o modelo geocêntrico, a ordem dos planetas como decisão divina, o eclipse solar como sinal de mau presságio (HORVARTH, 2008).

Dentre os cientistas/filósofos da área de Astronomia, destacam-se Aristóteles e Ptolomeu devido ao fato de suas teorias serem complementares. Enquanto que com a Física de Aristóteles era possível explicar o movimento dos corpos (ou elementos) aqui na Terra a cosmologia ptolomaica explicava o modelo geocêntrico. Para época, ambas as teorias satisfaziam o critério científico. A fim de explicar o movimento retrógrado dos planetas, Ptolomeu insere na órbita dos planetas - esfera deferente - pequenas esferas denominadas epiciclos. Posto isso, o planeta orbita uma circunferência menor e essa circunferência menor orbita a circunferência maior de acordo com Horvath (2008, p.42) o sistema criado por Ptolomeu para explicar o movimento retrógrado dos planetas foi se tornando complexo demais. Então, novas observações eram feitas e essa cosmologia conseguia tratar das explicações. Além disso, a adoção pela Igreja Católica a essas filosofias dificultava que alguém as contestasse, tendo, inclusive, o risco de ser acusados de heresia.

Conseqüentemente, com o passar dos anos, essas ideias foram questionadas, primeiramente por Nicolau Copérnico ao propor um sistema heliocêntrico que não foram aceitas em virtude de não conseguir responder alguns questionamentos como: “Se a Terra não está no centro do universo e está orbitando o Sol, por que não sentimos esse movimento?”. Tal pergunta fazia sentido para a Física daquela época - Física aristotélica. Segundo Kepler e Saraiva (2017, p.56) Nicolau Copérnico (1473-1543) representou o renascimento para Astronomia ao registrar suas ideias em um livro – *De Revolutionibus*– no qual propõe a hipótese heliocêntrica proposta inicialmente por Aristarco de Samos (310 – 230 a.C.) – não aceita.

A ideia de Copérnico também não foi aceita em virtude de sua teoria ter sido baseada na simplicidade para explicar os fenômenos em comparação às ideias de Ptolomeu. Para Horvath (2008, p.43) a teoria de Copérnico se mostrava superior à teoria geocêntrica apenas na sua simplicidade. Dessa forma, os movimentos retrógrados dos planetas seriam explicados pelos movimentos aparentes das diferentes órbitas dos planetas em torno do Sol.

Com a publicação das suas ideias em seu livro, Copérnico inicia a Astronomia Moderna. Segundo Horvath (2008, p. 43) até então, a Astronomia antiga era baseada em três postulados: a) a Terra é o centro do Universo; b) os movimentos dos planetas correspondem a uma circunferência; c) os planetas são feitos de uma substância

diferente das coisas aqui da Terra, chamada de quintessência, que tem propriedades ideais.

Um astrônomo chamado Tycho Brahe fez as observações mais importantes para o desenvolvimento da Nova Astronomia reunindo dados muito precisos acerca da posição dos planetas. De acordo com Mason (1962 p.105), Tycho construiu um castelo, oficinas, um prelo e um observatório, onde trabalhou com seus numerosos assistentes, de 1576 a 1596, reunindo grande quantidade de observações precisas.

Juntou-se à Tycho um astrônomo alemão chamado Johannes Kepler, que inicialmente fora matemático como quase todos os astrônomos da época. Com a morte de Tycho em 1601, foi legado à Kepler seu conjunto de observações (MASON, 1962 p.105).

Com esses dados em mão Kepler, tentou formular uma teoria complementar à de Copérnico que manteve a órbita dos planetas como circunferências, entretanto, devido à precisão dos mesmos foi obrigado a optar por órbitas elípticas, ou seja, os planetas ao orbitarem o Sol poderiam ter sua distância variada (*e. g.* afélio e periélio). Conforme Horvath (2008, p.44) Kepler procurou outras regularidades para o movimento planetário, e após muito tempo elaborou três leis que levaram seu nome e podem ser enunciadas da seguinte maneira:

- a) Lei I – Os planetas seguem órbitas elípticas em torno do Sol, ocupando este um dos focos da elipse;
- b) Lei II – O Vetor que tem origem no Sol e indica a posição do planeta varre áreas iguais em tempos iguais;
- c) Lei III – Os quadrados dos períodos das órbitas são proporcionais aos cubos dos semieixos das órbitas. (HORVATH, 2008).

Com a publicação dessas três leis para os movimentos planetários Kepler, impulsionou a Revolução Científica iniciada por Copérnico. Nessa época, a ciência que estava atrelada a teologia começava a ser um conhecimento comprovado que consegue relacionar quantitativamente as grandezas para descrição do Universo. Não obstante, Galileu Galilei foi contemporâneo a esses acontecimentos e, também, impulsionou essa revolução ao realizar estudos sobre o movimento e observações astronômicas – empregou o uso do telescópio para observação científica dos astros.

Kepler e Saraiva (2017, p.585) afirmaram que Galileu possibilitou a observação ampliada dos astros ao ouvir falar de um instrumento feito pelo holandês Hans Lippershey para observar a distância. Sem ter contato com esse aparelho Galileu elaborou sua primeira luneta cujo aumento era de 3 vezes. Com o passar do tempo, conseguiu aperfeiçoar a luneta chegando a um aumento de 30 vezes no qual conseguiu fazer observações da Lua e percebendo que a mesma tem montanhas. Ao observar o planeta Júpiter percebeu que outros corpos orbitavam esse planeta. Publicou essas observações no livro *Siderius Nuncius* – Mensagem Celeste em 12 de março de 1610. Provando, assim, que existiam corpos celestes que orbitavam outro corpo que não a Terra.

Dessa forma, a Física aristotélica e ptolomaica começa a ser questionada e inicia-se a busca por uma nova Física. Com a publicação do livro “Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano” Galileu chama atenção da igreja em virtude desse livro apresentar três personagens distintos: Salviati representando as ideias de Galileu, Sagredo representando a comunidade neutra na discussão e Simplicio representando um defensor do modelo geocêntrico.

Conforme Kepler e Saraiva (2017, p.587), Galileu defende o movimento diário e anual da Terra e demonstra como o heliocentrismo de Copérnico explica os fenômenos celestes recém descobertos – como as fases da Lua e os fenômenos que há tempos já haviam sido questionados – como o movimento retrógrado dos planetas. Com esse livro Galileu questiona as ideias geocêntricas com argumentos científicos abrindo caminho para uma nova compreensão científica. Ainda assim, faltavam algumas explicações. Segundo Horvath (2008, p.45-46) o trabalho realizado por Copérnico, Tycho, Kepler e outros astrônomos possibilitou um estado peculiar para o entendimento da Astronomia em geral.

Entretanto, ainda não se sabia o porquê o Sol conseguia “segurar” todos os planetas em órbitas bem como a Terra conseguia “segurar” os objetos e muito menos que havia uma relação entre esses dois fatos. Nesse momento a comunidade científica estava à espera dessas respostas. Sabia-se que a Física aristotélica e ptolomaica já não era mais capaz de explicar esses fenômenos, então surge Sir Isaac Newton que, ao publicar o livro *Principia: Princípios Matemáticos de Filosofia Natural* no qual postulou as três leis para o movimento dos corpos, explicou com proposições lógicas. (KEPLER; SARAIVA, 2017) Atualmente, essas leis são conhecidas como:

- a) Lei I – Todo objeto permanece em seu estado de repouso ou de rapidez uniforme em uma linha reta a menos que uma força resultante não nula seja exercida sobre ele;
- b) Lei II – A aceleração de um objeto é diretamente proporcional à força resultante atuando sobre ele; tem o mesmo sentido que essa força e é inversamente proporcional à massa do objeto;
- c) Lei III – Para cada ação existe sempre uma reação de mesmo módulo e de orientação oposta (HEWITT, 2015).

Com essas leis do movimento a Física aristotélica deixa de ser utilizada no meio científico para explicar o movimento, pois agora todo movimento é explicado pelas mesmas leis, não havendo mais diferentes formas de movimento – o movimento natural, forçado e perfeito.

Ainda assim, faltava a complementação dessas leis que surge no momento em que Isaac Newton formula a Lei da Gravitação Universal, na qual afirma que a força que mantém a Lua em órbita ao redor Terra é a mesma força que mantém a Terra em órbita ao redor do Sol e também é a mesma força que mantém os corpos (pedras, pessoas, etc.) presos na Terra, ou seja, é uma força Universal.

Atualmente, essa lei é compreendida como: todo corpo no universo atrai qualquer outro corpo com uma força que, para os dois corpos, é diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que os separa e é calculada conforme a Equação 1:

$$F = \frac{G m_1 m_2}{d^2} \quad (1)$$

Portanto, percebe-se que agora a Física se torna independente de crenças, tendo teorias que são comprovadas por experimentos, mensurações. O planeta Terra não é mais o centro do Universo por decisão divina e sim o Sol é o centro do Sistema Solar pelo fato de ter 99,85% da massa de todo o sistema então obrigatoriamente os planetas estão o orbitando.

Caso a Lei da Gravitação Universal seja usada em conjunto com a Segunda Lei de Newton serão extraídas as Leis de Kepler para o movimento dos planetas. Isso demonstra que ambas as leis estão em consonância bem como conseguem descrever com precisão o movimento dos astros. Segundo Ronan (1983, p.99) o *Principia* fora considerado o maior livro científico de todos os tempos devido ao seu impacto na Ciência. Ao publicá-los completa o trabalho iniciado por Galileu e os outros cientistas do final da Idade Média reescrevendo assim toda a ciência do movimento dos corpos com precisão inigualável.

Devido a esse fato, ressalta-se a importância de Newton no desenvolvimento da Física. Suas leis deram um fim a discussão afirmando que o Sol era o centro do sistema e, o mais importante, tornando a ciência uma área independente da teologia.

3.2 BIG BANG

O *Big Bang* é a teoria científica aceita que explica a origem do universo a qual possui diversas evidências para sua comprovação, tais como, a quantidade de elementos leves serem preponderantes no universo (Hidrogênio e Hélio); a radiação de microondas de fundo apresentar um desvio para o vermelho (*red shift*). (PEEBLES *et al.*, 1991; PEEBLES *et al.*, 1994).

O desvio da radiação de fundo para o vermelho significa que o universo está se expandindo e o efeito Doppler explica esse desvio. No caso, desviar para o vermelho significa, no espectro eletromagnético, desviar para comprimentos de onda maiores e conseqüentemente frequências menores. O mesmo fenômeno é percebido no som de uma ambulância que está emitindo som e se afastando do observador, as ondas sonoras são percebidas por esse observador como sons mais graves (de menor frequência).

Dado que o universo está se expandindo, deve ter um momento no passado que estava todo concentrado em um único ponto para “iniciar” a expansão que seria infinitesimalmente pequeno e infinitamente denso – altas temperaturas. Esse momento é denominado *Big Bang*, uma grande explosão que resultou em todos os átomos que existem hoje.

Stephen Hawking (2015) afirma que o que havia antes do *Big Bang* é uma pergunta que não tem como ser respondida. Devido ao fato desse evento ser uma

singularidade os momentos anteriores não exercem qualquer efeito e, portanto, não devem ser considerados e deve-se afirmar que o tempo teve início no *Big Bang*.

Momentos após a singularidade inicia a Era de Planck e durou até 10^{-43} segundos. Tem esse nome devido ao fato do universo estar nas dimensões que se comparam ao comprimento de Planck (10^{-33} cm) que teoricamente é aceito como a quantização do espaço-tempo, portanto os fenômenos descritos pela Teoria da Relatividade Geral de Einstein e pela mecânica quântica eram indistinguíveis. Nessa época a temperatura média do universo era 10^{32} Kelvin e na medida que o Universo expandia sua temperatura diminuía.

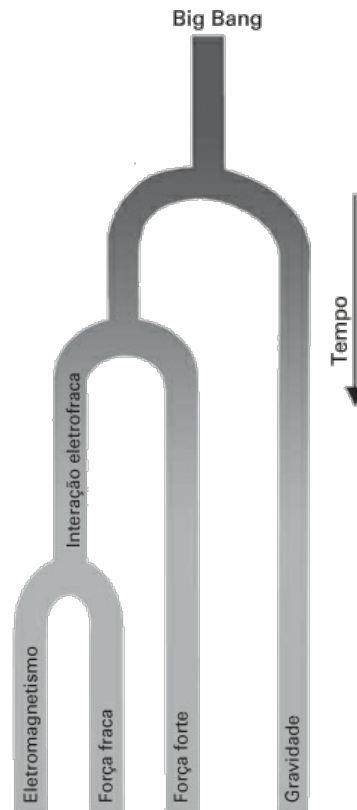
Entre 10^{-43} segundos e 10^{-35} segundos ocorreu a Era da GUT (Teoria da Grande Unificação – em inglês – *Grand Union Theory*) o momento em que as quatro forças estavam unificadas (Gravitacional, Eletromagnética, Nuclear Fraca e Nuclear Forte) na qual o equilíbrio entre matéria/antimatéria pende em favor da matéria. Dessa forma os fótons altamente energéticos eram convertidos em partículas de matéria e antimatéria que se aniquilavam logo na sequência liberando a energia novamente na forma de fótons.

Havia formação de matéria e antimatéria quase na mesma proporção para cada 1 bilhão de partículas de antimatéria, surgiam 1 bilhão acrescida de 1 partícula de matéria. Uma assimetria pequena entretanto crucial para evolução do universo.

Nessa era, cuja temperatura média no universo era 10^{27} K, ocorreu a inflação cósmica que devido ao excesso de energia cria um espaço grande em pequeno intervalo de tempo e no final da mesma a gravidade se retorceu e conseguiu se soltar das outras forças.

A Figura 4 ilustra o passar do tempo com a separação das forças. Percebe-se que, primeiramente houve uma quebra na simetria e a força Gravitacional se separou (aproximadamente em 10^{-35} segundos). Após, a Eletrofraca (entre 10^{-35} e 10^{-10} segundos) separou-se da Nuclear Forte e, por fim, a Eletrofraca separa-se em Eletromagnética e Nuclear Fraca (após 10^{-10} segundos).

Figura 4 – As quatro forças fundamentais se separam por causa de quebra de simetrias no universo primordial



Fonte: Baker, 2015.

Após a Era da GUT, ocorreu a Era eletrofraca, entre os intervalos de tempo de 10^{-35} segundos e 10^{-10} segundos, dominada por quarks e antiquarks e a interação entre matéria e energia continuava incessante. A próxima era foi denominada hadrônica-leptônica na qual quarks confinados formam os prótons, nêutrons, mésons e bárions e durou entre 10^{-10} segundos e 1 segundo com uma temperatura média de 10^9 Kelvin.

Após, ocorre a nucleossíntese primordial, estágio no qual a temperatura média do universo era de 100 milhões de Kelvin, que é a formação dos núcleos – principalmente de Hidrogênio (H) – 90% – e Hélio (He) – 10% – com a ligação dos prótons e dos nêutrons. Aos 3 minutos após o *Big Bang* a matéria e a radiação se juntam para formar os primeiros núcleos estáveis – os elétrons se ligam aos núcleos para formar os átomos. Por fim, núcleos de H e He, especialmente, colapsam e formam galáxias, estrelas, e todos os átomos existentes na tabela periódica. Além disso, há também a existência de matéria escura, e nesse momento que não é possível observar, apenas é sabido da sua existência devido ao fato do universo estar expandindo de forma acelerada. Portanto existe alguma forma de matéria, a matéria

escura, que repele matéria (HAWKING, 2015; TYSON; GOLDSMITH, 2017; SPARROW, 2018).

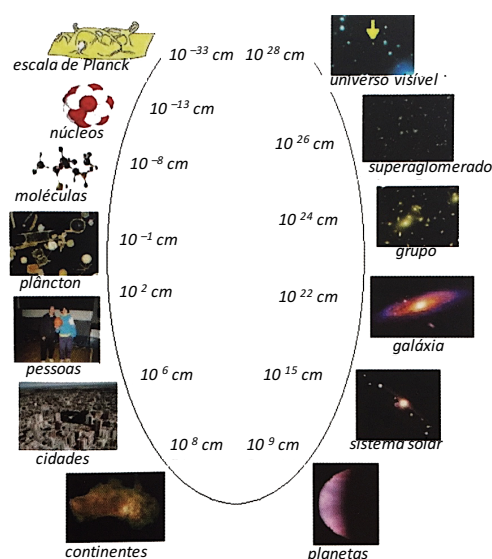
Após esses acontecimentos acontece a formação de elementos químicos mais pesados (nucleossíntese estelar) que ocorrerá dentro das estrelas cujas massas são maiores que a do Sol e por se tratar de uma estrela, será explicado no item 3.3 e 3.7. Com a formação das estrelas ocorre a formação de galáxias, sistemas solares (planetários). Átomos se ligam para formar moléculas complexas.

A Figura 5 apresenta a escala de comprimento em centímetros no Universo que difere na supracitada escala temporal (t) num fator que representa a velocidade da luz ($c = 3.10^{10} \text{ cm/s}$) pois calcula-se a distância (d) percorrida pela luz desde o *Big Bang* da seguinte maneira:

$$d = c \cdot t \quad (2)$$

Ou seja, para o primeiro intervalo de tempo – escala de Planck – tem-se 10^{-43} segundos decorridos vezes a velocidade da luz – obtendo o comprimento aproximado de 10^{-33} centímetros. Portanto, utilizando a Equação 2 pode-se fazer um comparativo da evolução do tamanho do Universo com o tamanho de objetos que hoje fazem parte do cotidiano da humanidade.

Figura 5 – Os objetos de nosso Universo, desde os menores imagináveis até o limite do quasar mais distante observado.



Fonte: Horvath (2008, p.213).

3.3 ESTRELAS

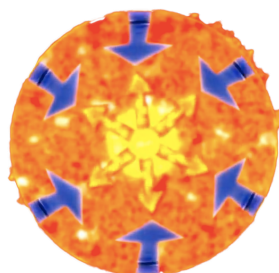
As estrelas são objeto de fascínio pela beleza que criam nos céus noturnos. Diversas culturas já olharam para os céus e deram nomes para constelações de acordo com a forma obtida com o agrupamento aparente de estrelas no céu. Exemplos como as constelações do zodíaco ou como as constelações dos índios Tupi-Guarani. Atualmente existem 88 constelações oficiais adotadas pela União Astronômica Internacional desde 1929. (KEPLER; SARAIVA, 2017)

A estrela que está mais próxima de nós se encontra a 150 milhões de quilômetros, o Sol, que nesse momento está fazendo a fusão nuclear do hidrogênio tornando hélio. Esses astros são definidos como esferas autogravitantes de gás ionizado, cuja fonte de energia é a transmutação de elementos através de reações nucleares, ou seja, da fusão nuclear de hidrogênio em hélio e posteriormente, de elementos mais pesados.

Portanto, a energia que as estrelas emitem resulta da fusão nuclear, que será abordada no item 3.5, de elementos químicos oriundos da atuação da gravidade. A força gravitacional é tão intensa nesses astros que faz com que dois núcleos atômicos colidam resultando na fusão nuclear dos mesmos. A cor que a estrela emite está relacionada com sua temperatura que, por sua vez, está relacionada com a massa da mesma.

Pode-se entender que a força gravitacional exerce uma compressão entre os núcleos, enquanto a reação nuclear uma pressão contrabalanceando essa compressão e essa “briga” entre pressões, representada graficamente na Figura 6, existe enquanto a estrela tiver combustível nuclear. As estrelas podem ter diversos destinos diferentes, dependendo apenas da sua massa, dessa forma o item 3.7 está destinado a explicar as possíveis evoluções das estrelas (HORVATH, 2008).

Figura 6 – “Briga” entre a auto gravidade da estrela e sua pressão interna.



3.4 O Sistema Solar e sua Origem

O Sistema Solar é constituído pelo Sol, por mais 8 planetas – Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno – pelos planetas anões (e.g. Plutão), por asteroides e cometas que orbitam o Sol em virtude de se tratar do astro com maior massa do sistema. Abaixo a Tabela 2 demonstra como a massa está distribuída no Sistema Solar.

Todos os planetas executam o movimento de translação no mesmo sentido e aproximadamente no mesmo plano. Além disso quase todos os planetas giram em torno do próprio eixo no mesmo sentido da translação em torno do Sol – exceção de Vênus.

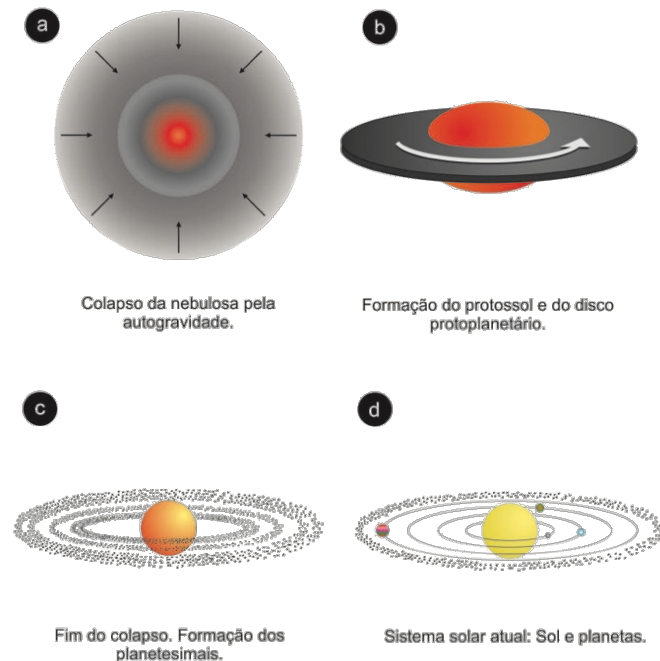
A origem do Sistema Solar durante muito tempo foi debatida, e Immanuel Kant propõe, pela primeira vez, a hipótese nebular posteriormente desenvolvida pelo matemático Laplace em seu livro *Exposition du Systéme du Monde*. Essa hipótese consiste no fato de como todos os planetas orbitam o Sol e seu próprio eixo (exceto Vênus) na mesma direção então existe uma grande probabilidade dos planetas terem sido originados da mesma nuvem rotante de gás interestelar, a nebulosa solar, que veio a colapsar originando o Sol e os planetas. A Figura 7 ilustra as etapas desse processo.

Tabela 2 – Massa no Sistema Solar.

Componente	Massa
Sol	99,85%
Júpiter	0,10%
Demais planetas	0,04%
Cometas	0,01% (?)
Satélites e anéis	0,000 05%
Asteroides	0,000 000 2%
Meteoritos e poeira	0,000 000 1% (?)

Fonte: adaptado de Kepler e Saraiva (2017, p. 108)

Figura 7 – Etapas do processo de formação do Sistema Solar de acordo com o modelo da nebulosa solar.



Fonte: adaptado de Kepler e Saraiva (2017, p. 110)

Percebe-se na parte (a) da Figura 7, que a poeira interestelar é atraída pelo núcleo incandescente da nebulosa que está colapsando e que rotaciona ao redor do próprio eixo. Portanto, essa poeira interestelar concentra-se no equador do protossol semelhante a uma bola molhada expele a água pelo centro ao executar um movimento de rotação (b), originando o disco protoplanetário. Após o final do colapso há espalhamento de matéria na direção do disco (c) ocorrendo a formação de planetesimais. Com a atuação da gravidade vão se agregando materiais na ordem de quilômetros de diâmetros na qual a composição dependia da distância do Sol. A composição interna dos planetas e o Sol do sistema solar atual (d).

3.5 FUSÃO NUCLEAR

A fusão nuclear é um processo no qual os núcleos de dois átomos leves se combinam formando um núcleo resultante com menor massa que a dos dois núcleos individuais anteriores a fusão. Inicialmente, os núcleos são repelidos pela força Coulombiana e a fusão ocorre quando os núcleos adquirem energia suficiente para superar a barreira ou para tunelar a barreira. Portanto, a força nuclear forte, que é de curtíssimo alcance, irá superar essa repulsão fazendo os núcleos se unir. Caso a

energia seja originalmente térmica esse processo é denominado fusão termonuclear (CHUNG, 2001).

No Sol, aproximadamente 657 milhões de toneladas de hidrogênio sofrem fusão, transformando-se em 653 milhões de toneladas de hélio por segundo. A diferença de quatro milhões de toneladas de massa foi emitida na forma de energia radiante que pode ser calculada através da Equação 3 (EINSTEIN, 1907):

$$M - \sum m = \frac{E}{c^2} \quad (3)$$

Ou seja, a energia radiante emitida (E) é proporcional à diferença entre a massa do átomo que está se desintegrando (M) e a soma das massas de todos os produtos finais da desintegração radioativa ($\sum m$) ocorrida na reação nuclear e à velocidade da luz (c) ao quadrado. A velocidade da luz é um valor grande ($c = 3 \times 10^8 m/s$) e ainda deve ser elevado ao quadrado obtendo, assim, um valor ainda maior. Entende-se, então, que uma pequena diferença de massa pode resultar em uma quantidade elevada de energia.

Equação essa que é muito famosa na Física em virtude de ter sido proposta pelo físico Albert Einstein no seu artigo *Sobre o princípio da relatividade e suas implicações*³. Neste artigo o físico insere as ideias a aplicação da Teoria da Relatividade para um sistema referencial acelerado (campo gravitacional) que posteriormente foi complementada e denominada Teoria da Relatividade Geral - TRG.

A TRG de Einstein explica que a atração gravitacional surge a partir da curvatura do espaço-tempo, portanto a luz, ao passar próximo a um corpo massivo sofrerá um desvio na sua trajetória. Infelizmente devido ao baixo valor é difícil fazer um experimento que comprove isso utilizando a massa da Terra.

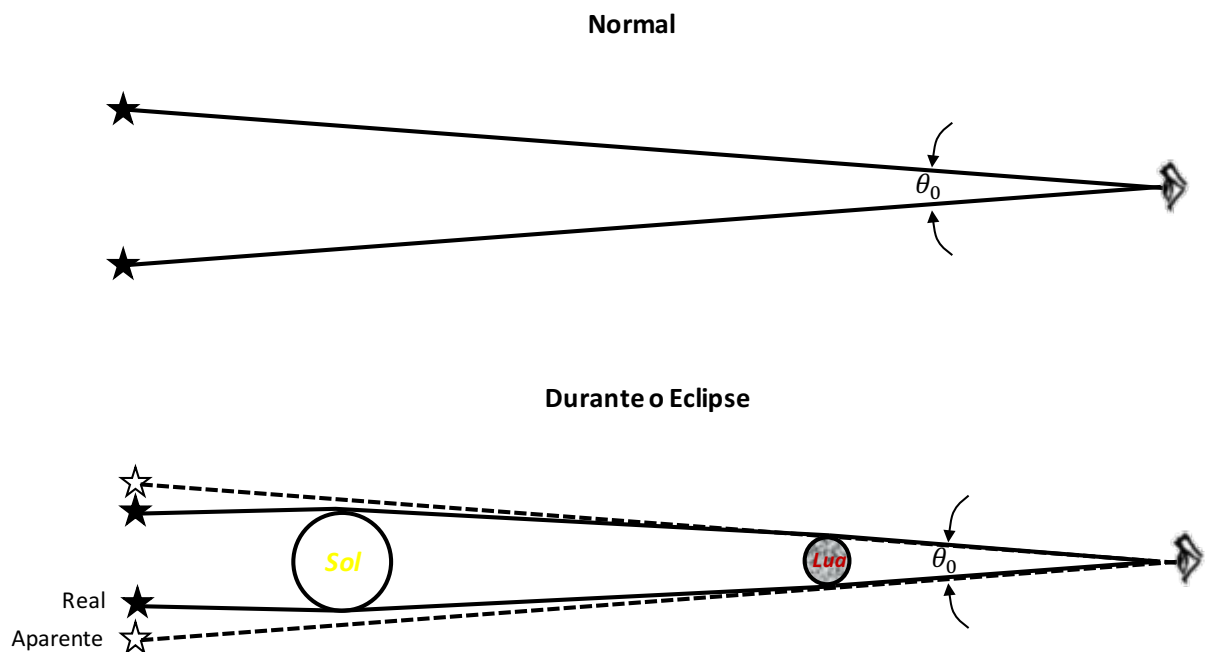
Para comprovar sua teoria pensou no seguinte experimento: fotografar um campo de estrelas e depois aguardar um eclipse solar total para fotografar novamente esse campo de estrelas. É esperado que as mais próximas a beirada do Sol sofram um desvio conforme ilustra a Figura 8 e por se tratar de um desvio na trajetória da luz foi denominado como lente gravitacional.

Esse fenômeno foi comprovado em 1919 a partir de uma expedição dupla – para Sobral no Ceará e para Ilha do Príncipe na África – na qual Sir Arthur Stanley

³ Tradução de Peter A. Schulz, Instituto de Física Gleb Watgahin, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil.

Eddington chefiou medindo a distância entre duas estrelas durante o curto intervalo de tempo que aparecem visíveis no eclipse (Durante o eclipse – Figura 8) e eclipse e comparando com a medição feita meses depois (Normal – Figura 8) chegando a conclusão que a distância, no momento do eclipse, estava menor devido ao desvio sofrido na trajetória. Demonstrando assim que a Gravidade feita pelo Sol é capaz de desviar a luz.

Figura 8 – Lente Gravitacional



Fonte: adaptado de Kepler e Saraiva (2017, p.504)

3.6 DIAGRAMA HERTZSPRUNG-RUSSELL

O nascimento da área atualmente conhecida como Astrofísica inicia no momento em que o pesquisador alemão Joseph Fraunhofer (1787–1826) decompõe em cores a luz branca do Sol ao passar por um prisma e percebe que há linhas escuras no mesmo. O nome dessa decomposição já havia sido batizado por Newton como espectro da luz.

Fraunhofer, então, percebe que entre as cores existem pequenas linhas escuras atravessando as bandas de cor. Fenômeno que William Wallaston (1766–1828) já havia percebido em 1802, entretanto Fraunhofer percebeu-as em maiores quantidades (KEPLER; SARAIVA, 2017; SPARROW, 2018).

Max Planck (1858–1947) propõe que a radiação é emitida ou absorvida pela matéria em pacotes de energia (E) que são proporcionais à frequência (ν) da radiação eletromagnética. Portanto:

$$E = h \cdot \nu \quad (4)$$

Na qual h é a constante de proporcionalidade que posteriormente foi denominada constante de Planck. Surgindo, assim, uma das áreas atuais da Física que é a quântica.

Ainda assim, não havia explicação para as linhas escuras nos espectros. Foi então que Niels Bohr (1885–1962) propõe um modelo atômico, fundamentado nas ideias da quantização da energia de Planck, que permitia apenas energias definidas para os elétrons – níveis de energia – cujos preenchimentos para diferentes átomos é a base das camadas eletrônicas.

Consequentemente, cada átomo terá uma determinada quantidade de camadas eletrônicas com configurações energéticas que darão identidade aos elementos químicos que será observada na absorção ou emissão de radiação. Nesse modelo, os elétrons, ao receberem exatamente a diferença de energia de um nível para o outro mudarão para a camada mais energética e ao retornarem reemitem a mesma quantidade de energia.

Esse fenômeno é a base da espectroscopia de absorção atômica pois permite saber exatamente quais elementos estão causando a absorção da radiação através das linhas escuras nos espectros sendo assim cada elemento químico terá uma “impressão digital”.

Robert Wilhelm Eberhard Bunsen (1811–1899) e Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887) já haviam descoberto e criado as leis para a espectroscopia de maneira empírica. Dessa forma, agora seria possível determinar, a partir da espectroscopia, quais elementos químicos constituem as estrelas a partir da luminosidade das estrelas.

O movimento das estrelas distantes poderia ser detectado através da utilização do Efeito Doppler aplicado aos espectros das estrelas. Nessas medições as linhas escuras nos espectros sofreriam desvios para o azul (caso estivessem vindo na nossa direção – aproximando) ou para o vermelho (caso estivessem indo na direção contrária – afastando) (KEPLER; SARAIVA, 2017; SPARROW, 2018).

Um catálogo com a magnitude, posição e tipo espectral das estrelas havia sido elaborado na Universidade de Harvard denominado Catálogo de Henry Draper, em homenagem ao médico norte-americano e astrônomo amador que realizou as primeiras fotografias dos espectros estelares e de nebulosas, após sua morte sua esposa doou dinheiro e equipamentos para o Observatório de Harvard (SPARROW, 2018).

Nesse catálogo, havia a descrição de mais de 225 mil estrelas cuja elaboração levou cerca de quatro décadas. Edward Pickering – diretor do observatório – foi o idealizador do projeto, entretanto o trabalho árduo foi feito por uma equipe de mulheres que são conhecidas na história como as “computadoras” de Harvard.

Pickering contratou sua antiga empregada – Williamina Fleming – após espantar-se com tamanha inteligência e educação apresentada por ela. Foi responsável pela compilação de mais de 10mil estrelas. Atribuiu às estrelas uma classificação quanto a intensidade das linhas de hidrogênio com letras de A a N (O, P e Q apenas para objetos cujo espectro eram incomuns) (SPARROW, 2018).

Entre as mulheres “computadoras” havia Antonia Caetana Maury – sobrinha de Henry Draper – que percebeu que havia uma variação entre as larguras das linhas espectrais das estrelas propondo um reordenamento na classificação do tipo espectral. Entretanto, não obteve sucesso na requisição feita e acabou saindo do projeto.

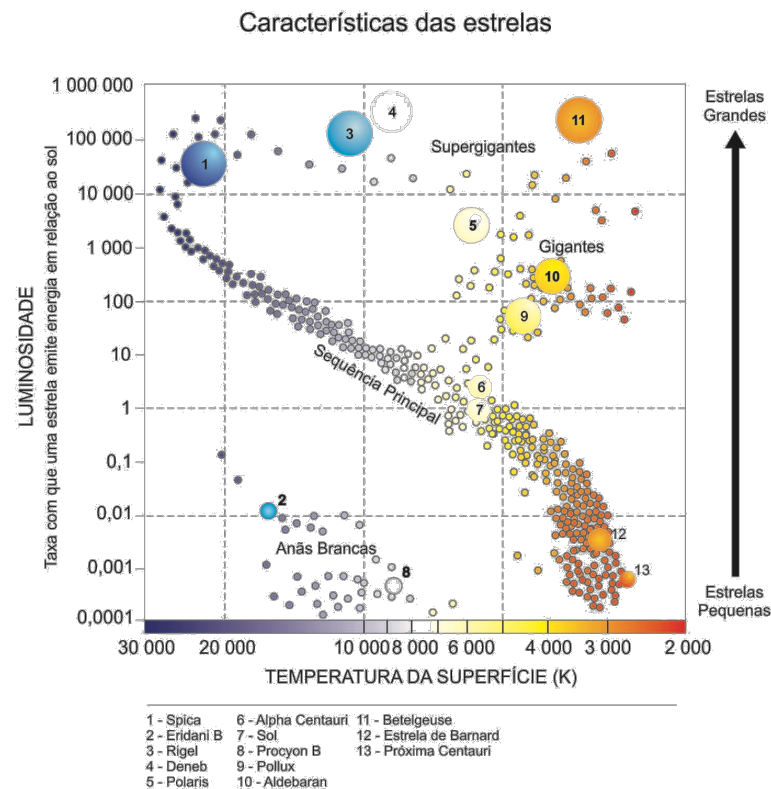
Annie Jump Cannon a substituiu e foi fortemente influenciada pela pesquisa na largura das linhas espectrais de Maury, elaborando um sistema próprio para explicar esse fenômeno. Deixou de fora diversas letras e as que ficaram foram reordenadas para refletir as cores espectrais do azul (estrela tipo O) para vermelho (estrela tipo M) resultando na sequência O, B, A, F, G, K e M (SPARROW, 2018).

Ejnar Hertzsprung (1873–1967) descobre que estrelas de mesma cor poderiam ser divididas em luminosas (Gigantes) e estrelas de baixa luminosidade (anãs). No ano de 1911 elaborou um mapa que comparava as características espectrais das estrelas que fazem parte do aglomerado das Plêiades com suas magnitudes aparentes, ou seja, uma relação entre a temperatura superficial e a classificação de Annie Jump Cannon.

Henry Norris Russel (1877–1957) desenvolve um mapa um pouco mais ambicioso que de Hertzsprung utilizando a mesma ideia, dessa forma comparou o tipo espectral com a magnitude absoluta estimada de cerca de 300 estrelas percebendo

que as estrelas ocupavam uma região preferencial do diagrama. Pode-se perceber, na Figura 9, que no diagrama **Hertzsprung-Russell (HR)** as estrelas ocupam, em um número elevado uma faixa na diagonal indo das estrelas frias e vermelhas (canto direito inferior – menor massa) para as estrelas quentes e azuis (canto esquerdo superior – maior massa). Essa região é denominada sequência principal no diagrama e as estrelas.

Figura 9 – Diagrama Hertzsprung-Russell – HR.



Fonte: adaptado de Kepler e Saraiva (2017, p. 194)

As estrelas passam a maior parte de sua vida na sequência principal, o Sol, por exemplo ficará na sequência principal cerca de 11 bilhões de anos, dos quais já se passaram cerca de 4,5 bilhões. Após, tornar-se-á uma Gigante Vermelha, fase que durará 1 bilhão de anos. Finalizando sua vida em uma nebulosa planetária e posteriormente em Anã Branca acabando totalmente seu combustível nuclear perderá o brilho e então será uma Anã Negra (KEPLER; SARAIVA, 2017). A evolução das estrelas, bem como o Sol, será explicada com maiores detalhes no item 3.7.

3.7 EVOLUÇÃO ESTELAR

Conforme supramencionado (item 3.3), o combustível das estrelas é obtido através de reações de fusão nuclear nas quais núcleos de átomos são comprimidos sob ação da gravidade ocorrendo a fusão.

A massa das estrelas determina a história de vida de uma estrela, bem como a maneira que sua vida terminará e podem ter valores entre um décimo até cerca de 100 vezes a massa do Sol e apresentam variações ao longo de sua existência. Portanto as estrelas, assim como os seres vivos, têm uma vida (nascem, crescem e morrem).

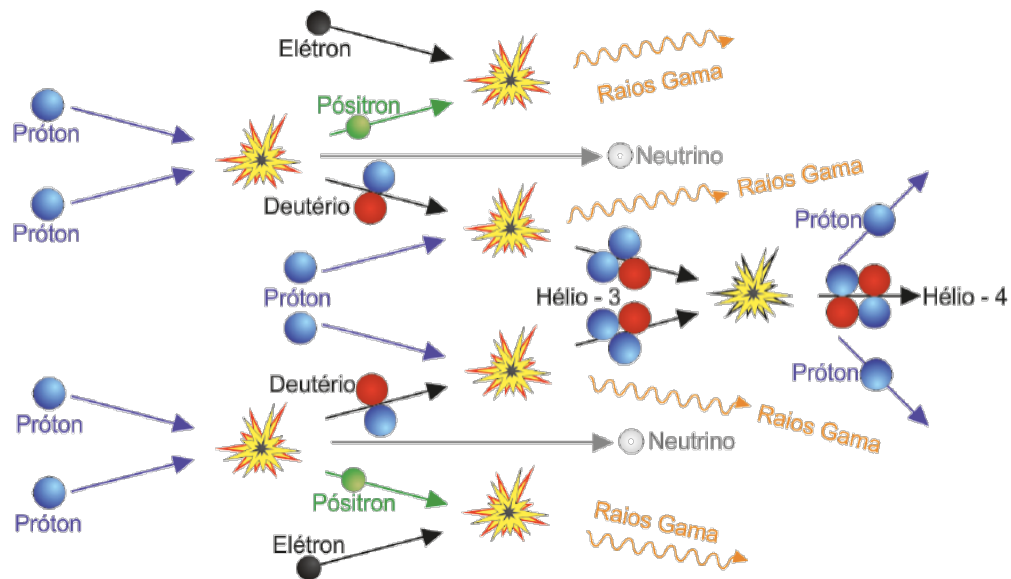
As estrelas de maior massa vivem menos tempo que as de menor massa, essa ideia, inicialmente, parece contraditória, pois pode-se induzir ao fato de ter mais combustível, portanto duraria mais tempo (KEPLER; SARAIVA, 2017). O que deve ser compreendido é que uma estrela mais massiva terá uma temperatura maior e dessa forma a taxa de consumo da massa para manter a fusão nuclear dessas estrelas é proporcionalmente maior. Sendo assim, durará menos tempo que uma estrela pouco massiva (HORVATH, 2018).

A cor que uma estrela apresenta está relacionada com a temperatura, ou seja, estrelas mais massivas terão coloração azul enquanto as de baixa massa apresentam coloração vermelha. Dessa forma, através do tipo espectral das estrelas pode-se estimar sua massa.

As estrelas que estão na sequência principal realizam a queima do hidrogênio, nessa fase ocorre a fusão nuclear de 4 núcleos de hidrogênio para a formação de um núcleo de hélio e passam a maior parte do tempo de vida na sequência principal, estima-se que passam 90% de sua vida, saindo apenas no momento em que seu estoque de hidrogênio termina (KEPLER; SARAIVA, 2017).

A Figura 10 ilustra o acontecimento dessas reações. Primeiramente, observa-se que dois núcleos de hidrogênio – prótons – colidem resultando no deutério, um pósitron – que será aniquilado ao colidir com um elétron – e um neutrino (essa reação acontece duas vezes). Na sequência os dois núcleos de deutério colidem com dois prótons cada resultando em dois núcleos de hélio com massa atômica 3 (He-3) e liberando fotos de alta energia – raios gama. Esses dois núcleos colidem resultando no núcleo de hélio com massa atômica 4 e mais dois prótons que estarão livres para fazer reações nucleares.

Figura 10 – cadeia de fusão nuclear próton-próton.



Fonte: adaptado de Kepler e Saraiva (2017, p. 207)

Portanto, dos seis núcleos de hidrogênio participam da reação nuclear dois são liberados no final, totalizando quatro hidrogênios para a formação de um núcleo de hélio. Quanto maior a temperatura no interior da estrela mais rapidamente irá consumir seu combustível. Dessa forma, o destino final das estrelas depende de sua massa para que consiga continuar realizando fusões nucleares (CHUNG, 2001).

O Sol, por exemplo, está localizado no diagrama HR na sequência principal (*i.e.*, fusão hidrogênio → hélio). Após terminar todo seu estoque de hidrogênio e restar apenas hélio o núcleo não estará na temperatura necessária para que ocorra a fusão desse elemento. Então, a “briga” entre a gravidade e a pressão interna do gás penderá para a primeira. Estima-se que o tempo restante nessa fase seja de aproximadamente 6,5 bilhões de anos (HORVATH, 2008; KEPLER; SARAIVA, 2017).

Logo, o Sol começará a contrair-se ocasionando o aumento da temperatura de seu núcleo até atingir a temperatura necessária para a fusão nuclear do hélio em carbono ($3\text{He}^4 \rightarrow \text{C}^{12}$) reação denominada triplo alfa. No momento em que isso acontecer nossa estrela tornar-se-á uma Gigante Vermelha e durará cerca de 1 bilhão de anos realizando essa fusão.

Após queimar todo hélio o Sol não atingirá mais temperatura suficiente para realizar a fusão nuclear do carbono e novamente a gravidade irá vencer fazendo com que emita camadas para o universo enriquecendo o meio interestelar na forma de uma nebulosa planetária. Nesse momento realiza seu último suspiro no momento a

pressão de degenerescência dos elétrons – repulsão entre os elétrons devido ao fato de estarem muito próximos – começa a vencer a gravidade dando a estrela mais míseros 100mil anos de vida como anã branca com núcleo de carbono e atmosferas de hélio e hidrogênio (CHUNG, 2001).

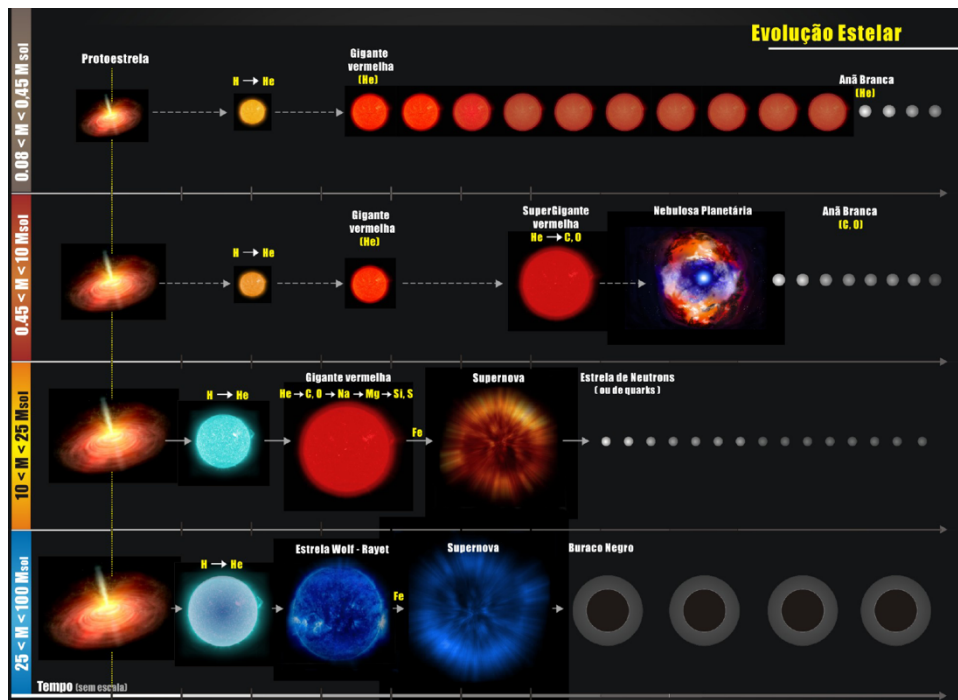
Para a formação de todas as estrelas se tem, primeiramente, uma nuvem de gás que se contrai, formando uma protoestrela. No momento que o núcleo atingir a temperatura suficiente as reações nucleares são iniciadas. A partir desse momento, o futuro da estrela dependerá de sua massa. Para isso será feita uma abordagem comparando com a massa do Sol (M_{\odot}).

Caso a massa seja inferior a $0,08M_{\odot}$ a nuvem de gás tornar-se-á uma Anã Marrom. Entretanto, se sua massa for entre $0,08 M_{\odot}$ e $0,45 M_{\odot}$ tornar-se-á uma anã branca com o núcleo de hélio. Já as estrelas com massa de até $1,75 M_{\odot}$ que utilizam o ciclo próton-próton após finalizar seu estoque de hidrogênio realizam a queima do hélio em carbono tornando-se assim uma Gigante Vermelha. Caso a estrela tenha massa suficiente para realizar a fusão do carbono através do ciclo CNO se tornará uma Supergigante Vermelha

As estrelas cujas massas são superiores a $10 M_{\odot}$ não há um evento que marque o início da fusão de hélio, carbono, oxigênio, sódio, magnésio, silício e enxofre. O único acontecimento é o momento que o núcleo dessas estrelas atinge se torna ferro. Nesse momento não há mais reações nucleares e a estrela ejeta a maior parte de sua massa numa explosão chamada Supernova. Num estágio anterior à explosão a estrela entra em colapso e através de capturas eletrônicas ocorre a neutronização do material estelar. Portanto, após a Supernova, o núcleo dessa estrela é um caroço com nêutrons livres denominado estrela de nêutrons.

Para o caso de estrelas cujas as massas sejam superiores a $25M_{\odot}$ a evolução ocorre de maneira muito semelhante, entretanto, devido à maior massa as estrelas apresentam maior luminosidade e coloração azul. Após a Supernova essas estrelas provavelmente tornam-se Buracos Negros que são objetos cuja gravidade é forte o bastante para não deixar nem a luz escapar. A Figura 11 mostra um esquema da evolução estelar de maneira compacta.

Figura 11 – Esquema da evolução estelar para diferentes massas.



Fonte: adaptado de Kepler e Saraiva (2017, p. 218)

4 APLICAÇÃO DA PROPOSTA DE ENSINO

Neste capítulo será feito um relato sobre a aplicação do módulo didático que foi realizado no período de 17 de novembro a 27 de novembro de 2017. O material completo se encontra nos Apêndices A a E.

Antes da aplicação desses métodos foi feito um levantamento sobre a possibilidade de acesso dos alunos à internet em suas casas, já que os métodos utilizam esses recursos. Como alguns alunos não possuíam acesso à internet foi dito aos estudantes que as tarefas de leitura poderiam ser feitas no laboratório de informática na escola no turno oposto.

4.1 RELATO DAS ATIVIDADES

Para implementação do módulo didático foi seguido a fundamentação do método EsM, de acordo com o item 1.2. Desse modo, disponibilizou-se aos alunos os textos de apoio que deveriam ser lidos para a realização da primeira tarefa de leitura e o *link* do questionário da primeira TL no Portal de Educação⁴.

Esse questionário foi elaborado na ferramenta *Google Forms*⁵, ilustrado na Figura 12. Essa ferramenta coleta os resultados, conforme a Figura 13 em uma planilha eletrônica que foi consultada no planejamento das aulas subsequentes.

Acordou-se com os alunos que responderiam a TL pela internet o prazo de 12 horas antes da aula, conforme prevê o método EsM. As respostas fornecidas foram consideradas para seleção das questões e exemplos que seriam utilizados nas breves exposições orais.

Após a análise das respostas dos alunos na tarefa de leitura, elaborou-se uma pequena exposição oral, em torno de 20 minutos, direcionada às dificuldades que os estudantes encontraram nessa tarefa. Encontram-se disponíveis no Apêndice A ao F o texto de apoio, as tarefas de leitura e os *slides* utilizados nos encontros contendo os exemplos que foram utilizados durante as aulas. O Produto Educacional na íntegra encontra-se no Apêndice G.

⁴ Portal do colégio para a disponibilização de atividades.

⁵ Ferramenta de elaboração de formulários gratuitos do *Google*, disponível em: <https://www.google.com/forms/about/>

Figura 12 – Tarefa de leitura no *Google Forms*.

Tarefa de Leitura 1

*Obrigatório

Questões

2. O que é uma estrela? *

Sua resposta

3. Por que o movimento de translação de todos os planetas no sistema solar ocorre no mesmo sentido? *

Sua resposta

4. (Unisinos 2016) A origem da energia solar, no Sol, ocorre a partir *

Fonte: Adaptado da plataforma *Google Forms*.

Figura 13 – Planilha eletrônica com as respostas dos alunos à TL, fornecida pelo *Google Forms*.

	C	D	E	F	G	H
1	Qual seu nome?	1. a. Você achou alguma coisa confusa no texto lido?	b. Se você achou algo confuso, poderia informar qual(is) parte(s) do texto você achou confusa?	c) Dentre os conceitos que você compreendeu, destaque aquele(s) que você achou mais importante ou interessante.	2. O que é uma estrela?	3. Por que o movimento de translação de todos os planetas no sistema solar ocorre no mesmo sentido?
10		Não.		Achei muito interessante a parte que fala sobre o brilho das estrelas, sempre tive dúvidas de por que uma brilhar mais que a outra.	Uma esfera auto gravitante	Com a teoria da probabilidade calculou se que como os planetas estão no mesmo plano e giram em torno do sol e em si mesmos.
11		Sim.	O conceito de nuvem, já que a visão cotidiana e de nuvem parece diferente da retratada	A ligação direta do Big Bang com a expansão e futura complexidade dos átomos	Um astro que possui luz e calor em altos níveis causados pela fusão de hélio e hidrogênio	Porque foram criados a partir da mesma nuvem que girava neste sentido
12		Não.		O brilho estelar	São esferas auto gravitantes de gás ionizado, cuja a fonte de energia é a transmutação de elementos através de reações nucleares, isto é, da fusão nuclear de hidrogênio em hélio e, posteriormente, em elementos mais pesados	

Fonte: Adaptado do *Google Planilhas*.

As aulas iniciavam com uma breve e curta exposição oral sobre um determinado conceito a partir das repostas dos alunos. Com a análise das respostas dos alunos a TL1 foi possível selecionar o episódio “A Vida e a Morte das Estrelas” da série “O Universo” (disponível no *link*: <https://vimeo.com/181712659>) devido ao fato de ilustrar alguns conceitos que os alunos apresentaram dúvidas. Na aula seguinte foi feito um debate acerca do episódio.

O debate desencadeado iniciou com a seguinte pergunta “O tempo de vida de uma estrela que tenha o dobro da massa do Sol será maior ou menor que o tempo de vida do mesmo?”. Essa pergunta visa o entendimento dos estudantes de que quanto maior a massa maior será a temperatura no núcleo da estrela e dessa forma consumirá sua massa mais rapidamente nas fusões nucleares para manter essa temperatura.

4.2 RELATO DAS AULAS

4.2.1 Primeira aula – 17/11/2017

Antes de iniciar a aplicação do módulo didático, foi explicado aos alunos o método de ensino que seria utilizado para que ficassem cientes da importância que eles teriam nas próximas aulas.

Ressaltou-se que a intenção daquela tarefa de leitura era mapear o que os alunos entenderam da leitura, ou que já sabiam, para que, em sala os tempos de aula fossem destinados a atividades mais interessantes como a explanação das dúvidas e realização de testes conceituais. Dessa forma, não precisaria explicar o conceito desde o início para todos e poderia fazer uma aula sob medida para a turma.

Fora avisado aos alunos que deveriam ler o texto de apoio (Apêndice A) até a página 4 (apenas as páginas 1 a 4 foram liberadas para os estudantes) e posteriormente respondessem a primeira TL (Apêndice B) que estaria disponível em um *link* ao *Google Forms*. O prazo de entrega foi explicado aos estudantes e seria, no máximo 12 horas antes do início da próxima aula. Como o próximo encontro seria na segunda-feira (20/11/2017), esses alunos poderiam responder a TL 1 até domingo (19/11/2017) para o planejamento da próxima aula.

4.2.2 Segunda aula – 20/11/2017

Para demonstrar a importância da realização das tarefas de leitura bem como a valorização das respostas dos estudantes a aula foi iniciada com a demonstração de uma seleção das respostas de alguns estudantes em relação à TL1, como é ilustrado na Figura 14.

Foi perguntado aos estudantes o que achavam dessas respostas e após algumas manifestações se percebeu que algumas das respostas estavam completas e dessas algumas eram cópias idênticas ao texto. Algumas incompletas e outras que respondiam a pergunta “o que era uma estrela?” sem relação com a leitura do texto de apoio.

Após esse momento, foi feita uma breve exposição oral (entre 5 e 10 minutos) em relação às principais ideias que surgiram nessa primeira pergunta conceitual da TL1. Abordando com os estudantes o que significava cada termo da resposta “São

esferas auto-gravitantes de gás ionizado, cuja a fonte de energia é a transmutação de elementos através de reações nucleares, isto é, da fusão nuclear do hidrogênio em hélio e posteriormente em elementos mais pesados”.

Diferenciando assim, possíveis erros conceituais que poderiam aparecer, tal como a ideia de que na resposta acima que alguns estudantes não perceberam que uma estrela pode realizar a fusão nuclear até o elemento químico ferro.

Figura 14 – Slide utilizado em aula com uma seleção de respostas dos alunos à TL1 referente a pergunta 2.

O que é uma estrela?

• Um astro que possui luz e calor em altos níveis causados pela fusão de hélio e hidrogênio
• São esferas auto gravitantes de gás ionizado, cuja a fonte de energia é a transmutação de elementos através de reações nucleares, isto é, da fusão nuclear de hidrogênio em hélio e, posteriormente, em elementos mais pesados
• São esferas auto gravitantes de gás ionizado, cuja fonte de energia é a transmutação de elementos através de reações nucleares.
• São esferas auto gravitantes de gás ionizado, cuja fonte de energia é a transmutação de elementos através de reações nucleares
• Uma esfera com fonte de energia da fusão de hidrogênio e hélio.
• Um astro que tem calor e luz própria
• Nuvem molecular de hidrogênio
• É um corpo celeste e tem luz própria.
• São esferas com auto gravitante com gás ionizado.

Fonte: próprio autor.

Após esse momento, as respostas a segunda pergunta conceitual da TL1 foram projetadas conforme a Figura 15. Dessa forma, valoriza-se, novamente, as interações dos alunos feitas nas TL1 para que se motivassem a fazer a TL2 posteriormente.

Após alguns momentos de análise dessas respostas os estudantes foram questionados sobre o que eles achavam e os mesmos perceberam que havia duas ideias principais descritas nas respostas uma que se reporta ao disco de poeira em rotação ao redor do Sol havia dado origem aos planetas e outra que reporta apenas a gravidade. Com isso, mostrou-se necessária uma breve exposição oral sobre a descrição da teoria de Immanuel Kant desenvolvida por Pierre Laplace através da teoria de probabilidades.

Figura 15 – Slide utilizado em aula com uma seleção de respostas dos alunos à TL1 referente a pergunta 3.

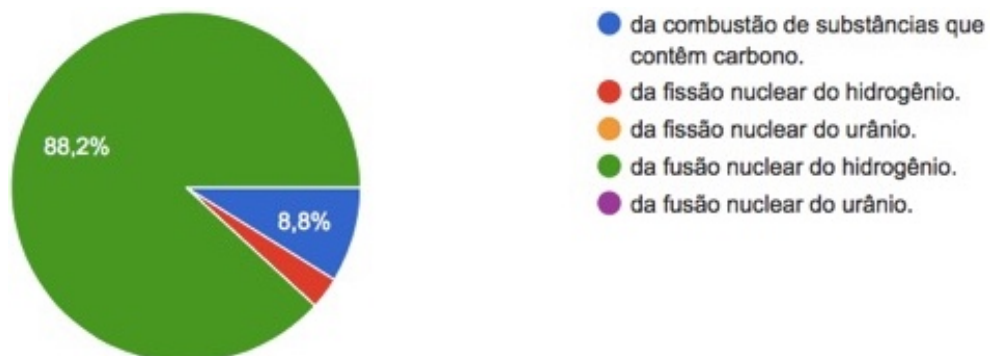
Por que o movimento de translação de todos os planetas no sistema solar ocorre no mesmo sentido?

O matemático Pierre-Simon de Laplace, que desenvolveu a teoria do filósofo Immanuel Kant, desenvolveu a teoria das probabilidades, calculou que como todos os planetas estão no mesmo plano, giram em torno do Sol na mesma direção e também giram em torno de si mesmos na mesma direção (exceto Vênus), eles só poderiam ter se formado de uma mesma grande nuvem de partículas em rotação. Essa hipótese sugeria que uma grande nuvem rotante de gás interestelar (nebulosa solar) colapsou para dar origem ao Sol e aos planetas.
Segundo o matemático francês Pierre Simon, eles foram formados por uma mesma nuvem de gás interestelar...
Por causa de uma grande nuvem rotante que estava em colapso (???)
Porque eles foram formados a partir de uma grande nuvem de partículas em rotação.
Todos os planetas estão no mesmo plano, giram em torno do sol na mesma direção e também giram em torno de si mesmo na mesma direção
Por causa de uma grande nuvem de partícula em rotação
Porque a terra gira de oeste para leste e os demais planetas do sistema solar fazem o mesmo movimento
Laplace, que desenvolveu a teoria das probabilidades, disse que como todos os planetas estão no mesmo plano, eles girariam em torno do sol no mesmo sentido e direção.
Porque todos são atraídos pela gravidade do sol
3

Fonte: próprio autor.

A última pergunta conceitual da TL1 perguntava qual é a origem da energia que o Sol emite. Por se tratar de uma questão objetiva cujo percentual de acertos fora de 88,2%, conforme a Figura 16 elucida, não foi disponibilizado o mesmo tempo de discussão para a mesma. Além disso, nesse ponto da aula já havia sido abordado o conceito de fusão nuclear.

Figura 16 – Percentual de respostas dos estudantes à TL1 referente a pergunta 4.



Fonte: próprio autor.

Após, foi mostrado o vídeo “Rockstar e a Origem do Metal” que estava presente no texto de apoio. Em virtude de alguns alunos não terem conseguido visualizar o vídeo já que haviam respondido a TL1 pelo celular.

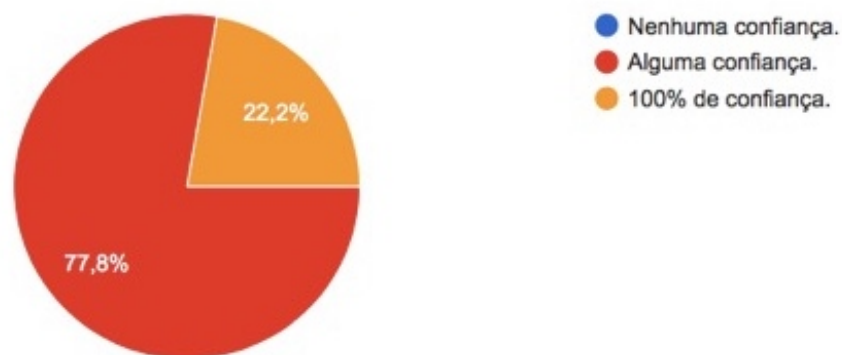
Para finalizar a aula, os estudantes foram questionados sobre o que acharam de ter lido um texto que os preparava para aula e obtive como respostas esses dois exemplos:

“É bom porque viemos para aula sabendo um pouco o que será trabalhado e com isso não ficamos perdidos” (Aluno X).

“Gostei que parecia que estava entendendo o que tu falavas pela primeira vez no ano” (Aluno Y).

A última parte da TL1 abordava um teste de confiança dos estudantes referente às respostas dadas. Projetou-se os dados demonstrados na Figura 17 na qual percebe-se que 22,2% dos estudantes que responderam a TL1 exibiam 100% de confiança em suas respostas, enquanto o restante apresenta alguma confiança ressaltando que nenhum aluno marcou a opção referente a suas respostas não terem nenhuma confiança.

Figura 17 – Percentual de resposta dos estudantes referente ao teste de confiança.



Fonte: próprio autor.

4.2.3 Terceira aula – 21/11/2017

Para sanar alguma dúvida que ainda havia ficando, bem como ilustrar as explicações dos conceitos trabalhados na aula anterior e introduzir os conceitos que foram abordados na TL2 sobre a evolução estelar, foi exibido aos alunos o episódio “A Vida e a Morte de uma Estrela” da série “O Universo” do canal *History* dublado. Antes da exibição do documentário foi explicado aos estudantes que houve um erro de dublagem implicando em uma possível concepção alternativa. Dessa forma

sempre que o narrador dissesse a palavra “maciça” que significa preenchido por um material os alunos deveriam trocar para “massiva” que faz referência a massa da estrela (ou de qualquer outro objeto).

4.2.4 Quarta aula – 23/11/2017

Nessa aula, os alunos foram divididos em pequenos grupos e fora feita a seguinte pergunta para eles: “O tempo de vida de uma estrela que tenha o dobro da massa do Sol será maior ou menor que o tempo de vida do mesmo?” Os grupos tinham, então alguns minutos para pensar em uma resposta e, enquanto isso o professor, passava pelos grupos para visualizar a maneira que o debate estava sendo feito.

Foi possível perceber que duas grandes ideias se sobressaíram nos grupos, a primeira afirmava que essa estrela tendo o dobro da massa do Sol teria o dobro do tempo de vida, já que teria mais “combustível” e a segunda afirmava que essa estrela teria menor tempo de vida já que a grande massa da estrela aumentaria a temperatura em seu núcleo e com isso consumiria mais rapidamente sua massa do que o Sol.

Uma breve exposição oral para desenvolver esse conceito foi feita para que os estudantes não ficassem com dúvida, ressaltando, é claro, que a segunda ideia do texto descrito acima estava correta.

Para finalizar a aula, fora avisado aos estudantes que a TL2 já estava disponível para ser respondida após a leitura do texto de apoio, agora deveriam ler da página 5 até o final do texto de apoio (somente as páginas de 5 a 12 foram disponibilizadas para a segunda TL). Conforme o mesmo combinado da TL1 os alunos teriam até 12 horas antes da próxima aula (27/11/2017) para responder a TL2, ou seja, poderiam responder até domingo (26/11/2017).

4.2.5 Quinta aula – 27/11/2017

Para iniciar a quinta aula, foi projetada as respostas dos estudantes referente a TL2, como mostra a Figura 18. Conforme já dito anteriormente, esta metodologia valoriza a realização das tarefas. Não é necessário pedir aos estudantes para que se identifiquem. Através da discussão dessas respostas, juntamente com uma breve

exposição oral, foi construído com os estudantes que a fusão nuclear possibilita as estrelas criarem novos elementos químicos.

Figura 18 – Slide utilizado em aula com uma seleção de respostas dos alunos à TL2 referente a pergunta 2.

2. As estrelas podem ser consideradas fábricas de elementos químicos?

- Depende do tamanho da estrela. As estrelas maiores, conseguem produzir muitos elementos da tabela periódica, do hélio ao ferro, enquanto estrelas menores apenas fundem hidrogênio em hélio.
- Sim, todos os elementos são criados nas estrelas a partir de fusões nucleares que partem do H, e vão fundindo consecutivamente os átomos até o núcleo ficar denso o suficiente para fundir o núcleo dos átomos maiores.
- Não....
- Sim, as estrelas são compostas de elementos químicos
- Sim, Todos os elementos que conhecemos na natureza, são produzidos nos núcleos estelares em condições bem específicas de temperatura e pressão. Durante este processo ocorre também a produção de energia pelas estrelas.

Fonte: próprio autor.

Foi ressaltado aos estudantes que, por maior que seja a massa de uma estrela, não conseguirá formar elementos superiores ao ferro. A Figura 19 representa a imagem que foi utilizada para auxiliar na explicação que foi extraída do vídeo “*Rockstar e a Origem do Metal*”.

Figura 19 – Slide demonstra o interior aquecido de uma estrela atingindo seu máximo.

Representação do interior de uma estrela com massa superior a massa do Sol.

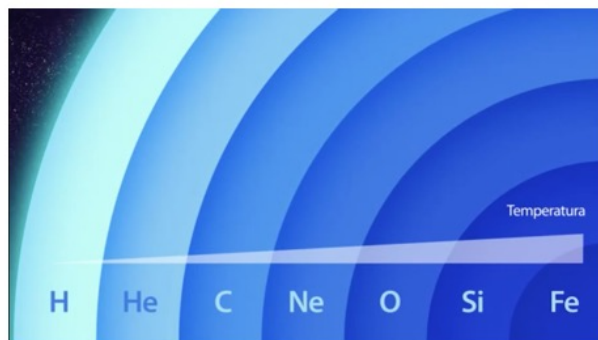


Imagem extraída do Vídeo “*Rockstar e a Origem do Metal*”. Disponível em:
<https://www.youtube.com/watch?v=wIEh5lt1oEI>

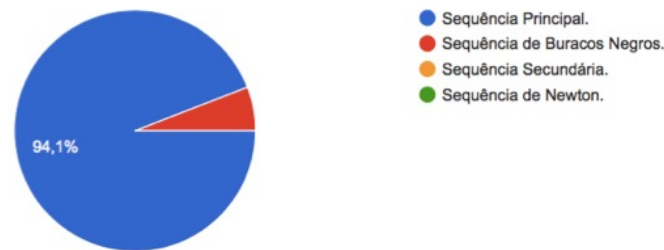
Fonte: próprio autor.

Mostrou-se então, a terceira pergunta da TL2, juntamente com o percentual de respostas dadas pelos estudantes. Conforme mostra a Figura 20, pode-se perceber que o índice de acerto fora acima dos 90%. Visto que os estudantes obtiveram um

alto índice de acertos, o conceito envolvido na questão, foi abordado em uma pequena exposição oral após a leitura de todas as respostas da TL2.

Figura 20 – Percentual de resposta dos estudantes referente à pergunta 3 da TL2.

3. Em que região do diagrama HR, as estrelas passam a maior parte de sua vida?

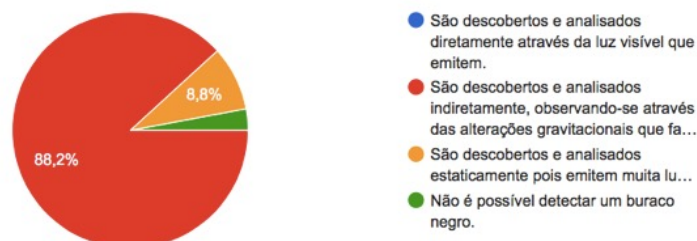


Fonte: próprio autor.

Dando continuidade a aula com a última pergunta conceitual da TL2, que abordava um dos assuntos que despertou o maior interesse dos estudantes: buracos negros. Percebe-se, de acordo com os resultados apresentados na Figura 21, que essa questão também obteve um alto índice de acerto e dessa forma os conceitos nela abordados foram discutidos juntamente com os conceitos da questão anterior.

Figura 21 – Percentual de resposta dos estudantes referente à pergunta 4 da TL2.

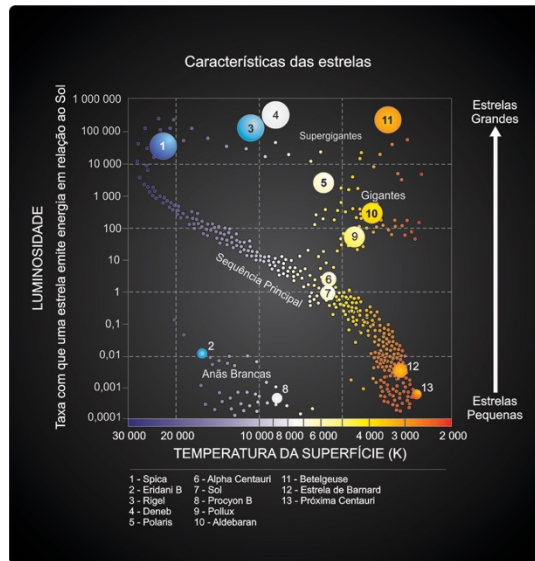
4. Como os buracos negros podem ser detectados se eles não são vistos?



Fonte: próprio autor.

Nesse momento, abordou-se através de uma pequena exposição oral a parte histórica do diagrama H-R, representado na Figura 22, fazendo referência aos cientistas Ejnar Hertzsprung (1873-1967) e Henry Norris Russell (1877-1957) que publicaram trabalhos independentes apontando para uma relação existente entre a luminosidade de uma estrela e sua temperatura efetiva.

Figura 22 – Diagrama HR utilizado para explicar o funcionamento do mesmo.



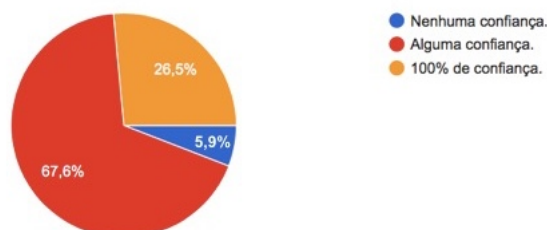
Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node2.htm>.

Após, foi mostrado aos estudantes o teste de confiança relativo a TL2. A partir dos resultados da Figura 23, percebe-se que, diferentemente da TL1, dois estudantes (5,9%) marcaram a opção que representa nenhuma confiança nas respostas descritas acima. A discussão dos resultados será feita no Capítulo 5.

Figura 23 – Percentual de resposta dos estudantes referente ao teste de confiança.

Teste de confiança:

- Marque a alternativa que melhor expressa o seu nível de confiança nas respostas descritas acima.



Fonte: próprio autor.

Então, os estudantes foram questionados: “Como era possível ter toda essa quantidade de hidrogênio no universo para que todas essas estrelas façam a fusão nuclear? Por que teria tanto hidrogênio e tanto Hélio?”

Nesse momento, alguns estudantes fizeram perguntas percebendo que havia uma relação entre o fato das estrelas passarem a maior parte de sua vida na sequência principal com o fato do hidrogênio ser o elemento mais abundante. Então, a partir dessas ideias, foi explicado aos estudantes através de uma breve exposição oral o *Big Bang*.

5 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Afim avaliar a receptividade dos alunos quanto às metodologias, foi realizado um questionário de opiniões, descrito no Capítulo 3. Deixou-se passar alguns meses para avaliar a efetividade dos métodos, portanto foi disponibilizado para que os estudantes respondessem entre os dias 01/06/2018 e 20/06/2018.

A Tabela 3 fornece uma síntese das respostas dos estudantes referentes às perguntas feitas – primeira coluna da Tabela 3 – no questionário, foram 36 respondentes do total de 40 alunos que participaram da aplicação da sequência didática. Dado que o teste é constituído de 8 questões, obteve-se 288 respostas das quais apenas 6 referem-se ao fato de não recordarem o que ou como foi trabalhado. Portanto, ressalta-se que essa metodologia teve impacto significativo nos estudantes mostrando que o método despertou a predisposição em aprender física.

Para avaliar a opinião dos alunos acerca da experiência da aplicação da sequência, fora feita a seguinte pergunta “Ao entrarmos no conteúdo de Astrofísica, nós trabalhamos de um jeito diferente do que vínhamos fazendo. Poderias falar um pouco sobre a tua experiência, quer dizer, o que achaste dela em geral?”.

A maioria dos estudantes respondeu que gostou, ou que achou interessante ou que achou produtiva a aplicação do método. Nas palavras dos mesmos:

O conteúdo em si já foi algo que me agradou muito, e tornar a aula um pouco mais dinâmica e com curiosidades e informações só melhorou tudo. (Aluno 3)

Gostei bastante desse conteúdo pois ele fugiu um pouco daquele assunto envolvendo velocidades e cálculos de tempo, e nos ajudou a entender melhor sobre os corpos celestes. (Aluno 6)

Achei bem interessante a maneira como estudamos o conteúdo de Astrofísica. Geralmente os professores seguem as linhas tradicionais, não se importando com o fato de que gostamos de coisas novas e diferentes. Acho que se mais professores fizessem o que foi feito para Astrofísica, os alunos poderiam aprender bem mais. Realmente gostei muito do jeito trabalhado. (Aluno 10)

Tabela 3 – Síntese das respostas dos alunos ao questionário de opiniões.

Questões	Respon- dentes	Síntese das respostas
1. Ao entrarmos no conteúdo de Astrofísica, nós trabalhamos de um jeito diferente do que vínhamos fazendo. Poderias falar um pouco sobre a tua experiência, quer dizer, o que achaste dela em geral?	19	Gostou/ Achou interessante/ Produtiva a aula ou o método
	10	Achou importante/interessante ter um conhecimento básico antes da aula.
	4	Gostou devido ao conteúdo
	2	Não se recordam.
	1	Não achou interessante pelo fato de Física ser uma matéria complicada.
2. Em relação à parte de estudar os textos em casa, como preparação para aula, qual é a tua opinião?	32	Acharam muito eficaz/Gostaram do método/Acharam interessante
	3	Não gostou/Não realizou as leituras.
	1	Gostou apenas de alguns textos
3. O que achaste dos textos em si? Eram acessíveis? As figuras estavam claras?	30	Acharam os textos acessíveis/Imagens claras.
	4	Textos com palavras difíceis/Imagens claras.
	1	Achou o texto inacessível.
	1	Não achou nem fácil, nem difícil.
4. E quanto à apresentação dos testes conceituais?	30	Interessante/auxiliou no desenvolvimento/acessível.
	2	Acharam difícil.
	4	Não se recordam.
5. Consideras que tenha aprendido os conteúdos de Física trabalhados?	26	Consideram que aprenderam.
	8	Consideram que aprenderam alguns conceitos e outros "mais ou menos".
	2	Consideram que não aprenderam
6. Quanto ao tempo para realização das tarefas em casa, achaste suficiente?	31	Consideram que o tempo fora suficiente.
	2	Não considerou o tempo suficiente.
	2	Compreenderam erroneamente a pergunta e responderam referente ao tempo que realizaram as atividades.
	1	Não realizou as atividades
7. Aconselharias a um amigo fazer um curso de Física que usasse essa metodologia? Em poucas palavras, o que dirias para ele à respeito?	32	Aconselharia a fazer o curso.
	4	Não aconselhariam a fazer o curso/Não é capaz de opinar.
8. Pensando que essa forma de ensinar vai ser usada novamente com as turmas nessa disciplina no bimestre que vem. O que poderia ser feito para melhorar?	16	Está bom/não mudaria nada.
	6	Textos mais curtos/com palavras mais simples/com mais imagens.
	4	Mais atividades
	2	Os colegas participarem mais.
	2	Mais períodos de Física.
	2	Relacionar com o cotidiano
	4	Cobrar dos colegas que não realizaram as atividades/Mais questões que sejam diretas ao assunto/revisar mais o conteúdo/Utilizar menos slides.

Fonte: próprio autor.

Quatro estudantes ressaltaram o conteúdo abordado como principal fator que tornou a aula interessante.

O conteúdo em si já foi algo que me agradou muito, e tornar a aula um pouco mais dinâmica e com curiosidades e informações (com os textos trazidos pelo professor) só melhorou tudo. (Aluno 3)

Achei extremamente importante, sabemos pouco sobre um universo imenso. A escola não trabalhando esse assunto deixa a desejar (Aluno 13)

Um dos melhores conteúdos que aprendi em Física até hoje. (Aluno 21)

Achei uma matéria muito interessante, e gostei muito de estudar Astrofísica. (Aluno 25)

Dois estudantes não se recordam da experiência e um estudante não achou interessante, dessa forma, nas próprias palavras desse estudante:

Acho que Física não é uma matéria de fácil entendimento para a maioria, e nós ainda temos poucos períodos de aula por semana o que acaba dificultando... então, na minha opinião, dar algo para os alunos lerem e tirarem dali seu conhecimento para aplicar em exercícios não é viável pelo simples fato de que o aluno não tem o hábito de ler, ler sobre algo que não é de seu interesse pessoal. Acho bem mais fácil as aulas explicando o conteúdo não só por todos estarem presentes, mas sim por podermos tirar as dúvidas ali na hora. (Aluno 22)

A resposta do estudante revela uma posição que é comum encontrar em alguns alunos. Pode-se chamar de uma inércia estudantil no sentido de que estão acostumados a serem passivos no processo de aprendizagem recebendo os conteúdos prontos dos professores e terem a tendência a continuar passivamente no processo. Muitas vezes memorizam os conceitos estudados apenas para responder

em provas e não relacionam de maneira significativa com a estrutura cognitiva. Dessa forma, ocasiona aprendizagem mecânica apenas e não significativa.

A maioria dos estudantes concordou que estudar os textos em casa como forma de preparação para a aula possibilitou melhores resultados. Nas próprias palavras desses estudantes:

Gostei muito, a gente chegava na aula já podendo discutir sobre o que estudamos. (Aluno 14)

Acho que ajudou muito, porque na aula já tínhamos uma ideia sobre o que se tratava não era um território desconhecido. (Aluno 17).

Acho que todo material de apoio é válido. (Aluno 22).

Eram legais e eficientes, pois ir a aula sabendo do que se trata o conteúdo fez com que eu entendesse melhor a matéria (Aluno 33).

Em relação aos textos lidos a maioria dos estudantes achou claro e acessíveis bem como as figuras presentes. Na palavra dos estudantes:

Achei os textos bem acessíveis, a linguagem era bem fácil para realizar a leitura, sendo possível o entendimento de todos. As imagens também ajudaram bastante ligando-as com o que lemos. (Aluno 10).

Apenas um estudante achou que os textos e as imagens eram inacessíveis de serem lidos e compreendidos.

Não eram acessíveis, eu não entendia nada. (Aluno 22)

A maioria dos estudantes, novamente, se mostrou favorável a utilização de testes conceituais para a explicação dos conteúdos abordados. Apenas dois alunos acharam difícil e quatro não se recordavam.

Na tentativa de mensurar a aprendizagem dos estudantes fora feita a seguinte pergunta: Consideras que tenha aprendido os conteúdos de Física trabalhados?

Apesar de pouco tempo para um conteúdo com bastante informações, e legais por sinal, consegui entender bastante coisas. (Aluno 6)

Sim, muito, queria ter a oportunidade de aprender mais sobre Astrofísica (Aluno 17)

Sim, Astrofísica é um conteúdo legal e foi aprendido com sucesso (Aluno 35)

Percebe-se que os estudantes ficaram com uma predisposição em aprender mais conceitos relacionados à Astrofísica. Alguns, inclusive, realizaram uma crítica ao currículo escolar:

Considero que o colégio, como sempre, impossibilitou o aprofundamento de um conteúdo com tantas coisas legais para estudar. A grade curricular na escola, na minha opinião, é algo bem falho e que deveria ser revisto, já que estamos sempre em uma maratona de matérias, e nunca focamos em nada, resumindo, muito mal organizado. Entretanto, isso é problema do colégio. O que o professor passou, consegui entender bem. (Aluno 10)

Como a gente sempre “ta” mudando de matéria ou conteúdo sobre algo, eu acabo me perdendo (sem tempo para aprofundar os conteúdos estudados na própria escola). Entendi, porém, queria aprofundar mais. (Aluno 13)

Percebe-se, também, nessas respostas a vontade dos alunos em compreender e estudar mais conceitos relacionados à Astrofísica. Nessa mesma pergunta oito estudantes não confirmaram com certeza de aprendizado ficando em um meio termo. Nas próprias palavras:

Não tudo, mas lembro de várias coisas que me ajudam nos conteúdos do 2º ano. (Aluno 21)

Mais ou menos, nunca me dei bem com a Física. (Aluno 24)

Algum sim, e outros não, eu não buscava muito conhecimento em Física. (Aluno 28)

Portanto, do total de 36 estudantes, apenas dois alunos consideraram que não aprenderam o conteúdo:

Não, tenho dificuldades em Física (Aluno 16).

Não. (Aluno 22)

Quando questionados sobre o tempo disponibilizado para realizar as leituras dos textos, bem como responder as perguntas das tarefas de leitura, a maioria dos estudantes considerou que fora tempo suficiente. Apenas dois alunos não acharam tempo suficiente para realizar as atividades, e nessa pergunta, dois estudantes pensaram que fazia referência à contagem do tempo que levaram para responder e responderam à pergunta de maneira equivocada.

Para avaliar, de uma maneira geral, a sequência didática foi perguntado aos estudantes se eles indicariam a um amigo fazer um curso de Física que utilizasse essa metodologia e obteve-se as seguintes respostas:

Sim, falaria que não é algo que o exponha em frente a turma e ao mesmo tempo é totalmente eficaz. (Aluno 3)

Eu diria que é algo muito diferente e interessante, e chama muito a atenção. (Aluno 15)

Aconselharia, pois, é um método simples e que funciona muito bem tendo em vista os adolescentes (Aluno 18).

Que a abordagem é muito boa, não é aquele tipo de aula chata, tem bastante interação entre aluno/professor. (Aluno 19)

Sim aconselharia! Tu aprende coisas que são legais e não maçantes, acho que é isso que procuramos em um curso, um método mais atual! (Aluno 23)

Sim, que não toma muito seu tempo e é bem eficiente. (Aluno 33).

Apenas um estudante afirmou que não é capaz de afirmar, enquanto três estudantes afirmaram que não indicariam a realização do curso. Na palavra desses:

Não aconselharia, eu particularmente não gosto da matéria, independentemente de como ela é explicada/apresentada (Aluno 1)

Não, eu não gosto. (Aluno 30)

A última pergunta do questionário de opiniões, questionava os estudantes o que deveria ser acrescentado na sequência didática para que a mesma seja melhorada. A resposta que obteve o maior número de repetições, representando 44,44% da turma, foi a de não mudar nada. Na palavra dos próprios estudantes:

Não tenho ideia, acredito que está bom do jeito que está. (Aluno 5)

Acho que não precisaria melhorar em nada. (Aluno 16)

Acho que o método funciona, não tem muito no que melhorar. (Aluno 19)

Considero a atividade como excelente e sem a precisão de ajustes. (Aluno 20)

Uma parcela significativa dos estudantes ressaltou que diminuiria os textos ou que fosse escrito com palavras mais curtas ou com imagens. Nas palavras dos mesmos:

Talvez usar textos mais curtos para tentar não deixar a atenção ser perdida (Aluno 18)

Talvez não ter tantas palavras complicadas nos textos, assim a compreensão seria mais fácil. (Aluno 27)

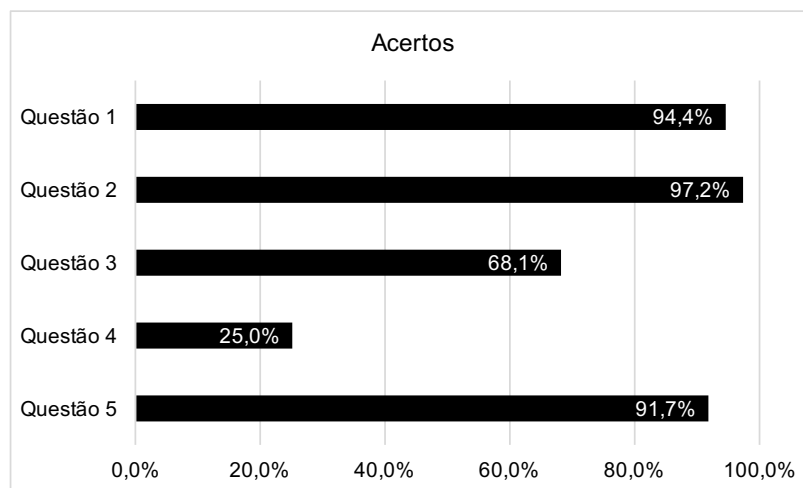
Mais imagens, linguagem mais simples e algumas animações. (Aluno 33)

Talvez um pouco mais curto, alguns eram bem extensos (Aluno 35).

Para avaliar a efetividade do método foram inseridas cinco questões (Apêndice D) na última prova dos estudantes no quarto bimestre de 2017. Não fora realizado pré-teste nos estudantes em virtude desse conteúdo apresentar um número muito pequeno de questões conceituais já disponíveis e caso as questões fossem utilizadas anteriormente, seriam questões que não poderiam aparecer nas Tarefas de Leitura devido ao fato de perderem o caráter inédito.

A Figura 24 apresenta um gráfico com os valores dos acertos dos percentuais de acertos dos 36 estudantes nas questões da prova que envolviam os conceitos de Astronomia.

Figura 24 – Porcentagem de acertos nas questões conceituais (Apêndice D) inseridas na prova.



Fonte: próprio autor.

A partir de uma análise desse gráfico, percebe-se que as questões 1, 2 e 5 obtiveram um índice de acerto superior a 90%, o que é um forte índice que os estudantes relacionaram esses conceitos com suas estruturas cognitivas e, portanto, houve um indício de aprendizagem significativa desses conceitos.

Entretanto, a questão 3 obteve um índice de aproximadamente 68%, ficando em um ponto intermediário, no qual afirma-se que a maioria dos estudantes resolveu a questão de maneira a não apresentar dificuldades.

No contraponto às questões anteriores, a questão 4 obteve um baixo índice de acerto, cerca de apenas 25% dos estudantes obtiveram êxito na resolução dessa questão que abordava o conceito do diagrama HR. A Tabela 4 fornece a distribuição das respostas dos estudantes nas alternativas.

Tabela 4 – Síntese das respostas dos estudantes em relação a pergunta 4.

Questão	Alternativas	Quantidade
4. O diagrama H-R é um gráfico que relaciona:	a) cor versus temperatura	27
	b) H versus R	0
	c)luminosidade versus tipo espectral	9
	d)luminosidade versus magnitude absoluta	0

Fonte: próprio autor.

Analisando a Tabela 4, percebe-se que os estudantes confundiram os conceitos, marcando a alternativa que há relação entre a cor e a temperatura de uma estrela, no entanto, o diagrama HR não relaciona essas grandezas. Dessa forma, se fossem atribuídos níveis de dificuldade para as questões, poder-se-ia afirmar que as questões 1, 2 e 5 são questões de nível fácil, a questão 3 de nível intermediário, enquanto a questão 4 de nível difícil.

Analisando a Figura 25, que fornece um gráfico com a média de acerto obtido por cada um dos 36 estudantes nas cinco questões que foram inseridas na prova, percebe-se que 7 estudantes conseguiram desempenho máximo e que apenas dois estudantes ficaram com média inferior à 50 %.

Enquanto a média geral dos 36 estudantes ficou em 75% e 17 alunos ficaram abaixo desse valor. Dessa forma, 19 alunos ficaram acima da média da turma, que fora de 75,46%, o que indica que ocorreu o processo de aprendizagem significativa na maioria da turma.

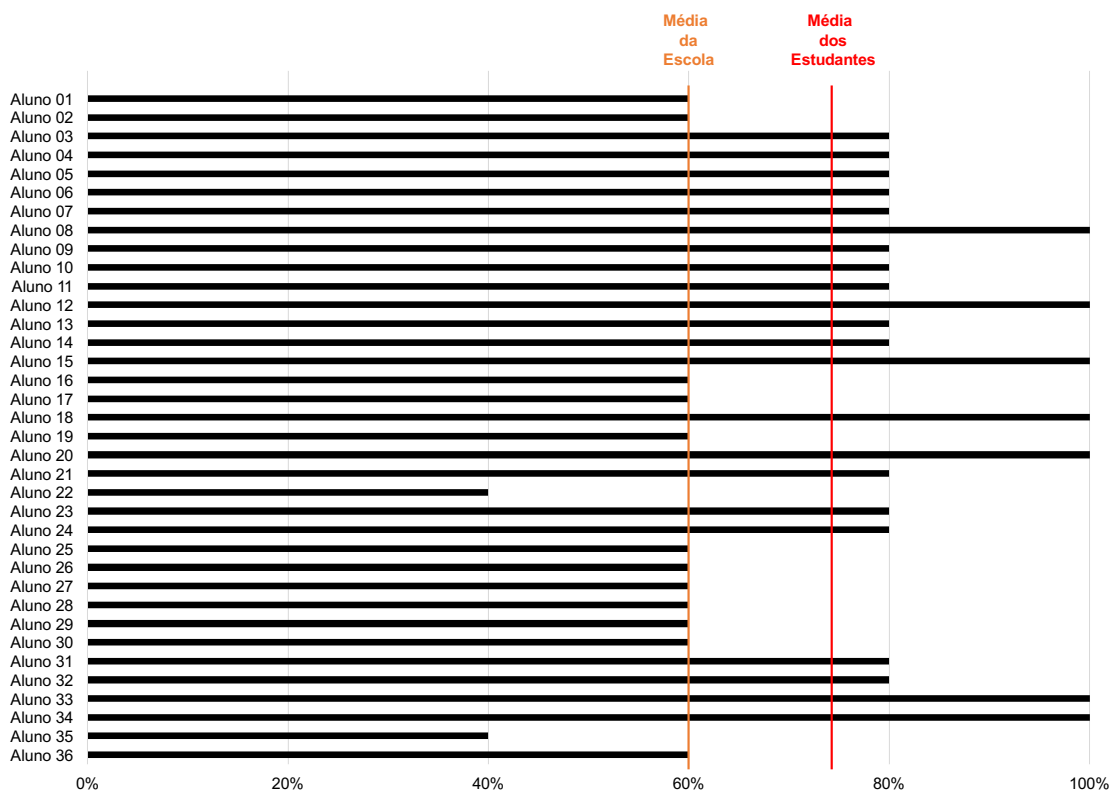
Decorrente das respostas dos alunos, tanto para o questionário de opiniões como para as questões conceituais, pode-se concluir que houve engajamento no processo de ensino aprendizagem bem como uma indicação de aprendizagem significativa. Ter o conhecimento do que os estudantes pensam a respeito do método, possibilita o aperfeiçoamento e ampliação do mesmo. A troca de referencial na sala de aula no sentido de tornar o aluno como protagonista no processo de ensino-aprendizagem é essencial para que se consiga despertar no estudante a predisposição em estudar Física.

As aulas tradicionais, nas quais o estudante assiste passivamente aulas em que o professor está no centro do processo seguidamente permitem ao estudante utilizar estratégias como a memorização, proporcionando, assim, apenas

aprendizagem mecânica e não a aprendizagem esperada para a vida do estudante que é a aprendizagem significativa.

Com o objetivo de alterar essa perspectiva, este trabalho proporcionou o ensino de Tópicos de Astronomia e Astrofísica junto a alunos da primeira série do Ensino Médio utilizando a metodologia ensino sob medida e fundamentando todo o trabalho da Teoria de Aprendizagem Significativa de David Ausubel.

Figura 25 – Gráfico do percentual de acerto dos estudantes.



Fonte: próprio autor.

A utilização do método EsM propiciou ao professor um contato prévio com as dúvidas dos estudantes, podendo planejar uma aula sob medida escolhendo vídeos, imagens, explicações para sanar essas dificuldades específicas de cada turma.

Ressalta-se que, nessa metodologia, o tempo de planejamento do professor aumenta, no entanto, o ganho obtido para o desenvolvimento dos conceitos em aula pelos estudantes aumenta de tal maneira que foi possível abordar diversos conceitos sobre Astronomia e Astrofísica, que de maneira tradicional, seriam necessárias um número maior de aulas.

Esses conceitos despertaram nos estudantes o interesse e, em alguns casos, ficou a vontade de estudar mais profundamente esses tópicos. Diversas pesquisas mostraram que o Ensino de Astronomia se encontra defasado no Brasil, entretanto, percebe-se que esses conteúdos são referenciados em documentos que estabelecem a base, as diretrizes ou os parâmetros dos currículos em níveis nacionais

Como continuação do presente trabalho pretende-se elaborar uma sequência de pequenos livros com textos básicos de Astronomia para estudantes do ensino fundamental como forma de divulgação científica. Dessa forma, os professores que apresentam alguma dificuldade nos assuntos referentes aos conceitos abordados poderão sanar suas dúvidas bem como qualificar e diversificar a abordagem desses conceitos no referido nível de ensino.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, I. S.; MAZUR, E. Instrução pelos colegas e ensino sob medida: uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino-aprendizagem de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 30, n. 2, p. 362–384, 2013.

ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Interatividade em recursos computacionais aplicados ao ensino-aprendizagem de Física. In.: JORNADA NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 14., 2008, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria. p. 1-10. Disponível em: <<http://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A.; MOREIRA, M. A. Atividades de modelagem computacional no auxílio da interpretação de gráficos da Cinemática. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 2, p. 179-184, 2004. Disponível em: <<http://doi.org/10.1590/S1806-11172004000200013>>. Acesso em: 12 jul. 2018.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos**: uma perspectiva cognitiva. 1 ed. Lisboa-PT: Plátano Edições Técnicas, 2003.

BAKER, J. **50 Ideias de Física Quântica que Você Precisa Saber**. São Paulo: Planeta, 2015.

BARROS, J. A. et al. Engajamento interativo no curso de Física I da UFJF. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 1, p. 63-69, 2004. Disponível em: <<http://doi.org/10.1590/S0102-47442004000100011>>. Acesso em: 18 jul. 2018.

BERNARDES, T. O. et al. Abordando o ensino de óptica através da construção de telescópios. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 391-396, 2006.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Básica. **Base nacional comum curricular**. Brasília, DF, 2018. Disponível em: <<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/bncc-ensino-medio>>. Acesso em: jan. 2018.

BRASIL. Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+). **Ciências da Natureza e Matemática e suas tecnologias**. Brasília: MEC, 2006.

BRASIL. Plano Nacional de Astronomia (PNA). **Comissão Especial de Astronomia**. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010.

BRETONES, P. S.; MEGID NETO, J. Tendências de Teses e Dissertações sobre Educação em Astronomia no Brasil. **Boletim da Sociedade Astronômica Brasileira**, v.24, n. 2, p.35-43, 2005. Disponível em: <http://www.paulobretones.com.br/artigo%20sab%20v24_n2_2005_bretones-megid.doc> Acesso em 11 outubro 2018.

CHUNG, K. C. **Introdução à Física Nuclear**. Rio de Janeiro: Ed. da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2001.

COSTA, L. B. **Recursos Educacionais Abertos para o Ensino de Astronomia**. Universidade de São Paulo. 2015. 185 f. Dissertação (Mestrado em Ensino) – Departamento de Astronomia, GeoFísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

HAWKING, S. **Uma Breve História do Tempo**. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2015.

HAWKING, S. **O Universo numa Casca de Noz**. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2016.

HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

HORVATH, J. E. **ABCD da Astronomia e Astrofísica**. São Paulo: Livraria da Física, 2008.

IACHEL, G. O. Conhecimento prévio de alunos de Ensino Médio sobre as estrelas. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia – RELEA**, n. 12, p. 7-29, 2011.

IACHEL, G.; NARDI R. Memórias da Educação em Astronomia no Brasil: recortes a partir das falas de pesquisadores entrevistados sobre o tema. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, n.18, p.27-48.

IACHEL, G.; NARDI, R. Formação de Professores e seus Saberes Disciplinares em Astronomia Essencial nos Anos Iniciais do Ensino Fundamental. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia – RELEA**.12, n. 2, p. 205-224, 2010.

IACHEL, G.; NARDI, R. Tendências das Publicações Relacionadas à Astronomia em Periódicos Brasileiros de Ensino de Física nas Últimas Décadas. **Revista Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**. v.12, n. 2, p. 225-238, 2010.

KEPLER, S. O.; SARAIVA, M. F. O. **Astronomia e Astrofísica**. 4. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2017.

LANGHI, R. **Astronomia nos anos iniciais do ensino fundamental**: repensando a formação de professores. 2009. 370 f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência) – Faculdade de Ciências, UNESP, Bauru, SP, 2009.

LANGHI, R. Educação em Astronomia: da revisão bibliográfica sobre concepções alternativas à necessidade de uma ação nacional. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 2, p. 373-399, 2011.

LANGHI, R.; NARDI, R. **Educação em Astronomia**. São Paulo: Escrituras, 2013.

LANGHI, R.; NARDI, R. Ensino da Astronomia no Brasil: educação formal, informal, não formal e divulgação científica, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, n. 4, p. 4402-2 – 4402-11, 2009.

LANGHI, R.; NARDI, R. Ensino de Astronomia: Erros Conceituais mais Comuns Presentes em Livros Didáticos de ciências. **Caderno Brasileiro Ensino de Física**, v. 24, n. 1, p. 87-111, 2007.

LEITE, C. **Formação do professor de Ciências em Astronomia**: uma proposta com enfoque na espacialidade. 2006. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <doi:10.11606/T.48.2006.tde-05062007-110016>. Acesso em: 14 jun. 2018.

MASON, S. F. **História da Ciência**: as principais correntes de pensamento científico. Porto Alegre: Globo, 1962.

MOREIRA, M. A. **Uma abordagem cognitivista ao ensino da Física**. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1983.

MOREIRA, M. A.; MANSINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa**: a teoria de David Ausubel. São Paulo: Moraes, 1982.

MÜLLER, M. G. et al. Implementação do método de ensino Peer Instruction com o auxílio dos computadores do projeto “UCA” em aulas de Física do Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. 0, p. 491-524, 2012.

NOGUEIRA, S. **Astronomia**: ensino fundamental e médio. Brasília: MEC; SEB; MCT; AEB, 2009. Volume 11.

OLIVEIRA, E. F.; VOELZKE, M. R.; AMARAL, L. H. Percepção Astronômica de um grupo de alunos do Ensino Médio da Rede Estadual de São Paulo da Cidade de

Suzano. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia - RELEA**, n. 4, p. 79-99, 2007.

OLIVEIRA, V. **Uma Proposta de Ensino de Tópicos de Eletromagnetismo via Instrução pelos Colegas e Ensino sob Medida para o Ensino Médio**. 2012. 234 f. Dissertação (Mestrado) -Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/61863>>. Acesso em: 01 de julho de 2017.

PANNEKOEK, A. **History of Astronomy**. New York: Interscience, 1961.

PEEBLES, P. J. E. et al. The case for the relativistic hot Big Bang cosmology. **Nature**, 352, 769. 1991. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/352769a0>>. Acesso em: 11 jul. 2018.

PEEBLES, P. J. E. et al. The Evolution of the Universe. **Scientific American**, v. 271, p. 52-57, 1991. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/scientificamerican1094-52>>. Acesso em: 13 jul. 2018.

PUZZO, D.; TREVISAN, R. H. Astronomia: a investigação da ação pedagógica do professor. In.: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 9., 2006, Londrina. **Anais...** Londrina: SBF, 2006.

RONAN, C. A. **História da Ciência Ilustrada**. São Paulo: Círculo do Livro, 1983. Volume 3.

SPARROW, G. **50 Ideias de Astronomia que você Precisa Conhecer**. São Paulo: Editora Planeta, 2018.

TYSON, N. G.; GOLDSMITH, D. **Origens: Catorze Bilhões de Anos de Evolução Cósmica**. São Paulo: Planeta, 2017.

VIEIRA, A. S. **Uma Alternativa Didática Às Aulas Tradicionais: o engajamento interativo obtido por meio do uso do Método Peer Instruction (instrução pelos colegas)**. 2014. 233 f. (Dissertação – Mestrado Acadêmico em Ensino de Física) – Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul., Porto Alegre, 2014.

WHEELER, J. A. Physics at the Planck Length. **International Journal of Modern Physics**. v. 8, n. 23, p. 4013-4018, 1993.

APÊNDICE A – TEXTO DE APOIO



Tarefa de Leitura 1



CAPÍTULO 1 - ESTRELAS

1. Introdução

Provavelmente, você já deve ter olhado para o céu a noite e refletido sobre a vida. Pensando o que seria cada pontinho brilhante no mesmo. Certa vez, alguém lhe contou que era uma estrela. Porém, talvez não tenha dado importância a essa informação. Já parou para pensar que denominamos estrela o Sol que emite tamanha energia aqui para Terra?

Muitas das estrelas que brilham em nosso céu são surpreendentemente maiores que o Sol, no entanto, parecem ser tão pequenas ao observamos devido ao fato de estarem muito mais afastadas de nós em comparação ao Sol.

Dessa forma, o que é uma estrela? Estrelas são esferas auto gravitantes de gás ionizado, cuja fonte de energia é a transmutação de elementos através de reações nucleares, isto é, da fusão nuclear de hidrogênio em hélio e, posteriormente, em elementos mais pesados.

Na figura 1, observa-se uma comparação do Sol com algumas estrelas que enxergamos a noite. A nossa estrela é a primeira da esquerda para direita, após é mostrada a estrela *Sirius* que é a estrela mais brilhante em nosso céu noturno, na sequência a estrela *Pólux* que é a estrela mais brilhante da constelação de Gêmeos e por fim a estrela *Arcuturus* que é a quarta mais brilhante de todo o céu e a mais brilhante de sua constelação (constelação do Boeiro). Obs.: na escala em que está a imagem o planeta Terra ocuparia 1 *pixel* da imagem, ou seja, um único ponto que não conseguiríamos vê-la.

Com essa comparação, é possível que se pergunte: por que o Sol Brilha?

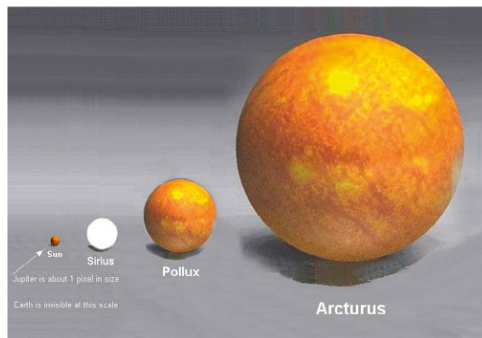


Figura 1 - A comparação das dimensões do Sol em relação a outras estrelas. Disponível em: <https://br.pinterest.com/pin/30188259974485907/>



2. Estrelas - O Sol e o Sistema Solar

O *Big Bang*, teoria que explica satisfatoriamente a Origem do Universo afirma que uma explosão originou toda a matéria existente atualmente no primeiro segundo de vida do Universo. Dessa forma, todos os prótons, nêutrons e elétrons que formam a matéria hoje surgiram nesse momento. A partir da ligação entre prótons e nêutrons, formaram-se os núcleos dos átomos de hidrogênio e hélio nos três minutos após o início da expansão. A formação dos átomos propriamente dita, pela ligação do elétron ao núcleo atômico, ocorreu por volta dos 300 mil anos de idade do Universo. À medida que ocorreu o resfriamento, formaram-se inúmeras nuvens de gás compostas basicamente de hidrogênio, o elemento mais simples. Estima-se que esse estágio, a formação de estrelas e galáxias, ocorreu após 1 bilhão de anos.

A formação de estrelas se deu a partir de nuvens moleculares de hidrogênio (H_2). Como essas nuvens são mais densas em alguns pontos e mais rarefeitas em outros, pela força gravitacional, partes das nuvens começaram a se contrair, formando então as estrelas.

O vídeo ao lado “Rockstar e a Origem do Metal” produzido pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP) ilustra um pouco mais esses fenômenos que estamos estudando.

Devido a flutuações de densidade, em alguns pontos da nuvem-mãe a concentração de gás e poeira pode ser alta o suficiente para que a matéria sofra contração sob o



Vídeo 1 - *Rockstar e a Origem do Metal*, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=wIEhSit1oEI>

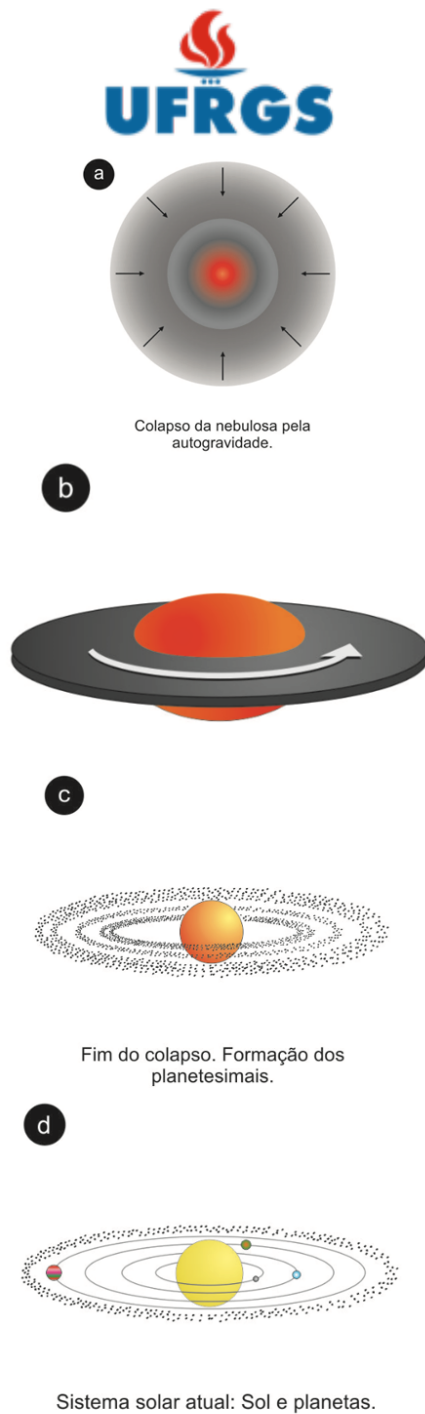


Figura 2 a,b,c,d - Etapas do processo de formação do Sistema Solar de acordo com o modelo da nebulosa solar. [C]

efeito da gravidade. Com isso, energia é transformada, causando o aquecimento da matéria, que por sua vez vai provocar a emissão de radiação do objeto. Nesta fase, esse objeto é conhecido como uma protoestrela.

Como surgiu, então, o sistema solar?

A hipótese moderna para a origem do sistema solar é baseada na hipótese nebular, sugerida em 1755 pelo filósofo alemão Immanuel Kant (1724-1804), e em 1796 desenvolvida pelo matemático francês Pierre-Simon de Laplace (1749-1827), em seu livro *Exposition du Systéme du Monde*. Laplace, que desenvolveu a teoria das probabilidades, calculou que como todos os planetas estão no mesmo plano, giram em torno do Sol na mesma direção, e também giram em torno de si mesmos na mesma direção (com exceção de Vênus), só poderiam ter se formado de uma mesma grande nuvem de partículas em rotação. Essa hipótese sugeria que uma grande nuvem rotante de gás interestelar, a nebulosa solar, colapsou para dar origem ao Sol e aos planetas. Uma vez que a contração iniciou, a força gravitacional da nuvem atuando em si mesma acelerou o colapso. À medida que a nuvem colapsava, a rotação da nuvem aumentava por conservação do momentum angular e, com o passar do tempo, a massa de gás rotante assumiria uma forma discoidal, com uma concentração central que deu origem ao Sol. Os planetas teriam se formado a partir do material no disco.

A figura 2 a, b, c, d ilustra o desenvolvimento do Sistema Solar descrito acima.

Tarefa de Leitura 2



3. Fusão Nuclear - O Brilho estelar

À medida que essa nuvem se contrai para formar uma estrela, a temperatura em seu centro aumenta drasticamente, sobretudo por causa do atrito entre os átomos e moléculas. A gravidade faz essa matéria se contrair ainda mais, até o ponto em que a temperatura atinge milhões de graus Celsius, o que permite o início da Fusão Nuclear. Nesse processo, prótons colidem e formam núcleos mais complexos. Inicialmente, o processo de fusão nuclear, em termos líquidos, produz um núcleo de hélio a partir de quatro núcleos de hidrogênio (prótons), liberando uma quantidade enorme de energia. Por isso, as estrelas brilham, emitindo luz para o espaço. Na figura 3 temos um esquema que relaciona a Temperatura, o Raio e a Densidade do Sol.

Podemos dizer que o Sol é uma estrela típica. A única diferença é que ele está muito próximo de nós, enquanto as outras estrelas, de tão longe, parecem que são muito pequenas e estáticas. A temperatura da superfície solar é cerca de 5800 °C e seu campo gravitacional, de 275 N/kg que é cerca de 28 vezes maior do que o terrestre. Ele é composto basicamente de hidrogênio que é transformado ininterruptamente em hélio. No entanto, as estrelas não são eternas. Elas estão sujeitas a um ciclo natural, em que, no fim de sua existência, algumas de suas características são brutalmente modificadas. De maneira mais simples, toda a estrela nasce, vive e morre e o Sol infelizmente viverá por mais cerca de 4,5 bilhões de anos. Pouco menos dos 5,5 bilhões que já viveu! O que acontecerá?

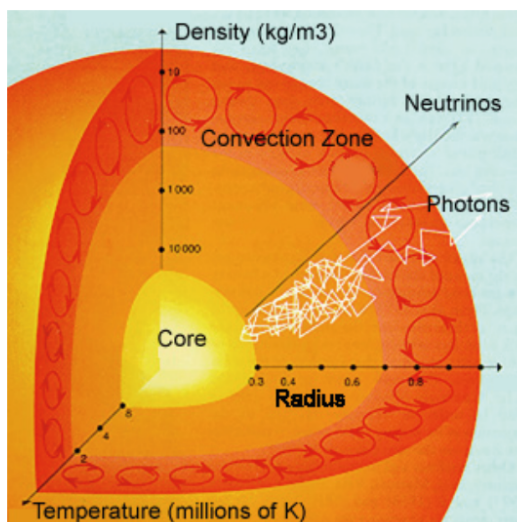


Figura 3 - Esquema que relaciona a temperatura em milhões de Kelvin, o raio solar e a densidade da região. disponível em: <http://cse.ssl.berkeley.edu/segwayed/lessons/sunspots/research2.html>

4. Evolução Estelar - Diagrama HR

O ciclo de vida das estrelas pode ser representado por uma tabela ou diagrama que relaciona o logaritmo da luminosidade (ou magnitude) com o logaritmo da temperatura superficial (ou tipo espectral), como mostra a Figura 4. Essa representação ficou conhecida como diagrama de Hertzsprung-Russel, ou simplesmente diagrama HR, cujo nome se deve aos cientistas que descobriram essa relação, o dinamarquês Ejnar Hertzsprung e o americano Henry Norris Russel.

Nesse tipo de diagrama, a temperatura aumenta no sentido contrário ao convencional, isto é, as estrelas com temperaturas maiores estão à esquerda. Os cientistas perceberam que a distribuição das estrelas não era uniforme, havendo aglomerações em determinadas regiões no diagrama. Verificou-se que grande parte das estrelas, cerca de 80%, se distribui em uma “linha preferencial”, chamada **sequência principal**, que se estende da parte superior esquerda do gráfico à inferior direita.

Na figura ao lado ao lado (Figura 4), apresentamos a posição de algumas estrelas, inclusive o Sol. Note, por exemplo, que a estrela α Centauri (alfa do Centauro) tem luminosidade e temperatura muito próximas do Sol. Já a *Sirius* é mais quente e mais luminosa.

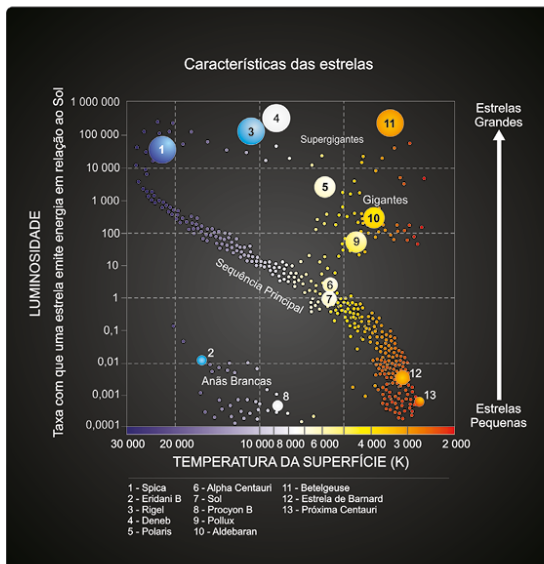


Figura 4 - Diagrama HR. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node2.htm>

Nesse diagrama também foi possível observar uma relação entre as cores das estrelas e da temperatura sua superfície. Você já reparou que as estrelas possuem cores?

Tipo	Cor	T(K)	Linhas proeminentes de absorção	Exemplos
O	Azul	30000	He ionizado (fortes), elementos pesados ionizados (OIII, NIII, SiIV), fracas linhas de H	Alnitak (O9) Mintaka (O9)
B	Azulada	20000	He neutro (moderadas), elementos pesados 1 vez ionizados	Rigel (B8)
A	Branca	10000	He neutro (muito fracas), ionizados, H (fortes)	Vega (A0) Sirius (A1)
F	Amarelada	7000	elementos pesados 1 vez ionizados, metais neutros (FeI, CaI), H (moderadas)	Canopus (F0)
G	Amarela	6000	elementos pesados 1 vez ionizados, metais neutros, H (relativamente fracas)	Sol (G2) Alfa Cen (G2)
K	Laranja	4000	elementos pesados 1 vez ionizados, metais neutros, H (fracas)	Aldebaran (K5) Arcturos (K2)
M	Vermelha	3000	Átomos neutros (fortes), moleculares (moderadas), H (muito fracas)	Betelgeuse (M2)

Tabela 1 - Relação entre a Temperatura Superficial e a cor de uma estrela.

Se você olhar atentamente para o céu noturno, poderá observar que algumas estrelas azuis parecem mais esbranquiçadas, enquanto outras são bem avermelhadas. Na Tabela 1, mostramos a relação entre a temperatura superficial e a cor de uma estrela.

O principal fator que determina a temperatura de uma estrela é sua massa. Quanto maior a massa da estrela, mais quente e luminosa ela será.

Falamos que a maioria das estrelas se encontra na sequência principal, mas como estão distribuídas as estrelas restantes? Simplicadamente, em três grupos: **gigantes**, **super-gigantes** e **anãs brancas**.

Dizemos que uma estrela nasce quando a temperatura no interior da protoestrela é alta o suficiente para iniciar a fusão do hidrogênio em hélio. A partir desse instante, a estrela já possui uma posição definida



Figura 5 - Fotografia tirada com o telescópio *Hubble* em homenagem ao filme *Star Wars VII: O Despertar da Força*. Disponível em: https://photojournal.jpl.nasa.gov/jpegMod/PIA16022_modest.jpg



no diagrama HR na sequência principal. A partir desse instante, a estrela já possui uma posição definida no diagrama HR na sequência principal.

Na figura 5, percebemos uma nebulosa planetária emitindo luz que foi fotografada pelo telescópio *Hubble* na época do lançamento do filme *Star Wars VII: O Despertar da Força* (2015). Por parecer um sabre de luz, devido à emissão da mesma foi feita alusão ao filme.

Assim, podemos perguntar por que “aparecem” essas outras estrelas em regiões diferentes da sequência principal. Elas “aparecem” nessas regiões por causa das grandes mudanças que ocorrem em suas características físicas (temperatura, raio e luminosidade) no fim de seu ciclo de existência. O fator determinante na evolução estelar é sua massa; basicamente, podemos ter três diferentes cenários para o estágio de uma estrela.

Em geral, as estrelas ficam a maior parte do tempo estáveis na sequência principal e, quando o principal combustível da fusão nuclear, o hidrogênio, começa a se esgotar no centro da estrela, ela inicia uma “rápida” evolução para os estágios finais de vida. Falamos rápida entre aspas porque, para escala de tempo de um ciclo de vida estelar, isso significa milhares de anos. Fazendo uma comparação superficial, estrelas de baixa massa, como o Sol, podem viver cerca de 10 bilhões de anos, estrelas de grandes massa vivem bem menos, algumas centenas de milhões de anos. Vamos dar uma olhada nos momentos finais das estrelas, que, como já dissemos, dependem de sua massa inicial.

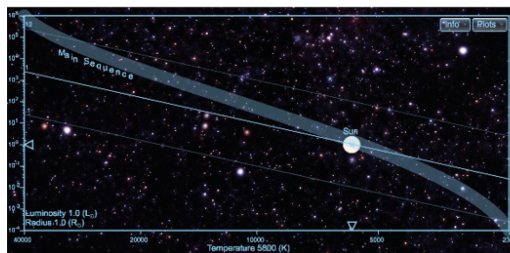


Figura 6 - Simule você mesmo nesse aplicativo virtual. Disponível no link: <http://astro.unl.edu/mobile/HRdiagram/HRdiagramStable.html>



Na figura 6 está disponível um *link* que você pode criar as próprias estrelas de acordo com a sua massa e também selecionar a velocidade da animação. Experimente criar algumas estrelas. Tente criar o Sol. Abra a página e vá até o último aplicativo cujo nome é: *H-R Diagram*.

Como já podemos perceber, ocorre uma disputa entre a força gravitacional (força de compressão) e a força das reações nucleares (força de repulsão) dentro de uma estrela.

Dessa forma, a energia que a estrela envia para o Universo pode ser calculada através da equação:

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2,$$

na qual: ΔE representa a energia enviada; Δm representa a diferença de massa entre os núcleos antes da reação nuclear e após a reação nuclear; e c representa a velocidade da luz.

O Sol, por exemplo, com essa emissão de energia ocorre uma diminuição de sua massa e consequentemente a força gravitacional tende a diminuir. Resultando em uma expansão da estrela até um determinado momento que entra em colapso devido ao fato do “combustível” nuclear (núcleo de hidrogênio) acabar e sua temperatura e pressão diminuirão. Então o interior da estrela não suportará mais o peso das camadas externas e será colapsando e atingindo uma temperatura suficiente para fundir os núcleos de hélio formando núcleos de carbono e oxigênio.

Dessa forma, o Sol volta a se expandir, tornando-se assim uma Gigante Vermelha. Antes de chegar ao colapso final já terá expandido aniquilando os primeiros planetas do sistema solar (Mercúrio, Vênus e provavelmente a Terra). Essa expansão durará até queimar todo o hélio presente no núcleo, no momento em que esse combustível terminar se torna-



Vídeo 2 - *Vida e Morte das Estrelas* [trecho exibido 12:15~17:15]. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=8ukPayLNdq4>



rá altamente instável jorrando as camadas externas para o espaço na forma de ondas eletromagnéticas tornando-se uma anã-branca. No vídeo 2, temos uma simulação juntamente com uma explicação desse fenômeno.

5. Morte estelar.

Nas estrelas de massa entre 0,8 e 1,0 vezes a massa solar, conforme a maior parte do hidrogênio é consumida, seu núcleo se contrai, ficando mais denso e quente. Conforme vimos no Capítulo 4. Na Figura 7, que é uma concepção artística, temos um exemplo de uma morte de uma estrela com a expansão dos gases ao redor da mesma. Essas mudanças fazem a estrela, originalmente na sequência principal no diagrama HR, mudar de lugar, ascendendo ao ramo das gigantes e posteriormente à região das anãs brancas.

Observe o diagrama HR apresentado anteriormente e veja que, nessas estrelas (gigantes e anãs brancas), a relação entre luminosidade e temperatura é muito diferente das presentes na sequência principal.

As estrelas menores, ou seja, abaixo de 0,8 da massa solar, após consumirem o hidrogênio, passam diretamente para a fase das anãs brancas. Às vezes, após alguns milhões de anos, quando a anã branca se resfria totalmente, ela pode receber o nome de anã negra, mas esse objeto é de difícil identificação por não produzir mais energia em seu núcleo.

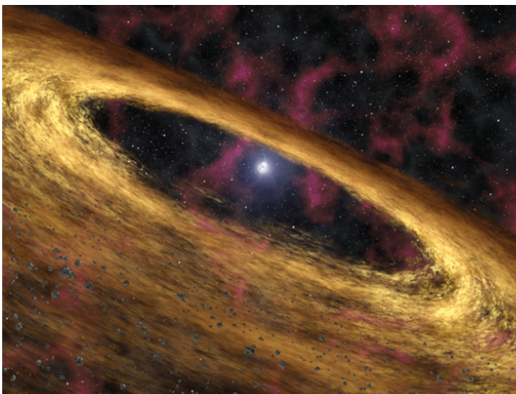


Figura 7 - Concepção artística de uma estrela pulsar. Disponível em: <https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/?IDNumber=PIA08040>



Já as estrelas com massa muito maior que o Sol, ao saírem da sequência principal, tornam-se supergigantes vermelhas. Enquanto as estrelas menores apenas transformam o hidrogênio em hélio, as estrelas maiores podem, por meio de outras reações, gerar todos os elementos da tabela periódica, do hélio ao ferro.

Com o núcleo composto de elementos mais pesados, a estrela passa por instabilidades mais intensas, entra em colapso e explode (ou de certa maneira implode) em um evento extremamente energético chamado **supernova**. Foi um evento similar a esse que Tycho Brahe observou no céu em 1572, na constelação de Cassiopeia. A Figura 8 apresenta uma imagem dessa supernova.. Uma supernova tem sua luminosidade comparada com a de toda uma galáxia durante alguns dias. Após a explosão grande parte da matéria é ejetada para o espaço. O núcleo restante só pode ser analisado com a Física Quântica e a Relatividade Geral; portanto, é de difícil descrição e explicação para nossos estudos. Mas no centro podemos ter a formação do que chamamos **estrela de nêutrons** ou **buraco negro**, dependendo de sua massa inicial.



Figura 8 - Supernova observada por Tycho Brahe. Disponível em: <https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA16606>

Para estrelas que têm entre 10 e 25 massas solares, o resultado final é uma estrela de nêutrons. Durante o intenso colapso gravitacional, forma-se uma esfera de matéria muito concentrada, com apenas algumas dezenas de quilômetros. Com isso os espaços interatômicos deixam de existir e os prótons e os elétrons são obrigados a se combinar formando os nêutrons.

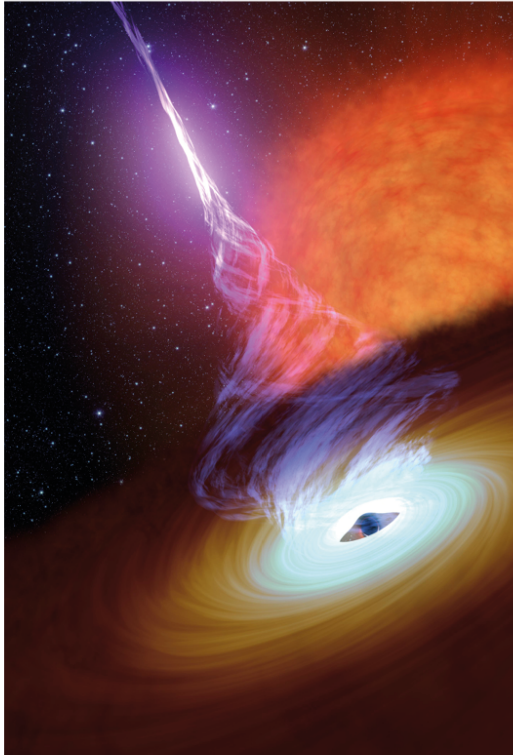


Figura 9 - Uma concepção artística de um buraco negro. Disponível em: <https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA22085>



Quando as estrelas têm acima de 25 massas solares, o colapso gravitacional é ainda mais intenso. A violentíssima contração resulta em um corpo muito denso, os chamados buracos negros.

Não enxergamos um buraco negro, uma vez que toda luz é capturada pela imensa atração gravitacional. No entanto, podemos estudar alterações que um buraco negro provoca ao seu redor com velocidade próxima à velocidade da luz. Nesse momento, pode emitir muita energia, na forma de raio X, e formar jatos perpendiculares ao disco conforme percebemos na Figura 9. Outra forma de detectar um buraco negro é estudar a sua influência gravitacional em objetos próximos ou, ainda, verificar o desvio ou a distorção que a luz de outros objetos sofre ao passar nas imediações dele. Chamamos esse efeito de lente gravitacional.

Para resumir todos os cenários de evolução estelar na Figura 10 apresentamos um resumo com os estágios finais separados conforme a massa inicial da estrela.

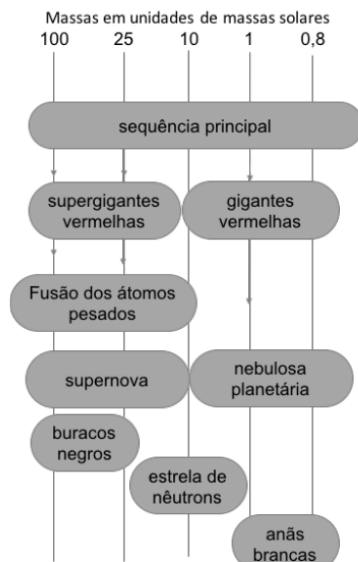


Figura 10 - possíveis cenários da evolução de uma estrela. [A]



Referências:



Referências:

- GREGORIO-HETEM, Jane; JATENCO-PEREIRA, Vera; OLIVEIRA, Claudia Mendes de. **FUNDAMENTOS DE ASTRONOMIA - Apostila: Capítulo 12**. 2010. Disponível em: <<http://www.astro.iag.usp.br/~jane/aga215/apostila/cap12.pdf>>. Acesso em: 01 out. 2017.
- HAWKING, S. **Uma Breve História do Tempo**. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2015.
- HAWKING, S. **O Universo numa Casca de Noz**. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2016.
- HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.
- HORVATH, J. E. **ABCD da Astronomia e Astrofísica**. São Paulo: Livraria da Física, 2008.
- KEPLER; SARIVA; OLIVEIRA M. F. **S Astronomia e Astrofísica**. Editora Livraria da Física - 4ª Edição. 614p. - USP - SÃO PAULO - 2017.
- NOGUEIRA, S. **Astronomia: ensino fundamental e médio**. Brasília: MEC; SEB; MCT; AEB, 2009. Volume 11.
- PIETROCOLA, Maurício et al. **Física em contextos.: Movimentos**. São Paulo: Ftd, 2011. 400 p. Outros autores: Alexander Pogibin; Renata de Andrade; Talita Raquel Romero.
- SPARROW, G. **50 Ideias de Astronomia que você Precisa Conhecer**. São Paulo: Editora Planeta, 2018.

APÊNDICE B –TAREFA DE LEITURA 1

Olá, você acabou de ler o texto de apoio 1. Agora responda as perguntas abaixo para que a próxima aula seja preparada de acordo com a leitura de vocês. Essa primeira parte será apenas para identificação.

Qual seu nome?

1. a. Você achou alguma coisa confusa no texto lido?

() Sim () Não

b. Se você achou algo confuso, poderia informar qual(is) parte(s) do texto você achou confusa?

c. Dentre os conceitos que você compreendeu, destaque aquele(s) que você achou mais importante ou interessante.

Questões Conceituais.

2. O que é uma estrela?

3. Por que o movimento de translação de todos os planetas no sistema solar ocorre no mesmo sentido?

4. (Unisinos 2016) A origem da energia solar, no Sol, ocorre a partir

- a) da combustão de substâncias que contêm carbono.
- b) da fissão nuclear do hidrogênio.
- c) da fissão nuclear do urânio.
- d) da fusão nuclear do hidrogênio.

e) da fusão nuclear do urânio.

Teste de confiança.

Marque a alternativa que melhor expressa o seu nível de confiança nas respostas descritas acima.

- a) Nenhuma confiança.
- b) Alguma confiança.
- c) 100% de confiança.

APÊNDICE C – TAREFA DE LEITURA 2

Olá, você acabou de ler o texto de apoio 2. Agora responda as perguntas abaixo para que a próxima aula seja preparada de acordo com a leitura de vocês. Essa primeira parte será apenas para identificação.

Qual seu nome?

1. a. Você achou alguma coisa confusa no texto lido?

() Sim () Não

b. Se você achou algo confuso, poderia informar qual(is) parte(s) do texto você achou confusa?

c. Dentre os conceitos que você compreendeu, destaque aquele(s) que você achou mais importante ou interessante.

Questões Conceituais.

2. As estrelas podem ser consideradas fábricas de elementos químicos? Explique.

3. Em que região do diagrama HR, as estrelas passam a maior parte de sua vida?

- a) Sequência Principal.
- b) Sequência de Buracos Negros.
- c) Sequência Secundária.
- d) Sequência de Newton.

4. Como os buracos negros podem ser detectados se eles não são vistos?

- a) São descobertos e analisados diretamente através da luz visível que emitem.
- b) São descobertos e analisados indiretamente, observando-se através das alterações gravitacionais que fazem na região de sua vizinhança.

- c) São descobertos e analisados estaticamente pois emitem muita luz visível.
- d) Não é possível detectar um buraco negro.

Teste de confiança.

Marque a alternativa que melhor expressa o seu nível de confiança nas respostas descritas acima.

- a) Nenhuma confiança.
- b) Alguma confiança.
- c) 100% de confiança.

APÊNDICE D - QUESTÕES CONCEITUAIS

1. Leia o texto abaixo:

Agora é oficial: somos mesmo feitos de poeira de estrela

Pesquisa mostra que tanto os seres humanos quanto os astros brilhantes possuem 97% do mesmo tipo de átomos

(Disponível em: <http://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2017/01/agora-e-oficial-somos-mesmo-feitos-de-poeira-de-estrela.html>)

Uma pesquisa comprovou o que Carl Sagan já falava há tempos: os humanos realmente são feitos de poeira de estrela. Depois de analisar 1500 estrelas, astrônomos chegaram à conclusão de que tanto os seres humanos quanto os astros brilhantes possuem 97% do mesmo tipo de átomos.

Constataram ainda que os elementos essenciais para a vida como a conhecemos (hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, fósforo e enxofre) são mais prevalentes nas estrelas que estão no centro da galáxia.

A questão é: como os astrônomos sabem quais elementos compõem as estrelas se eles não conseguem chegar até elas? Elementar, meu caro Watson. Eles usam uma técnica conhecida como espectroscopia.

É assim: cada elemento emite um comprimento de onda de luz diferente, é como se cada um tivesse sua própria marca. Assim, analisando cada “marca”, os cientistas conseguem distinguir de qual elemento é aquela emissão, que foi captada com um instrumento chamado espectrógrafo.

O espectrógrafo, neste caso, tem nome e sobrenome: trata-se do *Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment (APOGEE)*, que fica no estado norte-americano do Novo México.

“É de grande interesse poder mapear todos os principais elementos do corpo humano nas estrelas da nossa Via Láctea”, afirmou Jennifer Johnson, participante da equipe da SDDS-III APOGEE, que fez a descoberta. “Isso nos permite ver onde e quando a vida passou a ter os elementos necessários para evoluir na galáxia.”

No texto ele menciona que 97% dos astros que brilham no céu são os mesmos presentes no corpo humano. Dessa forma, o Sol tem uma “marca” específica de acordo com a emissão. A origem da energia solar, no Sol, ocorre a partir

- a) da combustão de substâncias que contêm carbono.
- b) da fusão nuclear do hidrogênio.
- c) da fusão nuclear do urânio.
- d) da fissão nuclear do hidrogênio.

2. A massa de uma estrela influencia no seu tempo de vida. Pois quanto maior a massa maior deve ser a temperatura da estrela para que consiga fazer a fusão nuclear dos elementos químicos no interior da mesma. Dessa forma, assinale a alternativa correta.

- a) Com o aumento da massa aumenta o tempo de duração da estrela pois terá mais combustível para queimar.
- b) Não existe relação entre o tempo de duração de uma estrela e sua massa.
- c) Com a diminuição da massa o tempo de vida de uma estrela diminui.
- d) Com o aumento da massa diminui o tempo de duração da estrela já que necessitará atingir maior temperatura e com isso consumirá mais rapidamente seu combustível.

3. Por que o movimento de translação de todos os planetas no sistema solar ocorre no mesmo sentido?

4. O diagrama H-R é um gráfico que relaciona:

- a) cor versus temperatura
- b) H versus R
- c) luminosidade versus tipo espectral
- d) luminosidade versus magnitude absoluta

5. O _____, teoria que explica satisfatoriamente a Origem do Universo afirma que uma explosão originou toda a matéria existente atualmente no primeiro segundo de vida do Universo. Uma comprovação que o Universo continua se expandindo é o _____ que é o desvio da frequência da Radiação de Fundo do Universo para frequências menores.

Marque a alternativa que preenche, respectivamente, as lacunas do texto acima de maneira correta.

- a) *Big Crush; Red Shift.*
- b) *Big Bang; Red Shift.*
- c) *Big Crush; Blue Shift.*
- d) *Big Bang; Blue Shift.*

APÊNDICE E – SLIDES UTILIZADOS NA AULA 1

Estrela e a formação do sistema solar.

Prof. Thiago Cestari

1

O que é uma estrela?

- Um astro que possui luz e calor em altos níveis causados pela fusão de hélio e hidrogênio
- São esferas auto gravitantes de gás ionizado, cuja a fonte de energia é a transmutação de elementos através de reações nucleares, isto é, da fusão nuclear de hidrogênio em hélio e, posteriormente, em elementos mais pesados
- São esferas auto gravitantes de gás ionizado, cuja fonte de energia é a transmutação de elementos através de reações nucleares.
- São esferas auto gravitantes de gás ionizado, cuja fonte de energia é a transmutação de elementos através de reações nucleares
- Uma esfera com fonte de energia da fusão de hidrogênio e hélio.
- Um astro que tem calor e luz própria
- Nuvem molecular de hidrogênio
- É um corpo celeste e tem luz própria.
- São esferas com auto gravitante com gás ionizado.

2

Por que o movimento de translação de todos os planetas no sistema solar ocorre no mesmo sentido?

O matemático Pierre-Simon de Laplace, que desenvolveu a teoria do filósofo Immanuel Kant, desenvolveu a teoria das probabilidades, calculou que como todos os planetas estão no mesmo plano, giram em torno do Sol na mesma direção e também giram em torno de si mesmos na mesma direção (exceto Vênus), eles só poderiam ter se formado de uma mesma grande nuvem de partículas em rotação. Essa hipótese sugeria que uma grande nuvem rotante de gás interestelar (nebulosa solar) colapsou para dar origem ao Sol e aos planetas.

Segundo o matemático francês Pierre Simon, eles foram formados por uma mesma nuvem de gás interestelar...

Por causa de uma grande nuvem rotante que estava em colapso (???)

Porque eles foram formados a partir de uma grande nuvem de partículas em rotação.

Todos os planetas estão no mesmo plano, giram em torno do sol na mesma direção e também giram em torno de si mesmo na mesma direção

Por causa de uma grande nuvem de partícula em rotação

Porque a terra gira de oeste para leste e os demais planetas do sistema solar fazem o mesmo movimento

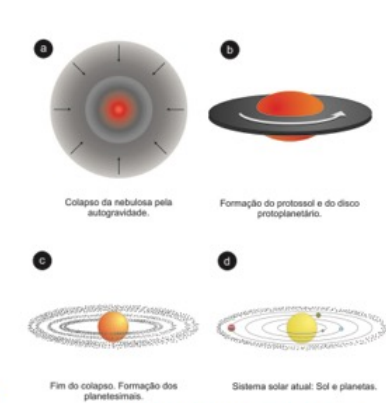
Laplace, que desenvolveu a teoria das probabilidades, disse que como todos os planetas estão no mesmo plano, eles girariam em torno do sol no mesmo sentido e direção.

Porque todos são atraídos pela gravidade do sol

3



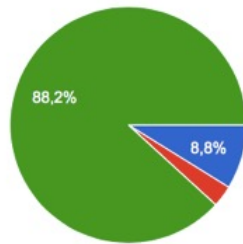
Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/NGC_2579



Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/livro.pdf>

4

(Unisinos 2016) A origem da energia solar, no Sol, ocorre a partir

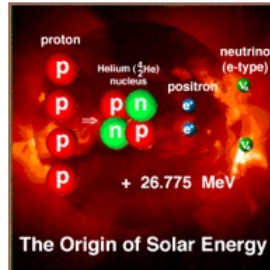


- da combustão de substâncias que contêm carbono.
- da fissão nuclear do hidrogênio.
- da fissão nuclear do urânio.
- da fusão nuclear do hidrogênio.
- da fusão nuclear do urânio.

5

Sol.

- Reação nuclear:

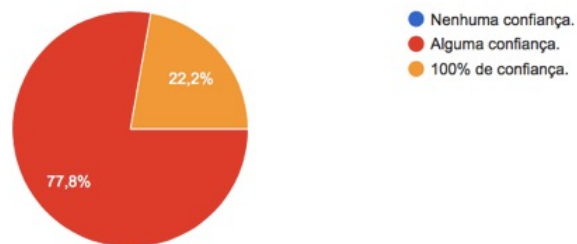


Disponível em: <http://portal.if.usp.br/fnc/pt-br/página-de-livro/fusão>

6

Teste de confiança:

- Marque a alternativa que melhor expressa o seu nível de confiança nas respostas descritas acima.



7

APÊNDICE F – SLIDES UTILIZADOS NA AULA 5

Evolução das Estrelas e Diagrama H-R

Prof. Thiago Cestari

1

2. As estrelas podem ser consideradas fábricas de elementos químicos?

- Depende do tamanho da estrela. As estrelas maiores, conseguem produzir muitos elementos da tabela periódica, do hélio ao ferro, enquanto estrelas menores apenas fundem hidrogênio em hélio.
- Sim, todos os elementos são criados nas estrelas a partir de fusões nucleares que partem do H, e vão fundindo consecutivamente os átomos até o núcleo ficar denso o suficiente para fundir o núcleo dos átomos maiores.
- Não....
- Sim, as estrelas são compostas de elementos químicos
- Sim, todos os elementos que conhecemos na natureza, são produzidos nos núcleos estelares em condições bem específicas de temperatura e pressão. Durante este processo ocorre também a produção de energia pelas estrelas.

2

Representação do interior de uma estrela com massa superior a massa do Sol.

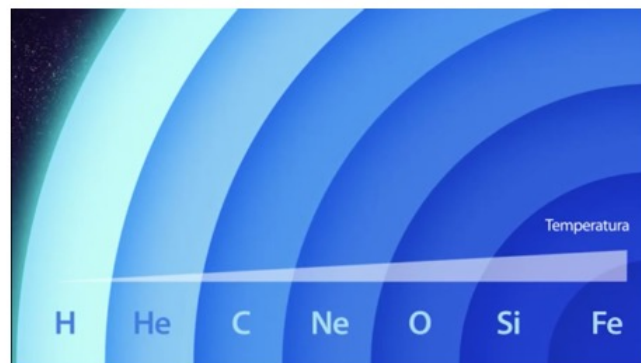
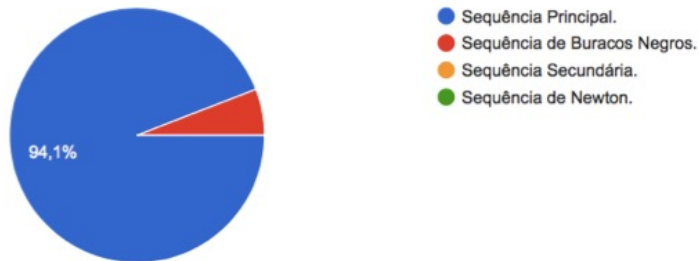


Imagem extraída do Vídeo "Rockstar e a Origem do Metal". Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=wEhSl1oEI>

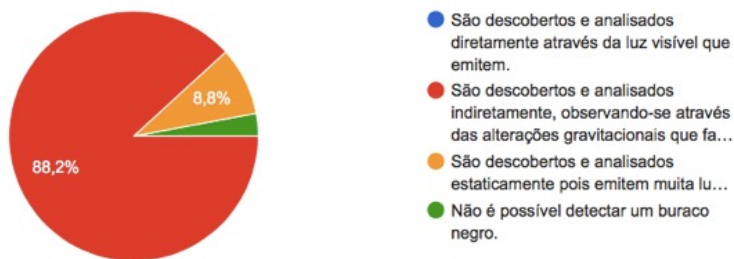
3

3. Em que região do diagrama HR, as estrelas passam a maior parte de sua vida?



4

4. Como os buracos negros podem ser detectados se eles não são vistos?



6

Diagrama Hertzsprung-Russel

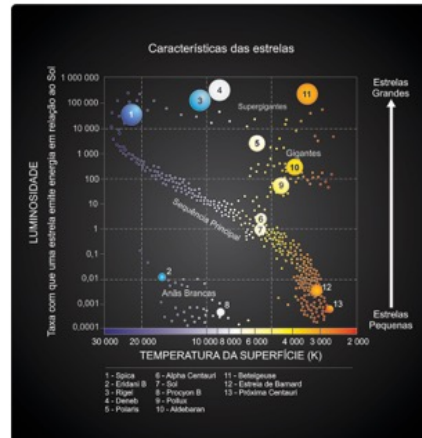
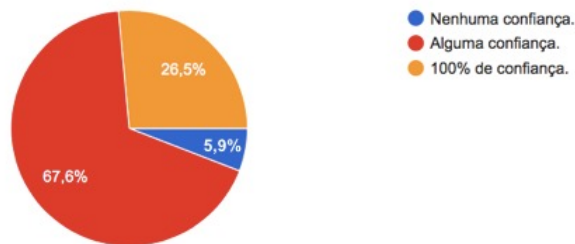


Diagrama HR. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node2.htm>

5

Teste de confiança:

- Marque a alternativa que melhor expressa o seu nível de confiança nas respostas descritas acima.



7

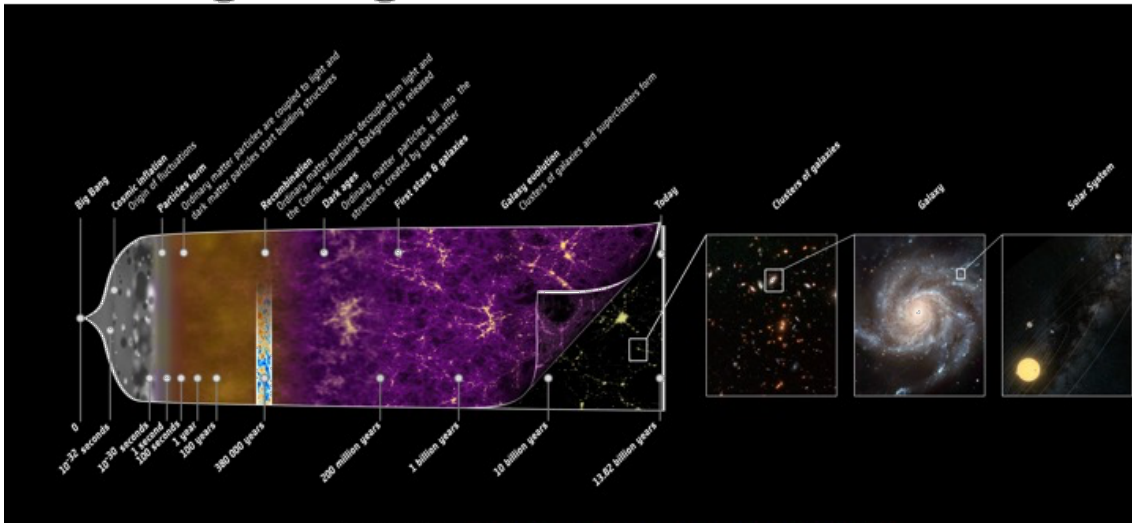
BIG BANG E A EXPANSÃO DO UNIVERSO.

Professor Thiago Cestari

Pergunta Inicial:

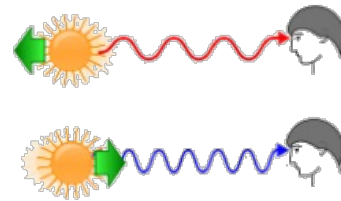
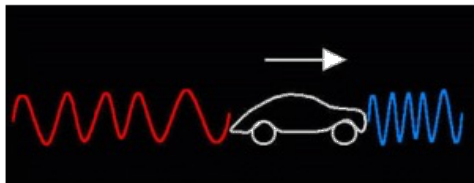
- Como é possível ter toda essa quantidade de hidrogênio no universo para que todas essas estrelas façam a fusão nuclear?
 - Por qual motivo você acha que o hidrogênio e o hélio são os elementos mais abundantes do universo?
-

Big Bang:



Disponível em: <https://photojournal.jpl.nasa.gov/tiff/PIA16876.tif>

Efeito Doppler





Apêndice G – Produto Educacional



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



PRODUTO EDUCACIONAL

Uma Proposta de Ensino de Fundamentos de Astronomia e Astrofísica via
Ensino sob Medida

Autor: Thiago Nunes Cestari
Orientador: Prof. Dr. Márcio Gabriel dos Santos
Coorientador: Prof. Dr. Rafael Aislan Amaral

Tramandaí, RS, Brasil
Agosto/2018

Apresentação

Estimado(a) professor(a):

A observação astronômica sempre fez parte da vida dos seres humanos e é considerada a primeira ciência feita pelo homem e o berço da Física. Além disso, possibilita a interação da Física com diversas outras disciplinas como matemática, química e biologia. Infelizmente, muitas vezes é esquecida nos currículos do Ensino Médio e do ensino superior bem como nos livros didáticos.

Dessa forma, esse produto educacional consiste em uma sequência didática para o ensino de tópicos de Astronomia e Astrofísica para uma turma de primeira série do Ensino Médio utilizando o método ativo de ensino denominado Ensino sob Medida (EsM).

O método ativo de ensino empregado na sequência didática possui o intuito de proporcionar maior envolvimento dos estudantes no processo de aprendizagem. Esse método também proporciona aos estudantes um contato prévio com os conteúdos e ao professor uma ideia dos conhecimentos prévios com as respostas sendo possível então selecionar estratégias de ensino específicas para a turma.

Portanto, além de proporcionar o engajamento dos estudantes do Ensino Médio de Física essa sequência possibilita que outros professores interessados em inserir esses fundamentos de astronomia possam desfrutar desse material previamente elaborado bem como a compreensão dos fenômenos abordados.

Caso queira reforçar seus conceitos para a melhor elaboração da aula, é sugerido que leia o Capítulo 3 da dissertação que resultou da aplicação desse Produto Educacional. Podes, ainda, utilizá-lo como Tarefa de Leitura para os seus estudantes.

Sumário

1. Planejamento das aulas	1
1.1 Aula 1	1
1.2 Aula 2	1
1.3 Aula 3	2
1.4 Aula 4	3
1.5 Aula 5	4
1.6 Aula 6	7
2. Texto de Apoio, Tarefas de Leitura e Slides utilizados.	8
2.1 Texto de apoio 1	8
2.2 Tarefa de Leitura 1	12
2.3 Texto de apoio 2	14
2.4 Tarefa de Leitura 2	21
3. Questionário de opiniões	23
4. Questões conceituais	24
Referências	26

1. Planejamento das aulas

A elaboração de todo o material didático, assim como a sua aplicação, levou em conta os aspectos centrais da Teoria de Aprendizagem Significativa de David Ausubel. Esse material foi planejado para ser executado em 5 aulas de 50 minutos cada. Nos planos de aula serão disponibilizados todos os materiais utilizados. Ressalta-se que outras estratégias de ensino podem ser elaboradas a partir da especificidade da turma, pois o método EsM permite ao professor escolher as estratégias mais adequadas de acordo com as respostas dos estudantes.

1.1 Aula 1

Tema da aula: explicação do método e do papel dos estudantes nessas aulas.

Duração: 50 minutos

Objetivos específicos:

- Desenvolver nos estudantes a compreensão da importância de realizar as tarefas de leitura no prazo.

- Engajar os estudantes nas aulas que o método foi utilizado.

Estratégias de ensino utilizadas:

- Explicar o método ativo de ensino para a compreensão e engajamento dos estudantes.

- Informar que a primeira tarefa de leitura (disponível no próximo capítulo) já está disponível bem como seu questionário.

1.2 Aula 2

Tema da aula: *Big Bang* à Formação do Sistema Solar

Duração: 50 minutos

Objetivos específicos:

- Compreender o conceito de estrela;

- Estabelecer uma comparação entre o Sol e todas as outras estrelas;

- Compreender a formação do sistema solar;

- Relacionar a fusão nuclear como o principal processo de obtenção de energia emitida pelas estrelas.

Conteúdos:

- Estrelas;
- Formação do sistema solar;
- Fusão nuclear.

Estratégias de ensino utilizadas:

- Iniciar a aula com a exibição das respostas às Tarefas de Leitura como base para uma discussão. Estimulando, assim, os estudantes a identificarem o que tem de correto ou de incorreto nas respostas dos colegas.

- Elaborar estratégias de ensino de acordo com as dúvidas dos estudantes. Por exemplo, a exibição do vídeo “*Rockstar e a origem do metal*” elaborado pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo disponível no *link*: <https://youtu.be/wIEhSlt1oEI> pode auxiliar na elucidação de alguns conceitos.

1.3 Aula 3

Um exemplo que pode ser considerado é a exibição do episódio “*A Vida e a Morte de uma Estrela*” da série “*O Universo*” do canal *History* para sanar alguma dúvida que dos conceitos trabalhados na Aula 2 bem como introduzir os conceitos que serão abordados na TL2. Ressalta-se apenas que, caso utilize a versão dublada da série há um erro de dublagem no qual o apresentador se refere as estrelas de maior massa como mais maciça, enquanto, o correto seria mais massiva.

Tema da aula: *Big Bang* à Formação do Sistema Solar

Duração: 50 minutos

Objetivos específicos:

- Compreender o conceito de estrela;
- Estabelecer uma comparação entre o Sol e todas as outras estrelas;
- Compreender a formação do sistema solar;
- Compreender o processo de fusão nuclear;
- Relacionar a fusão nuclear como o principal processo de obtenção de energia emitida pelas estrelas.

Conteúdos:

- Estrelas;
- Formação do sistema solar;
- Fusão nuclear.

Estratégias de ensino utilizadas:

-Exibição do episódio da série cuja duração é de 44 minutos. Disponível no link: <https://vimeo.com/181712659>

1.4 Aula 4

Nessa aula os alunos serão divididos em pequenos grupos, sendo feita em seguida a seguinte pergunta: O tempo de vida de uma estrela que tenha o dobro da massa do Sol será maior ou menor que o tempo de vida do mesmo? Os grupos terão, então alguns minutos para pensar em uma resposta e enquanto isso o professor poderá passar pelos grupos para visualizar a maneira que o debate estará sendo conduzido.

Tema da aula: Evolução Estelar

Duração: 50 minutos

Objetivos específicos:

- Compreender a evolução estelar;
- Relacionar à massa com a temperatura no interior de uma estrela;
- Relacionar à massa ao tempo de vida de uma estrela.

Conteúdos:

- Evolução Estelar.

Estratégias de ensino utilizadas:

- Separar a turma em grupos (3 a 4 componentes) para que discutam em relação à seguinte pergunta: O tempo de vida de uma estrela que tenha o dobro da massa do Sol será maior, menor ou igual ao o tempo de vida do mesmo?

- Utilize as ideias dos estudantes para realizar uma breve exposição oral (5~10min). Espera-se que surjam duas ideias: a primeira afirmando que essa estrela tendo o dobro da massa do Sol teria o dobro do tempo de vida, já que teria mais “combustível” e a segunda afirmando que essa estrela teria menor tempo de vida já que a grande massa da estrela aumentaria a temperatura em seu núcleo e com isso consumiria mais rapidamente sua massa do que o Sol. Ressaltando que a segunda ideia é a correta visto

- Avisar os estudantes que a TL2 já estará disponível para ser respondida após a leitura do Texto de apoio 2 (somente as páginas de 5 à 12 foram disponibilizadas).

1.5 Aula 5

Tema da aula: Evolução Estelar

Duração: 50 minutos

Objetivos específicos:

- Interpretar um diagrama H-R, reconhecendo nele os diferentes estágios da evolução estelar.

- Explicar o conceito de expansão do universo e as evidências experimentais que o suportam.

Conteúdos:

- Nucleossíntese;

- Diagrama HR;

- Cosmologia.

Estratégias de ensino utilizadas:

- Iniciar a aula com a exibição de algumas respostas dos estudantes em relação à pergunta 2 da TL2 para que os estudantes sejam estimulados e valorizados.

- Breve exposição oral (5~10min) A partir da resposta dos estudantes será ressaltado que por maior que seja a massa de uma estrela não conseguirá formar elementos superiores ao ferro. Para auxiliar na representação pode ser utilizada uma imagem do vídeo "*Rockstar e a Origem do Metal*" conforme mostra a Figura 1. Com isso, elementos, cuja a massa atômica é maior, são formados apenas nas supernovas.

Figura 1 – *Slide* demonstra o interior aquecido de uma estrela atingindo no máximo o elemento químico ferro (Fe).

Representação do interior de uma estrela com massa superior a massa do Sol.

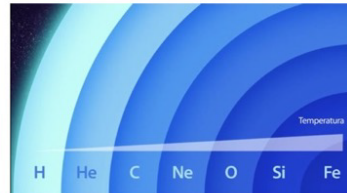


Imagem extraída do Vídeo "Rockstar e a Origem do Metal", Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=4b581TefI>

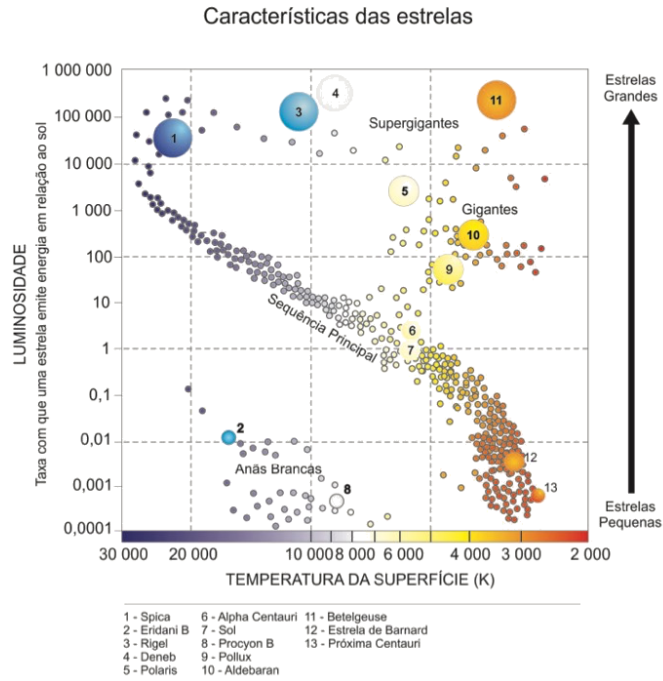
Fonte: *Slides* feito pelo autor do trabalho.

- Dependendo do índice de respostas alguns conceitos podem ser abordados de maneira mais rápida. Geralmente, quando o assunto é referente aos Buracos Negros chamam atenção dos estudantes. Dessa forma, o Texto de Apoio pode-se mostrar suficiente para compreensão dos conceitos desejados. Caso não seja, algumas estratégias que podem ser abordadas como a exibição de um trecho do filme de ficção *Interestelar* no qual os tripulantes se aproximam de um buraco negro (disponível em: <https://youtu.be/Nhyez9eVAh8>).

- Breve exposição oral (5~10min) sobre a parte histórica do diagrama HR, representado na Figura 2, fazendo referência aos cientistas Ejnar Hertzsprung (1873-1967) e Henry Norris Russell (1877-1957) que publicaram trabalhos independentes apontando para uma relação existente entre a luminosidade de uma estrela e sua temperatura efetiva. Como alternativa, pode-se usar o mesmo simulador que a Tarefa de Leitura 2 indica ilustrado na Figura 3.

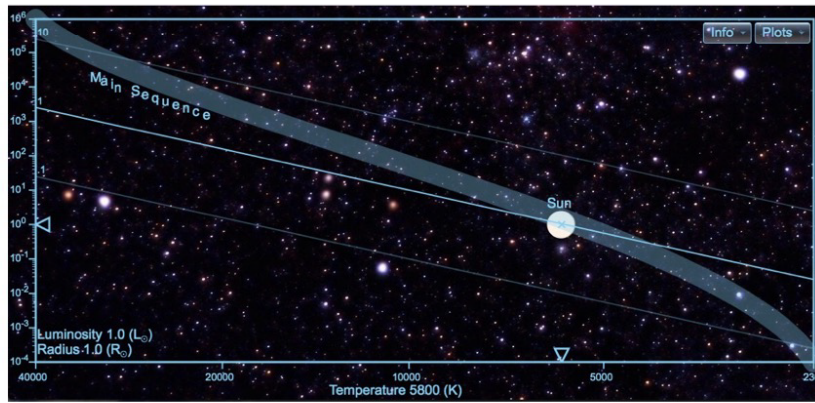
- Questionar os estudantes sobre como era possível ter toda essa quantidade de hidrogênio no universo para que todas essas estrelas façam a fusão nuclear? Por que teria tanto hidrogênio e tanto Hélio? Para que eles percebam que as estrelas, ao realizarem a nucleossíntese, produzem elementos químicos cada vez mais pesados. Esse fato comprova que o universo surge de uma evolução na qual a gravidade vai unindo a matéria só faria sentido se o universo surge a partir do *Big Bang*. Bem como o desvio da radiação de fundo para o vermelho que comprova que essa radiação está se afastando. Para que os estudantes compreendam pode ser utilizada uma comparação com o som emitido por uma buzina de carro.

Figura 2 - Diagrama Hertzsprung-Russell – HR.



Fonte: Kepler e Saraiva (2014, p. 242)

Figura 3 – Aplicativo virtual online que simula a localização das estrelas no diagrama HR demonstrando suas características.



Fonte: University of Nebraska-Lincoln

Disponível no link: <http://astro.unl.edu/mobile/HRdiagram/HRdiagramStable.html>

1.6 Aula 6

Tema da aula: Avaliação

Duração: 50 minutos

Objetivos específicos:

- Avaliar a opinião dos estudantes referentes ao método de ensino utilizado.

- Avaliar o desempenho dos estudantes em um teste que envolve os conceitos abordados.

Conteúdos:

- Questionário de opiniões – disponível no Capítulo 3.

- Questões conceituais – disponíveis no Capítulo 4.

Estratégias de ensino utilizadas:

- Aplicar o questionário de opiniões nos estudantes envolvidos afim de verificar seu engajamento no processo bem como aspectos a melhorar na metodologia aplicada.

- Aplicar um teste com questões que envolvam o assunto afim de avaliar a efetividade do método.

2. Texto de Apoio, Tarefas de Leitura e Slides utilizados.

2.1 Texto de apoio 1



Tarefa de Leitura 1



CAPÍTULO 1 - ESTRELAS

1. Introdução

Provavelmente, você já deve ter olhado para o céu a noite e refletido sobre a vida. Pensando o que seria cada pontinho brilhante no mesmo. Certa vez, alguém lhe contou que era uma estrela. Porém, talvez não tenha dado importância a essa informação. Já parou para pensar que denominamos estrela o Sol que emite tamanha energia aqui para Terra?

Muitas das estrelas que brilham em nosso céu são surpreendentemente maiores que o Sol, no entanto, parecem ser tão pequenas ao observamos devido ao fato de estarem muito mais afastadas de nós em comparação ao Sol.

Dessa forma, o que é uma estrela? Estrelas são esferas auto gravitantes de gás ionizado, cuja fonte de energia é a transmutação de elementos através de reações nucleares, isto é, da fusão nuclear de hidrogênio em hélio e, posteriormente, em elementos mais pesados.

Na figura 1, observa-se uma comparação do Sol com algumas estrelas que enxergamos a noite. A nossa estrela é a primeira da esquerda para direita, após é mostrada a estrela *Sirius* que é a estrela mais brilhante em nosso céu noturno, na sequência a estrela *Pólux* que é a estrela mais brilhante da constelação de Gêmeos e por fim a estrela *Arcturus* que é a quarta mais brilhante de todo o céu e a mais brilhante de sua constelação (constelação do Boieiro). Obs.: na escala em que está a imagem o planeta Terra ocuparia 1 *pixel* da imagem, ou seja, um único ponto que não conseguiríamos vê-la.

Com essa comparação, é possível que se pergunte: por que o Sol Brilha?

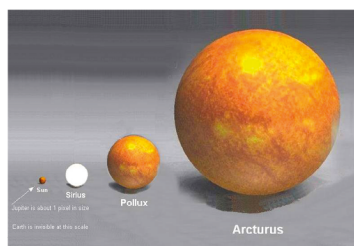


Figura 1 - A comparação das dimensões do Sol em relação a outras estrelas. Disponível em: <https://br.pinterest.com/pin/30188259974485907/>



2. Estrelas - O Sol e o Sistema Solar

O *Big Bang*, teoria que explica satisfatoriamente a Origem do Universo afirma que uma explosão originou toda a matéria existente atualmente no primeiro segundo de vida do Universo. Dessa forma, todos os prótons, nêutrons e elétrons que formam a matéria hoje surgiram nesse momento. A partir da ligação entre prótons e nêutrons, formaram-se os núcleos dos átomos de hidrogênio e hélio nos três minutos após o início da expansão. A formação dos átomos propriamente dita, pela ligação do elétron ao núcleo atômico, ocorreu por volta dos 300 mil anos de idade do Universo. À medida que ocorreu o resfriamento, formaram-se inúmeras nuvens de gás compostas basicamente de hidrogênio, o elemento mais simples. Estima-se que esse estágio, a formação de estrelas e galáxias, ocorreu após 1 bilhão de anos.

A formação de estrelas se deu a partir de nuvens moleculares de hidrogênio (H_2). Como essas nuvens são mais densas em alguns pontos e mais rarefeitas em outros, pela força gravitacional, partes das nuvens começaram a se contrair, formando então as estrelas.

O vídeo ao lado "Rockstar e a Origem do Metal" produzido pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP) ilustra um pouco mais esses fenômenos que estamos estudando.

Devido a flutuações de densidade, em alguns pontos da nuvem-mãe a concentração de gás e poeira pode ser alta o suficiente para que a matéria sofra contração sob o



Vídeo 1 - *Rockstar e a Origem do Metal*, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=wIEhSit1oEI>

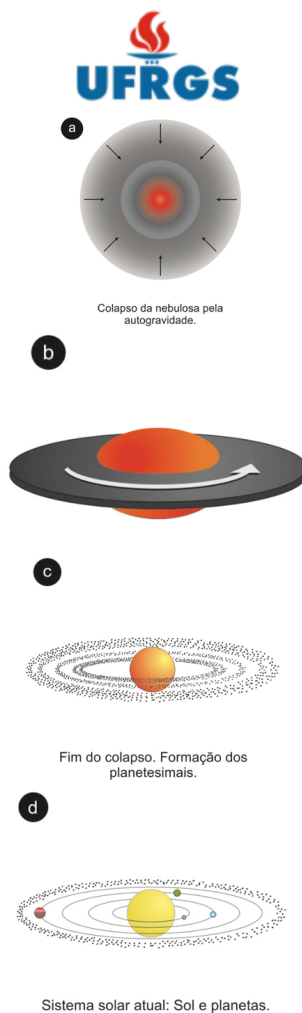


Figura 2 a,b,c,d - Etapas do processo de formação do Sistema Solar de acordo com o modelo da nebulosa solar. [C]

efeito da gravidade. Com isso, energia é transformada, causando o aquecimento da matéria, que por sua vez vai provocar a emissão de radiação do objeto. Nesta fase, esse objeto é conhecido como uma protoestrela.

Como surgiu, então, o sistema solar?

A hipótese moderna para a origem do sistema solar é baseada na hipótese nebular, sugerida em 1755 pelo filósofo alemão Immanuel Kant (1724-1804), e em 1796 desenvolvida pelo matemático francês Pierre-Simon de Laplace (1749-1827), em seu livro *Exposition du Systéme du Monde*. Laplace, que desenvolveu a teoria das probabilidades, calculou que como todos os planetas estão no mesmo plano, giram em torno do Sol na mesma direção, e também giram em torno de si mesmos na mesma direção (com exceção de Vênus), só poderiam ter se formado de uma mesma grande nuvem de partículas em rotação. Essa hipótese sugeria que uma grande nuvem rotante de gás interestelar, a nebulosa solar, colapsou para dar origem ao Sol e aos planetas. Uma vez que a contração iniciou, a força gravitacional da nuvem atuando em si mesma acelerou o colapso. À medida que a nuvem colapsava, a rotação da nuvem aumentava por conservação do momento angular e, com o passar do tempo, a massa de gás rotante assumiria uma forma discoidal, com uma concentração central que deu origem ao Sol. Os planetas teriam se formado a partir do material no disco.

A figura 2 a, b, c, d ilustra o desenvolvimento do Sistema Solar descrito acima.

3. Fusão Nuclear - O Brilho estelar

À medida que essa nuvem se contrai para formar uma estrela, a temperatura em seu centro aumenta drasticamente, sobretudo por causa do atrito entre os átomos e moléculas. A gravidade faz essa matéria se contrair ainda mais, até o ponto em que a temperatura atinge milhões de graus Celsius, o que permite o início da Fusão Nuclear. Nesse processo, prótons colidem e formam núcleos mais complexos. Inicialmente, o processo de fusão nuclear, em termos líquidos, produz um núcleo de hélio a partir de quatro núcleos de hidrogênio (prótons), liberando uma quantidade enorme de energia. Por isso, as estrelas brilham, emitindo luz para o espaço. Na figura 3 temos um esquema que relaciona a Temperatura, o Raio e a Densidade do Sol.

Podemos dizer que o Sol é uma estrela típica. A única diferença é que ele está muito próximo de nós, enquanto as outras estrelas, de tão longe, parecem que são muito pequenas e estáticas. A temperatura da superfície solar é cerca de 5800 °C e seu campo gravitacional, de 275 N/kg que é cerca de 28 vezes maior do que o terrestre. Ele é composto basicamente de hidrogênio que é transformado ininterruptamente em hélio. No entanto, as estrelas não são eternas. Elas estão sujeitas a um ciclo natural, em que, no fim de sua existência, algumas de suas características são brutalmente modificadas. De maneira mais simples, toda a estrela nasce, vive e morre e o Sol infelizmente viverá por mais cerca de 4,5 bilhões parte1 de anos. Pouco menos dos 5,5 bilhões que já viveu! O que acontecerá?

4

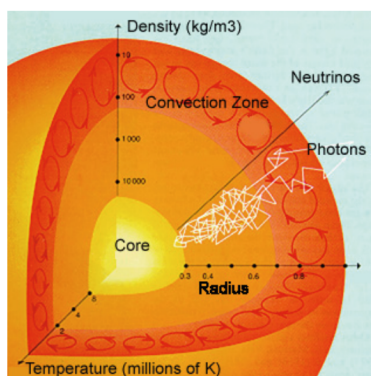


Figura 3 - Esquema que relaciona a temperatura em milhões de Kelvin, o raio solar e a densidade da região. disponível em: <http://cse.ssl.berkeley.edu/segwayed/lessons/sunspots/research2.html>

2.2 Tarefa de Leitura 1

Olá, você acabou de ler o texto de apoio 1. Agora responda as perguntas abaixo para que a próxima aula seja preparada de acordo com a leitura de vocês. Essa primeira parte será apenas para identificação.

Qual seu nome?

1. a. Você achou alguma coisa confusa no texto lido?

() Sim () Não

b. Se você achou algo confuso, poderia informar qual(is) parte(s) do texto você achou confusa?

c. Dentre os conceitos que você compreendeu, destaque aquele(s) que você achou mais importante ou interessante.

Questões Conceituais.

2. O que é uma estrela?

3. Por que o movimento de translação de todos os planetas no sistema solar ocorre no mesmo sentido?

4. (Unisinos 2016) A origem da energia solar, no Sol, ocorre a partir

- a) da combustão de substâncias que contêm carbono.
- b) da fissão nuclear do hidrogênio.
- c) da fissão nuclear do urânio.
- d) da fusão nuclear do hidrogênio.
- e) da fusão nuclear do urânio.

Teste de confiança.

Marque a alternativa que melhor expressa o seu nível de confiança nas respostas descritas acima.

- a) Nenhuma confiança.
- b) Alguma confiança.
- c) 100% de confiança.

2.2 Texto de apoio 2



Nesse diagrama também foi possível observar uma relação entre as cores das estrelas e da temperatura sua superfície. Você já reparou que as estrelas possuem cores?

Tipo	Cor	T(K)	Linhas proeminentes de absorção	Exemplos
O	Azul	30000	He ionizado (fortes), elementos pesados ionizados (OIII, NIII, SiIV), fracas linhas de H	Alnitak (O9) Mintaka (O9)
B	Azulada	20000	He neutro (moderadas), elementos pesados 1 vez ionizados	Rigel (B8)
A	Branca	10000	He neutro (muito fracas), ionizados, H (fortes)	Vega (A0) Sirius (A1)
F	Amarelada	7000	elementos pesados 1 vez ionizados, metais neutros (FeI, CaI), H (moderadas)	Canopus (F0)
G	Amarela	6000	elementos pesados 1 vez ionizados, metais neutros, H (relativamente fracas)	Sol (G2) Alfa Cen (G2)
K	Laranja	4000	elementos pesados 1 vez ionizados, metais neutros, H (fracas)	Aldebaran (K5) Arcturos (K2)
M	Vermelha	3000	Átomos neutros (fortes), moleculares (moderadas), H (muito fracas)	Betelgeuse (M2)

Tabela 1 - Relação entre a Temperatura Superficial e a cor de uma estrela.

Se você olhar atentamente para o céu noturno, poderá observar que algumas estrelas azuis parecem mais esbranquiçadas, enquanto outras são bem avermelhadas. Na Tabela 1, mostramos a relação entre a temperatura superficial e a cor de uma estrela.

O principal fator que determina a temperatura de uma estrela é sua massa. Quanto maior a massa da estrela, mais quente e luminosa ela será.

Falamos que a maioria das estrelas se encontra na sequência principal, mas como estão distribuídas as estrelas restantes? Simplicadamente, em três grupos: **gigantes**, **super-gigantes** e **anãs brancas**.

Dizemos que uma estrela nasce quando a temperatura no interior da protoestrela é alta o suficiente para iniciar a fusão do hidrogênio em hélio. A partir desse instante, a estrela já possui uma posição definida



Figura 5 - Fotografia tirada com o telescópio *Hubble* em homenagem ao filme *Star Wars VII: O Despertar da Força*. Disponível em: https://photojournal.jpl.nasa.gov/jpeg/Mod/PIA16022_modest.jpg

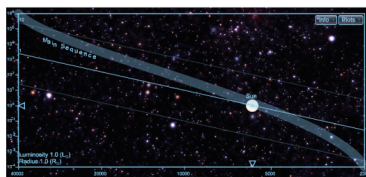


Figura 6 - Simule você mesmo nesse aplicativo virtual. Disponível no link: <http://astro.unl.edu/mobile/HRdiagram/HRdiagramStable.html>

no diagrama HR na sequência principal. A partir desse instante, a estrela já possui uma posição definida no diagrama HR na sequência principal.

Na figura 5, percebemos uma nebulosa planetária emitindo luz que foi fotografada pelo telescópio *Hubble* na época do lançamento do filme *Star Wars VII: O Despertar da Força* (2015). Por parecer um sabre de luz, devido à emissão da mesma foi feita alusão ao filme.

Assim, podemos perguntar por que “aparecem” essas outras estrelas em regiões diferentes da sequência principal. Elas “aparecem” nessas regiões por causa das grandes mudanças que ocorrem em suas características físicas (temperatura, raio e luminosidade) no fim de seu ciclo de existência. O fator determinante na evolução estelar é sua massa; basicamente, podemos ter três diferentes cenários para o estágio de uma estrela.

Em geral, as estrelas ficam a maior parte do tempo estáveis na sequência principal e, quando o principal combustível da fusão nuclear, o hidrogênio, começa a se esgotar no centro da estrela, ela inicia uma “rápida” evolução para os estágios finais de vida. Falamos rápida entre aspas porque, para escala de tempo de um ciclo de vida estelar, isso significa milhares de anos. Fazendo uma comparação superficial, estrelas de baixa massa, como o Sol, podem viver cerca de 10 bilhões de anos, estrelas de grandes massa vivem bem menos, algumas centenas de milhões de anos. Vamos dar uma olhada nos momentos finais das estrelas, que, como já dissemos, dependem de sua massa inicial.



Na figura 6 está disponível um *link* que você pode criar as próprias estrelas de acordo com a sua massa e também selecionar a velocidade da animação. Experimente criar algumas estrelas. Tente criar o Sol. Abra a página e vá até o último aplicativo cujo nome é: *H-R Diagram*.

Como já podemos perceber, ocorre uma disputa entre a força gravitacional (força de compressão) e a força das reações nucleares (força de repulsão) dentro de uma estrela.

Dessa forma, a energia que a estrela envia para o Universo pode ser calculada através da equação:

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2,$$

na qual: ΔE representa a energia enviada; Δm representa a diferença de massa entre os núcleos antes da reação nuclear e após a reação nuclear; e c representa a velocidade da luz.

O Sol, por exemplo, com essa emissão de energia ocorre uma diminuição de sua massa e consequentemente a força gravitacional tende a diminuir. Resultando em uma expansão da estrela até um determinado momento que entra em colapso devido ao fato do “combustível” nuclear (núcleo de hidrogênio) acabar e sua temperatura e pressão diminuirão. Então o interior da estrela não suportará mais o peso das camadas externas e será colapsando e atingindo uma temperatura suficiente para fundir os núcleos de hélio formando núcleos de carbono e oxigênio.

Dessa forma, o Sol volta a se expandir, tornando-se assim uma Gigante Vermelha. Antes de chegar ao colapso final já terá expandido aniquilando os primeiros planetas do sistema solar (Mercúrio, Vênus e provavelmente a Terra). Essa expansão durará até queimar todo o hélio presente no núcleo, no momento em que esse combustível terminar se torna-

8



Vídeo 2 - *Vida e Morte das Estrelas* [trecho exibido 12:15-17:15]. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=8ukPayLNdg4>



rá altamente instável jorrando as camadas externas para o espaço na forma de ondas eletromagnéticas tornando-se uma anã-branca. No vídeo 2, temos uma simulação juntamente com uma explicação desse fenômeno.

5. Morte estelar.

Nas estrelas de massa entre 0,8 e 1,0 vezes a massa solar, conforme a maior parte do hidrogênio é consumida, seu núcleo se contrai, ficando mais denso e quente. Conforme vimos no Capítulo 4. Na Figura 7, que é uma concepção artística, temos um exemplo de uma morte de uma estrela com a expansão dos gases ao redor da mesma. Essas mudanças fazem a estrela, originalmente na sequência principal no diagrama HR, mudar de lugar, ascendendo ao ramo das gigantes e posteriormente à região das anãs brancas.

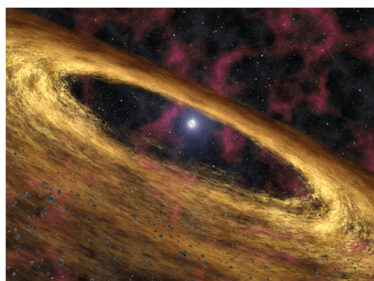


Figura 7 - Concepção artística de uma estrela pulsar. Disponível em: <https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA08040>

Observe o diagrama HR apresentado anteriormente e veja que, nessas estrelas (gigantes e anãs brancas), a relação entre luminosidade e temperatura é muito diferente das presentes na sequência principal.

As estrelas menores, ou seja, abaixo de 0,8 da massa solar, após consumirem o hidrogênio, passam diretamente para a fase das anãs brancas. Às vezes, após alguns milhões de anos, quando a anã branca se resfria totalmente, ela pode receber o nome de anã negra, mas esse objeto é de difícil identificação por não produzir mais energia em seu núcleo.



Figura 8 - Supernova observada por Tycho Brahe. Disponível em: <https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA16606>

Já as estrelas com massa muito maior que o Sol, ao saírem da sequência principal, tornam-se supergigantes vermelhas. Enquanto as estrelas menores apenas transformam o hidrogênio em hélio, as estrelas maiores podem, por meio de outras reações, gerar todos os elementos da tabela periódica, do hélio ao ferro.

Com o núcleo composto de elementos mais pesados, a estrela passa por instabilidades mais intensas, entra em colapso e explode (ou de certa maneira implode) em um evento extremamente energético chamado **supernova**. Foi um evento similar a esse que Tycho Brahe observou no céu em 1572, na constelação de Cassiopeia. A Figura 8 apresenta uma imagem dessa supernova.. Uma supernova tem sua luminosidade comparada com a de toda uma galáxia durante alguns dias. Após a explosão grande parte da matéria é ejetada para o espaço. O núcleo restante só pode ser analisado com a Física Quântica e a Relatividade Geral; portanto, é de difícil descrição e explicação para nossos estudos. Mas no centro podemos ter a formação do que chamamos **estrela de nêutrons** ou **buraco negro**, dependendo de sua massa inicial.

Para estrelas que têm entre 10 e 25 massas solares, o resultado final é uma estrela de nêutrons. Durante o intenso colapso gravitacional, forma-se uma esfera de matéria muito concentrada, com apenas algumas dezenas de quilômetros. Com isso os espaços interatômicos deixam de existir e os prótons e os elétrons são obrigados a se combinar formando os nêutrons.

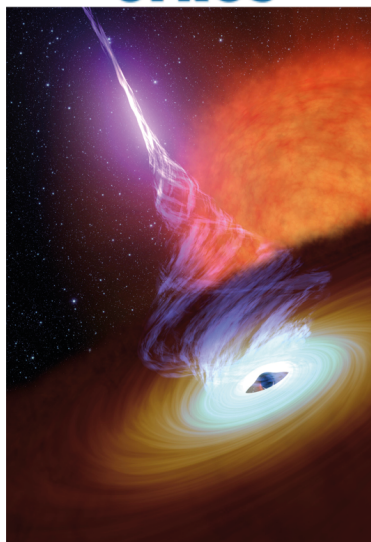


Figura 9 - Uma concepção artística de um buraco negro. Disponível em: <https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA22085>

Quando as estrelas têm acima de 25 massas solares, o colapso gravitacional é ainda mais intenso. A violentíssima contração resulta em um corpo muito denso, os chamados buracos negros.

Não enxergamos um buraco negro, uma vez que toda luz é capturada pela imensa atração gravitacional. No entanto, podemos estudar alterações que um buraco negro provoca ao seu redor com velocidade próxima à velocidade da luz. Nesse momento, pode emitir muita energia, na forma de raio X, e formar jatos perpendiculares ao disco conforme percebemos na Figura 9. Outra forma de detectar um buraco negro é estudar a sua influência gravitacional em objetos próximos ou, ainda, verificar o desvio ou a distorção que a luz de outros objetos sofre ao passar nas imediações dele. Chamamos esse efeito de lente gravitacional.

Para resumir todos os cenários de evolução estelar na Figura 10 apresentamos um resumo com os estágios finais separados conforme a massa inicial da estrela.



Figura 10 - possíveis cenários da evolução de uma estrela. [A]



Referências:



Referências:

- GREGORIO-HETEM, Jane; JATENCO-PEREIRA, Vera; OLIVEIRA, Claudia Mendes de. **FUNDAMENTOS DE ASTRONOMIA - Apostila: Capítulo 12**. 2010. Disponível em: <<http://www.astro.iag.usp.br/~jane/aga215/apostila/cap12.pdf>>. Acesso em: 01 out. 2017.
- HAWKING, S. **Uma Breve História do Tempo**. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2015.
- HAWKING, S. **O Universo numa Casca de Noz**. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2016.
- HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.
- HORVATH, J. E. **ABCD da Astronomia e Astrofísica**. São Paulo: Livraria da Física, 2008.
- KEPLER; SARIVA; OLIVEIRA M. F. **S Astronomia e Astrofísica**. Editora Livraria da Física - 4ª Edição. 614p. - USP - SÃO PAULO - 2017.
- NOGUEIRA, S. **Astronomia: ensino fundamental e médio**. Brasília: MEC; SEB; MCT; AEB, 2009. Volume 11.
- PIETROCOLA, Maurício et al. **Física em contextos.: Movimentos**. São Paulo: Ftd, 2011. 400 p. Outros autores: Alexander Pogbin; Renata de Andrade; Talita Raquel Romero.
- SPARROW, G. **50 Ideias de Astronomia que você Precisa Conhecer**. São Paulo: Editora Planeta, 2018.

2.4 Tarefa de Leitura 2

Olá, você acabou de ler o texto de apoio 2. Agora responda as perguntas abaixo para que a próxima aula seja preparada de acordo com a leitura de vocês. Essa primeira parte será apenas para identificação.

Qual seu nome?

1. a. Você achou alguma coisa confusa no texto lido?

() Sim () Não

b. Se você achou algo confuso, poderia informar qual(is) parte(s) do texto você achou confusa?

c. Dentre os conceitos que você compreendeu, destaque aquele(s) que você achou mais importante ou interessante.

Questões Conceituais.

2. As estrelas podem ser consideradas fábricas de elementos químicos? Explique.

3. Em que região do diagrama HR, as estrelas passam a maior parte de sua vida?

- a) Sequência Principal.
- b) Sequência de Buracos Negros.
- c) Sequência Secundária.
- d) Sequência de Newton.

4. Como os buracos negros podem ser detectados se eles não são vistos?

- a) São descobertos e analisados diretamente através da luz visível que emitem.
- b) São descobertos e analisados indiretamente, observando-se através das alterações gravitacionais que fazem na região de sua vizinhança.
- c) São descobertos e analisados estaticamente pois emitem muita luz visível.
- d) Não é possível detectar um buraco negro.

Teste de confiança.

Marque a alternativa que melhor expressa o seu nível de confiança nas respostas descritas acima.

- a) Nenhuma confiança.
- b) Alguma confiança.
- c) 100% de confiança.

3. Questionário de opiniões

Para avaliar a receptividade dos alunos quanto às metodologias dos estudantes foi realizado um questionário de opiniões adaptado da dissertação de Mestrado do Vagner Oliveira que utilizou o mesmo método acrescido de outros para ensinar tópicos de eletromagnetismo.

1. Ao entrarmos no conteúdo de Astrofísica, nós trabalhamos de um jeito diferente do que vínhamos fazendo. Poderias falar um pouco sobre a tua experiência, quer dizer, o que achaste dela em geral?
2. Em relação à parte de estudar os textos em casa, como preparação para aula, qual é a tua opinião?
3. O que achaste dos textos em si? Eram acessíveis? As figuras estavam claras?
4. E quanto à apresentação dos testes conceituais?
5. Consideras que tenha aprendido os conteúdos de Física trabalhados?
6. Quanto ao tempo para realização das tarefas em casa, achaste suficiente?
7. Aconselhariás a um amigo fazer um curso de Física que usasse essa metodologia? Em poucas palavras, o que dirias para ele a respeito?
8. Pensando que essa forma de ensinar vai ser usada novamente com as turmas nessa disciplina no bimestre que vem. O que poderia ser feito para melhorar?

4. Questões conceituais

1. Leia o texto abaixo:

Agora é oficial: somos mesmo feitos de poeira de estrela

Pesquisa mostra que tanto os seres humanos quanto os astros brilhantes possuem 97% do mesmo tipo de átomos (Disponível em: <http://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2017/01/agora-e-oficial-somos-mesmo-feitos-de-poeira-de-estrela.html>)

Uma pesquisa comprovou o que Carl Sagan já falava há tempos: os humanos realmente são feitos de poeira de estrela. Depois de analisar 1500 estrelas, astrônomos chegaram à conclusão de que tanto os seres humanos quanto os astros brilhantes possuem 97% do mesmo tipo de átomos.

Constatarem ainda que os elementos essenciais para a vida como a conhecemos (hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, fósforo e enxofre) são mais prevalentes nas estrelas que estão no centro da galáxia.

A questão é: como os astrônomos sabem quais elementos compõem as estrelas se eles não conseguem chegar até elas? Elementar, meu caro Watson. Eles usam uma técnica conhecida como espectroscopia.

É assim: cada elemento emite um comprimento de onda de luz diferente, é como se cada um tivesse sua própria marca. Assim, analisando cada “marca”, os cientistas conseguem distinguir de qual elemento é aquela emissão, que foi captada com um instrumento chamado espectrógrafo.

O espectrógrafo, neste caso, tem nome e sobrenome: trata-se *do Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment (APOGEE)*, que fica no estado norte-americano do Novo México.

“É de grande interesse poder mapear todos os principais elementos do corpo humano nas estrelas da nossa Via Láctea”, afirmou Jennifer Johnson, participante da equipe da SDDS-III APOGEE, que fez a descoberta. “Isso nos permite ver onde e quando a vida passou a ter os elementos necessários para evoluir na galáxia”.

No texto ele menciona que 97% dos astros que brilham no céu são os mesmos presentes no corpo humano. Dessa forma, o Sol tem uma “marca” específica de acordo com a emissão. A origem da energia solar, no Sol, ocorre a partir

- A) da combustão de substâncias que contêm carbono.
- B) da fusão nuclear do hidrogênio.
- C) da fusão nuclear do urânio.
- D) da fissão nuclear do hidrogênio.

Gabarito: Letra B.

2. A massa de uma estrela influencia no seu tempo de vida. Pois quanto maior a massa maior deve ser a temperatura da estrela para que consiga fazer a fusão nuclear dos elementos químicos no interior da mesma. Dessa forma, assinale a alternativa correta.

- A) Com o aumento da massa aumenta o tempo de duração da estrela pois terá mais combustível para queimar.
- B) Não existe relação entre o tempo de duração de uma estrela e sua massa.
- C) Com a diminuição da massa o tempo de vida de uma estrela diminui.

D) Com o aumento da massa diminui o tempo de duração da estrela já que necessitará atingir maior temperatura e com isso consumirá mais rapidamente seu combustível.

Gabarito: Letra D.

3. Por que o movimento de translação de todos os planetas no sistema solar ocorre no mesmo sentido?

Resposta esperada: Devido ao fato da nuvem de partículas que originou o sistema solar rotacionar em torno do protossol na mesma direção e sentido fato que devido à conservação do momento angular manteve os planetas orbitando no mesmo sentido.

4. O diagrama H-R é um gráfico que relaciona:

- A) cor versus temperatura
- B) H versus R
- C) luminosidade versus tipo espectral
- D) luminosidade versus magnitude absoluta

Gabarito: C.

5. O _____, teoria que explica satisfatoriamente a Origem do Universo afirma que uma explosão originou toda a matéria existente atualmente no primeiro segundo de vida do Universo. Uma comprovação que o Universo continua se expandindo é o _____ que é o desvio da frequência da Radiação de Fundo do Universo para frequências menores.

Marque a alternativa que preenche, respectivamente, as lacunas do texto acima de maneira correta.

- A) *Big Crush; Red Shift.*
- B) *Big Bang; Red Shift.*
- C) *Big Crush; Blue Shift.*
- D) *Big Bang; Blue Shift.*

Gabarito: Letra B.

Referências

- [Ausubel, 2003] Ausubel; D. P. Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva. 1 ed. Lisboa-PT: Plátano Edições Técnicas, 2003.
- [Baker, 2015] Baker, J. *50 Ideias de Física Quântica que Você Precisa Saber*. São Paulo: Editora Planeta, 2015. Tradução de Rafael Garcia.
- [Chung, 2001] Chung, K. C. *Introdução à Física Nuclear*. Rio de Janeiro: Editora da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2001.
- [Hawking, 2015] Hawking, S. *Uma Breve História do Tempo*. Rio de Janeiro: Editora Intrínseca, 2015. Tradução de Cássio de Arantes Leite.
- [Hawking, 2016] Hawking, S. *O Universo numa Casca de Noz*. Rio de Janeiro: Editora Intrínseca, 2016. Tradução de Cássio de Arantes Leite.
- [Hewitt, 2015] Hewitt, P. G. *Física Conceitual*. 12ª edição Porto Alegre: Editora Bookman, 2015. Tradução de Trieste Freire Ricci.
- [Horvath, 2008] Horvath, J. E. *ABCD da Astronomia e Astrofísica*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.
- [Kepler, Saraiva, 2017] Kepler S. O., Saraiva, M. F. O. *Astronomia e Astrofísica*. São Paulo: Editora Livraria da Física – 4ª Edição, 2017.
- [Moreira, 1983] Moreira, M. A. *Uma abordagem cognitivista ao ensino da Física*. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1983.
- [Peebles *et al.*, 1991] Peebles, P. J. E., Schramm, D. N., Turner, E. L., & Kron, R. G. (1991). The case for the relativistic hot Big Bang cosmology. *Nature*, 352, 769. Retirado de <http://dx.doi.org/10.1038/352769a0>
- [Peebles *et al.*, 1991] Peebles, P. J. E., Schramm, D. N., Turner, E. L., & Kron, R. G. (1991). The Evolution of the Universe. *Scientific American* 271, 52 – 57. Retirado de: <http://dx.doi.org/10.1038/scientificamerican1094-52>
- [Sparrow, 2018] Sparrow, G. *50 Ideias de Astronomia que você Precisa Conhecer*. São Paulo: Editora Planeta, 2018. Tradução de Helena Londres[
- [Tyson e Goldsmith 2017] Tyson, N. G.; Goldsmith, D. *Origens: Catorze Bilhões de Anos de Evolução Cósmica*. São Paulo: Editora Planeta, 2017. Tradução Rosaura Eichenberg.

ANEXO A – QUESTIONÁRIO DE OPINIÕES:

1. Ao entrarmos no conteúdo de Astrofísica, nós trabalhamos de um jeito diferente do que vínhamos fazendo. Poderias falar um pouco sobre a tua experiência, quer dizer, o que achaste dela em geral?

2. Em relação à parte de estudar os textos em casa, como preparação para aula, qual é a tua opinião?

3. O que achaste dos textos em si? Eram acessíveis? As figuras estavam claras?

4. E quanto à apresentação dos testes conceituais?

5. Consideras que tenha aprendido os conteúdos de Física trabalhados?

6. Quanto ao tempo para realização das tarefas em casa, achaste suficiente?

7. Aconselharias a um amigo fazer um curso de Física que usasse essa metodologia? Em poucas palavras, o que dirias para ele a respeito?

8. Pensando que essa forma de ensinar vai ser usada novamente com as turmas nessa disciplina no bimestre que vem. O que poderia ser feito para melhorar?