



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
LICENCIATURA EM FÍSICA**

MÁRCIO BARBOSA DA SILVA

**NASCE UMA ESTRELA: INTRODUÇÃO ÀS ETAPAS DA FORMAÇÃO E
EVOLUÇÃO ESTELAR.**

CAMPINA GRANDE

2020

MÁRCIO BARBOSA DA SILVA

NASCE UMA ESTRELA: INTRODUÇÃO ÀS ETAPAS DA FORMAÇÃO E EVOLUÇÃO ESTELAR

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo) apresentado a/ao Coordenação /Departamento do Curso Licenciatura em Física da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de licenciado em física.

Área de concentração: Física.

Orientadora: Profa. Msc. Deusalete Câmara Vilar Neta

CAMPINA GRANDE

2020

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586n Silva, Márcio Barbosa da.
Nasce uma estrela [manuscrito] : Introdução às etapas da formação e evolução estelar / Marcio Barbosa da Silva. - 2020.
13 p. : il. colorido.
Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2020.
"Orientação : Profa. Ma. Deusalete Câmara Vilar Neta, Departamento de Física - CCT."
1. Evolução estelar. 2. Diagrama Hertzsprung-Russell. 3. Nebulosas. I. Título
21. ed. CDD 523.1

MÁRCIO BARBOSA DA SILVA

NASCE UMA ESTRELA: INTRODUÇÃO ÀS ETAPAS DA FORMAÇÃO E EVOLUÇÃO
ESTELAR

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo)
apresentado a/ao Coordenação /Departamento do
Curso Licenciatura em Física da Universidade
Estadual da Paraíba, como requisito parcial à
obtenção do título de licenciado em Física.

Área de concentração: Física.

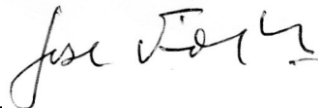
Aprovada em: 10/12/2020.

BANCA EXAMINADORA



Profa. Msc. Deusalette Câmara Vilar Neta (Orientadora)

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. José Fideles Filho

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profa. Dra. Raissa Maria Pimentel Neves

Instituto Federal do Sertão do Pernambuco (IF SERTÃO - PE)

SUMÁRIO

1. Introdução	05
2. A FORMAÇÃO DAS ESTRELAS	06
2.1 O meio onde tudo acontece	06
2.2 As estrelas formam-se da instabilidade	07
2.3 As estrelas primitivas	08
3. A CLASSIFICAÇÃO DAS ESTRELAS	08
3.1 A sequência principal e o diagrama Hertzsprung-Russel	08
4. OS ESTÁGIOS FINAIS DA EVOLUÇÃO	10
4.1 O consumo excessivo de hidrogênio	10
4.2 Nem todas serão gigantes	10
5. Metodologia	11
6. Considerações finais	11
7. Referências	12

NASCE UMA ESTRELA: INTRODUÇÃO ÀS ETAPAS DA FORMAÇÃO E EVOLUÇÃO ESTELAR

A STAR IS BORN: INTRODUCTION TO STAGES OF STELLAR FORMATION AND EVOLUTION

Márcio Barbosa da Silva

RESUMO

Todo o processo de formação e evolução estelar leva bilhões de anos para acontecer e pode ter início a qualquer momento. Neste trabalho, descreve-se inicialmente as etapas do processo de formação, começando pela apresentação do meio interestelar e das nebulosas. Depois, faz-se uma breve explicação da sequência principal e do gráfico que ilustra a classificação das estrelas, o Diagrama Hertzsprung-Russel (HR). Por fim, situa-se as etapas finais da evolução estelar, mostrando quais os fins possíveis para estrelas de massas diversas. Deste modo, pretende-se fazer uma introdução esclarecedora aos processos de formação e evolução das estrelas, que é uma temática pouco explorada na educação básica. Utiliza-se como metodologia de pesquisa a revisão bibliográfica, uma vez que este trabalho é baseado no levantamento de pesquisas já publicadas por outrem.

Palavras-chave: Evolução estelar. Diagrama Hertzsprung-Russel. Nebulosas.

ABSTRACT

All the process of stellar formation and evolution takes billions of years to happen and all of it can beginning any time. First this paper describes some stages of stellar formation process starting for the presentation of interstellar medium and nebulae. Then makes a brief explanation of the principal sequence and the graphic that illustrate the star's classification called Hertzsprung-Russel diagram. Finally is situated the final stages of stellar evolution showing what are the possibles ends for stars with different masses. Thus is pretended to make a enlightening introduction to the processes of stellar formation and evolution once that is a little explored thematic in the basic education. The research methodology used was the literature review once this paper is based in a researches survey already published from others.

Keywords: Stellar evolution. Hertzsprung-Russel diagram. Nebulae.

1. Introdução

Durante toda a história da civilização, mulheres e homens em diferentes contextos e sociedades se perguntam sobre o real sentido de suas existências. Os questionamentos - de onde viemos? / Para onde iremos? - Estiveram alinhados muitas vezes com a curiosidade que desenvolveram ao longo de milênios observando o céu noturno e reparando fenômenos celestes que não conseguiam explicar.

Pensando nessa questão que faz parte do imaginário coletivo e gera sempre muita especulação, principalmente entre os mais jovens, especialistas como Menezes (2000, p. 6) têm apontado para a necessidade de inserir a física na educação básica como visão de mundo e como parte de uma cultura mais ampla, sendo também parte desta preocupação a nova ênfase atribuída à cosmologia, desde o universo mais próximo, como o sistema solar e a nossa galáxia, até o debate dos modelos evolutivos das estrelas e do cosmos.

É importante proporcionar também ferramentas que ajudem os estudantes a conhecer, indagar, admirar e, principalmente, que os permitam reconhecer a física “como um processo cuja construção ocorreu ao longo da história da humanidade, impregnado de contribuições culturais, econômicas e sociais, que vem resultando no desenvolvimento de diferentes tecnologias e, por sua vez, por elas sendo impulsionado” (BRASIL, 2002).

Sendo assim, este artigo tem por objetivo mostrar as etapas da vida milenar das estrelas, partindo do momento que antecede a formação das protoestrelas até o momento em que esses corpos colapsam e morrem. Espera-se com isso tornar o nascimento e a vida das estrelas um conteúdo de entendimento descomplicado, proporcionando a todos aqueles que tiverem acesso a este trabalho, uma introdução esclarecedora a essa temática pouco explorada na educação básica.

Utiliza-se como metodologia para o desenvolvimento deste trabalho a revisão bibliográfica, uma vez que segundo Gil (2007, p.44) este é o tipo de pesquisa desenvolvida com base em materiais já elaborados, constituídos principalmente de livros e artigos científicos.

Inicialmente, faz-se uma introdução ao meio interestelar, destacando algumas características importantes para entender que esse espaço não é um espaço vazio, como costumava-se acreditar. Depois, destacando como se dá todo o processo de formação das nebulosas e como é possível que um meio menos denso que o vácuo produzido em laboratório, seja capaz de dar vida a uma estrela. Ainda na primeira parte, discute-se também qual é o papel da instabilidade gravitacional dentro das nebulosas e em que condições se dá finalmente a formação das protoestrelas.

Depois, fala-se um pouco sobre a sequência principal, que é onde todas as estrelas permanecem quase toda sua vida. Depois, introduz-se a apresentação e explicação do diagrama Hertzsprung-Russel, ou diagrama HR, mostrando de forma sucinta algumas características que classificam as estrelas neste diagrama.

Por fim, discute-se um pouco os estágios finais de uma estrela, começando pelo momento em que as estrelas começam a sair da sequência principal por faltar em seu núcleo o elemento base de sua constituição, o hidrogênio. Discute-se um pouco também sobre como as estrelas se tornam gigantes vermelhas, tendo seus fins diferenciados com base na quantidade de massa que elas possuem em sua formação, fechando a discussão destacando as anãs brancas e as super-gigantes vermelhas.

2. A FORMAÇÃO DAS ESTRELAS

2.1 O meio onde tudo acontece

Antes de começar qualquer discussão sobre o desenvolvimento das estrelas, é necessário conhecer o meio e as condições em que elas podem vir a surgir. De antemão, é necessário frisar que todo o espaço que existe entre as estrelas não é um espaço vazio e muito menos homogêneo, como costuma afirmar o senso comum. Existem algumas regiões neste espaço que são mais escuras que outras, assim como existem também regiões com brilho mais intenso que em suas regiões vizinhas. Esse espaço é conhecido como meio interestelar e possui algumas características importantes e fundamentais para a formação e evolução estelar.

Como dito antes, a matéria do meio interestelar possui distribuição não homogênea, sendo constituída de poeira e por gás difuso que está presente em quase toda a galáxia. Além disso, todo esse material está distribuído de forma fragmentada, o que possibilita a formação de condensações de diferentes tipos. Essas condensações estão associadas às estrelas jovens e aos braços espirais, o que mostra o vínculo delas com a formação das estrelas (MACIEL, 2002).

Braço espiral



Figura 1. (https://apod.nasa.gov/apod/image/0705/m81_hst_big.jpg)

Partindo para as particularidades do meio interestelar, a densidade é sem dúvida uma característica curiosa, uma vez que este meio é muito mais diluído em relação às densidades de outros corpos astronômicos. O que é mais curioso ainda é que é possível constatar que mesmo em regiões de grandes condensações ainda há uma diluição desse espaço muito maior se comparadas a outros corpos. Só para efeitos comparativos, é importante dizer que o vácuo usual possui uma densidade de 10^7 partículas por cm^3 . Utilizando então como medida de comparação um copo qualquer, pode-se concluir que o vácuo produzido em laboratório possui em média 2×10^9 partículas a mais do que qualquer situação do meio interestelar (MACIEL, 2002).

Outra particularidade do meio interestelar são os grãos interestelares, que em sua maioria são formados por silicatos, carbono, ferro e possivelmente por água congelada que

contém amônia, metano e outros componentes, compondo assim a parte sólida deste meio. Associadas aos gases difusos, esses grãos em grandes condensações dão origem às nuvens moleculares, também conhecidas como nebulosas. Existem algumas especificidades que diferenciam as nebulosas, sendo elas mesmas as responsáveis pela formação estelar e também outros corpos astronômicos (PEREIRA; OLIVEIRA, 2010).

Além dessas características que são as mais importantes, existem inúmeras outras que compõe o meio interestelar, uma vez este espaço é imensamente diversificado e pode ser explorado de diversas formas com instrumentos adequados e sofisticados. Detalhar a sua constituição e destacar a sua heterogeneidade é mais que suficiente para os fins introdutórios deste trabalho. Na próxima seção, explica-se a relação entre as nebulosas e os primeiros sinais de vida de uma estrela.

2.2 As estrelas formam-se da instabilidade

O meio interestelar, dada a sua complexidade e não homogeneidade, produz lentamente agrupamentos moleculares que variam em tamanho, massa e densidade. Essas regiões denominam-se nebulosas e não possuem fins únicos, sendo elas mesmas as responsáveis pela formação de vários corpos astronômicos como planetas e estrelas. Dessa forma, o produto final de uma nebulosa depende, além das características já mencionadas, também da temperatura em seu núcleo, como será discutido mais adiante.

As nebulosas que podem formar estrelas estão agrupadas basicamente em dois grandes grupos: As nuvens moleculares gigantes e as nuvens moleculares escuras. Essa classificação é definida a partir da comparação de suas massas com a massa solar, um parâmetro bastante utilizado na Astrofísica, e que define as nuvens gigantes como aquelas que possuem massas maiores que 10 milhões de massas solares e as nuvens escuras como aquelas que estão na ordem de até mil massas solares.

É interessante destacar que somente as nuvens gigantes podem formar estrelas de grande massa. Não há evidência alguma de que no interior das nuvens escuras se formem estrelas massivas. Logo, toda estrela de pequena massa se forma a partir de nuvens escuras, como é o caso do nosso sol (BOAS, 2018).

Para ilustrar como se dá o processo em que as partículas no interior das nebulosas colapsam entre si mesmas produzindo temperaturas altíssimas a ponto de desencadear reações termonucleares, é preciso entender que todo esse processo se dá a partir de instabilidades gravitacionais que estão acontecendo a todo tempo dentro dessas nuvens.

Sabe-se que pela lei da gravitação universal de Newton existe uma força associada à interação entre dois corpos que varia a partir de suas massas e do quadrado da distância em que essas partículas se encontram, mediado por uma constante gravitacional de valor próximo a $6,67 \times 10^{-11} \text{Nm}^2/\text{kg}^2$. Essa força é a força gravitacional e seu módulo está descrita na equação 1.

$$F = \frac{GMm}{d^2} \quad (1)$$

Essa equação diz também que todos os corpos tendem a sofrer a ação de forças gravitacionais e, sendo esta uma força de atração, os corpos tendem a se deslocar a fim de diminuir a distância entre si. Isso explica o porquê de os corpos astronômicos assumirem naturalmente formas arredondadas ou esféricas (SEARS; ZEMANSKY, 2004).

No interior da nebulosa, a força gravitacional também provoca os mesmos efeitos entre as partículas presentes. No entanto, o interior dessas grandes nuvens interestelares é um meio quase totalmente gasoso e isso faz com que muitas partículas tendam a buscar um único centro e encontrem muitas barreiras nesse trajeto, colidindo inúmeras vezes entre si mesmas e transformando parcialmente a energia cinética do movimento em energia térmica.

O aumento gradativo da temperatura na região central da nebulosa faz com que surja uma força de dentro para fora muito semelhante ao que acontece com uma panela de pressão e à medida que mais partículas “caem” em seu centro por meio da lei da gravitação universal, mais esse núcleo se torna denso e energético, elevando a temperatura exponencialmente até atingir elevados picos e provocando a formação das protoestrelas.

2.3 As estrelas primitivas

O processo de instabilidade de uma nuvem molecular acarreta na formação de um grande aglomerado de elementos químicos que progressivamente vão se deslocando para um único ponto e aumentando gradativamente sua temperatura e densidade. Toda essa atividade produz um aglutinado de elementos que mantém uma atividade de crescimento constante à medida que mais matéria se junta ao seu centro.

Nas regiões mais frias dessas nuvens há também algo diferente se formando devido a rotação que existe dentro delas e diversos elementos vão interagindo também entre si, chocando-se a outros e se combinando, formando primeiramente pequenos corpos sólidos, depois ganhando formas maiores até assumirem características de meteoritos e possivelmente de novos planetas com condições diversas.

A parte central, já encorpada e cada vez mais quente e densa, começa a entrar em um processo convulsivo em que há a procura por um estado de equilíbrio, o equilíbrio hidrostático. Quando esse estado é encontrado, a estrela primitiva entra na sequência principal e pode passar bilhões de anos transformando hidrogênio em hélio.

3. A CLASSIFICAÇÃO DAS ESTRELAS

3.1 A sequência principal e o diagrama HR

A partir da formação, todas as estrelas são classificadas de acordo com algumas propriedades. A primeira dessas propriedades é a cor, que segundo Vieira (2018, p. 20) está diretamente relacionada com a temperatura da estrela. Sendo assim, estrelas que se apresentam em tons mais azulados possuem temperaturas mais elevadas em detrimento daquelas que possuem tons superficiais mais avermelhados. A outra propriedade é a luminosidade, que descreve a quantidade de brilho emitido pela superfície da estrela em um determinado intervalo de tempo. Dessa forma, estrelas maiores em área são aquelas que emitem mais energia para o espaço e também aquelas que queimam mais rápido o seu combustível.

Essas duas características das estrelas são apresentadas e esquematizadas em um diagrama bastante simples chamado Diagrama Hertzsprung-Russel, ou simplesmente diagrama

HR. Nesta esquematização, as estrelas são representadas por pontos que se distribuem de forma desordenada por toda a tela, mostrando a grande variedade de características que as estrelas possuem. Analisando as características a partir do que foi apresentado no parágrafo anterior, pode-se destacar que as estrelas que estão situadas mais à esquerda são aquelas que possuem maiores temperaturas, sendo também as de cores mais azuladas. Já aquelas que estão localizadas mais acima têm maior luminosidade e são também aquelas que possuem maior diâmetro.

Analisando com mais atenção o diagrama, pode-se destacar a presença de uma faixa quase diagonal em que se concentra a maioria dos pontos do esquema. Essa faixa é a faixa da sequência principal e é nela que as estrelas se encaixam logo após o seu nascimento. É nessa faixa também que as estrelas estão “queimando o seu combustível” composto de cerca de 80% de hidrogênio e só sairão de lá quando começar a faltar esse elemento em seu centro (CAPELATO, 2018).

Diagrama Hertzsprung-Russel (HR)

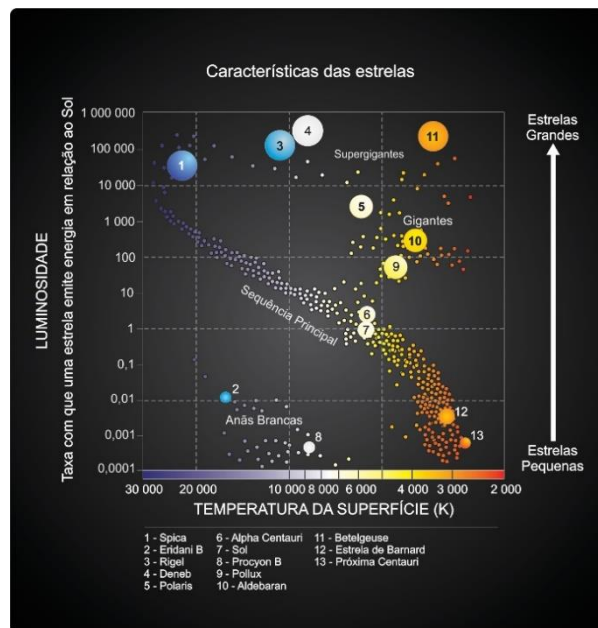


Figura 2. (<http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node2.htm>)

Pode-se ainda extrair mais informações do diagrama HR se atentando para o fato de que existe uma parcela bem menor de estrelas situadas acima e outras abaixo da sequência principal. De antemão, todas já estiveram na sequência principal, mas tiveram destinos diferentes por inúmeros fatores, inclusive a massa, que é determinante no futuro da estrela.

As estrelas que estão posicionadas acima da sequência principal são conhecidas como gigantes vermelhas. Depois de todas as informações descritas neste trabalho já é possível identificar o porquê de elas terem esse nome. Elas são vermelhas, e isso quer dizer que elas possuem temperatura superficial menor; e elas são gigantes, o que implica dizer que elas são mais luminosas. Essas estrelas já esgotaram todas as suas reservas de hidrogênio e mantêm uma atividade de contração em seu núcleo buscando fontes alternativas de energias nucleares.

Por fim, as estrelas que se situam abaixo da sequência principal são chamadas de anãs brancas e estão basicamente no último estágio de evolução. Essas estrelas têm aproximadamente o tamanho do planeta Terra e massa equivalente à massa solar. Isso implica dizer que esses corpos são bastante densos e possuem altas temperaturas superficiais, podendo chegar a 170000K. No entanto, emitem pouquíssima luminosidade, sendo esta devida somente à energia térmica em seu interior. (FILHO; SARAIVA, 2017)

4. OS ESTÁGIOS FINAIS DA EVOLUÇÃO

4.1 O consumo excessivo de hidrogênio

Quando as estrelas estão em seu estágio de formação inicial e a temperatura em seu centro está crescendo progressivamente, mas ainda é muito pequena para conseguir fundir elementos químicos mais pesados, o hidrogênio, que é leve e abundante no universo, consegue a proeza de se tornar quase exclusividade nesse meio. Desse modo, as estrelas formam-se com um núcleo quase inteiramente composto por hidrogênio, queimando esse elemento com uma temperatura da ordem de 10 milhões de kelvin (10^7 K) (ARANY-PRADO, 2006).

No entanto, o hidrogênio diminui à medida que todo o processo nuclear envolvido na fusão deste elemento em hélio vai drenando a sua concentração nesta região. Quando o núcleo se torna quase inteiramente hélio, a estrela sai da sequência principal e caminha no diagrama HR rumo às gigantes vermelhas, tornando-se posteriormente parte delas.

As estrelas que têm massa menor que o sol, demoram bilhões de anos para evoluir, uma vez que são naturalmente menos luminosas e isso implica dizer que elas irradiam menos energia comparadas às outras de massa superior. Já as estrelas que possuem massa maior que a solar, são bastante luminosas e irradiam muita energia para o espaço, tornando o processo de evolução dessa estrela mais rápido e fazendo com que ela deixe a sequência principal com alguns anos de antecedência.

Depois que a estrela deixa a sequência principal, pouquíssima energia lhe resta e começa a acontecer a queima de outros elementos químicos, começando sempre pelos mais simples como o hélio até os mais complexos como o ferro, quando chegam ao final de sua longa trajetória.

4.2 Nem todas serão gigantes

Como dito anteriormente, as estrelas terão seus fins definidos a partir das massas iniciais em suas formações. Estrelas que possuem massas pequenas, terminarão seus dias sendo anãs brancas. O nosso sol, por exemplo, passará por volta de 10 bilhões de anos na sequência principal e será uma anã branca quando faltar no seu núcleo o elemento hidrogênio que o manteve ativo durante todos esses anos (GONÇALVES, 2009).

Estrelas de massas grandes e que estão situadas na parte superior do diagrama HR, queimam muito rápido os seus reservatórios de energia e saem da sequência principal muito antes das estrelas de massa inferior. Elas se tornam super-gigantes vermelhas, tendo em seu núcleo um caroço compacto de hélio envolto por uma camada onde queima hidrogênio. Depois que esse caroço central começa a se contrair, o hélio começa também a queimar e transforma-se em carbono e oxigênio (CAPELATO, 2018).

Nesse estágio, a busca por novas fontes de energia nuclear é quase frenética, e a camada de carbono e oxigênio se contrai aumentando sua temperatura e queimando outros elementos químicos mais complexos como o neônio, magnésio, silício, fósforo, enxofre, e assim por diante, até o níquel e o ferro.

Chegando neste ponto, acontece a perda muito rápida de energia e a estrela se contrai ainda mais violentamente a fim de compensar toda essa energia dissipada. Essa atividade intensa resultará na explosão daquela estrela em uma supernova, tornando-se, por poucos segundos, algo muito brilhante e um espetáculo final digno de aplausos acontece.

5. Metodologia

O primeiro passo para a construção do trabalho vigente foi a definição do tema a ser pesquisado. Assim que esse primeiro passo foi superado, definiu-se por consequência que a revisão bibliográfica seria a mais adequada para o tipo de pesquisa pretendida.

A pesquisa bibliográfica é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites. Qualquer trabalho científico inicia-se com uma pesquisa bibliográfica, que permite ao pesquisador conhecer o que já se estudou sobre o assunto. Existem porém pesquisas científicas que se baseiam unicamente na pesquisa bibliográfica, procurando referências teóricas publicadas com o objetivo de recolher informações ou conhecimentos prévios sobre o problema a respeito do qual se procura a resposta (FONSECA, 2002, p. 32)

Desse modo, optou-se por aqueles materiais que estavam escritos em língua portuguesa e também por aqueles que foram escritos por pesquisadores e/ou professores especialistas na temática da evolução estelar ou temas correlatos.

Assim, a leitura e o entendimento de todo o conteúdo envolvendo o processo e os estágios da formação e evolução estelar foram os próximos passos, criando a partir deles fichamentos que foram produzidos a fim de organizar as informações e facilitar mais tarde o trabalho de escrita. Após todas essas etapas, a escrita fundamentada com as devidas citações formatou a ideia inicialmente proposta, resultando no produto apresentado.

6. Considerações finais

O universo carrega inúmeros mistérios ainda incompreensíveis ao entendimento humano, mas explorá-lo extensivamente nos permite chegar mais perto da solução de questões que atravessam a história da civilização e fazem parte do imaginário coletivo. Neste aspecto, o estudo de astros como as estrelas é de grande importância, principalmente para entender que a evolução do universo é um processo lento, sendo a vida como a conhecemos apenas uma fração infinitamente pequena comparada à idade desses astros.

Neste trabalho, definiu-se como objetivo apresentar as etapas da formação e do desenvolvimento das estrelas, partindo de uma breve explicação do meio interestelar até o momento que esses corpos colapsam e morrem, em um processo que leva bilhões de anos para

acontecer, mas que acontece graças à propriedade dos corpos de se atraírem mutuamente, descrita por Newton como lei da gravitação universal.

Neste sentido, é de grande importância introduzir e discutir temáticas ligadas à astronomia na educação básica, uma vez que esses assuntos estão intimamente ligados à vida cotidiana, como, por exemplo, o sistema GPS, computadores e celulares modernos, óculos com proteção UV, além de todas as aplicações na medicina que salvam milhares de vidas todos os dias.

Portanto, há muito caminho a ser trilhado frente à exploração desses astros e entender como eles funcionam é somente a porta de entrada para a imensidão de possibilidades e descobertas.

7. Referências

- ARANY-PRADO, L. I. **À luz das estrelas**. Rio de Janeiro: DP&A Editora, p. 25-48, 2006.
- BOAS, J.W.V. **Formação de estrelas**. Instituto nacional de pesquisas espaciais (INPE). São José dos Campos, 2018.
- BRASIL, Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCN+: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs)**. Brasília: MEC/SEMTEC, 2002.
- CAPELATO, H. V. **A vida das estrelas**. Instituto nacional de pesquisas espaciais (INPE). São José dos Campos, 2018.
- FILHO, K.S.O. SARAIVA, M.F.O. **Astronomia e Astrofísica**. Porto Alegre: editora da UFRGS, 2017 - 4ª edição.
- FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.
- GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- GONCALVES, D.R. **Nem toda estrela é jovem**. Cienc. Cult., São Paulo, v. 61, n. 4, p. 33-38, 2009. Available from <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S00096725200900040001&lng=en&nrm=iso>. access on 05 Dec. 2020.
- MACIEL, W.J. **Astrofísica do Meio Interestelar** Vol. 41. Edusp, 2002.
- MENEZES, L.C. **Uma Física para o Novo Ensino Médio**. Física na Escola. v. 1, n.1, p.7, out. 2000.
- PEREIRA, V.J.S.; OLIVEIRA, C.M. **Fundamentos de astronomia**. USP, 2010. Apostila.
- SEARS, F.W.; ZEMANSKY, M.W.; Y GARCÍA, H.J.E. **Termodinâmica e ondas**. Vol. 2. Pearson Educación, 2006.
- VIEIRA, M.B.F. **Astrofísica Estelar para o Ensino Médio: análise de uma proposta**. 2018. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, por entenderem o papel transformador da educação e me incentivarem desde criança aos estudos.

À minha amada madrinha Marluce Félix, que manteve durante seus últimos anos de vida o desejo de me ver lecionar.

À minha irmã Maiara Barbosa por ter compartilhado e me ajudado a superar momentos difíceis enquanto estudantes.

À queridíssima Patrícia Souza pelas trocas de ideias no dia a dia e pelas conversas sobre ser sempre uma pessoa melhor.

Aos meus colegas da universidade, em especial ao CAFÍS, que estiveram presentes em muitos momentos de descontração.

Aos biólogos e amigos Bruno Schamber e Joan Bruno, por elevarem sempre as minhas perspectivas.

Aos meus professores do departamento de física que contribuíram demasiado na minha formação.

À minha orientadora Deusalete, pela paciência e pelas críticas sempre muito bem pontuadas e enriquecedoras.