



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
COORDENAÇÃO DE LICENCIATURA EM FÍSICA
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

FRANCISCO DANIEL DE CARVALHO ROSA

OS CONCEITOS FÍSICOS PRESENTES NA FORMAÇÃO DE ESTRELAS: UMA
ABORDAGEM PARA O ENSINO MÉDIO

ANGICAL - PI

2018

FRANCISCO DANIEL DE CARVALHO ROSA

OS CONCEITOS FÍSICOS PRESENTES NA FORMAÇÃO DE ESTRELAS: UMA
ABORDAGEM PARA ENSINO MÉDIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal
de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus
Angical como requisito para obtenção do grau de
licenciado em Física.

Orientador: Prof. MSc. Wemerson José Alencar
Coorientador: Prof. MSc. Rodrigo dos Santos Almeida

ANGICAL - PI

2018

FICHA CATALOGRÁFICA

Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente com dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R788c Rosa, Francisco Daniel de Carvalho
Os conceitos físicos presentes na formação de estrelas: uma abordagem para o ensino médio / Francisco Daniel de Carvalho Rosa - 2018.
65 p. : il. color.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Angical, Licenciatura em Física, 2018.

Orientador : Prof Me. Wemerson José Alencar.

Coorientador : Prof Me. Rodrigo dos Santos Almeida.

1. Formação estelar. 2. Ensino-aprendizagem. 3. Ensino de física. I. Título.

CDD 530

FRANCISCO DANIEL DE CARVALHO ROSA

OS CONCEITOS FÍSICOS PRESENTES NA FORMAÇÃO DE ESTRELAS: UMA
ABORDAGEM PARA ENSINO MÉDIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal
de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus
Angical como requisito para obtenção do grau de
licenciado em Física.

Aprovado em: 28 / 03 / 2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. MSc. Wemerson José Alencar (Orientador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI)

Prof. MSc. Antonio Sousa Ribeiro (Examinador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a MSc. Samara Maria Viana da Silva Lacerda (Examinadora)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI)

Aos meus pais, amigos, e professores por me apoiarem por toda minha carreira estudantil.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, criador de tudo por ter me dado a sabedoria e a força necessária para encarar esta jornada de quatro anos, neste magnifico Curso de Licenciatura em Física do IFPI/ Campus Angical. Também queria deixar meus votos de agradecimentos a minha mãe Luiza Maria Barbosa de Carvalho, a meu pai Joaquim de França Rosa e ao meu tio Raimundo Nonato Barbosa de Carvalho, por sempre me incentivarem a nunca desistir dos meus objetivos. São tantas as pessoas que tenho a agradecer que não comportariam em uma ou duas folhas, por isso, se esquecer de alguém peço minhas singelas desculpas.

A toda minha família, meu muito obrigado por serem pessoas especiais em minha vida. Acredito que pessoas primordiais nesta longa jornada de quatro anos, foram as professoras: Leônia Eulálio Dantas da Luz e Samara Maria Viana da Silva Lacerda, sendo as mesmas pessoas fantásticas que me ensinaram muito sobre as práticas pedagógicas no ensino de física, por essa e outras razões considero as mesmas, minhas mães do IFPI/ Campus Angical.

Deixo meus votos de agradecimento também a todos os professores (as) do IFPI/ Campus Angical, em especial: Samara Clotildes Saraiva Rodrigues, pois foi a primeira professora ao qual tive um contato mais aprofundado sobre física, Cleire Amaral, Juraci Pereira dos Santos, Paulo Junior, Orlando Ribeiro, José Deuzimar Uchôa, Antônio Carlos, Cristian, Hoseano, Liberalino de Sousa Meneses, Alberto Pereira, Humberto Dias, Francisco Ramos, Eliane, André, Claudia, Marcos Fernando, Bruno Barbosa, Rodrigo dos Santos Almeida meu Coorientador, na qual teve uma participação imprescindível para realização deste trabalho e ao professor Wemerson José Alencar por ter aceito ser meu Orientador, dando todo apoio necessário para que este trabalho fosse realizado.

A todos os professores citados acima, deixo meus sinceros agradecimentos e que Deus guie sempre seus caminhos, pois todos vocês possuem o dom de ensinar com formas criativas e dinâmicas.

Gostaria de agradecer também a meus colegas de Curso: Andressa, Marcio Silva, Aurislene, Ana Flávia, Jessica, Jaciara, Valdeciane, Guilherme, Sara, Graciane, Silas, Diego, Isaac, Eduardo Junior, Elivelton, Rafael Pacheco, Sr. Higino com toda sua experiência, Franciane, Karolainy Carvalho amiga que conheci na Matemática, Fernando, Heison Gomes, Tamires, Daniel Carlos, Maciel, Manoel e em especial a

dois amigos que se destacaram por sua amizade, sendo esses: Silvestre da Rocha Silva e John Lennon Lima Macêdo, amigos estes que me ensinaram a nunca desistir dos meus sonhos e me mostraram que a Física, é sem sombra de dúvida a melhor ciência para se estudar.

Aproveitando a oportunidade queria ainda agradecer a meus amigos: Geraldo Ferreira, Wellison, Anderson, Maria de Fatima, Samuel Barbosa, Jefferson, Marcio Costa, Janaina, Karina Barbosa, Thays, Anderson (Andim), Odete, Aparecida uma pessoa ao qual tenho grande consideração e admiração, Ramoniel Alves de Oliveira, Jayslene atual diretora do Landri Sales, Grazyella, Raimundo, Jandir, Ana Maria ex-diretora do Landri Sales, Junior, Jardel, José Lucas, Rafhael (Biel), João da Cruz, João Batista, Juliana de Carvalho e Pedrina de Carvalho minhas irmãs, Ana Barbosa (donona), Jaqueline, tia Rita, Ana e Evaldo Filho, aos meus padrinhos Elena e Francisco (chico velho), Elza e Antônio do Júlio, a toda gestão da Unidade Escolar Landri Sales e a todo IFPI/ Campus Angical por me receberem de braços abertos.

Ao PIBID, gostaria de deixar meus votos de agradecimento, pois o Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência – PIBID, me ajudou muito no meu desenvolvimento estudantil, onde o coordenador do programa, Wemerson, sempre pedia aos bolsistas do PIBID a utilização de práticas inovadoras nas monitorias, além do desenvolvimento da pesquisa, ensino e extensão. Onde através do mesmo tive a oportunidade de participar de vários eventos, com destaque a três Congressos (III e IV CONEDU e XI CONNEPI), com uma troca de aprendizagem incrível.

A vida é feita de escolhas, optei escolher a Física, e não me arrependo nem um pouco por te escolhido está ciência tão impressionante. Foram tantas contribuições para que chegasse até aqui, que nem sei como agradecer, pois não caberiam em palavras para descrever a imensa gratidão que sinto neste momento. Deus me permitiu viver, descobrir e aprender uma infinitésima parte do seu pensamento. Ao deslumbrar as estrelas, onde não é nada cansativo, mesmo vendo as mesmas todos os dias, nunca me canso de contemplá-las. Devido ao fato que no interior delas, sei que possuem ingredientes essenciais a vida, onde todo o universo depende das estrelas para seu funcionamento.

Gostaria de agradecer a todos os autores citados no decorrer desse trabalho, pois foi graças aos senhores (as) que este Trabalho de Conclusão de Curso pode ser realizado. Aqui me despeço com votos de sinceros agradecimentos a todos os envolvidos nesse processo educacional.

“Lembre-se de olhar para as estrelas e não para seus pés. Pergunte a si mesmo o que é que faz o universo existir. Seja curioso. E por mais difícil que a vida possa parecer, sempre há algo em que se pode ter sucesso. O importante não é nunca se render”.

Stephen Hawking

RESUMO

Desde os primórdios da humanidade, a mesma sempre se valeu do estudo astronômico para sua orientação. O Sol possibilitou a existência de vida inteligente em um planeta localizado a 150 milhões de quilômetros, mostrando uma gama de utilidades que o mesmo proporcionou para o desenvolvimento da vida terrestre. Partindo dessa premissa, o presente trabalho tem como objetivo principal de propor formas de como abordar o referido tema em sala de aula, e como objetivo específico, investigar os conhecimentos dos alunos do 2º ano do ensino médio do IFPI/ Campus Angical sobre a temática: Formação Estelar. Este trabalho retrata aspectos históricos do estudo astronômicos, mostrando os primeiros contatos que a humanidade teve com os astros celestes, em seguida mostra-se o nascimento, vida e morte das estrelas, onde faz-se um estudo sobre as nebulosas, que são berçários estelares, posteriormente é retratado uma relação entre a massa das estrelas e seu destino, onde astros com até 8 massas solares terminaram sua vida como anãs brancas, já estrelas mais massivas poderão se tornar estrelas de nêutrons ou buracos negros. Sua massa também determina a quantidade de energia que será produzida pela estrela, onde no início do século XX dois astrônomos de forma independente desenvolveram um diagrama que relaciona a luminosidade e temperatura das estrelas, em suas homenagens este diagrama é chamado de diagrama HR. O estudo espectral, baseado na radiação proveniente das estrelas, permitiram aos astrônomos um conhecimento incrível sobre a natureza dos astros. A presente pesquisa contou com uma pesquisa descritiva com abordagem qualitativa, onde se aplicou um questionário contendo 07 questões sobre o tema: Formação Estelar, aos alunos do 2º ano do ensino médio do IFPI/ Campus Angical, logo em seguida a aplicação de uma aula sobre a referida temática com duração de 100 minutos e posteriormente a aplicação do mesmo questionário, afim de saber os impactos que a pesquisa deixou antes e depois de sua execução. A partir dos dados colhidos pela pesquisa de campo, foi possível perceber um enorme percentual de respostas corretas após a execução da aula, comprovando a literatura que diz, que praticas diferenciadas instiga a curiosidade dos alunos, tornando o ensino-aprendizagem de Física mais eficaz. Cabe aos professores, juntamente com a gestão escolar, mudar suas práticas educacionais de modo a tornar o ensino de Física, mais próximo do cotidiano dos estudantes.

Palavras-chave: Formação estelar. Ensino-aprendizagem. Ensino de física.

ABSTRACT

From the beginnings of humanity, it has always used astronomical study for its guidance. The Sun made possible the existence of intelligent life in a planet located 150 million kilometers, showing a range of utilities that it provided for the development of terrestrial life. Based on this premise, the present work has as main objective to propose ways of approaching the said theme in the classroom, and as a specific objective, to investigate the knowledge of the students of the 2nd year of high school of the IFPI/ Campus Angical on the theme: Star Formation. This work portrays historical aspects of the astronomical study, showing the first contacts that humanity had with the celestial bodies, then shows the birth, life and death of the stars, where it is made a study on the nebulae, which are stellar nurseries, a relationship between the mass of the stars and their destination is depicted, where stars with up to 8 solar masses have ended their lives as white dwarfs, and more massive stars could become neutron stars or black holes. Its mass also determines the amount of energy that will be produced by the star, where at the beginning of the twentieth century two astronomers independently developed a diagram that relates the luminosity and temperature of stars, in their honoring this diagram is called HR diagram. The spectral study, based on the radiation from the stars, allowed astronomers an incredible knowledge about the nature of the stars. The present research had a descriptive research with qualitative approach, where a questionnaire containing 07 questions was applied on the theme: Star Formation, to the students of the 2nd year of high school of the IFPI/ Campus Angical, soon after the application of a class on the aforementioned topic with a duration of 100 minutes and later the application of the same questionnaire, in order to know the impacts that the research left before and after its execution. From the data collected by the field research, it was possible to perceive a large percentage of correct answers after the execution of the class, proving the literature that says that differentiated practices instigates students' curiosity, making teaching and learning physics more effective. It is up to the teachers, together with the school management, to change their educational practices in order to make Physics teaching closer to students' daily lives.

Keywords: Stellar formation. Teaching-learning. Physics teaching.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Stonehenge, localizado ao sul da Inglaterra.....	14
Figura 2 – Registro de um eclipse solar em argila.....	15
Figura 3 – Aspecto do céu na região do Centauro.....	18
Figura 4 – Fases da formação estelar, no interior das nebulosas.....	20
Figura 5 – Equilíbrio hidrostático.....	20
Figura 6 – Aspectos da fisionomia da anã marrom Gliese 229B.....	21
Figura 7 – Ciclo evolutivo do Sol.....	23
Figura 8 – Exemplos de objetos parecidos com o Sol nos seus estágios finais.....	24
Figura 9 – Etapas da cadeia próton-próton.....	25
Figura 10 – Interior de uma estrela massiva evoluída.....	28
Figura 11 – Nebulosa do Caranguejo restos de uma explosão de supernova.....	29
Figura 12 – O sistema binário Cygnus X1 e a estrela supergigante azul.....	31
Figura 13 – Ciclo evolutivo das estrelas.....	31
Figura 14 – Diagrama HR, para estrelas na vizinhança solar.....	34
Figura 15 – Distribuição de energia para um corpo negro.....	36
Figura 16 – O Sol como Corpo Negro.....	37
Figura 17 – Representação de uma estrela fictícia para o fluxo terrestre.....	38
Figura 18 – Decomposição da luz branca, ao atravessar um prisma.....	41
Figura 19 – Coleção Cosmos de Carl Sagan, da Unidade Escolar Landri Sales.....	44
Figura 20 – Livro o Céu que Nos Envolve.....	46
Figura 21 – Livro Fascínio do Universo.....	46
Figura 22 – Livro O ABCD da Astronomia e Astrofísica.....	47
Figura 23 – Página inicial do PhET.....	48
Figura 24 – Efeito Estufa, simulação no PhET.....	49
Figura 25 – Características de algumas estrelas em comparação ao Sol.....	51
Figura 26 – Telescópio do IFPI Campus Angical.....	51

LISTA DE SÍMBOLOS

c Velocidade da luz

K Kelvin

H Hidrogênio

$M_{\odot}$ Massa solar

$\odot$ Sol

He Hélio

$\oplus$ Terra

$\propto$ Proporcional

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 ESTRELAS.....	14
2.1 HISTÓRICO.....	14
2.2 NASCIMENTO, VIDA E MORTE.....	17
2.3 RELAÇÃO MASSA – DESTINO.....	25
2.4 RELAÇÃO MASSA – LUMINOSIDADE.....	32
2.5 O DIAGRAMA HR.....	33
2.6 RELAÇÃO TEMPERATURA – COR – LUMINOSIDADE.....	35
2.7 ESPECTROSCOPIA.....	40
2.7.1 Histórico.....	40
2.7.2 Classificação espectral.....	41
3 COMO ABORDAR A FORMAÇÃO DE ESTRELAS NO ENSINO MÉDIO?.....	43
4 METODOLOGIA.....	52
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	53
6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS.....	62
REFERÊNCIAS.....	63

1 INTRODUÇÃO

Historicamente as estrelas desempenharam um papel de desenvolvimento em todas as culturas do mundo. Elas faziam parte de seitas religiosas, além de ser usada na navegação e orientação astronômica. O movimento aparente do Sol e dos demais astros entorno do globo terrestre, permitiram que os primeiros seres humanos, criassem os primeiros calendários, instrumentos esses, indispensáveis as práticas agrícolas, há cerca de 12 mil anos.

O Sol, trouxe luz, calor e vida a um planeta como nenhum outro, a cerca de 150 milhões de quilômetros. A temperatura reinante no universo atual é de 3 K (Kelvin) ou 270,15 °C abaixo de zero, na Terra isso não ocorre devido ela está nas vizinhanças de uma estrela. (HALLIDAY, 2011).

Além disso, com o aprimoramento tecnológico foi possível explorar o potencial energético dos raios solares, através de placas fotovoltaicas capazes de transformar energia luminosa em energia elétrica. A energia solar aquece o planeta Terra permitindo que a água exista em suas três principais formas (solido, liquido e gasoso), atua diretamente no processo de fotossíntese das plantas, além de servir como um ativador da vitamina D presente no corpo humano. Mesmo com esta gama de importâncias retratadas acima, assuntos relacionados a astronomia são poucos discutidos em sala de aula no ensino médio.

Partindo dessa premissa, o presente trabalho tem como objetivo principal de propor formas de como abordar o referido tema em sala de aula, e como objetivo específico, investigar os conhecimentos dos alunos do 2º ano do ensino médio do IFPI/ Campus Angical sobre a temática: Formação Estelar.

Nesse sentido, a pesquisa visou verificar os conhecimentos prévios dos alunos por meio de questionário, e após a aplicação do mesmo, a realização de uma aula básica sobre formação de estrelas, afim de verificar de que forma uma maior abordagem desse tema em sala de aula influenciaria na aprendizagem dos alunos. Segundo a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) nº 9394/96, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN, 2000) e as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+, 2002), os professores devem rever suas práticas educacionais, buscando estratégias para se ensinar física a seus alunos, propiciando formar cidadãos críticos e ativos, capazes de entender fenômenos naturais que os cercam.

2. ESTRELAS

2.1 HISTÓRICO

Segundo Gleiser (2006), desenhos gravados nas paredes de cavernas datados de 17.000 (dezessete mil) anos, já mostravam que a mais antiga dentre todas as ciências é de fato a astronomia, haja vista que, desde os primórdios da humanidade, o homem sempre foi fascinado em descobrir a origem das coisas. Por muito tempo o Sol foi considerado um deus na religião de muitos povos da antiguidade, tamanho sua importância para o desenvolvimento da vida terrestre.

Conforme afirma Picazzio et al. (2011), o Sol sempre foi alvo de observações, em um passado remoto construíam-se grandes construções feitas principalmente de pedra como: Stonehenge, localizado na Inglaterra, monumento megalítico em forma de círculos, erguido a 2800 a.C por celtas que habitavam esta região a pelo menos 3500 a.C.

Cada pedra que o compõem poderia pesar mais de 40 toneladas. Acredita-se, que eles as transportavam de uma pedreira localizada a 30 Km (trinta quilômetros) de distância, algo extremamente complexo para padrões da época, mostrando o grande potencial que os povos primitivos já tinham para a engenharia e que a partir de sua construção possibilitou acompanhar o movimento aparente que o Sol executava no céu. Esse conjunto de pedras devidamente alinhados era na realidade um grande observatório ao ar livre, que ajudaram os seres humanos a estabelecerem as bases para compreensão celeste, desenvolvendo posteriormente os primeiros calendários. (GLEISER, 2006). Conforme ilustrado na figura 1:

Figura 1 – Stonehenge, localizado ao sul da Inglaterra.



Fonte: Retirada de Picazzio et al. (2011, p. 155).

De acordo com Nogueira e Canalle (2009, p. 19):

O Sol, a cada dia, criava a divisão entre o dia e a noite. A Lua, a cada volta dada ao redor da Terra, marcava o período conhecido como mês. A posição de determinados agrupamentos de estrelas ao longo do tempo parecia indicar os melhores períodos para plantio e colheita – pistas fundamentais para sobrevivência dos primeiros agricultores, dezenas de milhares de anos atrás.

Desde os tempos primitivos, a região sempre esteve ligada a cultura da humanidade. Ao qual, as práticas ritualísticas eram uma forma de agradar os deuses celestiais, em busca de posteridade na colheita e no plantio. (MARTINS, 1994).

De acordo com Gleiser (2006), apesar de vários povos se valerem do uso de sacrifícios para agradar os deuses celestiais, erguendo muitas vezes monumentos que lhe permitiram entender melhor o comportamento dos corpos celestes, nenhum conseguiu atingir o nível de precisão dos babilônios.

Gleiser (2006, p. 22), destaca: “Para os babilônios os céus eram divinos. Conhecer seus movimentos significava conhecer as intenções dos deuses”. Como o uso e aprimoramento do entendimento celeste, surgiu a astrologia babilônica que se ocupava em prognosticar acontecimentos mundanos através do comportamento dos astros.

Um fenômeno bastante intrigante e misterioso nos tempos antigos, era o eclipse total do Sol. Na antiguidade o aparecimento desse acontecimento estava ligado a fúria divina, onde um castigo estava a se abater sobre os envolvidos nestas crenças. Os babilônios deixaram inúmeros registros de eclipses solares. Um tablete Sírio talhado em argila, contém um eclipse que ocorreu em 3 de maio de 1375 a.C ou 5 de março de 1223 a.C, sendo o mais antigo registro de um eclipse que se tem notícia. (PICAZZIO et al., 2011). Veja na figura 2.

Figura 2 – Registro de um eclipse solar em argila.



Fonte: Retirada de Picazzio et al. (2011, p. 156).

O astrônomo grego Aristarco de Samos (310 a.C – 230 a.C), por volta do século III a.C, estimou pela primeira vez a distância Terra ao Sol, usando instrumentos mecânicos ele constatou que o espaço de separação Terra-Sol seria 20 vezes maior que o da Terra-Lua, hoje se sabe que é algo entorno de 400 vezes, mas estudiosos apontam que Aristarco usava os procedimentos certos, só que os aparatos usados por ele não lhe permitiam uma segura precisão de suas medidas.

Segundo Martins (1994), o estudo astronômico vem sendo desenvolvido desde o período pré-histórico, através de pinturas deixadas em cavernas, até a astronomia espacial, onde telescópios orbitam a Terra visualizando objetos a distâncias inimagináveis e sondas vagam pelo cosmo em busca de respostas sobre a origem do Universo.

No século XVI, o astrônomo, teólogo e filósofo Giordano Bruno (1548 – 1600), deu um passo gigantesco para o entendimento da natureza das estrelas. Ao afirmar que as estrelas eram iguais ao Sol, além de cogitar a possibilidade de muitas delas, abrigarem vida em seu entorno. Vindo a ser queimado no dia 17 de fevereiro de 1600, por suas blasfêmias contra os dogmas da igreja católica. (HORVATH, 2008).

Quando no século XVII, o astrônomo italiano Galileu Galilei ao ouvir falar sobre a existência de um instrumento óptico capaz de aproximar objetos distantes, começou a construir o seu, passando a usá-lo em suas observações astronômicas. Abrindo uma nova era para o entendimento do Universo.

Em 1610, ele começou a observar as manchas solares. “Até o fim da Idade Média, o meio mais importante de observação astronômica era o olho humano, ajudado por vários aparatos mecânicos para medir a posição dos corpos celestes”. (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2004, p. 149).

A partir trabalhos de Galileu e Kepler, no século XVIII o inglês Isaac Newton, estimou com segura precisão a distância Terra ao Sol e massa do Sol, apresentando “o cálculo no seu famoso Principia Mathematica, fazendo uso da gravitação universal, formulada por ele mesmo em 1686/7”. (PICAZZIO et al., 2011, p. 157).

Com base nos trabalhos de Galileu, novos telescópios foram produzidos sendo instalados em vários locais do mundo. Com isso, foi possível ampliar as observações astronômicas. A partir da existência de padrões astronômicos, foi possível, determinar as estações dos anos, além de desenvolver meios que indicassem a localização aparente dos astros. (NOGUEIRA; CANALLE, 2009).

Em uma noite com o céu estrelado é possível ver mais de 1000 estrelas, sendo que algumas parecem desenhar aparentemente animais, a isso os astrônomos dão o nome de constelações. Muitas constelações são altamente conhecidas pelo mundo a fora, sendo uma delas, a constelação do Cruzeiro do Sul, bastante visível entre os meses de maio e setembro. Oliveira Filho e Saraiva (2004, p. 4) afirmam que:

Constelações são agrupamentos aparentes de estrelas, os quais os astrônomos, da antiguidade imaginaram formar figuras de pessoas, animais ou objetos. Numa noite escura, pode-se ver entre 1000 e 1500 estrelas, sendo que cada estrela pertence a alguma constelação.

De acordo com Faria (2007), o Cruzeiro do Sul, é representado por quatro estrelas muito brilhantes e que parecem desenhar um cruzeiro ou cruz no céu. Sendo que ao lado dessas existem duas outras estrelas que ficam localizadas na constelação do Centauro, mas que parecem estar alinhadas na direção da constelação do Cruzeiro do Sul, sendo conhecidas como guardas da cruz por ficarem sempre próximas dessa constelação.

No século XIX, o astrônomo e padre italiano Pietro Ângelo Secchi, foi um dos pioneiros da espectroscopia astronômica (estudar a interação da luz com a matéria) identificando o espectro de várias estrelas, além de afirmar que o Sol é uma estrela.

O século XX foi marcado por mudanças significativas na física, na qual Albert Einstein ao propor a famosa teoria da relatividade modificou totalmente o modo de entender o Universo, instigando ainda a novas pesquisas sobre as principais leis que dominam o cosmo. (MARTINS, 1994).

2.2 NASCIMENTO, VIDA E MORTE

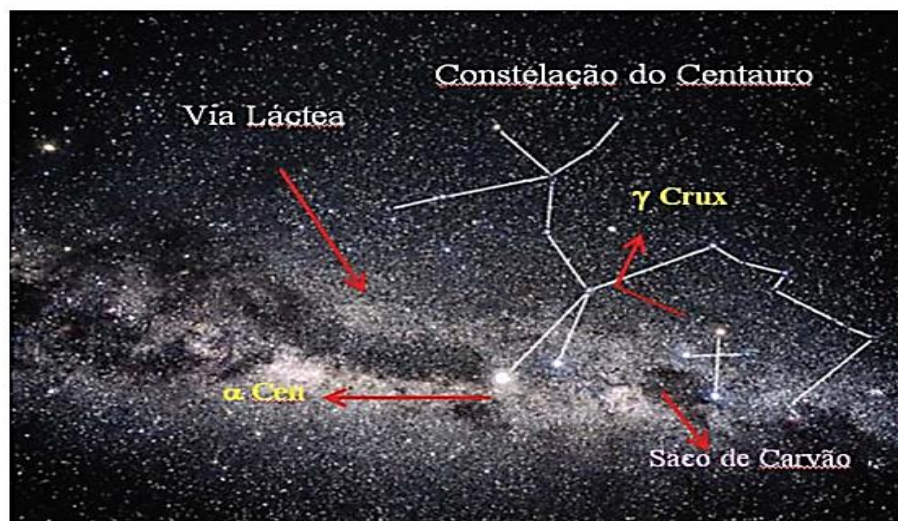
Ao olhar para o céu noturno, vê-se centenas ou até mesmo milhares de “pequenos pontos” brilhantes, por muito tempo permaneceu um mistério o que de fato seriam esses “pequenos pontos”, hoje sabe-se que os mesmos, na sua vasta maioria se tratam de estrelas muito distantes da Terra. Na mesma, as maiores distâncias são expressas em quilômetros, mas no espaço para expressar as distâncias entre estrelas, usar-se o ano-luz, ou seja, a distância que a luz (velocidade da luz no vácuo 299.792.458 m/s ou aproximadamente 300.000 Km/s) viaja no vácuo durante o

intervalo de um ano, isso equivalente aproximadamente a 9,5 trilhões de quilômetros. (ARANY-PRADO, 2006).

A velocidade da luz representada pela letra, c , é a entidade física mais rápida que existe na natureza, sendo bastante usada para estimar distâncias no meio interestelar. Desde o surgimento do ser humano na Terra até os dias atuais, a humanidade sempre buscou entender a luz, pelo fato de a mesma trazer em sua constituição aparatos necessários para promover vida. (ROONEY, 2013).

Além disso em uma noite sem interferências externas (iluminação de postes, atmosfera turbulenta entre outros), é possível perceber pequenas manchas escuras, em vários locais do campo de visão onde um observador se encontra. Um exemplo, são áreas próximo ao Cruzeiro do Sul, que apresentam um caráter opaco. Representada na figura 3:

Figura 3 – Aspecto do céu na região do Centauro.



Fonte: Retirada de Picazzio et al. (2011, p. 178).

As manchas escuras retratadas na figura 3, são na verdade nebulosas, ou seja, grandes nuvens de gás e poeira formadas a partir de restos de estrelas que explodiram (supernovas). Após o colapso a gravidade faz o papel de aglomerar todo material remanescente da explosão, em uma determinada região formando nuvens extremamente densas.

Quando por algum motivo ocorre um colapso gravitacional no interior de uma nebulosa, estima-se que ela possam atingir de 100 mil a milhões de massas solares (o Sol tem uma massa de $1,99 \times 10^{30}$ Kg, sendo o modelo padrão para que os cientistas consigam estudar outras estrelas e nuvens moleculares), ao passo que suas distâncias variam de dezenas a centenas de anos-luz. Tem-se um fator especial, que

pode dar surgimento há uma nova estrela, esse fenômeno está associado a eventos externos, como uma explosão de uma supernova, próxima a nuvem molecular. (MARRANGHELLO, 2014).

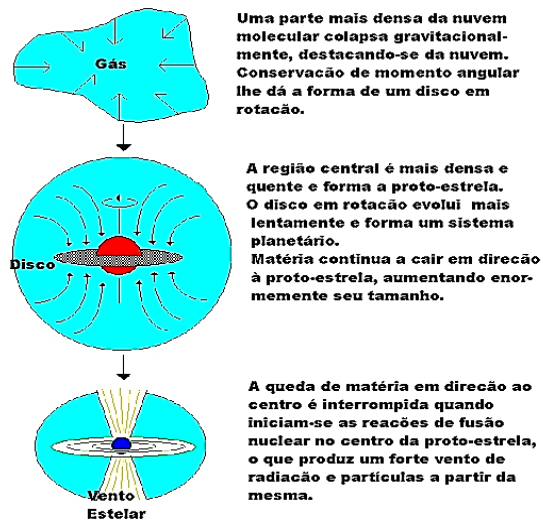
Para que ocorra a formação estelar é necessário que as nebulosas tenham uma quantidade gigantesca de hidrogênio (elemento químico essencial de uma estrela). Segundo Horvath (2008), em um mundo microscópico as moléculas do gás, com baixíssimos estados de agitações (10 a 20 K), tornam a nuvem extremamente densas. Quando um valor limite é atingido, tem-se o aparecimento de centros de atração gravitacional, onde parte da nuvem molecular começa a ser atraída em direção ao seu centro. Dependendo da quantidade de matéria comprimida, pode-se ter uma ideia de um embrião estelar, chamado de protoestrela.

A protoestrela continua a acrescentar matéria à medida que se contrai, devido a contração gravitacional da nuvem e da protoestrela ocorre um aumento significativo de temperatura e pressão no seu centro, quando a temperatura se eleva até atingir mais de 8.000.000 K (oito milhões de Kelvin), a partir deste valor o hidrogênio começa a produzir elementos mais pesados por meio da fusão nuclear, através dos constantes choques entre átomos de hidrogênio produzindo hélio e algo bem mais misterioso um fóton de luz, a partir deste momento a jovem estrela começará a brilhar. (MACIEL, 1999).

Neste momento a estrela recém nascida entrará na sequência principal (nome dado ao estágio em que as estrelas conseguem converter hidrogênio em hélio por meio de reações termonucleares), acredita-se que a maioria das estrelas passam 90% de sua vida na sequência principal. (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2004).

O Sol, contém um tempo de vida de mais de 100 milhões de vidas humanas. Em seu nascimento ele passou por essas etapas listadas acima, o material que originou o mesmo já é resultado de segunda ou terceira geração de estrelas que explodiram muito antes de sua existência, ou seja, os elementos que constitui os humanos, Terra, Sol e todos os planetas algum dia já teve no núcleo ardente de uma estrela. Os seres humanos são literalmente filhos das estrelas, na realidade o Sol é a madrastra da Terra, sua verdadeira mãe, morreu muito antes de sua existência. A figura 4 retrata a formação de uma estrela:

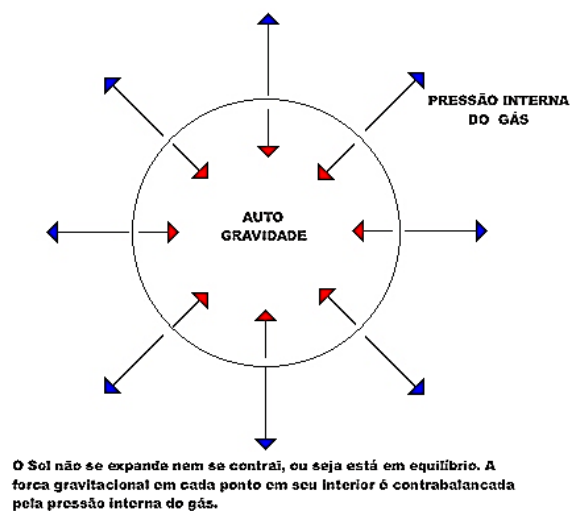
Figura 4 – Fases da formação estelar, no interior das nebulosas.



Fonte: http://w3.ufsm.br/rogemar/fsc1057/aulas/aula_estrelas.pdf.

Para que ocorra o nascimento de uma estrela, deve haver o equilíbrio entre duas forças, sendo uma a tendência natural de um gás com altas energias cinéticas escapar e a outra uma força oposta a primeira que tem a tendência de atrair o gás. Este equilíbrio de forças faz surgir uma estrela, algo desse tipo aconteceu a 4,6 bilhões de anos em um sistema solar localizado em um dos braços de Órion na Via Láctea, com isso surgiu uma estrela que vinha a ajudar a dar origem a uma forma inteligente de vida em um planeta localizado a cerca de 150 milhões de quilômetros de sua estrela. (GLEISER, 2006). Conforme ilustrado na figura 5:

Figura 5 – Equilíbrio hidrostático.



Fonte: http://w3.ufsm.br/rogemar/fsc1057/aulas/aula_estrelas.pdf.

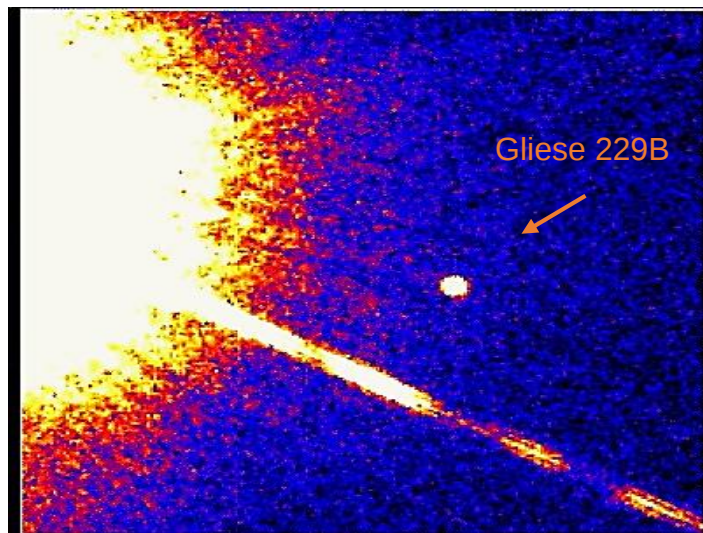
Mas, nem sempre uma protoestrela vem a se tornar uma estrela de fato. Caso a concentração de hidrogênio não seja suficiente fazendo com que a protoestrela só adquira uma massa inferior a 0,08 da massa do Sol, a temperatura em seu interior não conseguirá dá início ao processo de vital importância para a formação de uma estrela, chamado de fusão nuclear. Quando tais reações não ocorrem dentro de uma estrela, a mesma é chamada de anã marrom. (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2004).

Maciel (1999, p. 255) completa, fortemente a afirmação anterior dizendo que:

Na fase pré-seqüência principal, dependendo da sua massa, a proto-estrela pode alcançar temperaturas centrais suficientemente altas para a ignição do H, tornando-se uma estrela propriamente dita. Para $M \leq 0,08 M_{\odot}$, isso não ocorre, e esses objetos não chegam a se transformar em estrelas, tornando-se anãs marrons, de difícil detecção.

Uma estrela malsucedida que não consegue evoluir para uma estrela de fato, ficará o resto de sua vida sendo um objeto intermediário entre uma estrela e um planeta como Júpiter, por exemplo. O mesmo encontra-se na categoria de planeta, mas muito cientistas dizem que Júpiter é uma sub anã marrom com cerca de 0,001 da massa do Sol.

Figura 6 – Aspectos da fisionomia da anã marrom Gliese 229B.



Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/~charles/evolu/StellarEvol.pdf>.

Um exemplo, de uma anã marrom próxima da Terra, é a Gliese 229B (fig. 6), localizada na constelação de Lobo a 19 anos-luz da Terra, com massa entre 20 a 50 vezes a de Júpiter (Júpiter é o planeta padrão para o estudo de anãs marrons), objetos deste tipo mesmo não possuindo a fusão nuclear em seu interior, mas conseguem emitir luz em grandes proporções no infravermelho, portando temperatura superficial

típica de 1000 K (mil Kelvin), sua energia é devido as fortes contrações sofridas na época de sua formação. No final de suas vidas, elas simplesmente apagam em analogia como se fosse uma vela que consumiu todo o seu combustível, quando isso acontece elas se tornam anãs pretas.

Mas independentemente de ser uma estrela que consegue manter a fusão nuclear no seu interior por milhões, bilhões ou até mesmo trilhões de anos. De acordo com Sagan (1985), a fusão do hidrogênio é limitada e que depende diretamente da massa da estrela, ou seja, quanto maior a massa da estrela menor será seu tempo de vida e quanto menor for sua massa maior será seu tempo de vida.

O Sol, uma estrela de massa e tamanho intermediário, sendo este padrão para os estudos de outras estrelas, Picazzio et al. (2011, p. 157) ressalta:

Como outras estrelas, o Sol é uma esfera de gás ionizado (plasma) brilhante, sustentada por sua própria gravidade e pela energia de reações nucleares que ocorrem no seu núcleo. O Sol tem a idade do Sistema Solar (4,6 bilhões de anos) e é um astro de meia idade. À medida que envelhece, vai se expandindo, com consequências dramáticas para a Terra em um futuro distante.

Estrelas como o Sol vivem cerca de 10 bilhões de anos, o mesmo converte cerca de 600 milhões de toneladas de hidrogênio por segundo, em 596 milhões de toneladas de hélio e 4 milhões de toneladas na forma de energia, mas estrelas com massas superiores ao do Sol, fundem o hidrogênio a uma taxa muito superior a ele. Logo exaurindo seu combustível central.

Além disso, a massa da estrela determina a quantidade de energia que será produzida por ela. Por exemplo, a fusão inicial de quatro átomos de hidrogênio, obtém um átomo de hélio, só que com massa inferior à dos quatro núcleos que lhe ocasionaram. A massa que desaparece durante as reações é convertida em energia. (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2004).

Para Picazzio et al. (2011), ao analisar a equação desenvolvida por Albert Einstein no século XX, $E = m.c^2$, pode-se constatar que mesmo uma fração insignificante de massa pode obter um equivalente energético extremamente grande. Sendo a massa, a responsável pelo tempo de vida de uma estrela.

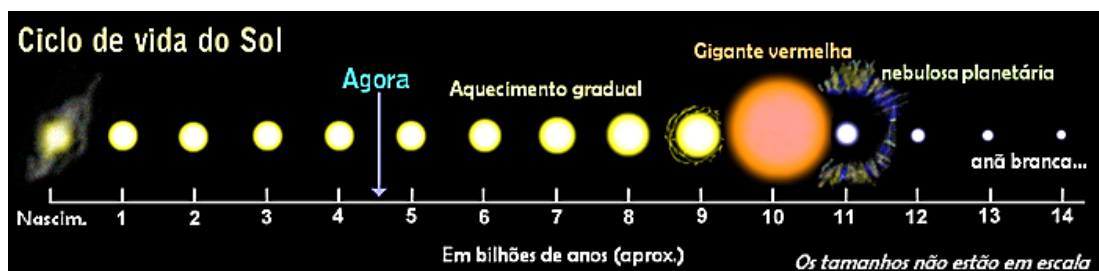
Oliveira Filho e Saraiva (2004, p. 201-202) afirmam que:

O destino final das estrelas, depois de consumir todo o seu combustível nuclear, depende de duas coisas: primeiro, se a estrela é simples ou se faz parte de um sistema binário ou múltiplo, e 60% das estrelas faz; e o segundo, de sua massa inicial. Se a estrela faz parte de um sistema binário ou múltiplo, sua evolução depende tanto da massa quanto da separação entre as estrelas, que determinará quando, na evolução, as estrelas interagirão.

“Embora sejam grandes as reservas de energia nuclear do Sol e das demais estrelas, com o tempo chagam a esgotar-se”. (KIPPENHAHN, 1981, p. 21). Uma estrela só possui 10% de sua massa total que pode ser convertida em hélio, isso acontece porque o único local que sustenta a fusão nuclear é o centro estelar, e este corresponde cerca de 10% da massa da estrela.

O Sol tem 4,6 bilhões de anos, por não ser uma estrela massiva já converteu aproximadamente 5% de sua massa central, à medida que envelhece, tende a se expandir aumentando sua luminosidade, acredita-se que em 1,1 bilhão de anos sua luminosidade será 10% maior do que é hoje, com isso a temperatura terrestre sofrerá efeito desastroso. (GLEISER, 2006). A figura 7 ilustra o processo evolutivo do Sol.

Figura 7 – Ciclo evolutivo do Sol.



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Sol>.

Após esgotar-se todas as reservas de hidrogênio no centro da estrela, o Sol será comprimido por sua própria gravidade, com isso sua temperatura irá aumentar absurdamente até atingir 100 milhões de Kelvin, neste estágio seu volume irá alcançar 100 vezes o seu valor atual ($1,412 \times 10^{18} \text{ km}^3$). (KIPPENHAHN, 1981).

Assim, o mesmo conseguirá fundir hélio em carbono, chegando ao estágio denominado pelos astrônomos de gigante vermelha. Estudos recentes afirmam que durante a fase gigante vermelha, a Terra será “engolida” pelo Sol, mesmo que isso não chegue a acontecer de fato, o destino do planeta azul estará selado, pois neste instante a superfície terrestre ficará seca e sem vida, com temperatura entorno de 700 °C. (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2004).

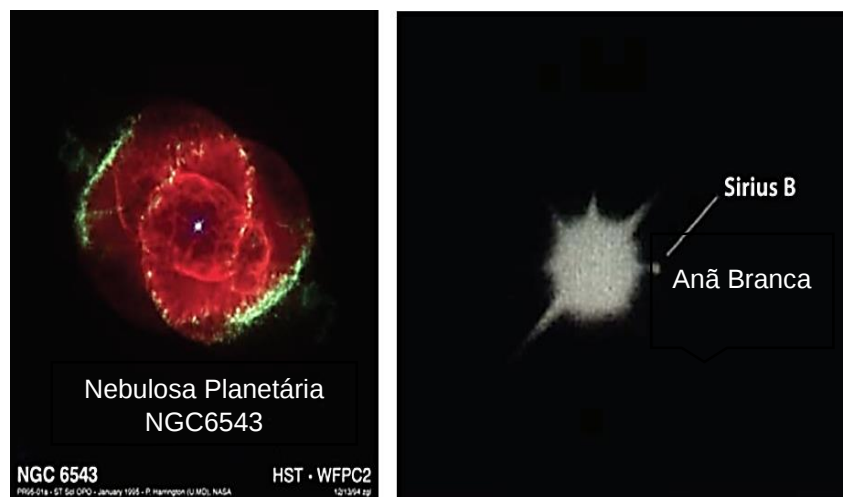
Segundo Oliveira Filho e Saraiva (2004, p. 205) afirmam que:

O Sol será, então, uma gigante vermelha, transformando hélio em carbono no núcleo e hidrogênio em hélio em uma fina camada mais externa. A massa do Sol não é suficiente para que a temperatura do núcleo alcance um bilhão de K, necessária para queimar o carbono.

Logo após, a estrela já sem combustível, entrará em uma fase de pulsações térmicas ejetando suas camadas externas formando uma nebulosa planetária, rodeando um cadáver estelar, chamado de anã branca degenerada.

Está permanecerá assim por centenas de bilhões de anos, logo após irá gradativamente se resfriando restando apenas, um corpo opaco e sem luz, que os cientistas chamam de anã preta (como a idade do Universo é algo entorno de 13,7 bilhões de anos, nos dias atuais não existe ainda nenhuma anã preta, devido o tempo para existência das anãs brancas ultrapassarem e muito a idade atual do Universo). (SAGAN, 1985). Conforme representado na figura 8.

Figura 8 – Exemplos de objetos parecidos com o Sol nos seus estágios finais.



Fonte: Retirado e adaptado de Picazzio et al. (2011, p. 196).

Estrelas com até 8 massas solares terminam sua vida como anãs brancas. Por outro lado, astros com mais 8 massas solares, não dispõem do mesmo privilégio. Estrelas massivas precisam de temperaturas centrais mais elevadas que o Sol, para contrabalancearem a tremenda pressão que as camadas externas exercem em seu interior, juntamente com sua própria gravidade, assim gastaram seu combustível mais rapidamente. Com escassez de hidrogênio no centro estelar, a mesma fundirá hélio em carbono e quando seu núcleo atingir uma temperatura inimaginável de um bilhão de Kelvin. Logo, conseguirá fundir elementos cada vez mais pesados até sua morte em uma enorme explosão, podendo dar origem a estrelas de nêutrons ou buracos negros. (MACIEL, 1999).

2.3 RELAÇÃO MASSA – DESTINO

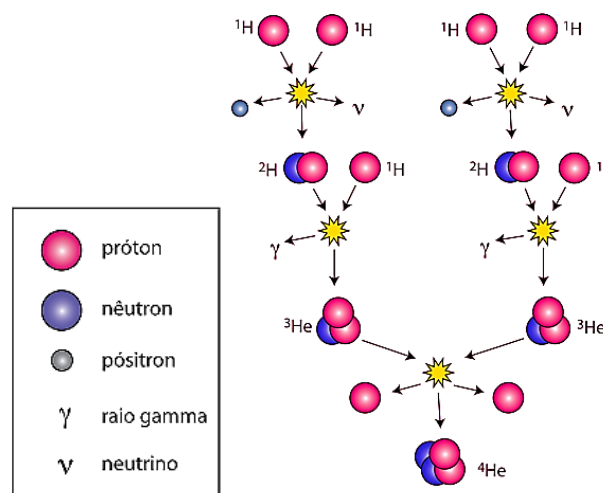
De um universo primordial, onde a 200 milhões de anos após o início do Big Bang (grande explosão). As primeiras estrelas ascenderam possuindo, $> 100 M_{\odot}$. Vindo rapidamente a esgotarem suas reservas nucleares, logo explodindo em belas explosões cósmicas. (DAMINELI; STEINER, 2010). Até um estágio do Universo em que estrelas com 1 massa solar são 300 vezes mais numerosas que estrelas com 10 massas solares.

Segundo Oliveira Filho e Saraiva (2004), estrelas que nascem com $0,08 M_{\text{Sol}}$ a $0,8 M_{\text{Sol}}$, são conhecidas como anãs vermelhas e entram na sequência principal convertendo hidrogênio em hélio, sendo considerada a menor quantidade de massa para que uma estrela consiga dar início a fusão de hidrogênio. Na qual a temperatura necessária para fundir o mesmo no núcleo estelar é da ordem de 10^7 K (dez milhões de Kelvin).

O elemento hidrogênio é caracterizado por ter um próton em seu núcleo, então por meio do princípio de atração e repulsão (cargas elétricas de mesmo sinal se repelem e cargas de sinais opostos se atraem). Os átomos de hidrogênio por terem núcleo positivo tendem a se repelirem mutualmente, mas devido as altas velocidades em que se encontram, fornecem energia cinética suficiente para superar a força de repulsão elétrica entre cargas de mesmo sinal. (PICAZZIO et al., 2011).

“As estrelas com massa até $1,75 M_{\text{Sol}}$ transformam o hidrogênio em hélio pelo ciclo próton- próton”. (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2004, p. 202).

Figura 9 – Etapas da cadeia próton-próton.



Fonte: Retirado de Picazzio et al. (2011, p. 193).

A cadeia próton-próton (fig. 9) é um ciclo intrínseco para estrela com baixa massa, em que as temperaturas centrais são inferiores a 15 milhões de Kelvin, assim este ciclo é composto das seguintes etapas: primeiramente dois átomos de hidrogênio se colidem (isso é extremamente comum no núcleo de uma estrela pelo fato de 90% dos átomos que constituem uma estrela em plena a sequência principal são do elemento químico hidrogênio), ao se colidirem transformam-se em um isótopo instável de hidrogênio, chamado deutério (^2H , composto basicamente por um próton e um nêutron), um pósitron [é uma antipartícula do elétron (e^-), só que dotado de carga positiva (e^+)] e um neutrino (ν , partícula subatômica que não interage com a matéria), por não ter um contado íntimo com a matéria o neutrino acaba por escapar da estrela, já o pósitron não tem o mesmo destino, vindo a se colidir com sua antipartícula o elétron, sendo ambos aniquilados e liberando energia.

Em um segundo momento, restando apenas o deutério instável, este logo encontra outro átomo de hidrogênio, acabando por se fundirem, dessa vez em um isótopo do elemento hélio [^3He] constituído por dois prótons e um nêutron, este acontecimento acaba por liberar energia sobre a forma de fótons (γ), nota-se que a figura 9 ilustra não dois átomos de hidrogênio se fundindo, mas um total de quatro, ou seja, para que essa cadeia seja concretizada o processo que envolve a colisão de dois núcleos de hidrogênio, deve se suceder duas vezes, por último o isótopo de hélio (^3He) acaba por encontrar outro isótopo de hélio (^3He), se tornando definitivamente em um átomo de hélio (^4He) e dois núcleos de hidrogênio, “Assim, um total de seis núcleos de hidrogênio está envolvido nas reações, mas apenas quatro deles são utilizados para formar o hélio”. (PICAZZIO et al., 2011, p. 194).

Estrelas que iniciam sua vida com 0,8 a 10 M_{Sol} , quando esgotam o hidrogênio no núcleo. Elas passaram por mudanças bruscas de temperatura, volume, pressão e luminosidade, como a região central apresenta escassez do elemento hidrogênio, mas abundância de hélio, a contração que a mesma sofre devido a pressão exercida pelas camadas externas, faz com que ela se aqueça internamente, com temperaturas da ordem de 10^8 K (cem milhões de Kelvin) ocorre a fusão do hélio, em um período de 100 milhões de anos, estando agora no ramo das gigantes vermelhas. (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2004).

Neste estágio a estrela moribunda se expande devido sua pressão interna, mas seu centro ainda continua a se contrair, até um ponto em que a densidade torna-se tão grande, que seu núcleo não consegue mais ser comprimido, neste momento as

camadas mais externas são vagarosamente ejetadas para o meio interplanetário. Formando uma nebulosa planetária cercado um rochedo constituído principalmente de carbono, conhecido como anã branca, mas com densidade média de 10^6 g/cm^3 , dimensões aproximadamente do planeta Terra e massa típica de $0,6 M_{\odot}$. (PICAZZIO et al., 2011).

De acordo com Mourão (1995) afirma que, as nebulosas planetárias, são objetos belíssimos, havendo cerca de 10.000 (dez mil) nebulosas planetárias na Via Látea, mas que possuem um tempo de vida muito curto, em termos astronômicos, com duração de 50 mil anos, após a dispersão das regiões mais externas, produzidas pelas gigantes ou supergigantes vermelhas.

A maior parte das estrelas do universo conhecido, orbitam em sistemas binários ou múltiplos. Algo entorno de 60% das mesmas e este fenômeno interfere no tempo de vida dessas estrelas, onde Sagan (1985, p. 233), dar um exemplo, de um possível evento que pode ocorrer:

Duas estrelas com massa semelhante evoluirão quase que em paralelo, mas uma estrela mais massiva gastará seu combustível nuclear mais rápido, tornar-se-á uma gigante vermelha mais cedo e entrará primeiro no declínio final, em anã branca. Deve haver, como há, muitos casos de estrelas binárias, um componente, uma gigante vermelha; a outra, uma anã branca. Alguns desses pares estão tão próximos que se tocam, e a atmosfera estelar brilhante flui da gigante vermelha distendida para a anã branca compacta, tendendo a cair em um local particular da superfície da anã branca.

Anãs brancas são bombas termonucleares instáveis, quando elas orbitam outra estrela seja ela uma, outra anã branca, uma gigante vermelha ou até mesmo uma estrela em sua plena sequência principal. Dependendo da distância de separação de amplas, pode haver transferência de matéria, como no exemplo, citado por Sagan (1985, p. 233), a gigante vermelha fornece matéria para anã branca. Segundo Oliveira Filho e Saraiva (2004, p. 188), “Em 1939, Subrahmanyam Chandrasekhar (1910-1995) construiu modelos rigorosos descrevendo a estrutura dessas estrelas, e qual sua maior massa possível, de $1,44 M_{\odot}$ ”. Podendo sofrer novas alterações termonucleares, chamadas de explosões de novas.

Por outro lado, Oliveira Filho e Saraiva (2004) afirmam que estrelas que iniciam sua vida com 10 a 25 massas solares se tornaram estrelas nêutrons. Após cessar a fusão de hidrogênio em seu núcleo, a estrela travará uma batalha para se manter ativa, passando pela fase de gigante e supergigante, ejetando grande quantidade de

massa para o meio interestelar. Por fim acabará explodindo em uma supernova restando apenas um objeto com uma massa típica de 1,4 massas solares, raio de 20 Km e uma temperatura superficial de 1 milhão de Kelvin.

Faria (2007, p.43) afirma que:

As estrelas também vão se transformando no decorrer do tempo, apresentando modificações no tamanho, nas cores, na temperatura e no brilho. No final de suas vidas, algumas estrelas podem explodir, lançando seus gases para o espaço. São as chamadas supernovas. Na explosão, os gases lançados formam uma nova nebulosa, que, muito tempo depois, pode dar origem a novas estrelas.

O nascimento desse tipo de estrela, é parecido com o de uma anã branca. Uma estrela é como uma fênix sempre buscando renascer de suas próprias cinzas, se valendo principalmente do hidrogênio e hélio para sobreviver, mas por ser uma estrela massiva, consegue facilmente prosseguir na fusão nuclear de outros elementos como, carbono, nitrogênio e oxigênio, sempre se contraindo e se expandindo nesse processo. (MARRANGHELLO, 2014). O esquema retratado na figura 10 apresenta as camadas semelhante a uma cebola, que as estrelas massivas passam em seus estágios finais:

Figura 10 – Interior de uma estrela massiva evoluída.



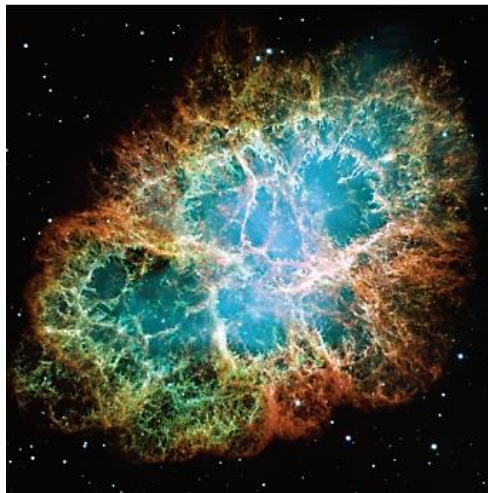
Fonte: Retirada de Picazzio et al. (2011, p. 195).

Cada fusão de elementos diferentes tem um tempo estimado, dependendo claro do gasto da estrela, ou seja, a fusão no núcleo estelar tem um limite, isso se dar a partir do acúmulo do elemento ferro no centro da estrela. Quando isso acontece a mesma só tem um único dia de vida, na qual os átomos de ferro roubam a energia que mantia a estrela viva, com este advento a gravidade finalmente vence a batalha, fazendo com que as camadas mais externas caiam em direção ao centro constituído

de ferro, algo extremamente completo e surpreendente acontece neste instante uma enorme explosão, expelindo com velocidade de 500 a 1000 Km/s, as camadas que vinham a despencar em direção ao centro, considerado por muitos cientistas um dos eventos mais misteriosos e fantásticos da natureza, uma explosão de supernova. (MARRANGHELLO, 2014).

Assim nasce uma estrela de nêutrons, um núcleo implodido de uma estrela massiva e com densidade da ordem de 10^{14} g/cm³. Para se ter uma ideia de quão densas são as estrelas de nêutrons, seria comparado pegar o morro do Corcovado localizado na cidade do Rio de Janeiro, e comprimi-lo até ele ficar do tamanho de um pequeno dado. (ARANY-PRADO, 2017). A figura 11, mostra a nebulosa do Caranguejo:

Figura 11 – Nebulosa do Caranguejo restos de uma explosão de supernova.



Fonte: Retirada de Picazzio et al. (2011, p. 198).

O limite de Chandrasekhar, mencionado para o estágio de massa que uma anã branca pode adquirir, é válido também para as estrelas de nêutrons, só que o limite máximo permitido para as estrelas de nêutrons é de $3 M_{\odot}$. Logo, as estrelas de nêutrons possuíram uma massa típica de $1,4 M_{\odot}$, até o limite teórico de $3 M_{\odot}$, sendo as mesmas, “o limite máximo para a existência de uma anã branca e o limite máximo para a existência de uma estrela de nêutrons”. (ARANY-PRADO, 2017, p. 130).

De acordo com Oliveira Filho e Saraiva (2004, p. 203), “Se a estrela iniciar sua vida com massa entre 25 e $100 M_{\odot}$, após a fase de supernova restará um buraco negro, com massa da ordem de $6 M_{Sol}$ ”. Os buracos negros são vistos como a vitória da autogravidade em estrelas altamente evoluídas. Objetos tão peculiares são estudados pela chamada teoria da relatividade geral, proposta por Albert Einstein em

1915. “Esta teoria prevê que no centro do buraco negro existe uma singularidade: um ponto no qual a densidade torna-se infinita e as leis da física não mais se aplicam”. (ARANY-PRADO, 2017, p. 131).

Picazzio et al. (2011, p. 199) complementa as afirmações acima dizendo:

Uma das propriedades dos buracos negros é explicada pela teoria da relatividade: todo corpo massivo provoca curvatura no espaço a sua volta e tudo que se move nesse espaço segue trajetórias curvas. No caso do buraco negro, essa curvatura seria extrema, levando tudo que estiver no interior do horizonte de eventos, uma área crítica no seu entorno, a mergulhar dentro dele. Se a velocidade de escape chega a ser maior que a luz (300.000 km/s) a região onde isso ocorre fica invisível. A abrangência do horizonte de eventos varia com a massa do buraco negro.

No dia 27 de novembro de 1783, o inglês John Michell (1724 - 1793), usando como fundamento a lei da gravitação de Isaac Newton, lançou a possibilidade da existência de objetos tão compactos e densos que nem mesmo a própria luz fugiria de seu domínio gravitacional. Teorias que tiveram que aguardar o desenvolvimento da astronomia, astrofísica e cosmologia moderna. Hoje com a existência comprovada de anãs brancas, estrelas de nêutrons, os buracos negros são vistos como uma consequência natural da evolução estelar. (MOURÃO, 1995).

Gleiser (2006, p. 174) completa as principais peculiaridades de um buraco negro, ao afirmar:

Buracos negros são regiões invisíveis do universo, com tamanha massa que nada escapa à sua tremenda força gravitacional, nem mesmo a luz – daí o seu nome. Verdadeiros ralos cósmicos, os buracos negros são capazes de tragar tudo à sua volta. Eles se formam quando as estrelas gigantes esgotam seu combustível. Sem combustível, elas não produzem mais a radiação que contrabalança sua própria gravidade e entram em colapso como um balão sem ar. Acredita-se que haja um buraco negro no centro de muitas galáxias, inclusive da nossa, a Via Láctea. Um dado curioso: todas as estrelas do universo têm uma vida útil, mas, até onde se sabe, os buracos negros são eternos.

Buracos negros, são o último estágio da evolução estelar, para estrelas que dispõem de massas extremamente elevadas e um tempo de vida muito curto. Mesmo que a Prioli pareçam assustadores, mas que em sua essência possuem o papel de manter o equilíbrio e harmonia para a existência do universo. Dados atuais confirmam a existência de mais de 60 bilhões de galáxias, cada uma possuindo em média 100 bilhões de estrelas, simplesmente fantástico, existe mais estrelas no universo que grãos de areia na Terra. (DAMINELI; STEINER, 2010).

Figura 12 – O sistema binário Cygnus X1 e a estrela supergigante azul.



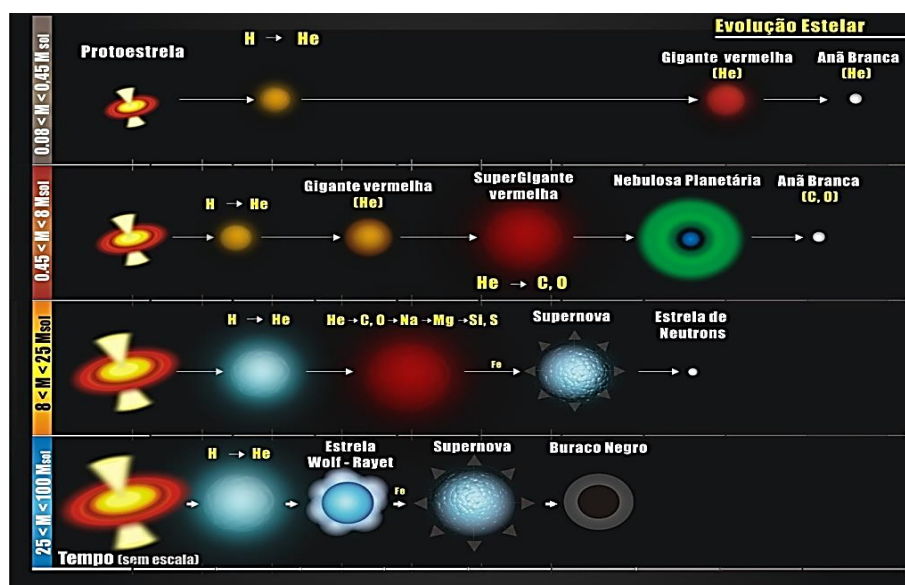
Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node14.htm>.

Oliveira Filho e Saraiva (2004), afirmam que um sistema binário (fig. 12) localizado na constelação de Cisne a cerca de 6.000 (seis mil) anos-luz da Terra, apresenta um fortíssimo candidato a um possível buraco negro. Este sistema é constituído, por uma supergigante azul com cerca de 20 massas solares, chamada de HD226868, que orbita Cygnus X1 (objeto invisível), a uma distância de 0,2 unidade astronômica ($1\text{UA} \cong 150$ milhões de quilômetros, distância Terra-Sol), isso equivale a 30 milhões de quilômetros, levando cerca de 5,5 dias para completa um ciclo orbital.

A companheira da Estrela azul, intriga os cientistas, por ser um objeto bastante compacto, possuindo entre 5 a 8 massas solares, não podendo ser uma estrela de nêutrons, pois ultrapassaria o limite de matéria permitido para este modelo de estrela. Sendo grande emissora de raio-X (forma de radiação invisível aos olhos humanos), foi descoberta por Satélite promissor de raio-X, chamado de Uhuru, lançado em 1970.

A figura13 mostra de forma esquematizada os destinos das estrelas conforme sua massa inicial:

Figura 13 – Ciclo evolutivo das estrelas.



Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node14.htm>.

2.4 RELAÇÃO MASSA – LUMINOSIDADE

O Sol, uma estrela como qualquer outra, fonte de luz e calor que promove a vida na periferia da Via Láctea, até hoje o único planeta que detém vida inteligente é a Terra. Onde boa parte da radiação proveniente do Sol, chega a mesma, aquecendo-a, outra parte é facilmente absorvida na sua jornada pelo espaço ou até mesmo pela própria atmosfera terrestre. Astrônomos em todo mundo conseguem estudar esta luminosidade aparente emitida pelas estrelas, através de telescópios espaciais que não sofrem interferência da atmosfera do planeta, aumentando a precisão dos seus gigantescos espelhos. (ARANY-PRADO, 2006).

A distância entre o observador e a estrela pode interferir na sua luminosidade aparente, por exemplo, o Sol está a 150 milhões de quilômetros da Terra, mas devido ao seu tamanho ser muito grande em comparação com a Terra (caberia 1,3 milhões de Terra dentro do Sol), a luminosidade que chega a ela é extremamente forte. Se por acaso o Sol fosse deslocado a uma distância de 20 anos-luz do planeta Terra, seria impossível visualizá-lo a olho nu (sem auxílio de instrumentos ópticos). (FRIANÇA et al., 2008).

Segundo Maciel (1999, p. 28), “Com exceção do Sol, as massas das estrelas são geralmente obtidas a partir da análise de sistemas binários e múltiplos”. Com o uso das massas e luminosidades de objetos em plena a sequência principal é possível relaciona uma forma empírica da seguinte forma:

$$L \propto M^n, \quad (2.4.1)$$

Onde L, representa a luminosidade de uma estrela, M, representa a massa da estrela e n, representa a potência de proporcionalidade da massa com relação a luminosidade de uma dada estrela.

Oliveira Filho e Saraiva (2004, p. 186) afirmam que, a massa é proporcional a luminosidade da estrela, sendo importantíssima para a compreensão do seu processo evolutivo. “Para estrelas com massas grandes, maiores do que 3 massas solares, a luminosidade é proporcional ao cubo da massa; já para massas pequenas, menores do que 0,5 massa solar, a luminosidade é proporcional à potência 2,5 da massa”. Ou seja:

$$M \geq 3 M_{\odot}, L \propto M^3 \quad (2.4.2)$$

$$3 M_{\odot} \geq M \geq 0,5 M_{\odot}, L \propto M^4 \quad (2.4.3)$$

$$M \leq 0,5 M_{\odot}, L \propto M^{2,5} \quad (2.4.4)$$

Assim pode-se definir uma média para todas as massas M da seguinte forma:

$$L \propto M^3$$

(2.4.5)

“As massas das estrelas variam entre 0,08 e 100 massas solares, ao passo que as luminosidades das estrelas variam entre 10^{-4} e 10^{+6} vezes a luminosidade do sol”. (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2004, p.186).

2.5 O DIAGRAMA HR

Em 1911 o astrônomo dinamarquês Ejnar Hertzsprung (1873-1967), verificou que um gráfico da luminosidade das estrelas em função de sua temperatura superficial mostrava importantes relações entre essas características. Dois anos mais tarde, o astrônomo norte-americano Henry Norris Russell (1877-1957) descobriu de forma independentemente, as mesmas relações entre a luminosidade e a temperatura das estrelas. Em homenagem a eles, o gráfico da luminosidade em função da temperatura é chamado de diagrama de Hertzsprung-Russell ou diagrama HR. (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2004).

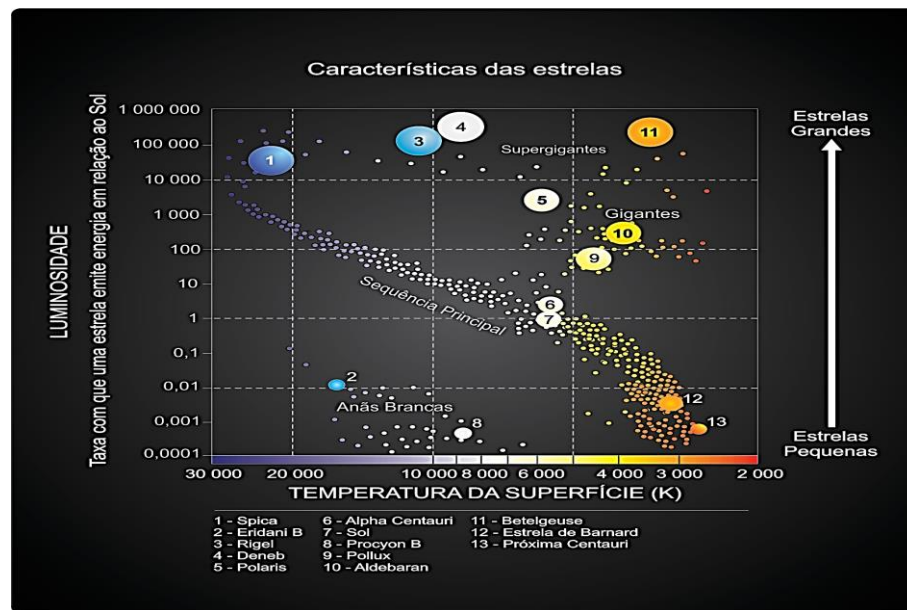
Segundo Kippenhahn (1981, p. 28-29):

Os astrônomos costumam debater esses problemas baseando-se num diagrama, no qual marcam a temperatura da superfície e a intensidade do brilho da estrela em questão. Este diagrama prestou-nos ajuda valiosíssima, quase fantástica, na decifração da lei que rege a evolução estelar.

A observação noturna pode revelar pistas importantíssimas sobre as estrelas. É possível notar com certa facilidade que algumas estrelas parecem apresentar a mesma coloração, mas que possuem brilhos aparentemente diferentes, isso foi que Hertzsprung especulou em seus estudos astronômicos, chegando à conclusão que mesmo que estrelas venham a apresentar mesma temperatura superficial, podem ser diferenciadas enquanto sua luminosidade.

De acordo Maciel (1999, p. 27), “O principal diagrama utilizado no estudo da evolução estelar é o diagrama HR (de Hertzsprung e Russell), essencialmente um gráfico da luminosidade estelar em função de sua temperatura efetiva”.

Figura 14 – Diagrama HR, para estrelas na vizinhança solar.



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

O diagrama HR, mostra uma íntima relação entre luminosidade e temperatura das estrelas, conforme a figura 14, destacando vários astros nas vizinhanças cósmicas do Sol. Ao olhar-se para este diagrama é possível perceber, que as estrelas não se distribuem de uma forma uniforme, mas que tendem a ser localizadas em proporções diferentes, formando uma extensa linha diagonal, chamada de sequência principal.

Por aspectos históricos, a temperatura cresce para a esquerda enquanto a luminosidade para cima, com característica extremamente evolutiva, mostra que esta faixa é o lar de todas as estrelas que fundem hidrogênio em hélio, exalando luz e calor neste processo. Enquanto as estrelas mais quentes e luminosas se agrupam do lado esquerdo e superior do diagrama, as estrelas com baixas temperaturas e menos luminosas, desfrutam de uma longa vida no lado direito e inferior. (ARANY-PRADO, 2017).

Gamow (1944, p.137-138), completa a afirmação acima dizendo: “através do diagrama, do canto inferior à direita ao canto superior à esquerda, foi se formando uma banda de intensa pontilhação, sobretudo perto do nosso Sol”.

2.6 RELAÇÃO TEMPERATURA – COR – LUMINOSIDADE

Temperatura, algo intrínseco da matéria, estando seu conceito intimamente relacionado ao nível de agitação das moléculas que constitui um corpo. O Brasil, adotou a escala Celsius (ou centígrado, em homenagem ao seu criador Anders Celsius), como escala padrão para se medir temperatura no meio social, cultural e educacional.

No meio científico, adotar-se a escala Kelvin (em homenagem a Lorde Kelvin), mundialmente chamada de escala absoluta. Este nome se dar pelo fato de a mesma conter o mínimo valor teórico de temperatura que se possa encontrar, correspondente a 273,15 °C abaixo de zero na escala Celsius. (ARANY-PRADO, 2006).

Estrelas, são astros que na maioria das vezes, não possuem uma uniformidade em sua temperatura, ou seja, possuem temperaturas diferentes, que dependerá da região a ser estudada. Uma de suas regiões, chamada de fotosfera, local que caracteriza a superfície aparente de uma determinada estrela e na qual é a “porta” de saída da radiação estelar. Sendo essa, a região utilizada para estimar a temperatura de uma estrela. Para Picazzio et al. (2011, p.181):

Em geral, quando se fala em temperatura de estrelas refere-se à temperatura da fotosfera (como no caso do Sol). A depender das características da estrela, a temperatura fotosférica pode atingir dezenas de milhares de graus, bem mais quente que o Sol, mas ainda bem inferior aos milhões de graus encontrados no interior das estrelas.

Ao se deparar-se com uma noite escura, é de fácil constatação que algumas estrelas não possuem a mesma cor, umas exibem aspectos azulados, enquanto outras são nitidamente mais avermelhas.

A cor das estrelas, de fato mostram informações à cerca de sua temperatura superficial. Os astrônomos poderão estudar melhor as estrelas, quando no final do século XVIII, o físico alemão Wilhelm Wien, estabeleceu uma lei, conhecida como lei de Wien (ou lei de deslocamento de Wien). Esta lei física relaciona “o comprimento de onda correspondente ao valor máximo do poder emissor de um corpo negro está relacionado à temperatura do corpo”. (MOURÃO, 1995, p. 9). Pela seguinte expressão:

$$\lambda_{\text{máx}} \times T = \text{constante}$$

(2.6.1)

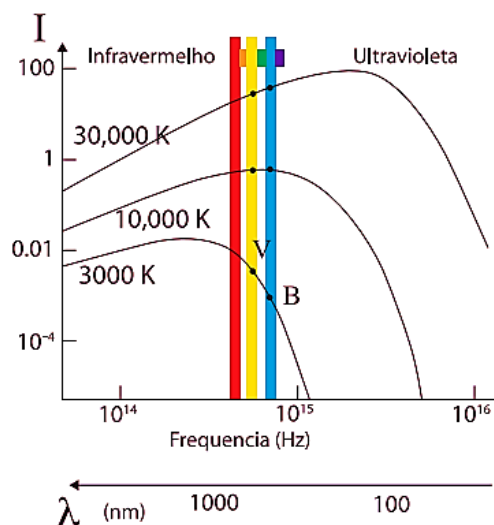
Onde:

$\lambda_{\text{máx}}$ é o comprimento de onda máximo (em metros); T é a temperatura do corpo em Kelvin (K) e a constante, conhecida como constante de Wien (valor da constante = $2,898 \times 10^{-3} \text{ m.K}$).

Com o uso de um espectroscópio, é possível visualizar, que o máximo poder de emissão no espectro solar se encontra, $\lambda_{\text{max}} = 500 \text{ nm}$ (500 nanômetros, $1\text{nm} = 10^{-9} \text{ m}$), fazendo um simples cálculo aritmético com a lei Wien (2.6.1), tem-se que a temperatura efetiva do Sol é 5.800 Kelvin. (PICAZZIO et al., 2011).

A figura 15 mostra a distribuição de radiação pertencente a um corpo negro em diferentes temperaturas. Assim para uma estrela que possua uma temperatura de 30.000 (trinta mil) Kelvin em sua superfície, sua curva máxima de energia estará situada na região do ultravioleta, por este motivo sua cor tenderá mais para o azul do que para o vermelho, aparecendo no céu noturno como um pequeno pontinho com coloração azul.

Figura 15 – Distribuição de energia para um corpo negro.



Fonte: Retirado de Picazzio et al. (2011, p. 181).

Por outro lado, estrelas com temperatura superficial de 3.000 (três mil) Kelvin, concentram o maior pico de sua radiação na região do infravermelho, aparecendo assim com coloração avermelhada no céu durante a noite. Sendo consideradas estrelas frias, em comparação as estrelas, amarelas, brancas e azuis. Mas relativamente quentes ($3000 \text{ K} \cong 2700 \text{ }^{\circ}\text{C}$), no meio terrestre onde a maior temperatura já registrada chegou a $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$. (MOURÃO, 1995).

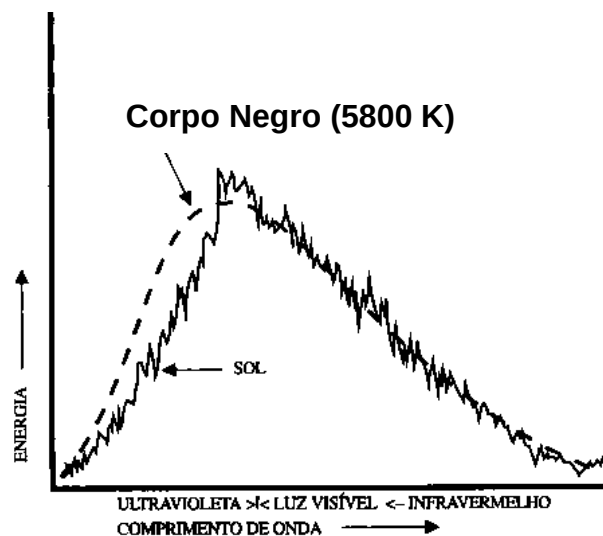
Segundo Sagan (1998, p. 50):

Uma estrela muito quente emite grande parte de sua luz na frequência ultravioleta. Uma estrela muito fria emite principalmente na frequência infravermelha. Mas o Sol, sob alguns aspectos uma estrela média, emite a maior parte de sua energia na luz visível. Na realidade, com uma precisão extraordinariamente alta, o olho humano é mais sensível à frequência exata da parte amarela do espectro, na qual o Sol é mais brilhante.

“Geralmente, a temperatura efetiva das estrelas está no intervalo $2\,000 < T_{ef}$ (K) $< 50\,000$. Alguns objetos, como as estrelas centrais de nebulosas planetárias, podem alcançar valores mais altos, $T_{ef} \approx 200\,000$ K”. (MACIEL, 1999, p. 21).

As estrelas, não são corpos negros ideais (objeto capaz de absorver e emitir toda radiação, estando assim em equilíbrio térmico, sendo caracterizado por apresentar propriedades que não depende do material e sim da sua temperatura), mas que se comportam de forma muito semelhante. A figura 16 mostra, um corpo negro a temperatura de 5.800 K, em relação a distribuição de energia do Sol em uma escala igual. (MOURÃO, 1995).

Figura 16 – O Sol como Corpo Negro.



Fonte: Retirado e adaptado de Mourão (1995, p. 11).

Segundo Oliveira Filho e Saraiva (2004), afirmam que o fluxo total emitido por uma estrela é determinado pela somatória da energia em todas as frequências. Podendo ser representado da seguinte forma:

$$F \equiv \sigma \cdot T_{ef}^4 \quad (2.6.2)$$

Onde $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ é a constante de Stefan-Boltzman e T a temperatura em Kelvin.

A taxa de energia que uma estrela emite por segundo é denominada de Luminosidade (L). Com uma forte dependência da quarta potência da temperatura e da segunda potência do raio estelar. (ARANY-PRADO, 2017).

$$L \propto T^4 R^2 \quad (2.6.3)$$

O fluxo total da estrela será a potência de energia produzida pela estrela por unidade de área (W/m^2). (PICAZZIO et al., 2011). Ou seja:

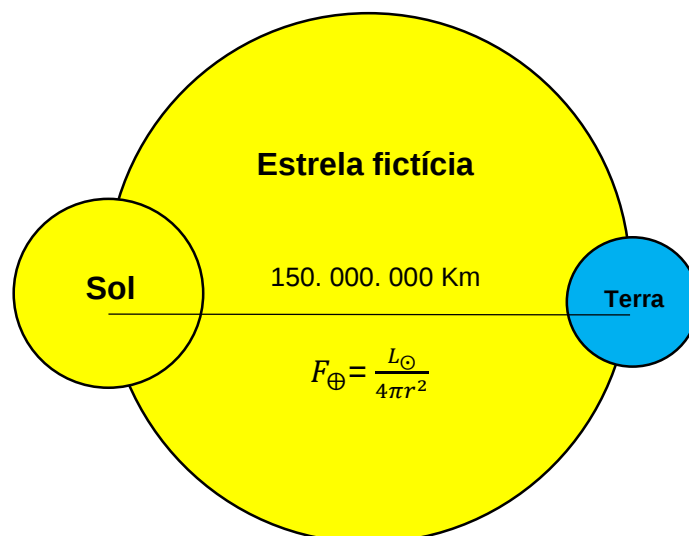
$$F(R) = \frac{L}{4\pi R^2} \quad (2.6.4)$$

Logo substituindo a equação (2.6.2) em (2.6.4), tem-se que:

$$L = 4 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \sigma \cdot T_{ef}^4 \quad (2.6.5)$$

Conforme Picazzio et al. (2011, p. 183) a luminosidade da estrela é algo que já nasce com ela. “Portanto, a luminosidade é uma característica intrínseca da estrela e só depende de sua temperatura (T) e do seu tamanho (R). Já o fluxo depende do local onde é medido, ou da distância da estrela”. Ou seja, quanto mais distante um planeta se encontra da sua estrela primária, menor será o fluxo de radiação recebido pelo mesmo, isso se deve pelo fato que a área a se considerar neste processo, é a área de uma estrela fictícia. Conforme ilustrado na figura 17.

Figura 17 - Representação de uma estrela fictícia para o fluxo terrestre.



Fonte: Autor (2018).

Para estimar o fluxo que a Terra intercepta em sua superfície, é preciso investigar a luminosidade que o Sol emite por segundo. Sabendo-se que o seu raio é

700.000 Km ou 7×10^8 m, sua temperatura superficial é algo entorno de 5.800 K, a partir dessas informações e fazendo uso da equação (2.6.5), tem-se:

$$L = 4 \times 3,14 \times (7 \times 10^8 \text{ m})^2 \times 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \times (5,8 \times 10^3 \text{ K})^4 \quad (2.6.6)$$

$$L \cong 3,9 \times 10^{26} \text{ W} \quad (2.6.7)$$

Ou, de posse que, 1 joule = 10^7 ergs ou 1 erg = 10^{-7} W.s, a luminosidade do Sol pode ser expressa da seguinte forma:

$$L \cong 3,9 \times 10^{33} \text{ ergs/s} \quad (2.6.8)$$

Assim, o Sol emite uma luminosidade de $L_{\odot} = 3,9 \times 10^{26} \text{ W}$ ou $L_{\odot} = 3,9 \times 10^{33}$ ergs/s. Esse total de energia é equivalente a 5 trilhões de bombas de hidrogênio. Nos estágios finais da Segunda Guerra Mundial, por volta de 1945, as cidades de Hiroshima e Nagasaki no Japão, foram quase exterminadas por uma bomba atômica de Urânio, lançada pelos Estados unidos, com um poder de destruição de 20.000 (vinte mil) toneladas de TNT (nitroglicerina), matando mais de 100 mil pessoas neste acontecimento que marcou a história mundial.

Por outro lado, uma bomba de hidrogênio tem um poder destrutivo de 1000 vezes a aquela que quase dizimou as cidades japonesas, ou seja, equivale a 20 milhões de toneladas de TNT. O Sol produz 5 trilhões dessas a cada segundo de sua existência, algo simplesmente extraordinário, estas são as estrelas. (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2004).

Uma parcela dessa energia chega a Terra, ao qual o fluxo interceptado tem como raio a distância de uma estrela imaginaria (150 milhões de quilômetros). Usando a equação (2.6.4) e substituindo o R, por r que representa a distância Terra-Sol, para este caso:

$$F_{\oplus} = \frac{L_{\odot}}{4\pi r^2} \quad (2.6.9)$$

Ao chegar ao planeta a radiação incidente é recebida em uma porção da Terra que tem como área de um círculo, $\pi R_{\oplus}^2$, com base nessa informação pode-se constatar que a potência luminosa incidente em sua superfície é:

$$P = F_{\oplus} \cdot \pi R_{\oplus}^2 \quad (2.6.10)$$

Substituindo a equação (2.6.9) em (2.6.10), tem-se:

$$P = \pi R_{\oplus}^2 F_{\oplus} = \pi R_{\oplus}^2 \frac{L_{\odot}}{4\pi r^2} \quad (2.6.11)$$

Onde $R_{\oplus}$ é o raio da Terra, $R_{\oplus} = 6.400 \text{ Km}$.

Devido a mesma está em constante rotação em torno de seu eixo imaginário, completando uma volta em torno de si própria a cada 24 horas. Pode-se inferir uma média para o fluxo interceptado por toda área terrestre, $4\pi R_{\oplus}^2$, sendo o fluxo médio a razão entre a potência que chega a mesma por sua área total:

$$\overline{F}_{\oplus} = \frac{P}{4\pi R_{\oplus}^2} \quad (2.6.12)$$

Substituindo a equação (2.6.11) em (2.6.12), tem-se:

$$\overline{F}_{\oplus} = \frac{\pi R_{\oplus}^2 \frac{L_{\odot}}{4\pi r^2}}{4\pi R_{\oplus}^2} = \frac{L_{\odot}}{16\pi r^2} \quad (2.6.13)$$

Colocando os respectivos valores na equação (2.6.13), sendo $L_{\odot} \cong 3,9 \times 10^{33}$ ergs/s, o valor de $\pi \cong 3,14$ e r a distância Terra-Sol, que é aproximadamente $1,5 \times 10^{11}$ m ou $1,5 \times 10^{13}$ cm. Obtém-se:

$$\overline{F}_{\oplus} = \frac{3,9 \times 10^{33}}{16 \times 3,14 \times (1,5 \times 10^{13})^2} = 3,5 \times 10^5 \text{ ergs s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \quad (2.6.14)$$

“A Terra absorve 61% da luz incidente, refletindo os outros 39%. A energia absorvida aquece a Terra, que irradia como um corpo negro a uma taxa de σT^4 por unidade de área”. (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2004, p. 164). Logo:

$$\sigma T_{\oplus}^4 = 0,61 \overline{F}_{\oplus} \quad (2.6.15)$$

Na Terra o fluxo médio emitido pelo Sol, permite conservar a vida humana, com uma temperatura média de 290 Kelvin (17 °C), mas isso é graças a uma proteção natural criada pelo próprio planeta, conhecido como camada atmosférica. Servindo como um retentor de radiação (efeito estufa), constituído principalmente de gás carbônico (CO₂) e vapor de água (H₂O), ao qual sem o mesmo a temperatura média do planeta seria 249 K (ou – 24 °C). Portanto, o efeito estufa permite um controle natural sobre a temperatura da Terra, permitindo que a maior parte de sua superfície encontre-se acima do ponto de fusão da água. (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2004).

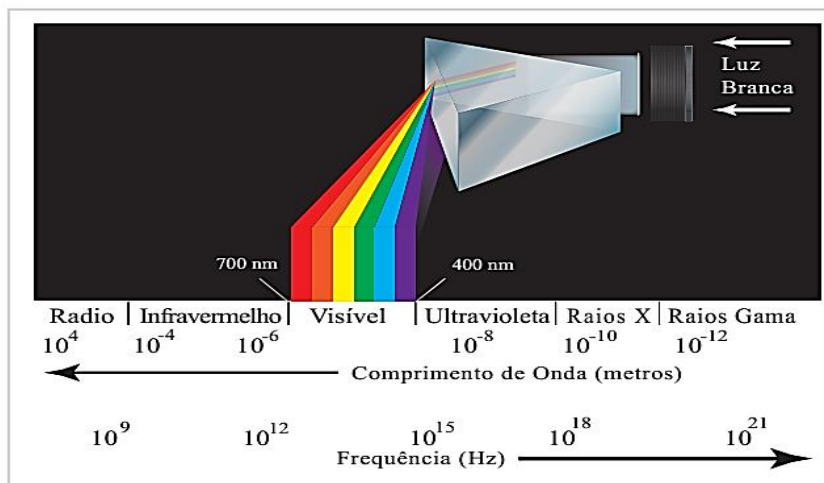
2.7 ESPECTROSCOPIA

2.7.1 Histórico

Entre os anos de 1665/66, o engenhoso físico inglês Isaac Newton, através de seus estudos sobre a natureza da luz veio a explicar um fenômeno ao qual hoje é

chamado de espectro. Ao incidir uma luz branca (fig. 18) sobre um prisma, ela se decompõe em várias cores (do vermelho ao violeta), em analogia a um arco-íris.

Figura 18 – Decomposição da luz branca, ao atravessar um prisma.



Fonte: Retirado de Picazzio et al. (2011, p. 179).

Em 1802, o médico, químico e físico William Hyde Wollaston (1766 – 1828), descobriu linhas escuras no espectro solar. Na mesma época, o alemão Joseph von Fraunhofer (1787 – 1826) inventou um instrumento, chamado de espectroscópio (aparelho usado para visualizar o espectro), passando a usá-lo em seu estudo espectral, descobrindo 574 linhas escuras no espectro do Sol.

Bunsen e Kirchhoff, em 1856, desenvolveram um bico com chama incolor (bico de Bunsen), vindo posteriormente a descobrirem que cada elemento químico produzia sua própria sequência de linhas. “É como se cada elemento tivesse sua própria impressão digital”. (GLEISER, 2006, p. 106).

Por volta de 1860, o estudo espectral sofreu uma grande revolução, vindo a ser finalmente descoberto no espectro solar o elemento mais abundante do universo, o hidrogênio, pelo sueco Anders Jonas Ångström (1814 - 1874). Já o segundo elemento mais abundante é o hélio, sendo este descoberto primeiramente no espectro solar, em 1868, pelo o astrônomo inglês Sir Joseph Norman Lockyer (1836 - 1920). “A partir da observação das linhas espectrais, principalmente do hidrogênio, por volta de 1860 iniciou-se a chamada classificação espectral”. (ARANY-PRADO, 2017, p. 144).

2.7.2 Classificação espectral

Na década de 1920, uma astrônoma de nacionalidade americana Annie Jump Cannon (1863 – 1941), classificou as estrelas baseado na sua temperatura superficial (quadro 1). Para estrelas que vivem na sequência principal e fora dela, a classificação de Cannon apresenta a seguinte forma:

O B A F G K M (2.7.1)

Onde estrelas do tipo O são mais quente do que do tipo M (um mnemônico em inglês bastante usado por alunos de astronomia para memorizar a sequência de classificação é o seguinte: “Oh! Be A Fine Girl, Kiss Me!”, que para português pode ser traduzido assim: Oh! Seja uma garota legal, beije-me). (ROONEY, 2013).

Quadro 1 – Classificação espectral, em ordem decrescente de temperatura.

Classe Espectral	Cor da Estrela	Temperatura Superficial (K)	Exemplo
O	azul	20.000 a 40.000	Mintaka
B	branco-azulado	15.000	Rigel
A	branco	9.000	Sírius
F	branco-amarelado	7.000	Prócion
G	amarelo	5.500	Capella
K	alaranjado	4.000	Aldebarã
M	vermelho	3.000	Betelgeuse

Fonte: http://www.if.ufrgs.br/mpef/mef008/mef008_02/Claudia/classificacaoespectral.html.

Posteriormente o sistema de classificação de Cannon, foi aprimorado acrescentando a cada letra da classificação, uma numeração que vai de 0 a 9 (onde 0 representa estrelas mais quentes e 9 mais frias), além disso em 1943, três cientistas, acrescentaram parâmetros de luminosidade, completando a tríade para classificação de uma estrela. Segue no quadro 2 a classificação em detalhes:

Quadro 2 – Classificação das estrelas, quanto sua luminosidade.

Classe	Como são chamadas	Exemplo
Ia	Supergigantes superluminosas	Rigel
Ib	Supergigantes	Betelgeuse
II	Gigantes luminosas	Antares
III	Gigantes	Aldebarã
IV	Subgigantes	α Crúcis
V	Anãs	Sírius

Fonte: Retirada e adaptada de Oliveira Filho e Saraiva (2004, p. 177).

“O Sol é uma estrela do tipo G2V, onde o V indica a classe de luminosidade das chamadas estrelas anãs”. (ARANY-PRADO, 2017, p.145).

3 COMO ABORDAR A FORMAÇÃO DE ESTRELAS NO ENSINO MÉDIO?

Existem inúmeras formas de se trabalhar o tema: Formação Estelar no ensino médio. A seguir será mostrado sugestões que podem ser seguidas para introduzir a referida temática em sala de aula, conforme sugerido pelos PCN+ (2002) de física.

Vale ressaltar que qualquer conceito físico pode ser abordado de forma estritamente teórica nas práticas educacionais no ensino de física (sendo estas, os processos mais comuns que se observa na maioria das escolas). Porém, não deve ser o único meio de mediar o conhecimento dos alunos, pois segundo Freire (2002), o profissional que reprime o lado curioso do aluno, como uma tentativa frustrada de prevalência do ensino mecanizado, acaba por tornar o processo educacional sem sentido para a vida dos estudantes.

Já é perceptível que assuntos relacionados a astronomia são poucos discutidos em sala de aula no ensino médio, mesmo que na literatura exista inúmeros trabalhos que comprovam que assuntos relacionados a este ramo da física, são os que mais instiga a curiosidade do alunado, pelo fato, de abordarem fenômenos que se mostram constantemente presentes na vida dos mesmos. A escola deve se conscientizar de suas práticas educacionais.

Segundo Lima e Alencar (2017, p. 16), “cabe a escola desenvolver projetos relativos ao tema astronomia, assim como o professor de criar situações e desenvolver estratégias de ensino que beneficie o aluno acerca desse tema, visto que a importância dessa abordagem é tamanha”. Só assim, o ensino de física sairá de um processo de aprendizagem mecanizado, para um processo educacional diferenciado, formadores de estudantes ativos e críticos, capazes de entenderem os principais fenômenos que os rodeiam.

A formação estelar, é uma das temáticas referentes ao ensino de astronomia, que pode ser detalhado em sala de aula, por meio de documentários, livros, palestras, simulações, questões que relacionem o assunto estudado com a referida temática, etc. As formas de abordar este tema são:

1. Documentários: Trata-se de produções artísticas, com o compromisso de retratar a realidade.

Pode ser considerado uma forma promissora de explorar o assunto em questão, pelo fato de exigirem gastos relativamente pequenos, e que na maioria das escolas (municipais, estaduais e federais), fazem o uso de equipamentos áudio visual

(Datashow). As mídias digitais (vídeos, celulares, recursos áudio visual entre outros) estão fortemente inseridas no meio social, cultural e educacional.

Cabe a gestão escolar, se valerem desses instrumentos, buscando o ensino-aprendizagem de seus alunos. Durante uma aula de física, pode-se utilizar vídeos como uma forma de mostrar aos mesmos que a física é uma disciplina diferenciada, onde pouco a pouco o estudante irá compreender que a mesma é intrínseca do seu dia a dia.

Um bom exemplo, é a serie Cosmos, realizada por Carl Sagan e sua esposa Ann Druyan, em 1980. O programa Cosmos, trouxe uma visão privilegiada sobre o funcionamento do universo a mais de 500 milhões telespectadores. O mesmo foi gravado em doze países diferentes, em um intervalo de tempo de três anos. Contando com 780 minutos de produção, divididos em 05 dvds. Totalizando treze episódios com 60 minutos cada. A partir da série de televisão, Carl Sagan escreveu um livro na mesma época.

Várias escolas estaduais, ganharam para seu acervo digital a coleção completa da série, um exemplo, delas é a Unidade Escolar Landri Sales, escola localizada no município de São Pedro do Piauí. Existem vários sites de download que disponibilizam a série Cosmos completa, sendo uma boa opção de iniciar o estudo astronômico nas práticas educacionais. Veja na figura 19.

Figura 19 – Coleção Cosmos de Carl Sagan, da Unidade Escolar Landri Sales.



Fonte: Autor (2018).

Além dessa coleção, existem uma infinidade de outras series e documentários que podem ser usados dentro de sala de aula como uma forma de despertar o

interesse do aluno pela vida acadêmica. Mas o que se vê na realidade são estudantes mais preocupados em tirarem boas notas no que o aprendizado propriamente dito. Conforme Luckesi (2008, p.18):

Os alunos têm sua atenção centrada na promoção. Ao iniciar um ano letivo, de imediato, estão interessados em saber como se dará o processo de promoção no final do período escolar. Procuram saber as normas e os modos pelos quais as notas serão obtidas e manipuladas em função da promoção de uma série para outra. Durante o ano letivo, as notas vão sendo observadas, médias vão sendo obtidas. O que predomina é a nota: não importa como elas foram obtidas nem por quais caminhos. São operadas e manipuladas como se nada tivessem a ver com o percurso ativo do processo de aprendizagem.

O uso de vídeos pode se caracterizar um ótimo recurso, rompendo assim a visão negativa que os alunos possuem da física. Pois os mesmos irão perceber que a formação de estrelas, por exemplo, está muito ligada ao seu cotidiano, onde ao se depararem com o céu noturno, podem a vim comentar com seus familiares que aprenderam várias curiosidades na aula de física sobre aqueles pequenos pontinhos brilhantes.

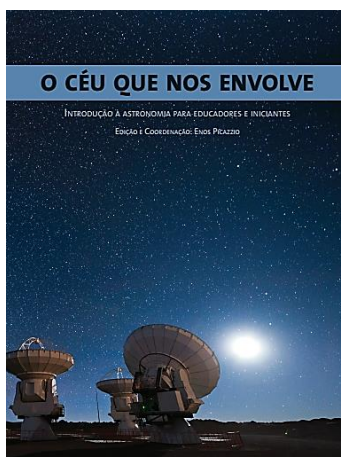
2. Livros: Bastante usado como uma interligação do conhecimento entre professor e aluno.

Até a década de 90 do século XX, o uso de livros era mais centrado na figura do professor. Na atualidade os livros são acessíveis a todos os níveis da educação brasileira. Existem inúmeros livros que abordam a temática formação estelar, sendo alguns destinados à educação básica (ensino fundamental e médio) e outros voltados a educação superior, retratando conceitos mais complexos.

Segue abaixo alguns livros que podem ser usados pelo professor de física, buscando introduzir a referida temática dentro da escola, como uma maneira de instigar os estudantes a si valerem dessas atividades em sua vida.

O Céu que Nos Envolve: Lançado em 2011 (fig. 20), retrata uma introdução ao estudo sobre astronomia, destinados principalmente a educadores e estudantes. Sendo este editado pelo Prof. Dr. Enos Picazzio e escrito por diversos professores renomados do Brasil, como Augusto Damineli, Eder Cassola Molina, Gastão B. Lima Neto, Jane Gregorio-Hetem, Roberto Costa, Vera Jatenco e Walter Maciel, além do jornalista especializado Ulisses Capozzoli.

Figura 20 – Livro o Céu que Nos Envolve.

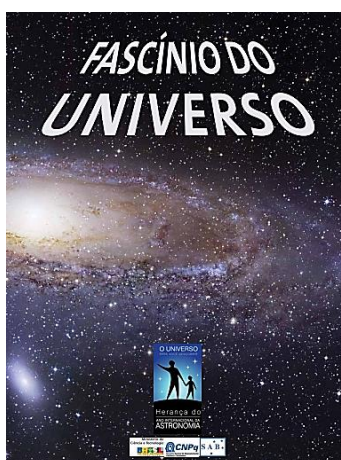


Fonte: <http://www.iag.usp.br/astronomia/livros-e-apostilas>.

O Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG/USP), lança em sua página online o livro, o céu que nos envolve para download totalmente gratuito em formato digital (pdf), com a finalidade de disseminar o conhecimento científico. Outro livro disponibilizado pela IAG é Fascínio do Universo:

Fascínio do Universo: Em 2009 foi comemorado o ano internacional da Astronomia, para homenagear este ano solene, os professores Augusto Damineli e João Steiner, lançaram o livro “Fascínio do Universo” (fig. 21), sendo disponibilizado várias cópias impressas que foram distribuídas em diversas escolas e a edição digital pode ser encontrada em: (<http://www.iag.usp.br/astronomia/livros-e-apostilas>), juntamente com outros materiais disponibilizado pelo Departamento de Astronomia da IAG.

Figura 21 – Livro Fascínio do Universo.



Fonte: <http://www.iag.usp.br/astronomia/livros-e-apostilas>.

ABCD da Astronomia e Astrofísica: escrito pelo Prof. Dr. Jorge E. Horvath em 2008. O livro (fig. 22) oferece uma visão ampla e atualizada de várias áreas da

astronomia, em especial a astrofísica estelar. Sendo este muito bom para iniciação científica, pelo fato de trazer uma linguagem de fácil entendimento, além na ênfase de ilustrações para o melhor entendimento. Não havendo disponibilidade para download em formato eletrônico, só é possível adquiri-lo em livrarias e sites de compras virtuais.

Figura 22 – Livro O ABCD da Astronomia e Astrofísica.



Fonte: <http://www.iag.usp.br/astronomia/livros-e-apostilas>.

Além de livros, o meio virtual dispõe de bons sites que podem servir de apoio durante as aulas de física no ensino médio, sendo, um exemplo, dos mesmos a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), que divulgam em sua página da internet conteúdos sobre a formação estelar e sobre o Universo de uma maneira mais ampla, trazendo figuras, simulações, gráficos e tabelas, onde grande parte desse acervo se encontra disponível também no livro *Astronomia e Astrofísica* (2004), escrito por Kepler de Sousa Filho e Maria de Fátima Oliveira Saraiva, ambos professores da UFRGS. O uso desses materiais, requer referenciá-los, caso precise expô-los em eventos científicos.

Em 1999, a mestrande Albertina Maria Leal Tavares, defendeu sua dissertação na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Para obtenção do grau de Mestre em Ensino de Astronomia com o título: *Concepção de um Manual Escolar destinado ao Ensino secundário: "A Vida das Estrelas"*. Um trabalho belíssimo retratando do início a morte das estrelas, citando exercícios e objetivos de cada explanação.

Um trabalho simplesmente indispensável que pode ser usado para fins educacionais. A própria Universidade do Porto, autoriza o acesso ao trabalho de Albertina, na sua página da internet com duas versões para download (preto-branco e colorido): <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/10043>.

3. Simulações: Meio interativo que mostra informações através de ambientes virtuais, aproximando a tecnologia das pessoas.

O “mundo” digital é imenso, com várias formas de simulações educacionais que o professor como agente mediador do conhecimento pode usar em suas aulas de física correlacionando teoria e prática.

O ambiente virtual mais conhecido é o PhET (fundado em 2002, por intermédio do ganhador do Prêmio Nobel de Física em 2001, Carl Wieman, assim nasceu o projeto PhET Simulações Interativas da Universidade do Colorado Boulder. Trazendo mais 360 milhões de simulações distribuídas entre Física, Química, Biologia, Ciências da Terra e Matemática). Para seu uso é preciso instalar no computador ou notebook, programas como: Java e flash player, além de um navegador que reconheça a linguagem de programação html5.

Uma forma prazerosa e divertida de se aprender este é o objetivo do PhET (fig. 23), ou seja, trazer para sala de aula um meio interativo, atual, na qual os estudantes aprendam de forma dinâmica. Essa plataforma de simulações traz várias simulações englobando todas as áreas da física.

Acredita-se, assim como Moro (2013), que o uso da experimentação leva aos alunos a desenvolverem suas habilidades tanto cognitivas quanto mentais, propiciando assim uma manipulação de materiais. Vindo a desafiar a si próprios, vivenciando assim condições de extrema importância para seu processo de ensino-aprendizagem.

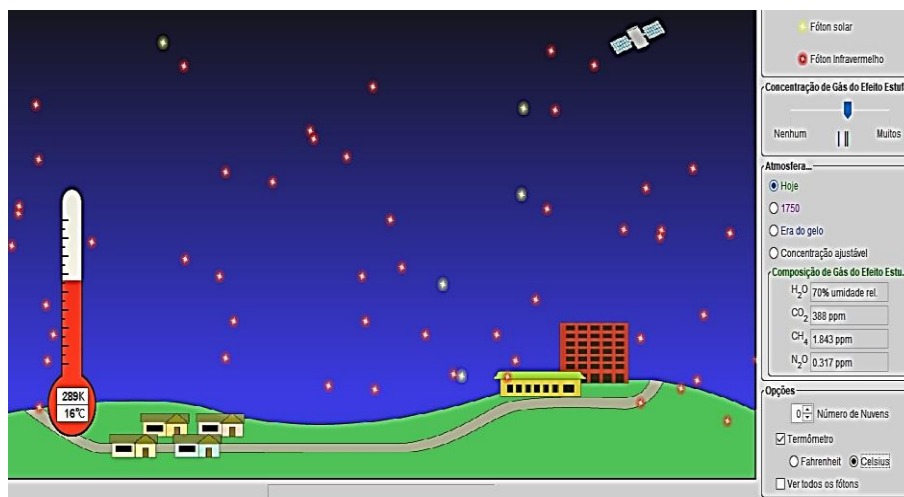
Figura 23 – Página inicial do PhET.



Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations.

No estudo sobre temperatura, pode-se introduzir simulações que relacione o assunto físico, com a formação estelar, segue um exemplo:

Figura 24 – Efeito Estufa, simulação no PhET.



Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/.

A simulação acima (fig. 24) mostra o efeito estufa, uma longa camada de gases que envolve o planeta Terra, quando a radiação proveniente do Sol chega a Terra boa parte é refletida novamente para o espaço, mas uma porção da mesma consegue penetrar, sendo absorvida e refletida novamente pela superfície terrestre. Só que agora com comprimentos de onda diferente da incidência original, se concentrando na região do infravermelho do espectro eletromagnético, onde está ao retornar para o espaço encontra a sua frente a atmosfera da Terra ficando impedida de sair do planeta. Isso é responsável por aquecer a Terra mantendo uma temperatura média entorno de 290 Kelvin (17 °C).

Durante uma aula de física seria uma forma excelente de mostrar a importância do efeito estufa para manutenção da vida terrestre. Caso o mesmo não existisse, a temperatura média da Terra seria entorno de 249 Kelvin (-24°C).

Além disso, através dessa simulação é possível perceber que o aumento da poluição causado pelo ser humano tem aumentado os níveis de concentração de gases na atmosfera da Terra, principalmente o CO₂ (dióxido de carbono, também conhecido como gás carbônico), como consequência a temperatura média terrestre tende a subir, provocando o derretimento das geleiras e por fim uma onda de devastação e caos no planeta.

Neste sentido, poderia ocorrer uma interdisciplinaridade entre física e geografia, onde os professores iriam despertar no alunado a importância de cuidar da

natureza. Seria uma forma de mudar velhas rotinas de aulas teóricas com resoluções de problemas (não desmerecendo estas atividades, são de suma importância só que não podem ser as únicas no processo de ensino-aprendizagem dos alunos).

Durante o debate entre alunos e professores de física e geografia, ambos poderiam frisar na importância do Sol para manutenção da vida no planeta Terra, abordando um contexto histórico do seu nascimento e como será sua morte, os PCN (2000) de física, sugerem uma ligação entre os conceitos estudados em sala de aula com o dia a dia do aluno.

Segundo Thiesen (2008), a interdisciplinaridade surge como um mecanismo facilitador no processo de ensino-aprendizagem. Os softwares são instrumentos capazes de criar e analisar simulações que se aproxime da realidade dos alunos. De acordo com Santos (2002, p. 114):

As tecnologias digitais vêm superando e transformando os modos e processos de produção e socialização de uma variada gama de saberes. Criar, transmitir, armazenar e significar estão acontecendo como em nenhum outro momento da história. Os novos suportes digitais permitem que as informações sejam manipuladas de forma extremamente rápida e flexível, envolvendo praticamente todas as áreas do conhecimento sistematizado bem como todo cotidiano nas suas multifacetadas relações.

Há uma gama de simulações que podem servir para unir professores de áreas aparentemente distintas, mas que possuem o mesmo propósito de educar seus alunos. Outras alternativas seriam a implantação de projetos e palestras, sobre temas voltados a astronomia, como o objetivo de aproximar os alunos das atividades educacionais. Os astrônomos desenvolveram uma simples fórmula matemática que estima o tempo de vida de uma estrela, baseada na vida do Sol (10 bilhões de anos), representada da seguinte forma:

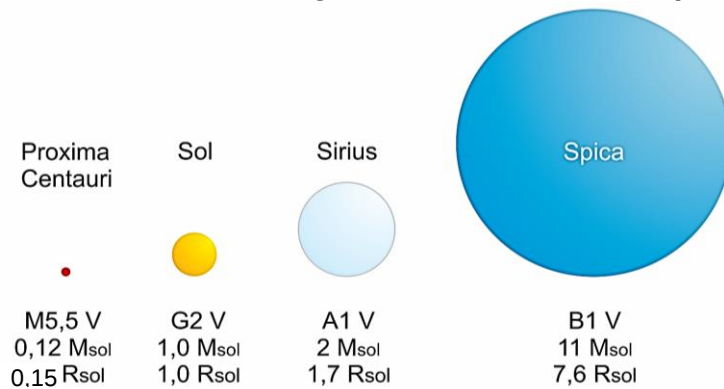
$$T_{SP} = \frac{1 \times 10^{10} \text{ anos}}{(M/M_{\odot})^2} \quad (3.1)$$

Onde,

T_{SP} = tempo de vida de uma estrela na sequência principal; M = massa da estrela a qual se estima o tempo de vida e $M_{\odot}$ = massa do Sol.

Usando simples cálculos matemáticos pode-se encontrar o tempo aproximado de vida para qualquer estrela, usando o Sol como parâmetro. Segue algumas aplicações:

Figura 25 – Características de algumas estrelas em comparação ao Sol.



Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/~fatima/ead/estrelas.htm>.

As estrelas representadas acima (fig. 25), possuem características muito distintas. **Próxima Centauri ou Alpha Centauri C:** é uma anã vermelha possuindo aproximadamente um décimo da massa do Sol ($0,12M_{\odot}$), localizada na constelação do Centauro a 4,22 anos-luz da Terra. Segue abaixo o cálculo demonstrando o tempo aproximado para estrela Próxima Centauri.

$$T_{SP} = \frac{1}{(0,1/1)^2} \times 10^{10} = \frac{1}{1} \times \frac{1}{0,01} \times 10^{10} = 100 \times 10^{10} \cong 1 \times 10^{12} \text{ anos} \quad (3.2)$$

O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – IFPI/ Campus Angical, dispõe de um telescópio (fig. 26) ideal para o estudo astronômico, na qual pode ser usado para fins educacionais e científicos. O Campus Angical, está de portas abertas para receber a comunidade circunvizinha ou qualquer instituição educacional que esteja interessada em visita-lo.

Figura 26 – Telescópio do IFPI Campus Angical.



Fonte: Autor (2018).

4 METODOLOGIA

Neste estudo realizou-se uma pesquisa bibliográfica no que concerne a leitura de artigos, livros, revistas eletrônicas e sites de caráter educacional, sobre a temática: Formação de Estrelas. Sendo desenvolvido de forma matemática, histórica e física, tendo como objetivo principal propor formas de abordagem para o ensino médio.

Neste sentido, caracteriza-se uma pesquisa descritiva com abordagem qualitativa. Onde investigou-se os conhecimentos dos alunos do 2º ano do ensino médio do IFPI/ Campus Angical sobre a temática: Formação Estelar. Além disso analisou-se os impactos que a referida pesquisa causou nos alunos mencionados anteriormente, de modo a mostrar que o presente trabalho pode ser usado como auxílio durante as aulas de física.

A pesquisa de campo foi realizada no dia 02 de fevereiro de 2018. Onde os sujeitos da pesquisa foram escolhidos pelo fato de se tratarem de estudantes que já presenciaram assuntos de física em sala de aula, ao passo que já estudaram a mesma no primeiro ano do ensino médio.

No tocante ao tipo de pesquisa, de acordo com Gil (2002, p. 42), uma pesquisa descritiva tem o papel de levantar características, opiniões sobre uma determinada população. Se valendo na maioria das vezes de esquemas padronizadas para coletas de dados como observação e questionário.

A coleta de dados foi obtida através de questionário realizado com 28 alunos do 2º ano do IFPI/ Campus Angical. A mesma foi desenvolvida através de três etapas: a primeira etapa foi constituída de um questionário contendo 07 (sete) questões, afim de levantar os conhecimentos prévios que os alunos possuem sobre o tema: formação de estrelas.

A segunda etapa constou de uma aula com duração de 100 minutos sobre o referido assunto, usando os dados colhidos na bibliografia, afim de mostrar que o mesmo pode ser usado em futuras aulas de física, tanto almejando o aprendizado, quanto a título de curiosidade, formando assim, cidadãos conhecedores das principais teorias que governam o universo. Na terceira etapa foi aplicado novamente o mesmo questionário, buscando saber os impactos que a pesquisa trouxe antes e depois de sua execução.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

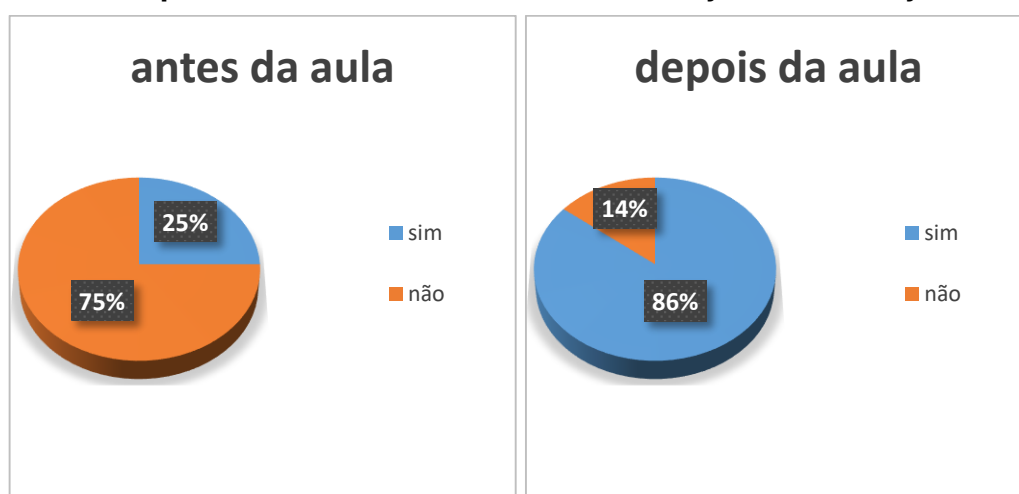
A pesquisa de campo foi realizada através de três etapas. A primeira realizou-se através de um questionário aplicado a 28 alunos matriculados no 2º ano do ensino médio do IFPI/ Campus Angical, buscando levantar os conhecimentos prévios que os alunos já trazem do seu cotidiano sobre formação estelar.

A segunda etapa ocorreu, com a realização de uma aula sobre a temática: Formação Estelar com duração de 100 minutos, afim de relacionar os conhecimentos prévios dos alunos com um novo conhecimento. A terceira etapa e última, foi aplicado o mesmo questionário, buscando saber os impactos que a pesquisa trouxe antes e depois de sua execução.

Os dados colhidos através da pesquisa serão mostrados, comparando o antes e depois da execução da aula, de modo a visualizar os impactos que ficaram com a realização desse trabalho. Na primeira pergunta (P.1) foi questionado aos mesmos se eles sabiam descrever de forma sucinta a formação das estrelas. De um total de 28 alunos, 07 disseram que sim e souberam explicar e 21 disseram que não.

Para instiga-los sobre a formação de estrelas, buscou-se explorar no início da aula o nascimento das estrelas. Onde mostrou-se figuras de várias nebulosas, afim de explicar que estas nuvens são os berçários das estrelas. Logo depois foi perguntado aos mesmos mais uma vez, se eles saberiam responder de forma rápida como ocorre a formação estelar, 24 alunos disseram que sim sabendo explicar e 04 disseram que não. Conforme ilustrado no gráfico 01:

Gráfico 01: Opinião dos discentes sobre a descrição da formação estelar.



Fonte: Dados da pesquisa de campo (2018).

É notório que práticas inovadoras acabam por despertar no alunado o interesse em aprender, pois o uso dessas atividades visa buscar processos mentais já existentes nos alunos, relacionando-os a novos conteúdos, promovendo uma aprendizagem significativa. De acordo com Moreira e Masini (1982), David Ausubel desenvolveu uma teoria, que se deve considerar no processo educacional os conhecimentos prévios que estudantes já trazem de seu dia a dia, relacionando posteriormente com uma nova informação, construindo assim uma aprendizagem significativa.

A partir dos dados apresentados na primeira pergunta feita aos alunos, já foi possível perceber a evolução que os mesmos tiveram antes e depois da aula, pois foi considerado no decorrer dessa pesquisa os conhecimentos preexistentes que os estudantes já possuíam, relacionando como um novo conhecimento, promovendo um ensino-aprendizagem mais eficaz.

No tocante, aos conceitos físicos da primeira pergunta, os alunos aprenderam conceitos de temperatura, pressão, elementos químicos, comportamento gravitacional e constituição da matéria. Segundo Horvath (2008), as estrelas se formam a partir de grandes concentrações de gás e poeira, chamadas de nebulosas. Com densidades extremamente elevadas, temperaturas próximas ao zero absoluta, na qual fatores externos podem desencadear aparecimentos de centros de atração gravitacional vindo posteriormente a dar início a formação de novas estrelas.

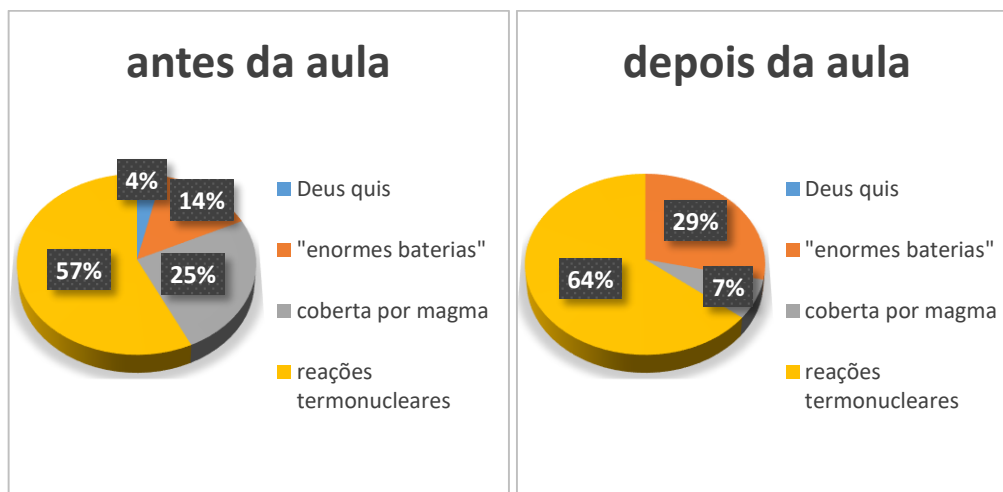
Na segunda pergunta do questionário, buscou-se saber se os alunos tinham conhecimento do por que as estrelas brilham? Sendo que 01 sujeito disse porque Deus quis e pronto, 04 alunos disseram porque, no interior das estrelas existem “enormes baterias” que fazem elas funcionar, como se fossem uma lanterna, 07 estudantes afirmaram que as estrelas brilham, porque, sua superfície é coberta por magma a enormes temperaturas e a grande maioria, ou seja, 16 alunos afirmaram que as estrelas brilham, porque, ocorrem reações termonucleares em seu interior.

Nessa etapa da aula, a fim de esclarecer a causa que fazem as estrelas brilham, foi explanado sobre as reações termonucleares que ocorrem no interior das estrelas (átomos de hidrogênio se fundem, transformando-se em hélio e liberando energia).

No momento posterior a aula foi perguntado novamente aos alunos do por que as estrelas brilham? Na qual 08 alunos disseram que as estrelas brilham, porque, no interior das estrelas existem “enormes baterias” que fazem elas funcionar, como

se fossem uma lanterna, 02 estudantes disseram, porque, sua superfície é coberta por magma a enormes temperaturas e 18 sujeitos afirmaram, que as estrelas brilham porque, ocorrem reações termonucleares em seu interior. Segundo detalhado no gráfico 02:

Gráfico 02: Concepção do discentes, sobre o porquê das estrelas brilharem.



Fonte: Dados da pesquisa de campo (2018).

Durante, a exposição da pergunta (P.2), a maioria dos alunos sentiram dificuldades em respondê-la, pelo fato de nunca terem estudado essa temática em sala de aula, alguns relataram: “o que eu sei sobre este tema, é porque assisto documentários que falam a respeito disso”.

Após a aula, foi possível perceber uma grande compreensão por parte dos mesmos, sobre a causa que fazem as estrelas brilharem. Mesmo com o desfrecho da aula houve uma porcentagem maior (enormes baterias: 15% e reações termonucleares: 7%) de alunos que responderam na opção enormes baterias, do que na resposta correta reações termonucleares, ficando uma incógnita do porquê desse aumento.

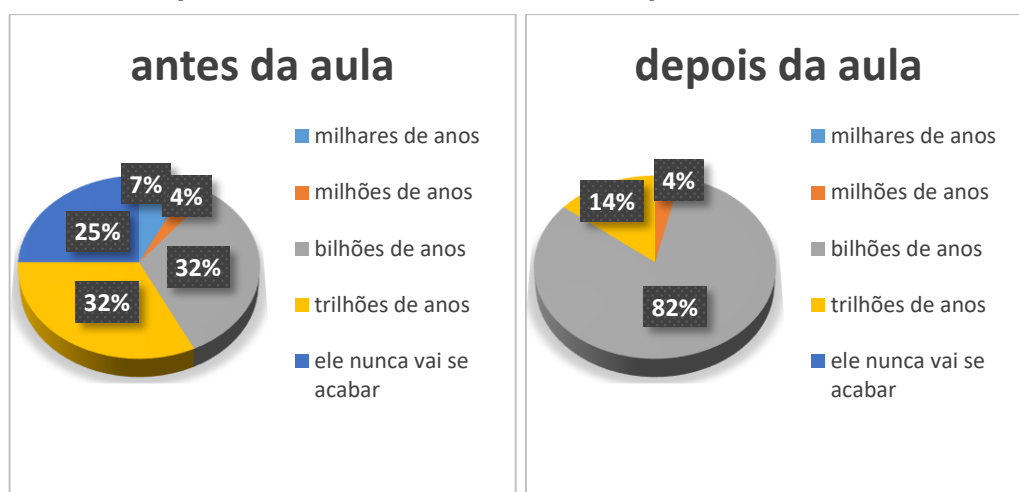
Segundo Feynman (2004), as estrelas brilham, pelo fato que no seu interior ocorre reações termonucleares, transformando hidrogênio em hélio e liberando uma imensa quantidade de energia. A fusão nuclear ocorre na maioria dos casos pela cadeia próton-próton em estrela com massa até $1,75M_{\odot}$.

Durante a execução da aula, procurou-se explorar o máximo, o funcionamento da fusão nuclear, através da cadeia próton-próton. Usou-se uma linguagem simples e que os alunos compreendessem os conceitos iniciais dessa cadeia. Foram 100 minutos de constantes interações entre pesquisador e alunos, almejando esclarecer todas as dúvidas pertinentes a esta temática.

O terceiro questionamento (P.3), procurou instigar aos alunos a pensarem no tempo de vida que ainda resta para o Sol, onde 02 alunos responderam, milhares de anos, 01 estudante disse milhões de anos, outros 09 sujeitos disseram bilhões de anos, 09 responderam trilhões de anos e os 07 restantes responderam que ele nunca vai se acabar.

Durante a execução da aula, buscou-se retratar um rápido histórico do Sol, além de mostrar do seu nascimento até sua morte. Após o estágio da aula perguntou-se aos mesmos mais uma vez se eles sabiam o tempo de vida que ainda resta para o Sol, 01 aluno disse milhões de anos, 23 estudantes disseram bilhões de anos e os outros 04 sujeitos responderam trilhões de anos. Descrito no gráfico 03:

Gráfico 03: opinião dos alunos, sobre o tempo de vida restante do Sol.



Fonte: Dados da pesquisa de campo (2018)

O papel do terceiro questionamento feito aos alunos do 2º ano do ensino médio do IFPI/ Campus Angical, teve como objetivo indagá-los sobre o tempo de vida que ainda resta para o Sol, sendo este uma das 200 bilhões de estrelas que compõem a Via Láctea.

Alguns alunos relataram, “há professor ele nunca vai se acabar, porque se isso acontecer nos também morreremos”, uma resposta interessante por parte dos alunos, de fato a vida na Terra só é possível graças a existência de uma estrela nas proximidades terrestre.

A temperatura média do Universo atual, é entorno de 3 Kelvin (- 270 °C), como o Sol estar a 150 milhões de quilômetros do planeta Terra, a energia emitida pelo mesmo gerar temperaturas necessárias para manter a vida na Terra (lembre-se a vida na Terra é o somatório de vários eventos, mas o Sol tem sua parcela de contribuição).

Segundo Sagan (1998), o tempo de vida para uma estrela com padrões do Sol é entorno de 10 bilhões de anos, em seu estágio atual o mesmo se encontra na metade de sua vida, daqui a 5 bilhões de anos seu combustível finalmente irá acabar.

Nota-se, no gráfico 03 que antes da realização da aula, 09 alunos do total de 28, já sabiam que o tempo de vida restante para o Sol é estimado em bilhões de anos. Mas depois da execução da aula, a compreensão por parte dos mesmos subiu consideravelmente passando de 09 para 23 alunos, até os alunos que afirmaram que o Sol, nunca vai acabar, adquiriram o conhecimento que o mesmo tem um fim, muito longo comparada a vida humana, mas finito.

Acredita-se assim como Marchesi (2006, p. 32) que a aprendizagem é algo dinâmico, em que o aluno já traz de seu dia a dia um pensamento pré-estabelecido. Ao chegar na escola o professor busca modelar este pensamento estabelecendo “relações entre a informação disponível e vai construindo passo a passo a representação interna que reflete o que aprendeu e que lhe serve para recuperar a informação já estruturada e para conectar a nova informação”.

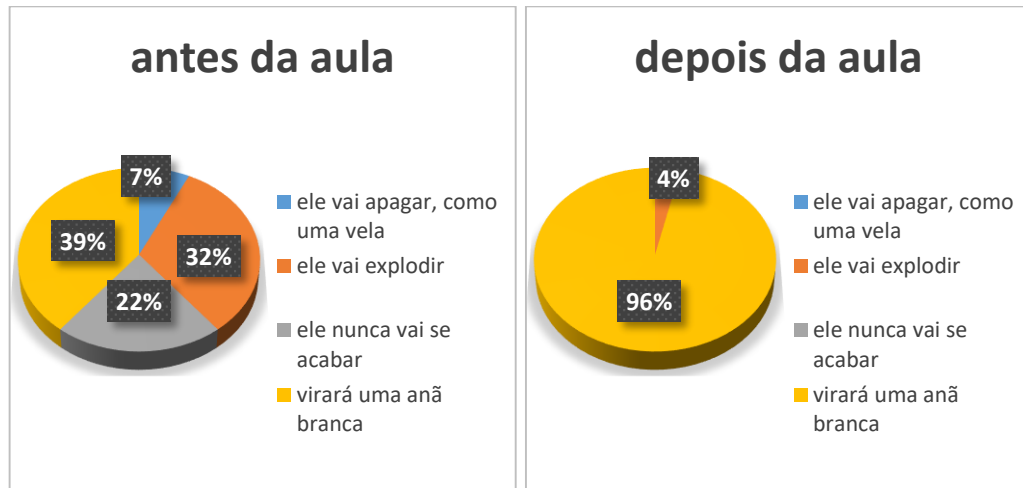
Atividades educacionais que motivam seus alunos, são bem aceitas pela comunidade científica, onde a cada novidade que o professor traz para sala de aula é mais um passo na conquista e respeito daquele aluno que se sentia desmotivado (ensino mecanizado, com aplicações de exercícios e cálculos em todo instante), com o uso de atividades inovadoras professores e alunos podem construir juntos, um futuro cujo o ensino de física será visto pelos estudantes, como algo prazeroso de se aprender.

No quarto questionamento (P.4), investigou-se saber como será a morte de uma estrela igual ao Sol. Onde 02 alunos responderam que ele vai simplesmente apagar, como se fosse uma vela sem mais cera para queimar, 09 estudantes afirmaram ele vai explodir, 06 estudantes seguindo o raciocínio da questão anterior, responderam ele nunca vai acabar e os 11 alunos restantes responderam de forma correta, afirmando que o Sol se tornará uma anã branca, após o estágio de gigante vermelha.

A aula serviu para desenvolver os conhecimentos que os alunos já tinham sobre a referida temática, onde focou-se na morte de uma estrela com padrões do Sol. Logo em seguida foi retomado novamente o mesmo questionamento, sobre a morte do Sol, na qual quase 100% (27 alunos) responderam corretamente, ao dizer

que o Sol se tornará uma anã branca, após o estágio de gigante vermelha e apenas 01 aluno disse que ele vai explodir. Observe o gráfico 04:

Gráfico 04: Concepção dos discentes, sobre como será a morte do Sol.



Fonte: Dados da pesquisa de campo (2018).

Com o quarto questionamento, foi notável que a maioria dos alunos já traziam da sua vivência que uma estrela com a massa do Sol, se tornará uma anã branca em seus estágios finais, mas após a execução da prática através de uma aula, o número de alunos que modelaram um conhecimento sobre o fim de uma estrela com padrões do Sol foi considerável, mostrando que de fato atividades que buscam despertar a curiosidade dos alunos, fazem os mesmos se aproximarem das práticas estudantis.

Segundo as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) para o Ensino Médio (2002), as competências de Física para a vida, surge em um contexto articulado com outras áreas do conhecimento, onde o ensino de física deixa por um certo instante a apresentação de formulas, memorização e sobretudo o uso do método repetitivo (onde todos esses aspectos caracterizam um ensino tradicional), acabando por ultrapassar a fronteira disciplinar. Alcançando assim, uma interdisciplinaridade entre as várias áreas do conhecimento, promovendo aos estudantes uma nova forma de pensar e se expressar.

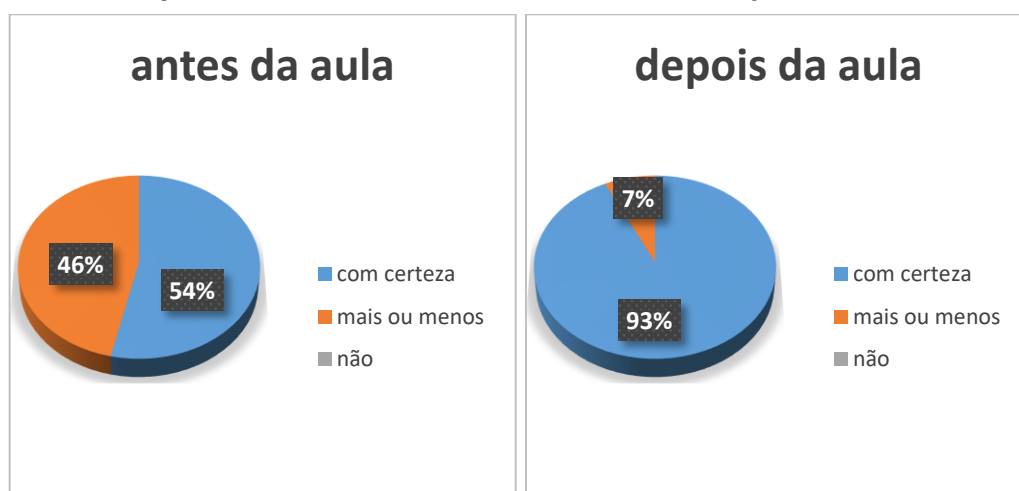
Para uma estrela com até $8M_{\odot}$, o fim da sua vida é como uma anã branca, pelo fato que após a escassez de hidrogênio em seu núcleo, a mesma se contrai e se expande, com isso sua temperatura alcança 100 milhões de Kelvin, dando início a fusão do elemento hélio. Por não possuir uma massa muito elevada, não consegue chegar a uma temperatura central de 1 bilhão de Kelvin (fusão do carbono), acabando por ejetar suas camadas externas durante a fase de gigante e supergigante vermelha,

restando apenas um núcleo com densidade gigantesca, massa típica de $0,6M_{\odot}$ e dimensões do planeta Terra, envolto por uma nebulosa planetária, com duração efêmera de 30 a 50 mil anos. (MARRANGHELLO, 2014).

A quinta pergunta (P.5), instigou aos alunos a pensarem, se a temática: Formação Estelar, seria uma boa forma de complementar assuntos de física em sala de aula. E por que? Onde 15 alunos responderam com certeza, justificando “pois teríamos mais conhecimentos sobre tudo o que nós cerca, ou seja, as estrelas”, 13 disseram mais ou menos, justificando “deve ser interessante sabermos sobre as estrelas”, nenhum aluno que participou da pesquisa respondeu que não seria viável abordar o assunto em estudo em sala de aula.

No decorrer da aula, buscou-se relacionar a formação estelar com assuntos físicos que os mesmos já estudaram em sala de aula. Em seguida instigou aos alunos a pensarem mais uma vez, na possibilidade de inserir assuntos como, formação de estrelas no currículo escolar. Sendo que 26 alunos responderam com certeza, argumentando que “porque a curiosidade instiga a buscar conhecimento” e os 02 restantes afirmaram mais ou menos). Detalhado no gráfico 05:

Gráfico 05: Opinião dos alunos, sobre o tema formação estelar na escola.



Fonte: Dados da pesquisa de campo (2018)

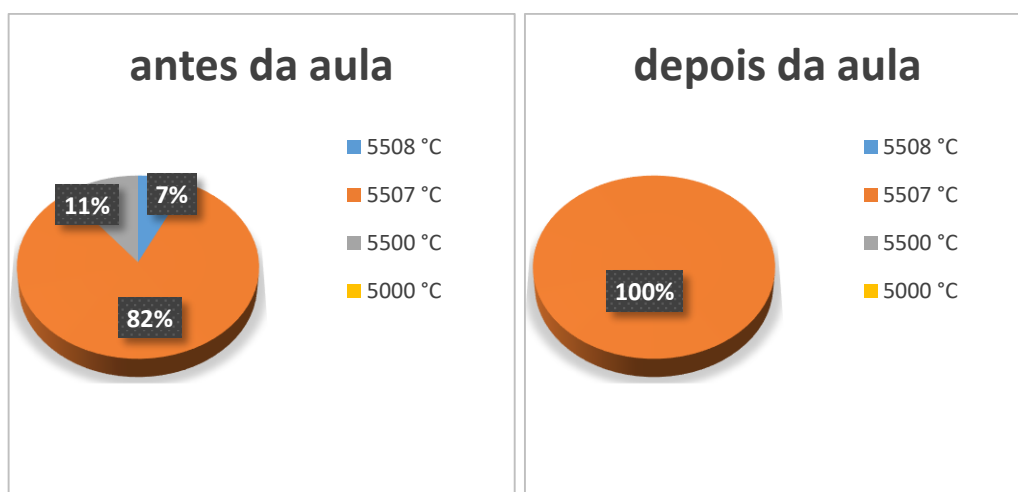
É incontestável que assuntos ligados a astronomia despertam a curiosidade dos estudantes, acerca de suas origens. Através do quinto questionamento ficou evidente, que os estudantes que participaram dessa pesquisa possuem muitas perguntas sobre esse assunto. Entretanto, conteúdos relacionados a astronomia são maus difundidos no currículo do ensino médio, confirmando diversos trabalhos científicos que falam sobre a escassez do presente tema dentro de sala de aula. Segundo Lima e Alencar (2017), os PCNs (2000), direciona o ensino médio através

de temas estruturadores, sendo um deles, **Universo, Terra e vida**. Um tema fortemente ligado ao estudo astronômico, mas apesar disso, o mesmo não compõem o currículo da física no ensino médio, é somente um norteio que pode ser seguido pelo profissional de física.

A sexta pergunta (P.6), buscou-se saber se os alunos sabiam calcular a temperatura superficial do Sol, usando uma relação entre escalas Celsius e Kelvin. Sendo que a imensa maioria dos alunos acertou a pergunta, ou seja 23 alunos responderam 5507 °C (5780 K), 02 alunos responderam 5508 °C e os 03 últimos afirmaram que a temperatura efetiva do Sol em graus Celsius é 5500 °C, sendo que nenhum dos alunos respondeu na opção 5000 °C.

Totalizando 05 alunos que responderam de forma errada, ou porque não tinham um conhecimento sobre conversão termométrica de escala Kelvin para Celsius, ou mesmo porque não quis responder. Introduziu-se o conceito de temperatura, onde mostrou-se as escalas termométricas e suas relações. Posteriormente, voltou-se novamente a pergunta-los sobre a conversão da temperatura efetiva do Sol da escala Kelvin para Celsius, sendo que neste estágio do processo ensino-aprendizagem todos os alunos responderam 5507 °C, acertando a pergunta feita aos mesmos. Observe o gráfico 06:

Gráfico 06: Dados dos alunos sobre conversão da temperatura solar de K a °C.



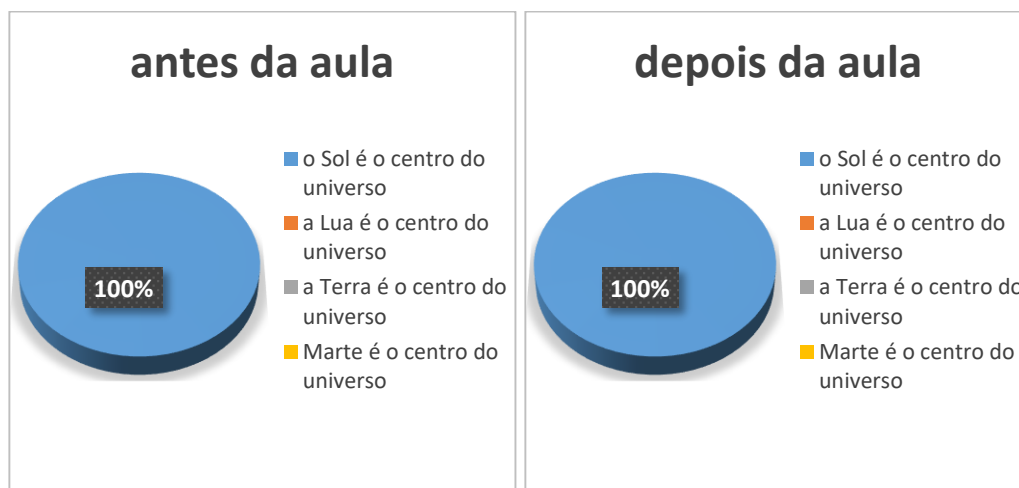
Fonte: Dados da pesquisa de campo (2018)

Com o sexto questionamento feito aos alunos do 2º ano do ensino médio do IFPI/ Campus Angical, foi mostrado uma relação entre as escalas termométricas Celsius e Kelvin, abordando um texto inicial inserido junto com o questionário, na qual em uma de suas passagens dizia que a temperatura efetiva do Sol é 5780 K, a partir dessa informação foi pedido que os mesmos transformassem esta escala de

temperatura científica, para a escala usual do Brasil (Celsius), de modo a comparar a temperatura do Sol em uma escala de seu cotidiano.

E por fim o ultimo questionamento, propôs investigar se os alunos do 2º ano do ensino médio do IFPI/ Campus Angical, tinham o conhecimento sobre o que pregava o modelo heliocêntrico. De 28 alunos, todos responderam que este modelo prega que o Sol é o centro do universo, respondendo de forma correta, o Sol é o astro que domina o sistema solar. Nenhum aluno respondeu nas outras opções disponíveis, a Lua é o centro do universo, a Terra é o centro do universo e Marte é o centro do universo. Após a aula, foi mais uma constatação de suas respostas, onde todos afirmaram mais uma vez que o modelo heliocêntrico, afirmar que o Sol é o astro central do sistema solar. Conforme ilustrado no gráfico 07:

Gráfico 07: opiniões dos alunos, sobre o que diz o modelo heliocêntrico.



Fonte: Dados da pesquisa de campo (2018).

O Papel do último questionamento foi abordar um contexto histórico, sobre as primeiras concepções de modelos planetários que foram sendo modelados no decorrer da história astronômica. Uma das primeiras concepções de modelo planetário, surgiu com Eudóxio (437 a.C – 408 a.C) que desenvolveu o modelo geocêntrico (Terra no centro do sistema solar), este modelo foi bastante aceito, pois a humanidade desde seus primórdios tem a concepção que o Sol parece está girando em volta da Terra. Em 310 a.C, apareceu Aristarco de Samos, que disse que o Sol estaria no centro do sistema solar (modelo heliocêntrico), a partir disso, estas duas vertentes se confrontaram por mais de 2000 anos, até que entre o século XVI e XVII, Johannes Kepler disse que o Sol é o astro que domina o sistema solar, mas não estava no centro. Introduzindo, que os planetas descrevem orbitas eclípticas, estando o Sol em um de seus focos, desenvolvendo três leis empíricas para o estudo astronômico.

6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

O desenvolvimento do presente trabalho proporcionou uma análise acerca dos conhecimentos dos alunos do 2º ano do ensino médio do IFPI/ Campus Angical sobre a temática formação estelar, além de propor formas de introduzir esta temática em sala de aula, visando contribuir para o melhoramento do ensino de física nas escolas públicas.

Ao verificar-se, os dados colhidos pela pesquisa de campo antes e depois da execução de uma aula sobre o tema em estudo, foi notório a aprendizagem dos alunos. Onde até antes dessa prática, com a aplicação do primeiro questionário, alguns alunos sentiram grandes dificuldades em responder o mesmo, alegando nunca terem estudado este tema na escola. Com a realização da aula, buscou-se introduzir o assunto: formação estelar, de forma simples, de modo que todos os alunos entendessem os conceitos iniciais desse tema.

Na qual observou-se que após sua execução, os alunos obtiveram um ensino-aprendizagem significativo, onde ao aplicar novamente o questionário foi perceptível o aumento da porcentagem de alunos que acertaram as perguntas. Assuntos como esses, despertam o interesse dos alunos, haja vista que, são intrínsecos do seu cotidiano. Entretanto, essas práticas ainda são mal difundidas nas escolas, sendo que assuntos ligados a astronomia quase não são vistos pelos alunos do ensino médio.

Com isso, cabem aos professores juntamente com a comunidade escolar abraçarem a causa, promovendo uma reviravolta no ensino de física, de modo a prevalecer a interdisciplinaridade que conectem temas aparentemente desconexos, mas que possuam a finalidade de ensinar.

Mostrando assim, o potencial que a escola possui de transformar a sociedade em seu entorno. Além disso, este trabalho apontou formas de abordar a referida temática em sala de aula, sugerindo livros, simulações, vídeos e sites de caráter educacional que podem ser utilizados pelos professores de físicas como uma alternativa de mudar velhas rotinas educacionais (ensino mecanizado).

Portanto, a presente pesquisa tem como perspectiva, um estudo sobre a existência de vida em outros sistemas solares, além disso este trabalho pode alavancar estudos mais aprofundados sobre: nebulosas, vida e morte das estrelas, energia das estrelas, o uso de softwares no estudo astronômico, o uso de telescópios nas escolas, funcionamento do cosmo, galáxias, dentre outras pesquisas científicas.

REFERÊNCIAS

ARANY-PRADO, L. I. **À luz das estrelas: ciência através da Astronomia**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora DP&A, 2006.

ARANY-PRADO, L. I. **À luz das estrelas**. [S.l.: s.n.], 2017. Disponível em: < <http://ciencianautas.com/wp-content/uploads/2017/01/%C3%80-luz-das-estrelas.pdf> > Acesso em: 10 out. 2017.

BRASIL. **Lei n. 9.394. 1996 – Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9394.htm > Acesso em: 08 set. 2017.

_____. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio**. 2000. Disponível em: < <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf> > Acesso em: 08 set. 2017.

_____. Ministério da Educação e Cultura. **Secretária de Educação Básica. Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio, Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC, SEMTEC, 2002. Disponível em: < <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf> > Acesso em: 08 set. 2017.

COSMOS Carl Sagan. Fabricado pela Microservice Tecnologia Digital da Amazônia LTDA: Editora Abril S.A, edição comemorativa de 25 anos da série Cosmos. Cosmos Studios, lançamento: 1980. 5 DVD-NTSC, 780 min.

DAMINELI, Augusto.; STEINER, João. **O fascínio do universo**. 1. ed. São Paulo: Odysseus, 2010.

DEPARTAMENTO DE ASTRONOMIA DO INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS – IAG: USP. **Livros e apostilas**. Disponível em: < <http://www.iag.usp.br/astronomia/livros-e-apostilas> > Acesso em: 15 fev. 2018.

FACULDADE DE CIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE DO PORTO.; TAVARES, Albertina Maria Leal. **Concepção de um Manual Escolar destinado ao Ensino secundário: “A Vida das Estrelas”**. Porto – Portugal, 1999. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/10216/10043> > Acesso em 15 fev. 2018.

FARIA, Romildo Póvoa, 1952- **Iniciação à astronomia**. 1. ed. São Paulo: Ática, 2007.

FEYNMAN, R. P. **Física em seis lições**. Rio de Janeiro: Ediouro, 2004.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. 21. ed. São Paulo: Editora Paz e Terra, 2002.

FRIANÇA, Amâncio C. S. et al. **Astronomia: Uma Visão Geral do Universo**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008.

GAMOW, George. **Nascimento e Morte do Sol: evolução estelar e energia sub-atômica**. Porto Alegre: Livraria do Globo, 1944.

GIL, Antonio Carlos, 1946-**Como elaborar projetos de pesquisa**/Antonio Carlos Gil. - 4. ed. - São Paulo : Atlas, 2002.

GLEISER, Marcelo. **Poeira das estrelas**. Vol. 1. São Paulo: Editora Globo, 2006.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física, volume 2: gravitação, ondas e termodinâmica**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

HORVATH, J. E. **O ABCD da Astronomia e Astrofísica**. 2. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.

KIPPENHAHN, Rudolf. **100 BILHÕES DE SÓIS: Nascimento, Vida e Morte das Estrelas**. São Paulo: Editora Melhoramentos, 1981.

LIMA, M. B. M.; ALENCAR, W. J. **UMA ANÁLISE ACERCA DO CONHECIMENTO DOS ALUNOS SOBRE ASTRONOMIA AO FINAL DO ENSINO MÉDIO NA UNIDADE ESCOLAR ANTÔNIO FREITAS EM HUGO NAPOLEÃO-PI**. 2017. 17f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) – Instituto Federal do Piauí – IFPI, Campus Angical, Piauí, 2017.

LUCKESI, C.C. **Avaliação da aprendizagem escolar**. 19. ed. São Paulo: Cortez, 2008.

MACIEL, W. J. **Introdução à Estrutura e Evolução Estelar**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1999.

MARCHESI, Álvaro. **O que será de nós os maus alunos?** Porto Alegre: Artmed, 2006.

MARINHO, Paulo Adriano dos Santos. **O brilho colorido de uma estrela**. 2014. 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, Paraíba, 2014.

MARRANGHELLO, G. F. **Estrelas de nêutrons**. Itajaí, SC: Casa Aberta, 2014.

MARTINS, Roberto de Andrade. **O Universo: Teorias sobre sua origem e evolução**. São Pulo: Editora Moderna, 1994.

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

MORO, L. S. **O potencial da experimentação no desenvolvimento de habilidades cognitivas e na construção de conhecimento(s) de física no ensino**

fundamental. 2013. 118f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia- MG, 2013.

MOURÃO, Ronaldo Rogério de Freitas. **Nascimento, vida e morte das estrelas: a evolução estelar**. Petrópolis, RJ: Vozes, 1995.

NOGUEIRA, Salvador; CANALLE, João Batista Garcia. **Astronomia: ensino fundamental e médio**. Vol. 11. Brasília: MEC, SEB; MCT; AEB, 2009.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza.; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. **Astronomia e astrofísica**. 2. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004.

PhET: Free online physics, chemistry, biology, earth science and math simulations. Disponível em: < <https://phet.colorado.edu/> > Acesso em: 02 fev. 2018.

PICAZZIO, Enos. et al. **O Céu Que Nos Envolve: Introdução à astronomia para educadores e iniciantes**. 1. ed. São Paulo: Odysseus, 2011.

ROONEY, Anne. **A História da Física**. São Paulo: M. Books do Brasil Editora Ltda, 2013.

SAGAN, Carl. **Bilhões e bilhões: reflexões sobre vida e morte na virada do milênio**. São Paulo: Companhia das Letras, 1998.

SAGAN, Carl. **Cosmos**. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1985.

SANTOS, Edméa Oliveira dos. **FORMAÇÃO DE PROFESSORES E CIBERCULTURA: novas práticas curriculares na educação presencial e a distância**. Revista da FAEEBA, v. 11, n. 17, p. 113-122, jan./jun., 2002. Disponível em:<http://www.ufjf.br/grupar/files/2014/09/Formacao_de_professores_e_Cibercultura.pdf > Acesso em: 13 fev. 2018.

TAVARES, Albertina Maria Leal. **Concepção de um Manual Escolar destinado ao Ensino secundário: “A Vida das Estrelas”**. 1999. 134 fl. Dissertação (Mestrado em Ensino de Astronomia) – Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto - Portugal, 1999.

THIESEN, Juarez da Silva. **A interdisciplinaridade como um movimento articulador no processo ensino-aprendizagem**. Revista Brasileira de Educação, v. 13, n. 39, p. 545-554, set./dez. 2008. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbedu/v13n39/10.pdf> > Acesso em: 13 fev. 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (UFRGS).; OLIVEIRA FILHO, Kepler de Sousa.; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. **Astronomia e Astrofísica**. Disponível em: < <http://astro.if.ufrgs.br/> > Acesso em: 30 set. 2017.