



DAYVIDSON SIQUEIRA EUFRÁSIO

**PROMOÇÃO DA ARGUMENTAÇÃO POR MEIO DE UM
MINICURSO SOBRE ASTROFÍSICA ESTELAR PARA
ALUNOS DO 9º ANO DO ENSINO FUNDAMENTAL AO 3º
ANO DO ENSINO MÉDIO**

**LAVRAS - MG
2022**

DAYVIDSON SIQUEIRA EUFRÁSIO

**PROMOÇÃO DA ARGUMENTAÇÃO POR MEIO DE UM MINICURSO SOBRE
ASTROFÍSICA ESTELAR PARA ALUNOS DO 9º DO ENSINO FUNDAMENTAL AO
3º ANO DO ENSINO MÉDIO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós - Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Prof. Dr. Antônio Marcelo Martins Maciel
Orientador

Prof. Dr. Antonio dos Anjos Pinheiro da Silva
Coorientador

**LAVRAS – MG
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Eufrásio, Dayvidson Siqueira.

Promoção da argumentação por meio de um minicurso sobre
Astrofísica Estelar para alunos do 9º Ano do Ensino Fundamental
ao 3º Ano do Ensino Médio. / Dayvidson Siqueira Eufrásio. - 2022.
170 p. : il.

Orientador(a): Antônio Marcelo Martins Maciel.

Coorientador(a): Antonio dos Anjos Pinheiro da Silva.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de
Lavras, 2022.

Bibliografia.

1. Alfabetização Científica. 2. Argumentação. 3. Ensino de
Astronomia. I. Martins Maciel, Antônio Marcelo. II. Pinheiro da
Silva, Antonio dos Anjos. III. Título.

DAYVIDSON SIQUEIRA EUFRÁSIO

**PROMOÇÃO DA ARGUMENTAÇÃO POR MEIO DE UM MINICURSO SOBRE
ASTROFÍSICA ESTELAR PARA ALUNOS DO 9º ANO DO ENSINO
FUNDAMENTAL AO 3º ANO DO ENSINO MÉDIO**

**PROMOTION OF ARGUMENTATION THROUGH A MINI-COURSE ON
STELLAR ASTROPHYSICS FOR STUDENTS FROM THE 9TH GRADE OF
ELEMENTARY SCHOOL TO THE 3rd GRADE OF HIGH SCHOOL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

APROVADA em 17 de fevereiro de 2022

Dra. Rita de Cássia Suart - UFLA.

Dr. Arilson Paganotti – IFMG.

Prof. Dr. Antônio Marcelo Martins Maciel
Orientador

Prof. Dr. Antonio dos Anjos Pinheiro da Silva
Coorientador

**LAVRAS – MG
2022**

Aos meus pais, pelo incentivo e apoio durante todo este tempo.
À minha amada esposa por todo apoio e paciência nesta empreitada.
Às minhas filhas, pelo simples fato de existirem, pois é por elas e para elas que continuo
sempre lutando e buscando ser cada dia melhor.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), ao Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas (ICET), pela oportunidade de cursar o mestrado em suas dependências.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudos, uma vez que o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

Aos meus queridos professores e professoras, do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), pelos conhecimentos compartilhados, pelas dicas e conversas ao longo do curso.

Aos meus colegas de mestrado, pela convivência e troca de experiências.

Ao Colégio Santa Teresinha, pelo apoio e colaboração no desenvolvimento do projeto.

Aos meus queridos alunos, que mesmo em um momento de total incerteza, mudança e cansados se dispuseram a me ajudar nesta empreitada, contribuindo em muito para o sucesso de todo o trabalho.

À minha família, pelo apoio, paciência e compreensão nos momentos difíceis desta caminhada.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Antonio dos Anjos Pinheiro da Silva e em especial ao Prof. Dr. Antônio Marcelo Martins Maciel, pelas incontáveis conversas e orientações, pela sua paciência, compreensão, dedicação e seus ensinamentos que, com certeza, contribuíram em muito para a execução deste trabalho. E ao prof. Dr. Jefferson Adriano Neves, por sua paciência e dedicação em nossas conversas sobre a análise de argumentos que ocorreram na parte final de nosso trabalho.

E claro, a Deus, por cumprir suas promessas e pela certeza de que estás comigo em tudo que faço. Sem Ele isso não seria possível.

A todos os meus mais sinceros agradecimentos!

Tudo tem seu o tempo determinado,
e há tempo para todo o propósito
debaixo do céu”.
(Bíblia Sagrada, Eclesiastes 3,1)

RESUMO

O trabalho apresenta a proposta de um minicurso sobre astrofísica estelar, mais especificamente o estudo do nascimento, vida e morte das estrelas, e os resultados alcançados ao ser desenvolvido com estudantes de educação básica. O minicurso foi desenvolvido visando contemplar estudantes do nono ano do Ensino Fundamental ao terceiro ano do Ensino Médio, e elaborado para ser realizado de forma presencial. Porém, em função do período de pandemia da Covid-19, o desenvolvimento se deu de forma remota. Vídeos e textos sobre o tema foram usados como recursos didáticos para os estudos autônomos e o professor assumiu o papel de mediador nas atividades propostas. Durante a realização da proposta, os estudantes, além dos estudos, responderam a questionários, que consistiram dos dados desta pesquisa, tendo sido identificados elementos da argumentação nas respostas elaboradas pelos estudantes, indicando o favorecimento da Alfabetização Científica promovida pelo minicurso. As análises indicam que o minicurso apresenta condições favoráveis para a promoção dos argumentos durante o seu desenvolvimento, reconhecemos o favorecimento da compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais, aspectos relevantes na promoção da Alfabetização Científica dos estudantes.

Palavras-Chave: Alfabetização Científica. Argumentação. Educação em Astronomia. Ensino de Física. Estrelas.

ABSTRACT

This paper presents the proposal of a short course on stellar astrophysics, specifically the study of the birth, life, and death of stars, and the results achieved when developed with basic education students. The purpose of the course was to contemplate students from the ninth year of Elementary School to the third year of High School; its full preparation was designed to be carried out in person. Due to the Covid-19 pandemic period, its development took place remotely with videos and texts on the subject as didactic resources for autonomous studies; the teacher assumed the mediator role in the proposed activities. When carrying out this proposal, the students answered questionnaires with data from this research, in addition to the studies, and argumentation elements were identified in the answers, indicating the favoring of scientific literacy promoted by the short course. The analyzes carried out indicate that the short course presents favorable conditions to urge arguments during its development, favoring the basic understanding of fundamental scientific terms, knowledge, and concepts, relevant aspects to promote the students' scientific literacy.

Keywords: Argumentation. Astronomy Education. Physics Teaching. Scientific Literacy. Stars.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplos de estrelas com diferentes tipos espectrais	35
Figura 2 – Diagrama H-R com estrelas com características específicas	36
Figura 3 – Diagrama H-R com as diferentes regiões representadas.....	37
Figura 4 – Diagrama H-R para estrelas na vizinhança do Sol.....	38
Figura 5 – Trajetória evolutiva de estrelas com até $8 M_{\odot}$	40
Figura 6 – Evolução de estrelas com massa entre 8 e $25 M_{\odot}$	40
Figura 7 – Evolução de estrelas com massa entre 25 e $100 M_{\odot}$	41
Figura 8 – Diagrama H-R indicando a trajetória evolutiva de uma estrela tipo Sol.....	42
Figura 9 - Professor exemplificando a trajetória evolutiva do Sol em um Diagrama H-R.....	58
Figura 10 - Diagrama H-R: A - enviado pela aluna Hydra; B - enviado pela aluna Aquarius	73
Figura 11 - Score e Score Relativo para o 1º tema.....	83
Figura 12 - Score e Score Relativo do tema 2a	87
Figura 13 - Gráfico do score a respeito do nascimento das estrelas.....	93
Figura 14 - Score e Score Relativo sobre a morte das estrelas.....	95
Figura 15 - Diagrama H-R feito pela Hydra.....	103

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo das principais características espectrais.....	35
Quadro 2 - Classes de Luminosidades das estrelas.....	35
Quadro 3 - Tempo de permanência na SP do Diagrama H-R.....	40
Quadro 4 - Etapas e datas da ocorrência do trabalho.....	44
Quadro 5 - Aulas, ações desenvolvidas e objetivos.....	46
Quadro 6 - Ano escolar, Estudante, porcentagem e atividades enviadas pelos alunos.....	47
Quadro 7 - Temas pesquisados e questionários analisados.....	48
Quadro 8 - Esquema para avaliação das respostas dos alunos.....	48
Quadro 9 - Respostas dos alunos ao Questionário	60
Quadro 10 - Respostas dos alunos ao Questionário	61
Quadro 11 - Respostas dos alunos ao Questionário Final	62
Quadro 12 - Respostas dos alunos ao Questionário 1 sobre o segundo tema.....	63
Quadro 13 - Respostas dos alunos ao Questionário 1 sobre o segundo tema.....	64
Quadro 14 - Respostas dos alunos ao Questionário 2 sobre o segundo tema.....	64
Quadro 15 - Respostas dos alunos ao Questionário 2 sobre o segundo tema.....	65
Quadro 16 - Respostas dos alunos ao Questionário 3 sobre o segundo tema.....	66
Quadro 17 - Respostas dos alunos ao Questionário 3 sobre o segundo tema.....	67
Quadro 18 - Respostas dos alunos ao Questionário Final sobre o segundo tema	68
Quadro 19 - Respostas dos alunos ao Questionário Final sobre o segundo tema	69
Quadro 20 - Respostas dos alunos ao Questionário 1 sobre o terceiro tema.....	70
Quadro 21 - Respostas dos alunos ao Questionário 1 sobre o terceiro tema.....	70
Quadro 22 - Respostas dos alunos ao Questionário 2 sobre o terceiro tema.....	71
Quadro 23 - Respostas dos alunos ao Questionário 1 sobre o terceiro tema.....	73
Quadro 24 - Respostas dos alunos ao Questionário 8 sobre o terceiro tema.....	74
Quadro 25 - Respostas dos alunos ao Questionário Final sobre o terceiro tema.....	76
Quadro 26 - Respostas dos alunos ao Questionário Final sobre o terceiro tema.....	77
Quadro 27 - Respostas dos alunos sobre o tema.	79
Quadro 28 - Score e Score Relativo do 1º tema pesquisado.	82
Quadro 29 - Respostas e pontuação referentes ao tema 2a.....	83
Quadro 30 - Score e Score Relativo referentes ao tema 2a	86
Quadro 31 - Respostas dos alunos ao tema 2b.	87

Quadro 32 - Respostas dos alunos e pontuação ao tema 2c.	89
Quadro 33 - Score e Score Relativo referentes ao tema 2c.	90
Quadro 34 - Respostas dos alunos ao Q1P5 sobre o nascimento das estrelas.....	91
Quadro 35 - Respostas dos alunos ao Q2P4 sobre o nascimento de uma estrela.....	92
Quadro 36 - Score e Score Relativo sobre o nascimento das estrelas.	93
Quadro 37 - Respostas e pontuação sobre a morte das estrelas.....	93
Quadro 38 - Respostas e pontuação sobre a morte das estrelas.....	94
Quadro 39 - Respostas e pontuação dos alunos sobre o que seria o Diagrama H-R.....	96
Quadro 40 - Descrição da trajetória evolutiva das estrelas Sirius, Spica, Próxima Centauri e HDE226868 pelos alunos.....	98
Quadro 41 - Respostas dos alunos sobre a trajetória evolutiva de estrelas como o Sol.....	100

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

AC	Alfabetização Científica
APCEUA	Associação dos Professores de Ciências dos Estados Unidos
BDTD	Banco Digital de Teses e Dissertações
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal
CBC	Conteúdo Básico Comum
EF	Ensino Fundamental
EM	Ensino Médio
FASAR	Faculdade Santa Rita
H-R	Hertzprung-Russel
IAG	Instituto de Astronomia e Geofísica
IAU	Intenational Astronomical Union
IFMG	Instituto Federal de Minas Gerais
MNPEF	Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física
MC	Minicurso
ON	Observatório Nacional
OPD	Observatório Pico dos Dias
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
RELEA	Revista Latino-americana de Ensino de Astronomia
SD	Sequência Didática
TAP	Toulmin Argument Pattern
UFSJ	Universidade Federal de São João del Rei
UFLA	Universidade Federal de Lavras
UNICSUL	Universidade Cruzeiro do Sul
UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Breve memorial: porque o interesse no ensino de astronomia e a proposta da pesquisa	15
1.2 Objeto da pesquisa	18
1.3 Problema na forma de pergunta	19
1.4 Objetivos do trabalho.....	19
1.5 Justificativa	20
2 FUNDAMENTAÇÃO	23
2.1 Educação em astronomia	23
2.2 Alfabetização Científica	25
2.3 Argumentação.....	27
2.4 Revisão bibliográfica	29
3 ASTROFÍSICA ESTELAR	32
3.1 O que são as estrelas.....	33
3.2 A cor e o brilho das estrelas.....	33
3.3 Classificação estelar.....	34
3.4 O Diagrama H-R.....	36
3.5 Energia das estrelas	38
3.6 Evolução estelar	39
4 METODOLOGIA.....	43
4.1 Sujeitos da pesquisa.....	43
4.2 Proposta do minicurso.....	44
4.3 Processo de investigação	45
4.4 Desenvolvimento da proposta.....	47
4.5 Argumentação na prática de ensino	48
5 DADOS DA PESQUISA	51
5.1 Relato da experiência	51
5.2 Respostas dos alunos	59
6 RESULTADOS E ANÁLISES	79
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	105
REFERÊNCIAS.....	108

APÊNDICE A - AULA 1: IDENTIFICANDO O CONHECIMENTO PRÉVIO DOS ALUNOS	112
APÊNDICE B - AULA 2: DEFINIÇÃO DE ESTRELAS	116
APÊNDICE C - AULA 3: COR, BRILHO E TEMPERATURA DAS ESTRELAS.....	123
APÊNDICE D - AULA 4: NASCIMENTO, VIDA E MORTE DAS ESTRELAS	130
APÊNDICE E - AULA 5: NASCIMENTO, VIDA E MORTE DAS ESTRELAS	140
APÊNDICE F - AULA 6: NASCIMENTO, VIDA E MORTE DAS ESTRELAS	147
APÊNDICE G - AULA 7: NASCIMENTO, VIDA E MORTE DAS ESTRELAS.....	149
APÊNDICE H - AULA 8: NASCIMENTO, VIDA E MORTE DAS ESTRELAS.....	156
APÊNDICE I - AULA 9: NASCIMENTO, VIDA E MORTE DAS ESTRELAS	162
APÊNDICE J - AULA 10: AULA FINAL	169

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta um memorial pessoal seguido pela descrição do objeto da pesquisa, que se concentra em um trabalho desenvolvido em uma escola particular durante o período de distanciamento social imposto pela pandemia de Covid-19. O objetivo principal deste estudo é analisar se um minicurso de astrofísica estelar, baseado no estudo autônomo, pode promover a argumentação entre alunos da educação básica, possibilitando a promoção de argumentações? Além disso, os objetivos gerais e específicos do estudo são discutidos, com foco no favorecimento da argumentação dos alunos durante o minicurso. A justificativa para a realização deste trabalho é demonstrada, destacando a fé do tema e a necessidade de aprimorar as habilidades argumentativas dos alunos. Finalmente, este capítulo discute a organização da dissertação e como os próximos capítulos serão garantidos.

1.1 Breve memorial: porque o interesse no ensino de astronomia e a proposta da pesquisa

Quando pensamos na realização de qualquer pesquisa seja ela científica ou não, esta vem sempre motivada por algo ou alguém. No meu caso não foi diferente.

Meu interesse pelo ensino de Astronomia não é recente, e está acompanhado de frustrações, fracassos e algumas voltas por cima.

A Astronomia surgiu para mim ainda quando criança, de certa forma, incentivado pelos meus pais, mesmo que involuntariamente. Meus pais sempre gostaram de ler, eram frequentadores da biblioteca pública municipal da cidade, toda semana iam a biblioteca buscar livros para lerem durante a semana. Minha mãe adorava os livros de contos policiais, da Agatha Christie, e meu pai era um amante da literatura brasileira, como, por exemplo, Graciliano Ramos. Lembro muito bem que minha mãe vivia me incentivando a ler, porém os livros que ela me sugeria, nunca me agradavam, até que um dia ela me convidou a ir à biblioteca com ela para escolher um livro, ela disse que poderia escolher o livro que quisesse, fui a sessão de livros científicos, pois gostava deste tema, que por mim era conhecido pelos programas de televisão da época, como Castelo Ratimbum, Mundo de Beakman, entre outros. Ao passar pela sessão, encontrei um livro sobre Astronomia, para ser mais claro era um livro sobre Ufologia. Fiquei apaixonado com a hipótese de haver vida extraterrestre, a partir de então sempre buscava ler, ou assistir algo sobre os temas, Astronomia e Ufologia. O tempo passou, o interesse foi

adormecendo, até que no Ensino Médio, ele voltou à tona, não porque meu professor da época dessa alguma ênfase ao assunto, mas ele era um professor que me incentivava muito a estudar, e nestes estudos sempre encontrava nos livros, as páginas verdes e amarelas, que relacionavam a Física à Astronomia.

O tempo passou, decidi que queria estudar Astronomia, queria estudar Astrofísica, e entender como a Física acontecia nas estrelas e objetos celestes. Porém não havia na região qualquer instituição que tivesse o curso de Astronomia, resolvi ir por outro caminho, o da Física. Fui fazer Licenciatura em Física, com o objetivo de estudar Astronomia, mas na minha instituição não havia nenhuma disciplina que tratasse a Astronomia. Durante toda a minha graduação, a única relação que tive com a Astronomia foi uma apresentação de trabalho, de um aluno veterano, sobre o Sol. Tudo que estudei ou busquei durante a graduação foi por conta própria e extraclasse.

Concluí minha graduação, e decidi fazer mestrado em Física. Fui para a Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), fazer mestrado em Física e Matemática Aplicada, com ênfase em Astrofísica. Agora sim, estava cursando o que sempre quis e busquei, orientado pelo professor Dr. Alberto Ardilla e Dr. Wilton Dias, fui trabalhar como aluno do mestrado no Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA), onde tive a grata oportunidade de passar várias noites no Observatório Pico dos Dias (OPD) e de conhecer diversos pesquisadores, o que só me fazia querer cada vez mais. Mas durante todo o meu período em Itajubá, não tinha bolsa, e meu pai pagava todas as minhas despesas, isso não ficava barato, mas até então, com incentivo dos meus pais, em especial meu pai, estava continuando. Por questões pessoais optei por trancar o mestrado e voltar para minha terra natal. Voltei e comecei a trabalhar nas escolas da cidade. Mas, apesar da grande frustração, por ter abandonado o mestrado, continuei sempre buscando cursos de formação em Astronomia, mas agora à distância. Fiz cursos, pelo Observatório Nacional (ON), escolas de formação, participei de oficinas em alguns congressos, sempre buscando a formação em Astronomia.

Casei-me e, passado algum tempo, fiz um processo seletivo para trabalhar no (Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) – campus Congonhas. Trabalhava durante a semana e voltava no fim de semana. Juntamente com meu cargo no IFMG, consegui um emprego na Faculdade Santa Rita (FASAR), na cidade vizinha em Conselheiro Lafaiete. Na época, tinha somente graduação, cobrado pela instituição, fiz o processo seletivo para o mestrado em Física da Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), fui aprovado e na UFSJ, tinha como orientadores os professores Dr^a. Maria Aline e Dr. Fernando Marroquim, mas nesta época trabalhava muito, tinha aulas no colégio da FASAR, nos cursos de graduação da FASAR, e no

IFMG. Não dava para conciliar as aulas com o mestrado. Mais uma vez optei por não fazer o mestrado, abandonei mais uma vez. O tempo passou e mais uma vez optei por voltar para minha terra natal.

Voltei e comecei a trabalhar nas escolas particulares de Formiga, fui nomeado para os concursos que havia prestado na rede estadual. Sentindo falta de estudar, fazer cursos, busquei por cursos à distância na área de Astronomia, primeiro encontrei um curso de aperfeiçoamento em Astrofísica, ministrado pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP) com encontros presenciais todos os meses e após terminar iniciei uma pós-graduação *latu-sensu* em Ensino de Astronomia na Universidade Cruzeiro do Sul (UNICSUL), onde fui orientado pelo professor Dr. Marcos Rincon Voelzke. Para o trabalho de conclusão de curso fizemos uma pesquisa de campo, um estudo de caso que tinha como objetivo analisar, por meio de um questionário, o que os alunos sabiam ou não sobre Astronomia, o questionário foi aplicado às turmas do Ensino Médio, das instituições às quais trabalho. Nesta pesquisa verificamos que os alunos não tinham nenhum conhecimento sobre o assunto, desde assuntos básicos a assuntos mais avançados, mesmo estes assuntos fazendo parte de suas bases curriculares, assim concluímos que os professores nunca trabalharam estes assuntos com seus alunos, nem como parte integrante da disciplina e nem como conteúdo paradidático. Percebemos também que ao responder o questionário os alunos apresentaram muito interesse no assunto, perguntando inclusive o porquê de não terem estes conteúdos como disciplina.

Terminado a pós-graduação, achei que deveria me dar mais uma chance, e tentar um mestrado novamente. Em conversa com minha esposa, decidimos que deveria tentar, fiz a inscrição para o Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), agora um mestrado na área de ensino, diferente de tudo que já havia tentado. Área esta que me encantou e está me encantando cada vez mais, pois agora não estou simplesmente buscando conhecer um determinado problema Físico, estou agora buscando soluções para ajudar a melhorar o processo de ensino de Física. E foi justamente, com esta ideia de ajudar a melhorar os processos de ensino e aprendizagem, que fiz a inscrição para o mestrado.

Ao ser aprovado no mestrado, fiz um pré-projeto de pesquisa que tinha como objetivo inicial dar continuidade à pesquisa feita na pós-graduação, mas agora o objetivo inicial era produzir um material que ajudasse na formação de professores e na divulgação científica sobre Astronomia. Com a orientação do professor Dr. Antônio Marcelo, optamos pelo minicurso (MC) sobre Astrofísica Estelar, ministrado a alunos do Ensino Fundamental e Médio da rede

particular de ensino, buscando favorecer Alfabetização Científica (AC) dos estudantes e divulgar cientificamente conteúdos sobre Astrofísica Estelar.

Na sequência didática (SD) produzida para o MC, foram utilizados textos didáticos da apostila Fundamentos de Astronomia¹ e de alguns sites da internet, os textos foram adaptados para os alunos com a finalidade de construção do conhecimento. Na sequência de aulas utilizou-se em alguns momentos, como disposto no produto educacional, vídeos/documentários sobre o conteúdo para complementar os textos e/ou abordar determinados assuntos referentes ao tema. Atividades foram propostas ao longo do MC, dentre elas temos questionários, utilizados como instrumentos de avaliação do processo educativo e as respostas dadas pelos estudantes como dados de investigação da nossa pesquisa. Em razão do MC ter sido desenvolvido de forma remota, as respostas aos questionários foram apresentadas na forma escrita. Assim, verificamos nas respostas encaminhadas pelos estudantes a presença de elementos próprios da argumentação. Tomando como inspiração o Toulmin Argument Pattern (TAP), em português Padrão de Argumentos de Toulmin, identificando o desenvolvimento dos argumentos escritos ao longo do MC, reconhecendo-o como um dos caminhos para a Alfabetização Científica dos estudantes.

Portanto, nossa proposta de trabalho consiste na elaboração de um produto educacional, um MC sobre Astrofísica Estelar a alunos do Ensino Fundamental e Médio, sendo que durante o seu desenvolvimento, realizamos a identificação de elementos presentes na construção de argumentos pelos estudantes, e a análise da evolução de sua complexidade, reconhecendo a promoção da argumentação como possível caminho para o favorecimento da Alfabetização Científica dos estudantes.

1.2 Objeto da pesquisa

Nosso trabalho foi desenvolvido em um colégio da rede particular de ensino.

Em virtude da pandemia de Covid-19, foi totalmente desenvolvido de forma remota, visando o bem-estar e a saúde dos alunos e do professor pesquisador. O MC ocorreu no turno vespertino, devido à disponibilidade dos alunos, uma vez que eles estavam tendo aulas remotas no período matutino. Trabalhamos com os alunos de forma virtual, através da plataforma disponibilizada pela escola e nos encontros contamos com momentos de tira dúvidas, já que o MC foi organizado de modo que os alunos realizassem estudos prévios. Na sequência ocorreram

¹A apostila, pode ser obtida neste endereço: <http://www.astro.iag.usp.br/~jane/aga215/index.html> [2010].

momentos para a socialização de seus estudos e suas respostas aos questionários e finalizamos todas as aulas apresentando o material a ser estudado para a semana seguinte. Fizemos isso em todas as aulas, exceto a primeira que teve como objetivo apresentar o MC e entregar a eles o primeiro questionário, que tinha como objetivo verificar seus conhecimentos prévios.

O desenvolvimento do trabalho ocorreu no primeiro semestre de 2020, se estendendo para o segundo semestre devido às condições impostas pela pandemia, e pela dificuldade do ensino remoto.

Como nosso problema de pesquisa é a promoção da argumentação, a fim de favorecer o processo de AC dos alunos participantes, foi muito importante que os alunos soubessem a importância de um bom argumento e o que deve ter em um argumento para que este seja aceito cientificamente. Assim fizemos ao longo do MC discussões para mostrar aos alunos como gerar um bom argumento.

1.3 Problema na forma de pergunta

Esta dissertação apresenta o seguinte problema de pesquisa: Um MC de Astrofísica Estelar fundamentado no estudo autônomo ofertado a alunos da educação básica, possibilita o a promoção de argumentações?

1.4 Objetivos do trabalho

Quando iniciei o mestrado tinha alguns objetivos bem particulares. Que com o decorrer do curso, e novos conhecimentos adquiridos, muitos destes foram ampliados, visto as novas ideias que foram surgindo, enriquecendo ainda mais o nosso trabalho.

Diante do que estudamos e levantamos por meio de nossas leituras e pesquisas, acreditamos que a pesquisa envolvendo o ensino de Astronomia ainda tem muito que avançar principalmente no que se refere à Astrofísica aplicada à educação básica, bem como temas que envolvem a promoção da argumentação e a AC, por meio de assuntos relacionados à Astrofísica.

Contudo, esperamos por meio deste trabalho contribuir de forma significativa com as pesquisas envolvendo o ensino de Astrofísica, a argumentação e a AC.

Espera-se que os alunos que participaram do MC, melhorem suas argumentações, correlacionando às ciências e identificando suas peculiaridades.

Espera-se também que o trabalho desenvolvido, melhore a divulgação científica, da Astronomia/Astrofísica.

O **Objetivo geral** consiste em identificar a promoção da argumentação de alunos da Educação Básica, favorecendo sua AC, por meio da análise dos argumentos escritos produzidos por eles durante o desenvolvimento do MC de Astrofísica Estelar.

Os **Objetivos específicos** são:

- a) construir um MC acessível aos alunos, do 9º ao 3º ano dos Ensinos Fundamental e Médio;
- b) incentivar os alunos quanto ao estudo de conteúdos relacionados à Astronomia/Astrofísica;
- c) desenvolver com os alunos a argumentação científica; e
- d) divulgar cientificamente a Astronomia/Astrofísica.

1.5 Justificativa

Durante as pesquisas e buscas feitas em site de periódicos, não encontramos propostas de ensino relacionados ao ensino de Astrofísica no Ensino Fundamental e Médio.

Devido à ausência de trabalhos na área que envolva o ensino de Astrofísica para alunos do Ensino Fundamental e Médio, pode-se caracterizar o trabalho como sendo algo relevante, além de atrelar a argumentação e, a AC ao ensino de Astrofísica. Outro ponto que justifica a execução do trabalho é a estreita relação existente entre os autores e o tema Astrofísica, sendo este presente na formação de ambos os envolvidos, orientado e orientador. Quanto à relevância, o trabalho contribui de forma significativa na vida dos estudantes, promovendo a divulgação científica, a AC e a melhora nos padrões argumentativos dos alunos. Por fim, justifica-se a execução do trabalho, levando em consideração, sua contribuição ao meio acadêmico, produzindo um trabalho que pode contribuir com outros trabalhos.

1.6 Organização da dissertação

Após esta introdução, o trabalho segue com outras seções e subseções:

- a) **2 FUNDAMENTAÇÃO**, sendo subdividida em subseções:
 - **2.1 Educação em astronomia**, na qual é justificado o porquê do tema Astronomia;

- **2.2 Alfabetização Científica**, como um dos objetivos centrais do MC, fundamentados em importantes trabalhos de Lúcia Helena Sasseron e Ana Maria Pessoa de Carvalho (2011);
 - **2.3 Argumentação**, como importante ferramenta no desenvolvimento do MC e no favorecendo da AC; e
 - **2.4 Revisão bibliográfica**, mostrando importantes trabalhos sobre os temas desta pesquisa, que inclui Astrofísica, a promoção da argumentação e o favorecimento da AC;
- b) **3 ASTROFÍSICA ESTELAR**, na tentativa de definir de forma sucinta e clara a Astrofísica Estelar, resumindo o material disponibilizado aos alunos durante o MC, disponível em apêndices desta dissertação, subdividindo-se em subseções:
- **3.1 O que são as estrelas;**
 - **3.2 A cor e o brilho das estrelas;**
 - **3.3 Classificação estelar;**
 - **3.4 O Diagrama H-R;**
 - **3.5 Energia das estrelas;** e
 - **3.6 Evolução estelar;**
- c) **4 METODOLOGIA** e subseções:
- **4.1 Sujeitos da pesquisa**, abordando o envolvimento dos participantes da pesquisa, alunos do 9º ano do Ensino fundamental ao 3º ano do EM, e como foi feito o convite para participação no MC;
 - **4.2 Proposta do minicurso**, explorando as etapas do trabalho e as ocorrências nos principais momentos do MC;
 - **4.3 Processo de investigação**, mostrando como ocorreu a investigação, contando como foi o desenvolvimento do MC;
 - **4.4 Desenvolvimento da proposta**, mostrando a forma do levantamento dos alunos participantes da pesquisa e os critérios utilizados para selecioná-los, indicando a forma de fazer a análise de suas respostas; e
 - **4.5 Argumentação na prática de ensino**, expondo a forma da pontuação das respostas dos alunos durante a análise dos argumentos.
- d) **5 DADOS DA PESQUISA**, subdividida em subseções:
- **5.1 Relato da experiência** discorre como ocorreu o desenvolvimento do MC, como foi a participação dos alunos e suas interações com o pesquisador;

- **5.2 Respostas dos alunos** aos questionários, a principal ferramenta para a análise dos argumentos, facilitando esta análise de dados;
- e) **6 RESULTADOS E ANÁLISES** dos argumentos, expondo as pontuações dadas pelos três pesquisadores, conforme as evoluções dos argumentos dos alunos ao longo do MC;
- f) **7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**, indicando se o MC favoreceu a promoção dos argumentos e a AC dos alunos participantes;
- g) **REFERÊNCIAS**; e
- h) **APÊNDICES**.

2 FUNDAMENTAÇÃO

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica do trabalho, que se concentra em três temas principais: Educação em Astronomia, Alfabetização Científica e Argumentação. Na seção de Educação em Astronomia, mostra a importância da Astronomia nas bases curriculares estaduais e nacionais e os importantes trabalhos de Rodolfo Langhi, Roberto Nardi e Paulo Bretones. Na seção de Alfabetização Científica, são apresentados os principais indicadores do favorecimento da alfabetização científica, com base nos trabalhos importantes de Lúcia Helena Sasseron e Ana Maria Pessoa de Carvalho. Na seção sobre Argumentação, a fundamentação teórica busca mostrar a importância da argumentação no trabalho, destacando os três eixos estruturantes da Alfabetização Científica. Por fim, a seção de revisão bibliográfica mostra as fontes utilizadas para fundamentar este trabalho. Com essa fundamentação teórica, espera-se fornecer uma base sólida para a análise dos resultados alcançados neste trabalho.

2.1 Educação em astronomia

Quando analisamos os planos curriculares, Conteúdo Básico Comum (CBC) do Ensino Fundamental (MARTINS *et al.*, 2006a) e do Ensino Médio (PANZERA *et al.*, 2006) Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) do Ensino Fundamental (Brasil, 1998) e o PCNEM do Ensino Médio (Brasil, 2000), percebemos que eles nos dão diretrizes para se ensinar Astronomia ou tópicos de Astronomia aos alunos da educação básica, isso dentro dos conteúdos de ciências no Ensino Fundamental ou Física no Ensino Médio. Isto também acontece na BNCC tanto do Ensino Fundamental como do Ensino Médio. Porém, o que se percebe é que os alunos muitas vezes, pouco sabem sobre a astronomia e sobre o que acontece nas estrelas. Levando isto em consideração, Rodolfo Langhi, Roberto Nardi e Paulo Bretones, tem dedicado tempo e estudo em pesquisas que envolvem a educação em Astronomia no Brasil, visando a divulgação e buscando justificativas do porquê se ensinar Astronomia nos mais diferentes níveis e situações de ensino, e visando também a melhoria do ensino.

Bretones e Megid Neto (2011) fizeram uma análise de 283 artigos publicados nos anais da IAU de 1988 a 2006, onde os autores dos artigos determinam que se deve considerar tomar novos rumos no ensino de Astronomia e que os pesquisadores devem tratar a educação em Astronomia com questões epistemológicas mais profundas, bem como o ensino e os processos de aprendizagem. Assim, neste trabalho buscamos propor um MC que além de divulgar

cientificamente a Astronomia a alunos da educação básica busca-se ensinar conteúdos de certa forma avançados sobre Astrofísica Estelar e busca-se através deste MC promover a argumentação dos alunos e buscar por meio de seus argumentos escritos favorecer de AC, ou seja, propusemos um trabalho que vai além do que normalmente é proposto para a educação em Astronomia.

Muitos ainda podem se perguntar, mas porque se ensinar conteúdos de certa forma pesados matematicamente a alunos da educação básica? A resposta pode ser encontrada no trabalho de Bandecchi, Horvath e Bretones (2019), que mostram ser possível com um pouco de matemática básica, ensinar estrutura estelar e o processo de produção de energia das estrelas sem recorrer aos processos de integração que envolvem equações diferenciais, vistas no ensino superior. Contudo, produzimos um MC que aborda a estrutura estelar, envolvendo a produção de energia nas estrelas e os diferentes tipos de estrelas e suas posições no Diagrama H-R, de forma conceitual sem “matematizar” os conceitos.

Citando Bandecchi, Horvath e Bretones (2018), existe certamente um atraso secular entre o desenvolvimento real das disciplinas, sua transposição didática e sua utilização efetiva nas escolas contemporâneas, isso pode ser discutido até mesmo levando em consideração a formação dos professores, pois os planos curriculares estadual e federal nos dão diretrizes para trabalhar conceitos mais avançados de Astrofísica mesmo que de forma paradidática, e conteúdos como os que são abordados no artigo, aqui citado, e no MC, na grande maioria das vezes passa despercebido, seja levando em consideração sua forma conceitual, como visto no MC, ou sua forma matemática, como visto no artigo.

Em se tratando da Astronomia é importante que os professores de Ciências no Ensino Fundamental e de Física do Ensino Médio, tenham conhecimento no mínimo básico desta, pois esta, é muito presente em histórias e páginas “amarelas” de livros didáticos, que muitas vezes representam uma falsa ou ilusória imagem desta ciência, carecendo que os professores que ministram Física, por exemplo, tenham um conhecimento mínimo para poder esclarecer alguns equívocos que podem estar presente nos livros, jornais e documentários que abordam a Astronomia. Langhi e Nardi (2009), traz esta discussão onde mostram que a Astronomia deveria ser mais bem discutida em cursos de formação de professores, para evitar alguns equívocos que muitas vezes são vistos e erroneamente publicados em livros didáticos. Desta forma, podemos justificar o ensino de Astronomia, como uma forma de corrigir possíveis equívocos e ajudar nas interpretações de determinados fenômenos físicos presentes nas estrelas. Assim o MC produzido vem justamente esclarecer alguns destes pontos, como por exemplo, a cor das

estrelas, onde muitos alunos sequer imaginam que a cor delas está associado às suas temperaturas.

De acordo com Langhi e Nardi (2009b), a aprendizagem da Astronomia pode acontecer em âmbitos diversos como na educação formal, informal, não formal, bem como atividades de popularização da ciência. É extremamente importante que nós professores de Física entendamos o importante papel que a Astronomia pode apresentar no ensino de Física, seu ensino em diferentes espaços, formal ou informal, pode aproximar os alunos da Física, visto a estreita relação existente entre estas duas ciências. Assim nosso MC busca justamente fazer esta conexão, associar os diversos fenômenos físicos às estrelas, mostrando aos alunos que a Física está presente até mesmo nas estrelas, desde o seu nascimento à sua morte, passando por todos os seus processos evolutivos. Além disso o MC desempenha um importante papel, que é de divulgar e/ou popularizar a Astrofísica Estelar.

Por fim, Langhi e Nardi (2014, p.48) justificam um trabalho baseado em educação em Astronomia, mostrando que:

- a) Educação em Astronomia contribui para HFC (História e Filosofia da Ciência) e CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) no ensino;
- b) Educação em Astronomia favorece a elaboração de atividades experimentais e a prática observacional do céu;
- c) a Astronomia é um elemento motivador;
- d) a Astronomia é altamente interdisciplinar;
- e) há presença de erros conceituais e falhas em livros didáticos (LD), concepções alternativas em alunos e professores e baixa popularização em Astronomia;
- f) o ensino da Astronomia é promovido pelos PCN, emergindo a necessidade de reverter o atual quadro formativo deficiente de professores; e
- g) há o potencial da interação com a comunidade profissional de astrônomos e espaços não formais de ensino.

2.2 Alfabetização Científica

A AC desempenha um importante papel no nosso trabalho, o MC foi desenvolvido para que os alunos tenham um papel central na construção de seus conhecimentos e argumentos. A argumentação escrita será analisada para então verificarmos os eixos estruturantes da AC e então dizer se um MC de Astrofísica Estelar favorece a promoção da argumentação e a AC de alunos da educação básica.

Em nosso trabalho utilizamos o termo AC, mas diversos artigos e autores usam termos diferentes, para designarem o objetivo desse ensino de Ciências que almeja a formação cidadã dos estudantes para o domínio e uso dos conhecimentos científicos e seus desdobramentos nas mais diferentes esferas de sua vida. Entre os termos utilizados há autores que utilizam a

expressão letramento científico, há pesquisadores que utilizam o termo enculturação científica. Mas, o importante é que independente do termo utilizado a preocupação é a mesma, ou seja, a construção de benefícios práticos para as pessoas, a sociedade e o meio ambiente (SASSERON; CARVALHO, 2011).

Desta forma nosso trabalho busca por meio dos argumentos gerados ao longo do MC certas habilidades para que se considere que os alunos tenham o iniciado do processo de AC. De acordo com Gérard Fourez (1994), citado por Sasseron e Carvalho (2011, p.67), para que uma pessoa seja considerada alfabetizada cientificamente, é necessário que:

- a) utilize os conceitos científicos e é capaz de integrar valores, e sabe fazer por tomar decisões responsáveis no dia a dia;
- b) compreenda que a sociedade exerce controle sobre as ciências e as tecnologias, bem como as ciências e as tecnologias refletem a sociedade;
- c) compreenda que a sociedade exerce controle sobre as ciências e as tecnologias por meio do viés das subvenções que a elas concede;
- d) reconheça também os limites da utilidade das ciências e das tecnologias para o progresso do bem-estar humano;
- e) conheça os principais conceitos, hipóteses e teorias científicas e é capaz de aplicá-los;
- f) aprecie as ciências e as tecnologias pela estimulação intelectual que elas suscitam;
- g) compreenda que a produção dos saberes científicos depende, ao mesmo tempo, de processos de pesquisas e de conceitos teóricos;
- h) faça a distinção entre os resultados científicos e a opinião pessoal;
- i) reconheça a origem da ciência e compreenda que o saber científico é provisório, e sujeito a mudanças a depender do acúmulo de resultados;
- j) compreenda as aplicações das tecnologias e as decisões implicadas nestas utilizações;
- k) possua suficientes saber e experiência para apreciar o valor da pesquisa e do desenvolvimento tecnológico;
- l) extraia da formação científica uma visão de mundo mais rica e interessante;
- m) conheça as fontes válidas de informação científica e tecnológica e recorra a elas quando diante de situações de tomada de decisões; e
- n) tenha uma certa compreensão da maneira como as ciências e as tecnologias foram produzidas ao longo da história.

Estes critérios são os critérios propostos pela Associação de Professores de Ciências dos Estados Unidos (APCEUA).

Precisamos entender que a AC é um processo, pois à medida que novos conhecimentos são construídos, novas aplicações destes conhecimentos são encontradas, novas tecnologias surgem, e então torna-se necessário uma “atualização” em nossos conhecimentos e então um “novo” processo de AC ocorrerá. Sasseron (2013, p.13) define então os indicadores de AC, que têm a função de mostrar se a AC está em processo de desenvolvimento nos alunos. São eles:

“seriação de informações, organização de informações, classificação de informações, levantamento de hipóteses, teste de hipóteses, justificativa, previsão, explicação, raciocínio lógico, e raciocínio proporcional”.

A presença de alguns destes indicadores mostram que os alunos estão descrevendo e entendendo os fenômenos ali estudados. Uma forma de verificar a presença destes indicadores é na argumentação oral e escrita.

2.3 Argumentação

Assim como a AC tem um importante papel em nosso trabalho, podemos dizer que a argumentação tem o papel central, pois é por esta argumentação que verificaremos se o MC promoveu a argumentação e se foi capaz de favorecer a AC dos alunos participantes.

Sasseron e Carvalho (2011) apontam em seu trabalho os 3 eixos estruturantes da AC, que são capazes de fornecer bases suficientes e necessárias, da elaboração e planejamento de aulas visando a AC.

O primeiro eixo, no qual nosso MC foi focado, refere-se à compreensão da natureza das ciências e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática. Ou seja, é a ideia de ciência como um corpo de conhecimento em constante transformação, por meio da aquisição, análise, síntese e decodificação de resultados que originam os saberes.

O segundo eixo trata da compreensão da natureza das ciências e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática. Ou seja, é a ideia da ciência como um corpo de conhecimento em constante transformação por meio da aquisição e análise de dados, síntese e decodificação de resultados.

O terceiro eixo compreende o entendimento das relações existentes entre ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente. Trata da consideração que a solução de um problema, pode representar mais tarde, o aparecimento de um outro problema associado. Este eixo ainda denota a necessidade de se compreender as aplicações dos saberes construídos pelas ciências.

Para identificarmos a promoção dos argumentos e o favorecimento da AC através dos argumentos gerados ao longo do MC, utilizamos a análise dos argumentos escritos dos alunos em diversos momentos. Para isso precisamos entender o que Sasseron (2015, p.) nos diz parafraseando Leitão (2011), “argumentação não é somente uma atividade discursiva da qual os indivíduos eventualmente participam, mas, sobretudo, uma forma básica de pensamento que permeia a vida humana”.

Segundo Franco e Munford (2018), argumentação é uma atividade comunicativa fundamentada na vida humana. Está presente no cotidiano das pessoas, nas atividades profissionais, nas democracias, no cerne do raciocínio filosófico e na atividade científica. As pesquisas em argumentação são marcadas pelas relações com o ensino de ciências, desta forma nosso trabalho se fundamenta na análise dos argumentos escritos dos alunos que foram gerados em diversos momentos do MC.

Leitão (2011) traz algumas perguntas que podem ajudar na compreensão do que seja uma argumentação e como esta pode ajudar no processo de ensino e aprendizagem dos alunos:

- a) que se entende por argumentação?;
- b) que mecanismos de aprendizagem e reflexão fazem da argumentação um recurso privilegiado em processos de construção do conhecimento e no desenvolvimento do pensamento crítico-reflexivo?; e
- c) que há de específico na argumentação de sala de aula e que desafios isto coloca?

A argumentação está muito presente no nosso trabalho, e é justamente pela análise dos argumentos que buscaremos o favorecimento da argumentação levando em consideração os eixos estruturantes da AC. De acordo com Leitão (2011), a argumentação desencadeia nos alunos processos cognitivos-discursivos, vistos como essenciais à construção do conhecimento e ao exercício da reflexão, por isso é tão importante que os alunos participantes do MC argumentem, pois queremos formar alunos críticos e reflexivos.

É importante também descrever que o uso da argumentação ajudará os alunos na construção do conhecimento de Astrofísica Estelar, para isso utilizamos a argumentação em uma direção de investigação, na qual Leitão (2011) defende que a argumentação é vista como uma atividade cognitivo-discursiva, de forma que os alunos se apropriem melhor do conhecimento ali transmitido, neste caso, a investigação parte da ideia do argumentar para aprender.

Desta forma, produzimos um MC em que a argumentação escrita tem um papel central, pois é por meio deste MC que buscaremos a promoção da argumentação. Desta forma o MC, além de divulgar, ensinar e “alfabetizar”, ele tem um objetivo específico que é de favorecer a construção de argumentos, mostrando a eles que um argumento aceito cientificamente, requer, por exemplo, um dado, uma justificativa e uma conclusão.

Assim tornou-se essencial no MC que os alunos aprendessem a argumentar cientificamente, assim sempre que tínhamos nossos encontros virtuais era comentado com os alunos como eles fariam suas argumentações, mostrando que um bom argumento para ser aceito cientificamente deve conter dados, justificativas e conclusões. Fizemos isso pensando em fazer

a análise escrita dos argumentos nos inspirando no modelo de Toulmin, sendo este modelo uma excelente ferramenta para análise de favorecimento de AC (SASSERON; CARVALHO, 2014).

No TAP, citado por Sasseron e Carvalho (2014), diz-se que “uma apresentação básica possível de um argumento conforme o padrão de Toulmin pode ser representada como D (dado), Q (qualificadores), C (conclusão) e que ainda pode ter W (garantias), B (apoio) e R (refutação)”. Desta forma, na análise dos argumentos, estes elementos são buscados para pontuar as argumentações, conforme descrito em 4.5 e avaliar se o MC de Astrofísica Estelar é favorável ou não à promoção da argumentação e o favorecimento da AC de alunos da educação básica.

2.4 Revisão bibliográfica

Nossa revisão bibliográfica se refere ao tema, Astrofísica, concentramos nossos esforços em buscar artigos que relacionam o ensino de Astrofísica para alunos do Ensino Médio, para isso fizemos buscas em portais que servem como repositórios de artigos diversos ou artigos relacionados ao ensino de Astronomia, tais como Scielo e Revista Latino Americana de Educação em Astronomia (RELEA), além destas fontes usamos os bancos de teses e dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e da Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD).

A busca é iniciada no portal da Scielo², digitando a palavra Astrofísica, surgindo 431 resultados, com assuntos que abordam tanto a Astrofísica “dura”, como artigos relacionados ao ensino, optamos por filtrar ainda mais nossa busca, escolhendo os filtros, que relacionam artigos publicados no Brasil, em qualquer ano, em português e referentes à educação e pesquisa educacional, surgindo um total de sete artigos. Destes sete artigos, três traz em seus títulos, propostas de ensino de Astrofísica para alunos do Ensino Médio. Ao ler os resumos, observa-se que os três artigos trazem informações importantes; o primeiro de Sabino *et al.* (2019) traz a utilização do software Máxima, para mostrar o processo de evolução estelar. Os outros dois artigos de Fróes (2014) e Horvath (2013) trazem informações referentes aos PCNs e à BNCC, enfatizando motivos para que a Astronomia, Astrofísica e Cosmologia sejam contempladas nos programas da educação básica.

A Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia (RELEA) foi a outra fonte de busca. Nesta revista buscamos pelo mesmo tema, Astrofísica, encontrando dois artigos

²Disponível em: <https://scielo.org/>

relacionados ao seu ensino, o primeiro de Aguiar e Housome (2018) trata de um projeto curricular alternativo de Física com a inserção de elementos de Astronomia, Astrofísica e Cosmologia a alunos o 1º ano do EM; neste trabalho, também foram utilizados questionários, a fim de verificar o conhecimento prévio dos alunos. O segundo trabalho de Peixoto e Kleinke (2016) está ligado à motivação de alunos e professores quanto ao tema de Astronomia, fator considerado de grande relevância ao estímulo do estudo das ciências e conseqüentemente no favorecimento da AC.

Além da busca em revistas e periódicos, fizemos uma busca com o mesmo tema em dois portais de teses e dissertações, o da CAPES e o BDTD. No portal da BDTD, quando buscado por Astrofísica, surgiu 609 teses e dissertações. Partimos para a utilização dos filtros, buscando por teses e dissertações, que se referem à Astrofísica, Astronomia e ao Ensino. Nesta busca encontramos 20 dissertações das quais 7 trazem títulos que se relacionam à nossa pesquisa. Lendo os resumos de quatro obras, verifica-se que são assuntos semelhantes a este trabalho, como o trabalho de Vieira (2018), cujo conteúdo versa sobre a teoria da formação e evolução estelar para alunos do EM, tema que foi abordado no MC. Outro trabalho que apresenta ideias bem parecidas ao desta pesquisa é de Pesquero (2015) com uma proposta de um MC de Astronomia, buscando uma melhor formação de alunos do EM para Olimpíadas de Astronomia, buscando uma formação mais geral em Astronomia, diferente desta pesquisa que busca uma formação e divulgação bem mais específica, Astrofísica Estelar; são interesses diferentes, mas apresentando a mesma ideia central, a produção de um MC. No trabalho de Silva (2017), cujo resumo apresenta pontos em comum com esta pesquisa, ele traz a discussão da evolução estelar, para alunos do 9º ano do EF, que está também presente no nosso trabalho. No MC aqui por nós proposto, os alunos estarão nos anos do 9º EF ao 3º ano do EM, possibilitando uma maior troca de conhecimento entre si, de forma que os que possuam uma maior “bagagem” possam ajudar os que ainda não apresentam determinados conceitos. No quarto e último trabalho, o de Girardi (2017), é apresentado um tema que é o culminar do nosso trabalho, a construção do Diagrama Hertzsprung-Russel³ (Diagrama H-R) com alunos do EM. Neste trabalho, assim como no nosso, ele utiliza o software *Stellarium*, para a construção coletiva de um Diagrama H-R pelos alunos. No nosso trabalho, isso se desenvolveu com o auxílio e mediação do professor. Os alunos, utilizando o software, construíram um Diagrama H-R final, e a partir do diagrama construíram

³Diagrama Hertzsprung-Russel (Diagrama H-R) é um gráfico de magnitude absoluta versus tipo espectral, por exemplo, que pode demonstrar a trajetória evolutiva das estrelas.

argumentos sobre o processo evolutivo das estrelas, instrumento de coleta de dados que foram utilizados na investigação de nossa pesquisa.

A última busca se deu no banco de teses e dissertações da CAPES com o mesmo procedimento feito anteriormente pelo tema Astrofísica, tendo surgido um número de 1134 trabalhos relativos ao tema; a busca foi filtrada com o foco no tema Astrofísica e ensino, sendo que os diversos trabalhos encontrados são os mesmos encontrados na BDTD; assim, optou-se por encerrar a busca e concluir a revisão bibliográfica, baseada em nove trabalhos publicados, que se relacionam bem com o tema desta pesquisa, ou seja, MC, evolução estelar e a construção de um Diagrama H-R.

Em todas as pesquisas, os artigos buscados eram que se relacionassem a AC ao ensino de Astronomia ou Astrofísica, entretanto, não encontrados até o momento algo que relacionasse um MC sobre Astrofísica Estelar para a verificação de indícios de AC.

3 ASTROFÍSICA ESTELAR

A Astronomia é considerada a mais antiga das ciências, e talvez seja a ciência que mais causa admiração a todos que a conhecem ou buscam conhecer. Esta é também a ciência que se ocupa dos estudos dos fenômenos celestes e objetos celestes, entre eles, as estrelas, as galáxias, as constelações e os planetas.

A Astronomia, assim como a Física, pode ser dividida em áreas, e uma destas áreas é a Astrofísica, e esta, ainda pode ser dividida em subáreas, como a Astrofísica Estelar, que é parte integrante da nossa pesquisa e tema do nosso MC. Justificamos o uso deste tema, assim como citado anteriormente, pela estreita relação dos pesquisadores com o tema, mas também pelo fato de este tema estar presente na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), Currículo Básico comum (CBC), Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) e em diversos livros didáticos e apostila do sistema de ensino dos alunos participantes da pesquisa. Como nosso objetivo não é analisar a BNCC, CBC, PCNs e os livros e apostilas, nos detemos em apenas dizer que este é um tema presente no cotidiano dos alunos e professores, nos que se refere a livros, apostilas e diretrizes curriculares.

Em nosso MC apresentado e feito pelos alunos, utilizamos a Astrofísica Estelar, como forma de promoção de argumentos e o favorecimento de AC nos alunos. Dividimos a Astrofísica Estelar presente em nosso MC em três temas, que envolvem a definição de o que seja estrelas, a cor e o brilho das estrelas, e as trajetórias evolutivas destas. É importante ressaltar que em nosso MC, não trabalhamos e não levamos em consideração à parte matemática que envolve a Astrofísica Estelar, visto que esta contém expressões matemática que estão muito além do conhecimento dos alunos, buscamos trabalhar somente a parte conceitual, tirando toda a abstração presente em cálculos matemáticos, sobre os conceitos de brilho e trajetórias evolutivas presentes em estudos mais avançados sobre o tema.

No que se refere aos temas, buscamos em sites, revistas, apostilas e vídeos, disponíveis na internet, materiais que buscassem definir o que são estrelas, e estes materiais estão disponíveis, no apêndice, no final desta dissertação. Estes materiais foram adaptados, para que nossos alunos pudessem ler e melhor compreender o material e assim facilitar a aprendizagem dos temas propostos.

Nesta secção vamos fazer uma breve descrição da Astrofísica Estelar apresentada aos estudantes ao longo do MC, o material completo pode ser consultado no apêndice desta

dissertação, que foi dividido em três temas. Definição de estrela, cor, brilho e temperatura das estrelas e evolução estelar.

3.1 O que são as estrelas

As estrelas são esferas de plasma, mantidas pela sua própria gravidade, emitem luz calor e diversos tipos de radiação em razão dos processos de fusão nuclear que ocorrem em seu interior, liberando grandes quantidades de energia.

As estrelas são criadas em grandes berçários estelares, chamadas de Nebulosas. E durante sua formação são chamadas de protoestrelas, este período pode durar até 10 milhões de anos, até que devido à sua pressão e temperatura comecem a fundir hidrogênio produzindo hélio. Este processo de fusão nuclear faz com que estas estrelas estejam no que nós chamamos de sequência principal.

À medida que ocorrem as fusões nucleares, seu combustível é então consumido, e as estrelas evoluem para diferentes estágios finais de vida, dependendo de sua massa e raio.

A maior parte das estrelas, são compostas de hidrogênio e hélio, os elementos mais abundantes do universo. Há também estrelas mais massivas que o Sol que são compostas de elementos mais pesados que o hélio.

Existem diferentes tipos de estrelas, e esta designação depende de dois fatores, da classificação espectral e do tamanho e massa da estrela. E estes tipos de estrelas como mencionados anteriormente pode ter diferentes fins.

3.2 A cor e o brilho das estrelas

As estrelas apresentam diferentes cores, e algumas estrelas consideradas estrelas de primeiras grandezas, como por exemplo, Antares, na constelação de escorpião, pode ser observada sua coloração em tom avermelhado, a olho nu. As demais estrelas não se podem perceber suas cores a olho nu. Mas independentemente de como o olho humano percebe as cores a cor de uma estrela se relaciona com a temperatura de sua superfície. As estrelas “frias”, cujas temperaturas apresentam temperaturas em torno de 3000 K, parecem vermelhas, as amarelas como o nosso Sol, possuem temperaturas em torno de 6000 K e finalmente, as de cor branco-azulada apresentam temperaturas superiores a 10000 K.

No que se refere ao brilho das estrelas, sua medida é chamada de magnitude, assim como o grego Hiparco resolveu chamar, quando se criou o primeiro catálogo estelar com 850 estrelas,

onde as dividiu em 6 grupos. As estrelas de primeira magnitude eram compostas de estrelas mais brilhantes no céu noturno, ou seja, eram as primeiras estrelas a aparecerem ao anoitecer. Esse sistema de classificação estelar sofreu uma única reforma, quando se notou que as estrelas de sexta magnitude eram cerca de 100 vezes menos intensas que as de primeira, ou seja, se a magnitude dá um salto de 5 a intensidade dá um salto de 100, desta forma um binóculo permite ver estrelas de magnitude 11. Os telescópios nos permitem ver estrelas com magnitudes 20. Desta forma o brilho das estrelas pode ser mais bem descrito da seguinte maneira: estrelas e objetos com magnitudes negativas são os mais brilhantes no céu, por exemplo, nosso Sol apresenta magnitude -27. Estrelas com brilhos muito fracos, apresentam magnitudes positivas, por exemplo, Antares apresenta magnitude +1.

3.3 Classificação estelar

As estrelas podem ser classificadas levando em consideração as suas características espectrais, correlacionando suas cores e temperaturas. E como falado anteriormente, estrelas azuis apresentam temperaturas maiores que estrelas vermelhas.

Para melhor entendermos como surgiu a classificação estelar, vamos para o ano de 1969 quando surgiu uma das mais importantes técnicas de observação astronômica, que revolucionou os estudos dos corpos celestes, a espectroscopia estelar. Tudo isso começou quando Ângelo Secchi acoplou em seu telescópio um espectroscópio e apontou para as estrelas. O resultado foi a descoberta de que as estrelas apresentavam linhas de absorção em seus espectros.

Com base em suas observações, Secchi foi o primeiro astrônomo a classificar as estrelas com base em seus tipos espectrais, e com base nas pesquisas feitas por Bunsen e Kirchhoff que mostravam que as linhas espectrais são causadas por produtos químicos, os astrônomos desenvolveram um campo pioneiro da espectroscopia estelar, mostrando que os espectros estelares continham importantes informações sobre suas composições químicas.

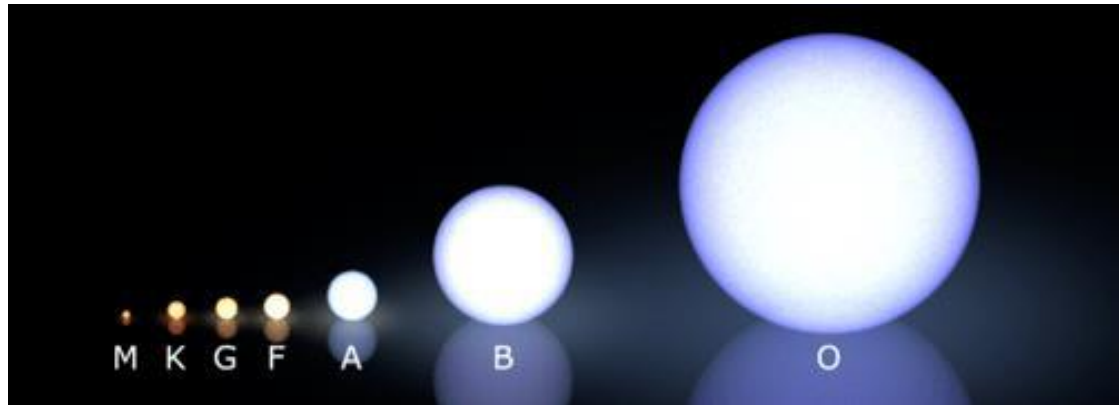
As primeiras classificações foram baseadas nas intensidades das linhas de hidrogênio. Foi adotada a sequência A, B, C, ..., P, para a nomenclatura das classes espectrais, onde as estrelas de tipo A tinham linhas mais fortes de Hidrogênio e de tipo P, linhas mais fracas. Com o melhor entendimento dos subníveis da estrutura atômica, um novo esquema foi adotado para a classificação espectral que estabelecia uma sequência mais significativa da estrutura da estrela em função da sua temperatura. Assim algumas letras foram suprimidas e a ordem alterada resultando em O, B, A, F, G, K e M.

As estrelas de tipo O, por exemplo, são chamadas estrelas de primeiro tipo, e as de tipo

M, por exemplo são estrelas de tipos tardios. Cada tipo é subdividido em 10 grupos, 0 a 9, como por exemplo, F8, F9, G1, G5.

A Figura 1 mostra o tipo espectral de diferentes estrelas do nosso universo e o Quadro 1 especifica as principais características espectrais.

Figura 1 - Exemplos de estrelas com diferentes tipos espectrais



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Classifica%C3%A7%C3%A3o_estelar. Acesso em: 8 jan. 2020.

Quadro 1 - Resumo das principais características espectrais

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

Fonte: https://ppgenfis.if.ufrgs.br/mef008/mef008_02/Claudia/classificacaoespectral.html. Acesso em: 8 jan. 2020.

Para diferenciar estrelas com mesmo tipo espectral, recorreremos à medida das linhas espectrais. Assim recorreremos às classes de luminosidades, proposto por Morgan, Keenan e Kellman, do observatório de Yerkes, eles introduziram seis classes de luminosidades, baseadas nas larguras das linhas espectrais. Assim quanto mais larga é a linha, maior é a estrela (Quadro 2).

Quadro 2 - Classes de luminosidades das estrelas (continua)

Classe	Como são chamadas	Exemplo
Ia	Supergigantes superluminosas	Rigel
Ib	Supergigantes	Betelgeuse
II	Gigantes luminosas	Antares

Quadro 2 - Classes de luminosidades das estrelas (conclusão)

III	Gigantes	Aldebarã
IV	Subgigantes	A Cruxis
V	Anãs	Sírius

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

Acesso em: 8 jan. 2020.

3.4 O Diagrama H-R

Hertzsprung descobriu em 1905 que a largura das linhas espectrais era correlacionada com o brilho intrínseco das estrelas, ele verificou que estrelas com linhas estreitas brilhavam mais que as estrelas com linhas largas.

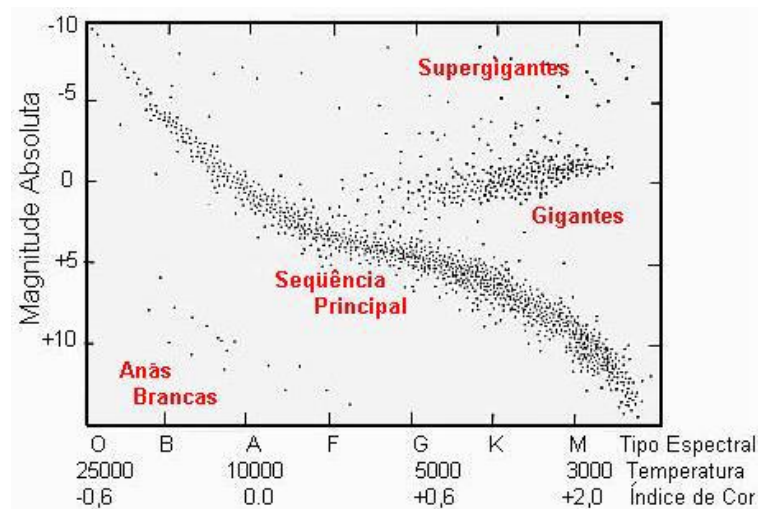
Num trabalho independente, com dados diferentes, Russel chegou a uma interpretação semelhante, encontrando que a magnitude absoluta é bem correlacionada com o tipo espectral. Ele graficou estes dados para dois aglomerados, das Plêiades e das Híades.

Gráficos deste tipo recebem o nome de Diagrama H-R, onde se convencionou colocar a magnitude ou a luminosidade no eixo vertical e os tipos espectrais ou temperatura no eixo horizontal.

Estes diagramas são extremamente importantes nos estudos de Astrofísica Estelar, pois eles servem para mostrar a trajetória evolutiva de diferentes tipos de estrelas levando em consideração seus dados espectrais.

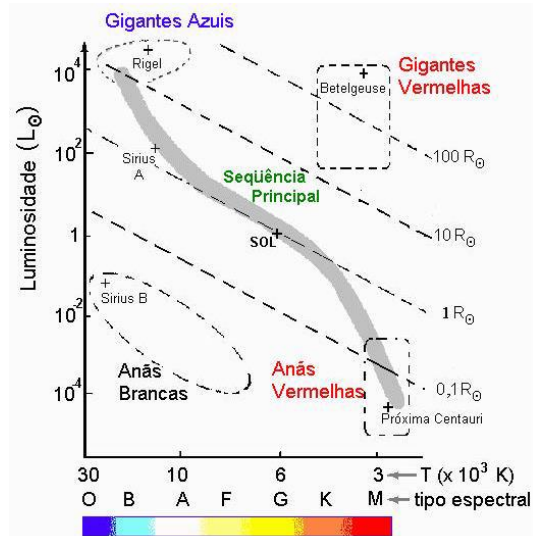
O Diagrama H-R apresenta diferente regiões com estrelas com características bem específicas (FIGURAS 2 e 3).

Figura 2 - Diagrama H-R com estrelas com características específicas



Fonte: Apostila Telescópio na Escola, Cap. 10: Estrelas: Classificação Espectral (2010).

Figura 3 - Diagrama H-R com as diferentes regiões representadas

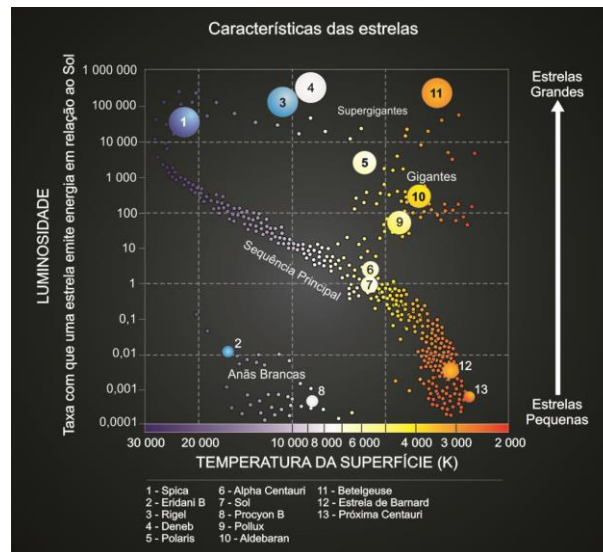


Fonte: Apostila Telescópio na Escola, Cap. 10: Estrelas: Classificação Espectral (2010).

A maior parte das estrelas está na chamada Sequência Principal, que é constituída de estrelas mais massivas, mais quentes e mais luminosas. Acima e à direita temos a região das Gigantes. No topo do diagrama há uma outra região que contém estrelas ainda mais luminosas, às Supergigantes, e no canto inferior esquerdo temos as estrelas quentes e pouco luminosas que se encontra na região das Anãs Brancas.

É importante falar que ao interpretarmos o Diagrama H-R devemos levar em consideração a seleção de estrelas. Se fizermos um Diagrama H-R levando em consideração apenas uma amostra de estrelas limitadas pela magnitude, o Diagrama terá uma aparência, se levarmos em consideração somente estrelas na vizinhança do Sol, o Diagrama terá outra aparência, se pegarmos estrelas de diferentes aglomerados, o Diagrama H-R terá relação direta com a idade do aglomerado, por isso os Diagramas H-R são importantes para os estudos da evolução estelar (FIGURA 4).

Figura 4 - Diagrama H-R para estrelas na vizinhança do Sol



Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node2.htm>. Acesso em: 10 jan. 2020.

3.5 Energia das estrelas

A questão sobre o brilho das estrelas só foi levantada no século XIX quando a Termodinâmica estava se desenvolvendo, foi quando as pessoas compreenderam que o calor e a luz que vinha do Sol precisava ter uma fonte. E em 1938 eles descobriram que a fonte desta energia era a fusão nuclear.

Até a descoberta de que a energia do Sol se dava através do processo de fusão nuclear muitas discussões foram feitas. Pensou-se que o Sol estaria se esfriando após um aquecimento inicial, pensou-se o Sol ser movido a combustível tradicional, porém a hipótese mais aceita envolvia a gravidade. Esta hipótese era a de contração gravitacional, que sugeria que a fonte de energia gravitacional era devido à lenta contração do Sol. E foram os cálculos desta teoria que levou lord Kelvin a estimar a idade do Sol com valores aceitáveis e iniciando um dos grandes debates científicos da época. Ele chegou a uma idade entre 20 e 100 milhões de anos, descartando qualquer hipótese de que o Sol fosse feito de combustível fóssil.

Em 1920 Sir Eddington, assentou a fundação da teoria moderna de estrutura estelar, e deu a ideia corrente de que uma intensa fonte de energia no núcleo da estrela gera a pressão que contrabalança a força para dentro da gravidade, estabilizando a estrela.

Entre 1920 e 1930, os astrônomos estavam coletando dados, e os físicos nucleares estavam trabalhando na teoria do núcleo atômico. Em 1932 Chadwick descobriu o nêutron, a ideia de um núcleo atômico com prótons e nêutrons nasceu. Em 1938 Hans Bethe, após uma conferência desenvolveu a teoria de como a fusão nuclear podia produzir a energia que faz as estrelas

brilharem, e esta descoberta lhe valeu o prêmio Nobel de Física em 1967.

Na mesma época, além de Bethe, o físico alemão Weizäcker e Critchfield identificaram várias reações de fusão nuclear que mantêm o brilho das estrelas. Estas reações nucleares podem ocorrer levando em consideração três ciclos de produção de energia, o ciclo Próton-Próton, onde a temperatura central da estrela é menor que $15 \cdot 10^6 K$, onde dois átomos de hidrogênio se fundem formando um átomo de hélio. O ciclo do Carbono ou também chamado de ciclo CNO, que envolve uma cadeia complexa de seis reações nucleares em que átomos de carbono e nitrogênio agem como catalisadores para a fusão nuclear, o processo triplo alfa onde o átomo de hélio, pode participar da produção de carbono em interiores estelares com temperaturas acima de $10^8 K$.

Graças a estes estudos os astrônomos calculam com confiança o fim de estrelas como o Sol daqui a 6,5 bilhões de anos como uma anã branca, após a queima do hélio em carbono pela reação triplo alfa.

3.6 Evolução estelar

As estrelas são formadas em nebulosas, que são imensas nuvens de gás molecular, fria, e composta em sua maioria de hidrogênio e hélio. Há nestas nebulosas regiões com maiores concentrações de gases, que por ação gravitacional, se contraem e esquentam podendo formar um objeto que será denominado de protoestrela ou anã marrom.

Se o objeto tiver massa inferior a $0,08 M_{\odot}^4$, ele não será uma estrela pois nunca terá reações nucleares transformando hidrogênio em hélio, será uma anã marrom, pois a temperatura no núcleo é inferior a $8 \cdot 10^6 K$, temperatura necessária para que inicie as reações nucleares. Se o objeto tiver massa superior a $0,08 M_{\odot}$, terá uma temperatura suficientemente alta para que ocorra as reações nucleares e este objeto será denominado de protoestrela.

Sendo este objeto uma protoestrela ele evoluirá de acordo com sua massa inicial, e terá diferentes fins, podendo terminar sua vida como uma estrela anã branca, ou como um buraco negro. O tempo que esta estrela passará na sequência principal do Diagrama H-R, dependerá exclusivamente de sua massa inicial, e o seu tempo de vida também dependerá desta massa inicial, estrelas mais massivas têm tempo de vida mais curto do que estrelas menos massivas.

O Quadro 3 mostra uma relação entre o tempo de permanência de uma estrela na sequência principal do Diagrama H-R.

⁴ M_{\odot} = Massa Solar.

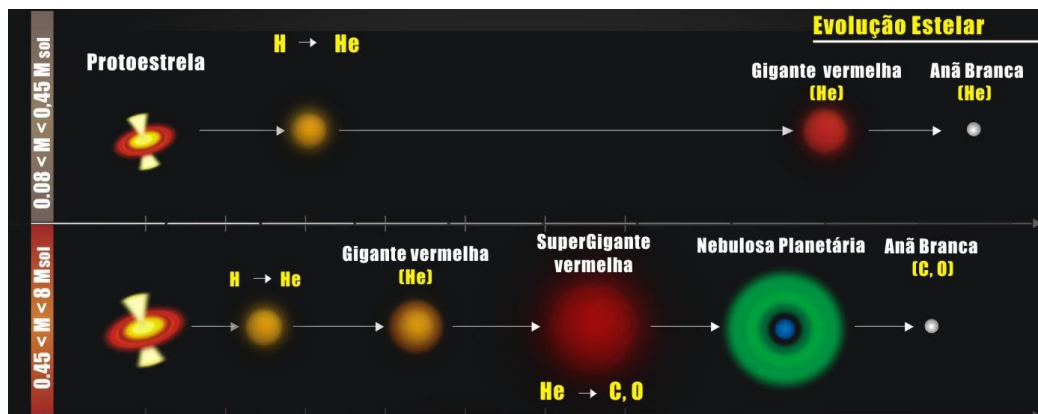
Quadro 3 - Tempo de permanência na SP do Diagrama H-R

Massa da estrela	Tempo de permanência na SP
0,1 M \odot	3 trilhões de anos
1 M \odot	10 bilhões de anos
10 M \odot	100 milhões de ano
100 M \odot	1 milhão de anos

Fonte: Autor (2022).

Assim a trajetória evolutiva de uma estrela dependerá de sua massa, estrelas com massas entre $0,08 M_{\odot} < M < 0,45 M_{\odot}$, evoluirão para uma gigante vermelha e terminarão suas vidas como uma anã branca com núcleo de hélio. Estrelas com massas entre $0,45 M_{\odot} < M < 8 M_{\odot}$, evoluirão para estrelas gigantes vermelhas, supergigantes vermelhas, nebulosas planetárias e terminarão suas vidas como anãs brancas com núcleos de carbono e oxigênio (FIGURA 5).

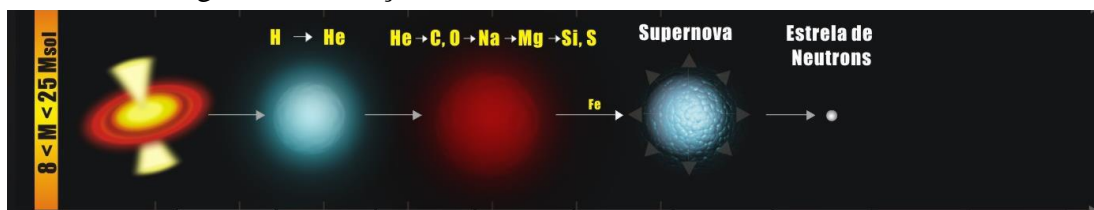
Figura 5 - Trajetória evolutiva de estrelas com até 8 M \odot



Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node14.htm>. Acesso em: 15 jan. 2020.

Se uma estrela iniciar sua vida com massa entre 8 e 25 M \odot , ela entrará na sequência principal do Diagrama H-R como uma supergigante azul, transformando hidrogênio em Hélio, evoluirá para uma supergigante vermelha produzindo O, Mg, Si, S, Cl, Ca, Sc, Ti e terminando sua vida produzindo Fe, explodindo em uma supernova restando no fim uma estrela de Nêutrons (FIGURA 6).

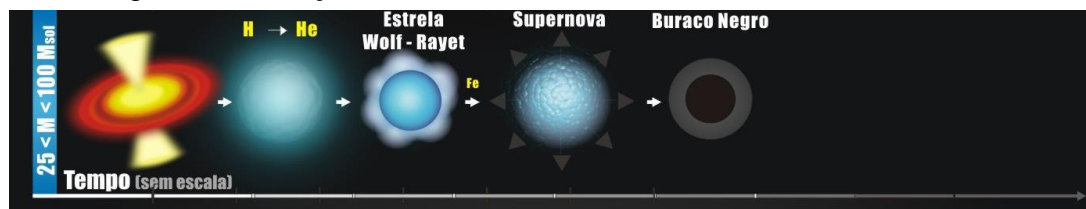
Figura 6 - Evolução de estrelas com massa entre 8 e 25 M \odot



Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node14.htm>. Acesso em: 15 jan. 2020.

Estrelas com massas superiores a $25 M_{\odot}$, devemos levar em consideração duas condições, estrelas com massas entre 25 e $100 M_{\odot}$, e estrelas com massas superiores a $100 M_{\odot}$. Para estrelas com massa entre 25 e $100 M_{\odot}$, entrará na sequência principal como uma supergigante azul, transformará H em He, em seguida devido ao processo contínuo de transformação até chegar ao ferro, se tornará uma estrela Wolf-Rayet, que são estrelas que possuem um envoltório de poeira e gás ejetados pela forte pressão de radiação, quando seu núcleo chega a Fe, não tem como continuar sua extração de energia através da fusão nuclear, então ela se torna uma supernova, e então terminará sua vida como um buraco negro (FIGURA 7).

Figura 7 - Evolução de estrelas com massa entre 25 e $100 M_{\odot}$

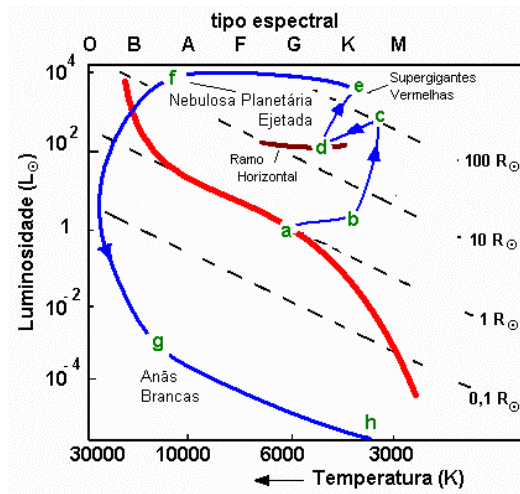


Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node14.htm>. Acesso em: 15 jan. 2020.

Agora se uma estrela iniciar sua vida com massa superior a $100 M_{\odot}$ em uma nuvem que contenha alguns metais, ela ainda na sequência principal ejetará a maior parte de sua massa, ficando com uma massa restante inferior a $100 M_{\odot}$, então ele seguirá o processo evolutivo de estrelas com até $100 M_{\odot}$.

E como falado anteriormente o Diagrama H-R serve para representar a trajetória evolutiva de um determinado grupo de estrelas pertencentes a dado aglomerado ou galáxia, assim podemos utilizar este diagrama para melhor entendermos estas trajetórias evolutivas. (FIGURA 8).

Figura 8 - Diagrama H-R indicando a trajetória evolutiva de uma estrela tipo Sol



Fonte: Apostila Telescópio na Escola, Cap. 12: Estágios Finais da Evolução Estelar (2010).

4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho tem como objetivo apresentar a proposta de um minicurso que visa promover a argumentação de alunos do 9º ao 3º ano do ensino médio da rede particular de ensino. O trabalho foi desenvolvido nos meses de julho a setembro de 2020 e compreendeu uma sequência didática de 10 aulas, abordando três temas diferentes.

Este capítulo está organizado em cinco subseções. Na primeira, descrevemos os sujeitos da pesquisa, que são os próprios alunos que participaram do minicurso. Na segunda subseção, apresentamos a proposta do minicurso e os temas abordados em cada aula. Já na terceira subseção, detalhamos o processo de investigação, incluindo a aplicação dos questionários, as ações desenvolvidas e os objetivos de cada questionário.

Na quarta subseção, descrevemos o desenvolvimento da proposta, apresentando o número de alunos participantes e os temas do minicurso. Por fim, na quinta subseção, discutimos a importância da argumentação na prática de ensino, com base em trabalhos anteriores de Kassembhoemer e Queiroz (2014), além de apresentar os critérios utilizados para a pontuação dos argumentos gerados pelos alunos ao longo do minicurso.

Por meio deste capítulo, buscamos apresentar de forma clara e detalhada a metodologia utilizada neste trabalho, de modo a contribuir para o avanço do conhecimento na área de educação e promoção da argumentação em sala de aula.

4.1 Sujeitos da pesquisa

O trabalho foi desenvolvido com alunos de uma instituição particular de ensino, na qual um dos pesquisadores também é professor de Física, nas turmas do 9º ano do EF ao 3º ano do EM. Os alunos foram todos convidados a participarem da pesquisa, bem antes do início da pandemia, enquanto estavam em aulas presenciais. O professor fez o convite em todas as turmas às quais trabalha, muitos alunos prontamente manifestaram interesse em participar da pesquisa, devido ao gosto pelo tema e curiosidade sobre o assunto. Alguns alunos também prontamente disseram que não poderiam participar, pela falta de interesse no tema, ou por ter compromissos no horário até então estipulado, o contraturno das aulas matutinas. Alguns alunos perguntaram como seria o MC e quando ocorreria. Como até o momento não tínhamos grandes detalhes sobre o início, apenas foi explicado aos alunos, que o MC ocorreria no contra turno, para não prejudicar o andamento de suas aulas normais, que ele ocorreria com os alunos tendo papel

central na sua aprendizagem, ou seja, seria um estudo autônomo no qual o professor seria apenas um mediador das discussões e qual era o tema do MC, estrelas, isso de forma rápida, para não comprometer a carga horária dos alunos frente a escola, até mesmo porque todos os detalhes seriam dados no início do curso.

As aulas do MC foram realizadas às sextas-feiras, dos meses de julho a setembro de 2020, como falado anteriormente, no contraturno, como neste período já estávamos em aulas remotas, devido à pandemia, escolhemos este dia junto com os alunos, pois neste dia os alunos não tinham aulas remotas síncronas, no turno vespertino, assim eles teriam uma maior disponibilidade para participar das discussões propostas no MC.

4.2 Proposta do minicurso

Com relação a estrutura do MC, este foi desenvolvido, em uma SD de 10 aulas (Quadro 4), as quais abordaram os conteúdos referentes à Astrofísica Estelar. Foi elaborado um MC que aborda três temas.

No MC, tivemos alguns momentos, entre eles, podemos citar a aula 1, que teve como objetivo, apresentar o MC e verificar o conhecimento prévio dos alunos. Tivemos momentos de formalização dos conteúdos, aulas 2, 3, 4, 5, 7, 8, e 9. Nestas aulas os alunos deveriam estudar os conteúdos previamente, em casa, e responder um questionário, para então na aula seguinte, socializar suas respostas, com a mediação do professor. E tivemos dois momentos em particular, que foram as construções do Diagrama H-R, aulas 6 e 10, que ocorreram de forma assíncrona, com mediação do professor via WhatsApp. A construção deste diagrama foi importante, pois tratou da consolidação dos estudos até os momentos das aulas. Até a aula 6, os alunos deveriam entender o que seria o Diagrama H-R, como e por que as estrelas deveriam ser colocadas nele; na aula 10, os alunos deveriam mostrar o processo evolutivo das estrelas neste diagrama ou de forma argumentativa.

Quadro 4 - Etapas e datas da ocorrência do trabalho (continua)

Mês/ano	Aula	Etapa do trabalho
jul./2021	Aula 1	Identificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre Astrofísica estelar
	Aula 2	Início da formalização do conceito de estrelas
	Aula 3	Formalização dos conceitos relacionados ao brilho e a cor das estrelas
	Aula 4	Formalizar a classificação espectral das estrelas
	Aula 5	Definir o diagrama H-R, mostrando todos os seus ramos
ago./2021	Aula 6	Construção por parte dos alunos de um Diagrama H-R
	Aula 7	Formalizar o processo de produção de energia definindo os ciclos próton-próton, CNO e triplo a

Quadro 4 - Etapas e datas da ocorrência do trabalho (conclusão)

	Aula 8	Formalizar o processo de evolução estelar para estrelas com até 8 massas solares
	Aula 9	Formalizar o processo de evolução estelar para estrelas com massas maiores que 8 massas solares
set./2021	Aula 10	Sedimentar, associar os conteúdos estudados com um vídeo documentário sobre estrelas, da série “Como Funciona o Universo” Bem como identificar por meio de um questionário ou discussão os argumentos dos alunos a fim de verificar indícios da AC dos alunos

Fonte: O autor (2022).

4.3 Processo de investigação

Como já mencionado em **1.4**, o objetivo geral deste trabalho é investigar a promoção dos argumentos, favorecendo da AC, por meio do MC sobre Astrofísica Estelar nos alunos participantes deste. Fizemos isso por meio da análise dos argumentos que foram gerados ao longo de todo o MC, e no final verificamos se o MC favoreceu ou não a promoção dos argumentos.

Inicialmente, o MC começou com uma avaliação diagnóstica, em seguida foi sendo distribuído o material, aula a aula, para que os alunos fizessem seus estudos, respondessem os questionários, distribuídos via Google forms, para que nas aulas seguintes estes alunos pudessem então socializar suas respostas de forma oral, com a abertura de microfones e câmeras e principalmente via chat. À medida que os alunos iam dando suas respostas iam surgindo discussões, mediadas pelo professor, o que ia enriquecendo nosso trabalho. Mas a questão é que os argumentos muitas vezes não podiam ser considerados argumentos válidos cientificamente, ou seja, muitas vezes não continham dados científicos, até então normal, pois os alunos não sabiam argumentar cientificamente, o que era pretendido no MC, isso é até mesmo comprovado por Sá, Kasseboehmer e Queiroz, (2014), que nos diz que a argumentação não ocorre de maneira espontânea, os alunos precisam praticar. Por isso em todas as aulas em nossas discussões, era falado para os alunos como deveriam dar respostas aceitas cientificamente, ou seja, eles deveriam ancorar suas respostas em dados e justificativas, por exemplo.

Durante todo o nosso MC tivemos a participação de pelo menos 10 alunos em todas as aulas, o que nos deu uma boa quantidade de dados para trabalhar, tivemos argumentações orais, participações via chat, mas as argumentações dos formulários no final de cada estudo foram as que serviram de base para a nossa análise. Estes argumentos foram organizados em quadros, subsecção **5.2** Respostas dos alunos, e pontuados com base nas discussões de três

pesquisadores, o autor da dissertação, Prof. Dayvidson Siqueira, o orientador, Prof. Dr. Antônio Marcelo e o Prof. Dr. Jeferson Adriano, seguindo o Quadro 8 - Esquema para avaliação das respostas dos alunos apresentado na subsecção 4.5 Argumentação na prática de ensino e os resultados das discussões referentes às pontuações das respostas apresentadas na seção 6. Isso foi feito, levando em consideração alguns princípios do TAP, como dados e garantias.

É importante ressaltar que o favorecimento da AC e a promoção dos argumentos depende fortemente da sequência didática do MC, pois cada uma das aulas apresentava ações a serem desenvolvidas e objetivos a serem alcançados (Quadro 5 -Aulas, ações desenvolvidas e objetivos

Quadro 5 -Aulas, ações desenvolvidas e objetivos (continua)

Aulas	Ações desenvolvidas	Objetivos
1 – Questionário	Aplicação de um questionário a fim de verificar o conhecimento prévio dos alunos	Identificar o uso de termos científicos, explicações e possíveis argumentações já presentes na fala dos alunos
2 e 3 – Definir o conceito de estrelas, cor, tamanho e magnitude estelar	Definir o que são estrelas, porque as estrelas apresentam cores, tamanhos e brilhos diferentes	Gerar argumentos científicos relacionados à cor, tamanho e brilho das estrelas
4, 5 e 6 – Formalizar as características observacionais das estrelas, bem como seus tipos espectrais, o diagrama H-R e sua sequência principal	<ul style="list-style-type: none"> • Definir que a cor das estrelas está relacionada à temperatura destas • Demonstrar que as estrelas apresentam tipos espectrais diferentes • Demonstrar o diagrama H-R, mostrando que as estrelas apresentam trajetórias evolutivas que dependem de suas características intrínsecas 	Gerar argumentos relacionados às características das estrelas, capaz de esboçar um diagrama H-R
7, 8 e 9 – <ul style="list-style-type: none"> • Formalizar a evolução estelar, a origem de energia estelar e o período de estabilidade estelar • Formalizar o que são gigantes vermelhas, flash de hélio, núcleo estelar de carbono, nebulosas planetárias e anãs brancas, explosão supernovas, estrelas de nêutrons pulsares e buracos negros estelares • Formalizar o processo de evolução estelar 	<ul style="list-style-type: none"> • Definir a formação das estrelas e suas trajetórias evolutivas no diagrama H-R • Definir a origem da Energia das estrelas, explicitando o processo de fusão nuclear e as cadeias de reações nucleares • Definir os estágios finais de evolução estelar • Definir a trajetória evolutiva das estrelas pós sequência principal e seus respectivos fins 	<ul style="list-style-type: none"> • Argumentar sobre o processo de produção de energia e entender como as estrelas evoluirão de acordo com o diagrama H-R • Argumentar sobre os estágios finais de evolução estelar, mostrando por meio dos argumentos a trajetória evolutiva das estrelas

Quadro 5 -Aulas, ações desenvolvidas e objetivos (conclusão)

10 - Considerações finais e vídeo formalizando todo o conteúdo	Formalizar todo o conteúdo do MC	<ul style="list-style-type: none"> • Construir um último argumento sobre as estrelas e suas trajetórias evolutivas • Elaborar com base em seus argumentos um Diagrama H-R completo para diferentes tipos de estrelas
---	----------------------------------	--

Fonte: O autor (2022).

4.4 Desenvolvimento da proposta

Para o desenvolvimento da proposta e o início da análise fizemos um levantamento do número efetivo de alunos participantes da pesquisa, tivemos durante nossas aulas em média de 15 a 20 alunos por encontro, porém não foram todos que participaram efetivamente da pesquisa, alguns alunos não fizeram as atividades, participaram dos encontros, mas não enviaram as atividades propostas, desta forma resolvemos levar em consideração como dados de pesquisa somente os alunos que participaram dos encontros e enviaram as atividades, para fazer isso levamos em consideração uma participação mínima de aproximadamente 77%, ou seja, os alunos deveriam ter enviado ao menos 7 das 9 atividades propostas. Fizemos isso pois os argumentos serão analisados levando em consideração as suas respostas nos questionários, assim precisamos que eles tenham feito e enviado as atividades que foram sendo propostas ao longo dos encontros. Com isso, foram selecionadas as respostas de 10 alunos para análise (QUADRO 6).

Quadro 6 - Ano Escolar, Estudante, porcentagem e atividades enviadas pelos alunos

Ano Escolar	Estudante	%	1	2	3	4	5	6	7	8	9
9° EF	Hydra	100	*	*	*	*	*	*	*	*	*
9° EF	Aquarius	100	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1° EM	Cygnus	90	*	*	*	*	-	*	*	*	*
3° EM	Crux	100	*	*	*	*	*	*	*	*	*
3° EM	Eridanus	100	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2° EM	Pegasus	90	*	*	*	*	*	*	*	-	*
2° EM	Leo	80	*	*	*	*	*	*	*	-	-
2° EM	Orion	80	*	*	*	*	*	*	*	-	*
3° EM	Aquila	100	*	*	*	*	*	*	*	*	*
9° EF	Andromeda	80	*	*	*	*	*	*	*	-	-

Fonte: O autor (2022).

Nota: *Atividades enviadas pelos alunos; - Atividades não enviadas.

A análise das respostas dos alunos aos questionários será feita, levando-se em consideração três temas de perguntas (QUADRO 7).

Quadro 7 - Temas pesquisados e questionários analisados

Tema da pergunta	Onde aparece
Definição de estrela	Questionários 1, 2 e 9
Cor, brilho e temperatura das estrelas	Questionários 1, 2, 3 e 9
Nascimento e morte das estrelas	Questionários 1, 2, 8 e 9

Fonte: O autor (2022).

Criamos temas para analisarmos as respostas, pois desta forma podemos melhor acompanhar a evolução das respostas dos alunos, visto que as perguntas são apresentadas em diferentes momentos ao longo do MC.

4.5 Argumentação na prática de ensino

De acordo com Sá, Kassembhoemer e Queiroz (2014) estudos que tratam da argumentação ou da análise de argumentos são de certa forma recentes. E de acordo com Oliveira, Batista e Queiroz (2010) nos últimos anos pesquisadores da área de educação em ciências tem mostrado a importância dos argumentos e da apropriação da linguagem científica, tanto para a prática, quanto para a aprendizagem dos alunos.

E ainda de acordo com Sá, Kassembhoemer e Queiroz (2014), quando se trata da argumentação, temos que levar em consideração que esta não acontece de forma espontânea, pelos menos para a maior parte dos indivíduos, os estudos têm nos mostrado que esta habilidade acontece por meio da prática.

Desta forma, pontuamos os argumentos, de forma a avaliar as argumentações dos alunos ao longo do MC. Abaixo elaboramos um quadro na qual identificamos a pontuação dada às respostas dos alunos nos questionários. As respostas foram pontuadas de 0 a 4, onde 0 apresenta uma resposta errada do ponto de vista científico, e o 4 apresenta uma resposta que se aproxima do modelo científico vigente, apresentando evidência e justificativa, adaptando-se aos elementos presentes no Padrão de Argumentos de Toulmin.

As pontuações foram dadas em todas as respostas geradas em relação aos três temas do MC (QUADRO 8).

Quadro 8 - Esquema para avaliação das respostas dos alunos(contínua)

Pontuação	Descrição
0	Resposta errada do ponto de vista científico
1	Resposta com elemento que se aproxima do modelo científico vigente. Nela é apresentada apenas defesa

Quadro 8 - Esquema para avaliação das respostas dos alunos (conclusão)

2	Resposta com elemento que se aproxima no modelo científico vigente. Nela é apresentada apenas evidência
3	Resposta com elemento que se aproxima no modelo científico vigente. Nela é apresentada apenas justificativa
4	Resposta com elemento que se aproxima do modelo científico vigente. Nela é apresentada evidência e justificativa

Fonte: O autor (2022).

As pontuações foram dadas levando em consideração, todas as respostas dos alunos ao longo do MC, desta forma, como citado anteriormente, consideramos como uma resposta com pontuação 0 aquela resposta incorreta, errada do ponto de vista conceitual e que não apresenta clareza ou uma justificativa que se sustente. Como exemplo de uma resposta com pontuação 0, mostramos a resposta da aluna Crux sobre o que ela acredita que seja uma estrela: “**Poeira em combustão**”.

Uma resposta com pontuação 1, é aquela com elemento que se aproxima do modelo científico vigente, mas a resposta apresenta apenas uma defesa, ou seja, ela defende o que lhe é perguntado, ou sem especificidade na resposta. Como exemplo, podemos citar a resposta da aluna Águila, no mesmo questionário, onde perguntamos sobre o que ela acredita que seja uma estrela: “**Um corpo que possui luz própria**”.

As respostas com pontuação 2, são aquelas com elementos que se aproximam no modelo científico vigente. Mas nelas são apresentadas apenas evidências, ou seja, as respostas contêm dados, fatos que recorremos para uma fundamentação ou conclusão. Como exemplo, citamos a resposta do aluno Pegasus, sobre o que ele acredita que seja uma estrela: “**Um corpo celeste que emite e possui luz própria**”.

Respostas com pontuação 3, são respostas que se aproximam do modelo científico vigente. Nelas são apresentadas apenas justificativas. Como exemplo citamos a resposta da aluna Crux: “**Uma concentração de gases em combustão por fusão nuclear**” apesar do termo “combustão” optamos por dar nota 3, por apresentar uma justificativa em sua resposta, ou seja, ela está justificando como acontece a “combustão”.

As repostas com pontuação 4, são aquelas com elemento que se aproxima do modelo científico vigente. Nelas são apresentadas evidências e justificativas. Como exemplo citamos as respostas da aluna Andromeda, sobre o que ela acredita que seja uma estrela: “**Grandes bolas que passam por processos de fusão nuclear, emitindo luz e calor**”.

É importante relatar que todo o MC foi proposto e executado de forma que os argumentos gerados ao longo dele, fossem analisados de acordo com o Padrão de Argumentos

de Toulmin, na qual é feita a distinção entre os diferentes componentes que constituem um argumento. Porém em nossa análise adaptamos o padrão de argumentos de Toulmin, criando uma pontuação para avaliar a qualidade dos argumentos gerados. A pontuação detalhada e os resultados serão apresentados na seção **6 RESULTADOS E ANÁLISES**.

5 DADOS DA PESQUISA

Este capítulo tem como objetivo apresentar os dados coletados durante a pesquisa realizada com os alunos participantes do minicurso. Para isso, dividimos este capítulo em duas subseções. Na primeira, fazemos um relato detalhado de todos os encontros do minicurso, incluindo as atividades desenvolvidas em cada aula e os principais desafios enfrentados durante o processo.

Na segunda subseção, apresentamos as respostas dos alunos às questões específicas dos questionários referentes a cada tema do minicurso. Essas questões foram elaboradas com o objetivo de avaliar o nível de compreensão e assimilação dos conteúdos abordados, bem como a capacidade dos alunos de argumentar e expressar suas opiniões de forma clara e coesa.

Ao longo deste capítulo, procuramos descrever de forma detalhada os dados coletados durante a pesquisa, fornecendo insights relevantes para a compreensão do impacto do minicurso na promoção da argumentação em sala de aula. Por meio da análise desses dados, buscamos contribuir para o desenvolvimento de práticas pedagógicas mais eficientes e inovadoras, capazes de estimular o pensamento crítico e a capacidade argumentativa dos estudantes.

5.1 Relato da experiência

No relato apresentado nomearemos os alunos, porém todos os nomes utilizados são fictícios.

Nosso **primeiro encontro** ocorreu na sexta-feira, 03/07/2020, e teve duração de 20 min. Foi esclarecido todo o funcionamento do MC, inclusive passado aos alunos o termo de aceite em participação da pesquisa, foi informado aos alunos que a escola estava ciente da realização da pesquisa e que o mesmo termo seria passado para os pais pela secretaria da escola via e-mail. Após estes esclarecimentos foi deixado livre para que os alunos fizessem perguntas sobre o MC e seu funcionamento, o aluno Antares perguntou via áudio se veríamos buracos negros, buracos brancos ou buracos de minhoca, a aluna Betelgeuse, via chat, fez uma alusão a um vídeo passado, há anos, pelo professor que é o pesquisador, sobre as escalas de distância no universo e se veríamos sobre alguma estrela em especial, a aluna Sirius perguntou também via chat, se estudaríamos sobre todo o universo ou só sobre o sistema solar.

Após responder as perguntas e elucidar o planejamento, foi avisado aos alunos que o 1º questionário que seria diagnóstico, seria enviado no grupo de WhatsApp, e que deveriam

responder o questionário sem qualquer tipo de consulta, devendo fazer a devolutiva até a terça-feira seguinte, dia 07/072020.

É importante registrar, que o encontro não foi gravado, mas o chat foi salvo.

Nesta aula estavam presentes 40 alunos, anteriormente, quando criamos o grupo de WhatsApp como meio de contato para a realização do MC, tinham 60 alunos.

Nosso **segundo encontro** ocorreu na sexta-feira, dia 10/07/2020, às 15 h. Este encontro foi um encontro para conversarmos sobre o primeiro questionário, que tinha como objetivo verificar o conhecimento prévio dos alunos.

Este encontro teve duração de 35 min, sendo gravado e seu chat salvo, e teve a participação de 23 alunos. Neste momento, no grupo de WhatsApp já havia 54 alunos.

Nosso encontro se iniciou com uma conversa sobre o questionário 1, visto a grande participação de alguns alunos, entre os comentários que surgiram durante o encontro foi sobre a dificuldade do questionário, os alunos o acharam complexo, como mencionado pela aluna Sirius, via chat. A aluna Rigel, achou que seria mais difícil, ela também mencionou no chat, que as perguntas são simples, porém difíceis de responder. Após a nossa conversa sobre o questionário, que buscou esclarecer algumas dúvidas que ficaram, e deixar claro que algumas destas dúvidas seriam sanadas ao longo do MC, passamos para os alunos o material, que contém o texto, o vídeo e a atividade a serem feitas ao longo da próxima semana, que se referem ao nosso terceiro encontro. Foi mostrado aos alunos o texto que deveriam fazer a leitura, o vídeo que deveriam assistir e foi apresentado também o *Stellarium*, software que usaríamos no nosso terceiro encontro.

Do nosso primeiro para o segundo encontro teve uma saída de 16 alunos, entre os motivos relatados por eles estão o horário dos encontros e as atividades neste período de aulas remotas. Talvez seja este um dos motivos para a demora na entrega do questionário já que os alunos só entregaram após serem cobrados, alguns alunos alegaram não terem feito no tempo correto por falta de tempo, devido aos estudos para os testes semanais.

Nosso **terceiro encontro** ocorreu no dia 17/072020, como combinado o encontro ocorreu às 15 h e teve a participação de 25 alunos. Nosso terceiro encontro teve como objetivo socializar as respostas dos alunos sobre seus estudos referentes à parte introdutória do curso, que tratava sobre a definição de estrelas⁵, para isso fizemos a socialização das respostas dos

⁵A definição de estrelas é dada na seção Astrofísica Estelar, podendo ser consultada também no **APÊNDICE B** desta dissertação.

alunos levando em consideração o material⁶ estudado: “Conhecendo as estrelas”, o vídeo da série ABC da Astronomia: “Estrelas”.

Buscamos diferentes formas de socializar as respostas dos alunos, levando-os a comentar suas respostas ao questionário. Por exemplo, foi perguntado aos alunos como eles fariam para falar se uma estrela é mais quente ou fria que outra simplesmente através da observação. Surgiram respostas, via chat, como da aluna Andrômeda, que disse que faria isto levando em consideração a cor da estrela, o aluno Leo, também respondeu, via chat, que se pode fazer pelas classificações espectrais e a aluna Lyra falou, via áudio, que faria isso levando em consideração a cor, mas além da cor levaria em consideração o brilho das estrelas. Perguntamos também, como as estrelas nascem? A aluna Rigel disse, via chat que, “os átomos começam a se ajuntar em uma nebulosa, começam a ter gravidade própria e começam a fazer fusão nuclear”. Os alunos de maneira geral tiveram uma boa participação comentando e dando respostas conforme iam sendo feitas as perguntas. A aula teve duração de 35 minutos levando em consideração o momento inicial de socialização das respostas e a orientação sobre a atividade seguinte, que deveria ser feita ao longo da próxima semana. Desta forma pediu-se aos alunos que lessem os textos “A Cor das Estrelas”, “O brilho das Estrelas”, assistissem ao vídeo chamado “A Cor das Estrelas”, e respondesse a um questionário que continha 3 questões, o material está disponível no apêndice da dissertação. Para finalizar pedimos que os alunos iniciassem um levantamento de informações através do software *Stellarium*, para a produção de um catálogo estelar para que no futuro eles construíssem um Diagrama H-R.

Nosso **quarto encontro** ocorreria na semana de provas do colégio, desta forma optamos por adiar nosso encontro para a semana posterior, mas os alunos disseram que o encontro não atrapalharia seus estudos e pediram para manter nosso encontro, porém como havíamos combinado com a direção e coordenação da escola que não teríamos encontros em semanas de prova e dia de simulado achamos melhor adiar nosso encontro dando a eles mais tempo para estudar os textos, assistir o vídeo, responder o questionário e catalogar as estrelas.

Alguns alunos desistiram ao longo do curso e muitos alunos que estavam presentes no grupo de WhatsApp, não estavam fazendo as atividades e não estavam acompanhando as aulas, desta forma achamos melhor tirá-los do grupo para de certa forma enxugar o grupo e ficar mais fácil acompanhá-los nas discussões, já que alguns alunos postavam dúvidas no grupo e também no privado do professor. Desta forma mantemos também só aqueles que estavam participando

⁶O material está disponível no **APÊNDICE B** desta dissertação.

dos encontros e fazendo as atividades, assim nosso grupo ficou com um total de 25 alunos, dos 60 ingressantes.

Nosso **quarto encontro** ocorreu no dia 31/072020 e teve como objetivo socializar as respostas referentes à nossa terceira semana do MC que tinha como objetivo compreender a cor e o brilho das estrelas⁷, levando em consideração o material estudado no MC, que mostra a relação entre a cor e a temperatura das estrelas e o brilho das estrelas levando em consideração sua magnitude e a distância que se encontra do observador.

Neste encontro estiveram presentes 20 alunos, com pouca participação dos alunos levando em consideração a abertura dos microfones, mas muita participação em chat.

Nosso encontro teve seu início com um bate papo sobre os assuntos estudados pelos alunos ao longo da semana, que tratou da cor e do brilho das estrelas. Para iniciarmos a conversa foi perguntado aos alunos o que eles estão achando do curso, e alguns alunos se manifestaram de forma bem positiva, falando que estavam gostando muito, que estavam achando “chique”, a aluna Andrômeda falou, via chat, que “não tinha muito interesse na área, mas que é muito legal”, em seguida perguntamos se eles sabiam que as cores das estrelas estavam relacionadas às temperaturas destas, alguns alunos disseram que não, e a aluna Serpens, disse que “nem sabia que as estrelas tinham cores diferentes”. Foi feita uma pergunta bem específica com relação ao material, sobre como o olho humano consegue perceber as cores. E a aluna Andrômeda, fez uma pergunta espantada: “Isso é Física?” e foi falado aos alunos que sim, que estávamos estudando Física “pura”, mas de uma maneira diferente, com aplicação dentro da Astronomia.

Em seguida iniciamos a socialização das respostas dos questionários dos alunos, para estimular as respostas o professor fez uma série de perguntas que tinham como objetivo a interação dos alunos. Foram feitas as seguintes perguntas: (a) as estrelas normalmente apresentam quais cores?; (b) a cor das estrelas está relacionada a quê?; (c) por que as estrelas são azuis ou vermelhas?; (d) é possível que exista uma estrela verde?; e (e) qual a cor do Sol? Tivemos respostas bem interessantes durante nosso encontro, via chat e com aberturas de microfones

Sobre o brilho das estrelas fizemos duas perguntas: Qual a relação que podemos fazer com o brilho das estrelas? Qual relação fazemos entre uma magnitude negativa e uma positiva?

Após estas conversas iniciamos a fala sobre os assuntos da semana 4 do MC e que se refere ao nosso quinto encontro, que fala sobre a classificação espectral das estrelas⁸. Foi

⁷Material disponível no **APÊNDICE C** desta dissertação.

⁸Material disponível no **APÊNDICE D** desta dissertação.

apresentado a eles um texto sobre a classificação espectral das estrelas, um vídeo sobre a classe espectral das estrelas e uma atividade com cinco questões que trata dos estudos sobre a classificação espectral e mais uma catalogação de estrelas utilizando o software *Stellarium*, mas agora buscando por estrelas com tipos espectrais específicos.

Nosso **quinto encontro** teve a presença de 20 alunos, e como de costume, ocorreu na sexta-feira, dia 07/08/2020. Este encontro se refere à quarta semana do MC, com o objetivo de estudar sobre a classificação espectral das estrelas, porém para podermos definir a classificação espectral destas, precisamos fazer um estudo anterior, definindo o que é a espectroscopia, o que são espectros estelares para só então definir o que é classificação espectral das estrelas. Admitimos que esta seria a semana mais complexa de estudo, por se tratar de algo muito novo aos alunos, eles sequer conheciam a espectroscopia. O material era bem mais extenso que os demais e também possuía um grau de abstração maior, pois se tratava de algo extremamente novo aos alunos, mas para nossa surpresa o quinto encontro foi o de maior participação dos alunos, tivemos muita participação via chat e também vários alunos abriram os microfones para perguntar, explicar e até mesmo explicar o que eles entenderam sobre o assunto. As dúvidas giravam em torno da espectroscopia, as leis de Kirchoff e corpo negro, buscamos tirar as dúvidas, mas também buscamos instigar os alunos fazendo perguntas de forma a orientar as discussões. Para instigar os alunos, foram feitas perguntas como: (a) o que são corpos negros?; (b) quais são as leis de Kirchoff?; (c) o que são espectros contínuo, de emissão e de absorção?; e (d) as estrelas apresentam qual tipo de espectro? As respostas para estas perguntas foram em sua maioria bem satisfatórias.

Com relação ao tipo espectral das estrelas, que era o objetivo principal dos estudos da semana, buscamos tirar as dúvidas e relacionar os tipos espectrais às suas temperaturas e cor, fazendo perguntas do tipo: As estrelas do tipo O e G possuem qual cor e temperatura? As estrelas supergigantes apresentam qual tipo espectral? E as anãs?

Este momento de tirar dúvidas dos alunos e discussões para que eles pudessem socializar suas respostas, durou em torno de 20 min, e pode ser considerado muito proveitoso, entre as perguntas que surgiram, podemos destacar a pergunta em forma de afirmação da Aquarius, quando ela pergunta “afirma” que é “através dos espectros que tiramos das estrelas que conseguimos determinar a temperatura das estrelas”, outras perguntas interessantes foram as perguntas da Andrômeda, “vc acha q esse espectro ficaria diferente se fosse analisado de outros planetas?” e a do Cygnus, “Se aparecer uma linha amarela quer dizer que aquela estrela possui sódio por exemplo?” perguntas referentes aos estudos feitos sobre espectros estelares. Pode-se dizer que os alunos realmente fizeram seus estudos durante a semana. Após este tempo,

iniciamos um estudo sobre o Diagrama H-R, apresentando-o e mostrando como se pode construir este diagrama. Para finalizar voltamos para o software *Stellarium* a fim de mostrar aos alunos como fariam seu último catálogo para a construção do Diagrama H-R. Como não tínhamos encontro na semana seguinte devido ao recesso de aulas, foi passado uma atividade para que eles apresentassem na aula seguinte, no dia 21/08/2020. Desta forma nosso sexto encontro foi realizado de forma assíncrona, no qual os alunos tinham que construir seus Diagramas H-R se baseando no texto passado para eles, que fala sobre o diagrama e explica a posição de cada estrela levando em consideração seu tipo espectral e magnitude. Para construir seus diagramas eles deveriam considerar apenas as estrelas que catalogaram ao longo do MC.

Como não tivemos nosso encontro na sexta semana, alguns alunos nos enviaram suas dúvidas via WhatsApp, as dúvidas giravam em torno do Diagrama H-R, eles queriam saber se estavam corretos e se precisavam fazer outras coisas mais. As dúvidas foram tiradas pontualmente, via WhatsApp, e esclarecido que maiores dúvidas seriam discutidas no nosso sétimo encontro.

Nosso **sétimo encontro** ocorreu no dia 21/08/2020 e teve como objetivo discutir a atividade assíncrona da sexta semana que foi a construção do Diagrama H-R pelos alunos, bem como a atividade da quinta semana que tinha como objetivo definir o Diagrama H-R e suas características.

A aula teve início com o professor apresentando um Diagrama H-R e pedindo aos alunos que identificassem cada um dos ramos ali representados e estudados na quinta semana.

Após uma breve discussão na qual os alunos conseguiram identificar os ramos do Diagrama H-R, iniciamos nossa discussão sobre suas construções dos Diagramas H-R, os alunos de maneira geral acharam a atividade muito difícil, alegando que tinham que catalogar muitas estrelas e acharam também muito difícil a colocação destas estrelas no diagrama, como foi falado pela aluna Crux, “Eu fiquei meio perdida”, assim como o aluno Leo, “impossível fazer aquilo”. Foi explicado aos alunos que mais importante que o diagrama é a justificativa do porquê as estrelas estão naquelas posições, pois além de colocar as estrelas eles deveriam justificar o porquê de as estrelas estarem naquelas posições.

Alguns alunos pediram para refazerem os diagramas, como a aluna Andrômeda, “Posso construir outro Day?” Deixamos, mas foi explicado que eles teriam outro momento para refazer o diagrama, quando seria levado em consideração outros fatores, como por exemplo, a evolução das estrelas.

Finalizamos a aula falando sobre o material a ser estudado para a próxima semana, sobre a energia das estrelas, explicamos de maneira rápida que, dependendo das estrelas, a sua produção de energia ocorreria de maneira diferente, pelo ciclo próton-próton, CNO ou triplo alfa. Explicamos também que eles deveriam ler o texto “Energia das Estrelas” e assistir ao vídeo disponibilizado sobre os ciclos de produção de energia e em seguida responder o questionário.

Nesta aula tivemos a participação de 14 alunos, 1 aluna saiu do curso alegando que não estava conseguindo construir o Diagrama H-R. É importante ressaltar também que os alunos que foram saindo, pedimos que explicassem o(s) motivo(s) de suas saídas. No total dezoito alunos saíram do MC, entre os motivos, estão a falta de tempo, a sexta feira não ser um bom dia para a realização do MC e compromissos no horário do encontro.

Em nosso **oitavo encontro** tivemos a presença de 12 alunos, iniciamos nossa aula fazendo uma revisão de todos os assuntos estudados até o momento, fizemos a revisão de forma a manter os alunos ativos, participando principalmente pelo chat, pois assim nossas conversas e discussões poderiam ficar salvas, o que foi feito.

Após a revisão iniciamos nossas discussões a respeito do assunto da semana, a energia das estrelas, pautada em questões do questionário e em perguntas orientadoras que foram sendo feitas à medida que as discussões eram estabelecidas. Destacamos que os alunos responderam a maior parte das perguntas pelo chat, uma ou outra pergunta foi respondida via áudio.

Durante nossas discussões buscamos por respostas dos alunos a fim de encontrar o padrão de respostas que possuam bons argumentos, mas de forma escrita. A fim de orientar a discussão foram feitas as seguintes perguntas: Como as estrelas produzem energia? Em qual temperatura ocorrem os ciclos CNO, P-P e triplo alfa? Quais estrelas produzem energia pelos processos CNO, P-P e triplo alfa? O Sol produz sua energia por qual ciclo? O Sol produzirá energia pelos ciclos CNO e Triplo alfa? Qual associação podemos fazer entre os ciclos de produção de energia e as estrelas? As estrelas de baixa e alta massa produzem energia por qual ciclo?

As respostas para estas perguntas foram dadas quase que em sua totalidade de forma escrita, estas respostas serão utilizadas em um momento futuro quando formos tratar da análise dos dados da pesquisa. Mas é importante reiterar o quanto os alunos gostaram deste conteúdo, visto a fala da aluna, Crux, “Gostei bem mais dessa” falando sobre a aula e sobre o conteúdo estudado ao longo desta semana.

A aula foi finalizada relacionando o processo de produção de energia com a evolução estelar mostrando que o Sol produz sua energia pelo ciclo P-P, depois evoluirá para uma gigante vermelha e produzindo energia pelo ciclo CNO, em seguida evoluindo para uma anã branca

onde produzirá energia pelo processo Triplo alfa, mostramos para os alunos esse processo de evolução do Sol através de um Diagrama H-R que foi apresentado no início da aula (Fig. 9).

Figura 9 - Professor exemplificando a trajetória evolutiva do Sol em um Diagrama H-R



Fonte: O autor (2022).

A aula foi finalizada, disponibilizando o material de estudo da próxima semana, evolução para estrelas com até $8 M_{\odot}$, ressaltando a importância de sempre justificar suas respostas com base no material disponibilizado.

O **nono encontro** aconteceu no dia 04/09/2020, mas infelizmente ele não ocorreu como queríamos, tivemos problemas de conexão o que impossibilitou o desenvolvimento desejado para o encontro. Sendo assim, optamos por não termos o encontro. Apenas disponibilizamos o material seguinte, que trata da evolução de estrelas com massas maiores que $8 M_{\odot}$, para fazermos uma única discussão tratando os dois materiais no dia 18/09/2021, pois na semana do dia 11/09 era semana de prova e achamos melhor não fazer o encontro.

No dia 18/09/2021 fizemos nosso último encontro, nele estiveram presentes 13 alunos.

Este encontro teve como objetivo falar sobre o processo de evolução estelar. Iniciamos discutindo a evolução de estrelas com até $8 M_{\odot}$, tiramos dúvidas dos alunos sobre como seria o processo de evolução estelar de estrelas anãs vermelhas, supernovas e como seria a evolução do nosso Sol; infelizmente a gravação foi interrompida e precisamos seguir a discussão em outro computador que não possuía o software de gravação, assim as discussões não foram gravadas, ficando apenas o chat salvo.

De todos os encontros que tivemos ao longo de todo o MC, este foi o com maior participação dos alunos, inclusive com muitos alunos abrindo o microfone e tirando suas

dúvidas, e infelizmente não pode ser gravada. No chat também tiveram muitas perguntas, e esse sim foi salvo.

Durante nossas discussões, conseguimos perceber que os alunos conseguiram entender que o tempo de vida das estrelas depende de suas massas, eles entenderam que em cada fase de vida das estrelas irá ter “queima” de diferentes elementos químicos, entenderam que dependendo da massa das estrelas estas terão seu fim como anã branca, estrela de nêutrons ou buraco negro.

Durante nossas discussões surgiu uma dúvida bem interessante e pertinente ao que estávamos estudando, sobre a evolução do Sol, o aluno Cygnus perguntou se após o Sol se tornar uma gigante vermelha, os planetas Júpiter, Saturno, Urano e Netuno continuarão orbitando o Sol? Foi respondido que sim, pois o processo de evolução da estrela não cessa a interação gravitacional entre a estrela e os planetas.

Após nossas discussões sobre o processo de evolução estelar, explicamos para eles como fariam a última atividade do MC, que seria a construção final de um Diagrama H-R, agora levando em consideração tudo o que foi estudado. Explicamos para os alunos que poderiam utilizar o Diagrama H-R feito no sexto encontro, ou até mesmo construir um novo e ainda demos a opção de pegar um na internet e representar a evolução estelar das estrelas pedidas por meio de um desenho e descrever em palavras as trajetórias evolutivas delas.

A fim de encerrar o encontro e conseqüentemente o MC, perguntamos sobre o curso, o que acharam. Alguns alunos se manifestaram dizendo que gostaram, que acharam interessante, alguns alunos disseram que acharam muito complexo, um aluno disse que aprendeu muita coisa nova, como exemplo podemos citar a fala da aluna Crux que disse que as provas deveriam conter assuntos de Astronomia, mas, “sem contas matemáticas”.

Por fim surgiu algumas dúvidas sobre assuntos que fogem ao nosso MC, mas que trata de Física, como apresentado pelo aluno Cygnus, que disse que gostaria de estudar a teoria das cordas, big crunch e energia escura. E o aluno Eridanus sugeriu aos outros que assistissem um vídeo sobre a morte térmica do universo, que um dia foi discutido em uma aula de Física do professor.

Encerramos nossos encontros, agradecendo a participação dos alunos no MC, em seguida disponibilizamos para os alunos um documentário que resume tudo que foi abordado ao longo dos nossos estudos e um questionário final para que eles respondessem.

5.2 Respostas dos alunos

Dando continuidade à nossa análise, como mencionado anteriormente, dividimos as perguntas feitas, e as respostas dos alunos em três temas diferentes que foram abordados ao longo dos nossos encontros do MC, fizemos esta divisão a fim de verificar se a promoção dos argumentos e a AC dos alunos foi favorecida ao longo do MC levando em consideração cada um dos temas propostos no Quadro 7 - Temas pesquisados e questionários analisados, desta forma poderemos verificar a evolução do conhecimento dos alunos sobre o tema, Astrofísica Estelar, e no final dizer se o MC favoreceu ou não a promoção dos argumentos e a AC dos alunos.

Levando em consideração o primeiro tema proposto, que é a definição de estrela, um questionário diagnóstico foi aplicado sobre o tema que seria abordado no MC, verificando-se o conhecimento prévio dos alunos, cujas respostas são apresentadas no Quadro 9.

Quadro 9 - Respostas dos alunos ao Questionário 1

Pergunta	Estudante	Resposta
Questão 1) O que você acredita que seja uma estrela?	Hydra	Um astro que emite calor e luz próprios
Questão 1) O que você acredita que seja uma estrela?	Aquarius	Acredito que seja um astro com brilho próprio formado por poeira estelar a partir de uma nebulosa (ocorre a fusão de moléculas de hidrogênio). Este astro possui um ciclo entre nascimento e morte. Durante o seu nascimento apresenta altos níveis de brilho e determinada cor. Com o passar do tempo este brilho diminui junto com a sua massa, podendo ter sua cor alterada, dado ao seu desenvolvimento desde uma estrela comum à uma anã branca ou no caso de uma supergigante, um possível buraco negro (adoro essa matéria)
	Cygnus	Um corpo celeste de massa e densidade gigantes que se equilibra contra a pressão da gravidade através da fusão nuclear de átomos leves e por consequência gera átomos mais pesados, partículas, subpartículas, campos magnéticos e formas de radiação diversas dentre elas a luminosa
	Cruzeiro	Poeira em combustão
	Eridanus	Uma bola de gás, em constante combustão no espaço
	Pegasus	Um corpo celeste que emite e possui luz própria
	Leo	Um corpo que produz sua própria energia e luz
	Órion	Um condensado de hidrogênio com grande atração gravitacional.
	Aquila	Um corpo que possui luz própria
Andromeda	Grandes bolas que passam por processos de fusão nuclear, emitindo luz e calor	

Fonte: O autor (2022).

Após um bate papo inicial, e recebermos as respostas dos alunos no primeiro questionário, iniciamos nosso MC, passando para eles o material que deveriam estudar na

semana seguinte, este material define o que são as estrelas, como são criadas, do que são feitas, como elas nascem e morrem e os tipos de estrelas existentes, em seguida pedimos a eles que respondessem um novo questionário para que no nosso próximo encontro socializemos as respostas. Neste segundo questionário, abordando os assuntos estudados ao longo da semana, pede-se a definição de estrela (QUADRO 10).

Quadro 10 - Respostas dos alunos ao Questionário 2

Pergunta	Estudante	Resposta
Questão 1) O que você acredita que seja uma estrela?	Hydra	Estrela é uma esfera de plasma que emite luz, calor e alguns outros tipos de radiação
	Aquarius	Acredito que sejam esferas de plasma com gravidade e brilho próprios, formada por partículas, poeiras e gases (hidrogênio, hélio), com elevadas massas e temperaturas. Possuem um ciclo entre nascimento e morte, que inclui vários processos de transformação da matéria que atuam junto ao consumo das suas partículas de hidrogênio. Emitem luz, calor e energia
	Cygnus	Um corpo celeste massivo em estado de plasma que produz luz, formas de radiações variáveis e partículas através da fusão termonuclear
Questão 1) O que você acredita que seja uma estrela?	Crux	Grandes esferas de plasma
	Eridanus	São gigantes bolas de plasma em constante processo de fusão nuclear até seu estágio final de vida
	Pegasus	Um corpo celeste que emite luz, calor e libera energia
	Leo	Esferas de plasma, que produzem calor, luz e diversos tipos de radiação
	Órion	Uma grande esfera de plasma, com altíssimas gravidade e temperatura, onde ocorre a fusão dos núcleos de hidrogênio, emitindo radiação
	Aquila	Esferas de plasma, mantidas pela gravidade e q emitem luz, calor e algumas radiações
	Andromeda	Grandes esferas de plasma que são mantidas por sua gravidade própria, as estrelas emitem luz e calor

Fonte: O autor (2022).

Após responderem o questionário, socializamos as respostas dos alunos em nosso encontro semanal, e em seguida damos continuidade ao nosso curso, onde na semana seguinte os alunos deveriam estudar o tema seguinte, que era sobre o brilho das estrelas, isso foi acontecendo ao longo de todo o curso, onde os alunos ainda estudaram, os tipos espectrais das estrelas, o Diagrama H-R, produção de energia das estrelas e sobre a evolução de diferentes tipos de estrelas. No final do MC no último questionário, chamado de questionário final, após três meses de curso, voltamos a perguntar aos alunos sobre a definição de estrela (QUADRO 11).

Quadro 11 - Respostas dos alunos ao Questionário Final

Pergunta	Estudante	Resposta
Questão 1) De acordo com o estudado. O que você acredita que seja uma estrela?	Hydra	São esferas de plasma, que emitem luz e calor próprios. Em razão do processo de fusão nuclear, são liberadas grandes quantidades de energia
	Aquarius	Acredito que uma estrela seja um astro produtor e emissor de energia, com luz própria; uma luminosa esfera de plasma, composta de gases que produzem diferentes reações nucleares, mantida pela gravidade e pela sua pressão radiativa. Possuem cores e brilhos diferentes de acordo com suas substâncias, magnitude, massa, tamanho, tipo espectral, idade e temperatura
	Cygnus	Um corpo celeste gigantesco feito de plasma que realiza reações termonucleares gerando matéria e energia em vários espectros de radiação
	Crux	Uma concentração de gases em combustão por fusão nuclear
Questão 1) De acordo com o estudado. O que você acredita que seja uma estrela?	Eridanus	Uma estrela é um aglomerado de gases que entrou em combustão em algum momento de sua vida, realizando fusões nucleares e dependendo de sua massa, sua cor e seu fim de vida mudarão
	Pegasus	É um corpo celeste de plasma de formato esférico composto de gases que possuem seu próprio brilho, produzem energia através da queima dos gases que a compõem
	Leo	Não Respondeu
	Órion	Um conglomerado de átomos de hidrogênio, que fundem seus núcleos, formando hélio e liberando energia. Dependendo da massa da estrela, os átomos de hélio podem se fundir, formando elementos mais pesados, como carbono e oxigênio
	Aquila	Um corpo celeste que emite luz própria
	Andromeda	Não respondeu

Fonte: O autor (2022).

Dando continuidade à nossa coleta de dados, partimos para a análise do nosso segundo tema estudado ao longo do MC, que trata da cor, brilho e temperatura das estrelas.

Assim como no tema anterior, tendo o primeiro questionário sido usado como diagnóstico, outro é aplicado sobre conceitos que envolvem a cor, o brilho e a temperatura das estrelas, desta forma neste primeiro questionário fizemos duas perguntas a primeira relacionada à cor e ao brilho das estrelas e à segunda relacionada à temperatura (QUADRO 12).

Quadro 12 - Respostas dos alunos ao Questionário 1 sobre o segundo tema

Pergunta	Estudante	Resposta
<p>Questão 2)</p> <p>Quando olhamos para o céu noturno observamos uma infinidade de estrelas, cada uma destas estrelas apresenta brilhos diferentes, ou seja, algumas brilham mais que outras. Se estiver em uma região, com ausência de poluição luminosa, zona rural, por exemplo, você pode inclusive observar estrelas com cores diferentes. Qual seria a sua explicação para as estrelas possuírem diferentes cores e distintos brilhos?</p>	Hydra	As cores determinam a fase (idade) que a estrela está, por isso podemos ver cores e brilhos diferentes
	Aquarius	<ul style="list-style-type: none"> • Diferentes cores: acredito que são oriundas da combinação dos componentes que a formam, já que quando se trata de energia em forma de luz, cada substância possui uma cor durante a excitação dos elétrons de seus determinados átomos • Diferentes brilhos: acredito que seja relacionado à sua idade, quanto mais nova, mais brilhante, quanto mais velha, menos brilhante
	Cygnus	Composição química, massa, idade e temperatura
	Crux	Sua temperatura
<p>Questão 2)</p> <p>Quando olhamos para o céu noturno observamos uma infinidade de estrelas, cada uma destas estrelas apresenta brilhos diferentes, ou seja, algumas brilham mais que outras. Se estiver em uma região, com ausência de poluição luminosa, zona rural, por exemplo, você pode inclusive observar estrelas com cores diferentes. Qual seria a sua explicação para as estrelas possuírem diferentes cores e distintos brilhos?</p>	Eridanus	Provavelmente o material que está em combustão mudará a cor dela, ou sua fase de vida e com isso mudará massa, tamanho, raio, densidade... Que causará a mudança de cor e sua luminosidade, mas essa última também é afetada pela distância do observador
	Pegasus	Devido a temperatura e a distância delas em relação à Terra
	Leo	Variam de acordo com sua temperatura
	Órion	A diferença de tamanho entre elas
	Aquila	São feitas de materiais diferentes e estão em distâncias diferentes
	Andromeda	Acredito que seja sua idade, com o passar do tempo mudam de cor, tamanho etc.

Fonte: O autor (2022).

Além da pergunta sobre as cores e os brilhos das estrelas, a pergunta agora é a respeito da sua temperatura, pois o brilho, a cor e a temperatura das estrelas estão intimamente relacionadas (QUADRO 12).

Quadro 13 - Respostas dos alunos ao Questionário 1 sobre o segundo tema

Pergunta	Estudante	Resposta
<p>Questão 3)</p> <p>As estrelas que compõem nosso universo apresentam características diferentes, isto as tornam únicas, ou seja, sua cor e temperatura são algumas das informações importantes relacionadas a elas. Se você olhar para uma determinada constelação no céu noturno, Órion, por exemplo, você teria uma ideia para identificar qual a estrela mais quente e a mais fria desta constelação? Explique sua ideia</p>	Hydra	Não saberia identificar
	Aquarius	Sim. Acredito que a mais quente seria mais nova, avermelhada ou amarelada, maior e mais brilhante dada sua massa e energia. A mais fria seria mais velha, azulada ou com alguma cor mais clara, menor e com baixos níveis de brilho dada a sua menor massa e menor energia (morte da estrela)
	Cygnus	Eu imaginaria que a cor azulada representasse a mais quente e a avermelhada a mais fria, dentro do que eu posso observar
	CruX	O brilho, pois acredito que as estrelas mais quentes brilhem mais
	Eridanus	Tentaria observar pela luminosidade e cor dela, se possível consultando uma Quadro de vida estelar para saber qual fase da vida ela está
	Pegasus	Observar as suas cores. As estrelas que possuem cores frias têm temperaturas mais baixas, enquanto as estrelas que possuem cores quentes têm temperaturas mais altas
	Leo	Pela cor da estrela, visto que a cor varia de acordo com sua temperatura
	Órion	As estrelas mais quentes são maiores e as mais frias, menores
	Aquila	Mais quente, maior brilho e a mais fria, menos brilho
	Andromeda	Não

Fonte: O autor (2022).

No segundo questionário, após definir com eles o que são estrelas no material, voltamos a perguntar sobre a cor, o brilho e a temperatura das estrelas. Apesar deste material não ser o material específico sobre o tema, este material seria ainda estudado na semana seguinte; foram feitas as mesmas perguntas, pois o material estudado ao longo desta semana aborda, de forma superficial, a relação entre cor, brilho e temperatura das estrelas (QUADROS 13 e 14).

Quadro 14 - Respostas dos alunos ao Questionário 2 sobre o segundo tema (continua)

Pergunta	Estudante	Resposta
<p>Questão 2)</p> <p>Quando olhamos para o céu noturno observamos uma infinidade de estrelas, cada uma destas estrelas apresenta brilhos diferentes, ou seja, algumas brilham mais que outras. Se estiver em uma região, com ausência de poluição luminosa, zona rural, por exemplo, você pode inclusive observar estrelas com cores diferentes. Explique, porque podemos observar estrelas com brilhos e cores diferentes</p>	Hydra	As cores das estrelas indicam em que fase de vida ela se encontra (nascimento, desenvolvimento e morte)
	Aquarius	Suas cores se diferem de acordo com a sua frequência de radiação, idade, temperatura e massa. São características específicas de cada elemento que as formam, que determinam sua cor e brilho. As mais quentes geralmente são azuis, as menores geralmente brilham mais pois já estão esgotando seu "combustível", ficando mais próximas de sua fase de explosão em supernova, anã branca, estrela de nêutrons ou nebulosa planetária

Quadro 14 - Respostas dos alunos ao Questionário 2 sobre o segundo tema (conclusão)

	Cygnus	Os brilhos e cores diferentes dependem da composição química da estrela, idade, temperatura, massa, raio, distância em relação a Terra etc.
	Crux	Entre os fatores estão a massa da estrela e sua temperatura
	Eridanus	As cores e brilhos das estrelas vão variar devido a sua massa, seu raio e suas temperaturas, além do seu estágio de vida
	Pegasus	Devido à distância que elas estão em relação à Terra e a sua temperatura
	Leo	A cor varia de acordo com a classificação espectral, a qual considera temperatura, tamanho e massa da estrela
	Órion	O brilho e a cor variam de acordo com o tamanho e temperatura da estrela
	Aquila	Por causa da temperatura, cor, massa e distância
	Andromeda	As cores das estrelas se diferenciam em razão das diferentes temperaturas e tamanhos

Fonte: O autor (2022).

Quadro 15 -Respostas dos alunos ao Questionário 2 sobre o segundo tema (continua)

Pergunta	Estudante	Resposta
<p>Questão 3) As estrelas que compõem nosso universo apresentam características observacionais e espectrais diferentes, isto as tornam únicas, ou seja, a cor e a temperatura das estrelas trazem informações importantes relacionadas a elas. Se você olhar para uma determinada constelação no céu noturno, Órion, por exemplo, como você faria para determinar qual estrela desta constelação é a mais quente e qual seria a mais fria?</p>	Hydra	Tentaria determinar qual é a mais quente e qual a mais fria pela intensidade do brilho
	Aquarius	Observaria a sua massa e sua cor. As que forem maiores e mais azuladas são mais quentes e as menores mais avermelhadas são mais frias
	Cygnus	As estrelas mais quentes tendem a ter branco azulada e as mais frias avermelhadas.
	Crux	Através da cor das estrelas que a compõe
	Eridanus	A estrela mais quente seria alguma azul, e para saber a mais quente dentre elas determinar o tamanho dela, já que as gigantes e supergigantes azuis tem temperatura menor que uma anã amarela, por exemplo. Para achar a mais fria a cor provavelmente seria branca, já que as anãs brancas são uma das mais "frias"
	Pegasus	Devido a sua massa e a sua cor. Sendo de cores quentes as estrelas com temperaturas mais baixas, e de cores frias as estrelas com temperaturas mais altas
	Leo	Pela cor, de acordo com a classificação espectral

Quadro 15 -Respostas dos alunos ao Questionário 2 sobre o segundo tema (conclusão)

	Órion	As estrelas mais frias são menores e emitem mais cores próximas ao vermelho. As estrelas mais quentes são maiores e emitem mais cores próximas ao azul
	Aquila	De acordo com as cores delas
	Andromeda	Sua cor. As estrelas azuis seriam mais quentes e as brancas mais frias

Fonte: O autor (2022).

Continuando, na semana seguinte foi feito o estudo específico relacionado à cor, ao brilho e à temperatura das estrelas, através de dois textos extraídos da revista Super Interessante e de um vídeo sobre a cor das estrelas, que mostra inclusive como nossos olhos veem a cor destas. Foram feitas três perguntas no Questionário 3 referentes a este material. Duas perguntas nos importam mais, uma sobre se existem estrelas de cor verde, sobre o que os alunos deveriam ser capazes de justificar a resposta, levando em consideração o que foi estudado, e outra pergunta que se repete nos Questionários 1, 2 e 3 para constatar se houve evolução em seus argumentos (QUADROS 15 e 16).

Quadro 16 - Respostas dos alunos ao Questionário 3 sobre o segundo tema (continua)

Pergunta	Estudante	Resposta
Questão 2) É possível que exista uma estrela verde? Justifique sua resposta	Hydra	Acho que sim. A cor da estrela vai variar de acordo com sua temperatura, indo do vermelho, passando pelo amarelo e indo até o azul. Nessa transição entre amarelo e azul, acho que a estrela poderia ter a cor verde
	Aquarius	Sim e não. Determinadas estrelas possuem a contribuição das cores verde e vermelho, porém há grande sobreposição entre essas duas cores e quando somadas apresentam um tom amarelado. Podemos citar como exemplo deste fenômeno o Sol do nosso sistema solar
	Cygnus	Sim e não, porque uma estrela que tem uma alta emissão da cor verde também tem da cor vermelha, e essas cores são sobrepostas nos cones dentro do olho humano se tornando a cor amarela, então essa é a cor que vamos enxergar
	Cruzeiro	Sim, mas devido a uma deficiência do olho humano não conseguiríamos identificar sua cor
	Eridanus	Não. Quando se tem uma alta emissão das ondas verdes se tem uma alta emissão das ondas vermelhas, que se misturadas resultam na cor amarela. Seria possível caso as emissões de ondas vermelhas fossem menores
	Pegasus	Não. O fator que nos impossibilita de ver estrelas verdes é que a maioria das estrelas não refletem a cor verde. Aquelas que refletem, possuem em pouca quantidade. Quando uma estrela tem uma emissão de luz verde, ela possui também uma emissão de luz vermelha ou amarela, que são capturadas pelos bastonetes dos olhos com maior facilidade

Quadro 16 - Respostas dos alunos ao Questionário 3 sobre o segundo tema (conclusão)

	Leo	Sim, porém nós humanos não enxergamos de tal cor, visto que a luz verde não é perceptível isoladamente pelos olhos humanos
	Órion	Não, porque todas as estrelas que possuem seu pico de emissão no verde também emitem consideravelmente outras cores do espectro visível e, assim, resulta-se na luz branca. Outro fator contribuinte são as células presentes em nossos olhos, os cones, responsáveis pela nossa percepção de cores. Ao olharmos para uma estrela com pico de emissão na região do verde, nossos cones sensíveis ao verde, ao vermelho e ao azul são ativados ao mesmo tempo, formando o branco
	Aquila	Sim, porém o olho humano acaba enxergando outras cores no lugar da cor verde
	Andromeda	Sim, elas existem, mas nossos olhos interpretam suas cores de formas diferentes, as estrelas verdes não se destacam pois os olhos humanos enxergam cores em apenas estrelas bem brilhantes

Fonte: O autor (2022).

Quadro 17 - Respostas dos alunos ao Questionário 3 sobre o segundo tema (continua)

Pergunta	Estudante	Resposta
Questão 3) As estrelas que compõem nosso universo apresentam características observacionais e espectrais diferentes, isto as tornam únicas, ou seja, a cor e a temperatura das estrelas trazem informações importantes relacionadas a elas. Se você olhar para uma determinada constelação no céu noturno, Órion, por exemplo, como você faria para determinar qual estrela desta constelação é a mais quente e qual seria a mais fria?	Hydra	Eu tentaria determinar pela cor da estrela, uma vez que estrelas frias são mais vermelhas e estrelas mais quentes são mais azuis
	Aquarius	A mais quente seria branca ou de uma tonalidade mais azulada enquanto a mais fria teria um tom mais avermelhado de acordo com a sua capacidade de emissão de calor e a sua temperatura
	Cygnus	As estrelas mais quentes tendem a coloração azul e branca e as mais frias a coloração vermelha
	Crux	De acordo com o brilho e o diâmetro
	Eridanus	A olho nu não seria possível identificar, por isso a necessidade de uma aparelhagem. Supondo que usando essa, a mais quente seria aquelas de aspecto azulado e a mais fria seria a de aspecto vermelho, já que a cor varia com a temperatura da superfície da estrela
	Pegasus	Pelas suas cores. As estrelas de cores vermelhas, por exemplo, seriam aquelas que possuem temperaturas mais baixas, próximas de 3000 Kelvin, enquanto as estrelas de cores branco-azuladas seriam aquelas com temperatura maior, próxima de 10000 Kelvin
	Leo	Pela escala de espectro
	Órion	As estrelas mais quentes seriam as maiores e azuis ou com cor próxima ao azul. Já as mais frias, seriam as menores e vermelhas ou com cor próxima ao vermelho
	Aquila	De acordo com as cores que elas possuem, as mais frias são mais avermelhadas e as mais quentes são mais azuladas

Quadro 17 - Respostas dos alunos ao Questionário 3 sobre o segundo tema (conclusão)

	Andromeda	As estrelas com cores branco-azuladas seriam as mais quentes da constelação, enquanto as mais frias são avermelhadas.
--	-----------	---

Fonte: O autor (2022).

Em seguida, foi feito um estudo sobre a classificação espectral das estrelas com base em seus tipos espectrais, relacionando-os à cor e à temperatura; desta forma, os alunos constataram que a cor das estrelas está relacionada à sua temperatura. No último questionário, os alunos deveriam responder novamente a perguntas sobre a cor, o brilho e a temperatura das estrelas (QUADROS 17 e 18).

Quadro 18- Respostas dos alunos ao Questionário Final sobre o segundo tema (continua)

Pergunta	Estudante	Resposta
Questão 2) Quando olhamos para o céu noturno observamos uma infinidade de estrelas, cada uma destas estrelas apresenta brilhos diferentes, ou seja, algumas brilham mais que outras. Se estiver em uma região, com ausência de poluição luminosa, zona rural, por exemplo, você pode inclusive observar estrelas com cores diferentes. Qual seria a sua explicação para as estrelas possuírem diferentes cores e distintos brilhos?	Hydra	As estrelas apresentam diferentes cores e brilhos em razão da temperatura, que pode variar de acordo com a estrela
	Aquarius	A coloração das estrelas se dá por sua composição e sua temperatura. Além de se relacionar também com a sua distribuição de energia e seu tipo espectral. Quanto mais fria (entre 3000 e 4000 Kelvin) a estrela será mais avermelhada, por se localizar na região infravermelha, quando relacionamos sua massa e temperatura. Quanto mais quente ela for (acima dos 10000 Kelvin) sua energia vai em direção ao azul, onde encontramos ondas de espectro (tipo de emissão de radiação) de comprimentos mais curtos ao contrário das mais frias, que emitem ondas mais longas; fazendo com que estrelas mais quentes sejam mais azuladas. Suas cores podem variar ao longo do tempo, já que durante seu processo evolutivo há a alteração de algumas substâncias e temperaturas, fazendo com que suas cores e brilhos variem ao longo dos anos
	Cygnus	Sua temperatura, idade, tamanho, proximidade e composição
	Crux	A temperatura delas variam, assim como também magnitude, massa e tipo espectral
	Eridanus	Seus distintos brilhos e cores são devidos ao seu tamanho, massa e temperatura podendo variar ao longo da vida da estrela
	Pegasus	As cores que as estrelas possuem estão relacionadas a sua idade e a sua massa. Quanto maior a massa, mais quente, mais azul e mais luminosa será a estrela, e menor será seu tempo de vida. As estrelas com menor massa são de cores avermelhadas, possuem temperaturas mais baixas e são mais novas
	Leo	Não respondeu
	Órion	A cor das estrelas está diretamente relacionada com sua temperatura e, conseqüentemente, com os átomos dos elementos que ela funde

Quadro 18- Respostas dos alunos ao Questionário Final sobre o segundo tema (conclusão)

	Aquila	Elas terem características como magnitude, tipo espectral, temperatura, massa, diferentes
	Andromeda	Não respondeu

Fonte: O autor (2022).

Quadro 19 - Respostas dos alunos ao Questionário Final sobre o segundo tema

Pergunta	Estudante	Resposta
<p>Questão 3) As estrelas que compõem nosso universo apresentam características diferentes, isto as tornam únicas, ou seja, sua cor e temperatura são algumas das informações importantes relacionadas a elas. Se você olhar para uma determinada constelação no céu noturno, Órion, por exemplo, você teria uma ideia para identificar qual a estrela mais quente e a mais fria desta constelação? Explique sua ideia</p>	Hydra	Acho que sim. Exemplo: Estrelas azuis (tipo espectral O) são bem mais quentes, enquanto uma estrela vermelha (tipo espectral M) são mais frias. (mais fria) Vermelha - Laranja - Amarela - Amarelada - Branca - Azulada - Azul (mais quente)
	Aquarius	A estrela mais quente seria mais azulada ou branca e a mais fria seria mais avermelhada ou laranja. Porque as ondas de espectro mais longas transmitidas pela vermelha, indicam temperaturas menores e as ondas mais curtas transmitidas pela azul, indicam que sua temperatura é mais alta de acordo com as substâncias que são utilizadas como combustível na sua produção de energia, que podem sofrer algumas alterações ao longo do tempo de acordo com sua massa, tempo espectral e idade
	Cygnus	As estrelas mais quentes tendem a ter a cor branca azulada e as mais frias a cor mais avermelhada
	Crux	De acordo com seus brilhos sendo as mais quentes mais brilhosas
	Eridanus	A Estrela mais quente seria aquela de coloração azulada e a mais fria seria aquela de coloração vermelha. A coloração delas é devido a distribuição da energia emitida no espectro luminoso, assim, as mais frias parecem ser vermelhas e as mais quentes mais azuladas
	Pegasus	Sim. As estrelas mais quentes possuem cores claras, como (Conclusão) azul e branco e as estrelas mais frias possuem cores mais fortes, como vermelho
	Leo	Não respondeu
	Órion	As estrelas mais frias possuem cores mais próximas ao vermelho, pois seu comprimento de onda é maior. As estrelas mais quentes possuem cores mais próximas ao azul, pois seu comprimento de onda é menor
	Aquila	Mais quente - mais azulada Mais fria - mais avermelhada
	Andromeda	Não respondeu

Fonte: O autor (2022).

Tratando do terceiro e último tema do MC, nascimento, vida e morte das estrelas, foram feitas algumas perguntas ao longo do MC. No primeiro questionário diagnóstico, as perguntas são sobre o nascimento e morte das estrelas.

Quadro 20 - Respostas dos alunos ao Questionário 1 sobre o terceiro tema

Pergunta	Estudante	Resposta
Questão 5) As estrelas, apesar de terem um período de vida muito longo, este período é limitado. Ou seja, tem um início e um fim que dependerá de sua massa. Qual a explicação você daria para o nascimento (surgimento) de uma estrela?	Hydra	Poeiras e gases começam a se fundir, junto ao gás hidrogênio, e depois de alguns processos, ocorre a fusão nuclear e a estrela nasce (surge)
	Aquarius	Elas nasceram em uma nebulosa com poeira estelar, devido à fusão dos átomos de hidrogênio e hélio o que lhes proporcionou altos níveis de energia
	Cygnus	A gravidade com o tempo atraiu e concentrou uma massa considerável de partículas e poeira cósmica que por força desta forçou a fusão nuclear dos átomos mais leves como hidrogênio presentes nessa poeira concentrada nascendo assim uma estrela. Nebulosas são berçários de estrelas por atender essas condições necessárias
	Crux	A gravidade atrai matéria que entra em combustão
	Eridanus	Em uma nuvem de poeira e gás, algum corpúsculo com maior densidade gerará em volta de si uma atração gravitacional, e em determinado momento entrará em combustão, caso não entre, gerará um gigante gasoso
	Pegasus	São formadas através de Nebulosas, imensas nuvens de gás e poeira, e quando esses gases se "juntam" com a poeira, "forma-se" uma estrela, mas eu acho que não deve ser tão simples assim, acho que existem processos "mais avançados" até que uma estrela seja "formada" de fato
	Leo	Fusão de gases e outros compostos
	Órion	Partículas, por possuírem atração gravitacional entre si, começam a se unir e, com o aumento da massa e, conseqüentemente da pressão, os núcleos dos átomos fissionam, liberando energia
	Aquila	Quando muitos materiais que estão soltos no universo se juntam e através de alguma reação começam a produzir luz própria
	Andromeda	Ocorre nas nebulosas, quando a temperatura e pressão são altas o suficiente ocorre a fusão nuclear (Lembro de alguma coisa relacionada ao hélio no processo)

Fonte: O autor (2022).

Quadro 21 - Respostas dos alunos ao Questionário 1 sobre o terceiro tema (continua)

Pergunta	Estudante	Resposta
Questão 6) Qual a explicação que você daria para a morte (para o fim) de uma estrela?	Hydra	Quando todo hidrogênio e hélio são consumidos, a estrela explode, e acaba chegando ao fim, (se torna um buraco negro, estrela de nêutrons ou uma supernova)
	Aquarius	A estrela vai perdendo seu brilho e alterando a sua cor (provavelmente a diminuição até o fim da excitação de elétrons. Mas, não sei). No final da vida, se for uma gigante vermelha ela se tornará uma nebulosa planetária que dará origem a uma anã branca. No caso de uma supergigante vermelha, explodirá em supernova e pode se tornar uma estrela de nêutrons ou até mesmo um buraco negro. Claro que tudo isso ocorre em um tempo geológico, porém acredito que sua transformação ocorra dentre esses termos

Quadro 21 - Respostas dos alunos ao Questionário 1 sobre o terceiro tema (conclusão)

Pergunta	Estudante	Resposta
Questão 6) Qual a explicação que você daria para a morte (para o fim) de uma estrela?	Cygnus	A fusão nuclear gerou elementos muito pesados e esses elementos não foram mais capazes de realizar uma nova fusão entre si (ferro é um exemplo). Então a gravidade que empurra a própria massa da estrela "pra dentro" vence a batalha contra a força gerada pela fusão nuclear que empurra massa e energia da estrela "pra fora" e ela entra em colapso
	Crux	Acabam os elementos necessários para combustão
	Eridanus	Com a constante combustão, o material ali vai sendo perdido, a massa vai se alterando assim como tamanho e densidade, e em determinado momento ela poderá colapsar em si mesma ou se explodindo em uma supernova
	Pegasus	Eu acho depende da massa da estrela, quando possuir uma massa relativamente "pequena", há uma morte "discreta" e quando possuir uma massa maior, acho que ocorre explosões se não estou enganado
	Leo	Quando esgota a energia delas.
	Órion	Quando acaba o hidrogênio
	Aquila	Os materiais que formavam ela foram se desfazendo e chegaram no ponto de não ter mais uma quantidade significativa de luz
	Andromeda	Não sei

Fonte: O autor (2022).

Como feito anteriormente, houve discussões online e estudos do material que trata do assunto no MC. A mesma pergunta foi feita novamente, mas agora no Questionário 2, versando sobre a vida e a morte das estrelas (QUADRO 22).

Quadro 22 - Respostas dos alunos ao Questionário 2 sobre o terceiro tema (continua)

Pergunta	Estudante	Resposta
Questão 4) As estrelas apesar de terem um período de vida muito longo, este período é limitado. Ou seja, tem um início e um fim que dependerá de sua massa. Como nascem e como morrem as estrelas?	Hydra	Nascimento: Gases e poeiras começam a se condensar. Em razão da alta temperatura o hidrogênio se funde, dando origem ao hélio e liberando luz e calor (fusão nuclear), nascendo a estrela Morte: Todo o hidrogênio e hélio são gastos, e a estrela para de emitir calor. Pode variar de acordo com sua massa, características e outros
	Aquarius	Elas nascem em uma nebulosa a partir da diminuição de volume de um certo conjunto de gases que começa a atrair matéria para si devido à sua gravidade. Assim, a pressão nas camadas externas faz com que a temperatura aumente junto com a pressão em seu interior, fazendo com que as partículas de hidrogênio se fundam e se tornem partículas de hélio. Sua morte está relacionada ao fim do seu consumo de partículas de hidrogênio, que causa grande pressão fazendo com que ela exploda com grande força e temperatura

Quadro 22 - Respostas dos alunos ao Questionário 2 sobre o terceiro tema (conclusão)

Pergunta	Estudante	Resposta
<p>Questão 4) As estrelas apesar de terem um período de vida muito longo, este período é limitado. Ou seja, tem um início e um fim que dependerá de sua massa. Como nascem e como morrem as estrelas?</p>	Cygnus	As estrelas nascem da atração gravitacional de gás e poeira que aos poucos ocupam volumes cada vez menores até que a pressão e temperatura aumentam ao ponto de poderem fundir hidrogênio em hélio, gerando energia, luz, radiações variáveis e partículas. Nebulosas são "berçários" comuns de estrelas. Estrelas morrem quando não são mais capazes de realizar a fusão nuclear de elementos mais pesados de acordo com sua massa e volume.
	Cruzeiro	Elas nascem a nas nebulosas a partir da gravidade que atrai gases e gradativamente aumenta a pressão e a temperatura, iniciando a combustão. A morte das estrelas ocorre quando elas queimam todo o gás disponível.
	Eridanus	Elas nascem da aglutinação de gases devido a uma força gravitacional, e assim que ela tiver uma massa determinada onde a pressão e a temperatura forem extremamente altas, ela entrará em processo de fusão nuclear. Elas morrem de diversas maneiras, dependendo da sua massa e seu raio, mas a mais comum é o consumo quase total de seu combustível, transformando-se em uma anã branca.
	Pegasus	As estrelas nascem devido à condensação de gases, principalmente Hidrogênio e Hélio, que estão presentes no universo. Elas morrem após a total fusão desses gases.
	Leo	Criadas pela condensação de gases, e uma das formas de sua "morte" é o esgotamento de seu combustível.
	Órion	Elas nascem a partir de uma nebulosa, onde a poeira cósmica vai se aglomerando aos poucos e, com o aumento do tamanho do corpo, a gravidade também aumenta, assim, inicia-se o processo de fusão nuclear, liberando radiação. As estrelas morrem quando consomem por completo seu combustível.
	Aquila	Nascem através da condensação de gases. Quando elas aumentam muito e depois diminuem, mas o que acontece depois depende de sua massa.
	Andromeda	Grandes massas de gases e poeira, chamados de nebulosas, em determinado momento, em uma alta pressão e temperatura, começam o processo de Fusão nuclear, é quando uma estrela nasce. Já a morte das estrelas se diferencia em razão das diferentes massas.

Fonte: O autor (2022).

Ainda tratando do terceiro tema, finalizamos com a análise das respostas dos alunos sobre o Diagrama H-R, a fim de verificar se os alunos conhecem ou não este diagrama tão importante na Astrofísica Estelar, que é capaz de mostrar a trajetória evolutiva de uma estrela. No primeiro questionário, a pergunta foi sobre o conhecimento deste diagrama e as respostas são apresentadas no Quadro 23.

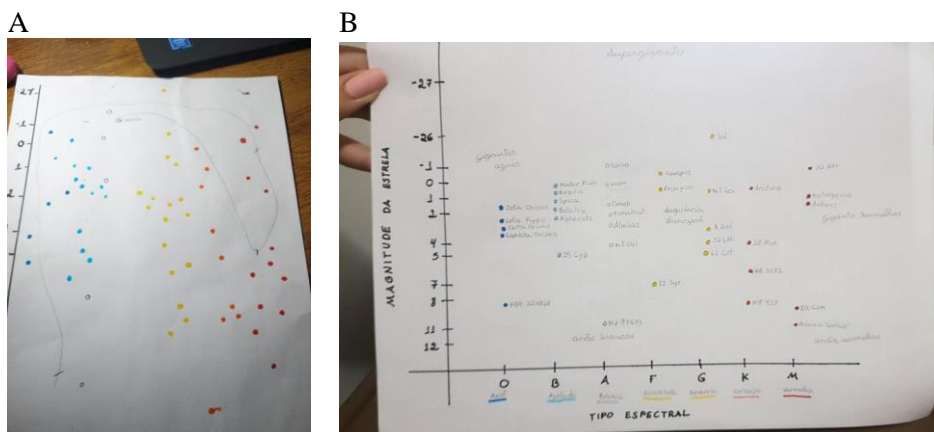
Quadro 23 - Respostas dos alunos ao Questionário 1 sobre o terceiro tema

Pergunta	Estudante	Resposta
	Hydra	Nunca ouvi falar
Questão 4) Você já conhece ou já ouviu falar no diagrama Hertzsprung-Russel (Diagrama H-R)?	Aquarius	Já ouvi falar, mas não sei o que é... Na verdade, não faço a mínima ideia kkkkkk. Provavelmente alguma equação ou gráfico para explicar um fato ou fenômeno astronômico, que talvez possa envolver a velocidade da luz ou relacionando o brilho da estrela com sua distância aqui da terra... Não sei
	Cygnus	Não me lembro por fazer um tempo que não estudo sobre astronomia
	Crux	Não
	Eridanus	Só por nome
	Pegasus	Não
	Leo	Não
	Órion	Não
	Aquila	Não
	Andromeda	Não

Fonte: O autor (2022).

Continuamos os estudos, apresentando aos alunos o que são estrelas, a relação entre o brilho, a cor e a temperatura das estrelas, suas classificações e suas evoluções e, na quinta aula do MC, foi apresentado o Diagrama H-R e sua importância. Assim, a quinta e a sexta semana foram dedicadas aos estudos deste diagrama tão importante na Astrofísica, que mostra a trajetória evolutiva das estrelas, levando em consideração suas características (magnitude ou luminosidade X tipo espectral). Em seguida, foi pedido aos alunos que construíssem seus próprios Diagramas H-R, levando em consideração as estrelas, até então catalogadas por eles através do software Stellarium. As Figuras 12 e 13 exibem dois dos diagramas enviados pelas alunas Hydra e Aquarius, mostrando suas estrelas catalogadas e dispostas em um Diagrama H-R.

Figura 10 – Diagrama H-R: A - enviado pela aluna Hydra; B - enviado pela aluna Aquarius



Fonte: O autor (2022).

Em seguida, no Questionário 8, após o estudo do material sobre a evolução das estrelas com massas menores e maiores que $8 M_{\odot}$, foi pedido aos alunos que falassem sobre a trajetória evolutiva de quatro estrelas que possuíam tipos espectrais e massas bem específicas (QUADRO 23).

Quadro 24 - Respostas dos alunos ao Questionário 8 sobre o terceiro tema (continua)

Pergunta	Estudante	Resposta
Questão 4) As estrelas apesar de terem um período de vida muito longo, este período é limitado. Ou seja, tem um início e um fim que dependerá de sua massa. Como nascem e como morrem as estrelas?	Hydra	Sirius - Depois de consumir todo o hélio e hidrogênio, a estrela sai da sequência principal e torna-se uma gigante vermelha, depois uma supergigante e por fim uma anã Spica - Por ter massa maior que 10, ela evolui para os ramos das supergigantes vermelhas Próxima Centauri - Se tornará uma anã branca com núcleo de hélio HDE 226868 - Se tornará uma supergigante
	Aquarius	<ul style="list-style-type: none"> • A Sirius presente na sequência principal se tornará uma gigante vermelha transformando H em He, uma supergigante vermelha transformando He em Carbono e Oxigênio, uma nebulosa planetária consumindo ainda a energia He --> C, O, terminando seu ciclo como uma anã branca, consumindo C e • A estrela Spica da sequência principal se passará por uma supergigante vermelha, transformando He em C, O e posteriormente em Na, Mg, Si e S. Após esta fase se tornará uma supernova com a fusão nuclear resultando em Fe, o que a levará a terminar seu processo em uma estrela de nêutrons • A próxima Centauri hoje encontrada na sequência principal na forma de anã vermelha consumindo He, se passará por uma gigante vermelha dando continuidade ao processo de fusão de Hidrogênio em Hélio, terminando seu processo evolutivo como uma anã branca consumindo He • A estrela HDE 226868 se tornará uma Wolf-Rayet transformando H em He passando a ter como resultado se sua fusão o Fe e explode em supernova, terminando seu ciclo como um buraco negro Assim, é possível perceber que o fim do processo evolutivo das estrelas tem relação direta com a sua massa

Quadro 24 - Respostas dos alunos ao Questionário 8 sobre o terceiro tema (continua)

Pergunta	Estudante	Resposta
<p>Questão 4) As estrelas apesar de terem um período de vida muito longo, este período é limitado. Ou seja, tem um início e um fim que dependerá de sua massa. Como nascem e como morrem as estrelas?</p>	Cygnus	<ul style="list-style-type: none"> • Sírius: iniciou sua vida como uma protoestrela, tornou-se uma estrela branca, vai se tornar uma gigante vermelha, depois uma nebulosa planetária e por fim uma anã branca • Spica: iniciou sua vida como uma protoestrela, tornou-se uma subgigante azul, vai se tornar uma gigante vermelha, depois uma supergigante, uma supernova e por fim se tornará uma estrela de nêutrons • Próxima Centauri: iniciou sua vida como uma protoestrela, tornou-se uma anã vermelha e por fim se tornará uma anã branca • HDE 226868: iniciou sua vida como uma protoestrela, tornou-se uma supergigante azul, vai explodir como uma supernova no futuro e por fim se tornará um buraco negro
	Crux	<ul style="list-style-type: none"> • Sirius e Centauri, que tem massa inferior a 8 massas solares são estrelas de sequência principal, se tornam gigantes, em seguida supergigantes e por fim anãs brancas • Spica-se torna uma gigante e em seguida uma supergigante • HDE - é uma gigante que se torna supergigante e em seguida uma supernova que se tornará um buraco negro
	Eridanus	<p>A Estrela Sirius de $2M_{\odot}$ vai entrar na sequência principal transformando H em He, depois de milhões de anos ela evoluirá para uma Gigante e posteriormente uma Gigante Vermelha, tendo seu tamanho expandido e sua temperatura diminuída, mesmo que pouco, depois ela passará por um processo de perde das camadas exteriores numa nebulosa planetária, restando apenas uma anã branca. A estrela Spica de $11M_{\odot}$ passa pela sequência principal transformando H em He, mas evoluirá mais rapidamente que a Sirius para uma Gigante e uma supergigante vermelha, sendo essas duas fases contíguas, depois de He devido as altas pressões e as outras condições, começará a produzir elementos mais pesados até chegar ao ferro, que quando começa a se formar indica que é o final da vida da estrela que se explodirá numa supernova, e a Spica se transformará numa estrela de nêutrons. A Próxima Centauri de $0,12M_{\odot}$ passará pro ramo principal convertendo H em He, quando acabar todo esse processo ela decairá pro ramo das anãs brancas. Por último, a HDE 226868, evoluirá rapidamente passando pelo ramo principal, pelo ramo das gigantes e supergigantes vermelhas, explodindo se em uma supernova e por fim, poderá se transformar num buraco negro, que é o mais provável, onde nem a luz conseguirá escapar</p>
	Pegasus	Não fez
	Leo	Não fez
Órion	Não fez	

Quadro 24 - Respostas dos alunos ao Questionário 8 sobre o terceiro tema (conclusão)

Pergunta	Estudante	Resposta
Questão 4) As estrelas apesar de terem um período de vida muito longo, este período é limitado. Ou seja, tem um início e um fim que dependerá de sua massa. Como nascem e como morrem as estrelas?	Aquila	Menores que $8 M_{\odot}$ - São parte da sequência principal, depois viram gigantes, depois supergigantes e depois anãs brancas. Entre $8M_{\odot}$ e $25M_{\odot}$ - Após a fase de supergigante, passa por uma explosão de supernova e termina a vida como uma estrela de nêutrons Maiores que $25M_{\odot}$ - Passa pela fase de supernova e depois se transforma em buraco negro
	Andromeda	Não fez

Fonte: O autor (2022).

No último questionário, ainda tratando da evolução estelar e a fim de verificar a aprendizagem dos alunos e se conseguiram compreender como funciona a Diagrama H-R com relação à trajetória evolutiva das estrelas, foi-lhes solicitado que respondessem sobre o que é o Diagrama H-R (Quadro 24).

Quadro 25- Respostas dos alunos ao Questionário Final sobre o terceiro tema

Pergunta	Estudante	Resposta
Questão 5) O que é o Diagrama Hertzsprung-Russel (Diagrama H-R)?	Hydra	É um diagrama que mostra a relação ente a magnitude absoluta e o tipo espectral
	Aquarius	É um diagrama que mostra a relação existente entre a luminosidade de uma estrela e sua temperatura efetiva; revelando também seu tipo espectral de acordo com sua cor e temperatura
	Cygnus	Um diagrama que representa a evolução estelar ao longo do tempo e classifica as estrelas quanto ao seu tipo espectral, idade, luminosidade e magnitude
	Crux	Um diagrama que classifica as estrelas de acordo com tipo espectral e magnitude
	Eridanus	É um gráfico de distribuição de estrelas entre magnitude ou luminosidade e tipo espectral ou classificação estelar
	Pegasus	O diagrama HR é um diagrama que relaciona a luminosidade (magnitude) com o tipo espectral das estrelas
	Leo	Não respondeu
	Órion	Ele relaciona a classificação das estrelas de acordo suas respectivas magnitude, luminosidade e temperatura
	Aquila	Pra fazer uma relação do tipo espectral com a magnitude
	Andromeda	Não respondeu

Fonte: O autor (2022).

Além da pergunta sobre a definição do Diagrama H-R, foi-lhes perguntado também como seria a trajetória evolutiva de estrelas como o Sol (QUADRO 26).

Quadro 26 - Respostas dos alunos ao Questionário Final sobre o terceiro tema (continua)

Pergunta	Estudante	Resposta
Questão 8) Como é a trajetória evolutiva de estrelas como o Sol?	Hydra	Durante a formação, uma nuvem de gás se contrai e dá origem a uma protoestrela. Quando a temperatura do núcleo chega a temperatura de 8 milhões K para iniciar as reações nucleares estáveis, a protoestrela se torna parte da sequência principal. Acredita-se que o sol fique na sequência principal por 10 bilhões de anos, até que ele consuma o hidrogênio no núcleo e saia da sequência principal. A geração de energia passa para camada externa em relação ao núcleo, já que ela suporta todas as reações. Nisso a estrela se contrai e a luminosidade aumenta. A sua camada superficial expande, e a estrela fica mais avermelhada. Quando o Sol chegar a essa fase ela atingirá uma temperatura de 100 milhões de graus kelvin. Nisso o Sol se tornará uma gigante vermelha
	Aquarius	O processo evolutivo do Sol e das estrelas como ele; tem ligação direta com a conversão de átomos de hidrogênio em hélio, inicialmente em uma nebulosa. Devido à sua grande massa, essas estrelas devem seguir brilhando pelos próximos 7 bilhões de anos, quando se tornarão gigantes vermelhas, supergigantes e com o passar do tempo terminarão seu processo como anãs brancas, chegando à sua morte. No momento, como estrelas de sequência principal, utilizam a cadeia próton-próton como sua principal fonte de energia. Neste processo ocorre a fusão entre núcleos de hidrogênio, que origina um núcleo de hélio. Assim temos grande diferença de massa entre essas substâncias, a qual será aproveitada como fonte energética para estes astros. Com o passar do tempo as camadas externas vão se reajustar ao aumento da luminosidade levando à sua expansão de sua área superficial e a diminuição de sua temperatura. Assim, a luminosidade aumentará, dando origem a um tom mais avermelhado, aproximando-se do ramo das gigantes vermelhas no diagrama H-R. No centro dessas estrelas, a temperatura aumentará e se iniciará o processo triplo- α , fundindo três núcleos de hélio em um núcleo de carbono. Elas serão, então uma gigante vermelha. Quando o hélio nuclear for totalmente transformado em carbono, e parte em oxigênio, essas estrelas entrarão no ramo das supergigantes. A massa dessas estrelas não é suficiente para que elas alcancem a temperatura necessária para queimar o carbono. Assim, a fase final delas consistirá em um núcleo de carbono e oxigênio, com uma camada externa de hélio, e outra mais externa de hidrogênio. Após bilhões de anos estes astros irão ejetar uma nebulosa planetária, e seu núcleo restante será uma anã branca

Quadro 26 - Respostas dos alunos ao Questionário Final sobre o terceiro tema (conclusão)

Pergunta	Estudante	Resposta
Questão 8) Como é a trajetória evolutiva de estrelas como o Sol?	Cygnus	Nasceu como uma protoestrela, está há 4,5 bilhões de anos transformando hidrogênio em hélio pela fusão termonuclear, daqui a 5 bilhões de anos o hidrogênio vai se esgotar então vai aumentar sua temperatura e inchar suas camadas mais externas, vai fundir hélio em carbono (pois não tem massa o suficiente pra fundir carbono em oxigênio) se transformando numa gigante vermelha e por fim quando seu combustível acabar e não conseguir fundir mais nada suas camadas externas vão explodir numa nebulosa planetária e o Sol restará apenas como uma pequena anã branca
	Crux	sequência principal – gigante – supergigante – anã branca
	Eridanus	O sol começou com uma protoestrela, começou seu processo de fusão do H, entrando no ramo principal do diagrama HR, e assim que esse processo “terminar”, ele expandirá e se transformará numa gigante vermelha, tamanho maior, mas com temperaturas e luminosidade menores, depois para uma supergigante vermelha, ele ejetará as camadas externas numa nebulosa planetária, sobrando só um pequeno núcleo, uma anã branca
	Pegasus	O Sol está na sequência principal. Por mais cinco milhões de anos o Sol irá esquentar e após isso se tornará um gigante vermelha. Após cerca de 100 milhões de anos o Sol explodirá em uma supernova, que deixara para trás uma anã branca por bilhões de anos, esfriando até se tornar uma anã negra
	Leo	Não respondeu
	Órion	Ao fundir todo o hidrogênio, ele começará a fundir hélio, que é transformado em elementos mais pesados, tirando o Sol da sequência principal, que se transforma em uma gigante vermelha
	Aquila	Estrela da sequência principal, depois gigante, depois supergigante e por último anã branca
	Andromeda	Não respondeu

Fonte: O autor (2022).

Ao reviver o relato de experiência e organizar os dados coletados das atividades propostas podemos ter algumas primeiras impressões do MC, percebemos que as respostas dos alunos foram se tornando mais complexas, contendo mais dados e justificativas. Porém é perceptível o cansaço durante o processo e falta das atividades presenciais que permitiriam maior estímulo e compartilhamento das ideias durante o MC.

A organização dos dados possibilitou a estruturação dos quadros de análises de respostas que serão apresentados no próximo capítulo.

6 RESULTADOS E ANÁLISES

Nesta secção, iniciamos o processo de análise das respostas dos alunos a fim de verificar a pontuação nas argumentações, que indicará a promoção dos argumentos e o favorecimento de AC dos alunos participantes do MC.

Como mencionado na subsecção 4.5, foi feita a análise dos argumentos, levando em consideração alguns trabalhos que abordam a argumentação na prática do ensino, como por exemplo, o trabalho de Sá, Kassembhoemer e Queiroz (2014), pontuando as respostas dos alunos, seguindo o proposto no Quadro 7 da subsecção 4.5. A pontuação parte da pertinência das respostas. Se a resposta for pertinente, ela receberá uma pontuação de 1 a 4; se a resposta não for pertinente, ela receberá pontuação 0. É importante relatar que a pontuação foi dada por três pesquisadores, Prof. Dayvidson Siqueira, Prof. Dr. Antônio Marcelo e Prof. Dr. Jefferson Adriano, de forma independente e depois discutida em uma reunião via Google Meet, sobre as inconsistências e chegando a uma pontuação das respostas.

Nesta análise, buscou-se identificar nas respostas o que é defesa, o que é evidência e o que é justificativa. Baseando no Padrão Argumentativo de Toulmin, buscou-se identificar os elementos de argumentos nas respostas dos alunos, ou seja, uma afirmação é defendida com algum elemento que não pode ser considerado como evidência nem raciocínio. Nos argumentos dos alunos, vê-se que a afirmação está explícita nos enunciados das questões.

Como mencionado na subsecção 4.4, optou-se por dividir o MC em três temas, conforme Quadro 6 da mesma subsecção.

Na análise, foi feita a pontuação das respostas em oito quadros, divididas em tema 1, definição de estrelas; tema 2a, cor e temperatura das estrelas; tema 2b, brilho das estrelas; tema 2c, é possível que haja uma estrela verde? e tema 3, evolução estelar e Diagrama H-R.

A análise é iniciada pelo tema 1, definição de estrelas. No Quadro 26, mostramos a pontuação dada pelos pesquisadores nas respostas dos alunos levando em consideração o tema em questão e apenas a afirmação da pergunta “*O que eu acredito que seja uma estrela?*”. Esta afirmação aparece em três questionários: Questionário 1, pergunta 1; Questionário 2, pergunta 1; e no Questionário 9, pergunta 1 (Quadro 27).

Quadro 27 - Respostas dos alunos sobre o tema 1 (continua)

Eu acredito que uma estrela seja (Afirmação)			
Cod.	Estudante	Resposta	Pontuação
Q1P1	Leo	Um corpo que produz sua própria energia e luz	1

Quadro 27 - Respostas dos alunos sobre o tema 1 (continua)

Eu acredito que uma estrela seja (Afirmção)			
Cod.	Estudante	Resposta	Pontuação
Q1P1	Pegasus	Um corpo celeste que emite e possui luz própria	2
Q1P1	Cygnus	Um corpo celeste de massa e densidade gigantes que se equilibra contra a pressão da gravidade através da fusão nuclear de átomos leves e por consequência gera átomos mais pesados, partículas, subpartículas, campos magnéticos e formas de radiação diversas dentre elas a luminosa	4
Q1P1	Áquila	Um corpo que possui luz própria	1
Q1P1	Aquarius	Acredito que seja um astro com brilho próprio formado por poeira estelar a partir de uma nebulosa (ocorre a fusão de moléculas de hidrogênio) . Este astro possui um ciclo entre nascimento e morte. Durante o seu nascimento apresenta altos níveis de brilho e determinada cor. Com o passar do tempo este brilho diminui junto com a sua massa, podendo ter sua cor alterada, dado ao seu desenvolvimento desde uma estrela comum a uma anã branca ou no caso de uma supergigante, um possível buraco negro (adoro essa matéria)	4
Q1P1	CruX	Poeira em combustão	0
Q1P1	Andromeda	Grandes bolas que passam por processos de fusão nuclear, emitindo luz e calor	4
Q1P1	Hydra	Um astro que emite calor e luz próprios	2
Q1P1	Órion	Um condensado de hidrogênio com grande atração gravitacional	2
Q1P1	Eridanus	Uma bola de gás, em constante combustão no espaço	0
Q2P1	Leo	Esferas de plasma, que produzem calor, luz e diversos tipos de radiação	2
Q2P1	Pegasus	Um corpo celeste que emite luz, calor e libera energia	2
Q2P1	Cygnus	Um corpo celeste massivo em estado de plasma que produz luz, formas de radiações variáveis e partículas através da fusão termonuclear	4
Q2P1	Áquila	Esferas de plasma, mantidas pela gravidade e que emitem luz, calor e algumas radiações	2
Q2P1	Aquarius	Acredito que sejam esferas de plasma com gravidade e brilho próprios, formada por partículas, poeiras e gases (hidrogênio, hélio), com elevadas massas e temperaturas. Possuem um ciclo entre nascimento e morte, que inclui vários processos de transformação da matéria que atuam junto ao consumo das suas partículas de hidrogênio. Emitem luz, calor e energia	4
Q2P1	CruX	Grandes esferas de plasma	1
Q2P1	Andromeda	Grandes esferas de plasma que são mantidas por sua gravidade própria, as estrelas emitem luz e calor	2
Q2P1	Hydra	Estrela é uma esfera de plasma que emite luz, calor e alguns outros tipos de radiação	2

Quadro 27 - Respostas dos alunos sobre o tema 1 (conclusão)

Eu acredito que uma estrela seja (Afirmção)			
Cod.	Estudante	Resposta	Pontuação
Q2P1	Órion	Uma grande esfera de plasma, com altíssimas gravidade e temperatura, onde ocorre a fusão dos núcleos de hidrogênio, emitindo radiação	4
Q2P1	Eridanus	São gigantes bolas de plasma em constante processo de fusão nuclear até seu estágio final de vida	2
Q9P1	Leo	Não Respondeu	0
Q9P1	Pegasus	É um corpo celeste de plasma de formato esférico composto de gases que possuem seu próprio brilho, produzem energia através da queima dos gases que a compõem	4
Q9P1	Cygnus	Um corpo celeste gigantesco feito de plasma que realiza reações termonucleares gerando matéria e energia em vários espectros de radiação	4
Q9P1	Áquila	Um corpo celeste que emite luz própria	2
Q9P1	Aquarius	Acredito que uma estrela seja um astro produtor e emissor de energia, com luz própria; uma luminosa esfera de plasma, composta de gases que produzem diferentes reações nucleares, mantida pela gravidade e pela sua pressão radiativa. Possuem cores e brilhos diferentes de acordo com suas substâncias, magnitude, massa, tamanho, tipo espectral, idade e temperatura	4
Q9P1	Cruzeiro	Uma concentração de gases em combustão por fusão nuclear	3
Q9P1	Andromeda	Não respondeu	0
Q9P1	Hydra	São esferas de plasma, que emitem luz e calor próprios. Em razão do processo de fusão nuclear, são liberadas grandes quantidades de energia	4
Q9P1	Órion	Um conglomerado de átomos de hidrogênio, que fundem seus núcleos, formando hélio e liberando energia. Dependendo da massa da estrela, os átomos de hélio podem se fundir, formando elementos mais pesados, como carbono e oxigênio	4
Q9P1	Eridanus	Uma estrela é um aglomerado de gases que entrou em combustão em algum momento de sua vida, realizando fusões nucleares e dependendo de sua massa, sua cor e seu fim de vida mudarão	3

Fonte: O autor (2022).

Analisando os questionários propostos neste Quadro, chamamos a atenção em alguns pontos, primeiro, no Questionário 1, que tem caráter diagnóstico, com a finalidade de verificar o conhecimento prévio dos alunos, temos duas respostas, às quais não verificamos pertinência em suas respostas, o que nos levou a dar 0. Como exemplo, podemos citar a resposta da aluna Cruzeiro: **“Poeira em combustão”**. Nos demais questionários isso não acontece, temos todas as respostas com pertinência, apresentando pelos menos um dos parâmetros pesquisados.

Segundo ponto, em algumas situações vemos que os estudantes sustentam parte da justificativa em suas respostas, como por exemplo, as estrelas serem esferas de plasma mantidas

pela gravidade. Isso aparece, por exemplo, na resposta da Áquila: **“Esferas de plasma, mantidas pela gravidade e que emitem luz, calor e algumas radiações”**.

Terceiro ponto a ser chamado a atenção, é com relação a alguns termos utilizados nas respostas dos alunos, que consideramos pertinente do ponto de vista científico, de modo que os pesquisadores, deram notas, 2, 3 e até mesmo 4, porém apresentam palavras, que são incorretas, do ponto de vista científico, mas que apresentam uma certa coerência que julgamos correta levando em consideração o contexto da resposta. Como por exemplo, citamos a resposta do Eridanus, que usou o termo combustão em sua resposta para citar o processo de fusão nuclear: **“Uma estrela é um aglomerado de gases que entrou em combustão em algum momento de sua vida, realizando fusões nucleares e dependendo de sua massa, sua cor e seu fim de vida mudarão”**. Isso acontece em outras respostas (QUADRO 26).

Por fim, chamamos a atenção para uma análise global das respostas sobre a definição do que seja estrela nos três questionários citados. No Questionário 1, vê-se que os alunos sustentam as afirmações, na maioria das vezes, como um corpo celeste que emite luz própria. Com o Questionário 2, vê-se que os dados passam a receber outras características, como a esfera de plasma, o reconhecimento que essa "luz" própria consiste em diversos tipos de radiações eletromagnéticas. Com o Questionário 3, observa-se que os dados passaram a apresentar elementos acerca da vida e morte das estrelas, como por exemplo: fusão que resulta em elementos mais pesados. Isso mostra uma clara evolução nas respostas e apropriação do conhecimento, o que nos levou a criar um score para os formulários, mostrando a pontuação obtida em cada um destes, bem como um score relativo (QUADRO 28).

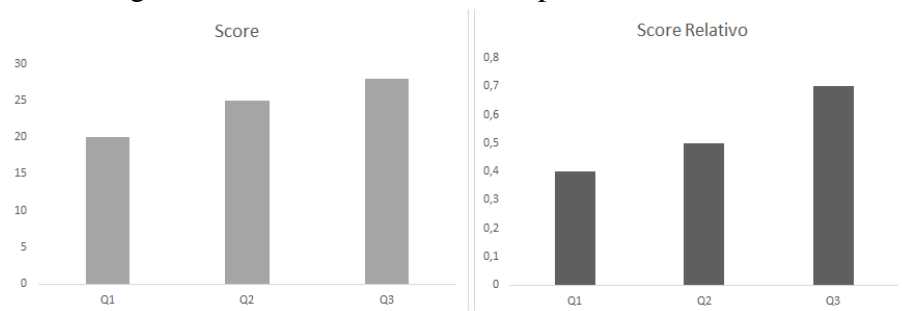
Quadro 28 - Score e Score Relativo do 1º tema pesquisado

Questionário	Score	Score Relativo
Q1	20	0,4
Q2	25	0,5
Q9	28	0,7

Fonte: O autor (2022).

Na Figura 11, pode-se ver a evolução das respostas dos alunos.

Figura 11 - Score e score relativo para o 1º tema



Fonte: O autor (2022).

A análise do segundo tema foi feita levando em consideração à seguinte pergunta: **“Se você olhar para uma determinada constelação no céu noturno, Órion, por exemplo, você teria uma ideia para identificar qual a estrela mais quente e a mais fria desta constelação? Explique sua ideia”**. Nesta pergunta, tem-se a seguinte afirmação: **“Qual seria a estrela mais quente e a mais fria desta constelação?!”**. Esta pergunta foi apresentada em diferentes momentos, ao longo do MC, no Questionário 1, pergunta 3; neste questionário, ela apareceu a fim de verificar o conhecimento prévio dos alunos; e nos Questionários 2, pergunta 3, Questionário 3, pergunta 3 e no Questionário 9, pergunta 3.

O Quadro 29 registra a pergunta (afirmação), as respostas e as pontuações das respostas dadas pelos três pesquisadores.

Quadro 29 - Respostas e pontuação referente ao tema 2a (continua)

A estrela mais quente e mais fria é possível ser identificada (Afirmação), pois			
Cod.	Estudante	Resposta	Pontuação
Q1P3	Hydra	Não saberia identificar	0
Q1P3	Aquarius	Sim. Acredito que a mais quente seria mais nova, avermelhada ou amarelada, maior e mais brilhante dada sua massa e energia. A mais fria seria mais velha, azulada ou com alguma cor mais clara, menor e com baixos níveis de brilho dada a sua menor massa e menor energia (morte da estrela)	0
Q1P3	Cygnus	Eu imaginaria que a cor azulada representasse a mais quente e a avermelhada a mais fria, dentro do que eu posso observar	2
Q1P3	Crux	O brilho, pois acredito que as estrelas mais quentes brilhem mais	0
Q1P3	Eridanus	Tentaria observar pela luminosidade e cor dela, se possível consultando uma Quadro de vida estelar para saber qual fase da vida ela está	0
Q1P3	Pegasus	Observar as suas cores. As estrelas que possuem cores frias têm temperaturas mais baixas, enquanto as estrelas que possuem cores quentes têm temperaturas mais altas	0
Q1P3	Leo	Pela cor da estrela, visto que a cor varia de acordo com sua temperatura	1

Quadro 29 - Respostas e pontuação referente ao tema 2a (continua)

A estrela mais quente e mais fria é possível ser identificada (Afirmção), pois			
Cod.	Estudante	Resposta	Pontuação
Q1P3	Órion	As estrelas mais quentes são maiores e as mais frias, menores	0
Q1P3	Áquila	Mais quente, maior brilho e a mais fria, menos brilho	0
Q1P3	Andromeda	Não	0
Q2P3	Hydra	Tentaria determinar qual é a mais quente e qual a mais fria pela intensidade do brilho	0
Q2P3	Aquarius	Observaria a sua massa e sua cor. As que forem maiores e mais azuladas são mais quentes e as menores mais avermelhadas são mais frias	2
Q2P3	Cygnus	As estrelas mais quentes tendem a ter a cor branca azulada e as mais frias avermelhadas	2
Q2P3	Crux	Através da cor das estrelas que a compõe	1
Q2P3	Eridanus	A estrela mais quente seria alguma azul, e para saber a mais quente dentre elas determinar o tamanho dela, já que as gigantes e supergigantes azuis têm temperatura menor que uma anã amarela, por exemplo. Para achar a mais fria a cor provavelmente seria branca, já que as anãs brancas são uma das mais "frias"	0
Q2P3	Pegasus	Devido a sua massa e a sua cor. Sendo de cores quentes as estrelas com temperaturas mais baixas, e de cores frias as estrelas com temperaturas mais altas	2
Q2P3	Leo	Pela cor, de acordo com a classificação espectral.	3
Q2P3	Órion	As estrelas mais frias são menores e emitem mais cores próximas ao vermelho. As estrelas mais quentes são maiores e emitem mais cores próximas ao azul	4
Q2P3	Áquila	De acordo com as cores dela	1
Q2P3	Andromeda	Sua cor. As estrelas azuis seriam mais quentes e as brancas mais frias	0
Q3P3	Hydra	Eu tentaria determinar pela cor da estrela, uma vez que estrelas frias são mais vermelhas e estrelas mais quentes são mais azuis	2
Q3P3	Aquarius	A mais quente seria branca ou de uma tonalidade mais azulada enquanto a mais fria teria um tom mais avermelhado de acordo com a sua capacidade de emissão de calor e a sua temperatura	4
Q3P3	Cygnus	As estrelas mais quentes tendem a coloração azul e branca e as mais frias a coloração vermelha	2
Q3P3	Crux	De acordo com o brilho e o diâmetro	0
Q3P3	Eridanus	A olho nu não seria possível identificar, por isso a necessidade de uma aparelhagem. Supondo que usando essa, a mais quente seria aquelas de aspecto azulado e a mais fria seria a de aspecto vermelho, já que a cor varia com a temperatura da superfície da estrela	4
Q3P3	Pegasus	Pelas suas cores. As estrelas de cores vermelhas, por exemplo, seriam aquelas que possuem temperaturas mais baixas, próximas de 3000 Kelvin, enquanto as estrelas de cores branco-azuladas seriam aquelas com temperatura maior, próxima de 10000 Kelvin.	2
Q3P3	Leo	Pela escala de espectro	3

Quadro 29 - Respostas e pontuação referente ao tema 2a (conclusão)

A estrela mais quente e mais fria é possível ser identificada (Afirmação), pois			
Cod.	Estudante	Resposta	Pontuação
Q3P3	Órion	As estrelas mais quentes seriam as maiores e azuis ou com cor próxima ao azul. Já as mais frias, seriam as menores e vermelhas ou com cor próxima ao vermelho	2
Q3P3	Áquila	De acordo com as cores que elas possuem, as mais frias são mais avermelhadas e as mais quentes são mais azuladas	2
Q3P3	Andromeda	As estrelas com cores branco-azuladas seriam as mais quentes da constelação, enquanto as mais frias são avermelhadas	2
Q9P3	Hydra	Acho que sim Exemplo: Estrelas azuis (tipo espectral O) são bem mais quentes, enquanto uma estrela vermelha (tipo espectral M) são mais frias. (mais fria) Vermelha - Laranja - Amarela - Amarelada - Branca - Azulada - Azul (mais quente)	4
Q9P3	Aquarius	A estrela mais quente seria mais azulada ou branca e a mais fria seria mais avermelhada ou laranja. Porque as ondas de espectro mais longas transmitidas pela vermelha, indicam temperaturas menores e as ondas mais curtas transmitidas pela azul, indicam que sua temperatura é mais alta de acordo com as substâncias que são utilizadas como combustível na sua produção de energia, que podem sofrer algumas alterações ao longo do tempo de acordo com sua massa, tempo espectral e idade	4
Q9P3	Cygnus	As estrelas mais quentes tendem a ter a cor branca azulada e as mais frias a cor mais avermelhada	2
Q9P3	Cruz	De acordo com seus brilhos sendo as mais quentes mais brilhosas	0
Q9P3	Eridanus	A Estrela mais quente seria aquela de coloração azulada e a mais fria seria aquela de coloração vermelha. A coloração delas é devido a distribuição da energia emitida no espectro luminoso, assim, as mais frias parecem ser vermelhas e as mais quentes mais azuladas	4
Q9P3	Pegasus	Sim. As estrelas mais quentes possuem cores claras, como azul e branco e as estrelas mais frias possuem cores mais fortes, como vermelho	2
Q9P3	Leo	Não respondeu	0
Q9P3	Órion	As estrelas mais frias possuem cores mais próximas ao vermelho, pois seu comprimento de onda é maior. As estrelas mais quentes possuem cores mais próximas ao azul, pois seu comprimento de onda é menor	4
Q9P3	Áquila	Mais quente - mais azulada Mais fria - mais avermelhada	2
Q9P3	Andromeda	Não respondeu	0

Fonte: O autor (2022).

Assim como fizemos anteriormente, devemos destacar alguns pontos que nos chamaram atenção ao longo de nossa análise.

Primeiro, com relação à baixa pontuação obtida no Questionário 1 sobre este tema, (Quadros 28 e 29). Esta baixa pontuação mostra que os alunos na quase totalidade não apresentavam conhecimento prévio sobre o tema, identificado, por exemplo, na resposta da aluna Hydra: **“Não saberia identificar”**. Esta resposta sintetiza a maior parte das respostas dos outros alunos. À medida que o MC vai ocorrendo e o conteúdo vai sendo trabalhado, as pontuações nos questionários aumentam o que é de se esperar.

O segundo ponto que gostaríamos de chamar a atenção é com relação às respostas dos alunos no segundo questionário, no qual já fazem uma relação entre a massa das estrelas e suas temperaturas, mostrando uma evolução nos seus conhecimentos. A análise partiu de que as respostas dos alunos estavam levando apenas a sequência principal do Diagrama H-R, local onde se encontra a maior parte das estrelas, até mesmo porque neste momento os alunos ainda não conheciam o Diagrama H-R. Como exemplo, eis a resposta do aluno Órion: **“As estrelas mais frias são menores e emitem mais cores próximas ao vermelho. As estrelas mais quentes são maiores e emitem mais cores próximas ao azul”**.

Terceiro ponto, destaca-se a evolução das respostas dos alunos no último questionário, em que os alunos mostram um conhecimento mais refinado sobre o tema, citando além da relação entre a massa e a temperatura das estrelas, uma relação com o espectro eletromagnético desta. Como exemplo, a resposta do Órion: **“As estrelas mais frias possuem cores mais próximas ao vermelho, pois seu comprimento de onda é maior. As estrelas mais quentes possuem cores mais próximas ao azul, pois seu comprimento de onda é menor”**. E a resposta do Eridanus: **“A Estrela mais quente seria aquela de coloração azulada e a mais fria seria aquela de coloração vermelha. A coloração delas é devido a distribuição da energia emitida no espectro luminoso, assim, as mais frias parecem ser vermelhas e as mais quentes mais azuladas”**.

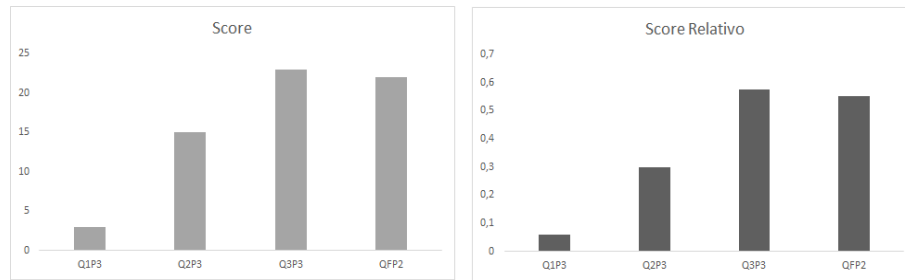
Levando em consideração a análise global, percebe-se a clara evolução das respostas, mostrando que o MC favoreceu a aprendizagem dos alunos (Quadro 20, Fig. 12).

Quadro 30 - Score e Score Relativo referente ao tema 2a

Questionário	Score	Score Relativo
Q1P3	3	0,06
Q2P3	15	0,3
Q3P3	23	0,5
QFP3	22	0,6

Fonte: O autor (2022).

Figura 12 - Score e score relativo do tema 2a



Fonte: O autor (2022).

No tema 2b, ainda com relação ao segundo tema que trata da cor brilho e temperatura das estrelas, fizemos a análise das respostas sobre o brilho das estrelas (Quadro 30). No entanto, notamos que esta questão precisa ser reformulada em nosso produto educacional, visto a dificuldade que tivemos em analisar as respostas e dar uma pontuação às respostas. Quando analisamos o brilho das estrelas vemos que este brilho está relacionado com distância da estrela ao observador e sua luminosidade, que por sua vez está relacionada com área superficial e temperatura. Assim, ao perguntar sobre brilho, vários fatores estão presentes na resposta. Isto também vale para o tema 2a, sobre o qual conseguimos fazer a análise e pontuar as respostas dos alunos, isso porque a cor está diretamente ligada com a temperatura das estrelas; com relação ao brilho, este não depende só das características intrínsecas da estrela, mas também da distância dela ao observador, então surge a forte necessidade de rever esta questão em nosso produto, ou seja, como se discutiu a evolução estelar, em que uma estrela, como o nosso Sol, sai de uma estrela amarela e termina como uma anã-branca, leva o estudante a considerar que a sua idade também interfere em sua cor. Deste modo a questão necessita ser revista, para considerarmos, por exemplo apenas estrelas na sequência principal, ou mesmo rever como devemos perguntar sobre o brilho, já que as respostas mais consistentes com a apropriação de que a temperatura da estrela está diretamente relacionada com a sua cor, foi contemplada na questão de Órion.

Quadro 31 - Respostas dos alunos ao tema 2b (continua)

As estrelas apresentam cores e brilhos diferentes (Afirmação) porque		
Cod.	Estudante	Resposta
Q2P2	Hydra	As cores das estrelas indicam em que fase de vida ela se encontra (nascimento, desenvolvimento e morte)

Quadro 31 - Respostas dos alunos ao tema 2b (continua)

As estrelas apresentam cores e brilhos diferentes (Afirmação) porque		
Cod.	Estudante	Resposta
Q2P2	Aquarius	Suas cores se diferem de acordo com a sua frequência de radiação, idade, temperatura e massa. São características específicas de cada elemento que as formam, que determinam sua cor e brilho. As mais quentes geralmente são azuis, as menores geralmente brilham mais pois já estão esgotando seu "combustível", ficando mais próximas de sua fase de explosão em supernova, anã branca, estrela de nêutrons ou nebulosa planetária
Q2P2	Cygnus	Os brilhos e cores diferentes dependem da composição química da estrela, idade, temperatura, massa, raio, distância em relação à Terra etc.
Q2P2	Cruz	Entre os fatores estão a massa da estrela e sua temperatura
Q2P2	Eridanus	As cores e brilhos das estrelas vão variar devido a sua massa, seu raio e suas temperaturas, além do seu estágio de vida
Q2P2	Pegasus	Devido à distância que elas estão em relação à Terra e a sua temperatura
Q2P2	Leo	A cor varia de acordo com a classificação espectral, a qual considera temperatura, tamanho e massa da estrela
Q2P2	Órion	O brilho e a cor variam de acordo com o tamanho e temperatura da estrela
Q2P2	Áquila	Por causa da temperatura, cor, massa e distância
Q2P2	Andromeda	As cores das estrelas se diferenciam em razão das diferentes temperaturas e tamanho
Q9P2	Hydra	As estrelas apresentam diferentes cores e brilhos em razão da temperatura, que pode variar de acordo com a estrela
Q9P2	Aquarius	A coloração das estrelas se dá por sua composição e sua temperatura. Além de se relacionar também com a sua distribuição de energia e seu tipo espectral. Quanto mais fria (entre 3000 e 4000 Kelvin) a estrela será mais avermelhada, por se localizar na região infravermelha, quando relacionamos sua massa e temperatura. Quanto mais quente ela for (acima dos 10000 Kelvin) sua energia vai em direção ao azul, onde encontramos ondas de espectro (tipo de emissão de radiação) de comprimentos mais curtos ao contrário das mais frias, que emitem ondas mais longas; fazendo com que estrelas mais quentes sejam mais azuladas. Suas cores podem variar ao longo do tempo, já que durante seu processo evolutivo há a alteração de algumas substâncias e temperaturas, fazendo com que suas cores e brilhos variem ao longo dos anos
Q9P2	Cygnus	Sua temperatura, idade, tamanho, proximidade e composição
Q9P2	Cruz	A temperatura delas variam, assim como também magnitude, massa e tipo espectral
Q9P2	Eridanus	Seus distintos brilhos e cores são devidos ao seu tamanho, massa e temperatura podendo variar ao longo da vida da estrela
Q9P2	Pegasus	As cores que as estrelas possuem estão relacionadas a sua idade e a sua massa. Quanto maior a massa, mais quente, mais azul e mais luminosa será a estrela, e menor será seu tempo de vida. As estrelas com menor massa são de cores avermelhadas, possuem temperaturas mais baixas e são mais novas
Q9P2	Leo	Não respondeu
Q9P2	Órion	A cor das estrelas está diretamente relacionada com sua temperatura e, conseqüentemente, com os átomos dos elementos que ela funde
Q9P2	Áquila	Elas terem características como magnitude, tipo espectral, temperatura, massa, diferentes

Quadro 31 - Respostas dos alunos ao tema 2b (conclusão)

As estrelas apresentam cores e brilhos diferentes (Afirmção) porque		
Cod.	Estudante	Resposta
Q9P2	Andromeda	Não respondeu

Fonte: O autor (2022).

No entanto, é importante ressaltar que a ausência de pontuação dada às respostas no questionário não se refere a respostas sem pertinência, mas que não pontuamos este questionário visto a necessidade de revisão dele.

Apesar da necessidade de revisão do tema 2b sobre o brilho das estrelas, percebe-se que houve apropriação do conteúdo, principalmente no que se refere à cor das estrelas. Isso pode ser visto no tema 2c, com uma pergunta bem específica: “**É possível que exista uma estrela verde? Justifique sua resposta**”. Esta pergunta está presente no Questionário 3, pergunta 2 (QUADRO 32).

Quadro 32 - Respostas dos alunos e pontuação ao tema 2c (continua)

Pergunta 2: É possível que exista uma estrela verde? Justifique sua resposta.			
Cod.	Estudante	Resposta	Pontuação
Q3P2	Hydra	Acho que sim. A cor da estrela vai variar de acordo com sua temperatura, indo do vermelho, passando pelo amarelo e indo até o azul. Nessa transição entre amarelo e azul, acho que a estrela poderia ter a cor verde	2
Q3P2	Aquarius	Sim e não. Determinadas estrelas possuem a contribuição das cores verde e vermelho, porém há grande sobreposição entre essas duas cores e quando somadas apresentam um tom amarelado. Podemos citar como exemplo deste fenômeno o Sol do nosso sistema solar	4
Q3P2	Cygnus	Sim e não, porque uma estrela que tem uma alta emissão da cor verde também tem da cor vermelha, e essas cores são sobrepostas nos cones dentro do olho humano se tornando a cor amarela, então essa é a cor que vamos enxergar	4
Q3P2	Cruzeiro	Sim, mas devido a uma deficiência do olho humano não conseguiríamos identificar sua cor	3
Q3P2	Eridanus	Não. Quando se tem uma alta emissão das ondas verdes se tem uma alta emissão das ondas vermelhas, que se misturadas resultam na cor amarela. Seria possível caso as emissões de ondas vermelhas fossem menores	4
Q3P2	Pegasus	Não. O fator que nos impossibilita de ver estrelas verdes é que a maioria das estrelas não refletem a cor verde. Aquelas que refletem, possuem em pouca quantidade. Quando uma estrela tem uma emissão de luz verde, ela possui também uma emissão de luz vermelha ou amarela, que são capturadas pelos bastonetes dos olhos com maior facilidade	4

Quadro 32 - Respostas dos alunos e pontuação ao tema 2c (conclusão)

Pergunta 2: É possível que exista uma estrela verde? Justifique sua resposta.			
Cod.	Estudante	Resposta	Pontuação
Q3P2	Pegasus	Não. O fator que nos impossibilita de ver estrelas verdes é que a maioria das estrelas não refletem a cor verde. Aquelas que refletem, possuem em pouca quantidade. Quando uma estrela tem uma emissão de luz verde, ela possui também uma emissão de luz vermelha ou amarela, que são capturadas pelos bastonetes dos olhos com maior facilidade	4
Q3P2	Leo	Sim, porém nós humanos não enxergamos de tal cor, visto que a luz verde não é perceptível isoladamente pelos olhos humanos	3
Q3P2	Órion	Não, porque todas as estrelas que possuem seu pico de emissão no verde também emitem consideravelmente outras cores do espectro visível e, assim, resulta-se na luz branca Outro fator contribuinte são as células presentes em nossos olhos, os cones, responsáveis pela nossa percepção de cores. Ao olharmos para uma estrela com pico de emissão na região do verde, nossos cones sensíveis ao verde, ao vermelho e ao azul são ativados ao mesmo tempo, formando o branco	4
Q3P2	Áquila	Sim, porém o olho humano acaba enxergando outras cores no lugar da cor verde	3
Q3P2	Andromeda	Sim, elas existem, mas nossos olhos interpretam suas cores de formas diferentes, as estrelas verdes não se destacam pois os olhos humanos enxergam cores em apenas estrelas bem brilhantes	0

Fonte: O autor (2022).

Com relação a este tema, dois pontos chamam a atenção.

Primeiro ponto, com relação à pontuação, a maior parte dos alunos recebeu pontuação 3 ou 4, isso mostra claramente sua apropriação do conhecimento.

Segundo ponto é com relação à resposta do aluno Pegasus, apresentando apenas o termo “refletem” como incoerente; contudo, toda a resposta é categorizada como 4. Acredita-se que isso tenha ocorrido devido ao ensino remoto, pois presencialmente pode-se corrigir termos equivocados, presentes nas falas e escritas dos estudantes.

O Quadro 23 mostra a apropriação dos alunos com relação ao tema pesquisado pelos valores do score do questionário, bem como o score relativo.

Quadro 33 - Score e Score Relativo referente ao tema 2c

Questionário	Score	Score Relativo
Q3P2	31	0,6

Fonte: O autor (2022).

O tema 3 que trata da evolução estelar e do Diagrama H-R. As análises foram feitas, levando em consideração o nascimento e a morte das estrelas, o Diagrama H-R e a trajetória

evolutiva de diferentes tipos de estrelas.

Primeiramente, fez-se uma análise levando em consideração o nascimento das estrelas, após perguntas sobre este tema em diferentes momentos do MC, no Questionário 1, pergunta 5, com a finalidade de verificar o conhecimento prévio dos alunos, e no Questionário 2, pergunta 4 (QUADRO 34).

Quadro 34 - Respostas dos alunos ao Q1P5 sobre o nascimento das estrelas

O nascimento de uma estrela ocorre (Afirmação) devido			
Cod.	Alunos	Resposta	Pontuação
Q1P5	Hydra	(as) Poeiras e gases começam a se fundir (unir ou atração), junto ao gás hidrogênio, e depois de alguns processos, ocorre a fusão nuclear e a estrela nasce (surge)	2
Q1P5	Aquarius	Elas nasceram em uma nebulosa com poeira estelar, devido à fusão dos átomos de hidrogênio e hélio o que lhes proporcionou altos níveis de energia	0
Q1P5	Cygnus	A gravidade com o tempo atraiu e concentrou uma massa considerável de partículas e poeira cósmica que por força desta forçou a fusão nuclear dos átomos mais leves como hidrogênio presentes nessa poeira concentrada nascendo assim uma estrela. Nebulosas são berçários de estrelas por atender essas condições necessárias	4
Q1P5	Cruzeiro	A gravidade atrai matéria que entra em combustão	0
Q1P5	Eridanus	Em uma nuvem de poeira e gás, algum corpúsculo com maior densidade gerará em volta de si uma atração gravitacional, e em determinado momento entrará em combustão , caso não entre, gerará um gigante gasoso	4
Q1P5	Pegasus	São formadas através de Nebulosas, imensas nuvens de gás e poeira, e quando esses gases se "juntam" com a poeira, "forma-se" uma estrela , mas eu acho que não deve ser tão simples assim, acho que existem processos "mais avançados" até que uma estrela seja "formada" de fato	2
Q1P5	Leo	Fusão de gases e outros compostos	0
Q1P5	Órion	Partículas, por possuírem atração gravitacional entre si, começam a se unir e, com o aumento da massa e, conseqüentemente da pressão, os núcleos dos átomos fissionam, liberando energia	4
Q1P5	Áquila	Quando muitos materiais que estão soltos no universo se juntam e através de alguma reação começam a produzir luz própria	1
Q1P5	Andromeda	Ocorre nas nebulosas, quando a temperatura e pressão são altas o suficiente ocorre a fusão nuclear (Lembro de alguma coisa relacionada ao hélio no processo)	2

Fonte: O autor (2022).

Neste questionário, apesar de diagnóstico, há excelentes respostas que mereceram pontuação 4, como por exemplo as respostas do Cygnus e do Eridanus. A maioria, porém, recebeu pontuação entre 0 e 2.

No Questionário 2, pergunta 4, foi feita novamente a pergunta, “**As estrelas nascem e morrem quando (Afirmação)?**”. As respostas com sua respectiva pontuação são apresentadas no Quadro 35.

Quadro 35 - Respostas dos alunos ao Q2P4 sobre o nascimento de uma estrela

As estrelas nascem e morrem quando (Afirmação)			
Cod.	Alunos	Resposta	Pontuação
Q2P4	Hydra	Nascimento: Gases e poeiras começam a se condensar. Em razão da alta temperatura o hidrogênio se funde, dando origem ao hélio e liberando luz e calor (fusão nuclear), nascendo a estrela	4
Q2P4	Aquarius	Elas nascem em uma nebulosa a partir da diminuição de volume de um certo conjunto de gases que começa a atrair matéria para si devido à sua gravidade. Assim, a pressão nas camadas externas faz com que a temperatura aumente junto com a pressão em seu interior, fazendo com que as partículas de hidrogênio se fundam e se tornem partículas de hélio	4
Q2P4	Cygnus	As estrelas nascem da atração gravitacional de gás e poeira que aos poucos ocupam volumes cada vez menores até que a pressão e temperatura aumentam ao ponto de poderem fundir hidrogênio em hélio, gerando energia, luz, radiações variáveis e partículas. Nebulosas são "berçários" comuns de estrelas	4
Q2P4	Cruzeiro do Sul	Elas nascem a nas nebulosas a partir da gravidade que atrai gases e gradativamente aumenta a pressão e a temperatura, iniciando a combustão	4
Q2P4	Eridanus	Elas nascem da aglutinação de gases devido a uma força gravitacional, e assim que ela tiver uma massa determinada onde a pressão ea temperatura forem extremamente altas, ela entrará em processo de fusão nuclear	4
Q2P4	Pegasus	As estrelas nascem devido à condensação de gases, principalmente Hidrogênio e Hélio, que estão presente no universo	2
Q2P4	Leo	Criadas pela condensação de gase	1
Q2P4	Órion	Elas nascem a partir de uma nebulosa, onde a poeira cósmica vai se aglomerando aos poucos e, com o aumento do tamanho do corpo, a gravidade também aumenta, assim, inicia-se o processo de fusão nuclear, liberando radiação	4
Q2P4	Áquila	Nascem através da condensação de gases	1
Q2P4	Andromeda	Grandes massas de gases e poeira, chamados de nebulosas, em determinado momento, em uma alta pressão e temperatura, começam o processo de Fusão nuclear, é quando uma estrela nasce	4

Fonte: O autor (2022).

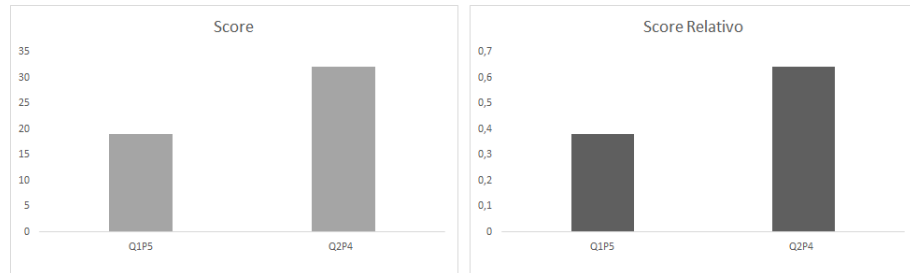
Fazendo uma análise global das respostas dos alunos nos dois questionários, percebe-se um salto considerável em suas pontuações no Q1P5; enquanto a maior parte das repostas teve nota entre 0 e 2 no Q2P4, a maior parte das respostas teve nota 4, mostrando uma clara **evolução** em seus conhecimentos e uma apropriação sobre o nascimento das estrelas. Tanto o Quadro quanto a Figura mostram a evolução das respostas dos alunos (QUADRO 36, FIGURA 13).

Quadro 36 - Score e Score Relativo sobre o nascimento das estrelas

Questionário	Score	Score Relativo
Q1P5	19	0,4
Q2P4	32	0,7

Fonte: O autor (2022).

Figura 13 - Gráfico do score a respeito do nascimento das estrelas



Fonte: O autor (2022).

Ainda com relação ao tema 3, foi feita a análise também das respostas dos alunos sobre o fim das estrelas. Como anteriormente, a análise foi feita em dois momentos, no Q1P6 e Q2P4, sobre o nascimento das estrelas, havendo uma evolução em suas respostas e apropriação do conteúdo estudado (QUADROS 37 e 38).

Quadro 37 - Respostas e pontuação sobre a morte das estrelas (continua)

A morte de uma estrela ocorre (Afirmção)			
Cod.	Estudante	Resposta	Pontuação
Q1P6	Hydra	Quando todo hidrogênio e hélio são consumidos, a estrela explode, e acaba chegando ao fim, (se torna um buraco negro, estrela de nêutrons ou uma supernova)	2
Q1P6	Aquarius	A estrela vai perdendo seu brilho e alterando a sua cor (provavelmente a diminuição até o fim da excitação de elétrons... Mas, não sei). No final da vida, se for uma gigante vermelha ela se tornará uma nebulosa planetária que dará origem a uma anã branca. No caso de uma supergigante vermelha, explodirá em supernova e pode se tornar uma estrela de nêutrons ou até mesmo um buraco negro. Claro que tudo isso ocorre em um tempo geológico, porém acredito que sua transformação ocorra dentre esses termos	0
Q1P6	Cygnus	A fusão nuclear gerou elementos muito pesados e esses elementos não foram mais capazes de realizar uma nova fusão entre si (ferro é um exemplo). Então a gravidade que empurra a própria massa da estrela "pra dentro" vence a batalha contra a força gerada pela fusão nuclear que empurra massa e energia da estrela "pra fora" e ela entra em colapso	4
Q1P6	Cruz	Acabam os elementos necessários para combustão	0

Quadro 37 - Respostas e pontuação sobre a morte das estrelas (conclusão)

A morte de uma estrela ocorre (Afirmção)			
Cod.	Estudante	Resposta	Pontuação
Q1P6	Eridanus	Com a constante combustão , o material ali vai sendo perdido, a massa vai se alterando assim como tamanho e densidade, e em determinado momento ela poderá colapsar em si mesma ou se explodindo em uma supernova	4
Q1P6	Pegasus	Eu acho depende da massa da estrela, quando possuir uma massa relativamente "pequena", há uma morte "discreta" e quando possuir uma massa maior, acho que ocorre explosões se não estou enganado	0
Q1P6	Leo	Quando esgota a energia delas	0
Q1P6	Órion	Quando acaba o hidrogênio	0
Q1P6	Áquila	Os materiais que formavam ela foram se desfazendo e chegaram no ponto de não ter mais uma quantidade significativa de luz	0
Q1P6	Andromeda	Não sei	0

Fonte: O autor (2022).

O Quadro 36 se refere ao Questionário 1, pergunta 6. assim como já mencionado anteriormente, o Questionário 1 tinha como objetivo verificar o conhecimento prévio dos alunos. Além disso, quando analisadas as respostas dos alunos, verificou-se que eles, de certa forma, possuíam um certo conhecimento sobre o nascimento de uma estrela, como pode ser visto anteriormente, mas quando se trata da morte das estrelas, eles não apresentavam conhecimento prévio sobre o assunto, por isso suas respostas foram consideradas sem pertinência. O Quadro 39 expõe as respostas dos alunos ao Questionário 2, pergunta 4, após terem estudado sobre o tema.

Quadro 38 - Respostas e pontuação sobre a morte das estrelas (continua)

As estrelas nascem e morrem quando (Afirmção)			
Cod.	Estudante	Resposta	Pontuação
Q2P4	Hydra	Morte: Todo o hidrogênio e hélio são gastos, e a estrela para de emitir calor. Pode variar de acordo com sua massa, características e outros	2
Q2P4	Aquarius	Sua morte está relacionada ao fim do seu consumo de partículas de hidrogênio, que causa grande pressão fazendo com que ela exploda com grande força e temperatura	2
Q2P4	Cygnus	Estrelas morrem quando não são mais capazes de realizar a fusão nuclear de elementos mais pesados de acordo com sua massa e volume	3
Q2P4	Cruzeiro	A morte das estrelas ocorre quando elas queimam todo o gás disponível	1
Q2P4	Eridanus	Elas morrem de diversas maneiras, dependendo da sua massa e seu raio, mas a mais comum é o consumo quase total de seu combustível, transformando-se em uma anã branca	3
Q2P4	Pegasus	Elas morrem após a total fusão desses gases	1

Quadro 38 - Respostas e pontuação sobre a morte das estrelas (conclusão)

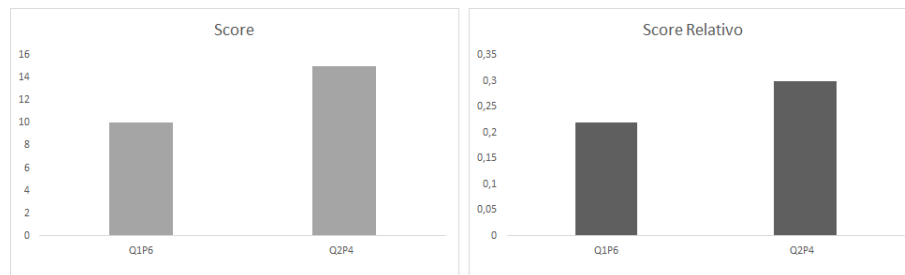
As estrelas nascem e morrem quando (Afirmação)			
Cod.	Estudante	Resposta	Pontuação
Q2P4	Leo	e uma das formas de sua "morte" é o esgotamento de seu combustível.	1
Q2P4	Órion	As estrelas morrem quando consomem por completo seu combustível	1
Q2P4	Áquila	Quando elas aumentam muito e depois diminuem, mas o que acontece depois depende de sua massa	0
Q2P4	Andromeda	Já a morte das estrelas se diferencia em razão das diferentes massas	1

Fonte: O autor (2022).

É interessante notar que assim como aconteceu em todas as nossas análises até o momento, houve uma evolução nas respostas dos alunos, ou seja, houve uma apropriação dos conteúdos estudados. E assim como em questionários anteriores apareceram termos equivocados por parte dos alunos, nestes que se referem ao terceiro tema não foi diferente, apareceu muito o termo combustão, queima e combustível, mas apesar dos termos errôneos do ponto de vista científico consideramos na maior parte das vezes as respostas como pertinentes, ou seja, ela foi validada, levando em consideração o contexto da resposta, como mostrado nas respostas dos alunos Eridanus, Crux e Órion.

De forma global, é apresentada a relação de scores quanto à morte das estrelas (FIGURA 17).

Figura 14 - Score e Score Relativo sobre a morte das estrelas



Fonte: O autor (2022).

Como mencionado anteriormente, quando se observa para a Figura 14, é nítida a evolução nas respostas.

Finalizando esta análise no que se refere ao nascimento e morte das estrelas, notamos que os resultados são muito mais satisfatórios para o nascimento do que para a morte das estrelas. Porém, após o estudo do Diagrama H-R e a solicitação para descrever a evolução estelar, as descrições se completam. Desde o início das estrelas como protoestrelas até seus

diferentes fins, levando em consideração o processo de fusão nuclear de elementos mais leves até o fim com a fusão do ferro.

Por fim, antes de se iniciar a análise das trajetórias evolutivas das estrelas, é feita a análise das respostas dos alunos sobre o que é o Diagrama H-R.

É preciso entender que o Diagrama H-R, é um diagrama da luminosidade em função temperatura, ou da magnitude em função do tipo espectral, que apresenta diferentes regiões, sequência principal, gigantes, supergigantes e anãs brancas, e que tem como função representar a trajetória evolutivas das estrelas em função de sua massa inicial.

No MC tivemos alguns momentos nos quais os alunos estudaram sobre o Diagrama H-R, e inclusive construíram seu próprio Diagrama H-R levando em consideração magnitude e tipo espectral, e em seguida representaram trajetórias evolutivas de determinadas estrelas.

No início do MC, foi perguntado aos alunos se conheciam o Diagrama H-R, ou se já tinham ouvido falar; todos os alunos disseram que não. Após os estudos sobre o assunto, foi perguntado novamente, no Questionário 9, pergunta 4, o que seria tal diagrama. Suas respostas são apresentadas no Quadro 40.

Quadro 39 - Respostas e pontuação dos alunos sobre o que seria o Diagrama H-R

O Diagrama Hertzsprung-Russel (Diagrama H-R) é			
Cod.	Estudante	Resposta	Pontuação
Q9P4	Hydra	É um diagrama que mostra a relação ente a magnitude absoluta e o tipo espectral	2
Q9P4	Aquarius	É um diagrama que mostra a relação existente entre a luminosidade de uma estrela e sua temperatura efetiva; revelando também seu tipo espectral de acordo com sua cor e temperatura	2
Q9P4	Cygnus	Um diagrama que representa a evolução estelar ao longo do tempo e classifica as estrelas quanto ao seu tipo espectral, idade, luminosidade e magnitude	2
Q9P4	Crux	Um diagrama que classifica as estrelas de acordo com tipo espectral e magnitude	2
Q9P4	Eridanus	É um gráfico de distribuição de estrelas entre magnitude ou luminosidade e tipo espectral ou classificação estelar	2
Q9P4	Pegasus	O diagrama HR é um diagrama que relaciona a luminosidade (magnitude) com o tipo espectral das estrelas	2
Q9P4	Leo	Não respondeu	0
Q9P4	Órion	Ele relaciona a classificação das estrelas de acordo suas respectivas magnitudes, luminosidade e temperatura	2
Q9P4	Áquila	Pra fazer uma relação do tipo espectral com a magnitude	2
Q9P4	Andromeda	Não respondeu	0

Fonte: O autor (2022).

Porém, quando feita a análise, percebe-se que a pergunta não apresenta uma afirmação para que os alunos possam justificar, desta forma entendemos que precisamos rever a estrutura do questionamento em nosso produto para que os alunos possam dar possíveis justificativas em suas respostas. Assim, da forma como ela foi feita, as respostas apresentam apenas evidências, por isso uma pontuação 2 em todas as respostas.

Apenas o aluno Cygnus fala sobre a função de identificar a evolução estelar, o que identificamos como uma justificativa para existência do Diagrama H-R, mas a forma como ele apresenta, identificamos como evidência. Porém pode ser destacado que nas questões sobre a trajetória evolutiva das estrelas e do Sol o diagrama é citado para descrever o processo evolutivo, e muitas das respostas destacam a sequência principal.

Por fim no Questionário 8, pergunta 4, e no Questionário 9, pergunta 8, pedimos aos alunos que descrevessem o processo evolutivo de algumas estrelas, Q8P4, e a trajetória evolutiva de estrelas como o Sol, Q9P8.

No Q8P4, pedimos aos alunos que escrevessem sobre a trajetória evolutiva das estrelas Sirius, Spica, Próxima Centauri e HDE 226868. Escolhemos estas estrelas por possuírem características diferentes e verificar se os alunos realmente entenderam como ocorre a trajetória evolutiva das estrelas levando em consideração as suas massas iniciais e o processo de fusão nuclear que acontece em seus interiores com a síntese dos elementos.

Iniciando pela estrela Sirius. Sirius é, na verdade, um sistema binário, ou seja, quando olhamos mais de perto vemos duas estrelas, Sirius A (mais brilhante e maior) e Sirius B (menos brilhante e menor), vamos levar em consideração a estrelas Sirius A, está é uma estrela cuja massa inicial era menor que $10 M_{\odot}$, mais especificamente ela tem massa de $2 M_{\odot}$, logo ela entrará na Sequência principal, transformando H em He, evoluirá para uma gigante vermelha, em seguida supergigante vermelha, transformando He em C e O e terminará sua vida como uma anã branca. A estrela Spica é uma estrela com massa superior a $10 M_{\odot}$, para ser mais exato, ela tem $11 M_{\odot}$, ela entrou na sequência principal como uma supergigante azul, transformando H em He, evoluirá para uma gigante vermelha, em seguida supergigante vermelha, onde transformará He em C, O – Ne – Mg – Si – S, quando chegar em Fe, ela entrará em colapso se transformando em uma supernova e em seguida uma estrela de nêutrons. Próxima Centauri, faz parte de um sistema triplo, esta, em questão é uma estrela com massa menor que $1 M_{\odot}$, ela entra na sequência principal como uma anã vermelha, transformando H em He, evolui para uma gigante vermelha e termina sua vida como uma anã branca de He. HDE226868 é uma estrela com massa superior a $25 M_{\odot}$, ela entra na sequência principal como uma supergigante azul,

transformando H em He, se torna uma estrela do tipo Wolf-Rayet, onde transformará He em C, O – Ne – Mg – Si – S quando em chegar em Fe, ela entra em colapso transformando-se em uma supernova e terminará sua vida como um buraco negro estelar.

Quando feita esta pergunta, esperavam-se respostas bem parecidas com o que foi citado acima e foi o que aconteceu, as repostas foram bem próximas (QUADRO 41).

Quadro 40 - Descrição da trajetória evolutiva das estrelas Sirius, Spica, Próxima Centauri e HDE226868 pelos alunos (continua)

A estrela _____ apresenta a seguinte trajetória evolutiva		
Cod.	Estudante	Resposta
Q8P4	Hydra	Sírius - Depois de consumir todo o hélio e hidrogênio, a estrela sai da sequência principal e torna-se uma gigante vermelha, depois uma supergigante e por fim uma anã
Q8P4	Hydra	Spica - Por ter massa maior que 10, ela evolui para os ramos das supergigantes vermelhas
Q8P4	Hydra	Próxima Centauri - Se tornará uma anã branca com núcleo de hélio
Q8P4	Hydra	HDE 226868 - Se tornará uma supergigante
Q8P4	Aquarius	A Sirius presente na sequência principal se tornará uma gigante vermelha transformando H em He, uma supergigante vermelha transformando He em Carbono e Oxigênio, uma nebulosa planetária consumindo ainda a energia He -- >C, O, terminando seu ciclo como uma anã branca, consumindo C e O.
Q8P4	Aquarius	A estrela Spica da sequência principal se passará por uma supergigante vermelha, transformando He em C, O e posteriormente em Na, Mg, Si e S. Após esta fase se tornará uma supernova com a fusão nuclear resultando em Fe, o que a levará a terminar seu processo em uma estrela de nêutron
Q8P4	Aquarius	A próxima Centauri hoje encontrada na sequência principal na forma de anã vermelha consumindo He, se passará por uma gigante vermelha dando continuidade ao processo de fusão de Hidrogênio em Hélio, terminando seu processo evolutivo como uma anã branca consumindo He
Q8P4	Aquarius	A estrela HDE 226868 se tornará uma Wolf-Rayet transformando H em He passando a ter como resultado se sua fusão o Fe e explode em supernova, terminando seu ciclo como um buraco negro. Assim, é possível perceber que o fim do processo evolutivo das estrelas tem relação direta com a sua massa
Q8P4	Cygnus	Sírius: iniciou sua vida como uma protoestrela, tornou-se uma estrela branca, vai se tornar uma gigante vermelha, depois uma nebulosa planetária e por fim uma anã branca
Q8P4	Cygnus	Spica: iniciou sua vida como uma protoestrela, tornou-se uma subgigante azul, vai se tornar uma gigante vermelha, depois uma supergigante, uma supernova e por fim se tornará uma estrela de nêutrons
Q8P4	Cygnus	Próxima Centauri: iniciou sua vida como uma protoestrela, tornou-se uma anã vermelha e por fim se tornará uma anã branc

Quadro 40 - Descrição da trajetória evolutiva das estrelas Sirius, Spica, Próxima Centauri e HDE226868 pelos alunos (conclusão)

A estrela _____ apresenta a seguinte trajetória evolutiva		
Cod.	Estudante	Resposta
Q8P4	Cygnus	HDE 226868: iniciou sua vida como uma protoestrela, tornou-se uma supergigante azul, vai explodir como uma supernova no futuro e por fim se tornará um buraco negro.
Q8P4	CruX	Sirius e Centauri, que tem massa inferior a 8 massas solares são estrelas de sequência principal, se tornam gigantes, em seguida supergigantes e por fim anãs brancas
Q8P4	CruX	Spica-se torna uma gigante e em seguida uma supergigante
Q8P4	CruX	HDE - é uma gigante que se torna supergigante e em seguida uma supernova que se tornará um buraco negro
Q8P4	Eridanus	A Estrela Sirius de $2M_{\odot}$ vai entrar na sequência principal transformando H em He, depois de milhões de anos ela evoluirá para uma Gigante e posteriormente uma Gigante Vermelha, tendo seu tamanho expandido e sua temperatura diminuída, mesmo que pouco, depois ela passará por um processo de perde das camadas exteriores numa nebulosa planetária, restando apenas uma anã branca
Q8P4	Eridanus	A estrela Spica de $11M_{\odot}$ passa pela sequência principal transformando H em He, mas evoluirá mais rapidamente que a Sirius para uma Gigante e uma supergigante vermelha, sendo essas duas fases contíguas, depois de He devido as altas pressões e as outras condições, começará a produzir elementos mais pesados até chegar ao ferro, que quando começa a se formar indica que é o final da vida da estrela que se explodirá numa supernova, e a Spica se transformará numa estrela de nêutrons
Q8P4	Eridanus	A Próxima Centauri de $0,12M_{\odot}$ passará pro ramo principal convertendo H em He, quando acabar todo esse processo ela decairá pro ramo das anãs brancas
Q8P4	Eridanus	Por último, a HDE 226868, evoluirá rapidamente passando pelo ramo principal, pelo ramo das gigantes e supergigantes vermelhas, explodindo se em uma supernova e por fim, poderá se transformar num buraco negro, que é o mais provável, onde nem a luz conseguirá escapar
Q8P4	Pegasus	Não fez
Q8P4	Leo	Não fez
Q8P4	Órion	Não fez
Q8P4	Áquila	Menores que $8 M_{\odot}$ - São parte da sequência principal, depois viram gigantes, depois supergigantes e depois anãs brancas Entre $8M_{\odot}$ e $25M_{\odot}$ - Após a fase de supergigante, passa por uma explosão de supernova e termina a vida como uma estrela de nêutron Maiores que $25M_{\odot}$ - Passa pela fase de supernova e depois se transforma em buraco negro.
Q8P4	Andromeda	Não fez

Fonte: O autor (2022).

Nas respostas dos alunos vemos que a maior parte dos alunos descreveram de maneira correta a trajetória evolutiva das estrelas solicitadas mostrando inclusive suas massas iniciais, evolução e síntese de elementos. O que mostra que eles entenderam a evolução estelar e como ocorre a síntese de elementos no interior das estrelas.

No último questionário, pergunta 8, foi pedido aos alunos que fizessem a descrição do processo evolutivo de estrelas como o Sol, ou seja, estrela com $1 M_{\odot}$.

Nesta questão, esperava-se que a resposta dos alunos fosse ainda mais completa que as das estrelas anteriores, justamente por se tratar do fechamento do curso e de uma estrela à qual falamos muito ao longo do curso (QUADRO 41).

Quadro 41 - Respostas dos alunos sobre a trajetória evolutivas de estrelas como o Sol (continua)

A trajetória evolutiva do Sol é dada por (Afirmção)		
Cod.	Estudante	Resposta
QFP8	Hydra	Durante a formação, uma nuvem de gás se contrai e dá origem a uma protoestrela. Quando a temperatura do núcleo chega a temperatura de 8 milhões K para iniciar as reações nucleares estáveis, a protoestrela se torna parte da sequência principal. Acredita-se que o sol fique na sequência principal por 10 bilhões de anos, até que ele consuma o hidrogênio no núcleo e elas saia da sequência principal. A geração de energia passa para camada externa em relação ao núcleo, já que ela suporta todas as reações. Nisso a estrela se contrai e a luminosidade aumenta. A sua camada superficial expande, e a estrela fica mais avermelhada. Quando o Sol chegar a essa fase ela atingirá uma temperatura de 100 milhões de graus kelvin. Nisso o Sol se tornará uma gigante vermelha
(ContQFP8)	Aquarius	O processo evolutivo do Sol e das estrelas como ele; tem ligação direta com a conversão de átomos de hidrogênio em hélio, inicialmente em uma nebulosa. Devido à sua grande massa, essas estrelas devem seguir brilhando pelos próximos 7 bilhões de anos, quando se tornarão gigantes vermelhas, supergigantes e com o passar do tempo terminarão seu processo como anãs brancas, chegando à sua morte. No momento, como estrelas de sequência principal, utilizam a cadeia próton-próton como sua principal fonte de energia. Neste processo ocorre a fusão entre núcleos de hidrogênio, que origina um núcleo de hélio. Assim temos grande diferença de massa entre essas substâncias, a qual será aproveitada como fonte energética para estes astros. Com o passar do tempo as camadas externas vão se reajustar ao aumento da luminosidade levando à sua expansão de sua área superficial e a diminuição de sua temperatura. Assim, a luminosidade aumentará, dando origem a um tom mais avermelhado, aproximando-se do ramo das gigantes vermelhas no diagrama H-R. No centro dessas estrelas, a temperatura aumentará e se iniciará o processo triplo- α , fundindo três núcleos de hélio em um núcleo de carbono. Elas serão, então uma gigante vermelha. Quando o hélio nuclear for totalmente transformado em carbono, e parte em oxigênio, essas estrelas entrarão no ramo das supergigantes. A massa dessas estrelas não é suficiente para que elas alcancem a temperatura necessária para queimar o carbono. Assim, a fase final delas consistirá em um núcleo de carbono e oxigênio, com uma camada externa de hélio, e outra mais externa de hidrogênio. Após bilhões de anos estes astros irão ejetar uma nebulosa planetária, e seu núcleo restante será uma anã branca

Quadro 41 - Respostas dos alunos sobre a trajetória evolutivas de estrelas como o Sol (conclusão)

A trajetória evolutiva do Sol é dada por (Afirmção)		
Cod.	Estudante	Resposta
QFP8	Cygnus	Nasceu como uma protoestrela, está há 4,5 bilhões de anos transformando hidrogênio em hélio pela fusão termonuclear, daqui a 5 bilhões de anos o hidrogênio vai se esgotar então vai aumentar sua temperatura e inchar suas camadas mais externas, vai fundir hélio em carbono (pois não tem massa o suficiente pra fundir carbono em oxigênio) se transformando numa gigante vermelha e por fim quando seu combustível acabar e não conseguir fundir mais nada suas camadas externas vão explodir numa nebulosa planetária e o Sol restará apenas como uma pequena anã branca
QFP8	Crux	sequência principal - gigante - supergigante - anã branca
QFP8	Eridanus	O sol começou com uma protoestrela, começou seu processo de fusão do H, entrando no ramo principal do diagrama HR, e assim que esse processo "terminar", ele expandirá e se transformará numa gigante vermelha, tamanho maior, mas com temperaturas e luminosidade menores, depois para uma supergigante vermelha, ele ejetará as camadas externas numa nebulosa planetária, sobrando só um pequeno núcleo, uma anã branca
QFP8	Pegasus	O Sol está na sequência principal. Por mais cinco milhões de anos o Sol irá esquentar e após isso se tornará um gigante vermelha. Após cerca de 100 milhões de anos o Sol explodirá em uma supernova, que deixara para traz uma anã branca por bilhões de anos, esfriando até se tornar uma anã negra
QFP8	Leo	Não respondeu
QFP8	Órion	Ao fundir todo o hidrogênio, ele começará a fundir hélio, que é transformado em elementos mais pesados, tirando o Sol da sequência principal, que se transforma em uma gigante vermelha
QFP8	Áquila	Estrela da sequência principal, depois gigante, depois supergigante e por último anã branca
QFP8	Andromeda	Não respondeu

Fonte: O autor (2022).

Nas respostas, esperava-se que os alunos nos dessem informações sobre o início como uma protoestrela, entrada na sequência principal, tempo de permanência na sequência principal, síntese de elementos durante sua evolução para gigante vermelha e o seu fim.

Vemos que a maior parte dos alunos, fez este processo descritivo alguns com bastante detalhes como as alunas Hydra e Aquarius, vimos que alguns alunos não foram tão descritivos, mas que mostraram de maneira correta a trajetória evolutiva como a aluna Crux. Desta forma percebemos que os alunos de maneira geral cumpriram com o objetivo e atenderam nossas expectativas.

Nas questões Q8P4 e QFP8 foi solicitada a descrição da evolução, que é feita a partir do reconhecimento da massa das estrelas, sendo esta, a possível justificativa, que está implícita na descrição. Portanto não verificamos possibilidades de pontuação as análises, mas

apresentamos as respostas pois sustentam nossas interpretações para a aprendizagem nas questões de morte das estrelas.

As descrições apresentadas também reforçam um aspecto relevante de nossas análises, o fato que encontrar respostas, mas satisfatórias entre o questionário diagnóstico e os questionários após os estudos realizados é o esperado, entretanto percebe-se respostas cada vez mais elaboradas, contemplando elementos de uma argumentação. Sustentando assim nossa apreciação sobre o favorecimento de AC ao longo do MC.

Da mesma forma que fizemos uma análise geral podemos fazer uma análise individual. A título de exemplo, mostraremos as respostas dadas pela aluna Hydra, em diferentes momentos do MC, mostrando claramente sua evolução. É importante relatar que as respostas foram comparadas em diferentes momentos, onde muitas vezes refazemos a mesma pergunta, isso para podermos ver como foi a evolução dos alunos ao longo do MC.

No Questionário 1, na aula 1, que tinha como objetivo verificar o conhecimento prévio dos alunos, foi feita a seguinte pergunta:

a) **O que você acredita que seja uma estrela?**

Resposta da Hydra:

a) **“Um astro que emite calor e luz próprios”.**

Do ponto de vista dos pesquisadores, é uma resposta correta do ponto de vista científico, mas que os pesquisadores consideram que apresenta apenas evidência, logo sua resposta recebeu a pontuação 2.

Na sequência do MC, para nosso segundo encontro, foi dado aos alunos para que, em sua casa em seu tempo, fizesse a leitura do texto “Conhecendo as estrelas” e um vídeo de 4:07 sobre as estrelas da série ABC da Astronomia. Em seguida pediu-se que respondessem o Questionário 2 com 5 questões, sendo que uma das questões era a seguinte:

a) **De acordo com o estudado, o que você acredita que seja uma estrela?**

Resposta da Hydra:

a) **“Estrela é uma esfera de plasma que emite luz, calor e alguns outros tipos de radiação”.**

Fazendo a análise da resposta, os pesquisadores, novamente deram uma pontuação 2, pois a mesma, é considerada correta do ponto de vista científico, apresentando apenas evidência, porém, vemos claramente a evolução na resposta, ou seja, a resposta no segundo questionário contém mais detalhes, detalhando o que é uma estrela e o que ela emite, ou seja, é uma resposta mais rica.

Analisando outro ponto perguntado no Questionário 1, aula 1, foi feita a seguinte pergunta:

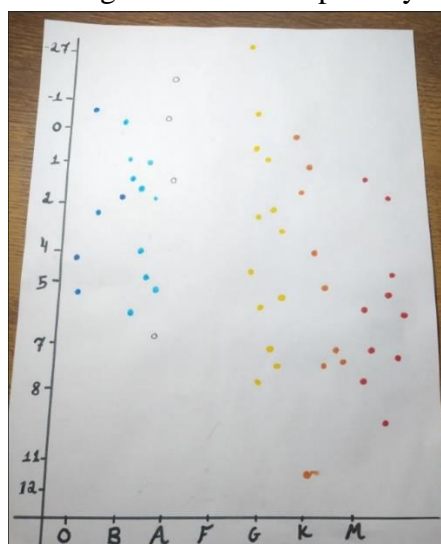
- a) **Você já conhece ou já ouviu falar no Diagrama Hertzsprung-Russel (Diagrama H-R)?**

Resposta da Hydra:

- a) **“Nunca ouvi falar”.**

Levando em consideração a sequência do MC onde definimos o que são estrelas, a cor e brilho das estrelas, a classificação espectral e sobre a própria definição do Diagrama H-R. Na aula 5, pedimos para que os alunos fizessem um catálogo contendo diferentes tipos de estrelas, e no questionário 6 pedimos para que eles continuassem catalogando estrelas utilizando o software Stellarium e posteriormente construíssem seu próprio Diagrama H-R. É importante salientar que no que se refere ao Diagrama H-R e a representação das trajetórias evolutivas das estrelas, não fizemos pontuações, justamente por não termos como comparar com questionários anteriores. Mas podemos ver claramente que uma aluna que antes sequer sabia o que era um Diagrama H-R, agora já sabe inclusive construir um, o que mostra uma grande evolução em seus conhecimentos. Hydra confeccionou um diagrama (FIGURA 17).

Figura 15 - Diagrama H-R feito pela Hydra



Fonte: O autor (2022).

Dentro do mesmo tema, pedimos que respondessem a seguinte pergunta:

- a) **Seu diagrama apresenta os ramos, sequência principal, gigantes vermelha, supergigante e anãs brancas como nos diagramas estudados na aula 5? Faça um texto explicando por que as estrelas do seu diagrama fazer parte destes ramos.**

Resposta da Hydra:

- a) **“Sim, no diagrama há diversas estrelas, como por exemplo, a estrela HIP 24507, que é uma anã branca, uma vez que seu tipo espectral é A6V (A indica que ela tem a cor branca e V indica que ela é uma anã). Também podemos outros exemplos como a estrela HIP 19790, que é uma gigante vermelha, já que seu tipo espectral é M1III. Assim, analisando o tipo espectral e a magnitude da estrela, podemos ver diferentes ramos.”**

Ou seja, uma aluna que antes sequer sabia o que era um Diagrama H-R, em nosso sexto encontro, já sabia o que era este diagrama, quais são os ramos deste diagrama e onde as estrelas deveriam ficar, se baseando em suas características.

Aqui estamos citando um exemplo, mas isto se repete para vários alunos ao longo do MC e para todos os temas do MC. O que mostra claramente a evolução do conhecimento dos alunos.

Desta forma podemos sim dizer que o MC é capaz de favorecer a promoção dos argumentos bem como a AC dos alunos, pois, nas respostas percebe-se a presença de seriação, organização e classificação de informação, bem como raciocínio lógico e proporcional, além de verificar que os alunos entenderam as situações propostas, justificando e explicando o que lhes foi proposto.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em nosso trabalho propusemos a forma de argumentação escrita, como proposta por Silva, Scarpa e Trivelato (2013), que inclui a triangulação por pares, a correção conceitual e a contextualização dos textos a serem analisados. Trabalhamos com a hipótese de que à medida que os alunos fossem construindo seus argumentos, sua aprendizagem a respeito dos conceitos científicos iria se aprimorando e a qualidade de seus argumentos aumentaria, aumentando sua pontuação em relação às suas respostas, como proposto anteriormente.

Assim, durante o MC os alunos foram sempre orientados a argumentar inspirados em uma ferramenta amplamente utilizada, o Padrão de Argumento de Toulmin, que adaptamos para que trabalhemos somente com argumentos escritos dos alunos, já que este foi a principal forma de comunicação entre alunos e pesquisador. Pelo TAP teríamos a promoção dos argumentos e o favorecimento da AC nos alunos, já que ao argumentar os alunos estariam justificando e concluindo com base em seus estudos sobre a teoria estudada e assim melhorando cada vez mais suas argumentações, conforme verificado, e em acordo com o primeiro eixo estruturante, citado por Sasseron e Carvalho (2011), promovem de fato a AC.

Como citado na seção 2.2 a AC e a promoção dos argumentos têm papel de destaque em nosso trabalho, todo o MC e nossos estudos foram feitos levando em consideração que os alunos tivessem o papel principal de construção de seu conhecimento, tanto na forma original, presencial, como na forma adaptada em virtude da pandemia e do ensino remoto. Buscamos sempre fazer com que nossos alunos argumentassem, principalmente de forma escrita, pois aqui analisamos apenas os argumentos escritos dos alunos.

Em nossa pesquisa, analisamos diversas respostas dos alunos e todas elas foram analisadas levando em consideração um critério de pontuação, que se baseou, em defesa, evidência e justificativa. Nas diversas respostas analisadas e que podem ser consultadas nas seções anteriores pontuamos as respostas e a fim de verificar se houve ou não a promoção dos argumentos e o favorecimento AC dos alunos, em uma visão geral ou individual constatamos uma evolução nos argumentos gerados ao longo do MC.

Alguns pontos que foram desenvolvidos ao longo de toda a pesquisa precisam ser levados em consideração. Iniciamos nossa pesquisa com um objetivo bem claro, investigar a promoção dos argumentos e o favorecimento da AC em argumentos gerados ao longo de um MC sobre Astrofísica Estelar. Quando pensamos no objetivo da pesquisa, como ela foi proposta e como ela se desenvolveu e quando analisamos os resultados, verificamos que o trabalho

obteve sucesso, pois o objetivo foi alcançado, ou seja, foi possível verificar a promoção dos argumentos bem como o favorecimento da AC nos argumentos dos alunos, principalmente os citados por Sasseron (2013).

Outro ponto que não podemos deixar passar, é a forma como todo o trabalho ocorreu, todo o MC e a pesquisa em si, foi elaborada para ocorrer de forma presencial, geramos um MC, a fim de ter contato direto com os alunos, encontrando semanalmente e imaginando uma interação direta entre professor e alunos e entre alunos e alunos, já que o MC foi feito pensando na interação entre eles, e com o professor apenas mediando todo o processo. Passamos o ano de 2019 pensando em como faríamos isso, conversamos, pesquisamos, montamos o material, as perguntas, tudo para que ocorresse de forma presencial. Mas infelizmente, veio a pandemia de COVID-19, que fechou escolas, universidades e o que tínhamos pensado de repente precisou ser reformulado, o MC precisou ser adiado. O que antes deveria ocorrer no início de 2020, com alunos descansados e motivados, precisou ocorrer na segunda metade do ano, com alunos cansados, desmotivados e inseguros quanto o dia de amanhã. As escolas precisaram se readaptar os professores precisaram se readequar a nova forma de ensino, isso sem preparação e motivação. Ou seja, o MC ocorreu com professor extremamente cansado e com alunos totalmente desmotivados, pois essa não era a forma como tudo foi concebido. Mesmo assim, os alunos que permaneceram até o fim tiveram um excelente desempenho e conseguiram absorver o conteúdo passado e podemos ao final do trabalho dizer que o MC, sim, foi capaz de promover a argumentação e favorecer a AC dos mesmos. Mas as perguntas que devemos fazer é, e se o MC ocorresse de forma presencial, seria diferente? Como seria o comportamento dos alunos durante todo o MC? Como seria a interação entre eles? E a mediação do professor? Bem, isso não podemos responder agora, mas quem sabe em um trabalho futuro.

Outro ponto que gostaria de chamar a atenção é com relação a algumas falas dos alunos, estas falas aconteceram em 2021, com o retorno presencial das aulas no colégio, falas que infelizmente não foram gravadas, mas foram ditas ao professor. Os alunos ao receberem suas premiações da OBA (Olimpíada Brasileira de Astronomia), associaram seus bons desempenhos ao MC, segundo eles o bom desempenho ocorreu por causa do MC. Outro ponto que pode ser chamada a atenção é com relação à fala de alguns que disseram amar a Astronomia e que tem interesse em estudar Física ou Astronomia em cursos superiores. Isso mostra que o MC além de favorecer a AC dos alunos, cumpriu também seu papel de divulgar a ciência e estimular os alunos quanto aos seus estudos, o que nos enche de orgulho.

Por fim, gostaria de chamar a atenção para o término deste trabalho. Como citado no memorial, tenho uma enorme paixão pela Física e pela Astronomia, tenho dedicado anos aos

estudos destas disciplinas e também me dedicado ao seu ensino, já passei por diferentes momentos nesta minha carreira, entre elas duas frustrações, pelo não término de outros mestrados. Mas agora chamo atenção não pela frustração, mas pela conquista do meu tão sonhado mestrado, em uma área que para mim era totalmente nova, o ensino, pois tudo que havia tentado era na linha “dura” da Física. Área esta que me encantou, com sua beleza, em estudos de Vygotsky, Paulo Freire, Ausubel, Piaget entre outros, que dedicaram suas vidas aos estudos da mente humana e como ocorre o processo de ensino aprendizagem. Encantei-me por Lucia Helena Sasseron, Ana Maria Pessoa de Carvalho, Ático Chassot, além de Rodolfo Langhi e Roberto Nardi, autores me mostram que a Física, a Astronomia e o ensino vão muito além de números e contas, me mostraram que estes podem desempenhar um papel fundamental no ensino, na aprendizagem e na alfabetização de jovens e adultos interessados em tais disciplinas. Saio deste mestrado com a certeza de que estou melhor do que entrei, com a cabeça mais aberta e ciente de que o ensino e a aprendizagem da Astronomia e principalmente da Física vai muito além de contas matemáticas, e que carece muito de uma evolução tanto em suas práticas de ensino como em suas avaliações.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, R. R.; HOSOUME, Y. Tópicos de Astronomia, Astrofísica e Cosmologia na 1ª série do Ensino Médio como parte integrante de um projeto curricular diferenciado de Física, **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, São Carlos (SP), n.25, p.51-70, 2018. DOI: <https://doi.org/10.37156/RELEA/2018.25.055>. Disponível em: <https://www.relea.ufscar.br/index.php/relea/article/view/333>. Acesso em: 3 ago. 2019.
- APOSTILA Telescópio na Escola. **Evolução final das Estrelas**. [2010?]. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node14.htm>. Acesso em: 15 jan. 2020.
- BANDECCHI, M.; BRETONES, P. S.; HORVATH, J. E. O equilíbrio estelar e a existência de uma massa máxima para as estrelas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v.41, n.3, 2019. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0250> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/7DdJRKZRwKJVwgFYjWRL77Q/?lang=pt> Acesso em: 20 jan 2020
- BANDECCHI, M.; BRETONES, P. S.; HORVATH, J. E. **O equilíbrio e a estrutura estelar em uma abordagem simples**: a sequência principal (Stellar equilibrium and structure from a simple approach: the Main Sequence). **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.41, n.4, p.e20190031, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0031> Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.scielo.br/j/rbef/a/Wnsrn8JDN5sZ3zCMzrxHGRf/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 15 jan 2020
- BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. Secretaria de Educação Básica (SEB). **Parâmetros curriculares nacionais (PCN): terceiro e quarto ciclos do ensino fundamental: introdução aos parâmetros curriculares nacionais/Secretaria de Educação Fundamental**. – Brasília: MEC/SEF, 1998. 174p. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/introducao.pdf> Acesso em: 22 set. 2019.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica (SEB). **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCN)**. Parte I - Bases Legais Parte II - Linguagens, Códigos e suas Tecnologias Parte III - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias Parte IV - Ciências Humanas e suas Tecnologias. 2000. 109p. Disponível em: <https://www.cpt.com.br/pcn/pcn-parametros-curriculares-nacionais-do-ensino-medio> Acesso em: 22 set. 2019.
- BRETONES, P. S.; MEGID NETO, J. **Um Panorama de An analysis of papers on Astronomy Education in proceedings of IAU meetings from 1988 to 2006**. v.10, 1.ed., 1 dez. 2011. Editora: American Astronomical Society. Disponível em: https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=pt-BR&user=IOPffI8AAAAJ&citation_for_view=IOPffI8AAAAJ:5nxA0vEk-isC Acesso em: 29 jul. 2019.
- CHASSOT, A. Alfabetização Científica: uma possibilidade para a inclusão social. **Revista Brasileira de Educação**, n.22, p.89-100, jan./fev./mar./abr. 2003. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.scielo.br/j/rbedu/a/gZX6NW4YCy6fCWFQdWJ3KJh/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 12 ago.

2019.

FRANCO, L. G.; MUNFORD, D. A análise de interações discursivas em aulas de ciências: ampliando perspectivas metodológicas na pesquisa em argumentação. **Educação em Revista**, Belo Horizonte, n.34, 2018. <https://doi.org/10.1590/0102-4698182956> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/edur/a/KGHkkNbjMJPnSd8DfK9hKJk/abstract/?lang=pt> Acesso em: 15 jan 2020

FRÓES, A. L. D. Astronomia, astrofísica e cosmologia para o Ensino Médio. **Rev. Bras. Ensino Fís.** [online]. v.36, n.3, p.1-15, 2014. 15p. ISSN 1806-1117. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172014000300016>. Disponível em: http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1806-11172014000300016&lng=en&nrm=iso&tlng=pt Acesso em: 15 ago. 2019.

GIRARDI, M. **Construção do diagrama Hertzsprung-Russel através do *stellarium***: uma proposta para explorar conceitos de Física moderna e contemporânea no Ensino Médio. 2017. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Física, Porto Alegre: [s.n.], RS, out. 2017. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmninnibpcapjcgclclefindmkaj/https://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/rd/n05_Girardi/dissertacao_mauricio_girardi.pdf Acesso em: 15 ago. 2019.

HERTZSPRUNG-RUSSEL, E. **O Diagrama Cor-Magnitude**. [2010?]. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node2.htm> Acesso em: 26 ago. 2019.

HORVATH, J. E. Uma proposta para o ensino da astronomia e astrofísica estelares no Ensino Médio. Desenvolvimento em Ensino de Física, **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n.4, dez. 2013. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172013000400012> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/cQ7WGXc3QJvJYFLvRk6fTvd/abstract/?lang=pt> Acesso em: 15 ago. 2019.

LANGHI, R.; NARDI, R. Educação em astronomia no Brasil: alguns recortes. SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 18., **Anais...** SNEF 26-30 jan. 2009a – Vitória, ES, 26-30 jan. 2009. Disponível em: <https://docplayer.com.br/39811189-Educacao-em-astronomia-no-brasil-alguns-recortes.html> Acesso em: 22 jan 2020

LANGHI, R.; NARDI, R. Ensino da astronomia no Brasil: educação formal, informal, não formal e divulgação científica (Astronomy education in Brazil: formal, informal, non-formal education, and scientific popularization). **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.31, n.4, p.4402, dez. 2009b. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172009000400014> Acesso em: 16 jan 2020

LANGHI, R.; NARDI, R. Justificativas para o ensino de Astronomia: o que dizem os pesquisadores brasileiros? **Revista Brasileira em Educação em Ciências**, [S.l.], v.14, n.3, p.41-59, set.-dez. 2014. 19p. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4292>. Acesso em: 15 ago. 2019.

LEITÃO, S. O lugar da argumentação na construção do conhecimento em sala de aula. *In*: LEITÃO, S.; DAMIANOVIC, M. C. **Argumentação na Escola**: o Conhecimento em construção. Campinas, SP: Pontes, 2011. Cap. 1.

MARTINS, C. M. de C. *et al.* Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais. **Proposta Curricular**: Ciências, Ensino Fundamental, Conteúdo Básico Comum (CBC). Belo Horizonte: SEE, 2006a. 67p. Disponível em: https://www.ufmg.br/copeve/Arquivos/2017/coltec_programa_ufmg2018.pdf Acesso em: 15 fev 2020

OLIVEIRA, J. R. S. de; BATISTA, A. A.; QUEIROZ, S. L. Escrita científica de alunos de graduação em química: análise de relatórios de laboratórios. Educação, **Química Nova**, São Paulo, v.33, n.9, p.1980-1986, set. 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000900029> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/fSNHw95dpqbTJWvTQJk53ym/?lang=pt> Acesso em: 15 ago. 2019.

PANZERA, A. C. *et al.* Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais. **Proposta Curricular**. Física Ensino Médio, Conteúdo Básico Comum. Belo Horizonte: SEE, 2006b. 58p. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/15eHu1HS8oAeKI3diOiomsnFNpYw23uqf/view> Acesso em: 15 fev 2020

PEIXOTO, D. E.; KLEINKE, M. U. Expectativas de estudantes sobre a Astronomia no Ensino Médio. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, São Carlos (SP), n.22, p.21-34, 2016. <https://doi.org/10.37156/RELEA/2016.22.021> Disponível em: <https://www.relea.ufscar.br/index.php/relea/article/view/245> Acesso em: 13 ago. 2019.

PESQUERO, L. C. **Proposta de um MC de Astronomia para alunos do Ensino Fundamental II**. 2015. 99p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Exatas) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Campus São Carlos, SP., 2015. <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/7315>. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/7315/DissLCP.pdf?sequence=1&isAllowed=y Acesso em: 13 ago. 2019.

SABINO, A. C. *et al.* A utilização do software Máxima no ensino por investigação da evolução estelar utilizando simulação gráfica da fusão nuclear, 41, 2019. Produtos e Materiais Didáticos, **Rev. Bras. Ensino Fís.** v.41, n.3, 2019, Doi: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0118> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/hjSGx8TdVJXTmRnWqBDmxSt/?lang=pt> Acesso em: 22 set. 2019.

SÁ, L. P.; KASSEBOEHMER, A. C.; QUEIROZ, S. L. Esquema de Argumentos de Toulmin como Instrumento de Ensino: Explorando Possibilidades. **Ensaio**, Belo Horizonte, v. 16, n. 03, p. 147-170, set.-dez. 2014. DOI - <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21172014160307> Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.scielo.br/j/epec/a/WfDs8R99nzsc6QPntc8F5Vt/?format=pdf&lang=pt Acesso em: 15 fev 2020

SASSERON, L. H. Interações discursivas e investigação em sala de aula: o papel do professor. *In*: Carvalho, A. M. P. (org.). **Ensino de ciências por investigação**: condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2013, p.41-62.

SASSERON, L. H. Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre ciências da natureza e escola. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v.17,

n.especial, p. 49-67, nov. 2015. DOI - <http://dx.doi.org/10.1590/1983-2117201517s04>
Disponível em: <https://www.scielo.br/j/epec/a/K556Lc5V7Lnh8QcckBTTMcq/?lang=pt>
Acesso em: 25 ago. 2015.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. de. Almejando a Alfabetização Científica no Ensino Fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. **Investigações em Ensino de Ciências**, São Paulo, v13, n. 3, p.333-352, 2008. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/167099/mod_resource/content/1/Indicadores%20de%20Alfabetiza%C3%A7%C3%A3o%20Cient%C3%ADfica.pdf Acesso em: 15 ago. 2019.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. de. Alfabetização Científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, Faculdade de Educação – Universidade de São Paulo, São Paulo, v.16, n.1, p.59-77, 2011. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/844768/mod_resource/content/1/SASSERON_CARVALHO_AC_uma_revis%C3%A3o_bibliogr%C3%A1fica.pdf Acesso em: 22 set. 2019.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. de. A construção de argumentos em aulas de ciências: o papel dos dados, evidências e variáveis no estabelecimento de justificativas. **Ciênc. educ.**, Bauru, SP, v.20, n.2, p. 393-410, abr.-jun. 2014. Doi: <https://doi.org/10.1590/1516-73132014000200009> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/RRBvqby7SKCcN6TQdjbPkw/?lang=pt> Acesso em: 22 set. 2019.

SILVA, A. B. da. **Evolução Estelar no ensino de ciências**. 2017. 107f.:il. Dissertação (Mestrado em Ensino de Astronomia) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós-Graduação em Astronomia, 2017. Feira de Santana: [s.n.], 2017. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/http://tede2.uefs.br:8080/bitstream/tede/653/2/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Andr%C3%A9%20Vers%C3%A3o%20Final%20%2B%20Ficha%20Catalog%C3%A1fica%20%281%29.pdf Acesso em: 22 set. 2019.

SILVA, R. de P. O.; SCARPA, D. L.; TRIVELATO, S. L. F. Proposta de validação de metodologia de análise de argumentos escritos de acordo com o TAP. **Atas do Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, 9., IX ENPEC. Águas de Lindóia - SP: 10-14 nov. 2013. 8p. Disponível em: <https://docplayer.com.br/50173038-Proposta-de-validacao-de-metodologia-de-analise-de-argumentos-escritos-de-acordo-com-o-tap.html> Acesso em: 22 set. 2019.

VIEIRA, M. B. D. da F. **Astrofísica estelar para o Ensino Médio**: análise de uma proposta. 2018. Dissertação (Mestrado em História da Astronomia e da Cosmologia) – Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, São Paulo, 2018. doi:10.11606/D.14.2019.tde-07072018-124501. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/14/14135/tde-07072018-124501/pt-br.php> Acesso em: 22 set. 2019.

APÊNDICE A - AULA 1: IDENTIFICANDO O CONHECIMENTO PRÉVIO DOS ALUNOS

Neste apêndice apresentamos o produto educacional como foi executado.

Introdução: A aula 1 será dividida em três momentos, no primeiro momento, apresentaremos a ideia do MC. No segundo momento pediremos aos alunos que formem grupos de 4 a 6 alunos preferencialmente, nos quais os alunos serão divididos por série, 9º ano do EF ao 3º ano do EM. Com os alunos sentados em grupo pediremos aos alunos que respondam de maneira individual, um questionário, contendo sete questões discursivas. Este questionário tem três objetivos, verificar os conhecimentos prévios dos alunos, verificar se há algum indício de AC nos alunos participantes e ensinar como gerar argumentos válidos cientificamente. No terceiro momento após responderem os questionários, pediremos aos alunos que formem um grande grupo para iniciarmos um grande debate/diálogo abordando as questões contempladas no questionário. Neste debate será ensinado aos alunos, como fazer argumentações válidas, ensinaremos os alunos a produzirem argumentos válidos cientificamente, segundo o padrão de argumentos do Toulmin. Neste momento será ensinado aos alunos a identificarem nas perguntas os dados fornecidos, para que eles possam, por exemplo, gerar hipóteses, refutar dados e tirar conclusões, sobre as afirmativas. Acreditamos que o debate realizado pela expressão oral dos estudantes possa nos trazer informações complementares que não foram apresentadas na forma escrita, bem como mostrar aos alunos como deverão ser suas argumentações ao longo do MC.

Objetivo de ensino: Verificar os conhecimentos prévios dos alunos.

Objetivo de pesquisa: Verificar indícios de AC e ensinar a gerar argumentos válidos cientificamente.

Objetivos de aprendizagem: Iniciar a formalização por meio do debate no final da aula, sobre os conceitos que serão abordados ao longo do MC. Desenvolver a organização e a expressão escrita e oral de ideias, aprender a ouvir, comentar e respeitar as ideias dos colegas.

Recursos didáticos: questionário, lápis e/ou caneta.

Procedimento metodológico: Após o primeiro momento, com os alunos em grupo pede-se que os alunos respondam o questionário, em seguida, pede-se aos alunos que montem uma grande roda para iniciar um grande debate/diálogo para que possam expor de maneira oral suas

respostas. Mediante às falas dos alunos iniciar a apresentação e formalização de alguns conceitos e temas que serão discutidos ao longo do MC.

Tempo: As três etapas estão previstas para serem desenvolvidas no intervalo de tempo de 60 minutos. Em caso de imprevistos, a formalização, a sua continuidade será realizada na abertura da segunda aula.

Conteúdo abordado: Esta aula não tem como objetivo abordar conteúdos, mas sim verificar se há conhecimentos prévios, indícios de AC e ensinar a argumentar cientificamente, bem como dar uma visão geral do que será abordado no MC.

Sugestões e observações: Deixar claro para os alunos que eles deverão construir seus conhecimentos, o professor tem apenas papel de mediador. O professor deve intervir o mínimo possível nas respostas dos alunos, intervir somente em caso de dúvidas generalizadas e com a finalidade trazer luz às discussões. O professor deve separar um momento no debate/dialogo para ensinar os alunos a argumentarem, para isso pede-se que se faça isso após as discussões prévias dos alunos.

QUESTIONÁRIO - CONHECIMENTOS SOBRE ASTROFÍSICA ESTELAR

Questão 1) O que você acredita que seja uma estrela?

Questão 2) Quando olhamos para o céu noturno observamos uma infinidade de estrelas, cada uma destas estrelas apresenta brilhos diferentes, ou seja, algumas brilham mais que outras. Se estiver em uma região, com ausência de poluição luminosa, zona rural, por exemplo, você pode inclusive observar estrelas com cores diferentes. Qual seria a sua explicação para as estrelas possuírem diferentes cores e distintos brilhos?

Questão 3) As estrelas que compõem nosso universo apresentam características diferentes, isto as tornam únicas, ou seja, sua cor e temperatura são algumas das informações importantes relacionadas a elas. Se você olhar para uma determinada constelação no céu noturno, Órion, por exemplo, como você identificaria qual a estrela mais quente e a mais fria desta constelação? Explique sua ideia.

Questão 4) O diagrama H-R é um gráfico que mostra, por exemplo, a relação entre o brilho e a luminosidade das estrelas, podendo mostrar como as estrelas evoluem ao longo de sua vida. Você conhece ou já ouviu falar no diagrama Hertzsprung-Russel (diagrama H-R)?

Questão 5) As estrelas apesar de terem um período de vida muito longo, têm um período de vida limitado. Ou seja, tem um início, um meio e um fim que dependerá de sua massa. Como você explicaria o nascimento (surgimento) de uma estrela?

APÊNDICE B –AULA 2: TEMA 1: DEFINIÇÃO DE ESTRELAS

Introdução: Professor, esta aula tem o objetivo de formalizar o conceito de estrelas, definir o que são estrelas e iniciar uma discussão sobre suas classificações, estrutura e evolução que serão abordados com mais detalhes em aulas futuras.

Será entregue um texto aos alunos divididos em grupos, abordando os seguintes temas:

- a) O que são estrelas?
- b) Como são criadas?
- c) Do que são feitas?
- d) A vida e morte das estrelas
- e) Tipos de estrelas

Após a leitura do texto será passado aos alunos um vídeo documentário de 4 min e 25 s da série ABC da Astronomia⁹ que traz outras informações que complementam o texto.

Após a leitura do texto, que deve ser feito junto com os alunos, e assistir o vídeo, pede-se aos alunos que respondam um novo questionário, com base em questões que foram previamente discutidas no questionário da aula 1 e novas questões. Estas perguntas têm como objetivo acompanhar a evolução dos argumentos à medida que o MC for sendo desenvolvido. Em seguida em um grande grupo discutir as repostas e buscar comentários relacionados à evolução do conhecimento da primeira para a segunda aula, buscando argumentos orais que venham complementar os argumentos escritos.

Objetivo de ensino: Definir o que é estrelas e iniciar a formalização de conceitos mais avançados relacionados à formação estelar, composição química, evolução e tipos de estrelas. Além disso, trabalhar suas argumentações durante a socialização de suas respostas.

Objetivo de pesquisa: Gerar argumentos científicos relacionados à conceituação de estrelas.

Objetivo de aprendizagem: Definir estrelas; identificar os diferentes tipos de estrelas; reconhecer as características observacionais e espectrais de estrelas, desenvolver a argumentação oral e escrita.

Recursos didáticos: Lousa, data show, computador, texto com perguntas, lápis e/ou caneta.

Procedimento metodológico: Dispor os alunos em grupos de 4 a 6 alunos preferencialmente, os alunos devem ser divididos por série, favorecendo a troca de significados. Dar um texto para

⁹Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=oAVszrKt4Tw&list=PL786495B96AB0CC3C&index=6>

cada aluno do grupo, pedir que leiam e discutam com base em suas respostas dadas no questionário da primeira aula, que será entregue a fim de favorecer a discussão e a argumentação oral e escrita nos grupos. Após uma breve discussão, passar o vídeo da série ABC da astronomia, que irá complementar o texto e trazer novas informações á respeito das estrelas. Em seguida, entregar para os alunos cinco questões para que respondam de maneira individual.

Após responderem pedir que formem uma grande roda para sintetizarmos a aula, levando os alunos a gerarem e compararem os novos argumentos.

Tempo: A aula tem duração de 1 h, podendo ser 20 min para ler e discutir com seus colegas as respostas dadas na aula; 1 h 20 min para exposição do vídeo e responderem o novo questionário com 5 questões; 20 min para o debate final da aula. Caso o tempo não seja suficiente inicia-se a aula 3 fechando a aula 2.

Conteúdo abordado: Esta aula aborda o conceito de estrela, bem como inicia a formalização de conceitos mais aprofundados de estrelas, quanto a sua formação, composição, evolução e tipos de estrelas.

Sugestões e observações: Deixar que o aluno construa seus conhecimentos de forma independente, só ou com seus colegas, você professor deve atuar apenas como mediador, intervindo em momentos críticos nos quais possa haver desvios e grandes discussões que não cabem no momento. Deixe que os alunos falem exponham o que sabem você deve apenas lapidar o pensar de seus alunos.

Pensando na aula seguinte, peça aos alunos que instalem o Software Stellarium em suas máquinas e se familiarizem com ele para o próximo encontro.

TEXTO – CONHECENDO AS ESTRELAS¹⁰

O que são estrelas?

Estrelas são grandes esferas de plasma, mantidas por sua própria gravidade. As estrelas emitem luz, calor e outros tipos de radiação em razão dos processos de fusão nuclear que ocorrem em seu interior, liberando grandes quantidades de energia.

Como são criadas?

¹⁰Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Helerbrock, R.:
<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/estrelas.htm> Acesso em: 7 jan. 2020.

As estrelas formam-se pela condensação de gases que se aglutinam pela atração gravitacional. As grandes nebulosas, por exemplo, são “berçários” de estrelas, uma vez que, em seu interior, grandes nuvens moleculares dão origem a novas estrelas. Quando os gases responsáveis pela formação estelar se aproximam, a velocidade deles aumenta impulsionada pela gravidade local, bem como sua densidade e temperatura.

Durante um período, que pode levar até 10 milhões de anos, essas protoestrelas (estrelas em estágio inicial de formação) são compactadas por suas próprias gravidades até que a pressão e temperatura em seu núcleo sejam suficientes para que os átomos de hidrogênio se fundam, produzindo núcleos de hélio. As estrelas que extraem a sua energia da fusão dos átomos de hidrogênio são chamadas de estrelas de sequência principal, esse tipo de estrela corresponde a cerca de 90% de todas as estrelas do Universo.

A partir do momento em que as estrelas se tornam capazes de realizar fusões termonucleares, o seu combustível é consumido, até que a estrela evolua para o seu estágio final de vida. As possibilidades são muitas: de acordo com a massa da estrela e o seu raio, é possível estimar como será o seu futuro. Essas grandezas estelares, como a massa e o raio das estrelas, são comumente medidas em função da massa solar (M_{\odot}) e raio solar (R_{\odot}).

Do que são feitas as estrelas?

A maior parte das estrelas, cujas massas são de $0,5M_{\odot}$ (metade da massa do Sol) até $2,5M_{\odot}$, são compostas de hélio e hidrogênio, os elementos mais abundantes do Universo. Isso acontece, porque essas estrelas não têm gravidade nem temperaturas suficientemente altas para fundir elementos mais pesados.

Quando as estrelas são muito massivas: entre $5M_{\odot}$ e $10M_{\odot}$ como as supergigantes, no seu interior são formados elementos mais pesados que o hélio. O estágio final de vida dessas estrelas é uma supernova, uma grande explosão que lança toda a sua matéria e energia pelo espaço, dando origem a outras estrelas e planetas.

A vida e a morte das estrelas

O tempo de “vida” das estrelas depende da sua massa: a rapidez com a qual elas consomem o seu combustível é o que diz quanto tempo a estrela mantém o seu brilho, o Sol, por exemplo, consome menos de 0,01% de sua massa, anualmente, aumentando sua temperatura e luminosidade. As estrelas de sequência principal são a absoluta maioria das estrelas no Universo, o nosso Sol, por exemplo, é uma estrela de sequência principal de “baixa

temperatura” quando comparada às estrelas mais quentes, confira alguns dos estágios evolutivos de estrelas de acordo com a sua massa:

- a) estrelas muito pouco massiva: Essas estrelas, cujas massas são de até metade da massa solar, eventualmente, resfriam-se após consumir o hidrogênio em seu interior, tornando-se teoricamente anãs brancas formadas exclusivamente por hélio, entretanto, o tempo de vida calculado para esse tipo de estrelas é maior que o do próprio Universo, por isso as estrelas existentes ainda se tornarão anãs brancas;
- b) estrelas pouco massivas: Nos seus estágios finais de vida, estrelas de até $2,5M_{\odot}$ passam a formar átomos de carbono e oxigênio em seu núcleo. Com a diminuição de suas massas e a conseqüente diminuição de seu campo gravitacional, essas estrelas tornam-se gigantes. Durante sua expansão, essas estrelas expõem suas camadas exteriores, formando nebulosas planetárias;
- c) estrelas de massa intermediária: Essas estrelas têm uma evolução parecida com as estrelas pouco massivas, depois de sua expansão, deixam para trás apenas o seu núcleo, dando origem a estrelas anãs; e
- d) estrelas massivas: Após ter fundido todo o seu hidrogênio, essas estrelas expandem-se, tornando estrelas supergigantes, nesse período, passam a fundir elementos pesados até que sua gravidade não consiga suportar a força das reações nucleares, quando isso acontece, essas estrelas explodem, lançando o seu conteúdo pelo espaço a velocidades altíssimas.

Tipos de estrelas

Existem diversos tipos de estrelas. Essa designação depende de duas coisas: da classificação espectral, que diz respeito à temperatura da estrela e ao tamanho e massa da estrela. A classificação espectral é dada em cores. Em ordem crescente de temperatura, temos as estrelas vermelhas, laranjas, amarelas, amarelas-brancas, brancas, azuis-brancas e azuis. Essa definição de cores diz respeito ao pico de frequência emitida pela estrela e está relacionada à temperatura de emissão de corpo negro. Como as estrelas produzem quase todas as frequências de radiação simultaneamente, ao olho humano todas parecem-se esbranquiçadas ao serem vistas a olho nu. Confira alguns dos mais importantes tipos de estrelas que existem:

- a) estrelas azuis: São estrelas extremamente quentes, a temperatura de sua superfície pode atingir 30.000 K, são estrelas muito “novas” em comparação com os demais tipos de estrelas. A maioria dessas estrelas foi criada há menos 40 milhões de anos;

- b) anãs amarelas: Assim como o Sol, essas estrelas são muito antigas, existindo há bilhões de anos. O futuro dessas estrelas é o de se tornar uma gigante vermelha;
- c) anãs vermelhas: São as estrelas mais comuns, representam cerca de 73% das estrelas do Universo. Seu brilho é fraco, são estrelas pouco massivas;
- d) gigantes azuis: São estrelas de temperaturas superiores a 10.000 K, muito massivas, podendo apresentar até 250 vezes a massa do Sol;
- e) supergigantes azuis: São raras, extremamente quentes e brilhantes, podem apresentar até mil vezes a massa solar.;
- f) anãs brancas: Essas estrelas são formadas pelos núcleos de outras estrelas que ejetaram suas camadas externas, essas estrelas já não produzem mais fusões nucleares e comumente rotacionam em torno de seus eixos com velocidades muito altas; e
- g) estrelas de nêutrons: São estrelas que foram tão comprimidas que todos os seus prótons e elétrons ejetaram-se em razão da repulsão elétrica. São muito pequenas, têm entre 5 e 15 km de raio e suas temperaturas excedem centenas de milhares de graus Celsius.

Em alguns casos, estrelas supermassivas, com massas superiores a 25 massas solares, podem se colapsar, dando origem aos buracos negros. Os buracos negros não permitem que a luz escape do seu interior em razão de sua enorme gravidade.

ATIVIDADES

Questão 1) De acordo com o estudado e discutido com seus colegas nestas duas aulas. Como você define o que seja uma estrela?

Questão 2) Quando olhamos para o céu noturno observamos uma infinidade de estrelas, cada uma destas estrelas apresenta brilhos diferentes, ou seja, algumas brilham mais que outras. Se estiver em uma região, com ausência de poluição luminosa, zona rural, por exemplo, você pode inclusive observar estrelas com cores diferentes. Agora que você já leu o texto e discutiu com seus colegas os tipos de estrelas existentes. Explique, porque podemos observar estrelas com brilhos e cores diferentes.

Questão 3) As estrelas que compõem nosso universo apresentam características observacionais e espectrais diferentes, isto as tornam únicas, ou seja, a cor e a temperatura das estrelas trazem informações importantes relacionadas a elas. Se você olhar para uma determinada constelação no céu noturno, Órion, por exemplo, como você faria para determinar qual estrela desta constelação é a mais quente e qual seria a mais fria? Responda, levando em consideração o seu conhecimento e o que você leu e discutiu com seus colegas.

Questão 4) As estrelas apesar de terem um período de vida muito longo, este período é limitado. Ou seja, tem um início e um fim que dependerá de sua massa. Como nascem e como morrem as estrelas?

Questão 5) As Supernovas, Estrela de Nêutrons e Pulsares, representam estágios finais de evolução estelar. Como você diferenciaria estes três estágios finais de evolução?

APÊNDICE C - AULA 3: COR, BRILHO E TEMPERATURA DAS ESTRELAS

Introdução: Professor esta aula é dividida em dois momentos. O primeiro momento trata do conceito de cor das estrelas, onde buscamos por meio de um texto retirado da revista Super Interessante, que aborda a cor das estrelas e como o olho humano percebe estas cores, fazendo uma relação entre a Óptica Fisiológica e a Astronomia, além disso, o texto traz importantes informações a respeito da relação entre a cor e a temperatura das estrelas. Ainda neste primeiro momento tem-se um vídeo¹¹ de 4 min e 38 s que aborda o mesmo conceito do texto, trazendo mais informações e imagens que podem ajudar os alunos na compreensão do conteúdo. Finalizando o momento pede-se aos alunos que respondam de forma individual três perguntas que estão no final do texto.

O segundo momento da aula refere-se a um importante conceito que será necessário para a aula 6 que trata do diagrama H-R. Nesta aula tratamos do conceito do brilho das estrelas, mais especificamente a magnitude aparente das estrelas. Para este momento da aula temos dois textos extraídos da revista Super Interessante que trata da magnitude das estrelas e um que traz a definição do conceito de magnitude com um Quadro de exemplos de magnitudes aparentes de objetos celestes para ajudar na compreensão do conteúdo. Finalizando a aula, pede-se aos alunos que se familiarizem com o Software Stellarium, buscando por objetos celestes com diferentes magnitudes.

Objetivo de ensino: Definir que as cores das estrelas estão relacionadas às suas respectivas temperaturas e à percepção que nosso olho tem, e definir o conceito de magnitude, mostrando que podemos classificar os tipos de estrelas segundo seu brilho aparente.

Objetivo de pesquisa: Gerar argumentos científicos sobre a cor e o brilho das estrelas e verificar indícios de AC nestes argumentos.

Objetivo de aprendizagem: Formalizar importantes conceitos da Astrofísica Estelar, quanto à cor e brilhos das estrelas por meio dos textos, vídeos e atividades buscando uma melhora na qualidade das argumentações e favorecendo a AC.

Recursos didáticos: Lousa, computador com o software Stellarium, data show, textos com perguntas, lápis e/ou caneta.

Procedimento metodológico: Dispor os alunos em grupos de 4 a 6 alunos, como nas aulas

¹¹Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=iAMQ5naSKxk>

anteriores, explicar de maneira rápida o que farão nesta aula, explicando que eles trabalharão com dois textos e um vídeo. Primeiro entregar para os alunos o primeiro texto, referente à cor das estrelas, após a leitura e discussão dos alunos, passar o vídeo. Para ajudar na fixação do conteúdo, pedir que os alunos respondam 3 questões. Em seguida entregar para os alunos o segundo texto que traz informações a respeito do brilho das estrelas. Após a leitura, orientar uma discussão sobre a relação do brilho com os valores de magnitudes, a fim de verificar a compreensão do texto.

Tempo: Esta aula terá uma duração de 1 hora e 20 minutos, sendo 5 minutos para explicação do conteúdo da aula. 35 minutos para leitura do texto, discussão entre os alunos, vídeo e respostas das 3 questões. 40 minutos para leitura e discussão do segundo texto. Este tempo pode sofrer variação e ser adequado ao tempo do aluno.

Conteúdo abordado: Esta aula aborda a cor e a temperatura das estrelas e a magnitude estelar, além da utilização do software Stellarium, com uma atividade que será retomada em aulas futuras.

Sugestões e observações: Professor, deixar os alunos livres para construir seus conhecimentos atuando apenas como mediador das discussões. Para a aula 4, entregue os alunos o texto que será utilizado nas discussões, e peça que leiam em casa para a discussão na aula.

TEXTO 1 - A COR DAS ESTRELAS¹²

As estrelas apresentam diferentes colorações: enquanto Rigel, na constelação de Orion, e Spica, na constelação da Virgem, são nitidamente azuladas, a estrela mais luminosa do céu – Sirius -, na constelação do Cão Maior, assim como Vega, na constelação da Lira, brilham na cor branco-azulada; algumas são alaranjadas, como Aldebaran, na constelação do Touro, e Arcturus, na constelação do Boieiro; e outras, ainda, são avermelhadas, como Antares, na constelação do Escorpião. Estas estrelas, de primeira grandeza, são as únicas que permitem ao olho humano perceber a variação de sua tonalidade cromática.

No interior do órgão receptor de radiação luminosa – o olho humano, composto de uma lente, o cristalino, que focaliza a luz recebida num anteparo sensível, a retina, estão as dificuldades de percepção das cores das estrelas. A retina possui dois tipos de células receptoras,

¹²Texto extraído da revista Super Interessante, publicado em 31 out. 2016. Fonte: <https://super.abril.com.br/tecnologia/a-cor-das-estrelas/> Acesso em: 7 jan. 2020.

sensíveis à luz: os bastonetes e os cones, que se comunicam através do nervo óptico com os neurônios do cérebro. Existe uma maior proporção de bastonetes na periferia; ao contrário do que ocorre com os cones, que se concentram na região central da retina.

Os cones distinguem as cores, enquanto os bastonetes são sensíveis à intensidade luminosa, percebendo-a em diversas tonalidades de cinza, do claro ao escuro. Os bastonetes são muito mais sensíveis do que os cones, que somente agem em presença de uma radiação luminosa suficientemente intensa. Assim, quando observamos as estrelas, a sua luz aciona a fotossensibilidade dos bastonetes sem, no entanto, excitar os cones. Em consequência, as cores das estrelas – em especial as mais tênues – não são notadas: apesar de coloridas, elas não se destacam em virtude de uma deficiência fisiológica natural do olho humano.

Outro dado que dificulta a percepção da cor das estrelas é o fato de que as observações ocorrem à noite, quando a pupila do olho se encontra totalmente dilatada para recolher o máximo de energia luminosa. Como resultado, a imagem formada pelo olho à noite é de qualidade inferior à obtida à luz do dia, a deformação chamada aberração cromática cria minúsculos arco-íris ao redor de cada estrela. A abertura da pupila, porém, não é o único processo de adaptação ao escuro: os bastonetes e os cones também se tornam gradativamente mais sensíveis, embora cada um se adapte com velocidades diferentes. Após dez minutos na escuridão, os cones tornam-se quarenta vezes mais sensíveis, mas ficam nisso; os bastonetes, ao contrário, continuam se adaptando até ficar centenas de vezes mais sensíveis que os cones. À medida que a vista se acomoda ao escuro, como os bastonetes são mais sensíveis ao azul, fica mais difícil distinguir luzes vermelhas do que luzes azuis igualmente tênues. Esse é o efeito Purkinje, assim chamado em homenagem ao fisiologista experimental checo Jan Evangelista Purkinje (1787-1869). Explica a predominância das cores azuis sobre as vermelhas nas estrelas. Por esse motivo, os astrônomos usam lâmpadas vermelhas durante a observação, pois essa luz absolutamente não afeta a adaptação dos bastonetes à escuridão.

Independentemente de como um olho humano pode percebê-la a cor de uma estrela se relaciona com a temperatura de sua superfície. As estrelas relativamente frias, cuja temperatura fica em torno dos 3.000 Kelvin (3.273 °C), parecem vermelhas; as amarelas, como o Sol, possuem temperatura superficial de cerca de 6.000 Kelvin e, finalmente, as de cor branco-azulada apresentam temperaturas superiores a 10 000 Kelvin. A coloração das estrelas é provocada pela distribuição da energia emitida no espectro luminoso: quanto maior a temperatura, a energia se desloca para os comprimentos de onda mais curtos (em direção ao azul), aumentando a luminosidade. Assim, entre 3.000 e 4.000 Kelvin, a maior quantidade da energia irradiada está na região do infravermelho e a estrela parecerá vermelha. Por outro lado,

acima dos 10.000 Kelvin, a energia emitida estará na região do ultravioleta e do azul, dando esta coloração a estrela.

ATIVIDADES

Questão 1) Qual relação há entre a temperatura das estrelas e sua cor observável?

Questão 2) É possível que exista uma estrela verde? Justifique sua resposta.

Questão 3) Agora que você possui informações adicionais sobre o brilho, temperatura e cor das estrelas responda a questão e explique o que você mudaria nas suas respostas anteriores. Gere um argumento que possua pelo menos, um dado, uma justificativa e uma conclusão.

Questão 4) As estrelas que compõem nosso universo apresentam características observacionais e espectrais diferentes, isto as tornam únicas, ou seja, a cor e a temperatura das estrelas trazem informações importantes relacionadas a elas. Se você olhar para uma determinada constelação no céu noturno, Órion, por exemplo, como você faria para determinar qual estrela desta constelação é a mais quente e qual seria a mais fria?

TEXTO 2 - O BRILHO DAS ESTRELAS¹³

MAGNITUDE DAS ESTRELAS: A RÉGUA QUE MEDE O BRILHOS DOS ASTROS¹⁴

História da compilação das estrelas e como foram classificadas, sempre de acordo com seu brilho

Há 22 séculos, o grego Hiparco tornou-se o primeiro a compilar um catálogo de 850 estrelas e a classificá-las de acordo com o brilho, numa medida que ele denominou magnitude. Sabe-se que ele as dividiu em seis grupos e no primeiro deles colocou as vinte estrelas que apareciam logo após o anoitecer. Eram os astros de primeira magnitude. Na sexta magnitude, reuniu os astros mais fracos. Seja como for, hoje conhecemos o brilho de 6 milhões de estrelas variáveis e temos catálogos com 15 milhões de estrelas de magnitude acima de 15, além de 4 milhões de galáxias.

Esse sistema sofreu uma única reforma, em 1856, quando se notou que a luz das estrelas de sexta magnitude era cerca de 100 vezes menos intensa que a das de primeira. Ou seja, se a magnitude dá um salto de cinco, a intensidade dá um salto de 100. Assim, se um binóculo capta 100 vezes mais luz que o olho, permite ver estrelas de magnitude 11. Com o telescópio do Monte Palomar (5 metros de diâmetro), veem-se estrelas de magnitude 20: 400 000 vezes mais fracas do que aquelas visíveis a olho nu. Nos astros mais brilhantes, a magnitude fica negativa. Sirius, a estrela mais brilhante, tem magnitude -1. O planeta Vênus chega a ter -5 e a Lua cheia -13. Desenhos pré-históricos indicam que o brilho de algumas supernovas (estrelas que explodem) rivalizou com o da Lua. Ao avaliar astros extensos, como cometas e galáxias, é melhor usar a magnitude por área (a unidade de área é o segundo quadrado de arco). O cometa Halley ajuda a entender a razão: seu brilho total (3,5) foi igual ao da estrela Intrometida, do Cruzeiro do Sul, mas ficou quase invisível porque sua luz espalhava-se em área extensa. Em Monte Palomar detectam-se galáxias de até 23 magnitudes por segundo de arco. Esse limite acaba de subir para 28, e isso em telescópios menores, de 4 metros. É um recorde promissor, pois a maior parte das galáxias é de anãs. Além desse nível, não se pode avançar muito:

¹³Texto extraído da revista Super Interessante de 31 out. 2016.

¹⁴Fonte: <https://super.abril.com.br/tecnologia/magnitude-das-estrelas-a-regua-que-mede-o-brilho-dos-astros/> Acesso em: 7 jan. 2020.

teoricamente, em magnitude 32 o fundo do céu pareceria um anjo luminoso onde nenhum astro se distinguiria de outro. Atingiríamos o chamado limite da confusão.

Leitura complementar:

Magnitude é a escala logarítmica do brilho de um objeto utilizada na astronomia, medida em um determinado comprimento de onda, geralmente em comprimentos de onda óticos ou infravermelho próximo.

É importante salientar que existem diferentes tipos de magnitudes: Aparente, Absoluta e Bolométrica, porém no nosso MC necessitamos apenas da magnitude aparente, que é definida como um número que mede o brilho de um Astro visto por um observador da Terra. A escala de magnitudes é uma escala logarítmica, assim a magnitude aparente é dada pela Eq. (1).

$$m_2 - m_1 = 2,5 \log \frac{I_1}{I_2} \quad (1)$$

Em que:

m_1 e m_2 representam as magnitudes de dois objetos que possuem intensidade (brilho) I_1 e I_2 .

Porém, caro aluno, não se preocupe com a fórmula ou com sua dedução, ela não é objetivo do nosso MC.

Usando esta fórmula, a escala de magnitude pode ser estendida para além da antiga faixa de magnitude 1 - 6, e torna-se uma medida precisa de brilho ao invés de um simples sistema de classificação. Astrônomos podem agora medir diferenças tão pequenas quanto um centésimo de uma magnitude. Magnitudes também podem ser calculadas para objetos distantes mais brilhantes do que estrelas (como o sol e a lua), e para objetos de brilho muito fraco para que o olho humano possa ver (como Plutão) (Quadro C).

Quadro C - Magnitudes para objetos com o Telescópio Espacial Hubble (continua)

Magnitude aparente	Brilho relativo à magnitude 0	Exemplo
-27	6.3×10^{10}	Sol
-13	1.6×10^5	Lua Cheia
-9	4.0×10^3	Flare de Iridium
-7	630	Supernova SN 1006
-6	250	Estação Espacial Internacional (máx)
-5	100	Vênus (máx)

Quadro C - Magnitudes para objetos com o Telescópio Espacial Hubble (conclusão)

Magnitude aparente	Brilho relativo à magnitude 0	Exemplo
-3	16	Júpiter (máx)
-2	6.3	Mercúrio (máx)
-1	2.5	Sírius
0	1.0	Vega
1	0.40	Antares
2	0.16	Polaris
8	6.3×10^{-4}	Netuno (máx)
13	6.3×10^{-6}	quasar 3C 273
14	2.5×10^{-6}	Plutão (máx)
16	4.0×10^{-7}	Caronte (máx)
21	4.0×10^{-9}	Calíroo (pequeno satélite de Júpiter)
25	1.0×10^{-10}	Fenrir (pequeno satélite de Saturno)
27	1.6×10^{-11}	Limite da luz visível do telescópio de 8m baseados na Terra
32	1.6×10^{-13}	limite da luz visível do Telescópio Espacial Hubble

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de [https://pt.wikipedia.org/wiki/Magnitude_\(astronomia\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Magnitude_(astronomia)).
Acesso em: 7 jan. 2020.

ATIVIDADE

Stellarium é um software livre de astronomia para visualização do céu nos moldes de um planetário. Foi pedido na aula passada que vocês instalassem e se familiarizassem com tal software em casa. Agora utilizando o software previamente instalado, busque por objetos celestes (estrelas, galáxias etc.) que possuam magnitudes negativas e positivas.

Divirta-se, use este momento para melhor se familiarizar com o Software.

APÊNDICE D - AULA 4: NASCIMENTO, VIDA E MORTE DAS ESTRELAS

Introdução: Professor, esta aula requer que os alunos façam uma prévia leitura do material em casa, pois o tempo da aula não é suficiente para fazer a leitura e atividades. Nesta aula tratamos de um importante assunto que os ajudará na aula 5 na qual trataremos do Diagrama H-R. A classificação espectral é uma importante variável na construção deste diagrama, então busque não deixar dúvidas esclarecendo as que tem e deixando mais para que os alunos possam estudar.

Objetivo de ensino: Definir a classificação estelar, descrevendo o que é a espectroscopia, o que é um espectro estelar e os tipos espectrais.

Objetivo de pesquisa: Não há.

Objetivo de aprendizagem: Formalizar a classificação estelar por meio do texto proposto, dos vídeos e das atividades realizadas. Além disso, melhor compreender a relação entre temperatura, cor, e classe espectral das estrelas.

Recursos didáticos: Lousa, data show, computador, software Stellarium, texto, perguntas, lápis e/ou caneta.

Procedimento metodológico: Assim que os alunos chegarem acomode-os em um grande grupo para que façam uma breve discussão do material cuja leitura foi feita em casa. Faça perguntas aos alunos de forma a orientar a discussão. Ajude-os a tirar suas dúvidas entre si, se necessário responda algumas dúvidas, mas sempre lançando uma nova pergunta para gerar novas dúvidas e assim alimentar as discussões. Em seguida, passe os dois vídeos o primeiro¹⁵ de 6 minutos e 48 segundos, que trata da luz, espectros e sua obtenção, e o segundo¹⁶, que trata da classe espectral das estrelas. Os vídeos têm como objetivo esclarecer possíveis dúvidas quanto a espectroscopia e a classificação espectral das estrelas. Após assistirem os vídeos, peça aos alunos que façam a atividade proposta.

Tempo: Esta aula tem duração de uma hora. Sendo 20 minutos para debate inicial e 40 minutos para assistirem os vídeos e fazerem a atividade.

Conteúdo abordado: Esta aula aborda a classificação espectral das estrelas, tratando da espectroscopia, espectros estelares e tipos espectrais das estrelas.

Sugestões e observações: Professor, esta aula é importante para a aula seguinte, na qual

¹⁵Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=LBl4iCSYS8> Acesso em: 8 jan. 2020.

¹⁶Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=OS2Kt3ViqE> Acesso em: 8 jan. 2020.

trataremos do Diagrama H-R. Então, é importante que os alunos não fiquem com dúvidas, se necessário explique o conteúdo mais a fundo, mostrando o que é um corpo negro, quais informações podemos tirar dos espectros estelares, entre outras que possam surgir, mas lembre-se você é apenas um mediador, ao invés de tirar as dúvidas, que tal deixar mais dúvidas!

TEXTO: CLASSIFICAÇÃO ESTELAR

Vamos agora estudar a classificação das estrelas levando em consideração suas características espectrais e correlacionando com a cor e temperaturas das estrelas. Esta classificação será utilizada na aula 5, quando iremos estudar o diagrama H-R, e nos possibilitará construirmos nosso próprio diagrama H-R com as estrelas coletadas na aula 3, faremos isso na aula 6.

Antes de iniciarmos precisamos lembrar dos nossos estudos anteriores, no qual correlacionamos a cor à temperatura das estrelas, ou seja, estrelas azuis possuem temperaturas maiores que estrelas vermelhas. Por exemplo, observando a Figura D1, podemos dizer com certeza que a estrela α da constelação de Orion, possui temperatura menor que a β da mesma constelação.

Figura D1 – Constelação de Órion



Fonte: Observatórios virtuais – Fundamentos de Astronomia – Cap. 10.

Tudo bem, podemos estabelecer esta relação, mas como podemos classificar estas estrelas, qual a massa e tamanho destas estrelas. Para melhor descrever estas estrelas precisamos analisar seus espectros estelares.

Assim nesta aula estudaremos:

- a) O que é a espectroscopia?
- b) O que são espectros estelares?
- c) Quais os tipos espectrais das estrelas?

Então vamos lá. Bons estudos!

O que é a espectroscopia?

Uma carga em repouso gera um campo elétrico em sua volta. Se esta carga estiver em movimento, o campo elétrico, em uma posição qualquer, variará no tempo e gerará um campo magnético que também varia com o tempo. Estes campos, em conjunto, constituem uma onda eletromagnética, que se propaga mesmo no vácuo. O físico escocês James Clerk Maxwell (1831-1879) demonstrou que a luz é uma onda eletromagnética, unificando a eletricidade, o magnetismo e a luz, em seu artigo de 1865.

A intensidade da luz em diferentes comprimentos de onda, chamamos de espectro. Quase toda informação sobre as propriedades físicas das estrelas é obtida direta ou indiretamente de seus espectros, principalmente suas temperaturas, densidades e composições.

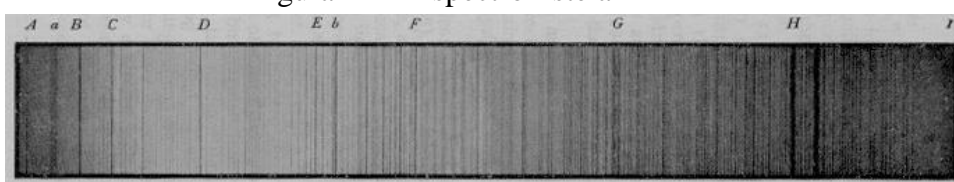
Espectroscopia é a técnica de aferimento de dados físico-químicos através da transmissão, absorção ou reflexão da energia radiante incidente em uma amostra. Sua origem encontra-se no estudo da luz visível dispersa de acordo com seu comprimento de onda, por exemplo, por um prisma.

O físico inglês Isaac Newton (1643-1727) demonstrou em 1665 que a luz branca, como a luz do Sol, ao passar por um prisma se decompõe em luz de diferentes cores, formando um espectro como o arco-íris.

Em 1802, o médico, químico e físico inglês William Hyde Wollaston (1766-1828) usava o índice de refração da luz atravessando uma substância para testar a pureza dos óleos e outras substâncias. Ele observou que, passando a luz solar por uma fenda e depois por um prisma, apareciam algumas linhas escuras no espectro, que ele interpretou erroneamente como o limite das cores. Ele desenvolveu um método comercialmente viável para separar a platina do minério, descobriu o paládio (um metal branco como a platina) em 1802 e o ródio (também um metal do grupo da platina) em 1804, e inventou o prisma de Wollaston, com dois prismas de calcita ortogonais, que separam a luz polarizada em dois feixes com polarizações ortogonais,

usado em polarimetria. As linhas são imagens da fenda do espectrógrafo em diferentes comprimentos de onda. Até 1820, o fabricante de instrumentos de vidro (lentes, prismas, microscópios e telescópios) alemão Joseph Ritter von Fraunhofer (Fraunhofer) (1787-1826), de Munique, inventor do espectroscópio, já havia contado 574 linhas escuras no espectro solar, chamadas depois de linhas de Fraunhofer. Para 324 destas linhas, Fraunhofer deu o nome de letras maiúsculas: A, B, C ... para as linhas mais fortes e minúsculas para as mais fracas, começando com A no vermelho (Fig. D2).

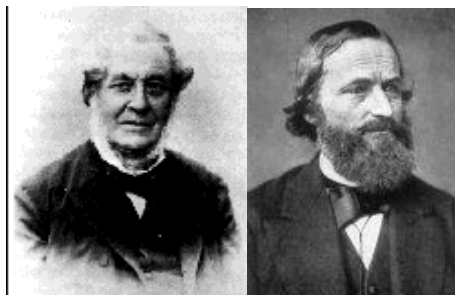
Figura D2 – Espectro Estelar



Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/rad/espec/espec.htm#classificacao>. Acesso em: 8 jan. 2020.

Fraunhofer também observou linhas nos espectros das estrelas Sirius, Castor, Pollux, Capella, Betelgeuse e Procyon. Na verdade, Fraunhofer utilizava as linhas do espectro solar para calibrar seus instrumentos (vidros e prismas), que eram os de melhor qualidade fabricados naquela época. Como pequenas variações na quantidade e mistura de quartzo (SiO_2), cal (CaO) e soda (carbonato de sódio, Na_2CO_3) que compõem o vidro (basicamente SiO_4) fazem que os prismas fabricados desloquem o comprimento de onda em diferentes ângulos, Fraunhofer usava as linhas do espectro solar para determinar as propriedades dos vidros. Apresentando seus resultados na Academia de Ciências da Bavária, foi eleito membro e ministrou aulas na Universidade da Bavária apesar de não possuir educação formal. Morreu aos 39 anos, provavelmente envenenado pelos vapores de metais pesados, como outros fabricantes de vidro da época (Fig. D3).

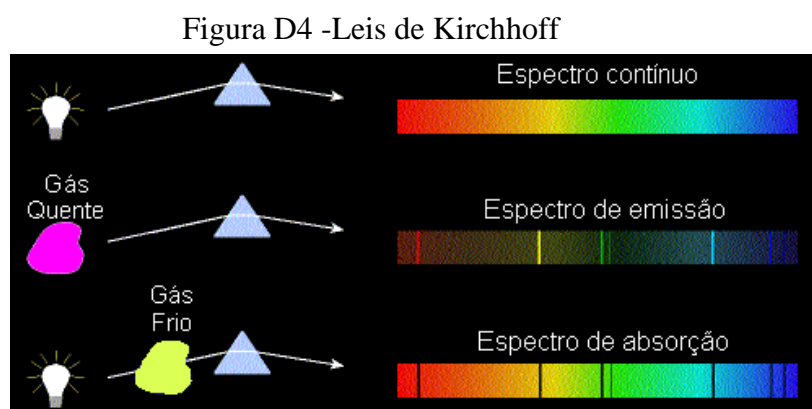
Figura D3 - Bunsen & Kirchhoff



Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/rad/espec/espec.htm#classificacao>. Acesso em: 8 jan. 2020.

Em 1856, o químico alemão Robert Wilhelm Eberhard Bunsen (1811-1899) inventou o bico de gás (bico de Bunsen), cuja vantagem era a de ter chama incolor. Quando um elemento químico era colocado sobre a chama, as cores emitidas eram as da substância, e não da chama. Bunsen tinha um colaborador mais jovem, o físico Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887). Kirchhoff já havia formulado as leis que governam as voltagens e correntes em circuitos elétricos, que levam seu nome, em 1845. Em 1856, Kirchhoff sugeriu que as cores seriam mais bem distinguidas se passadas através de um prisma. Eles colocaram um prisma na frente de um conjunto de lentes e passaram a identificar as linhas com os elementos químicos. Os gases quentes observados por Kirchhoff e Bunsen não emitiam um espectro contínuo. Eles descobriram que cada elemento gerava uma série de linhas diferentes. Por exemplo, o neônio tinha linhas no vermelho (por isto um cartaz de neon é vermelho), o sódio tinha linhas no amarelo e o mercúrio tinha linhas no amarelo e no verde.

Estas linhas eram todas brilhantes, enquanto as linhas de Fraunhofer eram escuras. Kirchhoff queria confirmar que as linhas escuras D descobertas por Fraunhofer eram linhas de sódio. Para isto ele passou a luz do Sol através de uma chama de sódio, esperando que as linhas do sódio preenchessem as linhas escuras do Sol. Para sua surpresa, as linhas D ficavam mais fortes, mais escuras. Ele então substituiu o Sol por um sólido quente. A luz do sólido que passava pela chama apresentava as mesmas linhas escuras do Sol, na posição das linhas do sódio. Ele então concluiu que o Sol era um gás ou sólido quente, envolto por um gás mais frio. Estas camadas mais frias é que produziam as linhas escuras do Sol. Comparando o espectro, ele descobriu linhas de Mg, Ca, Cr, Co, Zi, Ba e Ni no Sol (Fig. D4).



Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/rad/espec/espec.htm#classificacao>. Acesso em: 8 jan. 2020.

De suas experiências, Kirchhoff formulou as três leis empíricas da espectroscopia, para determinar a composição de uma mistura de elementos:

- a) um corpo opaco quente, sólido, líquido ou gasoso, emite um espectro contínuo;
- b) um gás transparente produz um espectro de linhas brilhantes (de emissão). O número e a posição destas linhas dependem dos elementos químicos presentes no gás; e
- c) se um espectro contínuo passar por um gás à temperatura mais baixa, o gás frio causa a presença de linhas escuras (absorção). O número, e a posição destas linhas dependem dos elementos químicos presentes no gás.

Espectros estelares

O ano de 1869 é um marco na história do desenvolvimento da astronomia. Foi neste ano que surgiu uma das mais importantes técnicas de observação astronômica, que revolucionou o estudo dos corpos celestes. Neste ano foi criada a espectroscopia estelar. Tudo começou quando um astrônomo italiano, o jesuíta Ângelo Secchi, acoplou ao seu telescópio um espectroscópio e decidiu observar as estrelas. O resultado imediato foi a descoberta de que várias estrelas mostravam linhas de absorção riscando seus espectros.

Com base em suas observações, Secchi foi o primeiro astrônomo a classificar os espectros estelares em tipos espectrais, de acordo com a aparência que eles tinham. Seus resultados foram publicados no seu livro "Le Stelle". No entanto a classificação apresentada pelo jesuíta Secchi era feita puramente em termo da aparência do espectro, pois a ciência do século XIX não sabia explicar como as linhas espectrais de um elemento químico particular são afetadas pela temperatura e densidade do gás. Mesmo assim, já havia um grande conhecimento acumulado sobre os espectros produzidos pelos vários elementos químicos. As pesquisas de Robert Bunsen e Gustav Kirchhoff tinham mostrado que as linhas espectrais são causadas por produtos químicos. Assim, os astrônomos que desenvolveram o campo pioneiro da espectroscopia estelar já sabiam que os espectros das estrelas deviam conter importantes informações sobre sua composição química.

A astrofísica considera que as estrelas são, aproximadamente, "corpos negros". Conseqüentemente, seu espectro deve ser o de um "corpo negro", ou seja, um espectro contínuo. Este espectro contínuo de radiação, ou continuum, é produzido nas regiões mais profundas da atmosfera da estrela onde os gases são densos e quentes. Então porque os astrônomos estavam observando linhas de absorção no espectro estelar? Sabemos que, de acordo com a terceira lei de Kirchhoff, as linhas de absorção são observadas quando o espectro de um objeto brilhante, quente, é visto após atravessar um gás frio. Como isso podia acontecer em uma "bola de gás" com temperaturas tão altas? O fato é que à medida que a radiação produzida pela estrela se

move para fora dela obrigatoriamente ela terá que passar através das camadas menos densas, e mais frias, da atmosfera superior da estrela. Nestas camadas, os átomos absorvem radiação em comprimentos de onda específicos, produzindo, por conseguinte, as linhas espectrais de absorção que os astrônomos observam. Temos aqui exatamente o mesmo fenômeno já descrito ao falarmos sobre a formação de espectros com linhas de absorção: uma fonte quente (o interior da estrela) emite um espectro contínuo e esta radiação é obrigada a passar por um gás de temperatura mais baixa (a atmosfera da estrela), onde as linhas são formadas.

Quando você é apresentado a um conjunto de espectros estelares, a primeira sensação é que se trata de algo muito confuso. Alguns mostram as linhas de Balmer do hidrogênio (H) de uma maneira proeminente. Outros espectros exibem várias linhas de absorção de cálcio (Ca) e ferro (Fe). Outros ainda são dominados por grandes características de absorção causadas por moléculas tais como a do óxido de titânio (TiO). Para lidar com esta diversidade, os astrônomos reuniram espectros de aparência similar em classes espectrais. Este trabalho pioneiro foi realizado, no início do século XX, por um grupo de astrônomos sob a supervisão de Edward C. Pickering no Harvard College Observatory. Foram eles que iniciaram um monumental projeto de examinar os espectros já obtidos de milhares de estrelas. O objetivo deles era desenvolver um sistema de classificação espectral no qual todos os aspectos espectrais, e não somente as linhas de Balmer, variavam suavemente de uma classe espectral para a próxima.

Uma grande parte deste trabalho foi realizada por Annie Jump Cannon (1863-1941) que, sozinha, classificou os espectros de mais de 250000 estrelas. O projeto de classificação espectral de Pickering foi financiado por Henry Draper, um rico físico e astrônomo amador que, em 1872, foi o primeiro a fotografar as linhas de absorção estelares.

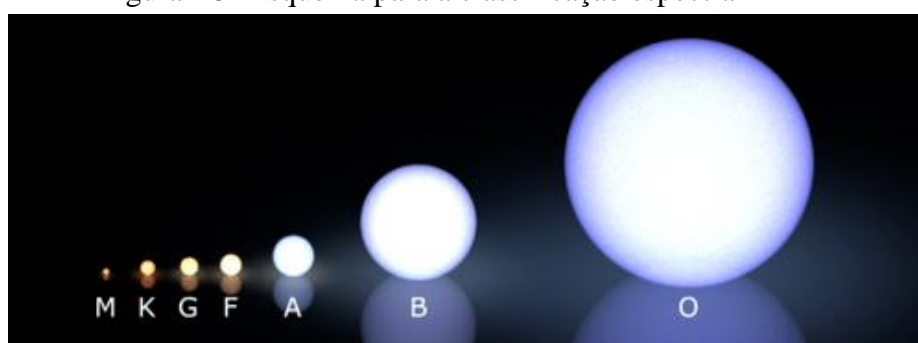
Tipos espectrais

No meio do século passado, quando ainda não se compreendia como os átomos produziam linhas espectrais, as primeiras classificações das estrelas foram baseadas nas intensidades das linhas do hidrogênio. Foi adotada a sequência A,B,C...P, para a nomenclatura das classes espectrais, onde estrelas tipo A tinham as mais fortes linhas de hidrogênio, cujas intensidades diminuía até chegar no tipo P. Com o melhor entendimento dos subníveis da estrutura atômica, que foi possível por volta de 1920, um novo esquema foi adotado para a classificação espectral, que estabelecia uma sequência mais significativa em função da temperatura da estrela. Assim, algumas letras foram suprimidas e a ordem alterada, resultando em O,B,A,F,G,K,M (Fig. D5).

As estrelas de tipo mais próximo de O, no início da sequência são chamadas estrelas de primeiros tipos (do inglês *early type*), enquanto os tipos mais próximos de M, no final da sequência são chamados tipos tardios (*late type*). Cada tipo é subdividido em 10 grupos, de 0 (primeiros) a 9 (tardios), como por exemplo: ...F8, F9, G0, G1, G2...G9.

Como a primeira sequência a ser adotada internacionalmente foi desenvolvida no Observatório de Harvard em 1910, por Annie J. Cannon e seus colaboradores, essa sequência recebe o nome de Classificação de Harvard (Quadro D1).

Figura D5- Esquema para a classificação espectral



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Classifica%C3%A7%C3%A3o_estelar. Acesso em: 8 jan. 2020.

Quadro D1 - Classificação Espectral de Harvard

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

Fonte: https://ppgenfis.if.ufrgs.br/mef008/mef008_02/Claudia/classificacaoespectral.html. Acesso em: 8 jan. 2020.

Para diferenciarmos as estrelas de mesmo tipo espectral, recorreremos às medidas das linhas espectrais. Assim recorreremos às classes de luminosidade. A classificação espectral de Harvard só leva em conta a temperatura das estrelas. Em 1943, William Wilson Morgan (1906 - 1994), Philip C. Keenan (1908) e Edith Kellman, do Observatório de Yerkes, introduziram as seis diferentes classes de luminosidade, baseados na largura das linhas espectrais. Verifica-se que quanto mais larga é a linha, menor é a gravidade superficial e maior é a estrela (Quando 2).

Quadro D2 - Classificação de Luminosidade das estrelas

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

Fonte: http://www.if.ufrgs.br/mpef/mef008/mef008_02/Claudia/classificacaodeluminosidade.html
Acesso em: 8 jan. 2020.

Fontes: Elaborado pelo autor, adaptados de:

1) <https://www.infoescola.com/fisica/espectroscopia/> Acesso em 8 jan. 2020.

2) <http://astro.if.ufrgs.br/rad/espec/espec.htm#classificacao>

3)

file:///R:/DAE3/WEB/EAD_2013/site/conteudo/cap13-espectros-estelares/classes-espectrais.html

4) Observatórios virtuais – Fundamentos de Astronomia – Cap. 10

ATIVIDADES

Questão 1) Kirchoff formulou três leis empíricas da espectroscopia, para determinar a composição de uma mistura de elementos, que emitem espectros contínuos, de emissão ou de absorção. Uma estrela possui qual tipo de espectro? Justifique.

Questão 2) Por que os astrônomos observam linhas de absorção no espectro estelar?

Questão 3) Qual a classe espectral de uma estrela que possui as seguintes características:

a) Vermelha, Fria, supergigante superluminosa.

b) Azulada, quente, gigante luminosa.

c) Branca, quente, anã.

Questão 4) Usando o software Stellarium, qual a magnitude das seguintes estrelas:

a) Canopus:

b) Ginan:

c) Tiaki:

As questões 5 e 6, são para um catálogo estelar, o qual vocês utilizarão na aula 6. Assim as estrelas da questão 5 devem ser diferentes das estrelas da questão 6.

Questão 5) Usando o software Stellarium, catalogar:

- a) 5 estrelas de tipo espectral **O**;
- b) 5 estrelas de tipo espectral **B**;
- c) 5 estrelas de tipo espectral **A**;
- d) 5 estrelas de tipo espectral **F**;
- e) 5 estrelas de tipo espectral **G**;
- f) 5 estrelas de tipo espectral **K**; e
- g) 5 estrelas de tipo espectral **M**.

Escreva também suas respectivas magnitudes

Questão 6) Ainda usando o Stellarium, catalogue:

- a) 5 Estrelas de magnitude negativa;
- b) 5 estrelas de magnitude entre 0-1;
- c) 5 estrelas de magnitude entre 1-2;
- d) 5 estrelas de magnitude entre 4-5;
- e) 5 estrelas de magnitude entre 7 e 8; e
- f) 5 estrelas de magnitude entre 11 e 12.

Escreva também seus tipos espectrais.

APÊNDICE E - AULA 5: NASCIMENTO, VIDA E MORTE DAS ESTRELAS

Introdução: Esta aula tem como objetivo definir o Diagrama H-R, mostrando aos alunos o que representa cada elemento do diagrama, tal como, Sequência Principal, ramo das gigantes vermelhas, supergigantes e anãs brancas. Nesta aula os alunos devem correlacionar às aulas anteriores, com a posição de cada estrela no Diagrama H-R. É importante que os alunos entendam a origem do Diagrama H-R e todos os ramos ali representados, compreendendo que cada um destes ramos possui estrelas específicas e que estes ramos representam estágios passageiros que uma estrela possa ocupar ao longo de sua vida. Pois nas aulas seguintes serão tratados do processo de evolução estelar, mostrando as trajetórias evolutivas de protoestrelas no Diagrama H-R.

Objetivo de ensino: Definir o que é o Diagrama H-R e cada ramo deste importante elemento da Astrofísica Estelar.

Objetivo de pesquisa: Analisar a capacidade de argumentação e síntese de informações ao catalogar diferentes tipos de estrelas, que farão parte de cada ramo do Diagrama H-R, com isso analisar se até o momento está havendo AC.

Objetivo de aprendizagem: Determinar com base nas características observacionais das estrelas, quais estrelas pertencem a cada ramo do Diagrama H-R.

Recursos didáticos: Texto, perguntas, lápis e/ou caneta, computador com software Stellarium.

Procedimento metodológico: Professor receba os alunos coloque-os em grupo, explique de forma rápida do que se trata a aula, e qual o objetivo da aula. Em seguida dê aos alunos o texto e peça que façam uma leitura cuidadosa e anotando todas as possíveis dúvidas que venham a ter, em seguida peça que tentem tirar as dúvidas uns dos outros, dialogando em grupo e fique a disposição para possíveis esclarecimentos. Em seguida, peça que liguem seus computadores e abram o software Stellarium, dê a eles a atividade, e deixe que façam sozinhos todas as dúvidas e discussões neste momento devem ser tiradas e feitas entre eles. No final, peça que façam uma grande roda e discuta com eles suas respostas, ou seja, peça a eles que argumentem do porquê suas estrelas devem estar em cada ramo do Diagrama H-R. Neste momento você professor pode questionar ou concordar com os alunos a respeito de suas classificações.

Tempo: Esta aula requer uma hora e meia. Esta aula requer 5 min para explicação do conteúdo e objetivo da aula. 25 minutos para leitura e discussão do texto entre os alunos e tirar dúvidas

com o professor. 40 minutos para a realização da atividade e 20 minutos para a discussão em grande roda.

Conteúdo abordado: O Diagrama H-R.

Sugestões e observações: Professor deixe os alunos livres para lerem e discutirem o assunto, leve os alunos a relacionar as aulas anteriores com o que já foi trabalhado com eles. Ajude-os se necessário.

TEXTO: O DIAGRAMA H-R

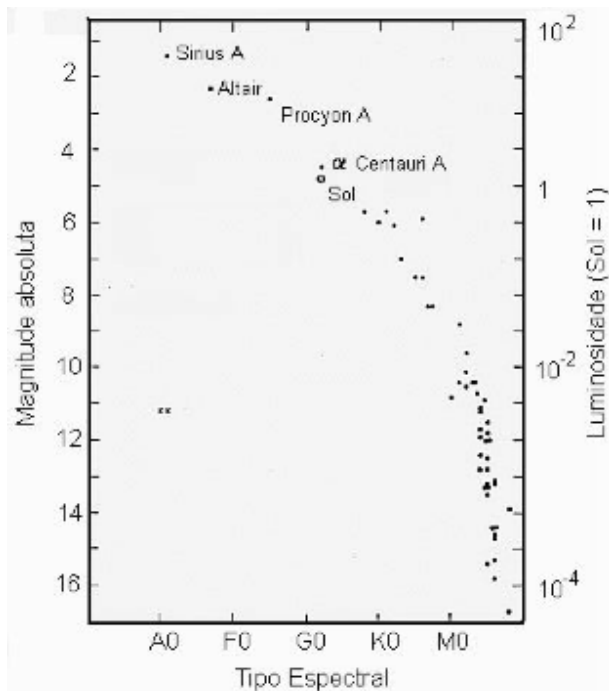
E. Hertzsprung descobriu em 1905 que a largura das linhas espectrais era correlacionada com o brilho intrínseco das estrelas. Considerando uma amostra de estrelas de temperaturas superficiais semelhantes (mesma classe espectral), ele verificou que aquelas de linhas estreitas eram mais brilhantes que as estrelas com linhas largas.

Lembrando que o brilho depende da temperatura e do raio da estrela, deduz-se então que as diferenças nas linhas espectrais devam ser causadas pelas diferenças nos raios estelares.

Num trabalho independente, utilizando dados diferentes, H. Russel chegou a uma interpretação semelhante, encontrando que a magnitude absoluta (diretamente ligada à luminosidade) é bem correlacionada com o tipo espectral. Ele graficou esses parâmetros para os aglomerados das Plêiades e das Híades.

Hoje em dia, gráficos desse tipo para grupos de estrelas recebem o nome de **Diagrama Hertzsprung-Russel** (ou H-R) (Fig. E1), onde se convencionou colocar a magnitude absoluta (ou luminosidade) no eixo vertical e a sequência de tipos espectrais (ou temperatura) no eixo horizontal. Neste caso, a escala de temperatura é invertida, onde temperaturas maiores ficam à esquerda do gráfico e as menores ficam à direita.

Figura E1 - Diagrama Hertzsprung-Russel (ou H-R)

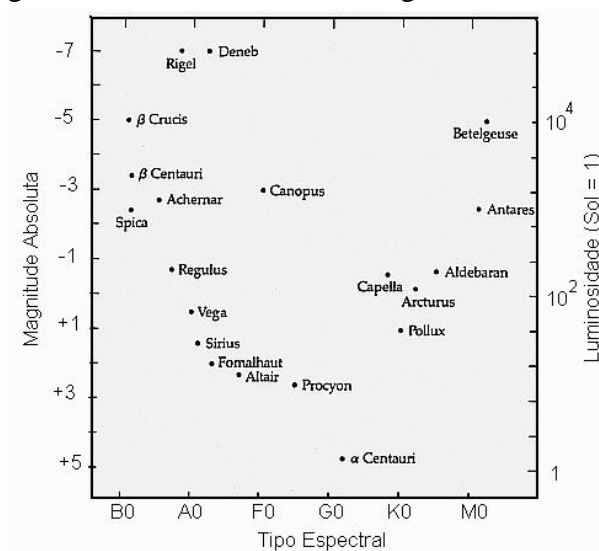


Fonte: Apostila Telescópio na Escola, Cap. 10: Estrelas: Classificação Espectral.

Considere o Diagrama H-R, onde aparecem as estrelas mais próximas do Sol. Notamos que várias estrelas são bem mais frias e menos brilhantes que o Sol. A estrela Alfa do Centauro tem praticamente a mesma temperatura e luminosidade que o Sol e Sirius é bem mais quente e luminosa. Se traçarmos uma linha entre os pontos, desde Sirius até as estrelas mais frias, teremos identificado a região chamada **sequência principal**, uma fase evolutiva em que a maioria das estrelas se encontra.

Por outro lado, se incluirmos outras estrelas muito brilhantes no Diagrama H-R, como é mostrado na Figura abaixo, notamos uma significativa mudança na distribuição de pontos. Vemos por exemplo, Betelgeuse, uma estrela muito mais fria que o Sol, mas de raio muito maior, o que garante a sua maior luminosidade. Dessa forma, as estrelas podem ser separadas no diagrama H-R de acordo com sua categoria. Enquanto o Sol é considerado uma estrela gigante luminosa, Betelgeuse é uma supergigante; já as estrelas muito quentes, mas muito menores que o Sol, localizadas na região direita, próxima da base do Diagrama H-R, formam a categoria das anãs brancas (Fig. E2).

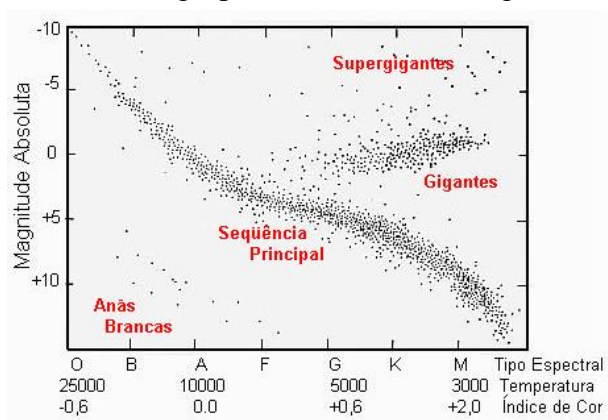
Figura E2 - Anãs brancas no Diagrama H-R



Fonte: Apostila Telescópio na Escola, Cap. 10: Estrelas: Classificação Espectral.

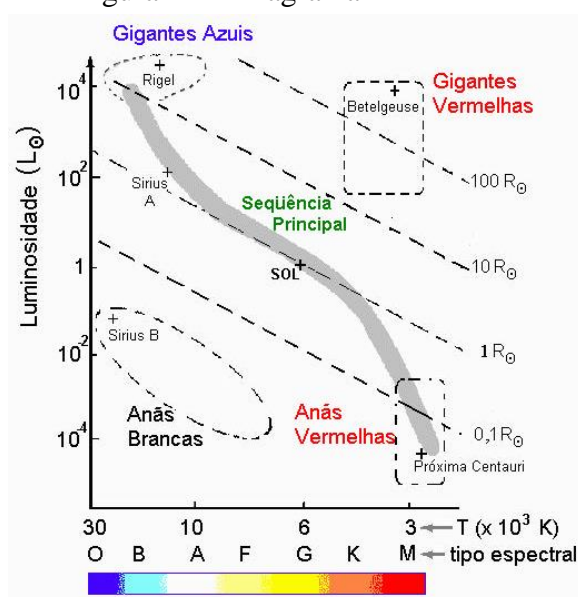
Um Diagrama H-R onde aparece um número muito maior de estrelas mostra claramente as diferentes regiões onde são encontrados os diferentes grupos de estrelas (FIGURA E3).

Figura E3 - Diferentes grupos de estrelas no Diagrama H-R



Fonte: Apostila Telescópio na Escola, Cap. 10: Estrelas: Classificação Espectral

Figura E4 – Diagrama H-R



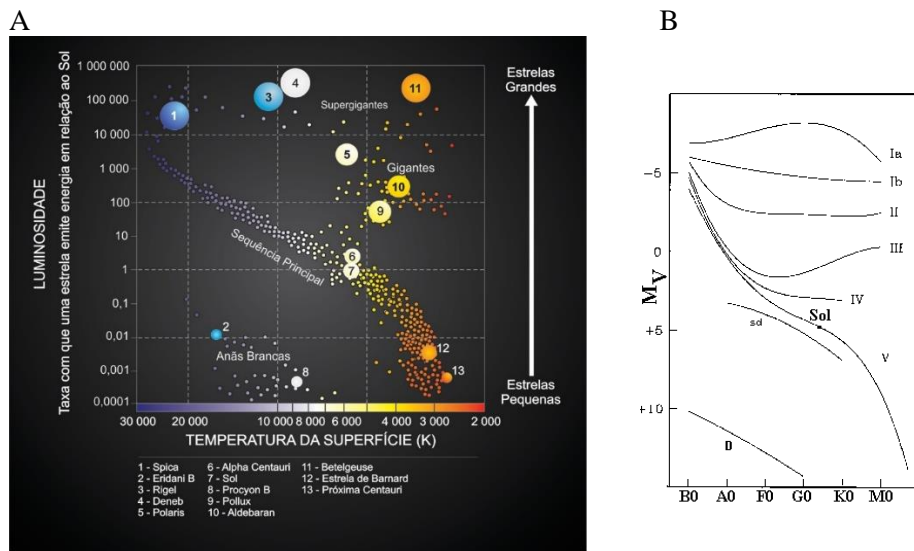
Fonte: Apostila Telescópio na Escola, Cap. 10: Estrelas: Classificação Espectral

A maior parte das estrelas está alinhada ao longo de uma estreita faixa na diagonal que vai do extremo superior esquerdo (estrelas quentes e muito luminosas), até o extremo inferior direito (estrelas frias e pouco luminosas). Essa faixa é chamada **Sequência Principal**. O fator que determina onde uma estrela se localiza na sequência principal é a sua massa: estrelas mais massivas são mais quentes e mais luminosas. As estrelas da sequência principal têm, por definição, classe de luminosidade V, e são chamadas de **anãs**. Um número substancial de estrelas também se concentra acima da sequência principal, na região superior direita (estrelas frias e luminosas). Essas estrelas são chamadas **gigantes**, e pertencem à classe de luminosidade II ou III. Bem no topo do diagrama existem algumas estrelas ainda mais luminosas: são chamadas **supergigantes**, com classe de luminosidade I. Finalmente, algumas estrelas se concentram no canto inferior esquerdo (estrelas quentes e pouco luminosas): são chamadas **anãs brancas**. Apesar do nome, as anãs brancas na verdade cobrem um intervalo de temperatura e cores que abrange desde as mais quentes, que são azuis ou brancas, e têm temperatura superficiais de até 200.000 K, até as mais frias, que são vermelhas, e têm temperaturas superficiais de apenas 3.500 K.

É importante notar que o fato de uma estrela estar "na" ou "fora da" sequência principal não se refere à sua posição no espaço, mas apenas à posição do ponto no diagrama H-R que representa sua luminosidade e temperatura. Estima-se que em torno de 80% das estrelas nas vizinhanças do Sol são estrelas da sequência principal. Aproximadamente 20% são anãs brancas e menos do que 1% é gigante, supergigantes ou anãs marrons.

Ao interpretar o diagrama H-R, temos que levar em conta os efeitos de seleção: as estrelas intrinsecamente mais brilhantes são mais prováveis de aparecerem no diagrama, já que podem ser vistas a distâncias maiores. Isso significa que se fizermos um diagrama H-R de uma amostra de estrelas limitada por magnitude aparente, um grande número de estrelas intrinsecamente brilhantes vai aparecer. Se fizermos outro diagrama H-R, com uma amostra de estrelas limitada pela distância ao Sol, o diagrama será diferente. A aparência do diagrama H-R de estrelas pertencentes a um determinado aglomerado de estrelas depende fortemente da idade do aglomerado, e por isso esses diagramas são importantes para estudos de evolução estelar (Fg. E5).

Figura E5 – A - Classificação das Estrelas; B - Tipo Espectral



Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node2.htm>. Acesso em: 10 jan. 2020.

Fonte: Apostila Telescópio na Escola, Cap. 10: Estrelas: Classificação Espectral
 Adaptado de: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node2.htm>. Acesso em 10 jan. 2020.
 Adaptado de: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/estrelas.htm>. Acesso em: 10 jan. 2020.

ATIVIDADES

Agora você já sabe o que é o Diagrama H-R e qual sua importância para a Astrofísica Estelar, como você estudou este diagrama tem no eixo das ordenadas, a magnitude absoluta ou a luminosidade, e no eixo das abscissas, a temperatura, o tipo espectral ou o índice de cor das estrelas. Você estudou no Diagrama H-R que a o raio, temperatura e luminosidade das estrelas estão intimamente ligadas. Por fim, você compreendeu que o Diagrama H-R, possui alguns pontos muito importantes: Sequência principal, os ramos das Gigantes, Super gigantes e anãs

brancas. Usando o software Stellarium, faça um catálogo estelar, usando estrelas que você ainda não catalogou. Neste catálogo deve conter:

- a) 24 estrelas da sequência principal, sendo 8 anãs azuis, 8 anãs amarelas, e 8 anãs vermelhas;
- b) 12 Gigantes vermelhas;
- c) 8 Super Gigantes; e
- d) 8 Anãs Brancas.

Agora que você catalogou suas estrelas, gere argumentos que contenham dados, hipóteses, justificativas, refutações e conclusões a respeito do porquê você catalogou as estrelas da sequência principal, gigantes vermelhas, supergigantes e anãs brancas.

APÊNDICE F - AULA 6: NASCIMENTO, VIDA E MORTE DAS ESTRELAS

Introdução: Professor, esta aula tem como objetivo explorar os conhecimentos adquiridos pelos alunos. Nesta aula os alunos devem construir um Diagrama H-R de forma independente e que tenham como base os conhecimentos obtidos até o momento. Os alunos deverão construir seus diagramas, usando as estrelas catalogadas por eles, ou seja, 117 estrelas.

Objetivo de ensino: Sintetizar todo o conhecimento até o momento, construindo um Diagrama H-R.

Objetivo de pesquisa: Analisar os argumentos gerados na construção dos diagramas e verificar se há indícios de AC.

Objetivo de aprendizagem: Desenvolver nos alunos a capacidade de trabalhar em grupo, colocando em prática os conhecimentos desenvolvidos, estimulando a participação e a argumentação de todos.

Recursos didáticos: Cartolina, canetões de múltiplas cores, lápis e/ou caneta, régua e folha de atividades.

Procedimento metodológico: Esta aula tem como objetivo analisar a capacidade de produção de um Diagrama H-R. Professor, ao receber os alunos coloque-os em grupo. Quando os alunos se acomodarem, explique aos alunos qual o objetivo da aula, deixando bem claro que a aula se trata da elaboração de um Diagrama H-R de forma independente onde as dúvidas deverão ser tiradas entre eles e que o professor é apenas um espectador de seus trabalhos. Explique para eles que qualquer dúvida deve ser tirada antes de iniciarem a atividade. Leia com os alunos a atividade, entregue os materiais e peça que a iniciem.

Tempo: Esta atividade deverá ser feita em uma hora e meia.

Conteúdo abordado: Elaboração de um Diagrama H-R.

Sugestões e observações: Professor, esta atividade deve ser feita pelos alunos sem a sua participação. Seu papel é de incentivar as discussões, não tire dúvidas deixe que os alunos acertem ou errem, e explique ao final da aula que os diagramas serão retomados em momento futuro, para uma discussão e síntese.

ATIVIDADES

Caros alunos, na aula 2, vocês aprenderam, o que são estrelas, de uma forma bem

resumida como elas são criadas e do que são feitas, seu tempo de vida, que depende de suas massas, e os tipos de estrelas existentes. Na aula 3 vocês aprenderam sobre a cor e o brilho das estrelas, e fizeram uma atividade, usando o software Stellarium, fizeram um catálogo com 30 estrelas, levando em consideração suas magnitudes. Na aula 4 vocês aprenderam sobre a classificação espectral, estudando, o que é a espectroscopia, o que são espectros estelares e quais os tipos espectrais das estrelas e fizeram uma atividade, catalogando mais 35 estrelas, agora levando em consideração seus tipos espectrais. Na aula 5, vocês estudaram o Diagrama H-R, e entenderam que cada ramo do diagrama apresenta um tipo de estrela com características específicas. E fizeram uma atividade, catalogando 52 estrelas.

Agora fazendo uso das 117 estrelas catalogadas, cartolina, canetões que irão representar a cor das estrelas, régua, lápis e/ou caneta. Elabore um Diagrama H-R. Em seguida responda as seguintes perguntas:

- a) seu diagrama apresenta os ramos, sequência principal, gigantes vermelha, supergigante e anãs brancas como nos diagramas estudados na aula 5? Argumente o porquê as estrelas do seu diagrama fazem parte destes ramos. Leve em consideração tudo o que foi estudado; e
- b) no seu diagrama, há alguma exceção, ou seja, uma ou mais estrelas que estejam muito fora de qualquer um destes ramos? Se sim, argumente sobre ela ou elas, ou seja, porque ela ou elas devem ser consideradas uma exceção.

APÊNDICE G - AULA 7: NASCIMENTO, VIDA E MORTE DAS ESTRELAS

Introdução: Esta aula tem como objetivo levar os alunos a conhecerem como é produzida a energia das estrelas, levando-os aos ciclos próton-próton, CNO e triplo α . Nesta aula os alunos devem compreender que estrelas de diferentes massas produzem suas energias pelo processo de fusão nuclear, que ocorre de maneira diferente dependendo da massa e temperatura do interior estelar, os alunos devem compreender no final desta aula que estrelas da sequência principal em sua maioria produzem energia pela cadeia próton-próton, estrelas gigantes pelo ciclo CNO e o processo triplo α ocorre na fase final das estrelas gigantes. Esta aula torna-se importante, pois nas aulas seguintes serão tratados a evolução estelar, aula 8, e a aula 9, evolução estelar no Diagrama H-R, sendo assim para melhor compreender a trajetória evolutiva das estrelas é importante que se compreenda a produção de energia, pois a medida que a estrela evolui o processo de fusão nuclear muda.

Objetivo de ensino: Definir os processos de fusão nuclear nos interiores estelares. Cadeia próton-próton, ciclo CNO e triplo α .

Objetivo de pesquisa: Não há.

Objetivo de aprendizagem: Levar os alunos a compreender a fusão nuclear como a origem da energia estelar, compreendendo à cadeia próton-próton, ciclo CNO e triplo α , e entender que estas reações são específicas para determinadas temperaturas, ou seja, dependendo de suas temperaturas as estrelas podem ter reações nucleares diferentes.

Recursos didáticos: Lousa, data show, computador, texto e atividades, lápis e/ou caneta.

Procedimento metodológico: Professor receba os alunos e coloque-os em grupo como nas aulas anteriores, explique o conteúdo da aula de maneira rápida. Em seguida entregue aos alunos o texto da aula, peça que leiam com atenção e esteja a disposição para tirar possíveis dúvidas. Após a leitura do texto passe um vídeo do Astrônomo Gustavo Rojas, explicando sobre o processo de produção de energia, o vídeo¹⁷ tem duração de 13 minutos e 32 segundos, e explica, assim como no texto, origem da energia das estrelas. Após a leitura e o vídeo peça aos alunos que façam a atividade.

Tempo: Esta aula tem duração de 1 h, sendo 5 min para explicar o conteúdo da aula, 35 min

¹⁷Disponível em: <http://www.astrop.org/2015/10/21/ceu-da-semana-ep-258-a-fonte-de-energia-das-estrelas-19-a-25102015/> Acesso em: 8 jan. 2020.

para leitura e vídeo, e 20 min para a realização da atividade.

Conteúdo abordado: Esta aula aborda a origem da energia das estrelas, passando pela parte histórica e terminando com as reações nucleares nos interiores estelares.

Sugestões e observações: Professor, este é um tema que contém maior grau de abstração, talvez seja necessário que você ajude os alunos na compreensão das reações nucleares. Observe as discussões e se necessário intervenha de maneira a não deixar os alunos com dúvidas, se necessário mostre a importância destas reações no processo de evolução estelar e explique que as reações vão mudando de acordo com a evolução das estrelas. Mostre a eles as simulações¹⁸ das reações disponível no site do grupo de astronomia Sputnik. Se possível plante dúvidas e os leve a pesquisar em casa sobre as trajetórias evolutivas de algumas estrelas, como por exemplo, o Sol. Nesta aula não faça nenhuma discussão em grupo, estimule-os a pesquisar em casa e abra a aula 8 com uma discussão sobre a origem da energia das estrelas e o processo de evolução estelar.

TEXTO: ENERGIA DAS ESTRELAS

A questão de porque as estrelas brilham só foi levantada no século XIX quando a termodinâmica - o estudo de calor e energia - estava se desenvolvendo. Pela primeira vez as pessoas compreenderam que o calor e a luz emitidos pelo Sol, 400 trilhões de trilhões de watts, precisava ter uma fonte. Somente em 1938 os cientistas finalmente descobriram que a fonte desta energia aparentemente inesgotável era a fusão nuclear.

No fim do século XIX os astrônomos começaram a se perguntar que forma de energia estava sendo convertida em calor no Sol. Em 1898, Sir Robert Stawell Ball (1840-1913), um astrônomo de Cambridge, notou que fósseis de peixes tinham olhos bem desenvolvidos, uma indicação de que o Sol brilhava desde muito antes da humanidade. Ele considerou e descartou a hipótese de que o Sol ainda estaria esfriando a partir de um aquecimento inicial durante sua formação. Não, o Sol teria há muito esfriado ao ponto de não mais emitir luz visível. Poderia o Sol ser movido a combustível tradicional?

Consideremos um pedaço de carvão mineral, o melhor combustível conhecido naquela época, e assumamos que seja possível misturar todo o oxigênio necessário para conseguir a queima completa. Podemos então calcular quanto carvão é necessário por segundo para

¹⁸Disponível em: http://gruposputnik.com/Paginas_com_Flash/Animacoes.htm Acesso em: 8 jan. 2020.

produzir a energia que o Sol emite por segundo, e quanto tempo uma quantidade de carvão tão grande quanto o Sol duraria. A resposta para carvão mineral, ou petróleo, ou mesmo hidrogênio puro, sempre resulta entre 6 000 e 10 000 anos. Um Sol movido a combustível normalmente não poderia durar mais do que a história humana escrita.

O que mais poderia gerar a energia do Sol? Por um tempo, a hipótese mais aceita envolvia a gravidade. A melhor hipótese era a da contração; esta teoria sugeria que a fonte de energia gravitacional era devido à lenta contração do Sol. Foram os cálculos desta teoria que permitiram ao grande físico teórico inglês Lord William Thomson, Barão Kelvin (1824-1907), que colocou a termodinâmica em sua forma presente, estimar a idade do Sol e iniciar um dos grandes debates científicos. Uma estrela que está drenando sua energia gravitacional para emitir sua radiação só pode se contrair por um certo tempo. Quando Kelvin calculou os números, ele chegou a uma idade entre 20 e 100 milhões de anos, muito melhor (maior) do que a hipótese do combustível comum, mas não o suficiente para acomodar os dados que geólogos e evolucionistas tinham, de bilhões de anos.

Por volta de 1920, a hipótese da contração já podia ser testada teoricamente nas estrelas. Em seu trabalho monumental *Sobre a Constituição Interna das Estrelas*, o astrônomo inglês Sir Arthur Stanley Eddington (1882-1944) assentou a fundação da teoria moderna de estrutura estelar. Ele deu a ideia corrente de que uma intensa fonte de energia no núcleo da estrela gera a pressão que contrabalança a força para dentro da gravidade, estabilizando a estrela por muitos bilhões de anos.

O teste da teoria de contração se deu através de estrelas variáveis Cefeídas, que alteram períodos de aumento de brilho com períodos de redução de brilho, em escalas de semanas ou meses. A primeira Cefeída foi descoberta em 1784 por Edward Pigott (1753-1825). Para estas estrelas, a duração do ciclo depende criticamente do raio da estrela. Baseado na quantidade de radiação que a estrela Delta Cefeída estava emitindo, ela deveria ter uma redução do seu período de pulsação em 17 segundos por ano. Como a estrela foi observada desde 1758, Eddington argumentou que esta mudança de período seria mensurável, e como não existia, a produção de energia não podia ser devido à contração gravitacional.

Um grama de matéria totalmente convertida em energia produz 90 trilhões de Joules. Mas pouco mais de 10 anos tinham se passado desde a descoberta de que o átomo tinha um núcleo, e as únicas partículas conhecidas eram o próton e o elétron. A descoberta do nêutron ainda estava muitos anos no futuro. Portanto qualquer discussão do que Eddington chamou de "energia subatômica" envolvia muita especulação. Eddington considerou o que hoje chamamos de fusão nuclear, a conversão de quatro prótons em um núcleo de hélio, mas ele não gostava da

ideia porque isto limitava a vida das estrelas a só alguns bilhões de anos. Eddington favorecia um processo que hoje em dia sabemos que não ocorre na natureza, a aniquilação de prótons por elétrons, que produziria energia suficiente para milhares de bilhões de anos. Ele propôs que a astrofísica permitia explorar o interior das estrelas, já que as propriedades da superfície eram consequências da estrutura interna.

Durante os anos 1920 e 1930, os astrônomos estavam coletando dados sobre todos os tipos de estrelas, e os físicos nucleares estavam então trabalhando na teoria do núcleo atômico. Em 1932 o físico inglês Sir James Chadwick (1891-1974) descobriu o nêutron, e a ideia de um núcleo atômico com prótons e nêutrons nascia.

Em março de 1938, uma conferência foi organizada pela Carnegie Institution, de Washington, para unir astrônomos e físicos. Um dos participantes foi o imigrante alemão Hans Albrecht Bethe (1906-2005). Logo após a conferência, Bethe desenvolveu a teoria de como a fusão nuclear podia produzir a energia que faz as estrelas brilharem. Esta teoria foi publicada em seu artigo *A Produção de Energia nas Estrelas*, de 1939, no *Physical Review*, vol. 55, p. 434, e que lhe valeu o prêmio Nobel em 1967.

Hans Bethe tomou os melhores dados das reações nucleares existentes e mostrou, em detalhe, como quatro prótons poderiam ser unidos e transformados em um núcleo de hélio, liberando a energia que Eddington havia sugerido. O processo que Bethe elaborou em seu artigo, conhecido atualmente como o Ciclo do Carbono, envolve uma cadeia complexa de seis reações nucleares em que átomos de carbono e nitrogênio agem como catalisadores para a fusão nuclear. Naquela época, os astrônomos calculavam que a temperatura no interior do Sol fosse de cerca de 19 milhões Kelvin, e Bethe demonstrou que àquela temperatura, o ciclo do carbono seria o modo dominante de produção de energia.

Na mesma época, além de Hans Bethe, o físico alemão Carl Friedrich von Weizäcker (1912-2007) e Charles Critchfield (1910-1994) identificaram várias das reações de fusão nuclear que mantém o brilho das estrelas. Hoje em dia, o valor aceito para a temperatura do núcleo do Sol é de 15 milhões de graus Kelvin, e à esta temperatura, como explicitado por Bethe no seu artigo, o ciclo próton-próton domina. O ciclo próton-próton necessita de $T > 8$ milhões de K para ser efetivo. A liberação de energia pelo ciclo do carbono é proporcional à 20ª potência da temperatura. Para temperaturas da ordem de 15 milhões de graus K, como no interior do Sol. Já para o ciclo próton-próton, a dependência é muito menor, com a quarta potência da temperatura.

Atualmente sabe-se que o ciclo do carbono contribui pouco para a geração de energia para estrelas de baixa massa como o Sol, porque suas temperaturas centrais são baixas, mas

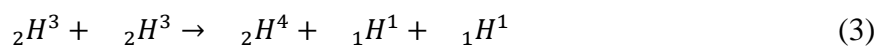
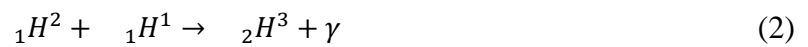
domina para estrelas mais massivas. Rigel, por exemplo, tem temperatura central da ordem de 400 milhões de K. Quanto maior for a temperatura central, mais veloz será o próton, e maior sua energia cinética, suficiente para penetrar a repulsão Coulombiana de núcleos com maior número de prótons.

A astrofísica demonstrou que as leis físicas que conhecemos em nossa limitada experiência na Terra são suficientes para estudar completamente o interior das estrelas. Desde as descobertas de Bethe, o cálculo de evolução estelar através da união da estrutura estelar com as taxas de reações nucleares tornou-se um campo bem desenvolvido, e astrônomos calculam com confiança o fim de uma estrela como nosso Sol daqui a 6,5 bilhões de anos como uma anã branca, após a queima do hélio em carbono pela reação triplo α :

Cadeia próton-próton

Esta é a cadeia dominante em estrelas cuja temperatura central é menor que $15 \cdot 10^6 K$. Inicialmente dois átomos de hidrogênio se fundem para formar um núcleo de deutério, um pósitron (e^+) e um neutrino (ν). O neutrino imediatamente escapa da estrela, enquanto o pósitron logo colide com um elétron e ambos são aniquilados, liberando energia.

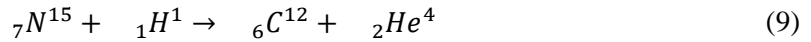
Em seguida o núcleo de deutério se funde a outro átomo de hidrogênio, para se transformar num isótopo de hélio com 2 prótons e 1 nêutron, liberando ainda energia na forma de fótons (γ). Por fim, dois desses isótopos se fundem para formar um átomo de hélio e dois núcleos de hidrogênio. Sendo assim, um total de 6 núcleos de hidrogênio estão envolvidos nas reações, mas apenas 4 deles são utilizados para formar o hélio [Eqs. (1), (2) e (3)].



Ciclo do carbono

Este ciclo inicia-se com a fusão de um núcleo de hidrogênio com um núcleo de carbono. Depois de várias etapas em que são utilizados 4 núcleos de hidrogênio, formam-se 1 núcleo de hélio e um de carbono, e um novo ciclo pode se iniciar [Eq. (4), (5), (6), (7), (8) e (9)].

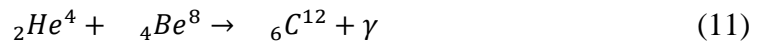




Como o ciclo também depende do nitrogênio e do oxigênio, o processo também é chamado de ciclo CNO.

Processo triplo α

O núcleo do átomo de hélio, também chamado "partícula alfa", pode participar da produção de carbono em interiores estelares com temperaturas acima de 10^8K . Como 3 núcleos ${}_2\text{He}^4$ produzem um núcleo ${}_6\text{C}^{12}$, o processo é chamado "triplo-alfa" [Eq. (10) e (11)].



O estudo dos vários processos que podem formar elementos mais pesados no interior estelar é chamado **nucleossíntese**. Acredita-se que a síntese de isótopos de hidrogênio e hélio ocorreu nos primeiros minutos após a origem do Universo e que os elementos pesados foram formados em processos estelares¹⁹.

ATIVIDADES

- 1) Sabe-se que as estrelas produzem suas energias pelo processo de fusão nuclear. Como as estrelas produzem a fusão nuclear?

- 2) O ciclo próton-próton ocorre em estrelas com temperaturas na região central menor que $15 \cdot 10^6\text{K}$. Quais tipos de estrelas ocorrem a fusão nuclear pelo ciclo próton-próton?

¹⁹Fonte: Elaborado pelo autor com base na Apostila Telescópio na Escola. Cap. 11 – Estrutura e Evolução Estelar [2010?]. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node9.htm>. Acesso em: 13 jan. 2020.

3) Como é produzida a energia pelo ciclo próton-próton?

4) O ciclo CNO inicia-se com a fusão do hidrogênio com o carbono. Este ciclo ocorre em quais tipos de estrelas?

5) O processo triplo α acontece em qual tipo de estrela?

6) Cite uma estrela de cada ramo do Diagrama H-R, onde ocorra uma reação com o ciclo próton-próton, uma com o CNO e uma com o processo triplo α . Justifique.

APÊNDICE H - AULA 8: NASCIMENTO, VIDA E MORTE DAS ESTRELAS

Introdução: Esta aula dá sequência à aula anterior, que tratou da origem da energia das estrelas. Nesta aula daremos início ao estudo sobre o processo de evolução estelar, tratando da evolução estelar para estrelas com massas menores que $8 M_{\odot}$. Esta aula leva em consideração a massa das estrelas, quanto tempo estas estrelas permanecem na sequência principal, quais os estágios de evolução destas estrelas desde suas formações até suas “mortes” como anãs brancas. É importante, que durante a aula haja uma ligação com a aula anterior, sobre a produção de elementos químicos nestas estrelas. Os alunos devem compreender que estrelas com esta massa, terão reações termonucleares, do tipo próton-próton e CNO.

Objetivo de ensino: Definir o processo de evolução estelar para estrelas com massa $M < 8 M_{\odot}$, bem como a trajetória evolutiva destas estrelas no diagrama H-R, e a produção de elementos químicos nos interiores destas estrelas.

Objetivo de pesquisa: Gerar argumentos orais sobre a trajetória evolutiva das estrelas com massas menores que $8 M_{\odot}$.

Objetivo de aprendizagem: Levar os alunos à compreender a evolução de estrelas com massa $M < 8 M_{\odot}$, bem como compreender que o tempo de permanência das estrelas na sequência principal depende de sua massa inicial e compreender como é produzida a energia nestas estrelas.

Recursos didáticos: Texto para leitura e discussão dos alunos, quadro e pincel.

Procedimento metodológico: Professor, assim como nas aulas anteriores acomode os alunos em seus respectivos grupos. Inicie a aula fazendo uma breve revisão da aula anterior, levando-os novamente à produção de energia nas estrelas e às reações termonucleares, chamando atenção para as temperaturas envolvidas, pois cada reação depende da temperatura inicial da estrela. Chame a atenção dos alunos quanto às reações pois à medida que a estrela evolui a reação muda. Após esta revisão leve os alunos a discutirem estes conteúdos chamando a atenção para o processo de evolução estelar. Após uma breve discussão revisional, entregue o texto para os alunos em grupo e peça-os que discutam, peça-os que relacionem as reações nucleares ao processo evolutivo, leve os alunos a compreender como esta evolução ocorre dentro do diagrama H-R. Após a leitura, peça que um aluno se voluntarie e vá ao diagrama construído na

aula 6 e esboce a trajetória evolutiva deste tipo de estrela no diagrama H-R, você não deve ajudar nesta tarefa o diagrama deve ser feito por um aluno com todos os seus colegas ajudando.

Tempo: Esta aula tem duração de uma hora e meia, sendo 10 minutos para a revisão, 20 minutos para a discussão da aula anterior em grande grupo. Uma hora para leitura discussão do texto.

Conteúdo abordado: Esta aula aborda a evolução estelar para estrelas com massas $M < 8 M_{\odot}$.

Sugestões e observações: Professor, esta aula deve ser uma sequência da aula anterior que trata da origem da energia das estrelas, leve os alunos a discutir como as reações termonucleares atuam no processo evolutivo das estrelas, deixe que os alunos discutam, os oriente nas discussões sempre chamando-os para o tema atual e deixando em aberto a aula futura. Finalize a aula chamando a atenção dos alunos para a evolução estelar de estrelas com massas maiores que $8 M_{\odot}$.

TEXTO: EVOLUÇÃO ESTELAR PARA ESTRELAS COM $M < 8 M_{\odot}$

No Sistema Solar, o maior planeta é Júpiter, com $M_{\text{Júpiter}} = 318 M_{\text{Terra}}$ e $M_{\odot} = 1047 M_{\text{Júpiter}}$. Os objetos acima de $75 M_{\text{Júpiter}} = 0,08 M_{\odot}$ têm reações nucleares transformando H em He e são chamadas estrelas. Objetos entre $13 M_{\text{Júpiter}}$ e $75 M_{\text{Júpiter}}$ têm reações nucleares transformando o deutério em trítio, e são chamados anãs marrons. Os objetos abaixo de $13 M_{\text{Júpiter}}$, que orbitam uma estrela, são chamados planetas. A matéria produzida após o Big-Bang pela expansão do Universo foi hidrogênio e hélio. As estrelas se formaram deste material primordial e usaram estes dois elementos como combustível para gerar energia, através de reações nucleares. Durante esta etapa as estrelas brilham e produzem os elementos químicos de maior número atômico, principalmente o carbono, o oxigênio, cálcio e o ferro, que são os principais elementos que nos formam e o mundo ao nosso redor.

Estes elementos são levados para a superfície das estrelas por convecção ou difusão radiativa, a partir da qual são dispersados por vento estelar ou ejetados para o meio interestelar quando uma estrela massiva explode. Este material é então usado na formação de novas estrelas e seus planetas.

O destino final das estrelas, depois de consumir todo o seu combustível nuclear, depende de duas coisas: primeiro, se a estrela é simples ou faz parte de um sistema binário ou múltiplo, e 60% das estrelas faz; e 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.

A base dos cálculos de evolução estelar é a manutenção do equilíbrio hidrostático pelo qual a pressão do gás contrabalança a gravidade, na maior parte da vida das estrelas, já que se não houver equilíbrio, o colapso se dá em escala de tempo térmico, ou tempo dinâmico - cerca de 15 minutos para o Sol.

Por definição, estrelas têm reações nucleares estáveis em alguma etapa da sua evolução. As reações ocorrem quando a temperatura no núcleo da estrela fica suficientemente alta (8 milhões K) para que a energia cinética consiga vencer a repulsão coulombiana por tunelamento quântico, já que a energia cinética é pelo menos mil vezes menor que a barreira coulombiana nas temperaturas onde ocorrem as reações.

Durante a formação, uma nuvem de gás molecular, fria, se contrai, formando uma protoestrela. Se a massa condensada estiver abaixo de $0,08 M_{\odot} = 73 M_{\text{Júpiter}}$, ela será uma anã marrom. Não será uma estrela pois nunca terá reações nucleares transformando hidrogênio em hélio ($T_{\text{núcleo}} < 8$ milhões K). Quando a temperatura no núcleo da estrela fica suficientemente alta (8 milhões K) para iniciar as reações nucleares estáveis, a protoestrela torna-se uma estrela da sequência principal, transformando hidrogênio em hélio no núcleo.

Antes de chegar à sequência principal, onde transforma hidrogênio em hélio no seu núcleo, a protoestrela se contraiu por algumas centenas de milhares de anos.

Se a estrela não faz parte de um sistema binário ou múltiplo, sua evolução depende somente de sua massa inicial. Se a estrela iniciar sua vida com massa menor do que $0,8 M_{\odot}$, a idade do Universo ainda não é suficiente para esta estrela ter evoluído além da sequência principal.

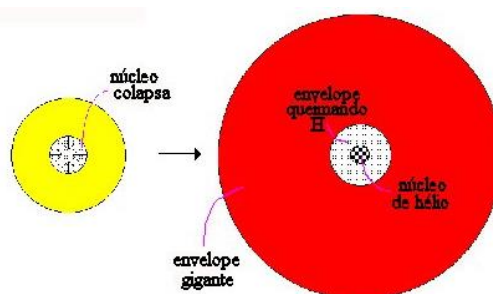
Se a massa da estrela for entre $0,08 M_{\odot}$ e $0,45 M_{\odot}$, depois de transformar H em He na sequência principal, ela se tornará uma anã branca com núcleo de hélio. As estrelas com massa até $1,75 M_{\odot}$ transformam o hidrogênio em hélio pelo ciclo próton-próton.

A vida do Sol na sequência principal está estimada em 10 bilhões de anos. Uma estrela de $0,1 M_{\odot}$ levará 3 trilhões de anos para sair da sequência principal. As estrelas mais massivas queimam o hidrogênio pelo ciclo CNO. Quando as estrelas consomem o hidrogênio no núcleo, que corresponde a aproximadamente 10% da sua massa total, elas saem da sequência principal.

A geração de energia nuclear passa a se dar em uma camada externa a este núcleo, com aproximadamente 2 000 km de espessura, onde a temperatura e a densidade são suficientes para manter as reações nucleares. Como nenhuma energia nuclear é gerada no núcleo nesta fase, ele

se contrai rapidamente, e a luminosidade da estrela aumenta um pouco. As camadas externas se reajustam ao aumento de luminosidade expandindo-se, e como a área superficial aumenta, sua temperatura diminui. Desta forma, a luminosidade aumenta e a estrela torna-se mais vermelha, aproximando-se do ramo das gigantes no diagrama H-R.

Figura H1 – Evolução estelar para estrelas gigantes vermelhas



Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/Aula20-122.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2020.

A geração de energia nuclear passa a se dar em uma camada externa a este núcleo, com aproximadamente 2 000 km de espessura, onde a temperatura e a densidade são suficientes para manter as reações nucleares. Como nenhuma energia nuclear é gerada no núcleo nesta fase, ele se contrai rapidamente, e a luminosidade da estrela aumenta um pouco. As camadas externas se reajustam ao aumento de luminosidade expandindo-se, e como a área superficial aumenta, sua temperatura diminui. Desta forma, a luminosidade aumenta e a estrela torna-se mais vermelha, aproximando-se do ramo das gigantes no diagrama H-R. Quando o Sol atingir esta fase, daqui há mais de 5 bilhões de anos, a radiação solar atingindo a Terra será tão intensa que a temperatura na superfície da Terra atingirá 700 °C, os oceanos ferverão, deixando a Terra seca. Mesmo a atmosfera se esvairá, pois, os átomos e moléculas se moverão a velocidades tão altas que escaparão da Terra. No centro do Sol, a temperatura atingirá 100 milhões de graus Kelvin, e a reação triplo- α , descoberta pelo americano Edwin Ernest Salpeter (1925-2008), iniciará, combinando três núcleos de hélio (partículas α) em um núcleo de carbono. 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. Desta forma, a estrutura final do Sol será de um pequeno núcleo de carbono e oxigênio, com uma camada externa de hélio, e outra mais externa de hidrogênio. O Sol descenderá então para a região das anãs brancas.

A sequência principal dura:

- a) 10 bilhões de anos para estrelas com a massa do Sol;

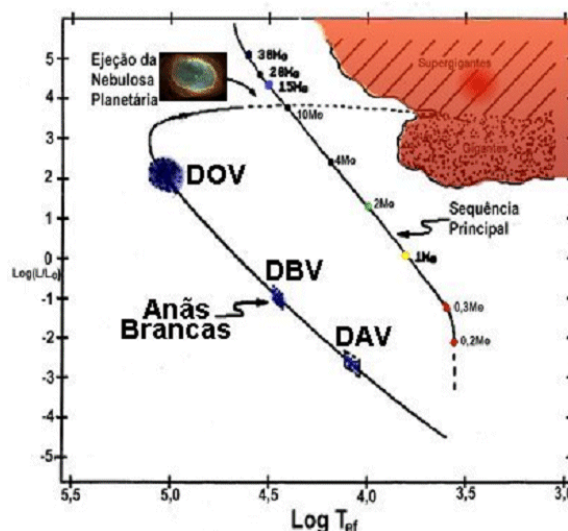
- b) 100 milhões de anos para estrelas com $10 M_{\odot}$; e
- c) somente 1 milhão de anos para estrelas com $100 M_{\odot}$

Quando a estrela atinge o ramo das gigantes, a zona de convecção superficial atinge a região onde o hidrogênio já foi transformado em hélio, iniciando a primeira dragagem, trazendo material processado (principalmente N14) para a atmosfera da estrela. Quando estas estrelas transformam o hélio nuclear em carbono, elas saem do ramo das gigantes e passam para o ramo horizontal. Quando o hélio nuclear foi todo transformado em carbono, e parte em oxigênio, as estrelas entram no ramo das supergigantes, chamado também de Ramo Assintótico das Gigantes (AGB).

Uma segunda dragagem, trazendo matéria processada para a fotosfera, ocorre quando a estrela atinge o ramo gigante assintótico (AGB), e ainda uma terceira ocorre se a estrela tem massa superior a $3 M_{\odot}$. Após passar outras centenas de milhares de anos no ponto superior direito deste diagrama, chamado de ramo gigante assintótico (AGB), a estrela ejetará uma nebulosa planetária, e o núcleo remanescente será uma estrela anã branca.

A Figura H2 mostra o caminho evolucionário de uma estrela até a fase de anã branca. Não importa se a estrela inicia sua evolução com 1 ou 5 massas solares, a anã branca formada terá menos de $1 M_{\odot}$.

Figura H2 – Diagrama H-R teórico

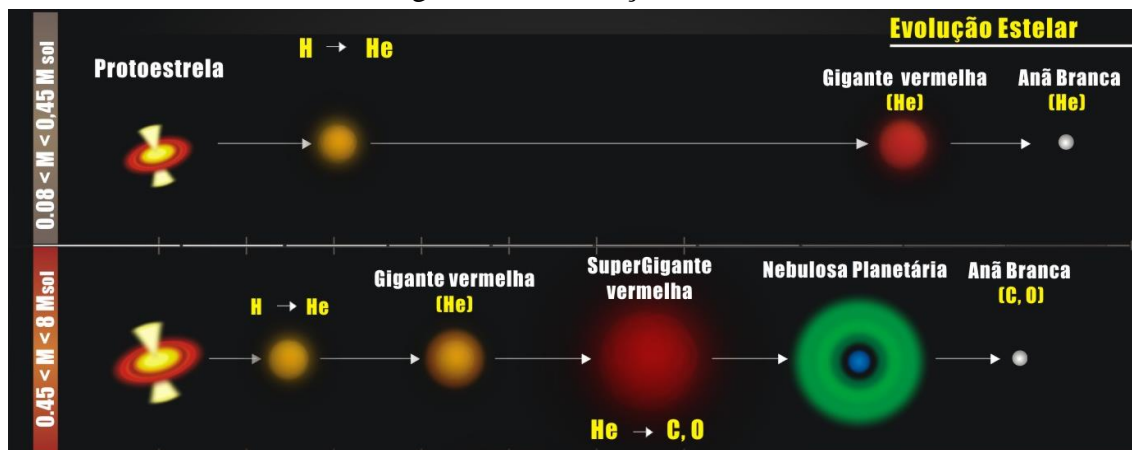


Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/Aula20-122.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2020.

Resumindo, se a estrela se formar com massa entre $0,8$ e $8 M_{\odot}$, após consumir o hidrogênio no centro, a estrela passará pela fase de gigante e depois de supergigante, ejetará

uma nebulosa planetária, e terminará sua vida como uma anã branca, com massa da ordem de $0,6 M_{\odot}$, raio de cerca de 10 000 km e densidade de $\rho=10^6 \text{ g/cm}^3$ (Fig. H3).

Figura H3 – Evolução Estelar



Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node14.htm>. Acesso em: 15 jan. 2020.

ATIVIDADE

Faça um texto dissertativo-argumentativo descrevendo o processo evolutivo da nossa estrela, o Sol.

APÊNDICE I - AULA 9: NASCIMENTO, VIDA E MORTE DAS ESTRELAS

Introdução: Esta aula é dividida em dois momentos, um primeiro momento para leitura, discussão do texto e vídeo²⁰, e o segundo momento para realização da atividade. Esta aula é uma continuação da aula anterior que tratou da evolução estelar, para estrelas com massas $M < 8 M_{\odot}$. Nesta aula continuamos estudando a evolução estelar, mas agora estamos tratando de estrelas mais massivas, com massas $8 < M < 25 M_{\odot}$, cujos finais são, nebulosas planetárias e estrelas com massas $M > 25 M_{\odot}$, cujos finais são buracos negros. Nesta aula, assim como na aula anterior, tratamos das reações termonucleares, relacionando-as com as temperaturas das estrelas, e o tempo de permanência destas estrelas na sequência principal.

Objetivo de ensino: Definir o processo de evolução estelar para estrelas com massas maiores que $8 M_{\odot}$, bem como suas trajetórias evolutivas no diagrama H-R e a produção de energia nestas estrelas, e suas produções de elementos químicos mais pesados.

Objetivo de pesquisa: Gerar argumentos escritos e orais sobre a evolução estelar, mostrando as trajetórias evolutivas no diagrama H-R.

Objetivos de aprendizagem: Levar os alunos a compreender o processo de evolução estelar, a produção dos elementos químicos e as trajetórias evolutivas no diagrama H-R. Entender que o tempo de permanência das estrelas na sequência principal depende de sua massa inicial.

Recursos didáticos: Texto para leitura, folha de atividades, isopor, alfinete coloridos, canetão, lápis e/ou caneta.

Procedimento metodológico: Professor coloque os alunos em seus grupos, inicie a aula fazendo uma breve revisão sobre a aula anterior. Distribua os textos nos grupos peça que os alunos leiam o texto e discutam entre os grupos. Em seguida passe o vídeo de 5 minutos e 49 segundos. Após a leitura do texto e assistirem o vídeo entregue a atividade para os alunos. Explique que eles devem se basear no primeiro diagrama H-R feito por eles na aula 6, aproveitando as mesmas estrelas, peça aos alunos que corrijam os possíveis erros e façam as melhorias comentadas ao longo das discussões. Este diagrama será feito utilizando uma placa de isopor e alfinetes coloridos, representando as estrelas, use canetões coloridos para representar as trajetórias evolutivas das estrelas da atividade 1. Após confeccionarem os diagramas peça aos alunos que façam em

²⁰Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ZMKjm41mwJk>. Acesso em: 15 jan. 2020.

grupo um texto explicando a trajetória evolutiva de cada uma destas estrelas.

Tempo: Esta aula tem duração de uma hora e meia, 5 minutos para revisão da aula anterior, 35 minutos para leitura e vídeo, e 50 minutos para realização da atividade.

Conteúdo abordado: Evolução estelar para estrelas com massas $M > 8 M_{\odot}$.

Sugestões e observações: Professor, durante as discussões certifique de que os alunos estejam realmente compreendendo todo o conteúdo da aula e verifique se os alunos estão relacionando esta aula com as aulas anteriores, oriente as discussões de forma que os alunos possam compreender que o processo evolutivo das estrelas está relacionado ao tamanho, massa, temperatura, luminosidade e tipo espectral das estrelas. Estimule discussões sobre a origem dos elementos químicos encontrados na Terra. Finalize a aula explicando que a próxima aula, aula 10, é a aplicação de um questionário, a fim de verificar os conhecimentos adquiridos pelos alunos.

TEXTO 1: EVOLUÇÃO ESTELAR PARA ESTRELAS COM M ENTRE 8 E 25 M_{\odot}

Se a estrela iniciar sua vida com massa entre 8 e 25 M_{\odot} após a fase de supergigante e a formação de Fe no núcleo, com a mais alta energia de ligação, ela ejetará a maior parte de sua massa em uma explosão de supernova, e terminará sua vida como uma estrela de nêutrons, com uma temperatura superficial acima de 1 milhão de graus K, massa de cerca de 1,46 M_{\odot} , raio de cerca de 20 km e densidade de $\rho=10^{14} \text{g/cm}^3$.

Quanto maior a massa das estrelas mais rápido elas evoluem: uma estrela de 10 massas solares sai da sequência principal em 100 milhões de anos. Depois da fase de gigantes, passam para supergigantes, com temperaturas nucleares de alguns bilhões de Kelvin, permitindo que os processos de acréscimo de partículas α ao C produzam sucessivamente O16, Mg24, Si28, S32, Cl35, Ca40, Sc45, Ti48 Fe56 em poucas centenas de milhões de anos. Este processo termina em Fe56 porque a energia de ligação do ferro é a mais alta, de modo que quando um Fe56 captura um fóton, ao invés de liberar energia, ele se rompe, concluindo a evolução estelar com a explosão de uma supernova.

A explosão de supernova ocorre porque, após a formação do núcleo de ferro, o núcleo colapsa violentamente em alguns segundos, sob o peso de sua própria atração gravitacional, sem ter outro combustível para liberar energia nuclear. As camadas superiores, contendo aproximadamente 90% da massa colapsam então sobre este núcleo, e após o comprimirem até

o limite das leis físicas, são empurradas para fora com velocidades de milhares de quilômetros por segundo. Tanta energia é liberada em um colapso de supernova em que ela brilha com a luminosidade de uma galáxia de 200 bilhões de estrelas.

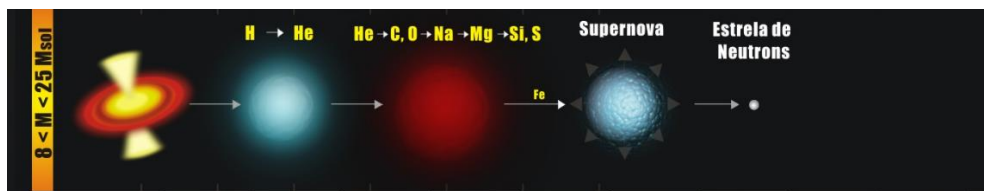
Em fevereiro de 1987, vários detectores aqui na Terra registraram os neutrinos associados à explosão da supernova SN1987A, que está a 168 mil anos-luz de distância. Os nêutrons, tendo o mesmo spin dos elétrons, obedecem também ao princípio da exclusão de Pauli, mas sendo 2000 vezes mais massivos, podem ser comprimidos a distâncias 2000 vezes menores do que os elétrons em uma anã branca. Os nêutrons formam então um gás de nêutrons degenerados, que podem parar o colapso da supernova, se a massa inicial da estrela na sequência principal for menor do que cerca de 25 massas solares. O diâmetro deste núcleo é de cerca de 20 km, e forma uma estrela de nêutrons, como a encontrada no centro da nebulosa do Caranguejo.

Depois deste espetáculo, a supernova começa a esmaecer, deixando como resíduo, se não houver disrupção total, um núcleo extremamente compacto, uma estrela de nêutrons. Para estas estrelas acima de 10 massas solares na sequência principal, mesmo a pressão de degenerescência dos elétrons é muito pequena para parar o colapso no estágio de uma anã branca. Os elétrons livres são forçados para dentro dos núcleos pelas imensas forças gravitacionais produzidas pelo colapso das camadas externas. O decaimento β inverso então transforma os pares de elétrons e prótons em nêutrons, libera uma imensa quantidade de neutrinos, que pode ser observada aqui na Terra.

A primeira estrela de nêutrons foi detectada em 1967, quando a doutoranda da Universidade de Cambridge Susan Jocelyn Bell Burnell (1943-), trabalhando em um experimento proposto por Antony Hewish (1924-), no Mullard Radio Astronomy Observatory em Cambridge, Inglaterra, descobriu que certos sinais pulsados de rádio chegavam com enorme precisão a cada 1,33728 segundos, vindos da constelação de Vulpecula. A maioria dos astrônomos da época acreditava que estes pulsos eram devido a pulsações radiais de estrelas, mas Thomas Gold (1920-2004) calculou que pulsações deste tipo decairiam muito rapidamente, e sugeriu que os pulsares eram estrelas de nêutrons em rotação, com forte campo magnético. Hewish recebeu o prêmio Nobel em 1974 pela descoberta dos pulsares. Mas a maioria das estrelas de nêutrons não são pulsares, pois sua emissão de rádio já terminou há muito tempo, já que sua vida média é de só 10 milhões de anos, a não ser que esteja em uma binária. Considerando-se os pulsares como estrelas de nêutrons girando rapidamente e com alto campo magnético, a emissão em rádio é produzida por um par de plasma sobre as calotas polares da

estrela de nêutrons, oriundos da cascata de partículas depois da aceleração de elétrons e pósitrons no intenso campo elétrico e magnético.

Figura I1 – Evolução estelar para estrelas de massas entre 8 e $25 M_{\odot}$



Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node14.htm>. Acesso em: 15 jan. 2020.

TEXTO 2: EVOLUÇÃO ESTELAR PARA ESTRELAS COM MASSA $M > 25 M_{\odot}$

As estrelas Wolf-Rayet, oriundas da evolução de estrelas de alta massa (acima de $25 M_{\odot}$), $T_{\text{ef}} \sim 30\,000$ a $60\,000$ K, são variáveis e têm um envoltório de poeira e gás ejetado da estrela pela forte pressão de radiação.

As estrelas O2V apresentam no espectro linhas de N IV, com potencial de ionização de 77 eV e, portanto, requerem $T_{\text{ef}} > 60\,000$ K. Estas estrelas vivem menos de 2 milhões de anos na sequência principal e, por isso, somente 45 estrelas O2V e O3V são conhecidas, 10 na nossa Galáxia, 1 na Pequena Nuvem de Magalhães e 34 na Grande Nuvem de Magalhães, sendo que 22 estão na nebulosa de Dourados.

Para as estrelas massivas, a fase de gigante e supergigante são contíguas, sem nenhum evento que marque o início da queima de hélio, do carbono, do oxigênio, do neônio, do magnésio, do silício, e assim sucessivamente, até transformar o núcleo em ferro. Quando o núcleo chega a ferro, não há mais como extrair energia através de reações de fusão nuclear, e a estrela colapsa, ejetando a maior parte de sua massa como supernova. Mas este tipo de supernova, chamada de Supernova tipo II, ejeta menos de $0,1 M_{\odot}$ em Fe, já que o Fe nuclear se foto desintegra. Se não houver interrupção total, o que resta será uma estrela de nêutrons ou um buraco negro.

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 $6 M_{\odot}$, e raio do horizonte de 18 km. O raio do horizonte, ou raio de Schwarzschild, é a distância ao buraco negro dentro da qual nem a luz escapa. Para algumas estrelas massivas, os modelos de deflagração da explosão de supernova preveem dispersão total da matéria.

Um candidato a buraco negro estelar é a estrela Cygnus X1, descoberta pelo satélite de raios-X Uhuru. Bolton descobriu que o sistema consiste de:

- estrela supergigante azul O9.7Iab com 19 ± 2 massas solares; e
- orbitando uma massa de cerca de 15 ± 1 massas solares, invisível no ótico.

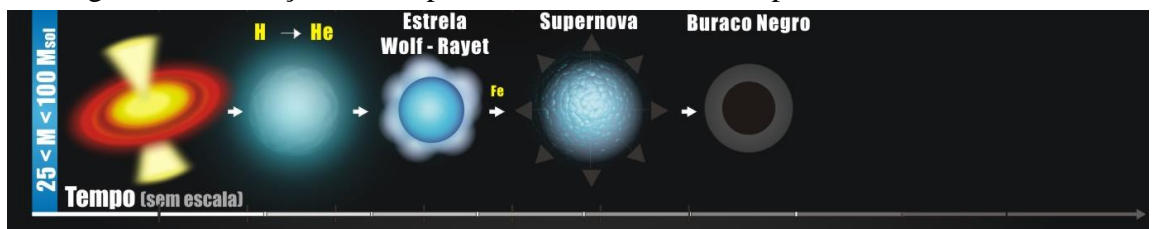
Os buracos negros massivos formados por estas estrelas primordiais, colidem e crescem, formando os buracos negros supermassivos detectados nos núcleos de galáxias. Considerando que o WMAP demonstrou que as primeiras estrelas nasceram quando o Universo tinha 400 milhões de anos (chamada época da reionização) e, portanto, antes da formação das primeiras galáxias, os primeiros buracos negros se formaram antes das galáxias. Naturalmente depois eles crescem pela fusão de galáxias e por acreção de matéria.

Se a estrela iniciar sua vida com massa acima de $100 M_{\odot}$, a partir de uma nuvem que já contenha alguns metais, como Eta Carinae, da grande região de formação estelar de Carina, ela ejetará a maior parte de sua massa ainda na sequência principal, por pressão de radiação, e depois evoluirá como uma estrela de até $100 M_{\odot}$. Eta Carinae teve várias ejeções de massa por volta de 1843, quando se tornou tão brilhante quanto Sírius, e o homúnculo em sua volta tem cerca de 12,5 massas solares.

Os elementos químicos gerados por reações nucleares no interior das estrelas, tanto por fusão nuclear levando até o Fe e elementos mais pesados gerados por acréscimo de nêutrons, são ejetados nas explosões de supernovas, e pelas perdas contínuas de massa durante a evolução das estrelas, produzindo a evolução química do Universo, e gerando o carbono e outros elementos que mais tarde colapsam formando planetas terrestres e até seres humanos.

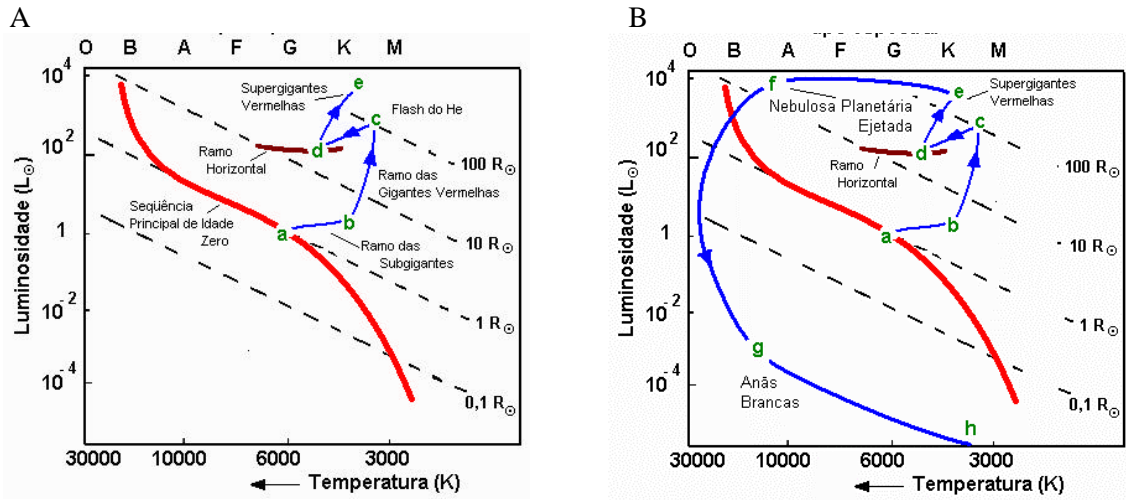
Pelo menos 50% de todas as estrelas nascem em sistemas binários ou múltiplos. Cerca de 75% destes sistemas estão afastados o suficiente para que suas estrelas evoluam como estrelas isoladas, mas nos 25% restantes, quando a estrela de maior massa atinge o ramo das gigantes ou supergigantes, ocorre transferência de massa entre elas e a geração de um envelope comum.

Figura I2 - Evolução estelar para estrelas com massa superior a $25 M_{\odot}$



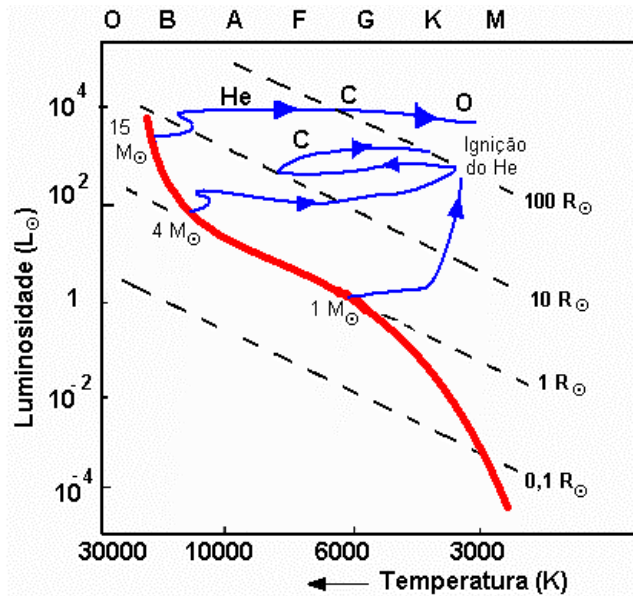
Fonte: Adaptado de: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node14.htm>. Acesso em: 15 jan. 2020.

Figura I3 – A – Evolução estelar de estrelas saindo da sequência principal até o ramo das supergigantes vermelhas; B – Evolução estelar de estrelas que saem da sequência principal até sua fase final em anãs brancas



Fonte: Apostila Telescópio na Escola, Cap. 12: Estágios Finais da Evolução Estelar [2010?].

Figura I4 – Diagramas H-R indicando a trajetória evolutiva de uma estrela tipo Sol



Fonte: Apostila Telescópio na Escola, Cap. 12: Estágios Finais da Evolução Estelar [2010?].

ATIVIDADES

- 1) Faça um diagrama H-R, agora utilizando o isopor disponível na sua mesa, alfinetes coloridos, simbolizando as estrelas coletadas, onde os alfinetes azuis representam as estrelas azuis, os amarelos, as estrelas amarelas, e assim sucessivamente. As estrelas serão as catalogadas ao longo do curso. Utilize o diagrama H-R, feito na aula 6 como matriz deste

novo, corrija os erros que foram discutidos na sala de aula. Neste novo diagrama faça o que se pede:

- a) represente a trajetória evolutiva da estrela Sirius, que possui classe espectral A1V e $2 M_{\odot}$, e estime quanto tempo ela passará na Sequência Principal;
 - b) represente a trajetória evolutiva da estrela Spica, que possui classe espectral B1V e $11 M_{\odot}$, e estime quanto tempo ela passará na Sequência Principal;
 - c) represente a trajetória evolutiva da estrela Próxima Centauri, que possui classe espectral M5V e $0,12 M_{\odot}$, e estime quanto tempo ela passará na Sequência Principal;
e
 - d) represente a trajetória evolutiva da estrela HDE 226868, que possui tipo espectral O9 e $40 M_{\odot}$, e estime quanto tempo ela passará na Sequência Principal.
- 2) Escolha uma destas quatro estrelas e explique com detalhes a trajetória evolutiva da estrela escolhida.

APÊNDICE J – AULA 10: AULA FINAL

Introdução: Esta é a última aula do nosso MC, ela tem como objetivo sintetizar tudo que foi estudado, além disso, ela tem como objetivo verificar o aprendizado dos alunos por meio de um questionário. Este questionário nos trará importantes informações sobre a verificação de indícios de AC. Para sintetizar o MC, passaremos um vídeo²¹ documentário de 43 minutos e 28 segundos, sobre as Estrelas, da série como funciona o universo.

Objetivo de ensino: Desenvolver o senso crítico dos alunos a fim de que passem a melhor filtrar as informações que lhes são dadas, em documentários científicos ou até mesmo em notícias científicas dos telejornais e revistas.

Objetivo de pesquisa: Gerar argumentos científicos a respeito das estrelas confrontando o que foi estudado com o conteúdo do vídeo. Analisar os argumentos gerados de forma oral pela discussão e escrita através do questionário e verificar se há indícios de AC.

Objetivo de aprendizagem: Confrontar as informações do documentário com o que foi estudado.

Recursos didáticos: Lousa, data show, computador, questionário, lápis/e ou caneta.

Procedimento metodológico: Professor, nesta última aula, não é necessário colocar os alunos em grupo, peça aos alunos que sentem em grande roda, explique o que será feito nesta aula. Após a apresentação, explique para os alunos o teor do documentário e peça aos alunos para assistirem e compararem as informações do documentário com as informações obtidas ao longo do curso. Oriente os alunos a anotarem possíveis dúvidas, ou anotar algo que poderia ter sido abordada no documentário e não foi. Após assistirem o documentário discuta com os alunos as possíveis dúvidas e sugestões. Em seguida peça os alunos que respondam o questionário.

Tempo: A duração da aula é de uma hora e meia, sendo 5 min para a explicação inicial, 55 minutos para assistir o documentário e fazer as considerações e mais 30 min para responderem o questionário.

Conteúdo abordado: Esta aula busca sintetizar todo o MC, estimulando o senso crítico dos alunos quanto ao vídeo e aos materiais do MC, além disso, busca-se por argumentos científicos a fim de verificar indícios de AC nos alunos.

²¹Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=agrJHUe9aHA&t=46s> Acesso em: 16 jan. 2020.

Sugestões e observações: Professor, esta é a nossa última aula, busque junto com os alunos sintetizar todo o curso, oriente as discussões de forma que os alunos possam comparar as informações do vídeo com as informações obtidas ao longo do curso, sempre os orientando à argumentar por escrito, pois isso servirá de base para a verificação dos indícios de AC.

QUESTIONÁRIO FINAL

Questão 1) As estrelas são bolas gigantes luminosas de plasma, que geram sua energia pelo processo de fusão nuclear. Crie um argumento no qual você possa explicar para um colega o que são estrelas.

Questão 2) Quando olhamos para o céu noturno observamos uma infinidade de estrelas, cada uma destas estrelas apresenta brilhos diferentes, ou seja, algumas brilham mais que outras. Se estiver em uma região, com ausência de poluição luminosa, zona rural, por exemplo, você pode inclusive observar estrelas com cores diferentes. Qual argumento você usaria para explicar por que as estrelas possuem diferentes cores e brilhos?

Questão 3) As estrelas que compõem nosso universo apresentam características diferentes, isto as tornam únicas, ou seja, sua cor e temperatura são algumas das informações importantes relacionadas a elas. Se você olhar para uma determinada constelação no céu noturno, Órion, por exemplo, qual argumento você usaria para explicar a um colega qual estrela de uma constelação é mais quente ou mais fria?

Questão 4) As estrelas apresentam características espectrais diferentes, assim podemos classificar as estrelas segundo uma sequência de tipos espectrais, ou seja, dependendo de sua temperatura ela terá um tipo espectral, que pode ser: O, B, A, F, G, K ou M. Crie um argumento explicando qual o tipo espectral da nossa estrela, o Sol.

Questão 5) Qual a função do diagrama Hertzsprung-Russel (diagrama H-R)?

Questão 6) As estrelas apesar de terem um período de vida muito longo, este período é limitado. Ou seja, tem um início e um fim que dependerá de sua massa. Crie um argumento explicando a origem das estrelas.

Questão 7) A origem da energia estelar se dá pelo processo de fusão nuclear. Basicamente os processos de fusão nuclear envolvem 4 núcleos de hidrogênio que se fundem para formar 1

núcleo de hélio. As cadeias de reações nucleares dependem da temperatura do interior estelar. Explique como se dá o processo de produção de energia nas estrelas.

Questão 8) Sabe-se que todas as estrelas nascem, evoluem e morrem, diante disso explique a trajetória evolutiva do Sol.

Questão 9) Existem diferentes tipos de buracos negros, os supermassivos, já “estudados” que existe nos centros das galáxias. Os miniburacos negros, teóricos, que teriam suas origens na rápida expansão do universo. E os buracos negros estelares. Crie um argumento no qual você possa explicar para um colega qual a origem dos buracos negros estelares.

Questão 10) Explique como é a trajetória evolutiva de uma estrela com $12 M_{\odot}$?

Questão 11) Para uma estrela com $3 M_{\odot}$, qual o principal mecanismo de produção de energia?

Questão 12) Uma estrela tem seu final de vida quando começa a produzir qual elemento químico? Justifique.
