UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS

ATMOSFÉRICAS

JEFERSON FÁBIO FORNAZARI

DIAGRAMA DE HERTZSPRUNG-RUSSEL COMO FERRAMENTA

DE ENSINO DE FÍSICA: proposta de uma Sequência Didática

JEFERSON FÁBIO FORNAZARI

DIAGRAMA DE HERTZSPRUNG-RUSSEL COMO FERRAMENTA DE ENSINO DE FÍSICA: proposta de uma Sequência Didática

Dissertação apresentada ao Departamento de Astronomia do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP – Universidade de São Paulo como requisito parcial para a conclusão do Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Astronomia e obtenção do título de Mestre em Ensino.

Área de Concentração: Astronomia na Educação Básica

Orientador: Prof. Dr. Jorge Ernesto Horvath

Versão Corrigida. O original encontrase disponível na Unidade.

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catalogação na publicação

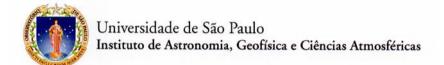
Serviço de Biblioteca e Documentação

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo

Nome: FORNAZARI, Jeferson Fábio

Título: DIAGRAMA DE HERTZSPRUNG-RUSSEL COMO FERRAMENTA DE ENSINO DE FÍSICA: proposta de uma Sequência Didática.

Dissertação apresentada ao Departamento de Astronomia do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP – Universidade de São Paulo como requisito parcial para a conclusão do Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Astronomia e obtenção do título de Mestre em Ensino.



COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO

LISTA DE ASSINATURAS

MESTRANDO: Jeferson Fábio Fornazari

PROGRAMA: Mestrado Profissional em Ensino de Astronomia

ÁREA: Astronomia na Educação Básica

TÍTULO: "DIAGRAMA DE HERTZSPRUNG-RUSSEL COMO FERRAMENTA DE

ENSINO DE FÍSICA: proposta de uma Sequência Didática"

MEMBROS DA COMISSÃO JULGADORA:

JEH

Prof. Dr. Jorge Ernesto Horvath - orientador - MPEA-IAG/USP (por videoconferência)

X T

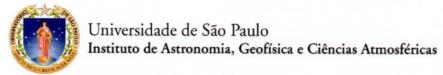
p. Dra Jane Cristina Gregorio Hetem

Profa. Dra. Jane Cristina Gregorio Hetem - MPEA-IAG/USP (por videoconferência)

Z (f)

p. Dr. Gustavo Iachel

Prof. Dr. Gustavo Iachel - UEL (por videoconferência)





p. Dr. Marcos Rincon Voelzke

Prof. Dr. Marcos Rincon Voelzke - Universidade Cruzeiro do Sul (por videoconferência)

MESTRANDO:

beferson Fábig Fornazari (por videoconferência)

São Paulo, 10 de dezembro de 2021.

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a minha esposa, com amor, admiração e gratidão por sua compreensão, carinho, presença, e, incansável apoio ao longo do período de elaboração deste estudo.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa, Ingrid Fornazari, pelo incentivo, dedicação e paciência, ao longo destes anos; acompanhando mais esta jornada ao meu lado.

À minha mãe, Ana Lúcia Spigolon, pelo incentivo e apoio, conversas, e, principalmente, pelo auxílio na formatação e correção da linguagem e da Língua Portuguesa desta dissertação.

Ao professor Dr. Jorge Ernesto Horvath pelos ensinamentos, conversas e debates, também, pelas risadas ao longo do caminho, momentos que me fizeram crescer profissionalmente e pessoalmente.

À Professora Dr^a. Elysandra Figueredo Cypriano pelas conversas, apoio e muito aprendizado ao longo de todo o curso, e, por incentivar-me a fazer o mestrado.

Aos amigos que fiz nesta jornada, suas conversas, apoio, risadas, dificuldades e superações que conseguimos como grupo.

A todos os professores, que tive, ao longo destes anos, por propiciarem o aprendizado necessário para que eu pudesse chegar até este momento.

Ao Diretor Júlio César dos Santos e ao Coordenador Edson Pereira de Araújo da Escola da cidade de Americana, por criarem condições necessárias ao desenvolvimento desse trabalho; pelo apoio e compreensão para que eu pudesse executar as atividades propostas nesta dissertação.

À querida Teló, Professora Dr. Maria Teresa Lopes por todo o apoio, carinho e conversas durante o curso para Docentes que me levaram a pensar nesta possibilidade de aperfeiçoamento.

Póstumo, ao professor Dr. João Evangelista Steiner, que plantou a sementinha desta possibilidade em seu Curso de Astronomia para Docentes, tornando um sonho realidade.

"Ensinar ao homem a sua esfera relativamente pequena na criação, também o encoraja pelas suas lições de unidade da Natureza e mostra-lhe que o seu poder de compreensão o alia com a grande inteligência que sobretudo alcança." (CLARK e CLARK, 2004, p.93, tradução nossa)

RESUMO

FORNAZARI, Jeferson Fábio. DIAGRAMA DE HERTZSPRUNG-RUSSEL COMO FERRAMENTA DE ENSINO DE FÍSICA: proposta de uma Sequência Didática. 2021. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Astronomia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

O presente trabalho discorre sobre uma proposta de Sequência Didática a respeito do uso da Astronomia como recurso didático para o ensino de Física. A referida proposta foi aplicada em três classes da terceira série do Ensino Médio contando com a participação de guarenta e três alunos de uma Escola Estadual. localizada na área central na cidade de Americana-SP. Escola jurisdicionada à Diretoria de Ensino Região de Americana - São Paulo. O recurso mediador proposto para tal feito foi o Diagrama de Hertzsprung-Russel Geral, levando em consideração conhecimentos prévios dos educandos desde o Ensino Fundamental até a presente situação. O objetivo educacional foi verificar se o uso da Astronomia favoreceria o aprendizado da Física, além de possibilitar o entendimento de como ocorre o processo de assimilação do conhecimento, pelo mecanismo do subsunçor de Ausubel. A Seguência Didática utilizada para essa pesquisa foi pré-elaborada por este professor/pesquisador e ministrada aos alunos, através de plataforma digital de gerenciamento de ensino e aprendizagem (Google Classroom) sob forma de pesquisa-ação. A Sequência Didática compreendeu nove encontros; com atividades desenvolvidas usando metodologias ativas, como: sala de aula invertida, estudo dirigido, mapas conceituais, debates, plantões de dúvidas, e acompanhamento em tempo real, tendo como plataforma de acesso Google Classroom, e interações via Google Meet, na intenção de proporcionar ao aluno a oportunidade de conhecer a Astrofísica e desenvolver as habilidades necessárias para adquirir o conhecimento proposto. Os dados coletados, desta pesquisa, abarcaram tanto as respostas escritas quanto as participações e interações dos alunos durante as aulas. Para cada uma das cinco seguências de ensino e aprendizagem propostas na Seguência Didática houve uma análise de dados e resultados utilizando-se a técnica de análise de conteúdo de Bardin, com breve verificação do ensino remoto em contrapartida com o ensino híbrido. Para atingir a compreensão do Diagrama HR, envolveu-se assuntos sobre gravitação, equilíbrio hidrostático, radiação e espectro eletromagnético, fusão nuclear que são conceitos abordados na disciplina de Física. Esses assuntos foram abordados em diversas sequências de ensino e aprendizagem e trouxeram, respostas avaliativas, informações que complementaram conhecimentos prévios e, demonstraram evolução da aprendizagem de Física por meio da Astronomia. Assim, ao aprofundar-se na análise dos dados apresentados na pesquisa pode-se afirmar que a aprendizagem de Física foi facilitada pelo uso da Astronomia, uma vez que a maioria dos participantes indicou que o material mudou suas concepções.

Palavras-chave: Astronomia. Astrofísica. Diagrama HR. Física. HR.

ABSTRACT

FORNAZARI, Jeferson Fábio. HERTZSPRUNG-RUSSEL DIAGRAM AS TOOL IN TEACHING PHYSICS: a Didactical Sequence proposal. 2021. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Astronomia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

The present research discusses a proposal of Didactic Sequence using Astronomy as a didactical resource to teach Physics. The mentioned proposal has been applied in three third-year High School classes at a State School in a central area of Americana city, SP. This school is under the jurisdiction of the Educational Directory, Americana's region – São Paulo. The mediator resource proposed was the Hertzsprung-Russel diagram (universal), considering the student's previous knowledge from elementary grade to the present date. The educational aim of this research is to verify if Astronomy supports physics learning and understand the process of knowledge assimilation that occurs by Ausubel's subsumption mechanism. This teacher/researcher designed the Didactical Sequence of the research and applied it through digital teaching and learning management platform (Google Classroom). The Didactical Sequence comprehends nine meetings with activities using the active methodology, such as inverted classroom, directed studies, conceptual maps, debates, mentorship, and real-time monitoring, having Google Classroom as access platform and interactions via Google Meet. The objective here was to provide the students with the needed opportunities to acquire the proposed knowledge. The collected data for this research comprehend both written responses and student participation and interactions during classes. For each of the five teaching and learning Sequences of the Didactical Sequence, there was a data analysis using Bardan's technique for content analysis with a summary verification of remote learning versus hybrid learning. To understand the HR Diagram topics such as gravitation, hydrostatic equilibrium, radiation, electromagnetic spectrum, nuclear fusion, which are concepts addressed in the Physics discipline. These subjects were discussed in several teaching and learning sequences and brought evaluative answers and information, complementing the previous knowledge, and demonstrating an evolution in learning Physics using Astronomy. When deepening into the analysis of the research data, it can affirm that Physics learning was facilitated using Astronomy since most of the students indicate that the material changed their conceptions.

Keywords: Astronomy. Astrophysics. HR Diagram. Phisics. HR.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura para Sequência Didática	1
Figura 2 – Sequências de atividades da Sequência Didática 4	-2
Figura 3 – Links para acesso às aulas remotas das 3ª séries A, B e C 4	4
Figura 4 – Chamada pelo Facebook que a escola efetuou	4
Figura 5 – Recado posterior a falta de acesso dos alunos	-6
Figura 6 – Informação para entrega de atividades atrasadas 4	-6
Figura 7 – Relembrando da entrega e nova atividade postada 4	.7
Figura 8 – Comunicado da Avaliação Pontual	7
Figura 9 – Comunicado do material disponibilizado com a apostila do 2º bimesti	re
4	8
Figura 10 - Comunicados de plantão de dúvidas e fechamento das atividade	s
4	.9
Figura 11 – Fragmento de Resposta do Aluno 1A	0
Figura 12 – Fragmento de Resposta do Aluno 15A	0
Figura 13 – Fragmento de Resposta do aluno 5C	'1
Figura 14 – Fragmento de resposta do aluno 1A para a 6ª questão 7	'9
Figura 15 – Fragmento de resposta do aluno 6A para a 5ª questão 7	'9
Figura 16 – Fragmento de resposta do aluno 15A para a 5ª e 7ª questões 7	'9
Figura 17 – Fragmento de resposta do aluno 24A para a 1ª questão	Ю
Figura 18 – Fragmento de resposta do aluno 5C para a 3ª questão 8	Ю
Figura 19 - Transposição da atividade sobre o mapa conceitual do aluno 23	Α
8	1
Figura 20 - Transposição do Mapa conceitual do aluno 6B	2
Figura 21 – Transposição da atividade sobre mapa conceitual estrelas de baix	a
massa aluno 3A	2
Figura 22 – Transposição da atividade sobre mapa conceitual estrelas de mass	a
intermediária aluno 3A	3
Figura 23 - Transposição da atividade sobre mapa conceitual estrelas de alt	ta
massa aluno 3A	3
Figura 24 - Imagem parcial da tabela para elaboração do Diagrama HR Ger	al
8	4

Figura 25 – Resposta da questão 4 da Sequência de Ensino e Aprendizagem 5
85
Figura 26 - Diagrama HR Geral da Sequência de Ensino e Aprendizagem 5 85
Figura 27 - Imagem parcial da tabela para elaboração do Diagrama HR Gera
85
Figura 28 – Resposta da questão 3 da Sequência de Ensino e Aprendizagem 5
86
Figura 29 – Diagrama HR Geral da Sequência de Ensino e Aprendizagem 5 86

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Avaliação Diagnóstica de Entrada de Língua Portuguesa 39
Gráfico 2 – Avaliação Diagnóstica de Entrada de Matemática 40
Gráfico 3 – Atividades do Diagrama HR por Sala
Gráfico 4 – Avaliação de Aprendizagem em Processo de Física 1° Bimestre 5°
Gráfico 5 – Avaliação de Aprendizagem em Processo de Física 2° Bimestre 5°
Gráfico 6 – Participação de alunos da 3ª série A
Gráfico 7 – Participação de alunos da 3ª série B
Gráfico 8 – Participação de alunos da 3ª série C
Gráfico 9 - Comparativo das respostas da Q1 do questionário inicial e final . 97
Gráfico 10 - Comparativo das respostas da Q2 do questionário inicial e final 97
Gráfico 11 - Comparativo das respostas da Q3 do questionário inicial e final 98
Gráfico 12 - Comparativo das respostas da Q4 do questionário inicial e final 98
Gráfico 13 - Comparativo das respostas da Q5 do questionário inicial e final 99
Gráfico 14 - Comparativo das respostas da Q6 do questionário inicial e fina
100
Gráfico 15 - Comparativo das respostas da Q7 do questionário inicial e fina
100
Gráfico 16 - Comparativo das respostas da Q8 do questionário inicial e fina
10
Gráfico 17 - Comparativo das respostas da Q9 do questionário inicial e fina
102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação das entregas das atividades dos alunos para a 3ª série A
54
Tabela 2 – Relação das entregas das atividades dos alunos para a 3ª série B
Tabela 3 - Relação das entregas das atividades dos alunos para a 3ª série C
Tabela 4 - Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos
alunos para a questão de número 1 do questionário inicial
Tabela 5 - Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos
alunos para a questão de número 2 do questionário inicial
Tabela 6 - Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos
alunos para a questão de número 3 do questionário inicial
Tabela 7 - Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos
alunos para a questão de número 4 do questionário inicial
Tabela 8 - Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos
alunos para a questão de número 5 do questionário inicial
Tabela 9 - Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos
alunos para a questão de número 6 do questionário inicial
Tabela 10 - Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos
alunos para a questão de número 7 do questionário inicial
Tabela 11 - Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos
alunos para a questão de número 8 do questionário inicial
Tabela 12 - Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos
alunos para a questão de número 9 do questionário inicial
Tabela 13 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos
alunos para a pergunta após a sequência de ensino e aprendizagem 1 68
Tabela 14 - Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos
alunos para a pergunta após a sequência de ensino e aprendizagem 2 72
Tabela 15 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos
alunos para o complemento da pergunta após a sequência de ensino e
aprendizagem 2

Tabela 16 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos
alunos para o complemento da pergunta após a sequência de ensino e
aprendizagem 2
Tabela 17 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos
alunos para o estudo dirigido na sequência de ensino e aprendizagem 3 75
Tabela 18 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos
alunos para o estudo dirigido na sequência de ensino e aprendizagem 3 76
Tabela 19 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos
alunos para o estudo dirigido na sequência de ensino e aprendizagem 3 77
Tabela 20 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos
alunos para o estudo dirigido na sequência de ensino e aprendizagem 3 77
Tabela 21 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos
alunos para a questão de número 1 do questionário final
Tabela 22 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos
alunos para a questão de número 2 do questionário final
Tabela 23 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos
alunos para a questão de número 3 do questionário final
Tabela 24 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos
alunos para a questão de número 4 do questionário final
Tabela 25 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos
alunos para a questão de número 5 do questionário final
Tabela 26 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos
alunos para a questão de número 6 do questionário final
Tabela 27 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos
alunos para a questão de número 7 do questionário final
Tabela 28 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos
alunos para a questão de número 8 do questionário final
Tabela 29 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos
alunos para a questão de número 9 do questionário final

LISTA DE SIGLAS

AAP Avaliação de Aprendizagem em Processo

A-C Acabando o Combustível

ADC Avaliação Diagnóstica Complementar
ADE Avaliação Diagnóstica de Entrada
A-DMG Amostragem ou Dados Muito Grandes

BIG BANG Teoria Cosmológica de Expansão do Universo

BNCC Base Nacional Comum Curricular

C Completa

CAEd Plataforma de Atividades e Avaliação Formativa de São Paulo

C-BT Com Base no Texto C-BV Com Base no Vídeo

C-D Compreenderam Algo e Descreveram

C-E Classificação Estrelar C-FN Cessa a Fusão Nuclear

C-ML Confusão Massa e Luminosidade

CMSP Centro de Mídias da Educação de São Paulo

C-RS Compreenderam - Resposta Simples
D-EE Distribuição de Energia e Espectro
D-EF De acordo com Ensino Fundamental

D-HR Diagrama HR D-M Depende da Massa

E-C Erro Conceitual

E-Comp Explicou Complementando

E-D Explicação Direta E-E Evolução Estelar

EF-GP EF com indicação de Gravidade e Pressão

EF-GPFN EF com indicação de Gravidade, Pressão e Fusão Nuclear

EF-IEPG EF com Indicação Esférica e Presença de Gases

EJA Educação de Jovens e Adultos

E-P Explicou Parcialmente

E-RC Etapas - Relaciona Corretamente

F Fórmulas

F-LE Fusão Com Liberação de Energia F-ND Fusão Nuclear - Sem Explicação

F-ORF Formação - Origem na Reação de Fusão

FORMS Aplicativo de Gerenciamento de Questionários e Pesquisas

G-D Gráfico de Distribuição

G-FN De Nuvens de H, He, Gravidade e Fusão Nuclear

G-I Gás Interestelar (Poeira e H) H-He-G De Nuvens de H, He e Gravidade

HR Hertzsprung-Russell

IAG Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

I-C Invoca a Ciência Idade Devido a Idade

IDESP Indice de Desenvolvimento da Educação de São Paulo

I-R Inverteu a Relação de Massa x Tempo Vida

LDB Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional

LP Progressão da Aprendizagem

Meet Plataforma de Videoconferência da Google

M-TV Massa Interfere Tempo de Vida

Mud Mudanças que Ocorrem

Melhor Visualização - Ordem de Grandeza MV-OG

Apenas Não Não

N-E Nascimento da Estrela N-EA Não Entendeu Ainda

Neb De Nebulosas

N-HM Não Houve Mudança

Não Se Lembra N-L N-O Nunca Ouviu

Programa do Governo do Estado de São Paulo que oferece cursos Novotec

técnicos e profissionalizantes gratuitos para alunos das escolas

estaduais paulistas

N-R Não Respondeu

Não Sabe / Não Sabe Muito N-S

Nu-H-He De Nuvens de H e He

Р Parcial

P-AF Parcial - Apenas formação

Pesquisada e Transcrita da Internet P-TI

PCN+ Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros

Curriculares Nacionais

PDF Formato de Documento Portátil

P-E Propriedade de Estrelas Parcial - Apenas HR P-HR

P-N Parcial - Apenas Nascimento

P-NP Parcial - Nascimento e Propriedades QR-Code Código de Barras Bidimensional Relacionou Complementando

R-Comp

R-GC Relaciona Gravidade e Combustível

R-H-He Relacionou com a Queima de Hidrogênio e Hélio

Resposta Incoerente com a Pergunta R-IP

Relacionou com a Massa R-M R-P Relaciona Parcialmente

Resposta Simples / Apenas Nascimento RS-AN

Relacionou com o Texto R-T

R-TE Relacionado ao Tema Estrelas

S Simplista

SARESP Sistema de Avaliação de Rendimento Escolar do Estado de São

Paulo

S-C Sim - Complementou

Secretaria de Educação do Estado de São Paulo SEE-SP SEDUC Secretaria da Educação do Estado de São Paulo

Sim Apenas Sim

S-RT Sem Relação com Texto Transforma-se em Ferro T-F

T-M

Temperatura e Massa Temperatura, Massa e Luminosidade Tudo - Não Sabia Antes T-M-L

T-NSA

Universidade Federal do Rio Grande do Sul UFRGS

USP Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1	I INTRODUÇÃO	21
	1.1 Estrutura da Dissertação	22
2	2 REFERENCIAL TEÓRICO	23
	2.1 Sequência Didática	23
	2.2 Ensino e Aprendizagem	24
	2.2.1 Sequência de Ensino e Aprendizagem	27
	2.3 Ensino de Astrofísica	29
	2.3.1 Diagrama HR no Ensino	30
	2.4 Avaliação	32
	2.4.1 Avaliação de Aprendizagem em Processo (AAP)	33
	2.4.2 Sistema de Avaliação de Rendimento Escolar do Estado de São F (SARESP)	
	2.4.3 Índice de Desenvolvimento da Educação de São Paulo (IDESP).	35
	2.5 Modelos Híbridos de Ensino	35
	2.5.1 Modelo de Ensino Híbrido de Rotação – Sala de Aula Invertida	36
3	B PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	37
	3.1 Local para Aplicação da Sequência Didática	38
	3.2 A Sequência Didática	40
	3.2.1 Detalhamento da Sequência Didática	42
	3.3 Aplicação da Sequência Didática	43
4	4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
	4.1 Questionário Inicial	55
	4.2 Questão após a Sequência de Ensino e Aprendizagem 1	68
	4.3 Atividade de Fixação de Conhecimento	69
	4.4 Sequência de Ensino e Aprendizagem 2 – O Papel da Gravidade	71

4.5 Sequência de Ensino e Aprendizagem 3 – Estudo Dirigido
4.6 Avaliação Pontual
4.7 Sequência de Ensino e Aprendizagem 4 – Mapas Conceituais 81
4.8 Sequência de Ensino e Aprendizagem 5 – Elaboração Diagrama HR 84
4.9 Questionário Final 86
4.10 Comparativo Questionário Inicial e Final
4.11 Discussão dos dados coletados102
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS107
REFERÊNCIAS112
ANEXO A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO117
ANEXO B – AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA DE ENTRADA – LÍNGUA PORTUGUESA 2021118
ANEXO C – AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA DE ENTRADA – MATEMÁTICA 2021
ANEXO D – AVALIAÇÃO DE APRENDIZAGEM EM PROCESSO – FÍSICA 1° BIMESTRE 2021122
ANEXO E – AVALIAÇÃO DE APRENDIZAGEM EM PROCESSO – FÍSICA 2° BIMESTRE 2021124
APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL PARA O PROFESSOR127

1 INTRODUÇÃO

O produto a que se destinou esta pesquisa foi uma Sequência Didática que utilizou a Astronomia como um recurso didático para desenvolver a aprendizagem de Física em alunos de terceira série do Ensino Médio. A análise de dados dos resultados teve como objetivo verificar a efetividade da aprendizagem em uma análise qualitativa de reconhecimento dos mecanismos cognitivos dos alunos durante a aprendizagem. E, também uma análise quantitativa na aplicação e uso das habilidades de Física propostas no Ensino Médio. Estas últimas foram verificadas por meio de avaliações pontuais internas, como as preparadas e aplicadas pela maioria dos professores; ou de sistema como: Avaliação Diagnóstica de Entrada (ADE), Avaliação de Aprendizagem em Processo (AAP) ou, Avaliação Diagnóstica Complementar (ADC); e, externas, como: Sistema de Avaliação de Rendimento Escolar do Estado de São Paulo (SARESP), Índice de Desenvolvimento da Educação de São Paulo (IDESP), exames vestibulares e outras.

A pesquisa serviu como meio para compreender o processo cognitivo do aluno, durante o desenvolvimento da aprendizagem do componente curricular de Física com o uso da Astronomia. Bem como, desenvolver habilidades gerais da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, e, habilidades específicas do componente curricular de Física para o Ensino Médio.

Pôde-se elencar, ainda, a importância da pesquisa realizada na área da educação para a orientação de professores (apêndice desta pesquisa), pois o pesquisador direcionou seus esforços na metodologia de ensino e na forma como deve-se orientar o estudo com base em dados comprovados; além da produção e elaboração de material didático adequado aos estudantes. Com o desenvolvimento do indivíduo, de maneira global, sem lacunas de aprendizagem; o estudante pode tornar-se um cidadão pleno, argumentador e consciente de suas atribuições na sociedade.

Inicialmente, a Sequência Didática seria aplicada em sala de aula usando as metodologias de ensino híbrido com suas várias nuances. A aula seria presencial, e, o projeto inicial foi desenvolvido para ser aplicado como tal; contudo, devido à situação de pandemia a Sequência Didática passou por adaptações. As atividades foram desenvolvidas usando metodologias ativas, como: sala de aula invertida, estudo

dirigido, mapas conceituais, debates, plantões de dúvidas, e acompanhamento em tempo real, durante as atividades propostas, tendo como plataforma de acesso *Google Classroom*, e interações via *Google Meet*.

Os questionários e as avaliações foram executados no *Google Forms*, com questões abertas e dissertativas, possibilitando aos alunos responderem no caderno, fotografando sua resolução e fazendo o *upload* das respostas.

1.1 Estrutura da Dissertação

A dissertação "DIAGRAMA DE HERTZSPRUNG-RUSSEL COMO RECURSO DIDÁTICO PARA O ENSINO DE FÍSICA: PROPOSTA DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA" foi apresentada em cinco capítulos, destes o capítulo um discorre a introdução, apresentando o produto, a importância do estudo em questão e a delimitação da aplicação.

No capítulo dois, destinado ao referencial teórico utilizado no estudo, foram apresentados recortes dos principais trabalhos na área de Astrofísica Estelar, além de pesquisas com a utilização do Diagrama HR com alunos, e, de metodologias de avaliação e ensino.

O encaminhamento metodológico foi apresentado no capítulo três, compreendendo a Sequência Didática, o local de aplicação com suas características e o processo de aplicação.

Os resultados e discussões podem ser vistos no capítulo quatro, categorizados de acordo com a técnica de Análise de Conteúdo de Bardin.

Finalizando a dissertação no capítulo cinco, as considerações finais foram apresentadas, além de propostas de aplicações e encaminhamentos futuros.

E, posterior às referências encontra-se o produto educacional como material de orientação aos professores, apresentado como apêndice.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo foram organizados os referenciais teóricos balizadores na estruturação da Sequência Didática proposta. Aqui também foram apresentados conceitos importantes para a análise e compreensão de dados. Além disso, foram abordados aportes teóricos referentes à Astrofísica e ao uso do Diagrama HR em outros estudos.

2.1 Sequência Didática

Para fundamentar as atividades optou-se pelos estudos de Airey e Eriksson (2019), Andrade e Souza (2016), Christensen, Horn e Staker (2013), Colantonio *et al.* (2018), Creswell (2007), Demo (2012), Horvath (2019), Iachel (2011), Kneubil e Pietrocola (2017), Lijnse e Klassen (2010), Luckesi (2000), Martins e Neto (2015), Moreira (2010 e 2016), Motokane (2015), Soares e Guridi, (2012), Viiri e Savinainen (2008), Zaballa (1998).

A Sequência Didática desenvolvida neste estudo está em consonância à Zaballa (1998) e as atividades planejadas tiveram como objetivo educacional quantificar o uso da Astronomia na aprendizagem da Física e compreender como o estudante relaciona os conteúdos da aula no desenvolvimento de sua própria aprendizagem. Zaballa (1998), destacou em seu livro "A prática educativa: como ensinar" a importância em apresentar os objetivos, antecipadamente, para os alunos, como forma de saberem onde o estudo irá "levá-los", melhorando a compreensão, e, possivelmente, interações em sala de aula.

Na execução de sequências didáticas Zaballa (1998) apresenta variáveis metodológicas que se deve atentar, como: relações e situações de comunicação; organização social da sala ou agrupamentos; organização do tempo e espaço na sala, ou local, a ser desenvolvida a Sequência Didática; organização dos conteúdos; materiais curriculares, pedagógicos; procedimento para avaliação.

Não se deve esquecer que a elaboração e execução da sequência de atividades ou Sequência Didática é considerada uma intervenção que apresenta características bem distintas (ZABALLA, 1998). O papel da elaboração, aplicação e

interação é imprescindível em qualquer Sequência Didática. Colantonio *et al.* (2018), também, afirmam que como o pesquisador e aplicador da Sequência Didática são a mesma pessoa, poder-se-á aplicar uma versão preliminar e ir modificando à medida que se fizer necessário e, assim, repensar as ações e corrigir as atividades ao longo do processo, convergindo com Zaballa (1998) que indica uma intervenção reflexiva, que deve abarcar: planejamento, aplicação e avaliação.

"As sequências didáticas, também, podem ser consideradas e pensadas para serem uma ferramenta para a coleta de dados nas investigações em educação científica" (MOTOKANE, 2015, p. 119). Como apontado por Motokane (2015), esse processo serve de meio para melhoria do ensino e aprendizagem tanto para estudantes, quanto para professores, desenvolvendo a educação como um todo.

2.2 Ensino e Aprendizagem

A construção do conhecimento, conforme Zaballa (1998), é um complexo de processos de ensino e aprendizagem. E uma estrutura cognitiva é formada por uma rede de esquemas de conhecimento (ZABALLA,1998) que depende dos conhecimentos prévios dos alunos e de seu desenvolvimento. Sendo assim, para que haja desenvolvimento de ensino e aprendizagem do aluno, deve-se levar em conta o que este já conhece, ou teve contato com o mundo ao entorno.

Seguindo nessa mesma linha, Ausubel (2003) e Moreira (2016), a aprendizagem deve conseguir mobilizar conhecimentos prévios, relevantes, dos alunos, e causar uma modificação na estrutura cognitiva deles, para que, assim, seja ancorado o novo conhecimento ao anterior, estrutura esta conhecida como subsunçor.

Observando Zaballa (1998), Ausubel (2003) e Moreira (2016) fica claro que os conhecimentos prévios dos alunos são de suma importância e um ponto chave a ser levado em consideração. Portanto, é com base nesse conhecimento prévio que será ancorado o novo conhecimento, a esse processo em que o aluno mobiliza seus conhecimentos prévios para formar o novo conhecimento que Ausubel (2003) denomina subsunçor.

Portanto, a aprendizagem só será significativa para o aluno, quando os conteúdos aprendidos conseguirem atualizar seus próprios esquemas de

conhecimento, e, congruentes às relações de verificação, comparação, e o mais importante, integrando-os aos seus esquemas anteriores, conseguindo, assim, comprovar que o que foi estudado tem lógica e coerência. (ZABALLA, 1998) E, uma vez que faça sentido para o aluno, a significância desta aprendizagem estará vinculada em equivalência ao grau de atualização que a atividade proporcionou, não sendo apenas uma relação de tudo ou nada.

Já, para Ausubel (2003) a aprendizagem significativa está subdividida em três tipos: a representacional, a conceitual e a proposicional, e, é a partir da representacional é que derivam as outras.

A representacional é a aprendizagem dos significados dos símbolos ou palavras unitárias; a conceitual, por outro lado, é a aprendizagem das ideias genéricas ou categorizadas que, embora o novo conceito seja relacionado com as ideias na estrutura cognitiva, continua de caráter unitário.

No caso da proposicional, a aprendizagem se dá, também, na estrutura cognitiva, mas de forma mais complexa formando, então, os significados compostos.

Observa-se, assim, a preocupação de se desenvolver objetos do conhecimento voltados para o nível de desenvolvimento em que o aluno se encontra, e mais importante, que este novo objeto de conhecimento faça sentido para o aluno, só assim o processo de aprendizagem poderá ser significativo.

A aprendizagem significativa é tão importante no processo de educação por ser o mecanismo humano por excelência para a aquisição e o armazenamento da vasta quantidade de ideias e de informações representadas por qualquer área de conhecimentos. (AUSUBEL, 2003, p. 81)

Para Moreira (2016), os subsunçores são desenvolvidos por processo de formação de conceitos que é uma forma de aprendizagem por descoberta, com hipóteses sendo criadas e testadas, generalizações feitas pelos indivíduos de maneira gradual e própria de cada um. Quando se deparam com situações específicas, mesmo quando crianças, anterior à idade escolar, a aprendizagem nova será assimilada com base nos conhecimentos anteriores.

É através do desenvolvimento cognitivo dos alunos (utilizando os subsunçores) que poderá ser potencializada sua aprendizagem por meio das Ciências; trabalhando com atividades que necessitem dos mesmos recursos, como o Método Científico, que

corroboram com o levantamento de hipóteses, testes, comprovações ou refutações, além de generalizações.

Outra maneira de se compreender o desenvolvimento cognitivo está comentado em Moreira (2016):

O desenvolvimento cognitivo é, segundo Ausubel, um processo dinâmico no qual novos e antigos significados estão, constantemente, interagindo e resultando em uma estrutura cognitiva mais diferenciada, a qual tende a uma organização hierárquica, na qual conceitos e proposições mais gerais ocupam o ápice da estrutura e abrangem, progressivamente, proposições e conceitos menos inclusivos, assim como dados factuais e exemplos específicos. (*op. cit.*, 2016, p.26)

Não se pode esquecer que a intervenção pedagógica deverá propor desafios alcançáveis aos alunos, fazendo-os avançar aos poucos, só assim auxiliará no processo de construção da aprendizagem do aluno. (ZABALLA, 1998)

Todo o processo cognitivo e de aprendizagem significativa são dependentes da forma como a intervenção pedagógica ocorre, e dos desafios que são propostos aos alunos. Neste caso, pode-se pensar naquele aluno que não dispõe destes conhecimentos prévios, uma alternativa seria a utilização dos organizadores prévios de Ausubel (*apud* MOREIRA,2016):

Ausubel, no entanto, propõe o uso de organizadores prévios que sirvam de ancoradouro para o novo conhecimento e levem ao desenvolvimento de conceitos subsunçores que facilitem a aprendizagem subsequente. (*op.cit.*, 2016, p.13)

Então, quando se está diante de uma sala repleta de alunos, onde alguns estão naturalmente motivados, pois gostam da disciplina; outros, porque gostam do conteúdo a ser ministrado; e, outros, ainda, não demonstram ter conhecimentos prévios relacionados ao assunto tratado; e, mesmo assim, deve-se propor as atividades, conforme indicação abaixo:

[...] a melhor forma de se ensinarem estudantes desmotivados é ignorar a falta de motivação dos mesmos, nessa altura, e concentrarse em ensiná-los tão eficazmente quanto possível, em termos cognitivos. (AUSUBEL, 2003, p.199) A aprendizagem, dessa forma, é proposta a todos que compõem a sala de aula, respeitando o mesmo ambiente de aprendizagem, e, com os recursos necessários para que o desenvolvimento de cada indivíduo seja pleno.

No entanto, um cuidado no direcionamento da atividade se faz necessário, uma vez que a aprendizagem pode, também, ser considerada mecânica como comentado por Ausubel (2003) e afirmado por Moreira (2016), quando o conteúdo proposto na atividade não interage com conceitos relevantes, já existentes, na cognição do aluno, então, a aprendizagem passa a ser conhecida como automática.

Para Zaballa (1998), Ausubel (2003) e Moreira (2016), a elaboração de materiais que serão apresentados para os estudantes devem proporcionar situações alcançáveis, mas ao mesmo tempo, com algum desafio que gere esforço para que o processo de modificação dos conhecimentos seja mobilizado. Mesmo quando o aluno não dispõe dos conhecimentos prévios, incluindo os casos que não haja motivação, o material requer intensa atenção ao ser elaborado.

Também, não se espera que o aluno, mesmo com uma aprendizagem significativa, vá recordar tudo ao longo de meses e anos, isso fica claro na informação:

Como continuação natural do processo de subsunção (ou assimilação), Ausubel introduz o conceito de assimilação obliteradora: novas informações, espontânea as vão, progressivamente, perdendo a dissociabilidade em relação às ideiasâncora, até que não mais sejam reproduzíveis como entidades restando apenas subsunçor individuais, 0 modificado. esquecimento é, portanto, visto como uma continuação temporal, natural, do mesmo processo de assimilação, o qual facilita a aprendizagem e a retenção significativa de novas informações. (MOREIRA, 2016, p.26, grifo do autor)

2.2.1 Sequência de Ensino e Aprendizagem

Há, pelo menos, duas décadas são desenvolvidas sequências de ensino e aprendizagem para o ensino das Ciências, porém, baseando-se em tópicos únicos; enquanto deveriam abranger todo o currículo. (VIIRI E SAVINAINEN, 2008).

Na Educação do Estado de São Paulo o uso de sequências de ensino e aprendizagem fica evidente com a proposta curricular de 2008, que propunha a utilização de situações de aprendizagem para todas as disciplinas.

Esta proposta curricular culminou no currículo da rede pública do Estado de São Paulo no ano de 2009. Tal currículo foi reelaborado para se adequar às mudanças na estrutura curricular proposta na Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) em 2017, e, também, após a homologação da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) etapa do Ensino Médio em 2018, que, atualmente, é o Currículo Paulista: etapa Ensino Médio, sendo implantado a partir de 2021.

Para os professores, ou elaboradores, dessas sequências Lijnse e Klassen (2010) orientam que qualquer sequência deve ser elaborada a partir de um cenário em que a sequência de ensino e aprendizagem teste será aplicada. Este cenário serve para auxiliar tanto no desenvolvimento da sequência, quanto na observação e interpretação do processo de ensino e aprendizagem.

Seguindo esta mesma postura, Colantonio *et al.* (2018), indicam que a primeira Sequência Didática (*Learning Progression* – LP), desenvolvida acabará sendo uma LP hipotética, tendo por base o que os alunos sabem, e tomando este conhecimento como ponto de partida para as devidas adaptações e correções em sala de aula. A explicação do LP pode ser vista abaixo:

[LPs] são descrições das formas sucessivamente mais sofisticadas de pensar sobre um tópico que podem se seguir umas às outras à medida que as crianças aprendem e investigam um tópico durante um amplo período de tempo. (COLANTONIO, *et al*, 2018, p.010143-2, tradução do autor)

A sequência aplicada será validada *in loco* ou pelo autor/pesquisador, ou mesmo por um aplicador que deverá conhecer todas as etapas da Sequência Didática, e será modificada ou melhorada à medida que a aplicação e avaliação transcorram.

O uso da sequência para os estudantes deve ter indicações claras e, como Lijnse e Klassen (2010) apontam, os estudantes devem saber, durante o processo de ensino e aprendizagem quais os objetivos a serem atingidos daquilo que estão estudando para que o novo conhecimento possa "fazer sentido" e ser assimilado pelos alunos. Pois, uma vez que a atividade faça sentido para os alunos, tem-se tanto a motivação para o estudo quanto a possibilidade de propiciar uma aprendizagem significativa.

Sequências de ensino e aprendizagem não são atividades novas para os alunos da rede pública do Estado de São Paulo, alunos e professores da rede estadual, já, as conhecem e estudam por elas, o que se propõe são atividades onde os objetivos sejam claros, desde o início, tanto para os alunos quanto para os professores.

2.3 Ensino de Astrofísica

O ensino de Física, de acordo com Horvath (2019), pode ser melhorado de forma interdisciplinar ao se aplicar Astrofísica Estelar, aproveitando o "gosto" pela Astronomia como catalisador do processo. A Astrofísica, também pode ser utilizada como meio de integrar Mecânica Quântica e Relatividade no Ensino Médio.

Por muitos anos, a Astronomia ficou longe do escopo do ensino de Física, sendo dirimida para poucos assuntos nas disciplinas de Geografia ou de Ciências, de forma apenas ilustrativa, como: os pontos cardeais, eclipses, movimentos de translação e rotação; embora já se fizesse presente nas Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) do Ensino Médio de 2002, retorna em 2008 com a proposta curricular; com maior profundidade, porém, de forma empírica.

Os assuntos de Astronomia no Ensino Médio precisam ganhar maior notoriedade deixando a Astronomia "natural" e se aprofundando em Astrofísica Estelar para que o conhecimento dela advindo seja abrilhantador como proposto por Horvath (2019).

lachel (2011) no seu "O conhecimento prévio de alunos do Ensino Médio sobre as estrelas", também, destacou que o conhecimento dos alunos, ainda parte de dedução ou informações ingênuas e não pautadas em modelos ou explicações científicas.

A Física do século XX, precisaria ser apresentada, aos alunos, de forma aplicada, decorrente de pesquisas e necessidades da Ciência para a compreensão do Cosmos. No entanto, nos estudos de Astronomia no Ensino Médio, ainda se vê: o uso de cálculos de proporção de planetas, distâncias, constelações, galáxias, leis de Kepler desvinculados da Física que explicaria tais elementos.

No desenvolvimento de sequências didáticas de Astronomia destaca-se o uso de recurso facilitador, denominado por Ausubel (2003), de "organizadores prévios", uma vez que os alunos podem não ter conhecimento prévio do assunto, ou o conhecimento estar desorganizado cognitivamente, essa afirmativa, também, aparece em Soares e Guridi (2012) como um ponto importante na proposta. E Kneubil e Pietrocola (2017) afirmam que uma sequência de ensino e aprendizagem não é apenas um material de pesquisa que gerou intervenção em aula, e sim um material preparado para a realidade da sala de aula de acordo com a cognição dos alunos.

2.3.1 Diagrama HR no Ensino

O Diagrama HR para a Educação, já foi utilizado por autores como: Airey e Eriksson (2019), Beloni (2016), Calado e Oliveira (2015), Girardi (2017), Recco et al. (2016) e Vieira (2018).

Com a preocupação de se utilizar o Diagrama HR como recurso didático e de sua complexidade de informações, Airey e Eriksson (2019) propuseram um olhar cuidadoso acerca das informações presentes no Diagrama HR, e pontos de atenção em sua aplicação inicial em pessoas leigas. Alguns cuidados com os eixos devido às informações nada convencionais, ou mesmo, referente às escalas invertidas, excesso de informações, além de uma visão histórica de cada eixo facilitam a compreensão do Diagrama HR e indicam uma abordagem facilitadora para o desenvolvimento da aprendizagem.

Um dos trabalhos que usou o Diagrama HR foi "Uma abordagem de conceitos de Física e Astronomia a partir do Diagrama HR" de Beloni (2016) que elaborou uma Sequência Didática para alunos do 2° ano de um curso técnico integrado (Comércio e Informática) do Instituto Federal do Mato Grosso, que construía e aplicava uma maquete tridimensional do Diagrama HR, relacionando a cor (temperatura) e massa/tamanho (luminosidade), através da qual os alunos aprendiam e interrelacionavam os conceitos de Física e de Astronomia.

Outro trabalho que destacou o uso do Diagrama HR foi elaborado por Calado e Oliveira (2015) "O Diagrama HR como ideia-âncora para a organização prévia no Ensino de Astronomia e Física". Nesse trabalho desenvolveram atividades em um

clube de Astronomia com bolsistas do Instituto Federal de Santa Catarina, cujo projeto usou o Diagrama HR como ideia âncora para mobilizar a predisposição dos educandos no processo de aprendizagem, otimizando assim os conteúdos de Física, inseriam conceitos de Física usando a Astronomia como meio integrador. A Sequência Didática foi aplicada em escola de educação básica no período noturno com uma turma mista de 1ª, 2ª e 3ª séries do Ensino Médio com um total de 19 participantes.

Em Girardi (2017) o Diagrama HR foi usado para desenvolver a aprendizagem da Física Moderna e Contemporânea, sua proposta se baseou no uso do *Software Stellarium* com coleta de dados e construção coletiva do conhecimento, partindo de fenômenos físicos presentes na Física Estelar. Esse projeto foi desenvolvido com uma turma de 31 participantes da 2ª série do Ensino Médio de um colégio estadual de Porto Alegre. O trabalho" Construção do Diagrama HR através do Stellarium: uma proposta para explorar conceitos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio" foi desenvolvido ao longo de seis encontros, sendo os três primeiros de 100 minutos e os demais de 150 minutos.

Recco et al. (2016) desenvolveram uma "Oficina de Astronomia envolvendo a aprendizagem ativa e a interação dos alunos na construção do saber sobre o Diagrama HR". Para este trabalho os alunos se inscreveram na oficina que contou com cinco encontros. O primeiro encontro explanava a perspectiva de uso do HR para ensino qualitativo de Astronomia, e contou com 72 inscritos. Os demais encontros ocorriam no contraturno, o que provocou debandada de participantes, chegando ao último encontro com apenas 20 participantes.

Vieira (2018) em seu trabalho "Astrofísica Estelar para Ensino Médio: análise de uma proposta". Apresentou o Diagrama HR e suas relações no desenvolvimento das atividades com alunos do Ensino Médio cuja pesquisa relacionava a vida de seres vivos e processos biogeoquímicos com os processos e a vida de estrelas. A necessidade que se tem de classificar os objetos conhecidos, e as propriedades das estrelas com sua forma de determinação, foi o ponto de partida para a atividade que envolvia o Diagrama HR e, por fim, apresentou como as estrelas nascem, suas etapas e as contribuições do teorema do Virial e equilíbrio hidrostático. Este trabalho foi desenvolvido com cinco turmas da 2ª série do Ensino Médio, com dois encontros de 100 minutos (duas aulas duplas de 50 minutos) e um total de 69 participantes.

2.4 Avaliação

A avaliação, geralmente, abrange análise tanto qualitativa quanto quantitativa, por meio de análise qualitativa pode-se verificar a cognição dos alunos ao se depararem com conteúdo de Astrofísica Estelar; como compreendem o que foi apresentado e como relacionam com seus conhecimentos prévios. Na análise quantitativa busca-se a compreensão da Física por meio da Astronomia, evidenciada na melhora do rendimento dos alunos envolvidos, nas avaliações executadas.

De acordo com Creswell (2007), a análise qualitativa viabiliza uma visão mais ampla do problema de aprendizagem, pois o pesquisador consegue levantar dados de comportamento, de cultura e de atitude das pessoas. Já a análise quantitativa demonstra o uso dos conceitos e teorias, baseados na disciplina Ciências, que os alunos estudaram, e o quê conseguem pôr em prática, respeitando a sistemática exigida para a disciplina.

Na visão de Zaballa (1998), a avaliação é vista como uma oportunidade para que os estudantes possam desenvolver suas próprias capacidades, ressaltando que o processo avaliativo abarca não só os estudantes, mas também, a forma de ensino do professor.

Para Luckesi (2000) o ato de avaliar será sempre qualitativo, uma vez que ao se avaliar verifica-se aquilo que o aluno compreendeu com base em algo que lhe foi ensinado. Para tanto, é usado um sistema subjetivo de verificação por meio de comparação, do critério adotado na avaliação em contraponto à descrição do aluno.

Assim, como outros autores *supra* citados, Kneubil e Pietrocola (2017) apontam que o processo de avaliação é um dos mais importantes, para os professores e pesquisadores no desenvolvimento da atividade proposta, já que a avaliação está diretamente ligada à análise da pesquisa e do material desenvolvido, e também, para possível reelaboração da Sequência Didática ou da sequência de ensino e aprendizagem, além de que a avaliação deve estar sempre pautada pelo objetivo proposto na sequência de ensino e aprendizagem.

Colantonio *et al.* (2018), afirmam que os alunos aprendem com base nas ideias intuitivas e progridem nos níveis cognitivos para uma maior compreensão do conhecimento proposto. De acordo com as explicações apresentadas pelos alunos na

avaliação, suas respostas podem ser categorizadas, de âncora inferior com informações ingênuas e errôneas; até a âncora superior que seria a explicação científica.

A avaliação deve levar em conta a categorização *supra* citada, para que tanto a atividade seja avaliada, quanto os níveis dos alunos, relacionando-os aos respectivos níveis, e posteriormente, checando seus progressos e direcionando suas aprendizagens em futuras avaliações.

Pode-se verificar que estes processos se complementam para uma efetiva análise da situação de sala de aula, por um lado a cognição dos alunos em formas de pensar e conduzir o raciocínio, suas interações e relações sociais, mas por outro lado, há a necessidade de se aplicar o conhecimento em resoluções de atividades e situações que corroborem com a descrição conceitual da disciplina, através de suas equações, e matematizações requeridas.

No desenvolvimento da Sequência Didática as avaliações quantitativas são frequentes no Ensino Médio, devido à implantação da Avaliação Diagnóstica de Entrada - ADE, Avaliação de Aprendizagem em Processo - AAP, Avaliação Diagnóstica Complementar - ADC, além das avaliações do professor de cada disciplina.

2.4.1 Avaliação de Aprendizagem em Processo (AAP)

A Secretaria de Educação do Estado de São Paulo (SEE-SP), implantou desde 2011 a avaliação AAP, que se encontra em uma plataforma de acesso restrito aos servidores da rede estadual. A função desta avaliação é subsidiar os professores e coordenadores com diagnósticos bimestrais de suas salas de aula, pois na plataforma encontra-se documentação de aluno por aluno.

Anterior à 2021 eram efetuadas, apenas, avaliações de Língua Portuguesa e de Matemática; no ano de 2021 a AAP, também, foi aplicada nas áreas de Ciências da Natureza e de Ciências Humanas; servindo de indicador de defasagens escolares, bem como fragilidades nessas outras áreas. Com maior abrangência, a atenção dos professores foi direcionada para os casos evidenciados nas AAPs com o intuito de melhoria da aprendizagem dos alunos de forma global.

Há outras avaliações disponíveis na plataforma: Avaliação Diagnóstica de Entrada - ADE, Avaliação de Aprendizagem em Processo - AAP, Avaliação Diagnóstica Complementar - ADC.

A ADE aplicada no início do ano letivo para diagnosticar o nível de aprendizagem dos alunos e direcionar o trabalho dos professores; as AAPs são bimestrais, verifica a aprendizagem dos alunos de acordo com o previsto no currículo paulista. A ADC ocorre em dois momentos: diagnóstica de final de semestre que compreende o que deveria ser ensinado ao longo de dois bimestres, nas salas em continuidade de estudos, e a outra auxilia no direcionamento das atividades do ano seguinte, em conjunto com os índices do Sistema de Avaliação de Rendimento Escolar do Estado de São Paulo - SARESP e Índice de Desenvolvimento da Educação de São Paulo - IDESP.

2.4.2 Sistema de Avaliação de Rendimento Escolar do Estado de São Paulo (SARESP)

O SARESP é um sistema de avaliação de larga escala anual, aplicado desde 1996, que visa subsidiar as políticas públicas de educação com indicadores de aprendizagem; é composto de duas avaliações, sendo uma do componente curricular de Língua Portuguesa e outra do componente curricular de Matemática. Já houve casos de aplicação de Ciências da Natureza 2008, 2010, 2012 e 2014 e de Ciências Humanas 2009, 2011 e 2013, mas não houve continuidade, essas avaliações abrangem alunos do Ensino Fundamental do 2°, 3°, 5°, 7° e 9° anos e da 3ª série do Ensino Médio.

Nesta avaliação são verificadas competências cognitivas de acordo com a matriz de referência, estas competências se dividem em três grupos, esquemas presentativos ou representativos, esquemas procedimentais e esquemas operatórios, sendo que o posterior engloba o anterior e suas relações se desdobram em competências para observar, competências para realizar e competências para compreender. Estas competências indicam o nível cognitivo em que o aluno se encontra.

2.4.3 Índice de Desenvolvimento da Educação de São Paulo (IDESP)

O IDESP é um dos principais indicadores de qualidade da educação do Estado de São Paulo, neste índice estão compreendidas as avaliações do SARESP como verificação do desempenho dos alunos e, também, o fluxo dos alunos para o ciclo em questão, sendo este ciclo para o caso do Ensino Médio as três séries, mesmo que apenas os alunos da 3ª série é que participam da avaliação, verifica-se o fluxo com relação aos alunos promovidos em detrimento aos retidos, abandonos e desistências; este índice também é anual.

As unidades escolares em seus planejamentos, analisam os índices para direcionar seus esforços no desenvolvimento do ensino e aprendizagem de seus estudantes e corpo docente, utilizando-se também de outros índices da própria escola que foram gerados ao longo do ano letivo.

2.5 Modelos Híbridos de Ensino

Os modelos híbridos de ensino baseiam-se em dois mundos, o ensino tradicional e o ensino on-line, conciliando o melhor dos dois para melhoria da aprendizagem dos alunos, o ritmo de aprendizagem dos alunos é beneficiado pelo ensino on-line e potencializado pela supervisão do professor em sala de aula.

Observa-se na fala de Bacich, Tanzi Neto e Trevisani (2019) como transcorre este modelo de ensino.

O papel desempenhado pelo professor e pelos alunos sofre alterações em relação à proposta de ensino considerado tradicional, e as configurações das aulas favorecem momentos de interação, colaboração e envolvimento com as tecnologias digitais. O ensino híbrido configura-se como uma combinação metodológica que impacta na ação do professor em situações de ensino e na ação dos estudantes em situações de aprendizagem. (op. cit., 2019, p.52)

No modelo de ensino híbrido há métodos sustentados e métodos disruptivos; os modelos sustentados utilizam a estrutura existente em conjunto com tecnologias digitais, já, os métodos disruptivos rompem com o modelo tradicional, sendo conduzidos, exclusivamente, de forma on-line.

Os modelos sustentados são modelos de rotação e são subdivididos em: Rotação por Estações, Laboratório Rotacional, Sala de Aula Invertida e Rotação Individual, já, os modelos disruptivos são: Flex, À La Carte e Virtual Enriquecido.

Bacich, Tanzi Neto e Trevisani (2019) esclarecem o papel do professor na apropriação da metodologia e uso das ferramentas para com os alunos, no recorte, a seguir, observa-se a necessidade do aprendizado mediado pelo professor.

Nessa nova concepção de aprendizagem, o docente é um arquiteto do conhecimento e precisa mostrar para o aluno que existem diferentes formas de construir o saber. O uso de tecnologias serve como combustível bastante diversificado de ferramentas que podem estimular e facilitar o processo de aprendizagem, e cabe ao professor ensinar ao aluno como utilizá-las de forma crítica e produtiva. (*op. cit.*, 2019, p. 91)

No ensino híbrido o foco é o aluno, sua aprendizagem, seu protagonismo e o desenvolvimento de sua autonomia. Esse processo precisa ser desenvolvido nos alunos, lembrando que esses alunos vêm de um modelo de ensino focado no professor, não estando acostumados a tomar a aprendizagem para si (os alunos), muito menos a utilizar os recursos digitais para esse fim.

2.5.1 Modelo de Ensino Híbrido de Rotação - Sala de Aula Invertida

Sala de Aula Invertida é um dos modelos de Ensino Híbrido de Rotação que utiliza de recurso digital, no qual os alunos acessam o conteúdo e as orientações em ambiente virtual, esse acesso pode ser efetuado em casa, no trabalho, no final de semana, por meio de celular, *tablet*, *notebook* ou *desktop*, sempre anterior à aula programada.

Como as pesquisas, os estudos e leituras são feitos, antecipadamente, em casa; durante a aula, o professor direciona a atividade, ou questões, debates, exemplos e esclarecimentos que são executados para verificação da aprendizagem.

A mediação do professor e, análise das interações, facilitam a verificação da mobilização do conhecimento dos alunos, não é uma tarefa fácil esta, mas possível, diante de debates e interações e colaborações do grupo.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia utilizada para esta pesquisa foi: apresentar aos alunos, através de plataforma digital de gerenciamento de ensino e aprendizagem (Google Classroom) uma Sequência Didática versada no Diagrama de Hertzsprung-Russell Geral. Desenvolvida para ser aplicada em nove encontros, envolvendo: questionários, apresentações, exemplos, exercícios de fixação de conhecimento, vídeo aulas gravadas, avaliações, mapas conceituais e interações via plataforma de vídeo conferência.

A metodologia básica para o desenvolvimento das atividades seguiu o ensino híbrido, pois, com seus métodos sustentados "quebram" a estrutura pré-existente do modelo tradicional.

Dentre os métodos de aplicação, o mais utilizado foi o modelo de Sala de Aula Invertida que é um dos modelos sustentados como orientado por Bacich e Moran (2018).

A aula invertida é uma estratégia ativa e um modelo híbrido, que otimiza o tempo da aprendizagem e do professor. O conhecimento básico fica a cargo do aluno – com curadoria do professor – e os estágios mais avançados têm interferência do professor e também um forte componente grupal. (op. cit., 2018, p.13)

Para o desenrolar da Sequência Didática, durante a pandemia, reforçou-se o uso de atividades mediadas por tecnologias digitais de informação e comunicação.

A Sequência Didática proposta, preliminarmente, conforme proposto por Colantonio *et al.* (2018), foi elaborada de acordo com Zaballa (1998), utilizando-se de sequências de atividades para verificar se a aprendizagem de Física pode ser melhorada com o uso da Astronomia, também foram utilizados debates e análises para compreensão do subsunçor dos alunos proposto por Ausubel (2003).

Foram utilizados questionários, inicial e final, como proposto por Colantonio *et al.* (2018), debates e interações dos alunos com gravações e entrevistas.

Para a análise das respostas dos alunos foi utilizada a técnica de Análise de Conteúdo de Bardin, essa técnica apresenta etapas distintas a serem seguidas, direcionando a interpretação de dados qualitativos.

As etapas da análise de conteúdo foram seguidas respeitando, cronologicamente; a pré-análise, a exploração do material e por fim o tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação.

A pré-análise pode ser compreendida na fala de Bardin (2011):

Geralmente, esta primeira fase possui três missões: a escolha dos documentos a serem submetidos à análise, a formulação das hipóteses e dos objetivos e a elaboração de indicadores que fundamentem a interpretação final. [...] A pré-análise tem por objetivo a organização, embora ela própria seja composta por atividades não estruturadas, "abertas", por oposição à exploração sistemática dos documentos. (op. cit., 2011, p.125, 126)

Na fase de exploração do material pela própria fala de Bardin (2011, p.131) "esta fase, longa e fastidiosa, consiste essencialmente em operações de codificação, decomposição ou enumeração, em função de regras previamente formuladas".

Para codificar as respostas foram feitos recortes das falas e/ou respostas escritas e as unidades de registro se basearam no contexto pertinente à questão abordada, enumerou-se a frequência que esse registro se apresentava em cada fala e/ou resposta dos alunos.

Para Bardin (2011, p.147) "A categorização é uma operação de classificação de elementos constitutivos de um conjunto por diferenciação e, em seguida, por reagrupamento segundo o gênero (analogia), com os critérios previamente definidos". As categorizações adotadas podem ser observadas em cada uma das atividades apresentadas no capítulo quatro, bem como os resultados obtidos.

Os cuidados indicados por Airey e Eriksson (2019) no transcorrer das explicações dos eixos no Diagrama HR fizeram parte da explicação, destacando-os na apresentação de forma clara para os alunos.

3.1 Local para Aplicação da Sequência Didática

A Sequência Didática foi aplicada em uma Escola Estadual, esta escola está localizada na região central de Americana-SP, no ano de 2021 a escola conta com oito classes de Ensino Médio no período da manhã, sendo que duas delas são do Novotec, programa do Governo do Estado de São Paulo que visa oferecer cursos

técnicos e profissionalizantes para alunos das escolas paulistas com a expertise do Centro Paula Souza, no caso da escola participante desta pesquisa da modalidade de Logística, sendo uma de 1ª série e uma de 2ª série, as demais salas pertencem ao ensino regular, perfazendo três salas de 1ª série, duas de 2ª série e uma de 3ª série.

No período da tarde há apenas salas de Anos Finais do Ensino Fundamental, sendo um total de seis classes com duas classes para 6° ano e duas para o 7° ano, e as demais apenas uma, sendo 8° ano e 9° ano, já no período noturno a escola conta com quatro classes de Ensino Médio regular, uma para 1ª série, uma para 2ª série e duas para 3ª série, além de três classes de Educação de Jovens e Adultos - EJA do Ensino Médio, uma de cada termo, além de quatro classes de EJA dos Anos Finais do Ensino Fundamental.

A aplicação da Sequência Didática se deu nas classes da 3ª série do Ensino Médio, tanto diurno quanto noturno, as salas apresentam características diferentes de rendimento e interação, pode-se observar nos gráficos 1 e 2, nestes gráficos se encontram os resultados dos alunos após a aplicação da Avaliação Diagnóstica de Entrada - ADE de Língua Portuguesa e de Matemática do ano de 2021 respectivamente.

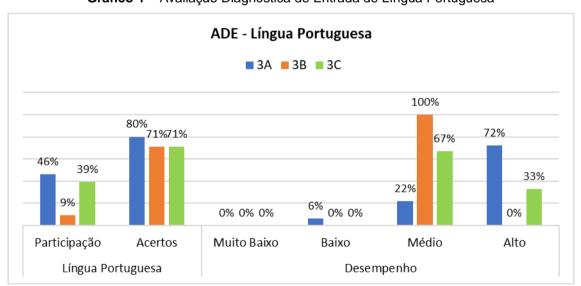


Gráfico 1 – Avaliação Diagnóstica de Entrada de Língua Portuguesa

Fonte: Elaborado pelo pesquisador, com base nos dados da plataforma CAEd.

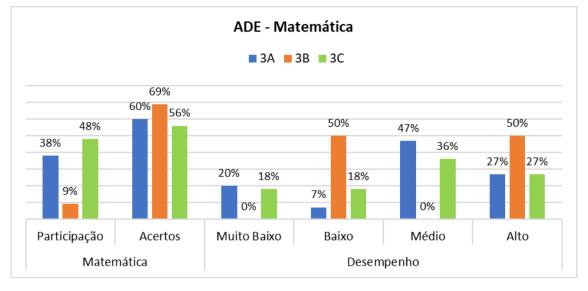


Gráfico 2 – Avaliação Diagnóstica de Entrada de Matemática

Fonte: Elaborado pelo pesquisador, com base nos dados da plataforma CAEd.

A opção para aplicação da Sequência Didática em salas da 3ª série do Ensino Médio, deu-se por considerar alunos que possuem um percurso educacional de no mínimo onze anos cursados, portanto espera-se que o desenvolvimento das formas de estudo já esteja consolidado, além de possuírem maior desenvoltura nos processos que envolvem estudo e avaliações em relação aos alunos do Ensino Fundamental, apresentando dessa forma maior autonomia e consciência para com a sua aprendizagem.

3.2 A Sequência Didática

A Sequência Didática versou sobre o Diagrama de Hertzsprung-Russell Geral, e serviu de recurso didático de ensino de Física para alunos do Ensino Médio.

O objetivo deste estudo foi verificar se o uso da Astronomia favoreceria o aprendizado da Física, além de possibilitar entender como ocorreu o processo de assimilação do conhecimento pelo mecanismo do subsunçor de Ausubel.

Pode-se acompanhar na figura 1 a estrutura adotada nesta Sequência Didática.

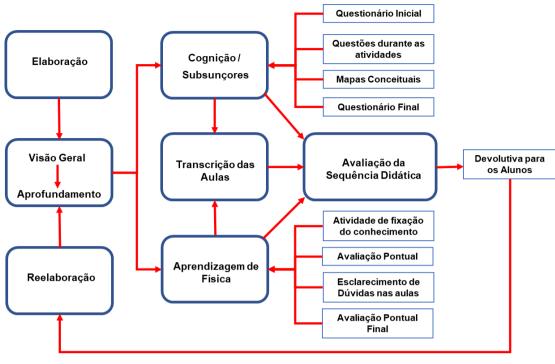


Figura 1 – Estrutura para Sequência Didática

Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

Observando a estrutura para a Sequência Didática (fig.1) tem-se a visão geral do desenvolvimento da Sequência Didática: sua elaboração, desenvolvimento, avaliação e reelaboração.

Na elaboração foi utilizado o Diagrama HR como recurso mediador de aprendizagem; utilizando um aprofundamento gradativo dos itens, verificando tanto a cognição dos alunos pela mobilização dos conhecimentos prévios, quanto pela aprendizagem da Física.

Para verificação da cognição utilizou-se: questionários, questões durante as atividades e mapas conceituais.

Já, para a verificação de aprendizagem foram aplicadas atividades de fixação de conhecimento, avaliações específicas e esclarecimento de dúvidas.

Para auxiliar a avaliação da Sequência Didática houve verificação das atividades em geral, bem como, a transcrição das aulas. O que serviu, também, para direcionar a aplicação ou mudanças que se fizeram necessárias, além da interlocução entre cognição e aprendizagem de Física como conceitos e aplicações.

Após a aplicação da sequência e avaliação foi imprescindível a devolutiva aos alunos que participaram do processo, bem como para a Direção e Coordenação da Escola que proporcionaram o seu desenvolvimento.

3.2.1 Detalhamento da Sequência Didática

A Sequência de atividades deste estudo está apresentada no esquema abaixo (fig. 2), demonstrando as atividades e principais itens que foram ministrados por este professor/pesquisador, apresentando o encadeamento das atividades e sequências de ensino e aprendizagem que foram desenvolvidas ao longo da pesquisa.

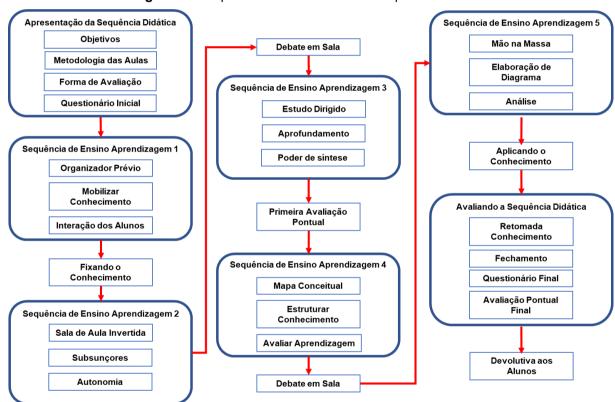


Figura 2 – Sequências de atividades da Sequência Didática

Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

Seguindo o encadeamento proposto pelo esquema da figura 2, verifica-se as interligações e sequenciamento adotados na aplicação da sequência, bem como, as interações e metodologias adotadas.

Para o professor/pesquisador o uso desse esquema (fig.2) favoreceu a interação com os alunos, facilitando a verificação dos conhecimentos no ato de sua mobilização.

Seguindo as orientações de Lijnse e Klassen (2010) com a apresentação prévia do esquema (fig.2) ao aluno, colocou-o dentro do processo de aprendizagem, tornando-o autônomo, participativo e autor do seu processo de aprendizagem, pois o aluno ficou conhecendo, antecipadamente, cada etapa do processo.

3.3 Aplicação da Sequência Didática

A aplicação da Sequência Didática se deu durante a pandemia no primeiro semestre de 2021, nas três salas da terceira série do Ensino Médio. Para a aplicação foi feita a adequação dos materiais para uso, inicialmente, em sistema híbrido, mas, infelizmente toda a atividade foi desenvolvida em sistema remoto de ensino, com todas as aulas se desenvolvendo apenas on-line, o material foi disponibilizado na sala virtual do *Google Classroom* de cada uma das salas participantes.

Como as primeiras semanas de aula do primeiro bimestre os alunos frequentaram a escola de forma escalonada (um terço dos alunos por semana), estes foram informados que seria desenvolvida uma atividade diferenciada voltada para estudos de Astrofísica nas aulas de Física, seguindo o Diagrama HR. Também, foram informados sobre a aplicação de um teste de funcionalidade. Teste esse que foi realizado a *posteriore* em sala de aula remota, através de um formulário para preenchimento. Este teste foi respondido por 39 alunos.

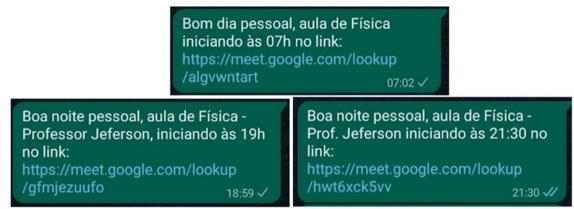
As atividades desenvolvidas na Sequência Didática foram obrigatórias para os alunos, e perfaziam metade da nota bimestral deles; o restante da nota bimestral foi pleiteado por meio das atividades desenvolvidas através do aplicativo do centro de mídias de São Paulo - CMSP; este aplicativo contabilizou, também, a frequência dos alunos para a disciplina de Física. Além desses, foram utilizadas as avaliações das AAPs desenvolvidas no período de estudo, mesmo assim as participações dos alunos variaram ao longo da aplicação da Sequência Didática.

Porém, devido a pandemia as aulas passaram a ser ministradas apenas remotamente, e foi disponibilizado junto às salas do *Classroom* com o tópico "Apresentação da Sequência Didática" uma descrição do que havia no tópico, um material em *pdf*, o questionário inicial elaborado por meio de um formulário do *Google* e um vídeo que foi gravado por este pesquisador com as explicações para possível

aula assíncrona, facilitando a compreensão e deixando a aula síncrona para interações e sanar as dúvidas.

Os alunos recebiam notificação por e-mail, por *WhatsApp*, quando o material era postado, inclusive disponibilizando o link de acesso da aula (fig.3). No horário das aulas síncronas, o professor ficava on-line por meio do *Google Meet*. Este procedimento foi o adotado pela escola desde o início da pandemia.

Figura 3 – Links para acesso às aulas remotas das 3ª séries A, B e C



Fonte: Elaborado pelo pesquisador, através dos grupos de *WhatsApp* das salas.

Como havia poucos acessos e respostas ao questionário inicial (entre dez e quinze), a escola publicou chamada aos alunos, pelo *Facebook*, para o desenvolvimento da atividade (figura 4); avisando-os da atividade e disponibilizando *QR-Code* do questionário inicial, o que resultou em alguns acessos e algumas novas respostas.

Alunos das 3ª Séries do Ensino Médio

1º Bimestre

Apresentação da
Sequência Didática
Questionário Inicial

Responder as Atividades
de Física no Classroom
Prof. Jeferson

*Lembre-se de acessar com seu e-mail institucional !!!

Figura 4 – Chamada pelo Facebook que a escola efetuou

Fonte: Elaborado pelo pesquisador, para publicação pelo coordenador no *facebook* da escola.

A atividade do tópico "Sequência de Ensino e Aprendizagem 1", foi apresentada aos alunos por meio de videoaula gravada. Neste tópico foram apresentados o Diagrama HR Geral, também um *pdf* com as indicações e organização da atividade, bem como a apresentação em *powerpoint* utilizada na aula.

Para elucidar os conceitos apresentados no Diagrama HR, foi disponibilizado, no mural da sala virtual, material contendo as equações necessárias e constantes físicas.

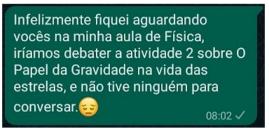
Ao término da atividade foi proposta a resolução de uma atividade de fixação de conhecimento com o uso de questões e exercícios. Após a resolução os alunos deveriam postar *upload* do arquivo (foto ou digitalização). Apenas alguns alunos tiraram dúvidas a respeito das resoluções e entregaram a atividade.

Como os alunos estavam com dificuldades em resolver as atividades de fixação, foi disponibilizado um vídeo com dicas de resolução. Após o prazo de resolução foi publicado o gabarito da atividade com as resoluções de todas as questões, deixando-o por duas semanas, na plataforma.

Para o levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos envolvidos na pesquisa foi proposta a seguinte questão: "Como as estrelas nascem e como os cientistas propõem que elas entram na sequência principal do Diagrama HR?" para que pudessem responder ao longo da semana, após a "Sequência de Ensino e Aprendizagem 1".

A próxima atividade foi disponibilizada no tópico "Sequência de Ensino e Aprendizagem 2", com a metodologia de "Sala de aula invertida" e com os alunos acessando, antecipadamente, o material sobre o papel da gravidade para que houvesse debate em aula síncrona, mas os poucos alunos que entraram em aula, não leram o material. Os alunos que estavam presentes na aula síncrona informaram que não acessaram anteriormente, pois, aguardavam a aula para ver a explicação antes de ler o conteúdo proposto.

Figura 5 – Recado posterior a falta de acesso dos alunos



Fonte: Elaborado pelo pesquisador, com acesso aos grupos de WhatsApp das classes.

Diante da postura dos alunos apresentou-se o material na aula e foi elaborado um novo formulário para que pudessem ser coletadas as informações referentes ao estudo. Houve pouquíssima interação, poucos questionamentos acerca do assunto tratado, e demora em acessar e responder cada uma das atividades propostas. O primeiro bimestre foi encerrado, com baixa entrega de atividades o que levou o pesquisador postar o comunicado que pode ser visto na figura 6.

Figura 6 – Informação para entrega de atividades atrasadas

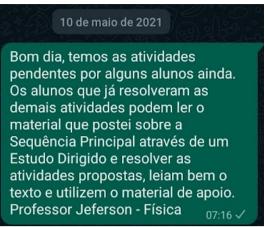
Boa noite, sou o Professor Jeferson de Física.
Muitos alunos ainda não responderam as atividades que estão na sala do Classroom de física, por favor respondam o mais breve possível. Até mais.

Fonte: Elaborado pelo pesquisador, com acesso aos grupos de WhatsApp das classes.

Para o segundo bimestre foi repensado o modo de agir e todas as atividades foram propostas como seria em aula presencial, com um tópico novo a cada semana, apenas no final do bimestre foi disponibilizado um tempo maior para entrega das atividades pendentes.

A atividade foi disponibilizada no tópico "Sequência de Ensino e Aprendizagem 3", no segundo bimestre, e trabalhou-se com estudo dirigido. Os alunos acessavam o material escrito e havia uma folha com questões direcionando-os durante a atividade e apontando os pontos a serem observados no texto. Para a entrega desta atividade também foi elaborado um formulário, e foi, novamente, avisado aos alunos sobre as atividades pendentes, como na figura 7.

Figura 7 – Relembrando da entrega e nova atividade postada



Fonte: Elaborado pelo pesquisador, com acesso aos grupos de WhatsApp das classes.

Para checar as informações e o conhecimento adquirido foi proposta uma avaliação pontual¹, esta avaliação compreendia o conteúdo anterior e algumas resoluções como proposta na atividade de fixação de conhecimento. Ela foi disponibilizada por meio de formulário, e os alunos poderiam responder no caderno com o auxílio de calculadora científica e fazer o *upload*, separadamente, de cada uma das nove questões propostas. Na figura 8 o comunicado da avaliação para ciência e execução dos alunos.

Figura 8 – Comunicado da Avaliação Pontual

Na nossa aula de física foi disponibilizada a primeira avaliação do Diagrama HR, façam com calma, as respostas devem ser feitas no caderno com upload das resoluções para cada uma das questões. Vocês terão até quinta feira 20/05/2021 para fazer no Classroom. Prof Jeferson.

Fonte: Elaborado pelo pesquisador, com acesso aos grupos de WhatsApp das classes.

Em sequência foi disponibilizado o tópico "Sequência de Ensino e Aprendizagem 4" que solicitava a elaboração de mapas conceituais com base nos

-

Avaliação Pontual – compreende uma avaliação ao final de um período ou aula para verificar a retenção do conhecimento adquirido.

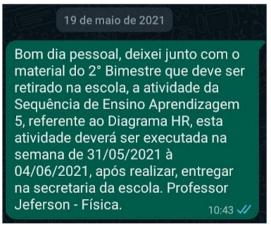
textos apresentados, nos vídeos de orientação sobre a elaboração de mapas conceituais e de endereços eletrônicos de softwares gratuitos para a elaboração.

A entrega consistia em elaborar três mapas conceituais que evidenciassem a evolução de estrelas pós-sequência principal, sendo um para estrelas de baixa massa, um para estrelas de massa intermediária e o último para estrelas de alta massa. Cada um deles seria respondido por meio de formulário com *upload* de arquivo, também poderia ser feito à mão, não necessitando a entrega através do uso de um dos *softwares* indicados.

Apenas três alunos fizeram esta atividade e dois deles de forma errada, sem ao menos verificar o que foi solicitado.

A "Sequência de Ensino e Aprendizagem 5" consistia na elaboração do Diagrama HR pelos alunos. Como os alunos deveriam ir até a escola para retirar as apostilas do segundo bimestre, foi providenciado o material desta atividade em forma impressa e disponibilizado junto às apostilas, além de disponibilizar por meio digital, como comprovado no comunicado da figura 9.

Figura 9 – Comunicado do material disponibilizado com a apostila do 2º bimestre



Fonte: Elaborado pelo pesquisador, com acesso aos grupos de WhatsApp das classes.

Após a resolução dessa atividade deveriam deixar a folha de respostas na secretaria da escola, apenas três alunos fizeram essa atividade, dois entregaram na secretaria da escola como proposto e um entregou atrasado, por meio de imagem no *WhatsApp*.

Na "Avaliação Final da Sequência Didática", houve a preocupação de retomar os assuntos trabalhados nas sequências anteriores. Um vídeo gravado pelo *Google Meet* (restrito à aula remota) foi apresentado e disponibilizado para revisão de todo conteúdo, com a possibilidade de ver e rever quantas vezes os alunos assim o quisessem. A descrição da avaliação final com orientações, além do questionário final da Sequência Didática e da avaliação final foram apresentados em texto *pdf* e disponibilizados na plataforma de *Google Classroom*.

Nenhum aluno entrou durante a aula síncrona para sanar dúvidas, trocar informações ou participar da aula, mesmo com os links disponibilizados e os lembretes postados como na figura 10.

5 de julho de 2021 Bom dia pessoal, aula de Física iniciando às 07h no link: https://meet.google.com/lookup /algvwntart 07:02 🗸 22 de junho de 2021 Bom dia, os alunos que ainda estão Boa noite pessoal, aula de Física devendo atividades, por favor Prof. Jeferson iniciando às 21:30 no entregar até hoje, estou fechando as médias de vocês. Prof Jeferson. https://meet.google.com/lookup /hwt6xck5vv 21:30 📈 💅 Lembrem-se que a elaboração do Vamos aproveitar esta semana para Diagrama HR precisa ser entregue tirar dúvidas, conversar sobre as em papel na secretaria da escola. 💅 atividades e finalizar tudo do 2° Esse material foi junto com a bimestre. apostila do 2 bimestre. Prof Aguardo vocês na aula da Meet. Jeferson. 21:30 📈 07:42 🗸

Figura 10 – Comunicados de plantão de dúvidas e fechamento das atividades

Fonte: Elaborado pelo pesquisador, com acesso aos grupos de WhatsApp das classes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos através da aplicação da Sequência Didática indicam uma redução gradual da participação dos alunos. Sendo que as atividades que necessitavam de resoluções matemáticas ou de uma forma de raciocínio mais elaborada obtiveram menos respostas ou não receberam resposta alguma, como se pode ver no gráfico 3:

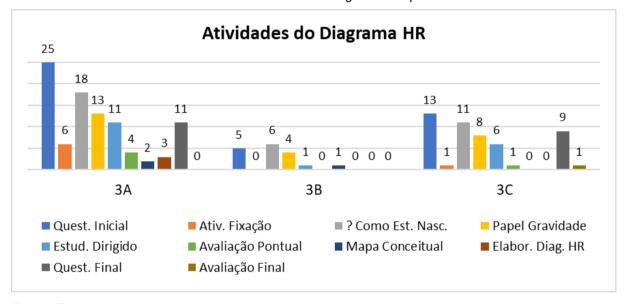


Gráfico 3 - Atividades do Diagrama HR por Sala

Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

Como visto no gráfico 3, a menor participação se deu na sala da 3ª série B e, não por ser uma atividade proposta diferente do currículo, também, este fato ocorreu em avaliações propostas pela Secretaria de Educação, como apontado nos gráficos 1 e 2 já citados no item 3.1.

Observa-se, também, essa diferença na avaliação AAP de Física que passou a ser aplicada bimestralmente em 2021, dentro da AAP de Ciências da Natureza, seus dados de 1° bimestre e 2° bimestre são apresentados nos gráficos 4 (do 1° bimestre) e gráfico 5 (do 2° bimestre).

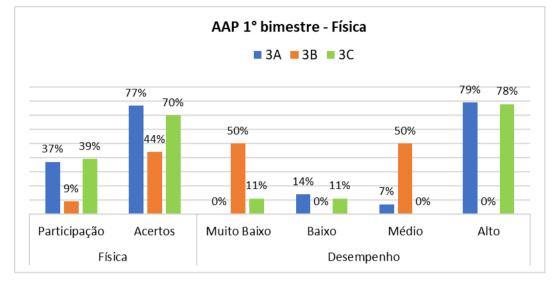


Gráfico 4 – Avaliação de Aprendizagem em Processo de Física 1º Bimestre

Fonte: Elaborado pelo pesquisador, com base nos dados da plataforma CAEd.

Nota-se, claramente, a baixa participação dos alunos da 3ª Série B em relação às demais. Um ponto que se deve salientar é a participação oscilante dos alunos da 3ª série C, tanto nas avaliações externas quanto nas atividades propostas presentes nesta pesquisa.

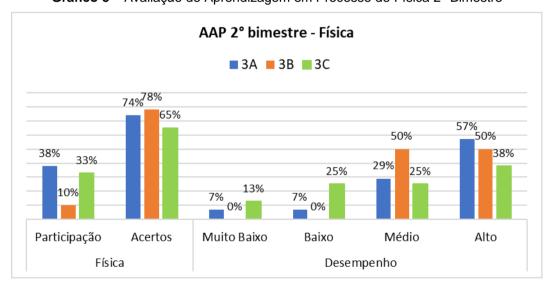


Gráfico 5 – Avaliação de Aprendizagem em Processo de Física 2º Bimestre

Fonte: Elaborado pelo pesquisador, com base nos dados da plataforma CAEd.

Pode-se verificar nos gráficos 6, 7 e 8 a participação dos alunos por série, sendo o gráfico 6 para os alunos da 3ª série A, o gráfico 7 para os alunos da 3ª série B e por fim o gráfico 8 para os alunos da 3ª série C.

Poucos alunos da 3ª série A realmente se dedicaram a resolver as atividades propostas, a maioria, como se nota no gráfico 6, resolveu quatro atividades das dez que foram propostas, apenas dois alunos se destacaram resolvendo oito atividades.

Gráfico 6 – Participação de alunos da 3ª série A

Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

A classe da 3ª série B foi a que menos participou nas atividades, mesmo após o professor entrar em contato por *WhatsApp* no grupo da sala e por meio do aplicativo do Centro de Mídias de São Paulo - CMSP (por diversas vezes), inclusive com reforço efetivado pela direção e coordenação da escola.

Constata-se a falta de comprometimento dos alunos da 3ª série B, pois dos 23 alunos ativos na sala, apenas seis alunos efetuaram entregas; e das dez atividades propostas apenas um aluno entregou quatro delas e os demais ainda menos (gráfico 7).

Atividades entregues por estudante
3ª Série B

4
3 3 3 3 2 2 2

81 82 88 84 85 89

Gráfico 7 – Participação de alunos da 3ª série B

Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

A classe da 3ª série C apresentou variação de participação como a classe da 3ª série A, mas contou com menos participantes, da mesma forma observa-se que apenas um aluno entregou sete atividades, das dez propostas (gráfico 8).



Gráfico 8 – Participação de alunos da 3ª série C

Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

A nomenclatura adotada para os alunos nessa Sequência Didática se deu através da participação deles em relação à classe em que se encontravam. Foram utilizados números ordinais seguidos da letra correspondente da sala onde o aluno

está alocado; colocando-os em ordem, apenas, de participação, não vinculando o aluno ao seu número de chamada.

Utilizou-se o número 1 para o primeiro aluno que realizou a atividade e a classe em que ele estava alocado, e assim sucessivamente. A classe da 3ª série A era composta com 37 participantes. A classe da 3ª série B era composta de 23 participantes, e, a classe da 3ª série C composta por 23 participantes.

Nas tabelas 1, 2 e 3 estão demonstradas, as entregas efetuadas por alunos para cada uma das atividades propostas, além de evidenciar as diversas lacunas de entregas, e a numeração utilizada para representar cada um dos participantes dessa pesquisa.

Tabela 1 – Relação das entregas das atividades dos alunos para a 3ª série A

	Atividades Entregues - 3ª Série A									
Aluno	Quest. Inicial	Ativ. Fixação	? Como Est. Nasc.	Gravidade	Estud. Dirigido	Avaliação Pontual	Mapa Conceitual	Elabor. Diag. HR		Avaliação Final
1A	X	X	X		X	Х		Х	X	
2A	X		X							
3A	X		X		X		X			
4A	X									
5A	X		X		X					
6A	X				X	Х				
7A	X		X							
8A	X	X	X							
9A	X		X		X				Χ	
10A	X		X		X				Χ	
11A	X		X						Х	
12A	X	X	X		X				Х	
13A	X									
14A			X		X				Х	
15A	X	X	X		X	Х		Х	Х	
16A	X									
17A	X				X					
18A	X	X								
19A	X		X							
20A	X		X			Х				
21A	X		X						Х	
22A	X									
23A	X		X				Χ		Х	
24A	X	X	X		X	Х			X	
25A	X		X					Х	X	
26A	X									

Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

Tabela 2 – Relação das entregas das atividades dos alunos para a 3ª série B

	Atividades Entregues - 3ª Série B									
Aluno	Quest. Inicial	Ativ. Fixação	? Como Est. Nasc.	Gravidade	Estud. Dirigido	Avaliação Pontual	_	Elabor. Diag. HR	-	Avaliação Final
1B										
2B										
3B										
4B										
5B										
6B										

Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

Tabela 3 – Relação das entregas das atividades dos alunos para a 3ª série C

	Atividades Entregues - 3ª Série C									
Aluno	Quest. Inicial	Ativ. Fixação	? Como Est. Nasc.	Gravidade	Estud. Dirigido	Avaliação Pontual	Mapa Conceitual	Elabor. Diag. HR	Quest. Final	Avaliação Final
1C										
2C										
3C										
4C										
5C										
6C										
7C										
8C										
9C										
10C										
11C										
12C										
13C										
14C										
15C										

Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

4.1 Questionário Inicial

Houve grande participação dos alunos nas respostas do questionário inicial, composto de nove questões dissertativas, obtendo-se um total de 43 respostas de alunos, sendo 25 da 3ª série A, cinco da 3ª série B e 13 da 3ª série C.

O questionário inicial foi analisado em sua totalidade, as respostas foram categorizadas e classificadas como apresentadas nas tabelas 4, 5, 6, 7, 8, 9 10, 11 e 12 abaixo, obedecendo a sequência das nove questões apresentadas em tal questionário.

Na tabela 4 foi categorizada e classificada a primeira questão do questionário inicial: "Como você explicaria para alguém o que é uma estrela?". Grifo nosso.

Tabela 4 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos alunos para a questão de número 1 do questionário inicial

Questionário - Inicial - Q1	•	
Evidência nas respostas dos alunos	Sigla	Quantidade
De acordo com Ensino Fundamental	D-EF	17
EF com Indicação Esférica e Presença de Gases	EF-IEPG	8
EF com indicação de Gravidade e Pressão	EF-GP	6
EF com indicaçãode Gravidade, Pressão e Fusão Nuclear	EF-GPFN	3
Pesquisada e Transcrita da Internet	P-TI	3
Resposta Incoerente com a Pergunta	R-IP	2
Erro Conceitual	E-C	4

Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

Observa-se que a maioria dos alunos respondeu essa questão de forma muito simplista, utilizando-se de conhecimentos prévios adquiridos no Ensino Fundamental, como se pode ver nas respostas dos alunos 10A, 15A e 12C.

Aluno 10A "Um corpo celeste com luz própria".

Aluno 15A "Um corpo celeste que possui luz própria".

Aluno 12C "Um corpo celeste que imite luz própria".

Houve também um número considerável de respostas incoerentes como as apresentadas pelos alunos 20A, 26A, 4C e 10C.

Aluno 20A "Que qualquer corpo celeste ou astro que pode ser avistado no céu à noite, tem sua luz própria".

Aluno 4C "Foi Deus que fez".

Aluno 10C "Uma imensa nuvem de gás".

Alguns alunos como 2A, 18A e 8C pesquisaram na *internet* e, simplesmente, transcreveram as respostas na íntegra, observa-se abaixo os casos citados.

Aluno 2A "Estrela é um astro que tem luz e calor próprios e que mantêm praticamente as posições relativas na esfera celeste. É uma esfera de plasma grande

e luminosa que pela gravidade é mantida íntegra. O Sol é uma estrela, o astro central do sistema solar".

Aluno 18A "Apresenta brilho cintilante, o que as distingue dos planetas. É uma esfera de plasma grande e luminosa que pela gravidade é mantida íntegra. É composta de hélio e outros elementos mais pesados".

Aluno 8C "Estrela é uma grande e luminosa esfera de plasma, mantida íntegra pela gravidade e pressão de radiação, que ao fim de sua vida pode conter uma porção de matéria degenerada. Observações sugerem que a formação desses astros começou em torno de 18 milhões a 250 milhões de anos após o *Big Bang*".

Os casos foram verificados e encontrados nos sites: significados.com.br; colada*web*.com e *brainly*.com.br, conclui-se que alguns alunos apenas buscam a informação, copiando e transcrevendo sem interpretar ou tentar explicar com suas próprias palavras.

Na tabela 5 pode-se observar as respostas dos alunos, categorizadas e classificadas, para a segunda questão do questionário inicial: "Como uma estrela se forma (nasce)?". Grifo nosso.

Tabela 5 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos alunos para a questão de número 2 do questionário inicial

Questionário - Inicial - Q2						
Evidência nas respostas dos alunos	Sigla	Quantidade				
De Nebulosas	Neb	9				
De Nuvens de H e He	Nu-H-He	19				
De Nuvens de H, He e Gravidade	H-He-G	6				
De Nuvens de H, He, Gravidade e Fusão Nuclear	G-FN	6				
Pesquisada e Transcrita da Internet	P-TI	1				
Resposta Incoerente com a Pergunta	R-IP	2				
Gás Interestelar (Poeira e H)	G-I	0				

Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

A maioria das respostas dos alunos indicou que as estrelas nasciam de nuvens que continham hidrogênio e hélio, como está destacado nos alunos 3A, 6B e 3C.

Aluno 3A "A estrela nasce de imensas nuvens de hidrogênio e hélio".

Aluno 6B "As estrelas nascem nas nebulosas, que são imensas nuvens de gás compostas basicamente de hidrogênio e hélio".

Aluno 3C "Elas nascem nas nebulosas, imensas nuvens de gás compostas basicamente de hidrogênio e hélio".

Um número pequeno de respostas indicou a fusão nuclear, proporcionando um conhecimento mais completo do processo de formação, como nos casos dos alunos 1A, 7C e 14C.

Aluno 1A "Elas se contraem e formam uma esfera, ao se contrair, o gás se concentra lentamente e aquece milhões de graus, num processo violento que pode levar milhões de anos. Assim, é formada uma protoestrela e, somente após atingir uma temperatura altíssima, têm início as reações nucleares das quais resultam as estrelas".

Aluno 7C "As estrelas nascem na nebulosa, composta por gases como hidrogênio e hélio, na nebulosa, pode haver em algumas partes mais concentração de gases, e nessas regiões eles acabam se contraindo. Na contração há um aumento de temperatura, nisso se houver muito gás ela acende, fazendo assim uma fusão nuclear, assim criando a estrela".

Aluno 14C "Com as nuvens formadas de poeira e gás se contraem e formam uma esfera, o gás se concentra lentamente e aquece milhões de graus, num processo que pode levar milhares de anos. Assim é formado uma protoestrela e somente após atingir uma temperatura altíssima, têm início as reações nucleares das quais resultam as estrelas".

Na tabela 6 foram categorizadas e classificadas as respostas dos alunos para a terceira questão do questionário inicial: "De que forma a gravidade auxilia na formação, vida e morte de uma estrela? Explique sua resposta." Grifo nosso.

Tabela 6 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos alunos para a questão de número 3 do questionário inicial

Questionário - Inicial - Q3						
Evidência nas respostas dos alunos	Sigla	Quantidade				
Simplista	S	7				
Parcial - Apenas formação	P-AF	7				
Formação - Origem na Reação de Fusão	F-ORF	17				
Relaciona Gravidade e Combustível	R-GC	7				
Completa	С	1				
Resposta Incoerente com a Pergunta	R-IP	4				
Não Sabe	N-S	0				
Transforma-se em Ferro	T-F	0				

Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

A maioria das respostas dos alunos foi feita de forma incompleta, pois citavam apenas a origem na reação de fusão nuclear e comentavam apenas sobre a formação das estrelas; a vida e a morte das estrelas não foram sequer citadas, como nas respostas dos alunos 25A, 26A, 4B, 6B, 8C e 13C.

Aluno 25A "Ela se origina da reação de fusão nuclear de hidrogênio em hélio, e, posteriormente, em elementos mais pesados".

Aluno 26A "Ela se origina em uma fusão nuclear de hidrogênio em hélio".

Aluno 4B "Ela se origina da reação de fusão nuclear de hidrogênio em hélio e esses 2 elementos fazem "pressão" por dentro, enquanto a GRAVIDADE faz por fora, assim a estrela nasce".

Aluno 6B "Ela se origina da reação de fusão nuclear de hidrogênio em hélio, e, posteriormente, em elementos mais pesados. Além disso, essa fusão garante a forma e a vida da estrela, pois ela será responsável pela pressão interna que vai equilibrar a força da sua própria gravidade que quer esmagá-la".

Aluno 8C "Ela se origina da reação de fusão nuclear de hidrogênio em hélio, e, posteriormente, em elementos mais pesados".

Aluno 13C "Na reação de fusão nuclear de hélio e hidrogênio".

Uma resposta considerada completa foi apresentada pelo aluno 3B.

Aluno 3B "Na formação, a força gravitacional que faz com que as moléculas sejam atraídas uma pela outra, fazendo com que contraia a nebulosa, aumentando também a temperatura e assim formando a estrela. Na vida, ela é mantida íntegra pela gravidade e pressão de radiação, ou seja, a gravidade a ajuda a se manter "inteira". Na morte, a força gravitacional passa a prevalecer e a estrela começa a encolher, fazendo com que uma hora a morte aconteça, sendo quanto maior a massa menos tempo ela irá viver".

As respostas que este pesquisador classificou como sendo caracterizadas como respostas simplistas, podem ser apreciadas nas respostas dos alunos 16A e 14C.

Aluno 16A "A gravidade age unindo massas e produz estrelas, a mesma responsável por esmagar estrelas e matar"

Aluno 14C "Auxilia na longa duração de vida, sem que elas venham se explodir".

Na tabela 7 observa-se a categorização das respostas e classificação adotada para a quarta questão do questionário inicial: "Todas as estrelas são iguais? Explique sua resposta.". Grifo nosso.

Tabela 7 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos alunos para a questão de número 4 do questionário inicial

Questionário - Inicial - Q4					
Evidência nas respostas dos alunos	Sigla	Quantidade			
Simplista	S	18			
Temperatura e Massa	T-M	4			
Temperatura, Massa e Luminosidade	T-M-L	11			
Confusão Massa e Luminosidade	C-ML	6			
Devido a Idade	Idade	1			
Pesquisada e Transcrita da Internet	P-TI	1			
Resposta Incoerente com a Pergunta	R-IP	2			

Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

Na questão quatro a maioria dos alunos respondeu de forma simplista, alguns excertos podem ser vistos abaixo:

Aluno 6A "Não, a massa e o tamanho podem variar".

Aluno 10A "Nem todas são iguais, apesar da gente ver e pensar que todas são, tem vários tipos, tem as anãs vermelhas, quasares, nebulosas entre muito mais"

Aluno 24A "Não, temos desde pequenas à supernovas que são maiores que o sol, então há uma diferença em tamanhos, posições e raios".

Aluno 4B "Não, pois o sol é considerado um tipo de estrela, mas acho que todas estrelas são diferentes".

Aluno 5C "Não, pois existem bilhões de estrelas diferentes na Via Láctea, entre elas, o Sol".

Aluno 12C "Não, elas variam na sua temperatura de superfície de centenas de graus".

A preocupação deste pesquisador foi a confusão apresentada pelo aluno 19A, cuja resposta se apresenta abaixo:

Aluno 19A "Não, quando crescem, elas dificilmente vão se modificar novamente, mas ainda sim são diferentes umas das outras, até porque uma das nossas estrelas é o sol, e não são todas as estrelas que se comparam a ele, outra foi a terra, VY *Canis Majoris* ...".

Este aluno de final de Ensino Médio não compreendendo a diferença de grandeza entre uma estrela e um planeta, além das demais caraterísticas como tempo de vida, composição média, densidade e evolução, mesmo sendo trabalhado no final do Ensino Fundamental e na primeira série do Ensino Médio.

Houve também um número considerável de respostas como no caso dos alunos 18A, 1B, 7C e 14C. Indicaram de forma equivocada a relação de massa e luminosidade da estrela, sem se ater para a evolução de estrelas, conhecimento este desenvolvido nas séries finais do Ensino Fundamental e, também, no início do Ensino Médio.

Aluno 18A e 1B "Estrelas variam na sua temperatura de superfície de somente poucas centenas de graus até cerca de 50.000 graus Celsius. Estas diferenças são principalmente em função das diferenças de massa: estrelas com mais massa são mais quentes e brilhantes que estrelas com menor massa".

Aluno 7C "Não, principalmente em função das diferenças de massa: estrelas com mais massa são mais quentes e brilhantes que estrelas com menor massa".

Aluno 14C "Não, cada uma tem sua particularidade, variam na sua temperatura de superfície, estrelas com mais massa são mais quentes e brilhantes, ao contrário daquelas que tem menor massa".

Na tabela 8 são apresentadas as categorizações e classificações das respostas dos alunos para a quinta questão do questionário inicial: "O que você sabe sobre evolução das estrelas? Explique sua resposta.". Grifo nosso.

Tabela 8 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos alunos para a questão de número 5 do questionário inicial

Questionário - Inicial - Q5						
Evidência nas respostas dos alunos	Sigla	Quantidade				
Massa Interfere Tempo de Vida	M-TV	5				
Mudanças que Ocorrem	Mud	7				
Resposta Simples / Apenas Nascimento	RS-AN	17				
Etapas - Relaciona Corretamente	E-RC	6				
Pesquisada e Transcrita da Internet	P-TI	1				
Não Sabe Muito / Não Sabe	N-S	2				
Resposta Incoerente com a Pergunta	R-IP	5				

Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

A maioria das respostas dos alunos foi apresentada de maneira simples, podemos destacar as respostas dos alunos 23A, 4B e 10C.

Aluno 23A "A primeira etapa da evolução estelar é o nascimento de uma estrela".

Aluno 4B "Sei que com muito tempo são "amassadas" pela gravidade até esquentar e o hidrogênio fundam-se fazendo o núcleo de hélio".

Aluno 10C "Eu sei que com o tempo elas assumem um formato estável, e que são formadas por grandes e densas nuvens de gás".

Entre respostas incoerentes como nos casos dos alunos 26A, 3B, 4C, respostas pesquisadas e transcritas diretamente da *internet* como apresentada pelo aluno 15C, ou como respostas negativas de acordo com os alunos 9A e 2C; verifica-

se que muitos alunos poderiam ter respondido com base no que é previsto no currículo de anos anteriores.

Excerto das respostas, respectivamente, dos alunos citados acima podem ser verificados abaixo:

Aluno 26A "Algumas ganham massa assim evoluído para outros tipos de estrelas".

Aluno 3B "Cores, tamanhos e pressão atmosférica".

Aluno 4C "Foi Deus que fez".

Aluno 15C "A primeira etapa da evolução estrelar é o nascimento de uma estrela. Normalmente, esse fato ocorre numa região denominada berçário estrelar, onde há gigantescas nuvens moleculares formadas por gás e poeira. A ação da gravidade é responsável pela junção dos gases com a poeira, ocasionando a perda das partes mais densas da nuvem molecular. Posteriormente, um pedaço dessa junção de gases com poeira ganha densidade e calor, tornando-se uma espécie de disco. Após milhões de anos, esse disco atinge temperatura e densidade tão altas que seus átomos de hidrogênio se transformam em hélio. Essa etapa marca o início da fusão nuclear e o surgimento da estrela. As fusões nucleares não cessam e são responsáveis pela mudança estrutural das estrelas. O hidrogênio é o principal "combustível" para as reações nesses corpos celestes, porém, quando ele acaba, o hélio passa a desempenhar tal função, provocando a expansão e o aumento de energia no interior das estrelas. Com o núcleo bastante aquecido, elas aumentam o tamanho e ficam com luminosidade avermelhada, sendo conhecidas como gigante vermelha. Em seguida, o tamanho será determinante para o destino dessas estrelas. Para aquelas com massa igual a do Sol, o fim do ciclo é a transformação em uma estrela anã branca, formada de carbono e oxigênio. Para os corpos celestes com tamanho superior ao do Sol, o fim do ciclo de vida pode ter dois desfechos diferentes: a explosão termonuclear da estrela pode ocasionar o surgimento de um buraco negro ou originar estrelas de nêutrons".

Aluno 9A "não sei muito sobre".

Aluno 2C "Sinceramente? Nada".

As respostas dos alunos para a sexta questão do questionário inicial foram categorizadas e classificadas como se pode observar na tabela 9. "Como você descreve a forma que as estrelas produzem sua energia?". Grifo nosso.

Tabela 9 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos alunos para a questão de número 6 do questionário inicial

Questionário - Inicial - Q6						
Evidência nas respostas dos alunos	Sigla	Quantidade				
Fusão Nuclear - Sem Explicação	F-ND	22				
Fusão Com Liberação de Energia	F-LE	13				
Completa	С	1				
Pesquisada e Transcrita da Internet	P-TI	1				
Resposta Incoerente com a Pergunta	R-IP	3				
Erro Conceitual	E-C	3				

Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

O maior número de alunos relacionou a fusão como a forma que as estrelas produzem sua energia, sem indicar maiores explicações, algumas respostas podem ser observadas nos dados dos alunos 6A, 4B e 7C. Era esperado que os alunos, no início da atividade, relacionassem apenas com o processo de fusão, sem especificar os processos envolvidos.

Aluno 6A "Pela fusão nuclear"

Aluno 4B "fusão nuclear"

Aluno 7C "eu conheço por fusão nuclear"

Além dessas, duas respostas apresentaram confusão com o processo de fissão nuclear, os alunos 2B e 5C.

Aluno 2B "produzem energia a partir da quebra de núcleos atômicos pesados".

Aluno 5C "produzem energia a partir da chamada FISSÃO NUCLEAR em que se fundem dois núcleos, um de deutério e outro de trítio, assim produzindo átomos de hélio".

O aluno 13A indicou a energia em forma de luz, sem mais detalhes dessa informação, não foi possível compreender o raciocínio utilizado por esse aluno, uma vez que no Ensino Médio já se trabalha conceitos de espectro eletromagnético.

13A "graças a gravidade a estrela funde elementos em um só o que libera energia em forma de luz".

Na tabela 10 observa-se a categorização e classificação das respostas dos alunos para a sétima questão do questionário inicial, "As estrelas morrem? Explique sua resposta.". Grifo nosso.

Tabela 10 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos alunos para a questão de número 7 do questionário inicial

Questionário - Inicial - Q7					
Evidência nas respostas dos alunos	Sigla	Quantidade			
Parcial	Р	5			
Depende da Massa	D-M	14			
Cessa a Fusão Nuclear	C-FN	11			
Acabando o Combustível	A-C	7			
Pesquisada e Transcrita da Internet	P-TI	2			
Transforma-se em Ferro	T-F	1			
Resposta Incoerente com a Pergunta	R-IP	1			
Erro Conceitual	E-C	2			

Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

A maioria dos alunos ou relacionou a vida da estrela com a massa, como no caso apresentado pelos alunos 3A, 12A, 12C, ou quando cessa a fusão nuclear como no caso dos alunos 17A, 10C e 13C.

Aluno 3A "sim, depende da massa da estrela"

Aluno 12A "Sim, mas o modo como evoluem e morrem depende da quantidade de massa".

Aluno 12C "Sim, porém depende da quantidade de massa, elas podem morrer de várias formas".

Aluno 17A "Mais ou menos, ela não vai produzir mais energia, mas pelo acúmulo de energia e continua brilhando por muito tempo".

Aluno 10C "Sim, quando o núcleo não produz mais energia as estrelas morrem".

Aluno 13C "Sim, por falta de energia".

A categorização e classificação para as respostas dos alunos após responderem a oitava questão do questionário inicial, está contemplada na tabela 11: "Qual o motivo dos cientistas usarem gráficos em escala logarítmica?". Grifo nosso.

Tabela 11 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos alunos para a questão de número 8 do questionário inicial

Questionário - Inicial - Q8						
Evidência nas respostas dos alunos	Sigla	Quantidade				
Não Sabe	N-S	1				
Amostragem ou Dados Muito Grandes	A-DMG	16				
Invoca a Ciência	I-C	1				
Melhor Visualização - Ordem de Grandeza	MV-OG	8				
Resposta Incoerente com a Pergunta	R-IP	17				
Pesquisada e Transcrita da Internet	P-TI	0				

Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

Nessa questão um dado muito interessante apareceu, diversos alunos, como no caso do aluno 12A, indicaram apenas uma resposta parcial com base em algum texto aleatório ao assunto tratado.

Aluno 12A "A busca por desempenhos percentuais"

O aluno 9C apresentou a seguinte informação "Quantidades científicas são muitas vezes expressas como logaritmos de outras quantidades, usando a escala logarítmica", sendo classificada como I-C.

Essas respostas soam muito estranhas, uma vez que os alunos estudam logaritmo e funções logarítmicas na primeira série do Ensino Médio, não apresentando o conhecimento adquirido ao longo da trajetória educacional.

Pode-se observar que a maioria dos alunos, nas respostas classificadas como A-DMG e MV-OG, apresentam informações relacionando corretamente o uso do logaritmo, ou devido aos dados serem muito grandes ou devido à ordem de grandeza.

Aluno 13A "pois são boas para demonstrar números grandes" A-DMG.

Aluno 5C "Quando a variável a ser apresentada apresenta variação de ordens de grandeza, ou seja, apresenta uma variabilidade muito grande" MV-OG.

Na tabela 12 observa-se as categorizações e classificações para as respostas dos alunos após responderem a nona questão do questionário inicial: "Você já ouviu falar de Diagrama de Hertzsprung-Russell ou Diagrama HR? O que você imagina que ele representa?". Grifo nosso.

Tabela 12 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos alunos para a questão de número 9 do questionário inicial

Questionário - Inicial - Q9					
Evidência nas respostas dos alunos	Sigla	Quantidade			
Nunca Ouviu	N-O	5			
Classificação Estrelar	C-E	18			
Gráfico de Distribuição	G-D	4			
Relacionado ao Tema Estrelas	R-TE	7			
Propriedade de Estrelas	P-E	7			
Resposta Incoerente com a Pergunta	R-IP	2			
Não Entendeu Ainda	N-EA	0			
Evolução Estelar	E-E	0			

Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

No caso da última questão do questionário inicial pode-se ver que a maioria indicou em suas respostas a classificação estelar, como nas respostas dos alunos 10A e 6C.

Aluno 10A "É um modo de classificar as estrelas por sua luminosidade e magnitudes".

Aluno 6C "Sim, é um gráfico de distribuição que mostra a relação entre a magnitude absoluta ou luminosidade versus o tipo espectral ou classificação estelar e a temperatura efetiva".

Poucos alunos responderam que nunca ouviram falar a respeito, como nos casos dos alunos 8A, 8C, 12C e 13C, a Sequência Didática apresentou, portanto, um conhecimento inédito para esses alunos.

Aluno 8A "Nunca ouvi falar".

Aluno 8C "Não, nunca ouvi falar".

Aluno 12C e 13C "Não".

4.2 Questão após a Sequência de Ensino e Aprendizagem 1

Após desenvolvimento da Sequência de Ensino e Aprendizagem 1 foi aplicada a seguinte questão "Como as estrelas nascem e como os cientistas propõem que elas entram na sequência principal do Diagrama HR?", foram obtidas 35 respostas de alunos.

Essa questão foi aplicada novamente ao término da atividade, porém, apenas 22 alunos a responderam e aos complementos da questão. As respostas dos 22 alunos, tanto de antes da aplicação da sequência 2 quanto posterior à esta sequência aparecem na tabela 13.

Não foi possível determinar o motivo que levou à redução do número de alunos que responderam a esta questão. Quando os alunos foram questionados, não relataram o que ocasionou tal redução, lembrando que toda atividade foi obrigatória.

Tabela 13 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos alunos para a pergunta após a sequência de ensino e aprendizagem 1

Como as estrelas nascem e como os cientistas propõem que elas entram na sequência principal do diagrama HR?			
Evidência nas respostas dos alunos	Sigla	Quantidade	
Parcial - Apenas Nascimento	P-N	2	
Parcial - Nascimento e Propriedades	P-NP	10	
Parcial - Apenas HR	P-HR	7	
Completa	С	3	

Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

A maioria das respostas dos alunos foi dada de forma parcial, focando apenas no nascimento da estrela e em algumas de suas propriedades, sem relacionar a forma que a estrela entra na região da sequência principal no Diagrama HR.

Seque alguns casos abaixo:

Aluno 7A "As estrelas nascem nas nebulosas, que são imensas nuvens de gás compostas de hidrogênio e hélio"

Aluno 1B "As estrelas nascem nas nebulosas, que são imensas nuvens de gás composta basicamente de hidrogênio e o hélio (os elementos mais comuns no Universo). Pode haver regiões da nebulosa com maior concentração de gases".

Aluno 13C "As estrelas nascem por composto hidrogênio e hélio, com o equilíbrio entre duas forças opostas".

Alguns alunos responderam completamente à pergunta, como no caso do aluno 14C "Após a fase de protoestrela, as estrelas entram na fase pré-sequência principal, nela, dependendo de sua massa, a protoestrela pode alcançar temperaturas centrais suficientemente altas para a queima do hidrogênio em seu núcleo, tornando-se uma estrela propriamente dita. Nessa fase, em que elas estão na sequência principal, a posição da estrela no Diagrama HR não varia muito".

Houve indicação também do Diagrama HR como na resposta do aluno 7C "Em Astronomia, o diagrama de Hertzsprung-Russell é um gráfico de distribuição que mostra a relação entre a magnitude absoluta ou luminosidade versus o tipo espectral ou classificação estelar e a temperatura efetiva".

4.3 Atividade de Fixação de Conhecimento

A atividade de fixação de conhecimento foi aplicada após a sequência de ensino e aprendizagem 1 para verificar os conhecimentos adquiridos na referida sequência. Esta atividade foi elaborada com sete questões perfazendo os conteúdos e cálculos abordados anteriormente, há casos com exemplos durante a apresentação da sequência de ensino e aprendizagem 1.

Essa atividade contou com a participação de apenas sete alunos, sendo seis da 3ª série A e um aluno da 3ª série C.

Observa-se alguns recortes de respostas dos alunos 1A, 15A e 5C abaixo, nas figuras 11, 12 e 13 respectivamente.

1. $F = L / 4.\pi \cdot D^{2}$ 1. $A = L / 4.\pi \cdot$

Figura 11 – Fragmento de Resposta do Aluno 1A

Fonte: Elaborado pelo pesquisador, com base nas respostas dos alunos da atividade de fixação de conhecimento.

Aluno 15A, foi o único aluno que respondeu totalmente a atividade.

Figura 12 - Fragmento de Resposta do Aluno 15A

Fonte: Elaborado pelo pesquisador, com base nas respostas dos alunos da atividade de fixação de conhecimento.

Figura 13 – Fragmento de Resposta do aluno 5C

Fonte: Elaborado pelo pesquisador, com base nas respostas dos alunos da atividade de fixação de conhecimento.

4.4 Sequência de Ensino e Aprendizagem 2 – O Papel da Gravidade

Após a atividade da sequência de ensino aprendizagem 2 os alunos responderam novamente à questão "Como as estrelas nascem e como os cientistas propõem que elas entram na sequência principal do Diagrama HR?".

Para o desenvolvimento dessa sequência de ensino e aprendizagem foi utilizado a metodologia de sala de aula invertida, apresentando as categorizações nas tabelas 14, 15 e 16 para as respostas dos alunos para cada uma das questões.

Tabela 14 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos alunos para a pergunta após a sequência de ensino e aprendizagem 2

Como as estrelas nascem e como os cientistas propõem que elas entram na sequência principal do diagrama HR? - Após a Aula - Possibilitou uma Mudança das Concepções

Evidência nas respostas dos alunos Sigla Quantidade

Evidência nas respostas dos alunos	Sigla	Quantidade
Apenas Sim	Sim	5
Apenas Não	Não	2
Não Se Lembra	N-L	2
Sim - Complementou	S-C	11
Resposta Incoerente com a Pergunta	R-IP	2

Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

A atividade deveria ter complementado as informações como se pode ver na maioria das respostas, com alguns excertos abaixo:

Aluno 1A "Sim, antes de eu ter assistido a aula não tinha nenhuma noção na verdade de como elas nasciam, depois de ter assistido pude compreender melhor".

Aluno 5B "Quando eu era criança, pensava que as estrelas era pessoas que partiam de uma dessa para melhor. Depois que cresci e fui estudando sobre isso fez eu perceber que era um processo muito incrível do nascimento de uma estrela, que assim como o ser humano, nasce, vive e morre".

Aluno 7C "Mais ou menos, pra ser sincera eu não sabia como era o nascimento de uma estrela".

O curioso foram os alunos 8A e 6B que responderam que não se lembravam de ter respondido a mesma questão anteriormente. Antes do início da aplicação da sequência de ensino e aprendizagem 2, foi salientado por meio de videoaula aos alunos que já haviam respondido essa questão, anteriormente, observou-se alguns casos de respostas diretas, sem complementar o que foi apresentado como respostas tanto positivas quanto negativas.

Na tabela 15, a categorização das respostas dos alunos teve como base o questionamento de como se deu (ou não) a mudança das concepções hora, antes, apresentadas.

Tabela 15 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos alunos para o complemento da pergunta após a sequência de ensino e aprendizagem 2

Como isso Ocorreu? Explique de que forma o texto, o					
vídeo ou o debate, possibilitaram a mudança.					
Evidência nas respostas dos alunos	Evidência nas respostas dos alunos Sigla Quantidado				
Com Base no Texto	C-BT	2			
Com Base no Vídeo	C-BV	2			
Compreenderam Algo e Descreveram	C-D	5			
Compreenderam - Resposta Simples	C-RS	7			
Não Houve Mudança	N-HM	3			
Não Respondeu	N-R	2			
Resposta Incoerente com a Pergunta	R-IP	1			

Apenas os alunos 1A, 10A, 22A, 3B e 5C responderam completamente à questão proposta, diversos alunos responderam de forma direta cada uma das questões, sem apresentar detalhes como no caso dos alunos 6A, 8A, 9A, 24A, 2B, 5B e 6C.

Abaixo pode-se observar algumas das respostas consideradas por este pesquisador como resposta completa (aluno 1A e 22A).

Aluno 1A "O que mais ajudou foram os textos e os vídeos que eu assisti, o texto serviu para eu ter uma ideia de como elas nasciam, já o vídeo proporcionou um entendimento melhor do conteúdo".

Aluno 22A "Me deram a visão de que temperatura, pressão e luminosidade, influenciam totalmente no tamanho, na durabilidade (vida) de uma estrela, fazendo com que eu entendesse que estrelas mais massivas tendem a consumir mais dessa energia produzida, permanecendo menos tempo em sua fase principal, enquanto estrelas menos massivas, figuem em seu estado principal por um período maior".

Respostas mais diretas e que não apresentaram detalhes podem ser vistas em seguida.

Aluno 9A "Ele explica corretamente como ocorre tudo"

Aluno 5B "Não sei explicar, mas foi uma mudança incrível"

Aluno 6C "Devido a outra visão e maior explicação do tema".

Na tabela 16 foi apresentado uma distribuição das categorizações e classificações apresentadas para as respostas dos alunos sobre o que foi alterado ou complementado em seu conhecimento após a atividade.

Tabela 16 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos alunos para o complemento da pergunta após a sequência de ensino e aprendizagem 2

O que foi Alterado ou Complementado?			
Evidência nas respostas dos alunos	Sigla	Quantidade	
Nascimento da Estrela	N-E	1	
Evolução de Estrelas	E-E	4	
Diagrama HR	D-HR	2	
Fórmulas	F	1	
Tudo - Não Sabia Antes	T-NSA	3	
Distribuição de Energia e Espectro	D-EE	2	
Não Houve Mudança	N-HM	4	
Não Respondeu	N-R	2	
Resposta Incoerente com a Pergunta	R-IP	3	

Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

Os dados como as informações apresentaram diversas categorizações, não evidenciaram uma informação que tivesse despertado maior interesse por parte dos alunos.

Pode-se ver o caso de quatro alunos (5A, 24A, 6B e 9C) que indicaram que não houve mudanças no que pensavam, não foi possível compreender o que estes alunos sabiam, anteriormente, para poder analisar melhor.

No caso de respostas que evidenciaram a evolução das estrelas, alguns excertos são apresentados abaixo:

Aluno 10A "Eu aprendi como as estrelas são criadas e são estudadas, então isso mudou muito a minha visão sobre elas".

Aluno 15A "A evolução estelar"

Aluno 5B "Foi alterado o fato de que eu achava que as estrelas não "morriam" e sim ficavam ali eternamente".

4.5 Sequência de Ensino e Aprendizagem 3 – Estudo Dirigido

Os dados apresentados para o Estudo Dirigido foram categorizados de acordo com a tabela 17 abaixo, e a questão utilizada para direcionamento do estudo foi apresentada como na tabela.

Tabela 17 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos alunos para o estudo dirigido na sequência de ensino e aprendizagem 3

Identifique o que faz uma estrela entrar na Sequência Principal?				
Evidência nas respostas dos alunos Sigla Quantidade				
Relacionou com a Massa	R-M	7		
Relacionou com o Texto	R-T	4		
Relacionou com a Queima de Hidrogênio e Hélio	R-H-He	6		
Sem Relação com Texto	S-RT	1		

Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

A maioria dos alunos relacionou apenas a massa como fator para entrada na sequência principal, pode-se pensar que as imagens apresentadas no material de estudo tenham corroborado para o equívoco apresentado nas respostas dos alunos.

Alguns casos podem ser vistos abaixo:

Aluno 6A "Sua massa é o principal motivo".

Aluno 9A "A posição de uma estrela na sequência principal é determinada principalmente pela sua massa, com as estrelas mais massivas sendo as mais luminosas e quentes" essa resposta também foi apresentada pelos alunos 1B, 9C, 14C e 2C.

Aluno 5C "O que faz ela estar na sequência principal é a sua massa, gravidade e pressão".

O aluno 6C acabou por não relacionar o que foi estudado, apenas respondendo da seguinte forma "Estrela é uma grande e luminosa esfera de plasma, mantida íntegra pela gravidade e pressão de radiação, que ao fim de sua vida pode conter uma porção de matéria degenerada".

Com o objetivo de verificar a aprendizagem dos alunos durante o estudo dirigido, foram coletadas as respostas das demais questões que direcionavam a aprendizagem, podemos vê-las nas tabelas 18, 19 e 20.

Tabela 18 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos alunos para o estudo dirigido na sequência de ensino e aprendizagem 3

O que é a Sequência Principal ?				
Evidência nas respostas dos alunos Sigla Quantidade				
Explicação Direta	E-D	8		
Explicou Pracialmente	E-P	2		
Explicou Complementando	E-Comp	8		

Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

Algumas das respostas apresentadas pelos alunos que complementaram o que estavam explicando seguem abaixo:

Aluno 1A "A sequência principal representa o estágio evolutivo em que as estrelas geram energia pela fusão de átomos de hidrogênio em hélio em seu núcleo. A geração de energia por fusão mantém a estrela em equilíbrio hidrostático, contrabalanceando a pressão gravitacional das camadas externas", outros alunos também responderam da mesma forma e são eles 5A, 1B, 8C.

Aluno 15A "A sequência principal é uma faixa de estrelas no Diagrama HR, um gráfico que relaciona luminosidade e temperatura superficial das estrelas. Estrelas nessa faixa são conhecidas como estrelas da sequência principal ou estrelas anãs. A maioria das estrelas esta na sequência principal, incluindo o Sol".

Mas também, pode-se ver alguns casos de respostas diretas como apresentadas pelos alunos 3A, 17A.

Aluno 3A "Fase estável da vida da estrela (quando começa a fusão do hidrogênio)".

Aluno 17A "É uma região que fusiona o hidrogênio do núcleo em hélio".

Uma resposta parcial pode ser observada abaixo:

Aluno 9C "A sequência principal representa o estágio evolutivo que as estrelas geram energia pela fusão de átomos de hidrogênio em hélio em seu núcleo".

Tabela 19 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos alunos para o estudo dirigido na sequência de ensino e aprendizagem 3

Como ocorre o equilíbrio hidrostático ?				
Evidência nas respostas dos alunos Sigla Quantidade				
Explicação Direta	E-D	1		
Explicou Parcialmente	E-P	4		
Explicou Complementando	E-Comp	13		

No caso do equilíbrio hidrostático a maioria dos alunos respondeu e complementou suas respostas, o que pode ser verificado nas respostas dos alunos apresentadas a seguir:

Aluno 6A "O equilíbrio hidrostático é o balanço entre a gravidade e pressão em cada camada da estrela que quando quebrado; a camada poderá encolher, se a gravidade vencer ou expandir se a pressão vencer".

Aluno 1A "O equilíbrio hidrostático faz com que há uma pressão na parte de cima e de baixo da camada junto a força gravitacional fazendo assim um equilíbrio na estrela, evitando então uma explosão ou encolhimento".

Aluno 6C "O equilíbrio hidrostático ocorre em estrelas quando há o balanço entre a atração do campo gravitacional das camadas superiores pelas inferiores, e entre a diferença de pressão entre essas camadas, que provoca uma força cujo sentido é contrário ao centro da estrela".

Tabela 20 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos alunos para o estudo dirigido na sequência de ensino e aprendizagem 3

Como ocorre a relação entre o tempo de vida e a massa das estrelas ?			
Evidência nas respostas dos alunos	Sigla	Quantidade	
Explicação Direta	E-D	4	
Inverteu a Relação de Massa x Tempo Vida	I-R	3	
Relacionona Parcialmente	R-P	2	
Relacionou Complementando	R-Comp	7	
Não Sabe	N-S	1	
Pesquisada e Transcrita da Internet	P-TI	1	

Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

Da mesma forma como nas questões anteriores os alunos apresentaram respostas completas, alguns casos podem ser vistos abaixo:

Aluno 1A "O tempo que uma estrela viverá dependerá da sua massa. Quanto maior a massa, mais calor e luz ela liberará. Sua morte acontece quando já tiver queimado todo o combustível. Como essa queima origina elementos mais pesados, ela termina apenas quando passa a produzir ferro, que é um processo que consome energia", outros alunos apresentaram exatamente essa mesma resposta, são eles: 5A, 15A, 1B, 6C e 14C.

Aluno 6A "Depende da massa da estrela, pois está ligado ao seu consumo de combustível para gerar energia, que quando acaba-se o combustível morre a estrela $Tsp = 10^{10}$ (anos).1/M³".

Alguns alunos, ao responderem, inverteram a relação entre massa e tempo de vida das estrelas. A resposta de um deles pode ser verificada abaixo:

Aluno 14A "Quanto mais massiva a estrela mais rapidamente ela gastará sua energia, então como resultado ela irá durar mais tempo".

O caso do aluno 2C que não soube responder à questão não forneceu dados para saber se houve falha na elaboração do material, ou se ele não leu, totalmente, o material apresentado, ou ainda se ao ler estava realmente prestando atenção.

4.6 Avaliação Pontual

A aplicação da avaliação pontual se deu após a sequência de ensino e aprendizagem 3, de forma separada, deixando apenas a avaliação para ser executada.

A avaliação foi resolvida por cinco alunos, sendo quatro da 3ª série A e um da 3ª série C, alguns recortes das questões respondidas podem ser observados nas figuras 14, 15, 16, 17 e 18 a seguir.

Este decimento Beta for um proton decais em um mentrino, e proton decido as interações protos. Depois dele proceso o desteron coplura um proton y produz 2HE3, esta reação e man speil e occare 26", ada reges que coplura puesto proton e forma 2HE".

Figura 14 – Fragmento de resposta do aluno 1A para a 6ª questão

Fonte: Transcrição parcial da Avaliação Pontual de aluno.

Figura 15 – Fragmento de resposta do aluno 6A para a 5ª questão

Uma protoestrela forma-se pela contração de uma nuvem molecular gigante do meio interestelar. ... Com essa contração a temperatura interna e a pressão aumentam, estabilizando a protoestrela até que seja possível a fusão nuclear do hidrogênio.

Fonte: Transcrição parcial da Avaliação Pontual de aluno.

De lidrocentre la principalmente a helia Com essa cantração a temperatora interna e a mesão amentam, estabilizando a proteestrela até que seia possuel a fersão machas da vida da estrela, quandos ela trá lundindo hadrocênio em helia va midea e livrada de atrela, que se a establidada hadrocênio em helia va midea e los lidrocestos en la la lundindo hadrocênio em helia va midea e la trá lundindo hadrocênio em helia va midea e la lidrocesta en entre em emiliario hidrocestaleos Granto maios a mara, mais quente, mais aque e mais luccionose resa a estrela, e menos perá a seu tempos de vida.

Figura 16 – Fragmento de resposta do aluno 15A para a 5ª e 7ª questões

Fonte: Transcrição parcial da Avaliação Pontual de aluno.

1) $m^* - m0 = -2,5 \log(L^*/L0)$ $-1,75 - 4,77 = -2,5 \log(L^*/L0)$ $-6,52 = -2,5 \log(L^*/L0)$ $-6,52/-2,5 = \log(L^*/L0)$ $2,608 = \log(L^*/L0)$ $10^{-416} = (L^*/L0)$ $L^{-} 2,600L0$

Figura 17 – Fragmento de resposta do aluno 24A para a 1ª questão

Fonte: Transcrição parcial da Avaliação Pontual de aluno.

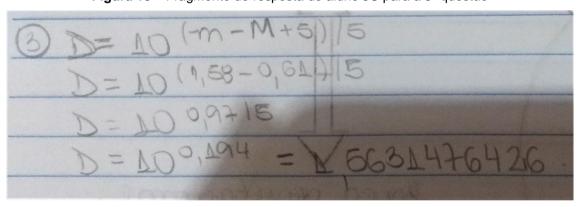


Figura 18 – Fragmento de resposta do aluno 5C para a 3ª questão

Fonte: Transcrição parcial da Avaliação Pontual de aluno.

Apenas um aluno realizou todas as questões propostas. Durante o período e resolução apenas os alunos 1A e 24A entraram em contato com o professor para sanar alguma dúvida, mesmo assim o aluno 1A deixou de realizar as demais questões propostas, não relatando o motivo.

Foi disponibilizado posteriormente o gabarito com resolução passo a passo, de acesso aos alunos.

4.7 Sequência de Ensino e Aprendizagem 4 – Mapas Conceituais

Na sequência de ensino e aprendizagem 4 os alunos elaboraram mapas conceituais, cada mapa deveria compreender o texto sobre os caminhos póssequência principal, cada mapa indicando a relação de massa das estrelas, sendo estrelas de baixa massa, massa intermediária e alta massa.

Apenas três alunos (3A, 23A e 6B) responderam essa atividade, dois da 3ª série A e um da 3ª série B, infelizmente, apenas um deles apresentou um mapa, não conceitual e sim mental, pois não apresentou as relações entre os conceitos, mesmo sendo informado da necessidade.

Os outros dois alunos (23A e 6B) apenas pesquisaram mapas conceituais na *internet* e os transcreveram na íntegra, e estes não apresentavam relação alguma com o conteúdo proposto como se pode ver nas figuras 19 e 20 abaixo:

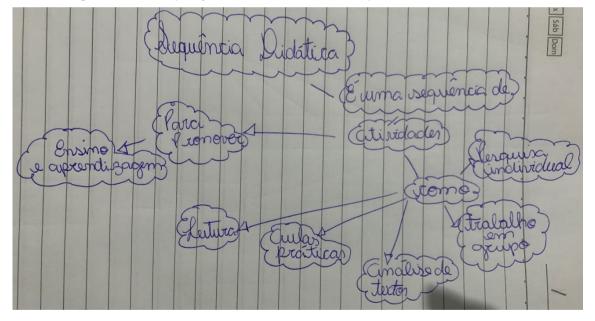


Figura 19 - Transposição da atividade sobre o mapa conceitual do aluno 23A

Fonte: Transcrição da resposta do aluno 23A.

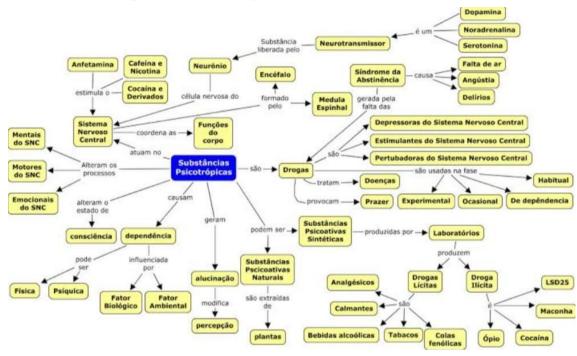


Figura 20 - Transposição do Mapa conceitual do aluno 6B

Fonte: Transcrição da resposta do aluno 6B.

Os mapas conceituais entregues pelo aluno 3A podem ser vistos nas figuras 21, 22 e 23 abaixo:

Se a massa da Estrelas de Baixa estrela for Contraindo o Massa menor 1/4 M núcleo, que aquece ela irá viver junto com as muito e camadas vizinhas acabará sua estas pulsações vão e o hidrogênio aumentando cada vez mais começa a queimar vida como uma seu raio até que finalmente, anã branca. nas camadas acima se transformando em uma do núcleo nebulosa planetária Uma vez que a estrela se encontra no ramo das Esses flashes O raio da estrela se Após o estágio 11 o sub-gigantes há fazem a estrela expande para manter um pequeno núcleo se contrai de se tornar a conservação de novo e a temperatura aumento da sua pulsante. energia, fazendo-a luminosidade central cresce mais variando seu sair da sequência para estrelas de baixa brilho e seu raio principal талла

Figura 21 - Transposição da atividade sobre mapa conceitual estrelas de baixa massa aluno 3A

Fonte: Fragmento da resposta do aluno 3A.

Observa-se a indicação do mapa elaborado de forma a compreender um mapa mental, deixou-se de lado o elemento de ligação dos conceitos apresentados, (figura 21).

ЗА Como a pressão no Estrelas de Massa núcleo enfraquece, com a Intermediária redução do hidrogênio, a força gravitacional vai ganhando e contraindo o núcleo da estrela. a estrela continua no ramo das gigantes, e como sua massa é maior Com o carbono exaurido que 2,5M □ inicia-se o nas camadas externas A estrela irá fusionar o processo de fusão ao núcleo, aumenta a

carbono e o oxigênio ficando

em camadas e

como cinza restará um núcleo

de neônio e oxigênio.

chamado de triplo alfa,

carbono, não diminui sua

que fusiona hélio em

luminosidade.

Figura 22 - Transposição da atividade sobre mapa conceitual estrelas de massa intermediária aluno

Fonte: Fragmento da resposta do aluno 3A.

faz a estrela se

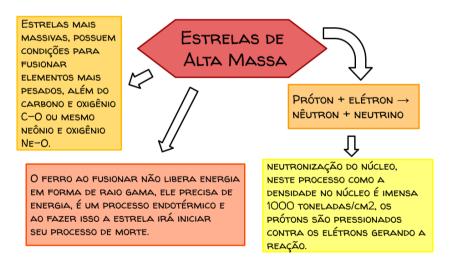
no HR.

temperatura superior e isso

deslocar para a esquerda

No mapa acima (figura 22) também se observa a mesma descrição, o aluno elaborou o mapa como forma de mapa mental, não apresentando os conceitos e elementos de ligação.

Figura 23 – Transposição da atividade sobre mapa conceitual estrelas de alta massa aluno 3A



Fonte: Fragmento da resposta do aluno 3A.

Este pesquisador esperava conseguir mais respostas e analisar o processo cognitivo dos alunos na elaboração de seus mapas conceituais, como foi apresentada apenas uma resposta utilizável, esta análise ficou prejudicada, e o aluno 3A não apresentou os elementos de ligação que indicariam sua lógica de raciocínio.

Pode-se pensar que por se tratar de uma metodologia pouco difundida em alunos do Ensino Médio de escolas regulares, estes não compreenderam o processo de elaboração, nesta pesquisa foram apresentados vídeos e endereços eletrônicos para apoio, nenhum aluno tentou entrar em contato para sanar dúvidas a respeito do assunto, durante a atividade das aulas síncronas e plantões de dúvidas que ocorriam, normalmente, por meio do *Google Classroom* e *Google Meet*.

4.8 Sequência de Ensino e Aprendizagem 5 – Elaboração Diagrama HR

A atividade da sequência de ensino e aprendizagem 5 foi a elaboração do Diagrama HR Geral, utilizando-se de planilha com dados das estrelas, algumas questões de análise e uma folha para construção do diagrama, estes materiais foram disponibilizados tanto por meio digital, quanto por meio impresso onde os alunos retiraram o material impresso na secretaria da escola, juntamente com a apostila do 2º bimestre.

A atividade apresentou três resoluções de alunos da 3ª série A, algumas respostas dos alunos e da elaboração do diagrama podem ser vistas nas figuras 24, 25, 26, 27, 28 e 29 abaixo:

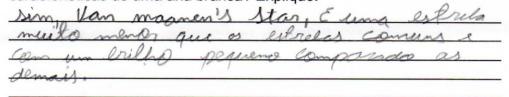
Figura 24 – Imagem parcial da tabela para elaboração do Diagrama HR Geral

Diagrama Hertzsprung-Russell					
Nome da Estrela	Filtro mB	Filtro mV	Índice de Cor (B-V)	Luminosidade L/L0	
Achernar	0,3	0,46	(-0.16)	1030	
Aldebaran	2,4	0,86	1,54	160	
Alhena	1,92	1,92	0	162	
Alnilam	1,51	1,69	-0.18	66000	
Altair	0,98	0,76	(0,22)	11	
Antares	2,75	0.91	184	9250	

Fonte: Fragmento da resolução da Sequência de ensino e aprendizagem 5 do aluno 1A.

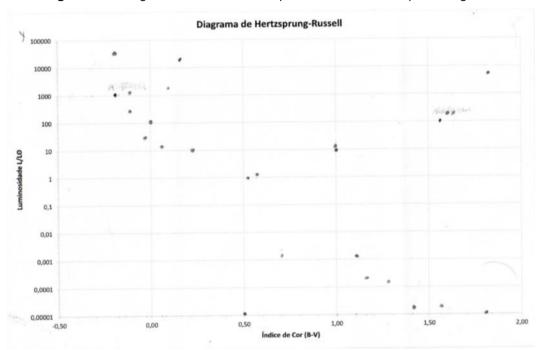
Figura 25 – Resposta da questão 4 da Sequência de Ensino e Aprendizagem 5

4) Neste diagrama há alguma anã branca? Qual o nome dela? Quais características de uma anã branca? Explique.



Fonte: Fragmento das resoluções do aluno 1A.

Figura 26 – Diagrama HR Geral da Sequência de Ensino e Aprendizagem 5



Fonte: Fragmento das resoluções do aluno 1A.

Figura 27 – Imagem parcial da tabela para elaboração do Diagrama HR Geral

Diagrama Hertzsprung-Russell					
Nome da Estrela	Filtro mB	Filtro mV	Índice de Cor (B-V)	Luminosidade L/L0	
Achernar	0,3	0,46	0.45	1030	
Aldebaran	2,4	0,86	1500	160	
Alhena	1,92	1,92	cices	162	
Alnilam	1,51	1,69	-c.19	66000	
Altair	0,98	0,76	0.22	11	
Antares	2,75	0,91	134	9250	

Fonte: Fragmento da resolução da Sequência de ensino e aprendizagem 5 do aluno 25A.

Figura 28 – Resposta da questão 3 da Sequência de Ensino e Aprendizagem 5

3) Usando a relação de índice de cor, qual estrela mais vermelha e qual estrela mais azul no diagrama executado?

Fonte: Fragmento das resoluções do aluno 25A.

Diagrama de Hertzsprung-Russell 100000 Alrilam 10000 Antaren 1000 100 Alter B Hyi 1 cet 0,1 Hup 84478 0.01 xondre 21185 0,001 0.0001 maanen's YZCat 0,00

Figura 29 – Diagrama HR Geral da Sequência de Ensino e Aprendizagem 5

Fonte: Fragmento das resoluções do aluno 25A.

4.9 Questionário Final

O questionário final apresentou respostas de 20 alunos, sendo que nenhum aluno da 3ª série B o respondeu, somente das demais séries e, alguns destes responderam apenas este questionário. Era esperado que os alunos apresentassem respostas mais completas e evidências de seu aprendizado.

Abaixo são apresentadas as tabelas com as categorizações das respostas dos alunos, em algumas delas foi necessário acrescentar outras categorias diferentes das já utilizadas para o questionário inicial, isto devido à presença de novas informações nas respostas dos alunos.

Na tabela 21 pode-se observar as categorizações e classificações para a primeira questão do questionário final elaborada com as respostas apresentadas pelos alunos, a questão pode ser vista em seguida "Como você explicaria para alguém após este estudo, o que é uma estrela?". Grifo nosso.

Tabela 21 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos alunos para a questão de número 1 do questionário final

Questionário - Final - Q1				
Evidência nas respostas dos alunos	Sigla	Quantidade		
De acordo com Ensino Fundamental	D-EF	4		
EF com Indicação Esférica e Presença de Gases	EF-IEPG	4		
EF com indicação de Gravidade e Pressão	EF-GP	4		
EF com indicaçãode Gravidade, Pressão e Fusão Nuclear	EF-GPFN	0		
Pesquisada e Transcrita da Internet	P-TI	6		
Resposta Incoerente com a Pergunta	R-IP	2		
Erro Conceitual	E-C	0		

Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

Mesmo após a aplicação da atividade, observou-se o número de respostas simplistas, quando os alunos utilizaram de informações apenas de acordo com o Ensino Fundamental.

Não foi apresentada nenhuma resposta que relacionasse a gravidade, a pressão e a fusão nuclear, e verificou-se, novamente, a presença de respostas diretamente transcritas da *internet*.

Na tabela 22 pode-se observar as categorizações e classificações para a segunda questão do questionário final elaborada com as respostas apresentadas pelos alunos. "Após este estudo como você explicaria o processo de formação de uma estrela para uma pessoa conhecida?". Grifo nosso.

Tabela 22 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos alunos para a questão de número 2 do questionário final

Questionário - Final - Q2				
Evidência nas respostas dos alunos Sigla Quantio				
De Nebulosas	Neb	1		
De Nuvens de H e He	Nu-H-He	1		
De Nuvens de H, He e Gravidade	H-He-G	1		
De Nuvens de H, He, Gravidade e Fusão Nuclear	G-FN	7		
Pesquisada e Transcrita da Internet	P-TI	1		
Resposta Incoerente com a Pergunta	R-IP	3		
Gás Interestelar (Poeira e H)	G-I	6		

Nesta tabela 22, ainda foram apresentadas respostas com base apenas em nebulosas ou de nuvens de hidrogênio e hélio, conforme apresentadas nas respostas dos alunos para o questionário inicial.

Houve respostas que apresentaram o termo "gás interestelar" como o meio que evidencia a leitura dos textos e complementa o que haviam indicado anteriormente, pode ser observado na resposta abaixo essa indicação.

Aluno 11A "São formadas por nuvens de gás interestelar, que por sua vez são constituídas por poeira e hidrogênio. A baixas temperaturas, átomos desse elemento se combinam para formar moléculas, dando origem a essas nuvens".

Na tabela 23 observa-se as categorizações e classificações para a terceira questão do questionário final elaborada com as respostas apresentadas pelos alunos. "Após o aprendizado, como você explica a forma que a gravidade auxilia na formação, vida e morte de uma estrela? Explique sua resposta.". Grifo nosso.

Tabela 23 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos alunos para a questão de número 3 do questionário final

Questionário - Final - Q3					
Evidência nas respostas dos alunos Sigla Qua					
Simplista	S	5			
Parcial - Apenas formação	P-AF	1			
Formação - Origem na Reação de Fusão	F-ORF	4			
Relaciona Gravidade e Combustível	R-GC	4			
Completa	С	2			
Resposta Incoerente com a Pergunta	R-IP	2			
Não Sabe	N-S	1			
Transforma-se em Ferro	T-F	1			

A maioria dos alunos responderam de forma simplista como observa-se nos casos abaixo:

Aluno 14A "A gravidade mantém junto da pressão da radiação a estrela em "estabilidade"".

Aluno 12C "A gravidade do mesmo jeito que ajuda comprimindo os gases de uma estrela ela também a esmaga assim a matando".

No caso de resposta considerada completa por este pesquisador, pode-se destacar a do aluno 11A, "Com muito tempo, a gravidade irá reunir uma grande quantidade de hidrogênio, comprimindo-o mais até um ponto em que a temperatura será tão alta que um processo chamado fusão nuclear criar uma força contrária à da gravidade, que por sua vez cria uma pressão na Estrela. Sua morte acontece quando já tiver queimado todo o combustível".

Já no caso em que se relaciona a gravidade e o combustível, a resposta do aluno 15A segue da seguinte forma: "O ciclo de vida das estrelas inicia-se com a junção de gases nas nebulosas e perdura enquanto houver combustível a ser consumido no processo de fusão nuclear. Sua morte acontece quando já tiver queimado todo o combustível".

Na tabela 24 observa-se as categorizações e classificações para a quarta questão do questionário final, elaborada com as respostas apresentadas pelos alunos. "Todas as estrelas são iguais? Explique sua resposta.". Grifo nosso.

Tabela 24 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos alunos para a questão de número 4 do questionário final

Questionário - Final - Q4				
Evidência nas respostas dos alunos	Sigla	Quantidade		
Simplista	S	8		
Temperatura e Massa	T-M	0		
Temperatura, Massa e Luminosidade	T-M-L	1		
Confusão Massa e Luminosidade	C-ML	0		
Pesquisada e Transcrita da Internet	P-TI	8		
Resposta Incoerente com a Pergunta	R-IP	3		

Nessa questão foi preocupante o número elevado de respostas que foram transcritas diretamente da *internet*, alguns casos podem ser vistos abaixo:

Aluno 11A "Não, uma estrela é uma grande e luminosa esfera de plasma, mantida íntegra pela gravidade e pela pressão de radiação". *Brainly*

Aluno 3C "Não são. Uma estrela é uma grande e luminosa esfera de plasma, mantida íntegra pela gravidade e pela pressão de radiação, ao fim da sua vida, uma estrela pode conter também uma porção de matéria degenerada. A estrela mais próxima da Terra é o Sol, que é a fonte da maior parte de energia do planeta". *Brainly* completa.

O que pode indicar que os alunos ao serem questionados, acabam apenas buscando suas respostas na *internet*, primeiramente, e sem nenhum cuidado as transcrevem integralmente para o professor.

A maioria das respostas que foram classificadas por este pesquisador como resposta simplista são apresentadas a seguir:

Aluno 12A "Não. As estrelas possuem massa e quantidades diferentes de hélio e hidrogênio".

Aluno 9A "Não, existe estrelas com maiores massas então assim algumas vivem mais outras vivem menos algumas são menores outras maiores e são de cores variadas".

Aluno 8C "Não, existe mais de 200 bilhões de estrelas na via láctea, sendo uma delas o Sol".

Na tabela 25, as categorizações e classificações da quinta questão do questionário final foi elaborada com as respostas apresentadas pelos alunos. "Diante de tudo o que foi visto, como ocorre a evolução das estrelas?". Grifo nosso.

Tabela 25 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos alunos para a questão de número 5 do questionário final

Questionário - Final - Q5			
Evidência nas respostas dos alunos	Sigla	Quantidade	
Massa Interfere Tempo de Vida	M-TV	0	
Mudanças que Ocorrem	Mud	1	
Resposta Simples / Apenas Nascimento	RS-AN	5	
Etapas - Relaciona Corretamente	E-RC	0	
Pesquisada e Transcrita da Internet	P-TI	13	
Não Sabe Muito / Não Sabe	N-S	0	
Resposta Incoerente com a Pergunta	R-IP	1	

Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

Esta foi outra questão onde respostas transcritas da *internet* foram apresentadas como maioria, sem ao menos tentar modificá-las podem ser observadas abaixo:

Aluno 23A "O processo de evolução estelar se inicia a partir de nuvens de gás e poeira interestelar do qual as estrelas se formam". Coladaweb

Aluno 14C "Após milhões de anos, esse disco atinge temperatura e densidade tão altas que seus átomos de hidrogênio se transformam em hélio. Essa etapa marca o início da fusão nuclear e o surgimento da estrela. As fusões nucleares não cessam e são responsáveis pela mudança estrutural das estrelas". *Brainly*

Na tabela 26 pode-se observar as categorizações e classificações para a sexta questão do questionário final elaborada com as respostas apresentadas pelos alunos. "De que forma você poderia explicar agora como as estrelas produzem sua energia?". Grifo nosso.

Tabela 26 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos alunos para a questão de número 6 do questionário final

Questionário - Final - Q6			
Evidência nas respostas dos alunos	Sigla	Quantidade	
Fusão Nuclear - Sem Explicação	F-ND	3	
Fusão Com Liberação de Energia	F-LE	14	
Completa	С	0	
Resposta Incoerente com a Pergunta	R-IP	1	
Erro Conceitual	E-C	2	

Nessa questão a maioria das respostas se basearam na fusão com liberação de energia, segue abaixo um dos casos.

Aluno 2C "Elas produzem a sua energia por uma fusão nuclear, nesse processo dois elementos simples se fundem para produzir um elemento mais pesado liberando muita energia".

Pode-se ver abaixo um caso de resposta incoerente com a pergunta.

Aluno 4C "Foi Deus que fez".

No caso dos alunos que apresentaram resposta classificada como erro conceitual, suas respostas podem ser observadas abaixo:

Aluno 24A "Ela produz energia se contraindo pois assim ela gera alta temperatura que leva a **criação** dessa energia". Grifo nosso.

Aluno 10A "Utilizando-se de seus próprios recursos internos, ou seja, queimando seu núcleo". Grifo nosso.

Na tabela 27 pode-se observar as categorizações e classificações para a sétima questão do questionário final elaborada com as respostas apresentadas pelos alunos, a questão pode ser vista em seguida "Após as aulas de que forma você consegue explicar como as estrelas morrem?". Grifo nosso.

Tabela 27 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos alunos para a questão de número 7 do questionário final

Questionário - Final - Q7			
Evidência nas respostas dos alunos	Sigla	Quantidade	
Parcial	Р	2	
Depende da Massa	D-M	5	
Cessa a Fusão Nuclear	C-FN	1	
Acabando o Combustível	A-C	6	
Pesquisada e Transcrita da Internet	P-TI	3	
Resposta Incoerente com a Pergunta	R-IP	1	
Transforma-se em Ferro	T-F	2	

A maioria das respostas da sétima questão indicaram que a estrela morre quando acaba o combustível, como se pode ver nas respostas dos alunos, abaixo:

Aluno 21A "Elas morrem quando todo o seu combustível já está queimado".

Aluno 12C "Elas morrem após que o combustível que alimenta a energia delas acaba".

Uma resposta considerada parcial por este pesquisador foi a do aluno 2C como apresentada a seguir:

Aluno 2C "estrela de baixa massa fundirá hidrogênio, mas uma hora esse combustível vai acabar e, com isso, a energia produzida pela fusão cessará. Essa energia é a única força que combate a tendência da gravidade da própria estrela de condensar a matéria".

Foram apresentadas duas respostas idênticas pelos alunos 1A e 6C que relaciona a morte da estrela com o elemento químico ferro, mas de forma equivocada como apresentada abaixo:

Alunos 1A e 6C "Sua morte acontece quando já tiver queimado todo o combustível. Como essa queima origina elementos mais pesados, ela termina apenas quando passa a produzir ferro, que é um processo que consome energia. A partir de então, ela resfria e diminui drasticamente de tamanho, **transformando-se completamente em ferro**". Grifo nosso.

Na tabela 28 pode-se observar as categorizações e classificações para a oitava questão do questionário final elaborada com as respostas apresentadas pelos alunos, a questão pode ser vista em seguida "Qual o motivo do Diagrama HR usar eixo em escala logarítmica? Explique sua resposta.". Grifo nosso.

Tabela 28 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos alunos para a questão de número 8 do questionário final

Questionário - Final - Q8			
Evidência nas respostas dos alunos	Sigla	Quantidade	
Não Sabe	N-S	3	
Amostragem ou Dados Muito Grandes	A-DMG	4	
Invoca a Ciência	I-C	0	
Melhor Visualização - Ordem de Grandeza	MV-OG	2	
Resposta Incoerente com a Pergunta	R-IP	6	
Pesquisada e Transcrita da Internet	P-TI	5	

Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

Observou-se alunos respondendo a essa questão, como se não soubessem, mesmo após o estudo efetuado e a explicação dada através de vídeo.

Analisando a tabela 28 nos itens "Amostragem ou Dados Muito Grandes" e "Melhor Visualização - Ordem de Grandeza", levam a crer que os alunos compreenderam, ou mesmo, relembraram dos conteúdos trabalhados nas séries anteriores. Comprovando assim a necessidade de aproveitamento do conhecimento prévio conforme os teóricos: Zaballa (1998) e Moreira (2016).

Mas, ainda se nota uma quantidade significativa de respostas incoerentes, abaixo podem ser observadas algumas delas.

Aluno 15A "Uma escala logarítmica é uma escala que usa o logaritmo de uma grandeza propriamente dita. A apresentação de dados em uma escala".

Aluno 3C "Porque os dados e informações são representados em forma de gráficos".

As respostas que foram indicadas como pesquisadas e transcritas da *internet*, apresentam vocabulário que normalmente não fazem parte do repertório dos alunos de Ensino Médio, além de indicações que não foram apresentadas na Sequência Didática, como no exemplo abaixo:

Aluno 1C "Em um gráfico de log L x Log T, o termo em **R quadrático** na **equação acima** representa uma linha reta no Diagrama HR. Isso implica que o tamanho de uma estrela pode ser facilmente lido do diagrama, uma vez conhecida sua posição. O Diagrama HR é um instrumento essencial para o estudo da evolução estelar". Grifo nosso, página da UFRGS.

Na tabela 29 pode-se observar as categorizações e classificações para a nona questão do questionário final elaborada com as respostas apresentadas pelos alunos. "Após os conhecimentos desenvolvidos em aulas, como você explicaria o que é um Diagrama HR e o que ele representa?". Grifo nosso.

Tabela 29 – Relação com siglas utilizadas na categorização das respostas dos alunos para a questão de número 9 do questionário final

Questionário - Final - Q9			
Evidência nas respostas dos alunos	Sigla	Quantidade	
Nunca Ouviu	N-O	0	
Classificação Estrelar	C-E	13	
Gráfico de Distribuição	G-D	0	
Relacionado ao Tema Estrelas	R-TE	0	
Propriedade de Estrelas	P-E	4	
Resposta Incoerente com a Pergunta	R-IP	1	
Não Entendeu Ainda	N-EA	1	
Evolução Estelar	E-E	1	

Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

Observa-se que a maioria das respostas indicaram que o Diagrama HR é um gráfico de classificação estelar, como apresentado abaixo:

Aluno 12A "É um gráfico de distribuição que mostra a relação entre a magnitude absoluta ou luminosidade versus o tipo espectral ou classificação estelar e a temperatura efetiva".

O aluno 2C ainda não compreendeu e não acessou a aula para sanar sua dúvida também, ao todo respondeu seis atividades, sendo que uma delas foi a avaliação final, onde não foi possível verificar suas respostas, as imagens postadas não apresentaram nenhuma informação, o aluno foi contactado e não houve retorno e nem reenvio das respostas.

Apenas o aluno 10A relacionou o Diagrama HR com a classificação estelar, e o escreveu da seguinte forma: "Ele serve para calcularmos a luminosidade das estrelas, portanto suam massa e classificá-las e assim temos mais conhecimento sobre as mesmas, e sobre o universo".

O aluno 23A indicou que serve para estudar a evolução estelar, da seguinte maneira: "Os diagramas de Hertzsprung-Russell são também chamados pelas abreviações Diagrama H-R ou HRD e representam um passo importante em direção ao entendimento da evolução estelar".

Houve alunos que citaram algumas propriedades de estrelas em suas respostas, como nos casos abaixo:

Aluno 15A "Plotam a luminosidade no eixo do Y e a temperatura estelar no eixo dos X. Representa um gráfico estelar".

Aluno 24A "É um gráfico bem colorido que representa a luminosidade em função da grandeza ou magnitude absoluta em função da classe espectral".

Houve o aluno 4C que sempre respondeu às questões de forma incoerente, apenas escrevendo "Foi Deus que fez", mesmo após o estudo executado, observouse que o aluno respondeu os dois questionários ao final do bimestre, indicando que se preocupou, apenas com a entrega, e, não, o cuidado para com a sua aprendizagem.

4.10 Comparativo Questionário Inicial e Final

Ao analisar as respostas dos alunos que responderam os dois questionários, inicial e final, foi verificado que 18 alunos efetuaram as respostas dos dois questionários, e dois alunos responderam apenas estes questionários, sem entrega das demais atividades previstas na Sequência Didática.

As respostas, de acordo com as categorizações já apresentadas, podem ser observadas no gráfico 9 abaixo:

Q1- Como você explicaria para alguém o que é uma estrela?

Inicial Final

7

4

4

3

2

1

0

0

D-EF EF-IEPG EF-GP EF-GPFN P-TI R-IP E-C

Gráfico 9 – Comparativo das respostas da Q1 do questionário inicial e final

Fonte: Elaborado pelo pesquisador, com base nas respostas dos 18 alunos.

Observando o gráfico 9, nas siglas: D-EF, EF-IEPG, EF-GP, E-C fica evidente a atualização de conhecimento prévio dos alunos pelas respostas dadas no segundo questionário.

Porém, também foi observado aumento de respostas coletadas e transcritas da *internet* (P-TI), e, ainda, aparecem respostas incoerentes com a pergunta (R-IP).

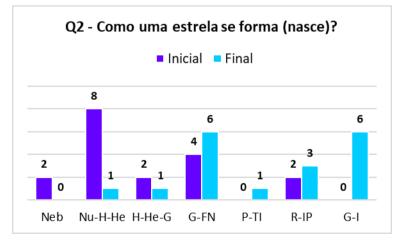


Gráfico 10 – Comparativo das respostas da Q2 do questionário inicial e final

Fonte: Elaborado pelo pesquisador, com base nas respostas dos 18 alunos.

Observando o gráfico 10, fica evidente nas respostas dadas pelos alunos que houve compreensão do assunto abordado na Sequência de Ensino e Aprendizagem 2, pois as respostas (G-FN), (G-I) demonstram o conhecimento mais abrangente do processo de nascimento da estrela: gravidade, pressão, fusão nuclear

e a presença de gás interestelar. Também fica clara, a mudança na compreensão de como a estrela se forma observando os itens: Neb; Nu-H-He; H-He-G.

Q3 - De que foma a gravidade auxilia na formação, vida e morte de uma estrela?

Explique sua resposta

Inicial Final

Final

PAF F-ORF R-GC C R-IP N-S T-F

Gráfico 11 – Comparativo das respostas da Q3 do questionário inicial e final

Fonte: Elaborado pelo pesquisador, com base nas respostas dos 18 alunos.

No gráfico 11 nota-se a presença de respostas mais completas (C) e a indicação de que a formação, a vida e morte dependem da gravidade e do combustível das estrelas (R-GC). Outras respostas, embora não completas (S; P-AF; F-ORF) apresentaram aplicação de novos conhecimentos.

O curioso foi o caso do aluno que respondeu, ao término da atividade, que não sabia nada a respeito (N-S), e, também o caso apresentado na resposta (T-F) - a estrela esfriava e se transformava em ferro.



Gráfico 12 – Comparativo das respostas da Q4 do questionário inicial e final

Fonte: Elaborado pelo pesquisador, com base nas respostas dos 18 alunos.

Ao examinar o gráfico 12 verifica-se aumento de respostas simplistas (S), além de respostas pesquisadas e transcritas da *internet* (P-TI) comparadas ao questionário inicial.

Os casos apresentados, incialmente, de confusão entre a relação de massa e luminosidade (C-ML) foram o destaque nesta questão, pois no questionário final não houve resposta nessa categoria, demonstrando, assim, evolução no conhecimento adquirido.



Gráfico 13 – Comparativo das respostas da Q5 do questionário inicial e final

Fonte: Elaborado pelo pesquisador, com base nas respostas dos 18 alunos.

Examinando o gráfico 13 constatou- se, na questão - "o que você sabe sobre evolução das estrelas?"- respostas pesquisadas e transcritas da *internet* (P-TI). Mas, fica claro, também, pela resposta (N-S) a diminuição de alunos que nada sabiam, e que, agora, adquiriram algum conhecimento. Assim como, no item R-IP, que a resposta tornou-se coerente ao assunto.

Q6 - Como você descreve a forma que as estrelas produzem sua energia?

Inicial Final

F-ND F-LE C R-IP E-C

Gráfico 14 - Comparativo das respostas da Q6 do questionário inicial e final

Fonte: Elaborado pelo pesquisador, com base nas respostas dos 18 alunos.

Como foi apresentado os ciclos de produção de energia das estrelas, era esperado, por este pesquisador, que essas informações aparecessem nas respostas, mas como se pode ver no gráfico 14 acima, não o foi, mesmo o aluno que incialmente respondeu de forma completa (C) a essa questão, não o fez ao término da atividade. A maioria dos alunos indicou de forma simplista a fusão nuclear (F-ND, F-LE).

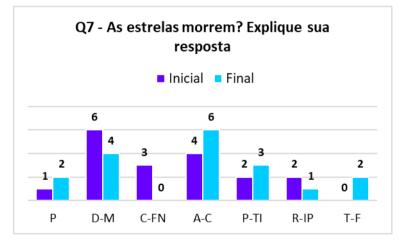


Gráfico 15 – Comparativo das respostas da Q7 do questionário inicial e final

Fonte: Elaborado pelo pesquisador, com base nas respostas dos 18 alunos.

Observando-se o gráfico 15, constatou-se que os alunos entenderam que a estrela morre quando consome todo seu combustível, conforme a sigla A-C; também, nota-se mais respostas assertivas, embora parciais (P), houve melhora de posição dos que entendiam que a morte das estrelas dependia só da massa (D-M). E, ainda, houve a diminuição de resposta incoerente com a pergunta proposta (R-IP).

Nesta questão continua aparecendo respostas transcritas de informações retiradas da *Internet* (P-TI).

Q8 - Qual o motivo dos cientistas usarem gráficos em escala logarítmica?

Inicial Final

9

4 4

0 1 0 1

N-S A-DMG I-C MV-OG R-IP P-TI

Gráfico 16 – Comparativo das respostas da Q8 do questionário inicial e final

Fonte: Elaborado pelo pesquisador, com base nas respostas dos 18 alunos.

Logaritmo é um assunto desenvolvido na disciplina de Matemática desde o nono ano do Ensino Fundamental, e complementado no Ensino Médio; bem como desenvolvido nas disciplinas de Física, Química e Biologia no Ensino Médio.

As respostas dos alunos, de acordo com o gráfico 16, demonstram que este conceito, ainda, não está bem consolidado no conhecimento dos alunos ou não correlacionam e nem vinculam o conhecimento de forma interdisciplinar.

Esta questão, também, apresentou diversas respostas que se basearam em pesquisas ou parte de pesquisas da *internet* (P-TI), e, também respostas sem o cuidado de que apresentassem relação com a pergunta proposta (R-IP).

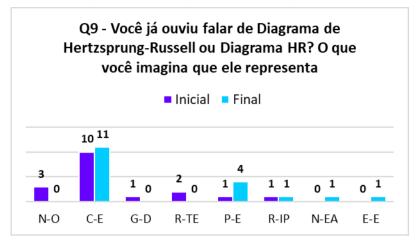


Gráfico 17 – Comparativo das respostas da Q9 do questionário inicial e final

Fonte: Elaborado pelo pesquisador, com base nas respostas dos 18 alunos.

Na última questão, de acordo com o gráfico 17, constatou-se que, desde o início, os alunos já relacionavam, corretamente, o Diagrama HR como sendo um Diagrama de classificação de Estrelas (C-E). Também foram apresentadas respostas relacionando o Diagrama HR com as propriedades das estrelas (P-E), além do aluno que indicou o Diagrama HR como meio de explicar a Evolução Estelar (E-E).

4.11 Discussão dos dados coletados

Após a apresentação da Sequência Didática, as respostas do questionário inicial demonstraram, na devolutiva dos alunos, que a maioria dos conceitos contemplavam a aprendizagem adquirida no Ensino Fundamental; não aparecendo as aprendizagens esperadas, por este pesquisador, e condizentes ao currículo paulista do Ensino Médio (SÃO PAULO, 2020), e desenvolvidas nas primeira e segunda séries do Ensino Médio.

Já na primeira Sequência de Ensino e Aprendizagem foram apresentados conceitos inéditos de Astrofísica, que esperava-se motivar os alunos a relacionar dados da Astronomia e da Física; pois servia de organizador prévio (AUSUBEL, 2003 e MOREIRA, 2016), para relacionar conteúdos e conceitos com atividades e exemplos do material disponibilizado para o aluno. No entanto, as respostas dos alunos nas atividades de fixação de conhecimento foram poucas, como pode ser constatado nas figuras 11,12,13 na subseção 4.4; levando este pesquisador a acreditar que ao se

tratar de atividade de cálculo, mesmo com exemplos, a maioria dos alunos deixou de executar.

A questão: "Como as estrelas nascem e como os cientistas propõem que elas entram na sequência principal do Diagrama HR?", apresentada ao final da sequência de ensino e aprendizagem 1; tinha como finalidade coletar os conhecimentos prévios (AUSUBEL, 2003 e MOREIRA, 2016), pois os alunos já deveriam ter estudado o Sol como uma estrela modelo, no Ensino Fundamental (SÃO PAULO, 2021b), quando obteve-se a devolutiva de 35 alunos, embora tenham sido respostas parciais, demonstrou que os alunos conheciam sobre estrelas e o nascimento delas.

Na Sequência de Ensino e Aprendizagem 2, o procedimento de Sala de Aula Invertida (BACICH e MORAN, 2018; BACICH, TANZI NETO e TREVISANI, 2019), não ocorreu como o esperado por este pesquisador, porque os alunos não acessaram o material disponibilizado antecipadamente. Assim, o debate previsto não ocorreu e, o professor/pesquisador usou a aula síncrona para apresentar o conteúdo - O Papel da gravidade no nascimento, vida e morte da Estrela - conforme elucidado por Ausubel² (2003). Este pesquisador acredita que ao se tratar de temas novos e devido à falta de mais atividades (em todas as disciplinas de estudo) nesse modelo híbrido (BACICH, TANZI NETO e TREVISANI, 2019), os alunos ficam apenas aguardando o professor "passar" o conteúdo.

Ao término da Sequência de Ensino e Aprendizagem 2 repetiu-se a questão "Como as estrelas nascem e como os cientistas propõem que elas entram na sequência principal do Diagrama HR?".

A maioria dos participantes indicou que o material mudou suas concepções. Foi observado que cada pequeno grupo de alunos indicou algo que complementou de forma diferente suas concepções prévias.

Na Sequência de Ensino e Aprendizagem 3 usou-se como metodologia ativa o estudo dirigido; no desenvolvimento da atividade proposta que envolvia a sequência principal do Diagrama HR, a produção de energia e o tempo de vida das estrelas.

² [...] a melhor forma de se ensinarem estudantes desmotivados é ignorar a falta de motivação dos mesmos, nessa altura, e concentrar-se em ensiná-los tão eficazmente quanto possível, em termos cognitivos. (AUSUBEL, 2003, p.199)

Observando as tabelas 17,18,19 e 20 (*in* 4.5) chega-se à conclusão de que a maioria dos alunos se apropriou, parcial ou totalmente, do conhecimento desse conteúdo.

Em seguida à sequência de ensino e aprendizagem 3, foi aplicada uma avaliação pontual para verificar os conhecimentos adquiridos com os conteúdos das sequências 1, 2 e 3.

A minoria dos alunos entregou esta avaliação, mas, os que entregaram, resolveram as questões dissertativas propostas, nem sempre de forma completamente assertiva. Já para as questões que envolviam cálculos, houve respostas incompletas, ou nos itens que abrangiam cálculos matemáticos, ou na ausência de unidades de grandeza. Também, houve casos em que os alunos apresentaram uma resolução, em que o resultado numérico obtido não condizia com a resolução da equação solicitada.

Na quarta Sequência de Ensino e Aprendizagem que abordou o conteúdo referente aos caminhos das estrelas pós-sequência principal, os alunos deveriam elaborar três mapas conceituais (MOREIRA, 1997), cada mapa conceitual deveria relacionar a massa da estrela e sua evolução até sua morte com o elemento remanescente proveniente. Diante da baixa devolutiva obtida e, da entrega de mapas mentais e não de mapas conceituais, conclui-se que é necessário maior difusão do uso de mapas conceituais como recurso de aprendizagem.

Ao ser trabalhada a Sequência de Ensino e Aprendizagem 5 na elaboração do Diagrama HR Geral (AIREY e ERIKSSON, 2019), mesmo sendo alterado o processo de execução, com alunos retirando o material de aula (caderno do aluno "apostila") em conjunto com as atividades impressas desta sequência, houve três devoluções, levando a crer, por este pesquisador que a maioria dos alunos, ao se depararem com o material pedagógico que necessitava de leitura, interpretação, comparação e execução da atividade proposta não se sentiram confortáveis para realiza-la. Os alunos que apresentaram o Diagrama HR, o fizeram de forma incompleta, porém com marcas de compreensão dos princípios do Diagrama HR.

Na finalização da Sequência Didática (sequências de ensino e aprendizagem 1, 2, 3, 4 e 5), após revisão geral do conteúdo, foram aplicados o questionário final com o objetivo de verificar o mecanismo do subsunçor de Ausubel; e também, uma

avaliação pontual final para verificar o quanto o estudo da Astronomia contribuiu para o desenvolvimento da aprendizagem de Física.

Após analisar o resultado do questionário final, constatou-se que os alunos, em suas respostas, apresentaram um posicionamento mais assertivo, demonstrando que houve aprendizado e atualização dos conhecimentos prévios dos alunos.

Já, para a avaliação final, não foi possível realizar uma análise mais aprofundada, uma vez que esta avaliação obteve apenas uma entrega, e, esta não se encontrava legível.

Mesmo diante de todo o material desenvolvido e da metodologia ativa empregada, verificou-se que alguns alunos não se apropriaram da metodologia e do material disponibilizado, pois, ainda, apresentam uma dependência da aula tradicional e do professor em sala de aula.

Em conversa presencial, após o retorno das férias, no 3° bimestre, o aluno 3C ao ser questionado sobre as dificuldades em resolver as atividades propostas na Sequência Didática relatou, "eu não tive muitas aulas de Física no Ensino Médio, na minha outra escola na 1ª série a sala tinha 45 alunos e o professor não sabia lidar direito com isso, então não tive aula direito, já na 2ª série começou a pandemia e as atividades foram complicadas e ninguém fazia direito e também não tínhamos resposta se estava certo, todo mundo passou de ano, aí eu vim pra cá e tinha a sua atividade".

Muito se debate sobre a geração de jovens nativos digitais, o que foi apresentado nessa atividade deveria ser de simples resolução e interação de forma remota, como já haviam trabalhado desta mesma maneira no ano de 2020, sendo orientados e avaliados; mas o que se viu foi: alunos se atrapalhando com o uso da tecnologia digital, pouquíssimas interações, não participação nas aulas remotas, e se recusando a resolver atividades que necessitavam de maior empenho.

O conteúdo de Física e de Astrofísica introduzido de forma remota, que foi o caso desta pesquisa, serviu, também, para indicar o descompasso das atividades do ensino híbrido (CHRISTENSEN, HORN e STAKER, 2013; BACICH, 2020), uma vez que a aplicação foi dada de forma remota, com alunos e professores efetuando contatos, apenas, por meio eletrônico, sem nenhum momento presencial.

Não se pode comparar a aplicação remota com o ensino híbrido, por mais que alguns meios de comunicação assim o façam, com as considerações de Bacich (2020) o assunto fica mais bem elucidado:

De acordo com essa definição, portanto, aulas que acontecem no espaço físico da escola e são transmitidas ao vivo para quem está em casa (modelo HOT) NÃO se incluem na definição de ensino híbrido; aulas que acontecem no modelo remoto, com alunos e professores em suas casas, mesmo que combinando momentos síncronos e assíncronos, NÃO se incluem na definição de ensino híbrido; enriquecer aulas presenciais com um jogo online, ou com a apresentação de um powerpoint NÃO se incluem na definição de ensino híbrido. Esses são alguns exemplos de equívocos que tenho observado... (BACICH, 2020, p.1)

Diante das atividades e dos resultados obtidos, este pesquisador acredita que esta Sequência Didática poderia ter obtido melhores resultados se os alunos tivessem maior contato com o ensino híbrido e com o uso de recursos digitais de aprendizagem. E se os alunos estivessem em um ambiente propício para a aprendizagem, como o disponível na escola, deixando alguns de seus problemas em casa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa propunha a elaboração e posterior aplicação de uma Sequência Didática a respeito do uso da Astronomia como princípio didático para o ensino de Física, e como recurso mediador o Diagrama de Hertzsprung-Russel Geral, levando em consideração conhecimentos prévios dos educandos desde o Ensino Fundamental até a presente situação (terceiras séries do ensino médio). O objetivo educacional era verificar se o uso da Astronomia favoreceria o aprendizado da Física. Também havia interesse sobre o entendimento de como ocorre o processo de assimilação do conhecimento, pelo mecanismo do subsunçor de Ausubel.

Após o desenvolvimento e aplicação de cinco Sequências de Ensino e Aprendizagem e, com o uso da técnica de análise de conteúdo de Bardin, na análise qualitativa e quantitativa dos dados obtidos, pôde-se, então, averiguar a efetividade da aprendizagem no uso das habilidades de Física propostas no Ensino Médio, e reconhecimento dos mecanismos cognitivos dos alunos.

Inicialmente, a Sequência Didática seria aplicada em sala de aula, presencial, pois, foi desenvolvida para ser aplicada como tal; contudo, devido à situação de pandemia a Sequência Didática passou por adaptações. As atividades foram desenvolvidas usando metodologias ativas, como: sala de aula invertida, estudo dirigido, mapas conceituais, debates, plantões de dúvidas, e acompanhamento em tempo real, durante as atividades propostas, tendo como plataforma de acesso *Google Classroom*, e interações via *Google Meet*.

A primeira questão norteadora para a ponderação de análise substancial da evolução de conhecimentos foi "Como as estrelas nascem e como os cientistas propõem que elas entram na sequência principal do Diagrama HR?". Questão apresentada em dois momentos, para verificar se o conhecimento prévio teria sido ou não complementado após apresentada uma das sequências, o que foi constatado que, sim, houve complementação na segunda aplicação. Esse foi um primeiro avanço na comprovação do processo de assimilação de conhecimento.

Para atingir a compreensão do Diagrama HR, envolveu-se assuntos sobre gravitação, equilíbrio hidrostático, radiação e espectro eletromagnético, fusão nuclear que são conceitos abordados na disciplina de Física. Esses assuntos foram

abordados em diversas sequências de ensino e aprendizagem e trouxeram, como respostas avaliativas, informações que complementaram os conhecimentos prévios e, demonstraram uma evolução da aprendizagem de Física por meio da Astronomia.

Tomando como ponto de partida a retomada do conhecimento desenvolvido em toda Sequência Didática, foi proposta a elaboração do Diagrama HR, utilizandose uma tabela com dados de estrelas. Essa atividade exigia o conhecimento sobre: elaboração de gráficos, ordem de grandeza e posteriormente, uma análise do gráfico elaborado; momento em que precisariam envolver conhecimentos prévios, interdisciplinares. Nem todos os alunos conseguiram executar a tarefa por completo. Contudo as respostas traziam evidências de compreensão dos conceitos de Astronomia apresentados e conseguiram utilizar o recurso mediador.

O compromisso, a dedicação e o esforço para com o ensino e a aprendizagem poderiam ter sido melhores, se durante a pandemia, já que não era necessário se deslocar até a escola; (poderiam estudar no conforto de sua residência, fazendo as atividades assincronamente), se o uso das diferentes metodologias como: sala de aula invertida, estudo dirigido, mapas conceituais, debates, plantões de dúvidas, e acompanhamento em tempo real, já, tivessem sido apropriados pelos alunos. Com essa apropriação, o desenvolvimento do indivíduo, de maneira global, sem lacunas de aprendizagem, seria mais abrangente e constante. O estudante poderia tornar-se um cidadão pleno, argumentador e consciente de suas atribuições na sociedade.

Uma outra metodologia aplicada foi o "Mapa Conceitual", que demonstrou que os alunos do Ensino Médio, de escolas estaduais não costumam elaborar mapas conceituais durante o percurso educacional, método este que, também, necessita de aprendizagem e treino. Os alunos confundiram "Mapa Conceitual" com "Mapa Mental", e fizeram este último com destaques corretos sobre o assunto estudado.

Dentre as respostas recebidas, das atividades propostas; uma situação se destacou de forma negativa: as atividades que envolviam cálculos foram as de menos respostas entregues, entretanto, os alunos que o fizeram demonstraram ter adquirido o conhecimento proposto pela Sequência Didática.

Assim, ao aprofundar-se na análise dos dados apresentados na pesquisa podese afirmar que a aprendizagem de Física foi facilitada pelo uso da Astronomia, uma vez que a maioria dos participantes indicou que o material mudou suas concepções. Foi observado que cada pequeno grupo de alunos indicou algo que complementou, de forma diferente, suas concepções prévias.

Diante do desenvolvimento das atividades propostas, e as respostas obtidas dos alunos, participantes desta pesquisa; há de se reconhecer que os alunos se superaram ao desenvolver um conteúdo inédito, abrangente e complexo como o Diagrama HR ao longo da situação de pandemia e suas aspirações pessoais.

A Sequência Didática apresenta acentuado potencial para ser aplicada no ensino Médio como se pôde ver com alguns fragmentos de atividades e respostas dadas e tabuladas nos gráficos e tabelas apresentados ao longo das desta dissertação.

Poderá, inclusive, ser desenvolvida por metodologia híbrida, conforme já pensada no início do projeto, considerando que há necessidade da interação dos alunos ao longo de toda Sequência Didática para que o professor possa verificar nas atividades dos alunos evidências tanto da aprendizagem quanto do mecanismo de internalização do conhecimento como subsunçor.

Não obstante, é fato também ao analisar e verificar a quantidade de alunos participantes, desde a primeira atividade à última proposta, que se foi "perdendo" participantes pelo "caminho". Um dos motivos relatados pelos alunos sobre esta redução de entrega das atividades, foi o alto número de atividades ou avaliações que tiveram; tanto dos professores, quanto da própria Secretaria de Educação, o que acabou por desmotivá-los à participação constante e consequente, execução das atividades propostas para a pesquisa.

Os alunos envolvidos na pesquisa, tiveram obrigações para com a pesquisa e a disciplinas, não só de Física, mas todas as outras envolvidas em sua formação; com o Sistema de Ensino do Estado de São Paulo com diversas avaliações externas como: ADE de Língua Portuguesa e de Matemática com 26 questões por disciplina sendo aplicada no início do bimestre, a cada 15 dias uma sequência digital de Língua Portuguesa e uma de Matemática composta de 25 questões cada, e ao término do bimestre uma AAP de Língua Portuguesa, de Matemática, de Ciências da Natureza e de Ciências Humanas, cada uma composta de 26 questões, além das atividades do

CMSP que proporcionava três aulas por dia da semana com atividades que contavam como frequência para os alunos (média de 120 atividades por mês), isto além das que os professores propunham no *Classroom* para cada uma das disciplinas, 15 para o diurno e 11 para o noturno e não se pode esquecer das aulas remotas pelo *Google Meet*.

Além destes compromissos, também pesam a necessidade de responder todas as atividades do Centro de Mídias, que exige a entrega das resposta (sempre em múltipla escolha) cujas respostas são levadas em consideração como respondidas, mas não corrigidas e avaliadas, o que leva à aprovação dos alunos em massa, conforme se segue: "Resolução da Secretaria da Educação do Estado de São Paulo - SEDUC 82 de 10-11-2020" (SÃO PAULO,2020) . Nesta resolução determina que devido a situação de pandemia os anos letivos de 2020 e 2021 foram considerados como um único ciclo contínuo, em regime de progressão continuada, os alunos matriculados nas primeiras e segundas séries do Ensino Médio em 2020 deveriam ser matriculados na série seguinte em 2021.

Artigo 1º - Excepcionalmente devido à pandemia de Covid-19, na rede estadual, os anos letivos de 2020 e 2021 serão considerados como um único ciclo contínuo, compreendido como o conjunto dos oito bimestres letivos correspondentes.

§1º - Os estudantes de todos os anos do ensino fundamental e da 1ª e 2ª séries do ensino médio devem ser matriculados no ano/série subsequente em 2021 em regime de progressão continuada. (SEDUC 82 de 10-11-2020)

Assim, com base nessa resolução alguns alunos foram aprovados sem a necessidade de resolverem todas as atividades previstas, ou resolvendo apenas algumas atividades e por meio do aplicativo do Centro de Mídias; conforme relatado por alguns alunos durante o retorno parcial das aulas.

Excetuando, esses percalços, a aplicação dessa Sequência Didática na sua totalidade, ou em partes, em novas situações poderão trazer benefícios para a aprendizagem, vinculando o conhecimento do Ensino Fundamental com o do Ensino Médio, além de sugestionar os alunos com a forma com que os cientistas e astrônomos conseguem obter suas informações através da radiação recebida, vinculando a Física, a Astronomia, a Matemática, a Biologia, a Química para além da escola.

A aplicação dessa Sequência Didática poderá, no futuro, ser aplicada também, na trilha de itinerário formativo no Novo Ensino Médio³ que, já, estava em implantação (início 2021, nas primeiras séries) complementando informações e sendo um ponto de partida para o estudo do Universo, sua relação com a humanidade e os avanços apresentados pela mídia no desenvolvimento aeroespacial.

Por fim, esta dissertação demonstrou que, mesmo em meio a uma pandemia, e, utilizando-se de aulas remotas, metodologias ativas, os alunos da rede estadual de ensino, sem conhecimentos de aulas híbridas e, sem muitos conhecimentos prévios, utilizando-se da proposição de Ausubel⁴ (2003) é possível mobilizar conhecimentos. Pois com base, na análise geral, indicar que houve melhorias e caminhos para o desenvolvimento de alunos, tornando-os autônomos, corresponsáveis e engajados com suas aprendizagens.

_

³ Novo Ensino Médio é um modelo de aprendizagem por áreas de conhecimento que permitirá ao jovem optar por uma formação técnica e profissionalizante.

⁴ [...] a melhor forma de se ensinarem estudantes desmotivados é ignorar a falta de motivação dos mesmos, nessa altura, e concentrar-se em ensiná-los tão eficazmente quanto possível, em termos cognitivos. (AUSUBEL, 2003, p.199)

REFERÊNCIAS

AIREY, John, ERIKSSON, Urban. **Unpacking the Hertzsprung-Russell Diagram: A Social Semiotic Analysis of the Disciplinary and Pedagogical Affordances of a Central Resource in Astronomy**. Designs for Learning, 11(1), 99–107. 2019. DOI: https://doi.org/10.16993/dfl.137, acessado em jul. 2020.

ANDRADE, Maria do Carmo Ferreira de, SOUZA, Pricila Rodrigues de. **Modelo de rotação do ensino híbrido:** Estações de trabalho e sala de aula invertida. E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial, Florianópolis, v.9, n.1, 2016. Disponível em: http://177.221.49.41/index.php/edicao01/article/view/773, acessado em ago. 2020.

AUSUBEL, David P. **Aquisição e retenção de conhecimentos**: Uma perspectiva cognitiva. Trad. Lígia Teopisto. Plátano Editora. 2003.

BACICH, Lilian. **Ensino híbrido:** esclarecendo o conceito. Inovação na educação. São Paulo, 13 de setembro de 2020. Disponível em: https://lilianbacich.com/2020/09/13/ensino-hibrido-esclarecendo-o-conceito/, acessado em set. 2021.

BACICH, Lilian; TANZI NETO, Adolfo; TREVISANI, Fernando de Mello. (org.). **Ensino Híbrido:** personalização e tecnologia na educação. 2019 reimpressão. Porto Alegre: Penso, 2015. 270p.

BACICH, Lilian; MORAN, José. (org.). **Metodologias ativas para uma educação inovadora:** uma abordagem teórico-prática. Porto Alegre: Penso, 2018. 238p.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. Tradução Luís Antero Reto, Augusto Pinheiro. São Paulo. Editora Edições 70. 2011.

BELONI, Anderson André Pereira. **Uma abordagem de conceitos de Física e Astronomia a partir do diagrama HR**. Dissertação de Mestrado. Orientador: Adellane Araújo Sousa. Universidade Federal do Mato Grosso. Barra do Garças. 2016.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular (BNCC)**. Brasília: MEC. 2017. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=85121-bncc-ensino-medio&category_slug=abril-2018-pdf&Itemid=30192. Acessado em 20 abr. 2019.

CALADO, Filipe Duarte, OLIVEIRA, Humberto Luz. **O diagrama HR com ideiaâncora para a organização prévia no ensino de Astronomia e Física**. Anais do XXI Símpósio Nacional de Ensino de Física. 2015.

CHRISTENSEN, Clayton M., HORN, Michael B., STAKER, Heather. Traduzido por Fundação Lemann e Instituto Península. **Ensino híbrido:** uma inovação disruptiva? Uma introdução à teoria dos híbridos. Instituto Clayton Christensen. Maio 2013. Disponível em:https://porvir.org/wp-content/uploads/2014/08/PT_ls-K-12-blended-learning-disruptive-Final.pdf, acessado em set. 2020.

CLARK, David H., CLARK, Matthew D. H. **Measuring the cosmos:** how scientists discovered the dimensions of the Universe. Reino Unido: Rutgers University Press. 2004. p.93.

COLANTONIO, Arturo, GALANO, Silvia, LECCIA, Silvio, PUDU, Emanuella, TESTA, Italo. **Design and development of a learning progression about stellar structure and evolution**. Physical review physics education research, 14, 010143, 23p. 2018.

CRESWELL, John W. **Projeto de pesquisa**: métodos qualitativo, quantitativo e misto. Tradução Luciana de Oliveira da Rocha. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007. 248 p. ISBN 978-85-363-0892-0

DEMO, Pedro. **Educação, Avaliação Qualitativa e Inovação – I**. Brasília: Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira, 2012. 28 p.: in: Série Documental. Textos para Discussão n. 36, ISSN 1414-064.

GIRARDI, Maurício. **Construção do diagrama HR através do Stellarium:** Uma proposta para explorar conceitos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. Dissertação de Mestrado. Orientador: Daniela Borges Pavani; Alan Alves Brito. Universidade Federal do Rio Grande. Porto Alegre. 2017.

HORVATH, Jorge E. **As estrelas na sala de aula**: uma abordagem para o ensino da Astronomia estelar. São Paulo. Editora Livraria da Física. 2019.

IACHEL, Gustavo. **O conhecimento prévio de alunos do Ensino Médio sobre as estrelas**. Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia, São Carlos (SP), n. 12, p. 7–29, 2011. DOI: 10.37156/RELEA/2011.12.007. Disponível em: https://www.relea. ufscar.br/index.php/relea/article/view/161, acessado em mai. 2021.

KNEUBIL, Fabiana B., PIETROCOLA, Maurício. **A pesquisa baseada em design**: Visão geral e contribuições para o ensino de ciências. Investigações em ensino de ciências vol. 22 (2). Ago. 2017. p. 01-16. DOI:10.22600/1518-8795.lenci2017v22n2p 01.

LIJNSE, Piet; KLAASSEN, Kees. **Didactical structures as na outcome of research on teaching-learning sequences?**. p. 157-174. In.: Designing Theory-Based Teaching-Learning Sequences for Science Education; Proceedings of the symposium in honour of Piet Lijnse at the time of his retirement as professor of Physics Didactics at Utrecht University – Utrecht: CDBeta Press – Freudenthal Institute for science and mathematics education (Flsme), Utrecht University – Flsme series on Research in Science Education; nr. 64; 2010.

LUCKESI, Cipriano C. **O que é mesmo o ato de avaliar a aprendizagem?**. Pátio. Porto Alegre: Artmed. Ano 3, n. 12 fev./abr. 2000. Disponível em: https://www.nescon.medicina.ufmg.br/biblioteca/imagem/2511.pdf, acessado em jul. 2020.

MARTINS, Lilian Bacich, NETO, Adolfo Tanzi. A formação e a prática docente com o uso das tecnologias digitais: uma proposta de ensino híbrido. IV Seminário Web Currículo e XII Encontro de Pesquisadores em Currículo, Contexto, Aprendizado e Conhecimento. PUC-SP, São Paulo, 2015. Disponível em: https://www.brie.org/pub/index.php/wie/article/view/6875/4753, acessado em set. 2020.

MOREIRA, Marco A. **O que é afinal aprendizagem significativa?** Porto Alegre. 2010. Disponível em: http://moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf.

MOREIRA, Marco A. **Subsídios teóricos para o professor pesquisador**: A teoria da aprendizagem Significativa. Porto Alegre. Brasil. 2ª edição revisada. 2016. Disponível em: http://moreira.if.ufrgs.br/Subsidios6.pdf.

MOREIRA, Marco A. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. Instituto de Física. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 1997. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf, acessado em jun. 2020.

MOTOKANE, Marcelo T. **Sequências didáticas investigativas e argumentação no ensino de ecologia**. Revista Ensaio v.17. Belo Horizonte 2015. (p. 115-137).

RECCO, Josiane Trevisol, BRUNELLI, Sarita de Cassia Hugen, DE SÁ, Thiago Almeida, OLIVEIRA, Humberto Luz. **Oficina de Astronomia envolvendo a aprendizagem ativa e a interação dos alunos na construção do saber sobre o diagrama HR**. Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Araranguá, Brasil. ScientiaTec v. 3 n. 2 (2016). (p. 53-70).

SÃO PAULO (Estado). Secretaria da Educação. **Habilidades essenciais**: Física, Ensino Médio, 2021a. Disponível em: https://efape.educacao.sp.gov.br/curriculo paulista/wp-content/uploads/download/habilidades-essenciais-ensino%20medio%20 2 021/Habilidades%20Essenciais%20de%20F%C3%ADsica%20-%20EM%2020 21 . pdf, acessado em mai. 2021.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria da Educação. **Habilidades essenciais**: Ciências, Anos Finais, 2021b. Disponível em: https://efape.educacao.sp.gov.br/ currículo paulista/wp-content/uploads/download/habilidades-essenciais-anos-finais% 202021 / Habilidades%20essenciais%20_%20Anos%20Finais_Ci%C3%AAncias%20202.pdf, acessado em jun. 2021.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Educação. **Aprender Sempre - Física**. 3ª Série – Volume 1. São Paulo. 2021c. Disponível em: https://efape.educacao.sp.gov.br/curriculopaulista/ensino-medio/aprender-sempre-em, acessado em mai. 2021.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Educação. Resolução SEDUC nº 82 de 10 de novembro de 2020. Dispõe sobre os critérios de aprovação e retenção no ano letivo de 2020 na rede estadual de ensino. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**. São Paulo, v.130, n. 222, p.19, 10 nov. 2020. Disponível em: https://www.imprensaoficial.com.br/Certificacao/Certificador.aspx?caderno=Executivo%20I&link=/2020/executivo%20secao%20i/novembro/11/pag_0019_dcf20518cefdb6d4a3f13462 dfd690fe.pdf, acessado em jan. 2022.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Educação. **Avaliação de Aprendizagem em Processo**. Disponível em: https://www.educacao.sp.gov.br/avaliacao-aprendizagem, acessado em jun. 2020.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Educação. **Currículo Paulista**: Etapa do Ensino Médio. 2020. Disponível em: https://efape.educacao.sp.gov.br/curriculopaulista, acessado em abr. 2021.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Educação. **IDESP**. Disponível em: https://www.educacao.sp.gov.br/idesp, acessado em jun. 2020.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Educação. **Sumário executivo SARESP 2019**. Disponível em: http://saresp.fde.sp.gov.br/Arquivos/SEED1903_sumario2019finalv2.pdf, acessado em jun. 2020.

SÃO PAULO, Governo do Estado de. **IDESP 2019**. Disponível em: http://idesp.edunet.sp.gov.br/2019/Default.aspx, acessado em jun. 2020.

SOARES, Nedir; GURIDI, Verónica Marcela. **Uma sequência didática para o ensino de Astronomia na teoria da aprendizagem significativa**. Il Simpósio Nacional de Educação em Astronomia – Il SNEA 2012. São Paulo, SP. p.714-721.

VIIRI, Jouni; SAVINAINEN, Antti. **Teaching-learning sequences:** A comparison of learning demand analysis and educational reconstruction. Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 2, N° 2, May 2008.

VIEIRA, Mônica Bandecchi da Fonseca. **Astrofísica Estelar para o Ensino Médio**: análise de uma proposta. São Paulo-SP, Universidade de São Paulo, USP, 2018. 86p. Dissertação de Mestrado. Orientador: Jorge Ernesto Horvath. Disponível em: http://www.iag.usp.br/pos/sites/default/files/d_monica_b_f_vieira_corrigida.pdf, acessado em mai. 2020.

ZABALLA, Antoni. **A prática educativa:** como ensinar. Trad. Ernani F. da F. Rosa. ArtMed. Porto Alegre. 1998.

ANEXOS

ANEXO A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Eu compreendo os direitos dos participantes da pesquisa intitulada *Diagrama de Hertzsprung-Russel como ferramenta de ensino de física: proposta de uma sequência didática*, orientada por Prof. Dr. Jorge Ernesto Horvath, e que tem como pesquisador/a responsável Prof. Jeferson Fábio Fornazari, o/a aluno/a do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas - IAG da Universidade de São Paulo, na modalidade de Mestrado Profissional em Ensino de Astronomia, os/as quais podem ser contatados/as pelo e-mail jefersonformazari@usp.br, foton@iag.usp.br ou telefone (19) 99475-6931. Na qualidade de responsável por esta instituição, autorizo a participação da EE Dr. Heitor Penteado por meio de estudantes do Ensino Médio. Compreendo como e porque esse estudo está sendo realizado. Os responsáveis pela pesquisa garantem o sigilo, assegurando a privacidade dos sujeitos quanto aos dados envolvidos na pesquisa. Receberei uma cópia assinada deste formulário de consentimento.

Americana, Of de Levereiro de 2021.

Júlio César dos Santos Diretor de Escola

Descrição Resumida da Pesquisa

Nome da Pesquisa: Diagrama de Hertzsprung-Russel como ferramenta de ensino de física: proposta de uma sequência didática.

Pesquisador Responsável: Jeferson Fábio Fornazari R.G.: 25.152.726-8

Telefone: (19) 99475-6931(whatsapp) e-mail: jefersonfornazari@prof.educacao.sp.gov.br Instituição da Pesquisa: Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG -

USP) - Butantã - São Paulo - SP

Orientador: Prof. Dr. Jorge Ernesto Horvath e-mail: foton@iag.usp.br

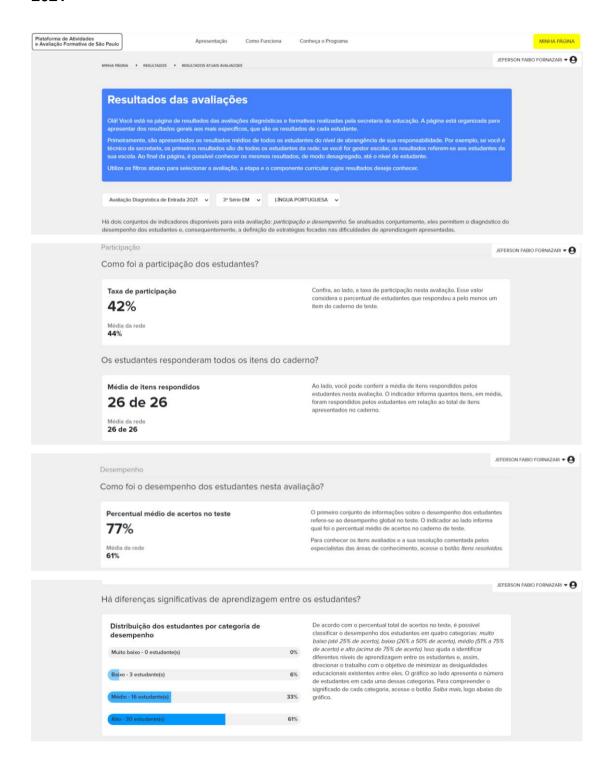
Objetivos: Quantificar se o uso da astronomia melhora a aprendizagem da física; Compreender como o estudante relaciona os conteúdos da aula no desenvolvimento de sua aprendizagem.

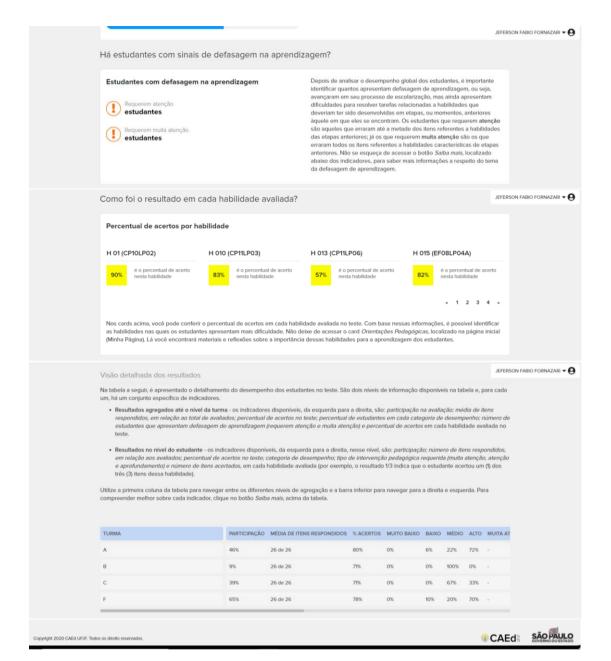
Procedimentos do Estudo: Se você concordar em participar do estudo, pediremos a você para participar de aulas e atividades pelo Google Classroom com algumas interações pelo Google Meet, resolver atividades de cálculos e questionários por meio de formulários do Google, que tem como tema principal *O Diagrama de Hertzsprung-Russell* (classificação de estrelas), tendo seu objetivo principal desenvolver a aprendizagem da física por meio da astronomia.

Riscos e Desconfortos: Os únicos riscos envolvidos neste estudo envolvem a dedicação na participação e leitura do material apresentado, resolução de equações e debates dos temas apresentados, alguns temas propostos poderem gerar dúvidas.

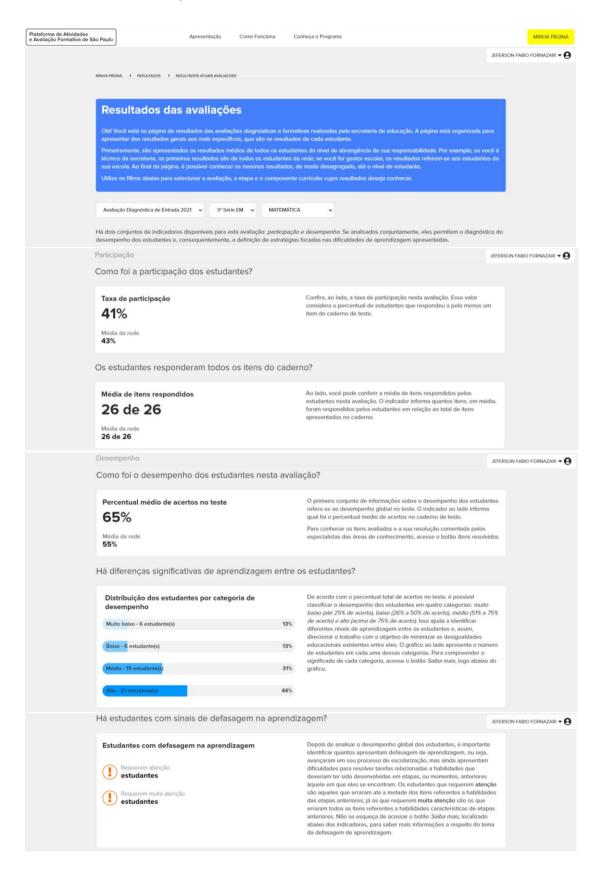
Os/as responsáveis pela pesquisa garantem o sigilo, assegurando a privacidade dos sujeitos quanto aos dados envolvidos na pesquisa.

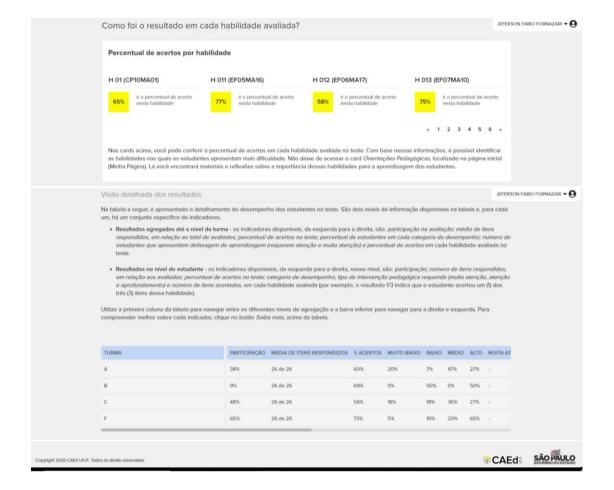
ANEXO B – AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA DE ENTRADA – LÍNGUA PORTUGUESA



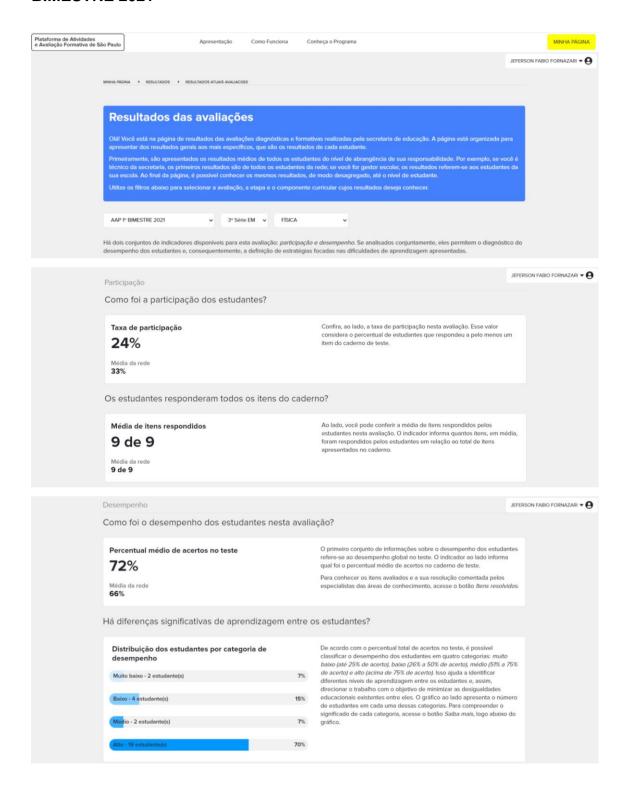


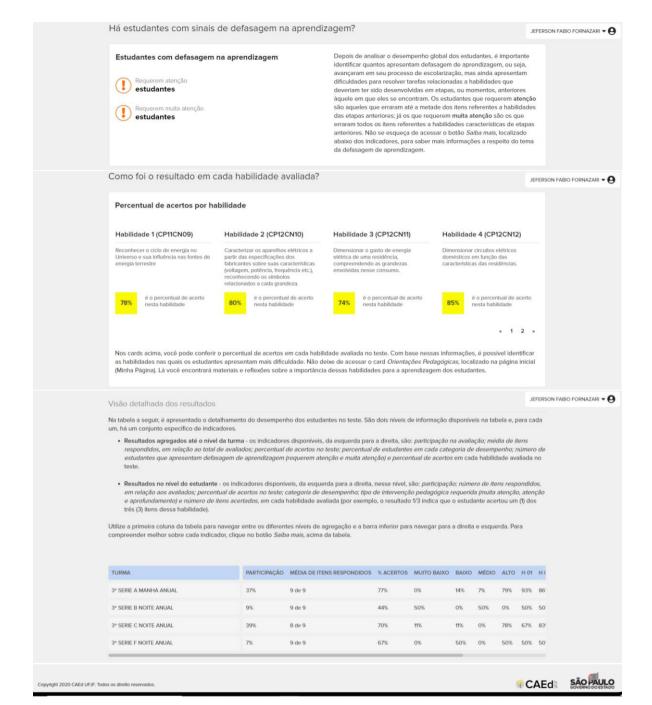
ANEXO C - AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA DE ENTRADA - MATEMÁTICA 2021



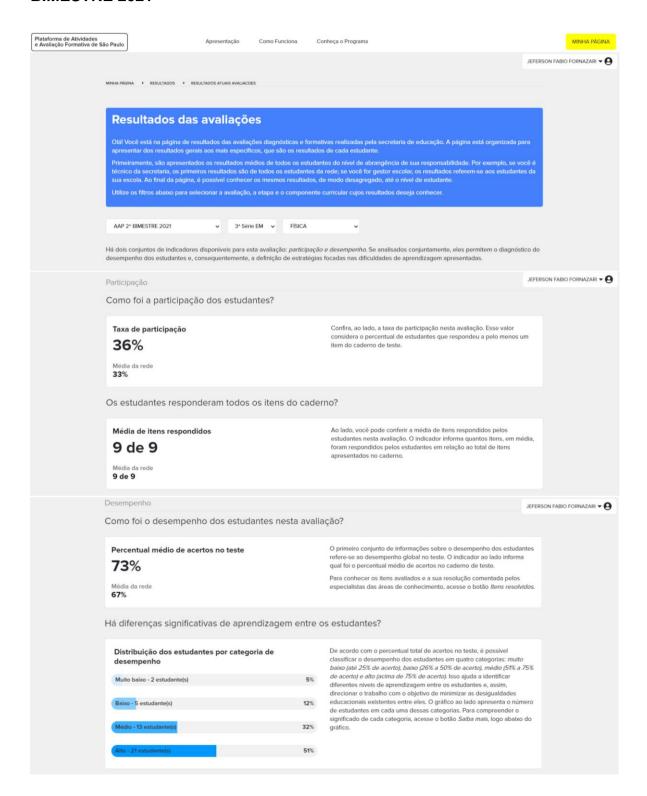


ANEXO D - AVALIAÇÃO DE APRENDIZAGEM EM PROCESSO - FÍSICA 1° BIMESTRE 2021





ANEXO E - AVALIAÇÃO DE APRENDIZAGEM EM PROCESSO - FÍSICA 2° BIMESTRE 2021





Habilidade 1 (CP12CN09) Habilidade 2 (CP12CN23) Habilidade 3 (CP12CN24) Habilidade 4 (CP12CN25) Explicar o funcionamento de motores e geradores elétricos e seus componentes e os correspondentes fenômenos e interações eletromagnéticos; « 1 2 » Nos cards acima, você pode conferir o percentual de acertos em cada habilidade avaliada no teste. Com base nessas informações, é possível identificar as habilidades nas quais os estudantes apresentam mais dificuídade. Não deixe de acessar o card Orientações Pedagógicas, localizado na página inicial

(Minha Página). Lá você encontrará materiais e reflexões sobre a importância dessas habilidades para a aprendizagem dos estudantes.

Visão detalhada dos resultados

JEFERSON FABIO FORNAZARI ▼ 😝

Na tabela a seguir, é apresentado o detalhamento do desempenho dos estudantes no teste. São dois níveis de informação disponíveis na tabela e, para cada um, há um conjunto específico de indicadores.

- Resultados agregados até o nível da turma os indicadores disponíveis, da esquerda para a direita, são; participação na avallação; média de itens
 respondidos, em relação ao total de avaliados; percentual de acertos no teste; percentual de estudantes em cada categoria de desempenho; número de
 estudantes que apresentam defasagem de aprendizagem (requerem atenção e muita atenção) e percentual de acertos em cada habilidade avaliada no
- Resultados no nível do estudante os indicadores disponíveis, da esquerda para a direita, nesse nível, são: participação: número de itens respondidos, em relação aos avaliados; percentual de acertos no teste; categoria de desempenho; tipo de intervenção pedagógica requerida (multa atenção, atenção e aprofundamento) e número de itens acertados, em cada habilidade avaliada (por exemplo, o resultado 1/3 indica que o estudante acertou um (1) dos três (3) itens dessa habilidade).

Utilize a primeira coluna da tabela para navegar entre os diferentes níveis de agregação e a barra inferior para navegar para a direita e esquerda. Para compreender melhor sobre cada indicador, clique no botão Salba mais, acima da tabela.

TURMA	PARTICIPAÇÃO	MÉDIA DE ITENS RESPONDIDOS	% ACERTOS	MUITO BAIXO	BAIXO	MÉDIO	ALTO	ATENÇÃO
A	41%	9 de 9	76%	7%	7%	27%	60%	8
В	14%	9 de 9	70%	0%	0%	67%	33%	2
С	33%	9 de 9	65%	13%	25%	25%	38%	
F	47%	9 de 9	74%	0%	13%	33%	53%	2





APÊNDICES

APÊNDICE A - PRODUTO EDUCACIONAL PARA O PROFESSOR

Produto Educacional

O Diagrama de Hertzsprung-Russel como recurso didático no Ensino Médio

Jeferson Fábio Fornazari

ÍNDICE

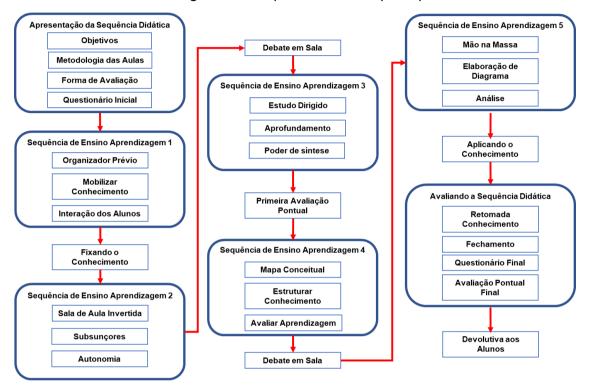
MATERIAL DO PROFESSOR – ORIENTAÇÕES E ATIVIDADES	130
APRESENTAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	131
QUESTIONÁRIO INICIAL - ALUNOS	
SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM 1	134
TÓPICOS ABORDADOS NA APRESENTAÇÃO DO DIAGRAMA HERTZSPRUNG- RUSSELL (HR)REFERÊNCIAS PARA ESTUDOAPRESENTAÇÃO UTILIZADA NA ATIVIDADE 1 COM OS ALUNOSATIVIDADE DE FIXAÇÃO DE CONHECIMENTO	135 135 136
SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM 2	141
REFERÊNCIAS PARA ESTUDO	
ATIVIDADE 2 – O PAPEL DA GRAVIDADE	144
MEIO INTERESTELAR POEIRA INTERESTELAR GÁS INTERESTELAR NUVENS MOLECULARES PROTOESTRELAS ESTRELAS – ESTÁGIOS DE FORMAÇÃO PROCESSO DE FUSÃO DO HIDROGÊNIO EM HÉLIO REFERÊNCIAS PARA ESTUDO	144 145 145 146 148 150
SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM 3	154
PRIMEIRA AVALIAÇÃO PONTUALREFERÊNCIAS PARA ESTUDO	
ATIVIDADE 3 – A SEQUÊNCIA PRINCIPAL	156
ESTUDO DA SEQUÊNCIA PRINCIPAL CONSUMO DE ENERGIA X TEMPO DE VIDA. LUMINOSIDADE X RAIO	158 160 163 164
SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM 4	166
REFERÊNCIAS PARA ESTUDO	167
ATIVIDADE 4 – CAMINHOS PÓS-SEQUÊNCIA PRINCIPAL	168
REFERÊNCIAS PARA ESTUDO MATERIAL PARA 1° MAPA CONCEITUAL – ESTRELAS DE BAIXA MASSA 0,25M☉ ≤ 2,5M☉) ≤ M 169
MATERIAL PARA O 2° MAPA CONCEITUAL – ESTRELAS DE MASSA INTERMEDI 2,5M0 < M ≤ 8M0	
MATERIAL PARA O 3° MAPA CONCEITUAL – ESTRELAS DE ALTA MASSA M > 10	ОМО

SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM 5	183
LISTA DE ESTRELAS E DADOS PARA ELABORAÇÃO DE UM DIAGRAMA I	
	184
AVALIAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	187
QUESTIONÁRIO FINAL - ALUNOS	187
REFERÊNCIAS PARA ESTUDO	188
AVALIAÇÃO PONTUAL FINAL – DIAGRAMA HR	189
GABARITOS	190
QUESTIONÁRIO INICIAL	190
GABARITO ATIVIDADE DE FIXAÇÃO DE CONHECIMENTO	190
GABARITO ATIVIDADE DE ESTUDO DIRIGIDO	
GABARITO PRIMEIRA AVALIAÇÃO PONTUAL	191
GABARITO AVALIAÇÃO PONTUAL FINAL	191
GABARITO DA TABÉLA PARA DIAGRAMA HR	
DIAGRAMA HR GERAL	193
QUESTIONÁRIO FINAL	193
APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO INICIAL	
APÊNDICE C – ATIVIDADE DE ELABORAÇÃO DO DIAGRAMA HR	195
APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO FINAL	198

MATERIAL DO PROFESSOR - ORIENTAÇÕES E ATIVIDADES

Professor, estes materiais e orientações fazem parte da Sequência Didática, elaborada com objetivo educacional de verificar se o uso da Astronomia favorece o aprendizado da Física, além de possibilitar a compreensão do processo de assimilação do conhecimento dos alunos, por meio do mecanismo conhecido como subsunçor proposto por Ausubel.

Abaixo uma visão geral da sequência e suas principais atividades.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Há indicações de interações e de metodologias que farão parte do desenvolvimento, centrando a aprendizagem no aluno, tornando-o mais participativo. Professor, você irá mediar a aprendizagem e acompanhar o desenvolvimento, anotando as participações, questionando os alunos e propiciando um clima agradável para a troca de informações, lembre-se de deixar seus alunos falarem, não questione e responda você mesmo.

APRESENTAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A primeira atividade a ser desenvolvida é a apresentação da Sequência Didática, isto é muito importante para os alunos e participantes, deixando claro o que será feito e como será trabalhado ao longo das etapas.

Apresentação da Sequência Didática					
Público Alvo	Alunos da 3ª Série do Ensino Médio.				
Título	Diagrama de Hertzsprung-Russell como recurso didático no Ensino Médio.				
Objetivo Geral	Desenvolver a aprendizagem da Física por meio da Astronomia.				
Objetivos Específicos	Quantificar se o uso da Astronomia melhora a aprendizagem da Física; Compreender como o estudante relaciona os conteúdos da aula no desenvolvimento de sua aprendizagem.				
Avaliação	Qualitativa por meio dos questionários inicial, final e questões propostas no decorrer das sequências de ensino aprendizagem; Quantitativa com duas avaliações pontuais, sendo uma após a atividade 3 e outra após o término da atividade.				
OBS	A aprendizagem da Física poderá ser verificada por meio dos conceitos envolvidos na compreensão e elaboração do Diagrama HR Geral, desenvolvendo o uso de Astronomia por meio de ferramentas da Física e da Matemática no processo.				
Duração da Sequência Didática	09 encontros perfazendo um total de 18 aulas de 45 minutos cada.				

Professor, este conteúdo mobiliza conhecimentos prévios dos alunos que foram obtidos nos anos do Ensino Fundamental, além de conteúdos já trabalhados no Ensino Médio, como evolução das estrelas, estudo do Sol, radiações e espectro de luz.

Para aplicação desta sequência em alunos da 2ª série do Ensino Médio é indicado que seja feita no 4° bimestre, pois os alunos já tiveram contato com a propagação da luz, o estudo das ondas e espectro eletromagnético, facilitando a compreensão e análise do material.

Para aplicação na 3ª série do Ensino Médio o professor poderá aprofundar mais o assunto se o fizer mais no final do 3° bimestre ou no 4° bimestre, uma vez que os alunos têm contato com temas de Física moderna a partir do 3° bimestre, facilitando a compreensão e o debate no andamento das atividades.

Na aplicação do questionário inicial, as questões precisam ser respondidas de forma completa pelos alunos, é importante que os questione sobre as respostas parciais ou com respostas apenas de sim ou não, deverá ser solicitado que os alunos expliquem suas respostas ou observações.

Neste ponto o objetivo é fazer transparecer os aprendizados anteriores, ou seja, os conhecimentos prévios, desde o Ensino Fundamental ou mesmo de conhecimentos adquiridos ao longo de cursos, documentários, palestras, estudos independentes, também poderá ser verificado nas respostas, incoerências, conceitos errôneos, e desconhecimentos, que deverão ser sanados ou modificados ao longo do processo.

Por favor, leia anteriormente toda a Sequência Didática antes de efetuar a aplicação em aula, há indicações ao término das atividades para saber mais, lembre-se de avisar os alunos sobre esta possibilidade e de acessar este material também, alguns alunos poderão lhe questionar sobre os materiais acessados.

Há indicação de bibliografia complementar para estudo dos professores também, não deixe de acessar, ajuda sua compreensão e torna a aplicação mais facilitada.

QUESTIONÁRIO INICIAL - ALUNOS

- 1) Como você explicaria para alguém o que é uma estrela?
- 2) Como uma estrela se forma (nasce)?
- 3) De que forma a gravidade auxilia na formação, vida e morte de uma estrela? Explique sua resposta.
- 4) Todas as estrelas são iguais? Explique sua resposta.
- 5) O que você sabe sobre evolução das estrelas? Explique sua resposta.
- 6) Como você descreve a forma que as estrelas produzem sua energia?
- 7) As estrelas morrem? Explique sua resposta.
- 8) Qual o motivo dos cientistas usarem gráficos em escala logarítmica?
- 9) Você já ouviu falar de Diagrama de Hertzsprung-Russell ou Diagrama HR? O que você imagina que ele representa?

REFERÊNCIAS PARA ESTUDO

PICAZZIO, Enos. Org. **O céu que nos envolve**. Odysseus Editora Ltda. 2011. Disponível em: https://www.iag.usp.br/Astronomia/livros-e-apostilas, acessado em set/2020.

FRIAÇA, Amâncio C. S., DAL PINO, Elisabete, SODRÉ JR., Laerte, JATENCO-PEREIRA, Vera. **Astronomia: Uma visão geral do universo**. Edusp, 2003.

HORVATH, Jorge Ernesto. As estrelas na sala de aula: uma abordagem para o ensino da Astronomia estelar. Livraria da Física. São Paulo. 2019.

Vídeo aula do professor João Steiner do curso de Astronomia: uma visão geral I, aula Pgm 24 – Diagrama HR, disponível em: https://youtu.be/ITVn77HVHIs, acessado em ago/2020.

Página com explicações resumidas sobre o Diagrama HR da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, de Kepler de Souza Oliveira Filho e Maria de Fátima Oliveira Saraiva http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node2.htm e página mais detalhada https://www.if.ufrgs.br/oei/stars/hr/diag_hr.htm. Acessado em set/2020.

Página do simulador do Diagrama HR da faculdade de Nebraska para auxiliar a compreensão, atenção, estão em flash e dependem de software para rodar https://astro.unl.edu/naap/hr/hr.html, acessado em jul/2020.

Página do Observatório Las Cumbres aplicativo do Diagrama HR uso educacional https://lco.global/education/activities/star-in-a-box/, acessado em jun/2020.

SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM 1

Esta primeira atividade apresentará uma visão geral do que será proposto ao longo da Sequência Didática, seu objetivo é servir de organizador prévio, pois alguns dos conceitos podem não estar organizados, e alguns alunos podem não ter se interessado anteriormente a cerca destes assuntos.

Aprendizagem	Título	Visão Geral do Diagrama.
	Conteúdos Trabalhados	Brilho, Luminosidade, Magnitude absoluta e aparente, diagrama de corpo negro e espectros, classificação de Harvard e índice de cor.
	Objetivo	Apresentar uma visão geral aos estudantes.
Apre	Organização da Turma	Sala de vídeo ou Sala de Aula com disposição normal.
O	Metodologia	Apresentar o histórico do diagrama, seus eixos (indicando os cuidados) e as propriedades envolvidas (propriedades das estrelas).
de Ensino	Materiais Necessários	Projetor multimídia, sala de vídeo, caderno e caneta, Flip-chart ou lousa, pincel atômico ou giz, questionário inicial.
	Avaliação	Verificar se compreenderam os eixos, as grandezas associadas, as principais características das estrelas.
Sequência	OBS	Fornecer conceitos gerais do HR, seu histórico, termos utilizados e os tipos de eixos utilizados com suas grandezas.
(O)	Duração	02 aulas de 45 minutos.

Esta atividade se dará por meio de aula discursiva dialogada, apresentará um breve histórico e conceitos para os eixos nos principais diagramas HR utilizados, descrições, cálculos e aplicações.

A interação dos alunos nessa atividade é muito importante, dar-se-á por meio de interrupções no decorrer da apresentação ou mesmo por questionamentos diretos, elaborados pelo professor e feitos à sala como um todo.

A apresentação do Diagrama HR para os alunos se dará por meio de aula discursiva dialogada, objetivando a participação de todos e salientando pontos importantes para aprendizagem, além de conceitos físicos presentes nas propriedades das estrelas, que poderá ser avaliada por meio de questões e atividades propostas no decorrer da apresentação.

Professor, poderá lançar mão de questionamentos como: Me explique melhor? Como você chegou a essa conclusão? O que você acha que ocorre? De que forma você explicaria isto para alguém? Na possibilidade de verificar se o aluno mobilizou conhecimentos prévios ou se está formando o conhecimento com o material apresentado.

Após a apresentação é importante que os alunos apliquem rapidamente o que viram para reforço de aprendizagem, tomando para si o conhecimento de forma concreta e sintetizando o que foi visto até o momento, neste momento você poderá ser acionado para sanar dúvidas pertinentes ao assunto, é importante anotar as dúvidas e os resultados, podendo questionar um pouco mais os alunos para compreensão.

Há exemplos de exercícios e formulário para auxiliar a aprendizagem e o bom desenvolvimento da atividade de fixação, lembre-se de avisar os alunos a respeito.

Ao término desta atividade o professor apresentará uma questão para os alunos refletirem, "Como as estrelas nascem e como os cientistas propõem que elas entram na sequência principal do Diagrama HR?", se ainda houver um pouco de tempo anote as informações prestadas pelos alunos e lembre-se de indicar como e onde será disponibilizado a segunda atividade.

TÓPICOS ABORDADOS NA APRESENTAÇÃO DO DIAGRAMA HERTZSPRUNG-RUSSELL (HR)

- Histórico do Diagrama HR (visão geral);
- Eixo Y Luminosidade (Luminosidade solar) ou Magnitude Absoluta;
- Eixo X Temperatura Superficial (Fotosfera); Tipo Espectral (O B A F G K M) ou Índice de Cor (B-V);

REFERÊNCIAS PARA ESTUDO

HORVATH, Jorge Ernesto. As estrelas na sala de aula: uma abordagem para o ensino da Astronomia estelar. Livraria da Física. São Paulo. 2019.

Aula sobre Diagrama HR, classificação espectral, luminosidade proposta por: Alexei Machado Müller, Maria de Fátima Oliveira Saraiva & Kepler de Oliveira Filho, disponível em: https://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n29_Muller/aula2/aula2h.pdf, acessado em ago/2020.

Vídeo aula sobre as propriedades das estrelas do curso de Astronomia: uma visão geral I, disponível em: https://youtu.be/M0VKMNylSlg, acessado em ago/2020.

Informações sobre a história da Classificação de Harvard, disponível em: https://tokdehistoria.com.br/tag/observatorio-de-harvard/, acessado em ago/ 2020.

Simuladores da Universidade de Nebraska para auxiliar a compreensão das propriedades das estrelas e do Diagrama HR, atenção, estão em flash e dependem de software para rodar, disponível em: https://astro.unl.edu/ anima tionsLinks.html, acessado em ago/2020.

Simulador de Espectro de corpo negro da Universidade do Colorado, disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/blackbody-spectrum/latest/blackbody-spectrum_pt_BR.html, acessado em ago/2020.

APRESENTAÇÃO UTILIZADA NA ATIVIDADE 1 COM OS ALUNOS.

DIAGRAMA DE HERTZSPRUNG-RUSSELL

Prof. Jeferson Fábio Fornazari

Parte 1
Sequência Didática – Diagrama HR como ferra

O DIAGRAMA DE HERTZSPRUNG-RUSSELL Diagrama de Hertzsprung-Russell (M. V. BV) para as 41704 estrelas únicas de Catálogo Hipparcos. As cores indicam o número de estrelas em uma cólula de magnitude 0,01 mag (BV) e 0,05 mag na magnitude V (M_V). Fonce https:

O DIAGRAMA DE HERTZSPRUNG-RUSSELL Muita atenção nos eixos!!! O eixo X pode ser representado por: - Temperatura da Fotosfera da Estrela - Classe Espectral - Índice de Cor O eixo Y pode ser representado por: - Luminosidade em função do Sol - Magnitude Absoluta

BREVE HISTÓRICO

O brilho das estrelas era um problema a ser trabalhado, uma vez que estrelas mais brilhantes mas, muito distantes pareceriam ter seu brilho muito reduzido.

Precisávamos saber a distância das estrelas para resolver isso, foi então que Friedrich Wilhem Bessel em 1838 conseguiu medir com razoável precisão a distância de estrelas, usando para isso o efeito da paralaxe.

da paralaxe.

Arrumamos um problema e criamos outro, os cientistas e astrônomos agora falavam em Magnitude Aparente (m) e Magnitude Absoluta (M), sendo a aparente igual a escala original e a absoluta em função de uma distância padrão da Terra. Isso foi resolvido apenas em 1902 por Jacobus Kapteyn que sugeriu a distância padrão de 10 segundos de paralaxe, sendo definido assim 10 parsecs que equivale a 32,6 anos-luz.

BREVE HISTÓRICO

Esse trabalho foi precursor do sistema atual, que foi reorganizado e ajustado por uma equipe de Harvard, liderada por Edward Pickering com assistência de Antonia Maury, Williamina Fleming, Annie Jump Canon, Hernietta Leavitt e outras mulheres, transformando no atual modelo de Classificação de Harvard: O, B,

Somente mais tarde é que foi descoberto que a temperatura das estrelas estavam de acordo com a classificação de Harvard, o que acabou deixando o eixo do diagrama numa escala decrescente, os astrônomos novamente mantiveram o caráter histórico.

astronomos novamente mantiveram o caráter histórico. Toda pesquisa e estudo por volta de 1910 sobre as estrelas indicavam que o tipo espectral, a cor e a temperatura da superficie estavam relacionados, e após as descobertas das distâncias das estrelas com as magnitudes, possibilitaram a elaboração deste diagrama tão importante para o estudo e compreensão da astrofísica estelar.

BREVE HISTÓRICO

Foi desenvolvido de forma independente por Ejnar Hertzsprung em 1911 e por Henry Norris Russell em 1913, elaboraram um gráfico de luminosidade de estrelas em função de sua temperatura, e este gráfico apresentava relações importantes das estrelas.

Muito anterior a eles já havia classificações de estrelas por magnitudes, como a classificação de Hiparco na Grécia antiga, magnitudes, como a classificação de Hiparco na Grécia antiga, Ptolomeu por volta do ano 1454.G. em seu Almagesto, sendo que as estrelas mais brilhantes eram classificadas pela magnitude 1, pois são as primeiras a serem vistas, e assim ate a magnitude 6 que é o limite do olho humano.

Após muitos anos veio o cientista Norman Pogson em 1856, que verificou que uma estrela de magnitude 1 era aproximadamente 100 vozes mais brihante que uma de magnitude 6, organizando forma agora seria possível classificar estrelas mais fracas que só podíam ser vistas com instrumentos.

BREVE HISTÓRICO

Ainda usamos o sistema de magnitudes da forma original de Hiparco, apenas traduzindo para os meios matemáticos, mas agora toriamos estrelas mais brilhantes que a antiga categoria 1 de Hiparco, por isso fomos obrigados a utilizar valores negativos na escala de brilho.

Para o caso da temperatura das estrelas observamos apenas a luz emitida por elas, e pensando nisso William Herschel em 1798, usando um prisma ele resolveu os espectros de seis estrelas, mas não sabia interpretar esta sua descoberta.

Somente em 1868 que Angelo Secchi com base no trabalho de Herschel categorizou 400 estrelas em 4 classes diferentes, de acordo com seus espectros, isso gerou um avanço na espectroscopia astrofísica.

Henry Draper iniciou um projeto grandioso de catalogação de estrelas, se baseando nas linhas espectrais, chamado de Sistema Draper, classificando em 16 classes em ordem aflabética, A, B, C, e assim por diante, milhares de estrelas foram catalogadas.

PROPRIEDADE DAS ESTRELAS

- · Luminosidade (L)
- · Magnitude Aparente (m)
- · Magnitude Absoluta (M)
- · Temperatura Efetiva (Teff)
- · Índice de Cor (B-V)
- · Classificação Espectral (O B A F G K M)



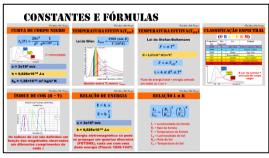


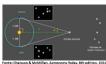
DIAGRAMA DE HERTZSPRUNG-RUSSELL

Prof. Jeferson Fábio Fornazari Parte 2

Sequência Didática - Diagrama HR como ferramenta de ensino de física

DISTÂNCIA ESTELAR - MÉTODO DA PARALAXE

Paralaxe é a mudança aparente de posição de um objeto quando se desloca o ponto de visão, este é um dos métodos usados para determinação de distância de estrelas mais próximas, até 30pc.



$$D\left(UA\right)=\frac{1}{\alpha(rad)}$$

D (pc) = $\frac{1}{\text{paralaxe (" segundos de arco)}}$

Parsec é a distância cujo paralaxe resulta exatamente de 1 segundo de arco. 1 pc = 3,26 anos-luz ou 2,06x10⁵UA

LUMINOSIDADE (L) E FLUXO (F)

Fluxo de energia de uma estrela é o que medimos no telescópio + equipamento ou mesmo a olho nu, ou seja, é o brilho aparente de uma estrela.

DEFINIÇÃO: o fluxo de energia (E/t/área) (ou brilho aparente) é dado por:

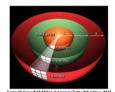
Fluxo
$$\propto \frac{Luminosidade}{D^2}$$

$$F = rac{L}{4.\,\pi.\,D^2}$$

Equação completa

LUMINOSIDADE (L) E FLUXO (F)

Fluxo (brilho aparente) $\propto \frac{Luminosidade (brilho intrínseco)}{}$ D^2



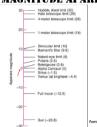
Triplicando a distância, o brilho fica 9 vezes mais fraco.

MAGNITUDE APARENTE (m)

- Quando se começou a usar aparelhos para medir a luz vinda das estrelas, viu-se que a fisiologia do olho humano é tal que:
 - A mudança de 1 magnitude, corresponde a um fator de 2,5 em brilho aparente (fluxo).
 - A diferença entre uma magnitude e outra corresponde a diferença entre os logaritmos dos fluxos.

$$m_1 - m_2 = -2,5\log\left(\frac{f_1}{f_2}\right)$$

MAGNITUDE APARENTE (m)



MAGNITUDE É UMA ESCALA LOGARÍTMICA DO FLUXO DE LUZ

O ponto zero de magnitude é a estrela Vega (m=0), usamos como referência

MAGNITUDE ABSOLUTA (M)

Lembrando: É uma escala logarítmica da luminosidade (brilho intrínseco de uma estrela = energia/tempo)

Definição: Magnitude Absoluta é a magnitude aparente quando a estrela estiver a uma distância padrão de D=10pc (parsecs)

Podemos escrever uma relação entre magnitude aparente, magnitude absoluta e distância.

$$m - M = 5\log D(pc) - 5$$

Essa equação é conhecida como módulo da distância, sabendo as magnitudes aparente (m) e absoluta (M), determina-se a distância.

DETERMINANDO A MAGNITUDE ABSOLUTA DO SOL (M_{\odot})

- Parâmetros da estrela Vega (zero de magnitude):
 T_{eff}=10105K, R=2,69R_☉ e d=7,76pc

- Fluxo de Vega no seu raio R: $F(R) = \sigma T^4 = 5,9 \times 10^8 W/m^2$ Luminosidade de Vega: L = $4\pi R^2 x F(R) = 2,62 x 10^{28} W$ Fluxo de Vega na Terra: $F(d) = L/(4\pi d^2) = 3,6 x 10^{-8} W/m^2$
- Aplicando: m_⊙-m_{VEGA}=-2,5.log(f_⊙/f_{VEGA}) m₀-0=-2,5.log(1379/3,6x10⁻⁸) Constante solar 1379 W/m² m_=-26.8
- Usando o módulo de distância: mo-Mo= 5 log Do-5 -26,8-M₀=5log(4,85x10⁻⁶pc)-5 M₀=+4,77

DETERMINANDO A MAGNITUDE ABSOLUTA DO SOL (M_O)

• Fazendo a diferença entre magnitudes absolutas de uma dada estrela e o Sol(M⊙=+4,77), podemos escrever:

$$M-M_{\odot}$$
= -2,5 $log(L/L_{\odot})$

Luminosidade Solar = L $_{\odot}$ = 3,9x10²⁶W

Usando assim uma conversão entre Luminosidade e Magnitude Absoluta, como exemplo a estrela Sirius de M = 1,42, sua luminosidade será de:

 ${\it M-M}_{\odot}\mbox{=-2,5log (L/L}_{\odot}) \qquad {\it 1,42-4,77=-2,5log (L/L}_{\odot}) \qquad -3,35\mbox{=-2,5log (L/L}_{\odot})$

 $-3,35/-2,5=\log{(L/L_{\odot})}$ 1,34=log (L/L $_{\odot}$) 10^{1,34}=(L/L $_{\odot}$) 21,88=(L/L $_{\odot}$)

 $L=21,88.L_{\odot}$

TEMPERATURA EFETIVA(T_{EFF})

· Partindo do postulado de que a energia eletromagnética só pode se propagar em quantas discretos (FÓTONS), cada um com uma dada energia (Planck (1858-1947) determinou h):

 $E = h.\nu$ ou $E = h.c/\lambda$

h é a constante de Planck = 6.626x10⁻³⁴ J.s

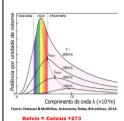
• Dedução da forma (intensidade) do campo de radiação emitida por um corpo negro de temperatura T: $I_{\lambda}(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5}\frac{1}{e^{hc/\lambda kT}-1} \qquad \qquad I_{\nu}(T) = \frac{2hv^3}{c^2}\frac{1}{e^{h\nu/kT}-1}$

$$I_{\lambda}(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

$$I_{\nu}(T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

k=é a constante de Boltzman (relaciona T e E)= 1,3806503 × 10⁻²³ m/ kg/s/ K

TEMPERATURA EFETIVA (T_{EFF})



A intensidade específica num dado $\lambda(\text{ou }\nu)$ não depende de qualquer propriedade do corpo a não ser de sua Temperatura.

Qualquer corpo em Equilíbrio Termodinâmico emitirá fótons com uma distribuição de comprimentos de onda dada pela Lei de Planck.

Esta radiação, chamada de radiação de corpo negro, não depende da direção de emissão e não é polarizada.

TEMPERATURA EFETIVA(T_{EFE})

• Relação entre λ_{\max} e temperatura = lei de Wien:

$$\lambda_{max} = \frac{2900 \ (nm.K)}{T \ (10^3 K)}$$

Quanto maior T, menor λ_{\max}





TEMPERATURA EFETIVA (T_{EFF})

- · Lei de Stefan-Boltzmann
- Quando a Temperatura de um objeto cresce, a sua energia total irradiada cresce.
- Definição de fluxo de energia F: energia irradiada por unidade de área e por unidade de tempo que chega a um detector (quantidade realmente medida).
- O fluxo de energia total irradiada é proporcional a quarta potência da temperatura
- Fluxo de energia total = energia somada em todos os λ ou ν . $F = \sigma . T^4$
- σ = constante de stefan-boltzmann = 5,67x10⁻⁸ W/m²K⁴

TEMPERATURA EFETIVA(T_{EFF})

- A temperatura de uma estrela medida pela lei de Wien (a partir da máxima intensidade em um comprimento de onda), é ligeiramente diferente da sua temperatura medida pela lei de Stefan-Boltzmann (a partir da luminosidade (energia/tempo) e do raio F=Lum/área).
- Tw = temperatura de brilho da estrela
- T_{off} = temperatura efetiva da estrela

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{2900 \ (nm.K)}{T_W \ (10^3 K)}$$

$$F = \sigma . T_{eff}^{4}$$

TEMPERATURA EFETIVA (T_{EFF})

- · Calculando para o Sol
- Medindo a distribuição de radiação do sol : λ_{max} = 480 nm
- Lei de Wien: T_w~6000 K é a temperatura de brilho
- * SupondoTw^Teff^6000K, cada metro quadrado do Sol irradia energia na taxa de $\sigma T^{4\sim}$ 7,3x10 7W (73MW).
- Se raio do Sol = 700.000km, área da superfície do Sol x F = potência total emitida pelo Sol∼centenas de septilhões de W!

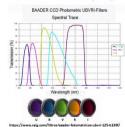
$$F = \sigma.T^4$$
 $F = 5,67x10^{-8}.6000^4$ $F = 73.483.200W/m^2$

$$\begin{split} \mathbf{R}_{\odot} &= 7x10^{8}km = 7x10^{8}m \quad \mathsf{L} = 4.\,\pi.\,R^{2}.F \quad \mathsf{L}_{\odot} = 4.\,\pi.\left(7x10^{8}\right)^{2}.73\,\,483\,\,200 \\ \mathsf{L}_{\odot} &= 4,52x10^{26}W \end{split}$$

ÍNDICE DE COR (B-V)

· Os índices de cor são definidos em função das Os indices de cor são definidos em função das magnitudes observadas em diferentes comprimentos de onda, ou mais especificamente, nas diferentes bandas espectrais. O sistema fotométrico mais usual, definido por Johnson considera as bandas U(A=350nm), B(A=450nm), V(A=550nm), onde U, B, V representam a magnitude aparente (mU, mB, mV) nas bandas espectrais do ultravioleta, do azul e do visivel, respectivamente. Os sistemas fotométricos também se estendem para outras faixas espectrais, como o vermelho (R. para outras faixas espectrais, como o vermelho (R, I) e infravermelho (J,H,K,...).

ÍNDICE DE COR (B-V)



Uma estrela muito quente (T=30000K) terá sua intensidade na banda B maior que na banda V. No caso da estrela a 10000K, as intensidades em B e V são aproximadamente iguais e para uma estrela vermeiha a 3000 K, a intensidade em V e bem maior que em B.

Seu fluxo depende da função de corpo negro, os indices de cor também vão depender da temperatura da estrela.

Desta forma, podemos dizer que quanto mais [B-V] for negativo (B<<V) mais quente será a estrela e portanto mais azulada. Por outro lado, quanto mais positivo for [B-V] (B>>V), mais fria será a estrela e portanto mais avermelhada

DIAGRAMA DE HERTZSPRUNG-RUSSELL

Prof. Jeferson Fábio Fornazari Parte 3

Sequência Didática - Diagrama HR como ferramenta de ensino de física

CLASSIFICAÇÃO ESPECTRAL (O B A F G K M)

- Inicia com Isaac Newton em 1666 fazendo experimentos com a luz e os publica em 1704.
- Willian Hyde Wollaston em 1802 descobre sete linhas escuras sobrepostas no espectro contínuo do Sol.
- Joseph von Fräunhoffer em 1817 após observar as linhas escuras no espectro do Sol, cataloga 574 dessas linhas que passam a ser conhecidas como Linhas de Fräunhoffer.

CLASSIFICAÇÃO ESPECTRAL (O B A F G K M)



CLASSIFICAÇÃO ESPECTRAL (O B A F G K M)

- Todas as observações e indicações eram desenhadas, e em 1839 Louis Daguerre patenteia um equipamento que faz imagens sobre uma superfície sensível à luz, chamado daguerreótipo.
- daguerreótipo.

 Entre 1840-1845 John William Draper com um desses equipamentos acoplados em um telescópio faz um daguerreótipo (primeira foto) de um espectro solar com o auxílio de uma rede de difração.



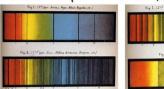
CLASSIFICAÇÃO ESPECTRAL (O B A F G K M)

- Surge uma "corrida" para conseguir identificar os elementos químicos presentes nas estrelas e verificar se há alguma correlação entre os elementos químicos e as estrelas, alguns programas de observação e classificação foram executados.
- programas de observação e classificação foram executados.

 Programa de William Huggins e William Allen Miller em 1862, envolvia a construção de um espectroscópio para observar estrelas e publica os primeiros trabalhos sobre espectroscopia estelar e da construção do equipamento em 1864, ja possuindo uma análise de 50 estrelas, houve um detalhamento maior para as estrelas Betelgeuse e Aldebaran (RE, 2008).

 Outro programa para identificação foi executado por Pietro Angelo Secchi em 1863 que usou as mesmas letras utilizadas por Frâunhoffer, dessas observações e classificações, Secchi separou em quatro classes principais, sendo que cada uma delas já se relacionava com a temperatura das estrelas (MARCHI, 2017).

CLASSIFICAÇÃO ESPECTRAL (O B A F G K M)



Classificação de Secchi (FRIAÇA, 2014): Classe I - Azuis e Brancas; Classe II - Amarolas (tipo o Sol); Classe III - Alaranjadas e Vermelhas; Classe IV - Com linhas de Emissão.

CLASSIFICAÇÃO ESPECTRAL (O B A F G K M)

- A fotografia com melhor resolução e aplicada a espectroscopia através de placas de vidro com gelatino-brometo foi usada em 1872 por Henry Draper, filho de John William Draper.
- Henry Draper faz muitas melhorias nas imagens através da mudança das placas de vidro e das substâncias utilizadas, pois de inicio as imagens eram feitas por vias ximidas, o que dificultava grandes tempos de exposição, e não eram tão sensiveis à luz das estrelas. Realizou centenas de fotografias de espectros até ao seu desaparecimento em 1882.

CLASSIFICAÇÃO ESPECTRAL (O B A F G K M)



Edward Charles Pickering foi nomeado diretor do Observatório de Harvard em Cambridge Massachussets em 1877, e como foi o primeiro diretor garduado em ficio que se interessava em fotometria motivou os trabalhos em foto-astronomia no observatório, de linicio eram apenes registros visuais, sendo passado para fotográfico após inestimentos em equipamentos.

Em 1881 Pickering contrata sua empregada Williamina Flen para classificar os espectros, as mulheres não trabalhavam período noturno, e já havia muitas placas fotográficas para classificar, sendo este o objeto de trabalho delas.

Coms Ghavard Charles Pickarin g. como diretor do Observatário de Harvard e agora com mulheres à frente das classificações e projeto do observatório, sendo elas, Williamira Fleming, Antonia Caetana de Paíva Pereira Maruy, Hernétta Leavitte Amire Jump Caemon, Odas gradudade a algumas delas deservolvendo suas pesquisas de Mestrado ou de Doutorado.

CLASSIFICAÇÃO ESPECTRAL (O B A F G K M)

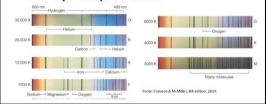
A cor de uma estrela se relaciona com sua temperatura superficial de acordo com a emissão de corpo negro



T superficial Tipo		Cor	Exemplo		
(K)	Espectral				
30.000	0	azul-violeta	δ Orionis (uma das 3 Marias)		
20.000	В	azul	Rigel (β Orionis)		
10.000	A	Branca	Vega, Sirius		
7000	F	Branco-amarela	Canopus		
6000	G	Amarela Sol, α Centauri			
4000	K	Laranja Arcturus, Aldebara			
3000	M	Vermelha Betelgeuse, Próxima C			

CLASSIFICAÇÃO ESPECTRAL (O B A F G K M)

O tipo espectral está relacionado com os tipos de linhas espectrais predominantes



CLASSIFICAÇÃO ESPECTRAL (O B A F G K M)



Class	Temperatura	Cor convencional	Cor aparente	Massa (massas solares)	Raio (raio solar)	Luminosidade	Linhas de hidrogénio	% das estrelas da sequência principal
0	30,000- 60,000 K	azul	azul	64 M	16 R	1,400,000 L	Fraco	~0.00003%
В	10,000- 30,000 K	azul a azul- branco	azul-brance	18 M	7.R	20,000 L	Médio	0.13%
А	7,500- 10,000 K	branco	branco	3.1 M	2.1 R	40 L	Forte	0.6%
F	6,000-7,500 K	amarelo-branco	branco	1.7 M	14 R	6 L	Médio	3%
G	5,000-6,000 K	amarelo	amarelo- branco	1.1 M	1.1 R	1.2	Fraco	7.6%
К	3,500-5,000 K	laranja	amarelo- laranja	0.8 M	0.9 R	0.4 L	Muito fraco	12.1%
M	2,000-3,500 K	vermelho	lararia-	0.4 M	0.5 R	0.04 L	Muito fraco	76.45%

ATIVIDADE DE FIXAÇÃO DE CONHECIMENTO

Nome:	n°:	Série:
-------	-----	--------

Atividade para fixação de conhecimento – Atividade 1 Diagrama HR

- Conhecemos a luminosidade de uma estrela medindo seu fluxo, e o fluxo reduz com o quadrado da distância como na equação F = L / 4.π.D². Calcule a luminosidade para uma estrela que apresenta um fluxo de 1.367 W/m² e está distante 150.000.000 km. (1,0 ponto)
- 2) Um dos grandes desafios da Astronomia foi conseguir usar um método para determinar a distância dos astros, o primeiro método utilizado é o da paralaxe estelar. Sabe-se que a paralaxe é a mudança aparente de posição de um objeto ao mudar a posição do observador, utilizando a determinação por paralaxe D_{pc} = 1/paralaxe (segundos de arco), qual a distância em parsec de uma estrela que apresenta 0,15 segundos de arco (0,15")? Em anos-luz qual seria essa distância? (1,0 ponto)
- 3) A magnitude absoluta de uma estrela é considerada como a magnitude aparente quando a estrela está distante do observador de 10pc, usando a relação entre as magnitudes.

$$m - M = 5.logD - 5$$

Calcule a magnitude absoluta da estrela Canopus que apresenta uma magnitude aparente de m = -0.62 estando a 94,83pc da Terra. (1,0 ponto)

- 4) Os astrônomos utilizam a equação D = 10 (m-M+5) / 5 que é o módulo da distância, sendo dessa forma mais simplificada, sem o logarítimo, utilizando-se esta relação, determine a distância em parsec de uma estrela que apresenta magnitude absoluta de M = -3,9 e magnitude aparente de m = 1,64. (1,0 ponto)
- 5) Usando a estrela Vega como padrão de magnitude (m=0), determine a magnitude absoluta da estrela Mira. **1pc = 3,26 anos-luz**. (Muita atenção nas unidades)

$$F = \sigma.T^4$$
 $m* - m_0 = -2.5 \log (F*/F_0)$ $m - M = 5.LogD - 5$

Parâmetros de Mira: $T_{\text{eff}} = 2.200 \text{ K}$; Distância de Mira à Terra = 418,69 anos-luz ; Raio Mira = 500 Ro. (1,0 ponto)

- 6) Sabendo-se em qual comprimento de onda uma estrela emite a maior parte de sua radiação, podemos determinar sua temperatura efetiva usando a Lei de Wien λ_{max} = 2.900 (nm.K) / T_{eff} (10³K). Determine a temperatura efetiva de uma estrela que consegue emitir no máximo de intensidade por volta de 490 nm e de outra que emite 660 nm. (1,0 ponto)
- 7) Classifique as estrelas abaixo de acordo com a classificação de Harvard, usando a tabela ao lado para responder. (O, B, A, F, G, K, M)

a) Naca Toff 42 400 K

b) Markab - Teff = 11.000 K

c) Canopus –Teff = 7.700 K _____.

d) YZ Ceti – Teff = 3.370 K _____

Cor Classe Temperatura convencional 30.000azul 60,000 K 10,000azul a azul-В 30,000 K branco 7,500-Α branco 10.000 K F 6,000-7,500 K amarelo-branco G 5,000-6,000 K amarelo K 3,500-5,000 K laranja M 2,000-3,500 K vermelho

Fonte:

https://codicedemarcostoffoli.blogspot.com/2017/04/tomoxvii-classificacao-estelar-por.html

SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM 2

Esta segunda atividade apresentará como a gravidade influencia o nascimento, vida e morte de uma estrela e o mecanismo de produção de energia da estrela.

2	Título	O Papel da Gravidade.
	Conteúdos	Equipartição de energia, teorema do Virial, interação
<u> </u>	Trabalhados	gravitacional.
Ensino e Aprendizagem	Objetivo	Apresentar como a gravidade e o balanço de
	Objetivo	energia são importantes para a estrela.
ב ב	Organização	Sala de aula em círculo para debate e anotação das
le	da Turma	observações.
Ap		Através da formação da estrela pela nebulosa
ů	Metodologia	indicar como o balanço da energia e gravidade
Q		atuam na formação estelar até o início do
i i		fusionamento de Hidrogênio.
l S	Materiais	Vídeos e textos para leitura antecipada, questões
Ш	Necessários	investigativas, flip-chart ou lousa, giz e pincel
de	140003341103	atômico, caderno e caneta.
<u>a</u>		Analisar se a equipartição de energia e o
<u>်</u>	Avaliação	mecanismo de conversão de energia foram
êr		compreendidos.
l b	OBS	Como a gravidade dá forma e vida à estrela e
Sequência de	003	interage ao longo de sua vida.
U)	Duração	02 aulas de 45 minutos.

Nesta atividade os alunos deverão acessar as informações referentes ao conteúdo da aula em outro local, usaremos a metodologia de sala de aula invertida, e o acesso poderá ser efetuado, em casa, no trabalho, no final de semana, por meio de computador ou celular, anotando as informações, bem como as dúvidas e pontos importantes para futuro esclarecimento na sala.

O modelo Sala de Aula Invertida utiliza-se de recurso digital, os alunos acessam o conteúdo e as orientações em ambiente virtual, esse acesso pode ser efetuado em casa, no trabalho, no final de semana, por meio de celular, tablet, notebook ou desktop, sempre anterior à aula programada.

Durante a aula o professor direciona atividade ou questões para verificação da aprendizagem, debates, exemplos e esclarecimentos são executados em sala com mediação do professor e análise das interações, facilitando a verificação da mobilização do conhecimento por parte do professor, não é uma tarefa fácil esta, mas possível diante de debates e interações, colaborações do grupo.

Professor relembre os alunos da questão feita anteriormente na atividade 1 "Como as estrelas nascem e como os cientistas propõem que elas entram na sequência principal do Diagrama HR?", e questione os alunos sobre o apresentado na atividade 2.

Isso possibilitou uma mudança das concepções?

Como isso ocorreu?

O que foi alterado ou complementado?

Solicite algumas colaborações e as anote.

A atividade se relaciona com a interação gravitacional presente no "nascimento" da estrela, sua relação com as transformações de energia e início do processo de fusão nuclear.

A mobilização deste conhecimento em conjunto com a interação gravitacional e a equipartição de energia deverá ser verificada nesta atividade, uma ótima oportunidade de observar os subsunçores, ainda mais devido ao uso de uma metodologia de sala de aula invertida, que direciona os esforços do professor no aprendizado do aluno e de questionamentos em aula.

Lembre-se que os alunos já tiveram contato com o assunto no 9° ano do Ensino Fundamental e na 1ª série do Ensino Médio, diretamente sobre evolução estelar, formação do Sistema Solar de forma mais simplificada.

Em sala de aula, o debate sobre o que foi visto, propiciará oportunidade de compreender como os alunos aprendem e mobilizam conhecimentos, extrapolam as aplicações e identificam relações, a interação da sala e colaborações do grupo todo com o desenvolvimento social e pleno são primordiais neste processo.

O desenvolvimento da autonomia do aluno e seu papel de coautor da aprendizagem, poderão ser identificados e incentivados também devido à metodologia utilizada.

REFERÊNCIAS PARA ESTUDO

ANDRADE, Maria do Carmo Ferreira de, SOUZA, Pricila Rodrigues de. **Modelo de rotação do ensino híbrido:** Estações de trabalho e sala de aula invertida. E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial, Florianópolis, v.9, n.1, 2016. Disponível em: http://177.221.49.41/index.php/edicao01/article/view/773, acessado em ago. 2020.

CHRISTENSEN, Clayton M., HORN, Michael B., STAKER, Heather. Traduzido por Fundação Lemann e Instituto Península. **Ensino híbrido:** uma inovação disruptiva? Uma introdução à teoria dos híbridos. Instituto Clayton Christensen. Maio 2013. Disponível em: https://porvir.org/wp-content/uploads/2014/08/PT_Is-K-12-blended-learning-disruptive-Final.pdf, acessado em set. 2020.

HORVATH, Jorge Ernesto. As estrelas na sala de aula: uma abordagem para o ensino da Astronomia estelar. Livraria da Física. São Paulo. 2019.

Imagens do telescópio espacial Hubble que poderá ser utilizado para ilustrar melhor a apresentação, disponível em: https://hubblesite.org/images/gallery, acessado em ago/2020.

Glossário de Cosmologia para auxiliar nos termos utilizados, disponível em: http://www.astro.iag.usp.br/~ronaldo/intrcosm/Glossario/index.html, acessado em set/2020.

Página para professor com informações sobre Astrofísica, Física quântica, Física nuclear, calor e termodinâmica - Hyperphysics http://230nsc1.phy-astr.gsu. edu/hbase/hframe.html, acessado em ago/2020.

Página da Universidade de Leicester com vídeos da simulação de estrelas em formação, elaborado por: Matthew R. Bate, Ian A. Bonnell e Volker Bromm, disponível em: https://www.ukaff.ac.uk/starcluster/, acessado em set/2020.

ATIVIDADE 2 – O PAPEL DA GRAVIDADE

Iniciar com a apresentação do vídeo com processo de nascimento de uma estrela disponível no *youtube* no link: https://youtu.be/7ta4U2idVms.

Este vídeo está em português de Portugal, atenção para com a pronúncia e com as legendas devido às pequenas diferenças da língua. O vídeo simula a formação de uma estrela com a gravidade atuando aglomerando a poeira e o gás, a transformação de energia potencial da nuvem em energia cinética com a formação do disco de acresção e liberação de jatos nos pólos, durante a rotação do disco de acresção há o aumento de densidade e aquecimento da protoestrela com o nascimento de uma estrela ao fusionar o hidrogênio em hélio.

Há também o vídeo da Universidade de Leicester e elaborado por: Matthew R. Bate, Ian A. Bonnell e Volker Bromm no UK *Astrophysical Fluids Facility*, há vários vídeos disponíveis na página da universidade no endereço: https://www.ukaff.ac.uk/starcluster/

É necessário atenção especial ao vídeo da Universidade de Leicester, este vídeo retrata o nascimento de aglomerados estelares e pode-se acompanhar a ejeção de algumas estrelas, esta ejeção ocorre devido à interação gravitacional entre os corpos que estão sendo criados. A formação de estrelas ocorre sempre em aglomerados, não se observa a formação de estrelas únicas por meio de nebulosas, atenção ao apresentar aos alunos, o importante é entenderem o mecanismo de formação da estrela e o papel da gravidade nesse processo.

Na página da Universidade há diversos vídeos e fotos que podem a primeira impressão causar dúvidas sobre qual utilizar, há um vídeo no *youtube* para ser de mais fácil acesso, inclusive pela extensão do vídeo no endereço: https://youtu.be/O8tULZHIvTM

MEIO INTERESTELAR

O processo de nascimento de uma estrela se inicia no meio interestelar, que é menos denso que qualquer vácuo terrestre, mas como o universo é imenso, podemos ver algumas características dele:

- É o meio de formação das estrelas;
- Apresentam temperatura média de 100 K bem abaixo dos 273 K que é zero °C;
- É onde estrelas mortas ejetam seus elementos, enriquecendo o meio.

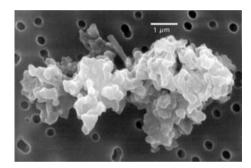
Este meio é composto de gás e poeira, em sua maioria o gás presente é o hidrogênio. Na imagem composta por um mosaico de diversas imagens da Via Láctea logo abaixo, observa-se regiões mais escuras onde há presença de poeira do meio interestelar, esta poeira gera a extinção da luz, por isso essas

regiões são escurecidas, podemos observar o que há atrás da poeira utilizando outro comprimento de onda, o infravermelho, como no caso do telescópio *Hubble*.



Fonte: Mosaico da Via Láctea em luz visível, Digital Sky LLC, CC BY-SA 2.5 https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Milkyway_pan.jpg.

POEIRA INTERESTELAR



Essa poeira causa o efeito de avermelhamento de estrelas, e um efeito chamado de extinção devido ao espalhamento ou absorção da luz por estas partículas, seu tamanho é por volta de 0,1 mícron ou 100 nm (nanômetro), para se ter uma ideia uma molécula pequena tem aproximadamente 1nm.

Fonte: http://www.astronoo.com/pt/artigos/poeira-interestelar.html

Estes grãos de poeira apresentam um núcleo geralmente de ferro (Fe), silicatos (Si, O) e grafite, e um manto de cobertura que normalmente é composto de materiais congelados como (CO₂, H₂O, NH₂), sua superfície é feita de uma mistura de moléculas.

As linhas espectrais não são afetadas pela poeira interestelar entre o objeto e o observador.

GÁS INTERESTELAR

Esse gás apresenta uma relação de 70% de hidrogênio entre molecular e atômico, podendo o hidrogênio atômico se apresentar neutro ou ionizado, dependendo da temperatura, neutro entre 50 K e 100 K e ionizado por estrelas quentes por volta de 10.000 K.

Este gás se distribui em nuvens e suas densidades podem variar em nuvens densas $n\sim1.000$ para cada cm³, ou entre as nuvens n<1 para cada cm³, também há uma relação entre as temperaturas, nuvens quentes possuem densidades menores $n\sim100$ para cada cm³ e nuvens frias, densidades maiores $n\sim10.000$ e 100.000 para cada cm³.

As estrelas são formadas por nuvens frias.

NUVENS MOLECULARES

São nuvens moleculares gigantes que funcionam como berçários de estrelas, estas nuvens podem apresentar algumas condições bem interessantes como:

- Massa entre 1.000 Mo e 10.000.000 Mo;
- Temperatura entre 10 K e 20 K;
- Dimensões de 15 a 600 anos-luz (a distância até a estrela mais próxima são 4 anos-luz);
- Moléculas simples CN, CH, CO, OH, H₂O, NH₃, CH₄ etc;
- Outras moléculas contendo H, C, N, O, S;
- Moléculas orgânicas como formol, vinagre e açúcar, acetileno, benzeno e mais umas 120:

Nessas nuvens a presença de poeira protege as moléculas de radiações de alta energia que poderiam dissociá-las.

Estas nuvens não se encontram isoladas e formam complexos de até 50 pc, contendo gás para formar milhões de estrelas como nosso Sol e, só na Via Láctea há 1.000 complexos deste tipo.



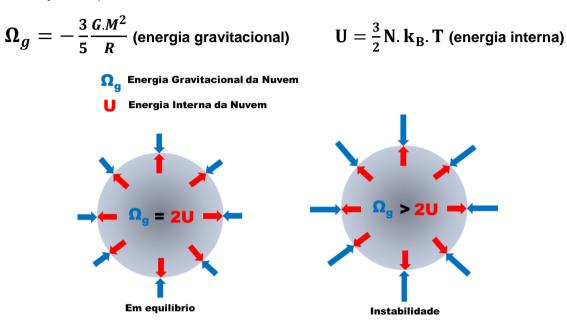
Fonte: https://spacetoday.com.br/a-nuvem-molecular-escura-barnard-68/

PROTOESTRELAS

Este processo é ainda muito estudado e, tudo o que sabemos parte de observações, modelos e simulações como a que foi apresentado inicialmente.

Basicamente temos uma nuvem gigante com movimento que se fragmenta e, estes fragmentos vão colapsando para formar estrelas, todo este processo vai sendo regido pelos mecanismos físicos do gás presente na nuvem.

Para a nuvem colapsar em "caroços" e iniciar o processo de formação de protoestrelas ela deve apresentar algumas características, violar a situação de equilíbrio Virial (Ω_g + 2U = 0), este equilíbrio é entre a energia gravitacional da nuvem no primeiro termo e sua energia interna no segundo termo, uma vez em desequilíbrio, portanto Ω_g + 2U < 0, ela poderá gerar os caroços que iniciarão a formação de protoestrelas.



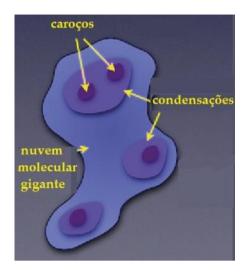
Fonte: próprio autor Fonte: próprio autor

Não são todas as nuvens que podem formar estrelas, depende da massa da nuvem e isso foi verificado por James Hopwood Jeans que publicou um material em 1902, chamando este caso de instabilidade de Jeans em sua homenagem, mas a massa da nuvem capaz de formar estrela é relacionada da seguinte forma:

$$M_J = 40 \left(\frac{n}{100 \ cm^{-3}}\right)^{-1/2} \left(\frac{c_{som}}{0.2 \ km/s}\right)^3 M_{\odot}$$

Já usando valores esperados para nuvens moleculares gigantes ou GMC, somente massas maiores que esta possui instabilidade suficiente para colapsar gravitacionalmente, vencendo a pressão e dar início a formação de estrelas.

ESTRELAS - ESTÁGIOS DE FORMAÇÃO

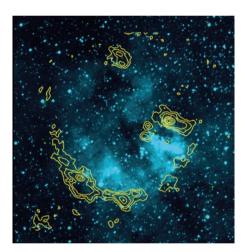


No primeiro estágio está o colapso da nuvem molecular (GMC), onde ocorrerá um aumento na densidade de algumas regiões com condensações, estas condensações originaram os caroços muito mais densos que originou da região mais instável e de aproximadamente uma massa de Jeans.

Representação esquemática de nuvem apresentando condensações e caroços para formação estelar.

Fonte: As estrelas na sala de aula, Jorge Horvath, 2019.

Nós detectamos estas regiões de condensações por meio de telescópios infravermelhos ou de rádio.



Região de condensação detectada no infravermelho na nebulosa RCW79, esta região cobre umas 2.000 UA mais ou menos 40 vezes a distância do Sol até o Cinturão de Kuiper no qual encontra-se Plutão.

As observações indicam que estas regiões são sempre ricas em poeira, por isso opacas a região visível e algumas podem ser vistas como Glóbulos de Bok, descoberto na década de 1940 pelo astrônomo Bart Bok, que indicava que deveriam se parecer como casulos de insetos.

Fonte: As estrelas na sala de aula, Jorge Horvath, 2019.

No processo de formação segue o estágio de condensação das protoestrelas até que o envelope de condensação caia sobre o caroço, nessa queda há transferência de energia e o momento angular promove uma formação de um disco que poderá formar além da estrela, seu sistema planetário.



Fonte:

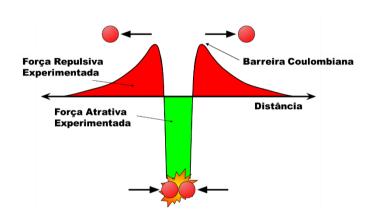
http://Astronomiaycosmos.blogspot.com/2015/09/globulos-de-bok-oscuras-nubes.html

Devido à queda do envelope e consequente contração do caroço, este se aquece e como é rico em hidrogênio, poderá alcançar temperatura suficiente para iniciar a fusão nuclear, lembrando que para iniciar a fusão a temperatura e pressão devem superar as forças de repulsão magnética do hidrogênio, ou seja, a barreira Coulombiana.

$$U_{coul} = \frac{k.Z_1.Z_2.e^2}{r}$$

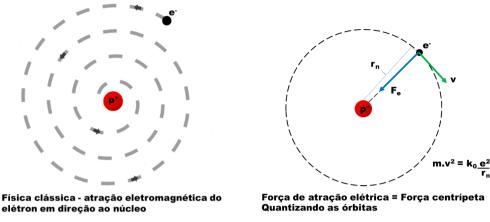
Z1 e Z2 – Número atômico dos elementos; k – Constante de Coulomb 8,9876×10 9 N m 2 C $^{-2}$; e – Carga elementar 1,6×10 $^{-19}$ C;

r – Distância entre as partículas.



Fonte:

http://www.alevelphysicsnotes.com/astrophysics/is%20the%20sun%20hot%20enough.html



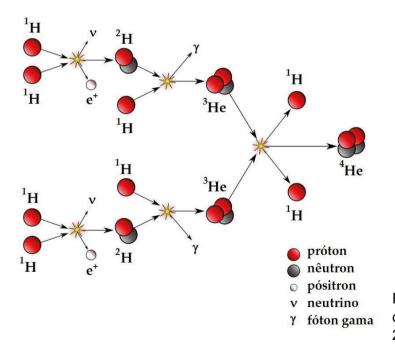
Fonte: próprio autor Fonte: próprio autor

Para uma estrela do tipo do Sol essa temperatura é da ordem de 10.000.000 K, mas pode variar de acordo com a densidade da estrela.

Iniciando o processo de fusão nuclear a estrela acaba de nascer, e seu processo de fusão ocorrerá fusionando hidrogênio em hélio por um dos processos abaixo:

PROCESSO DE FUSÃO DO HIDROGÊNIO EM HÉLIO

O processo mais comum para fusionar hidrogênio nas estrelas é o processo próton-próton, ou seja, o processo PP, este processo ocorre segundo as características abaixo:



Pode-se ver uma animação deste ciclo no link da Universidade de Nebraska. https://astro.unl.edu/classac tion/animations/sunsolarene rgy/fusion01.html

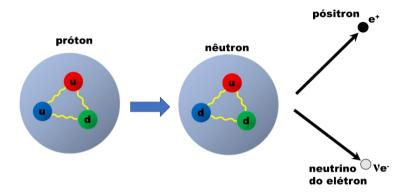
Fonte: As estrelas na sala de aula, Jorge Horvath, 2019.

Este ciclo é chamado de PPI, neste ciclo ocorre o fusionamento de hidrogênio em hélio apenas a partir do segundo estágio, como se pode ver no esquema acima, mas antes disso vê-se dois prótons ligando em um hidrogênio

e este processo não ocorre dessa forma tão simples, é necessário um decaimento beta (β) para que ocorra, além de só ocorrer 1 a cada 10^{28} colisões.

O problema está no tempo em que estes prótons (¹H) precisam ficar próximos para vencer a barreira Coulombiana e entrar na região da força nuclear forte, e só ocorre 1 vez em 7x10⁹ anos, mas uma estrela produz muitas colisões por volta de 2x10¹⁷ colisões por segundo, mesmo assim desse total de colisões apenas uma vai produzir o núcleo de deutério (deuteron ²H), as demais retornam apenas prótons.

Este decaimento beta faz um próton decair em um nêutron, um pósitron e um neutrino, e ocorre devido as interações fracas, observe na imagem abaixo.



Fonte: próprio autor

Depois deste processo o deuteron formado captura um próton e produz ³He, esta reação é mais fácil e ocorre em 86% das vezes que captura outro próton e forma ⁴He.

Por isso as estrelas apresentam um tempo de vida muito elevado, se as reações ocorressem de maneira imediata não teríamos formações de planetas ao redor das estrelas, estas teriam uma vida muito curta e não conseguiriam gerar suporte para formação de planetas e de vida como conhecemos.

Ressaltamos que, se as reações nas estrelas ocorressem rapidamente elas queimariam todo o combustível rapidamente, em torno de 1 segundo ou menos e entrariam em colapso antes mesmo de propiciar condições para a formação de planetas.

O processo de fusão nuclear consegue produzir energia devido ao estado ligado do hélio ser maior do que o estado ligado dos prótons que originaram ele, como vocês já viram em Química sobre a energia de ligação, quando ocorre a fusão, basicamente usando 4 prótons para formar 1 hélio temos a seguinte relação:

$$E = [Z_{mp} + (A - Z)_{mn} - mz; A]. c^2$$

A massa do próton: $m_p=1{,}007825\,[uma],$ a do nêutron: $m_n=1{,}008665\,[uma]$

Enquanto a massa do hélio na tabela periódica vale: $m_{He} = 4,002604 [uma]$

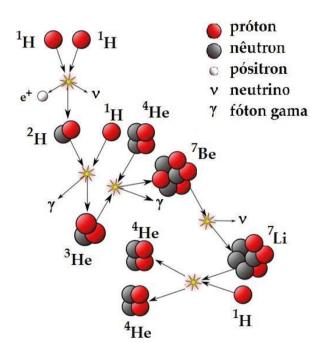
Gerando uma energia de ligação de: (1 uma = 931,4815 MeV)

$$E = [2.1,007825 + (4-2).1,008665 - 4,002604].931,4815$$
 $E = [2,0157 + 2,01733 - 4,002604].931,4815$
 $E = [2,0157 + 2,01733 - 4,002604].931,4815$
 $E = [0,030426].931,4815$
 $E = 28,341 \, MeV$

A diferença de massa, conhecido como *defeito de massa*, que irá ser convertida em energia, de acordo com a equação de Einstein $(E=\Delta m.c^2)$ e liberada para que ocorra esta reação.

Há também mais dois processos PP, chamado de PPII e PPIII, este também necessita do decaimento beta (β) inicial e um elemento adicional o Berílio (7 Be), o ciclo PPIII é de muito baixa ocorrência, menor de 0,1% das vezes, por isso não abordaremos.

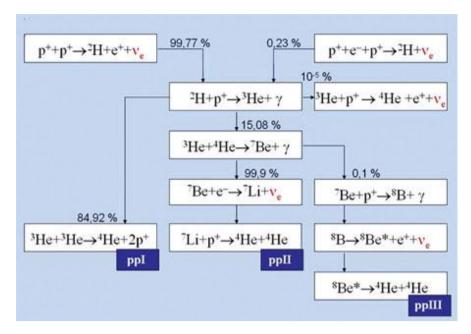
Abaixo há o Ciclo PPII.



Neste ciclo pode-se ver a produção de Berílio por um núcleo de Hélio (⁴He) e um Hélio 3 (³He) decai em Lítio (⁷Li) e forma-se não um, mas dois núcleos de Hélio (⁴He), e este processo ocorre 14% das vezes.

Fonte: As estrelas na sala de aula, Jorge Horvath, 2019.

Para completar a compreensão pode-se ver as reações e suas porcentagens aproximadas na imagem abaixo.



Fonte: http://www.quimlab.com.br/guiadoselementos/formacao_elementos.htm

Após a protoestrela iniciar seu processo de fusão de hidrogênio em hélio, esta passa a ser uma estrela aceita cientificamente e ocupará uma região denominada de Sequência Principal do Diagrama HR.

REFERÊNCIAS PARA ESTUDO

Vídeo documentário do Discovery Chanel "Como funciona o universo – Estrelas – Ep1" disponível em: https://youtu.be/_1vZylfYmZA, acessado em fev/2020.

Vídeo aula da Univesp, do professor João Steiner "Astronomia uma visão geral I" programa 26 "Estrelas: da adolescência à velhice" disponível em: https://youtu.be/YF7D9IVsKcE, acessado em nov/2020.

Vídeo-aula da Khan Academy sobre defeito de massa e energia de ligação, disponível em: https://pt.khanacademy.org/science/physics/quantum-physics/in-in-nuclei/v/mass-defect-and-binding-energy, acessado em nov/2020.

SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM 3

Esta terceira atividade apresentará a região conhecida como Sequência Principal, região tão importante para estudo onde ocorre a maior parte da permanência das estrelas durante a vida.

	Título	A Sequência Principal.	
em 3	Conteúdos		
		Tempo de vida das estrelas, fusão nuclear, relação	
	Trabalhados	luminosidade e raio.	
ğ	Objetivo	Apresentar a sequência principal e a sua	
za		importância na vida de estrelas.	
Aprendizagem	Organização da Turma	Grupo com 3 ou 4 integrantes na sala de aula.	
pr	Metodologia	Através do estudo da sequência principal, relacionar	
⋖		o consumo de energia como o tempo de vida da	
Ð		estrela e a relação de luminosidade e raio.	
٥ر	Materiais Necessários	Roteiro de estudo dirigido, folha para anotações,	
Si		lápis ou lapiseira, caneta, calculadora científica	
Ensino		(pode ser a do celular), primeira avaliação pontual.	
	Avaliação	Verificar se o estudante compreendeu o que faz a	
de		estrela estar e permanecer na sequência principal,	
Sequência		analisar a relação de produção de energia da	
		, , ,	
		estrela com raio e luminosidade na vida estelar.	
	OBS	Explicar o papel da sequência principal na vida das	
		estrelas, tempos de vida e mudanças em função do	
		raio e massa.	
	Duração	02 aulas de 45 minutos.	

Professor, nesta atividade os alunos irão trabalhar em grupos com um estudo dirigido, lembre-os que neste ponto a estrela está fusionando hidrogênio em hélio, por isso está na sequência principal do Diagrama HR.

Aproveite a aula para fazer alguns questionamentos como:

Quando a estrela entra na sequência principal?

Qual o processo de produção de energia de uma estrela na sequência principal?

Quais estrelas da sequência principal vivem mais? Por quê?

De acordo com o que já foi visto na 1ª série do Ensino Médio e até o momento nesta Sequência Didática, uma estrela dura para sempre? Explique sua resposta.

Como você explicaria a forma que as estrelas morrem?

Lembre-se de anotar todas as interações, estas são muito importantes para compreender como os alunos aprendem, é importante verificar se estão apresentando os conhecimentos prévios, os questionamentos propiciam isto, utilize nesta verificação.

O estudo dirigido favorece a interação social, já que será executado em grupo, o compartilhamento de ideias, a possibilidade de elaboração de hipóteses e verificação, isto é importante para o professor avaliar também, desenvolvendo uma avaliação paralela mais abrangente dos alunos.

Poderá também solicitar que os alunos respondam por escrito, mas será aplicada uma avaliação pontual também, cuidado com o tempo dispendido para que os alunos possam fazer a avaliação.

PRIMEIRA AVALIAÇÃO PONTUAL

Aplicar a primeira avaliação pontual que deverá ter sido marcada anteriormente, esta abordará os conteúdos, as grandezas utilizadas suas relações e servirá como verificação da aprendizagem dos alunos até o presente momento, contribuindo para a organização das informações e avaliando de forma gradativa o aprendizado, sem sobrecarregar de informações para avaliar, está previsto o uso de 2 aulas de 45 minutos para essa avaliação, lembre-se de avisar os alunos para trazerem calculadora científica para facilitar os cálculos.

REFERÊNCIAS PARA ESTUDO

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza, OLIVEIRA SARAIVA, Maria de Fátima, página de Astronomia e Astrofísica, neste tópico tratando sobre tempo de vida das estrelas, disponível em: http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/tempove/node1.htm, acessado em ago/2020.

Vídeo aula sobre de onde vem a energia das estrelas do curso de Astronomia: uma visão geral I, disponível em: https://youtu.be/MNcTFh-1WAM, acessado em ago/2020.

Simulador do Diagrama HR do DAS/INPE, disponível em: http://www.das.inpe.br/simuladores/diagrama-hr/, acessado em set/2020.

Simulador do Diagrama HR da Universidade de Nebraska em flash, disponível em: https://astro.unl.edu/classaction/animations/stellarprops/hrexplorer.html, acessado em set/2020.

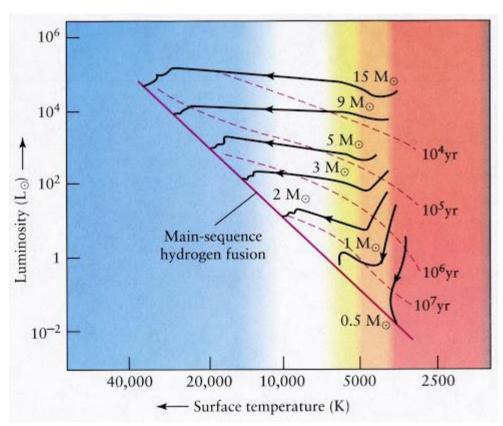
ATIVIDADE 3 – A SEQUÊNCIA PRINCIPAL

Estudo dirigido podendo ser executado em grupo com 3 ou 4 integrantes.

Objetivos: Estudo da Sequência Principal; Relacionar o consumo de energia com o Tempo de Vida das estrelas; Relacionar a Luminosidade com o Raio da estrela.

ESTUDO DA SEQUÊNCIA PRINCIPAL

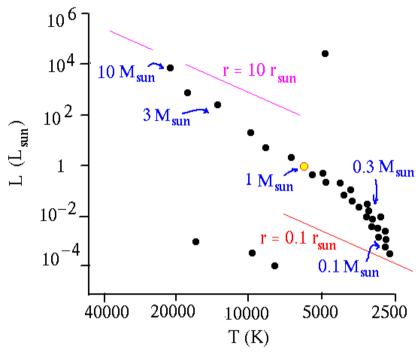
As protoestrelas levam muito tempo para se formarem e como os astrônomos dizem, demoram muito para entrar na sequência principal, esse tempo é devido a situação de desequilíbrio da nuvem e formação do caroço, afinal está passando de uma nuvem molecular para uma estrela, pode-se ver no gráfico abaixo que o tempo é inversamente proporcional a massa da protoestrela, isso devido a massa auxiliar na transformação da energia potencial em térmica no núcleo, proporcionado alcançar a temperatura de fusão do hidrogênio no núcleo da estrela.



Fonte: http://w3.phys.nthu.edu.tw/~hkchang/ga1/f2101010-PreMain.JPG

Lembre-se é neste ponto que a estrela "entra" na sequência principal e é chamado pelos astrônomos de *Zero Age Main Sequence* (ZAMS) ou sequência principal de idade zero, isso devido ao equilíbrio em queimar (processo de fusão nuclear) hidrogênio em hélio.

A sequência principal é uma região e não apenas uma linha, à medida que a estrela envelhece, ou seja, fusiona o hidrogênio do núcleo em hélio, este vai aumentando no núcleo e desloca um pouco a estrela da ZAMS, esta região é organizada de acordo com as massas das estrelas que fazem parte deste Diagrama HR, e isto pode ser visto na imagem abaixo:

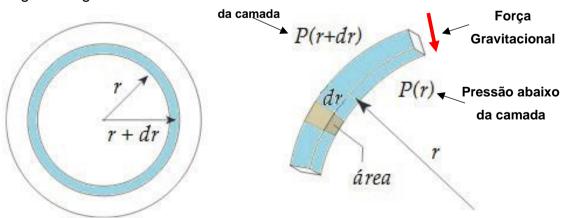


Fonte: https://pages.uoregon.edu/soper/Stars/hrdiagram.html

Para as estrelas estarem na sequência principal foi necessário que houvesse uma condição de equilíbrio entre a pressão interna da radiação e do gás, devido ao processo de fusão nuclear no núcleo e o equilíbrio da força gravitacional devido à sua própria massa, este tipo de equilíbrio faz a estrela passar muito tempo de sua vida na sequência principal.

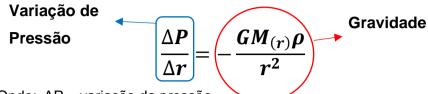
Observe como se dá o equilíbrio hidrostático em uma estrela, lembrando que para facilitar todos os cálculos de uma estrela consideramos ela uma esfera de gás autogravitante.

Pressão acima



Fonte: As estrelas na sala de aula, Jorge Horvath, 2019.

Este deve satisfazer a seguinte condição:



Onde: ΔP – variação da pressão

Δr – variação do raio

G – Constante de gravitação universal (6,67x10⁻¹¹ N.m²/kg²)

M_(r) – Massa contida no raio

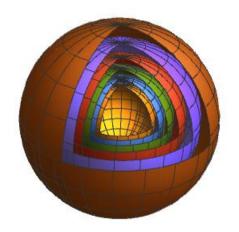
ρ – densidade do fluido (gás da estrela)

A equação acima pode parecer familiar, lembra de Newton? Então, a gravitação universal de Newton para duas massas m1 e m2, afastadas entre si de uma distância d, é dada:

$$F_g = \frac{G.\,m_1.\,m_2}{d^2}$$

Mas adaptamos para usar em um fluido, no caso da estrela, verifique que estamos usando a densidade do gás.

O equilíbrio hidrostático indica um balanço entre gravidade e pressão em cada camada (esfericamente simétrica) da estrela, se esse balanço é quebrado, a camada poderá encolher ou expandir, se a gravidade vencer, essa camada em forma de casca encolherá e se a pressão vencer, a camada expandirá.



Fonte: https://mathematica.stackexchange.com/questions/212628/concentric-layered-sphere-with-logarithmically-scaled-radius

CONSUMO DE ENERGIA X TEMPO DE VIDA

Na sequência principal as estrelas estão em equilíbrio hidrostático e queimam hidrogênio em hélio, assim dependendo de sua massa inicial, a velocidade de queima de seu combustível será proporcional, e a estrela poderá permanecer um tempo maior ou menor nesta região denominada de sequência principal.

Neste caso podemos imaginar estrelas como carros que possuem motores menores e outros com motores maiores, aqueles que possuem um motor maior, acabarão consumindo mais combustível e não conseguirão ir tão longe quanto aqueles com motores menores.

A relação utilizada para verificar isso é:

$$au(tempo\ de\ vida) \propto rac{M(massa)}{L(luminosidade)}$$

Dessa forma, quanto mais luminosa for uma estrela, mais rápido consome seu combustível e acaba durando um tempo menor.

Observando o Diagrama HR da página anterior onde está apresentado a massa das estrelas e tem indicação do raio estelar, podemos associar que a luminosidade da estrela cresce muito em função de sua massa, da seguinte forma:

$$L \propto M^4$$

Utilizando-se dessa relação dizemos que o tempo de vida depende apenas da massa da estrela, seguindo a equação abaixo:

$$\tau(tempo\ de\ vida) = \frac{1}{M^3}$$

Sabendo-se o tempo de vida do Sol podemos relacionar o tempo de vida das estrelas em relação ao tempo de vida solar, este tempo é de 10 bilhões de anos e podemos ter uma equação mais direta.

$$\tau_{SP} = 10^{10} (anos) \frac{M_{\odot}^3}{M_{\star}^3}$$

Usando a relação da massa da estrela em relação à massa solar obtémse o valor em anos, podendo ser milhares, milhões ou bilhões, dependendo apenas da massa da estrela.

O tempo de vida do Sol foi determinado com base na fusão nuclear, usando para isso a relação de massa e energia proposta por Albert Einstein (E=m.c²), observe abaixo como fazer isso.

O Sol utiliza 4 prótons para fundir 1 núcleo de hélio (conhecido como partícula alfa).

$$4m_p = (4,0324u) \rightarrow 1m_\alpha = (4,0039u) \Delta m = 4,0324u - 4,0039u$$

$$\Delta m = 0,0285u$$

Dividindo pelo total, obtemos a porcentagem da seguinte forma:

$$\Delta m = \frac{0.0285u}{4.0324u}$$
 $\Delta m = 0.007$ $\Delta m = 0.7\%$

Que representa 0,7% da massa que começou o processo de fusão,

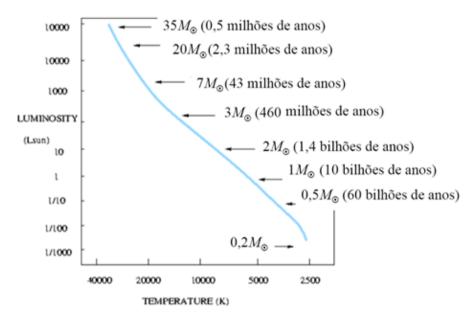
portanto o Sol utiliza apenas essa porcentagem para produzir energia, e de acordo com um limite chamado de limite de Schenberg-Chandrasekhar, proposto por estes dois pesquisadores, o brasileiro Mario Schenberg e o indiano naturalizado estadunidense Subramanyan Chandrasekhar, que indica que apenas 10% da massa da estrela que está em seu núcleo é utilizado para o processo de fusão, e sua energia na sequência principal passa a ser:

$$E_{SP} = 0,007.0, 1. M. c^2$$
 $E \odot_{SP} = 0,007.0, 1.1,9x10^{30}.(3x10^8)^2$ $E \odot_{SP} = 1,26x10^{44} J$

Se usarmos isso com a luminosidade do Sol de 3,9x10²⁶J/s, representará seu tempo de vida.

$$\tau \odot_{SP} = \frac{1,26x10^{44}}{3.9x10^{26}} \qquad \qquad \tau \odot_{SP} = 3,29x10^{17}s \qquad \qquad \tau \odot_{SP} = 10^{10}anos$$

Relação aproximada de tempo que as estrelas passam na sequência principal queimando hidrogênio em hélio em seu núcleo, após isso inicia-se um desequilíbrio devido a presença do hélio no núcleo, levando a estrela evoluir de acordo com sua massa.



Fonte: Notas de aula professor Alex C. Carciofi, aula 7, www.astro.iag.usp.br/ ~carciofi / aulas_aga0210/aula7.pdf

LUMINOSIDADE X RAIO

Agora que já trabalhamos bastante com algumas propriedades das estrelas e suas relações, podemos verificar essa relação tão importante que pode ser verificada no Diagrama HR, a relação de luminosidade e raio da estrela.

Essa relação é muito importante, podemos estimar dessa forma o tamanho das estrelas de forma indireta, coletando os dados de sua luminosidade através do fluxo com sua distância e sua temperatura efetiva.

Utilizando para isso a devida equação:

$$L = \sigma. T^4. 4. \pi. R^2 \qquad \qquad R = \sqrt{\frac{L}{\sigma. T^4. 4. \pi}}$$

Podemos ver um exemplo para a estrela Vega:

Luminosidade = 2,62x10²⁸ W; T_{eff} = 10.105 K; σ =5,67x10⁻⁸ W/m²K⁴

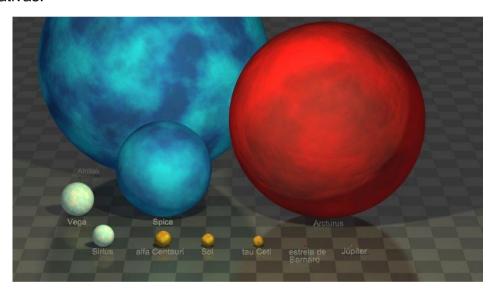
Portanto seu raio será de:

$$R = \sqrt{\frac{2,62x10^{28}}{5,67x10^{-8}.10105^{4}.4.\pi}} \qquad R = 1,88x10^{9}m$$

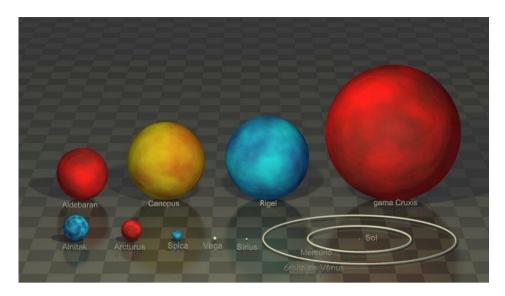
Possuindo assim um raio em relação ao Sol de:

$$R = \frac{1,878x10^9}{6,963x10^8} \qquad R = 2,69R_{\odot}$$

Algumas estrelas podem ser bem diferentes do nosso Sol e seus tamanhos e processos nucleares também, verifique abaixo algumas imagens ilustrativas.



Fonte: http://www.astro.iag.usp.br/~gastao/PlanetasEstrelas/



Fonte: http://www.astro.iag.usp.br/~gastao/PlanetasEstrelas/

Sabemos que a luminosidade depende do raio da estrela, e que há uma relação bem direta em relação ao Sol que facilita bastante algumas verificações, onde podemos determinar o raio ou a luminosidade de uma estrela em relação ao Sol, desde que tenhamos uma das duas incógnitas.

$$\frac{L_{\star}}{L_{\odot}} = \left(\frac{R_{\star}}{R_{\odot}}\right)^{2} \cdot \left(\frac{T_{\star}}{T_{\odot}}\right)^{4}$$

Dividimos membro a membro para nos desfazermos dos coeficientes, professor é importante resolver um exemplo em sala.

Exemplo: Determinar a luminosidade da estrela Bellatrix que possui raio de 6 R0 e temperatura de 21.750 K. Dados T0 = 5.800 K.

$$\frac{L_{\star}}{L_{\odot}} = \left(\frac{R_{\star}}{R_{\odot}}\right)^{2} \cdot \left(\frac{T_{\star}}{T_{\odot}}\right)^{4} \qquad \frac{L_{\star}}{L_{\odot}} = \left(\frac{6 R_{\odot}}{R_{\odot}}\right)^{2} \cdot \left(\frac{21.750}{5.800}\right)^{4}$$

$$\frac{L_{\star}}{L_{\odot}} = (6)^{2} \cdot (3,75)^{4} \qquad \frac{L_{\star}}{L_{\odot}} = 36 \cdot 197,75 \qquad L_{\star} = 7 \cdot 119 L_{\odot}$$

Podendo determinar de forma aproximada os valores para as estrelas.

Para o caso do Diagrama HR a denominação quanto ao tamanho das estrelas é adotada da seguinte forma:

Anã branca: raio comparável ao da Terra

Anã: 0,1R0< R<10-20 R0 **Gigante:** 10R0< R< 100R0

Supergigante: 100R0< R< 1.000 R0

Os remanescentes de estrela classificados como anãs brancas, possuem uma alta densidade e um tamanho que se pode comparar com o tamanho do

planeta Terra, agora este remanescente é apenas um corpo celeste que está esfriando, não apresentando reação de fusão nuclear.

As estrelas consideradas como anãs no Diagrama HR são quaisquer estrelas que se encontrem na região da sequência principal.

Estrelas consideradas gigantes no Diagrama HR são apenas uma fase de evolução da estrela ao saírem da sequência principal, não são formadas estrelas gigantes, todas apresentam a classificação inicial de anãs ao fusionarem hidrogênio em hélio na sequência principal.

As estrelas consideradas supergigantes também são uma fase da evolução de estelas de alta massa ao saírem da sequência principal.

Para efeito de comparação de tamanho das estrelas e ilustrar o que estamos propondo, pode-se apresentar aos alunos um vídeo disponível no endereço do *youtube*: https://youtu.be/GV5ogaKrGYY

Como apresentado anteriormente, estas denominações não explicam nada, precisamos compreender o que ocorre no interior das estrelas que ocasionam as mudanças, é uma denominação subjetiva, Feynman insistia muito nisso, podemos ver na sua fala abaixo:

"Você pode saber o nome de um pássaro em todas as línguas do mundo, mas quando terminar, você não saberá absolutamente nada sobre o pássaro ... Então, vamos olhar para o pássaro e ver o que está fazendo - isso é o que conta. Aprendi muito cedo a diferença entre saber o nome de algo e saber algo." R. P. Feynman, in: What do you care what other people think? (tradução do autor).

REFERÊNCIAS PARA ESTUDO

Notas de aula do professor Alex C. Carciofi, disponível em: http://www.astro.iag.usp.br/~carciofi/aulas_aga0210/aula7.pdf, acessado em ago/2020.

Vídeo aula de onde vem a energia das estrelas do curso de Astronomia: uma visão geral I, disponível em: https://youtu.be/MNcTFh-1WAM, acessado em ago/2020.

Simulador da Universidade de Nebraska Diagrama HR interativo, disponível em: https://astro.unl.edu/classaction/animations/stellarprops/hrexplorer.html, acessado em set/2020.

Simulador do INPE/DAS, Diagrama HR, Disponível em: http://www.das.inpe.br/simuladores/diagrama-hr/, acessado em set/2020.

Nome:	n°	Série:	
-------	----	--------	--

FOLHA DE ATIVIDADES - ESTUDO DIRIGIDO

Leia completamente o texto da atividade 3 sobre a sequência principal, após sua leitura em grupo, elabore as respostas das questões abaixo para melhor compreensão do texto, lembre-se de dividir as tarefas.

Identifique o que faz uma estrela entrar na sequência principal, anote as informações abaixo:

- 1) Responda o que é a sequência principal?
- 2) Após ter lido o texto, entre em consenso com seu grupo para poder explicar como ocorre o equilíbrio hidrostático em uma estrela?
- As estrelas não duram para sempre, como ocorre a relação entre o tempo de vida e a massa das estrelas (não coloque apenas as fórmulas), explique por escrito.
- 4) Usamos uma relação entre o tempo de vida na sequência principal do Sol e das demais estrelas para facilitar o cálculo, usando a mesma equação, calcule o tempo de vida de duas estrelas uma de 0,8Mo e outra de 18Mo, compare com a tabela apresentada e verifique se está correta.
- 5) Uma das relações mais importantes é a de luminosidade e raio da estrela, pois com algumas medições indiretas podemos determinar o raio de uma estrela em função de raios solares. Usando esta relação que está em seu material determine o raio da estrela Rigel. Atenção nas potências e sinais. Dados da estrela Rigel: Luminosidade = 3,3x10³¹ W; T_{eff} = 11.500 K
- 6) Verifique seu resultado usando a relação simplificada, que se encontra na última página de seu texto. Atenção nas potências e sinais.
 Dados estrela Rigel: Luminosidade = 85.000 LO; T_{eff} = 11.500 K; TO = 5.870 K

Nome:	n°:	Série:
-------	-----	--------

PRIMEIRA AVALIAÇÃO PONTUAL - DIAGRAMA HR

- 1) Usando a relação entre as magnitudes absolutas de estrelas M* MO = -2,5 log (L*/LO) podemos determinar sua luminosidade em termos de luminosidade solar LO, calcule quantas vezes a estrela Electra é mais luminosa que o Sol. MO = +4,77 e M* = -1,75. (1,0 ponto)
- 2) Um dos grandes desafios da Astronomia foi conseguir usar um método para determinar a distância dos astros, o primeiro método utilizado é o da paralaxe estelar. Sabe-se que a paralaxe é a mudança aparente de posição de um objeto ao mudar a posição do observador, utilizando a determinação por paralaxe **D**_{pc} = 1/paralaxe (segundos de arco), qual a distância em parsec de uma estrela que apresenta 0,05 segundos de arco (0,05")? (1,0 ponto)
- 3) Os astrônomos utilizam a equação **D** = **10** (m-M+5) / 5 que é o módulo da distância, sendo dessa forma mais simplificada, sem o logaritmo, utilizando-se esta relação, determine a distância em parsec de uma estrela que apresenta magnitude absoluta de M = 0,61 e magnitude aparente de m = 1,58. (1,0 ponto)
- Sabendo-se em qual comprimento de onda uma estrela emite a maior parte de sua radiação, podemos determinar sua temperatura efetiva usando a Lei de Wien
 - $\lambda_{\text{max}} = 2.900 \text{ (nm.K) / T}_{\text{eff}} \text{ (10}^{3}\text{K)}$. Determine a temperatura efetiva de uma estrela que consegue emitir no máximo de intensidade por volta de 100 nm e de outra que emite 1.200 nm. (1,0 ponto)
- 5) Estudamos que o meio interestelar é repleto de poeira e gases, este meio pode favorecer o nascimento de estrelas, descreva como ocorre a formação de uma protoestrela, partindo de uma nuvem molecular gigante. (1,0 ponto)
- 6) Os cientistas afirmam que o processo de fusão nuclear das estrelas e sua longa vida só é possível graças ao decaimento beta (β), como esse decaimento interfere no ciclo P-P de uma estrela? Explique. (1,0 ponto)
- 7) Uma estrela para estar na sequência principal deverá estar "queimando" hidrogênio em seu núcleo. Explique ou desenhe como ocorre o equilíbrio hidrostático na estrela da sequência principal. (1,0 ponto)
- 8) Vimos que o tempo de vida de uma estrela depende diretamente de sua massa, quanto maior sua massa, mais rápido ela queima o combustível e morre. A maioria das estrelas tem seu tempo de vida calculado com base no tempo do Sol τ_{sp} = 10¹⁰.(Mo³/M*³). Determine o tempo de vida de uma estrela de 0,5 Mo e outra de 40 Mo. (1,0 ponto)
- 9) Uma das relações mais importantes do Diagrama HR é de luminosidade e raio estelar, usando a relação L*/L0 = (R*/R0)². (T*/T0)⁴, calcule em função de raios solares, o raio de uma estrela que possui luminosidade L* = 5.880 L0, temperatura T* = 24.000 K. T0 = 5.860 K. (2,0 pontos)

SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM 4

Esta quarta atividade mobilizará o conhecimento da 1ª série do Ensino Médio, sendo complementado o que já foi estudado referente aos produtos finais da evolução estelar.

4	Título	Caminhos Pós-Sequência Principal.
Sequência de Ensino e Aprendizagem	Conteúdos Trabalhados	Processos de fusão nuclear de estrelas, processos de transferência de calor e nucleossíntese estelar.
	Objetivo	Elaborar mapas conceituais.
	Organização da Turma	Duplas ou grupos de acordo com o critério do professor.
	Metodologia	Utilizar as informações distintas para cada grupo de estrelas e em duplas ou grupos elaborar mapas conceituais com os conceitos apresentados.
	Materiais Necessários	Textos de cada grupo de estrelas, folha de sulfite ou de caderno, lápis, caneta ou canetinhas.
	Avaliação	Verificar se os estudantes conseguem relacionar a massa inicial da estrela com sua trajetória, e se eles conseguem relacionar com a produção dos elementos químicos.
	OBS	Analisar as ligações dos conceitos apresentado pelos estudantes.
S	Duração	02 aulas de 45 minutos.

Professor esta atividade deverá ser aplicada usando a metodologia de elaboração de mapas conceituais, os materiais devem ser checados e separados anteriormente para cada dupla ou grupo e escolhido o local a ser utilizado, lembre-se que poderá também utilizar a sala de aula com as organizações necessárias, da sala, das carteiras e cadeiras e dos alunos.

O papel do professor é verificar se compreenderam a atividade e se estão elaborando mapas conceituais ou mentais, atenção que é muito importante a construção correta do tipo de mapa, as ligações entre os conceitos devem aparecer e estar relacionada com o material apresentado, observe os alunos tanto individualmente quanto em duplas ou grupos, com suas colaborações, distrações, interesses, centrando a aprendizagem no aluno, são eles que precisam elaborar os mapas, e lembrando que não há mapa errado, pode ser necessário a explicação do aluno para compreender seu processo de pensamento.

Se houver tempo ainda professor, poderá elaborar algumas questões para a sala como:

Como uma estrela de baixa massa evolui de acordo com o Diagrama HR?

Uma estrela de alta massa poderá evoluir para uma anã branca? Por que não?

Quais são os possíveis remanescentes de uma estrela de massa intermediária?

Como uma estrela deixa a sequência principal para evoluir? Explique.

Uma nebulosa planetária poderá formar planetas? Explique.

REFERÊNCIAS PARA ESTUDO

HORVATH, Jorge Ernesto. As estrelas na sala de aula: uma abordagem para o ensino da Astronomia estelar. Livraria da Física. São Paulo. 2019.

MOREIRA, Marco Antonio. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. Instituto de Física. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 1997. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf, acessado em jun. 2020.

PIETROCOLA, Maurício, POGIBIN, Alexander, ANDRADE, Renata de, ROMERO, Talita Raquel. **Física em contextos, 1: Ensino Médio**. Editora do Brasil. São Paulo. 2016.

Vídeo aula do professor João Steiner sobre evolução das estrelas "Estrelas: da adolescência à velhice", do curso de Astronomia uma visão geral I, disponível em: https://youtu.be/YF7D9IVsKcE, acessado em ago. 2020.

Material sobre Mapas Conceituais, informações e softwares para elaboração, disponível nos seguintes endereços: Software CMAP Tools - https://cmaptools.softonic.com.br/; Lucidchart - https://www.lucidchart.com/pages/pt/o-que-e-um-mapa-conceitual, pode ser utilizado on-line ou por meio de download.

Vídeos que podem ser indicados para alunos: https://youtu.be/F54SWctP7-E ou https://youtu.br/vLFVLmUhSQo

ATIVIDADE 4 - CAMINHOS PÓS-SEQUÊNCIA PRINCIPAL

Atividade a ser realizada por meio de elaboração de mapas conceituais, cada grupo ou dupla, a critério do professor, deverá executar 3 mapas conceituais, sendo um para estrelas de baixa massa, um para estrelas de massa intermediária e o último para estrelas de alta massa.

Professor, se achar pertinente, poderá apresentar à sala alguns dos mapas e solicitar uma elaboração em conjunto de um mapa para a sala toda, lembre-se do tempo disponível para essa atividade.

REFERÊNCIAS PARA ESTUDO

CHAISSON, Eric, MCMILLAN, Steve. **Astronomy Today**. 5th edition. Pearson Prentice Hall, Inc. 2005.

CHAISSON, Eric, MCMILLAN, Steve. **Astronomy Today**. 8th edition. Pearson Education, Inc. 2014.

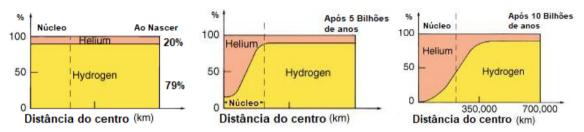
HORVATH, Jorge Ernesto. As estrelas na sala de aula: uma abordagem para o ensino da Astronomia estelar. Livraria da Física. São Paulo. 2019.

Página do Observatório Las Cumbres, simulador para Diagrama HR (star in a box), disponível em: https://lco.global/education/resources/interactive/, acessado em ago. 2020.

MATERIAL PARA 1° MAPA CONCEITUAL – ESTRELAS DE BAIXA MASSA 0,25Mo ≤ M ≤ 2,5Mo

Vamos estudar neste momento a evolução estelar após a sequência principal, as estrelas vão deixar a sequência principal apenas quando diminuir muito o hidrogênio em seu núcleo, na estrela ainda há 85% de hidrogênio original, mas as condições de fusão deixam de ser possíveis e o equilíbrio não se sustenta mais.

Para o caso do Sol observe as imagens abaixo com a descrição de redução do hidrogênio em seu núcleo.

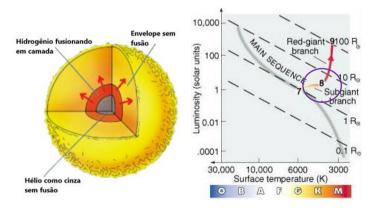


Fonte: Chaisson & McMillan, Astronomy Today 5th edition.

Como a pressão no núcleo enfraquece, com a redução do hidrogênio, a força gravitacional vai ganhando e contraindo o núcleo da estrela.

Para fusionar hélio o núcleo deve ultrapassar a temperatura de 100.000.000 K.

Uma vez contraindo o núcleo, este se aquece juntamente com as camadas vizinhas e o hidrogênio começa a queimar nas camadas acima do núcleo, o núcleo com hélio inerte (sem queima) desequilibra a estrela que precisa voltar para a condição de equilíbrio $\Omega_g + 2U = 0$, e enquanto o caroço (núcleo) se contrai, o raio da estrela se expande para manter a conservação de energia, fazendo-a sair da sequência principal.



Fonte: Chaisson & McMillan, Astronomy Today 5th edition.

Dessa forma vemos no Diagrama HR como isso ocorre, dizemos que a estrela se deslocou para

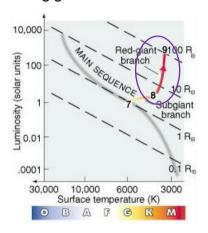
Estágio 7 – a estrela fica 10¹⁰ anos, sua temperatura central é de 15.000.000 K, a superficial 6.000 K – ela está na sequência principal.

Estágio 8 – a estrela fica 10⁸ anos, sua temperatura central é de 50.000.000 K, a superficial 4.000 K – ela está no ramo da sub-gigante.

o ramo das sub-gigantes, suas camadas mais externas se resfriam, com isso sua temperatura superficial diminui (Tsuperficial = Teff).

Uma vez que a estrela se encontra no ramo das sub-gigantes há um pequeno aumento da sua luminosidade.

Na próxima etapa de evolução a estrela sai do estágio 8 para o 9, no ramo das gigantes vermelhas.



Sua fotosfera começa a ficar "opaca" a radiação não consegue atravessar, o processo de convecção transporta a energia para as regiões mais externas, com queima mais intensa nas camadas próximas ao núcleo, as camadas mais externas se expandem e a luminosidade aumenta, mas sua temperatura fica constante.

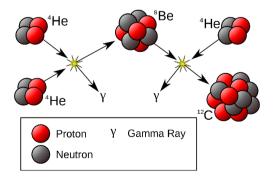
Fonte: Chaisson & McMillan, Astronomy Today 5th edition.

No estágio 9 de acordo com a massa da estrela poderá ocorrer alguns casos.

Se a massa da estrela for menor ¼ Mo, ou seja, de muito baixa massa, ela irá viver muito (podendo ultrapassar a atual idade do universo) e acabará sua vida como uma anã branca.

Estágio 9 – a estrela fica 10^5 anos, sua temperatura central é de 100.000.000 K, a superficial 4.000 K – ela está no ramo das gigantes vermelhas.

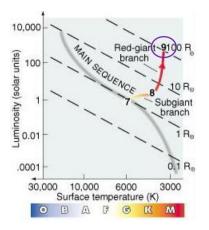
Mas, se a temperatura do núcleo ultrapassar 1.000.000.000 K inicia-se a fusão do hélio por um processo chamado de triplo alfa, transformando hélio agora em carbono.



As partículas Alfa são os núcleos de Hélio, 2 prótons e 2 nêutrons

Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Triple-alpha_process

Ainda temos uma possibilidade que ocorre para estrelas que possuem massa entre 0,8Mo e 2,5Mo, algo espetacular, o flash do hélio.



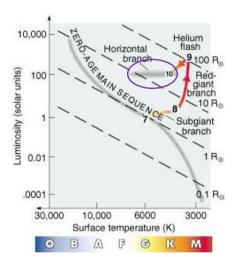
A pressão dentro do núcleo de hélio que evita seu colapso é quase totalmente devido a "degenerescência dos elétrons", isso ocorre devido a condição de compressão altíssima.

Para evitar o colapso a pressão de degenerescência substitui a pressão térmica, e independe da temperatura, ocorre queima instável, a temperatura aumenta e a pressão não acompanha proporcionalmente.

Fonte: Chaisson & McMillan, Astronomy Today 5th edition.

Com isso o hélio queima explosivamente como soluços de fusão, levando horas até que a temperatura atinja um valor alto suficiente para que a pressão do gás se torne importante novamente.

Continuando agora no que chamamos de ramo horizontal, ainda para estrelas de massa entre 0,8Mo e 2,5Mo.



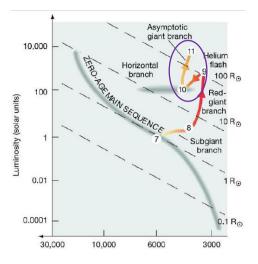
Após a pressão do gás se tornar importante novamente, ocorre o ajuste do equilíbrio da estrela, seu núcleo se expande e a sua densidade central diminui com isso a luminosidade e o raio também diminuem.

Agora há queima estável do hélio.

Estágio 10 – a estrela fica $5x10^7$ anos, sua temperatura central é de 200.000.000 K, a superficial 5.000 K – ela está no ramo horizontal.

Fonte: Chaisson & McMillan, Astronomy Today 5th edition.

Na próxima etapa de evolução a estrela se desloca do estágio 10 para o 11 indo para o ramo assintótico das gigantes.



O hélio se esgota rapidamente no ramo horizontal (dezenas de milhões de anos), começando se formar um núcleo inerte de carbono, que novamente o núcleo se contrai e a temperatura central aumenta, queimando ainda o hélio e o hidrogênio em camadas mais externas.

Estágio 11 – a estrela fica 10⁴ anos, sua temperatura central é de 250.000.000K, a superficial 4.000K – ela está no ramo assintótico das gigantes.

Fonte: Chaisson & McMillan, Astronomy Today 5th edition.



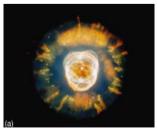
Fonte: Chaisson & McMillan, Astronomy Today 5th edition.

Após o estágio 11 o núcleo se contrai novamente e a temperatura central cresce mais para estrelas de baixa massa (entre 0,25Mo e 2,5Mo), mas não consegue atingir 600.000.000 K para queimar o carbono no núcleo.

Novamente entra em ação a pressão de degenerescência, um pouco de oxigênio é formado pela queima do hélio, e pode ocorrer novos flashes de hélio em camada.

Esses flashes fazem a estrela se tornar pulsante, variando seu brilho e seu raio, e estas pulsações vão aumentando cada vez mais seu raio até que finalmente, as camadas externas da estrela são ejetadas, se transformando em uma nebulosa planetária (não tem nada a ver com planetas).

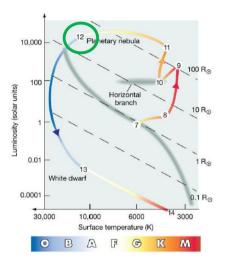
Aproximadamente 10.000 anos para o gás expandir totalmente e se dispersar no meio interestelar, enriquecendo o meio, como os astrônomos chamam, aumentando sua metalicidade.



A estrela agora são duas partes, uma central com um núcleo pequeno de C-O, quente e denso e muito luminoso ainda, somente as partes mais externas do núcleo continuam fundindo hélio para formar carbono e oxigênio, e a externa que é o envoltório que foi ejetado, formando uma nebulosa planetária.

Fonte: Chaisson & McMillan, Astronomy Today 5th edition.

Mas este núcleo se desloca no Diagrama HR como se pode ver na imagem abaixo.



Fonte: Chaisson & McMillan, Astronomy Today 5th edition.

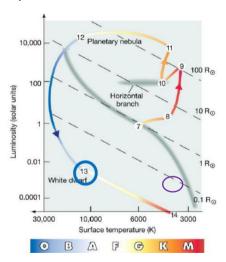
Com o hélio exaurido nas camadas externas ao núcleo, novamente o núcleo se contrai e aumenta a temperatura superior e isso faz a estrela se deslocar para a esquerda no HR.

O núcleo produz radiação UV por isso a nuvem tem sua parte interna em destaque e no espectro aparece linhas de emissão.

Estágio 12 – a estrela fica 10⁵ anos, sua temperatura central é de 300.000.000 K, a superficial 100.000 K – Núcleo de Carbono - Oxigênio.

Agora o que resta é o estágio de anã branca, ela possui um tamanho aproximado de 0,01R0 e sua massa é aproximadamente ½ Mo.

A anã branca é sustentada apenas pela pressão de elétrons degenerados, sendo que possui um limite de massa para suportar, chamado de limite de Chandrasekhar de 1,4M0, se passar disso a pressão de degenerescência não suporta e a estrela entra em colapso.



Estágio 13 - Sua temperatura central é de 100.000.000 K, a superficial 50.000 K - Anã Branca.

Estágio 14 – Sua temperatura central e superficial é próxima do meio interestelar e a anã branca esfriou.

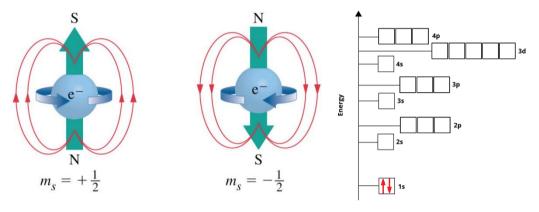
Fonte: Chaisson & McMillan, Astronomy Today 5th edition.

Quando se fala em elétrons degenerados, está se referindo a um fenômeno quântico, onde os elétrons ocupam todos os níveis possíveis, isso é como uma sala de aula onde todas as cadeiras estão ocupadas com alunos, não sobrando nenhum assento livre.



Fonte: https://www.pexels.com/pt-br/foto/116395/

Lembre-se, isto já foi visto na disciplina de Química esta condição em que era verificado no diagrama de Aufbau (1s2, 2s2, ...) o elemento químico e posicionado seus elétrons, com spins para cima e para baixo.

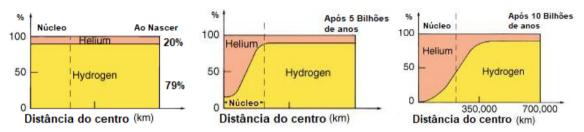


Fonte: https://i.stack.imgur.com/qigFz.png Fonte: https://i.stack.imgur.com/h9kW0.png

MATERIAL PARA O 2° MAPA CONCEITUAL – ESTRELAS DE MASSA INTERMEDIÁRIA 2,5M0 < M ≤ 8M0

Vamos estudar neste momento a evolução estelar após a sequência principal, as estrelas vão deixar a sequência principal apenas quando diminuir muito o hidrogênio em seu núcleo, na estrela ainda há 85% de hidrogênio original, mas as condições de fusão deixam de ser possíveis e o equilíbrio não se sustenta mais.

Para o caso do Sol observe as imagens abaixo com a descrição de redução do hidrogênio em seu núcleo.

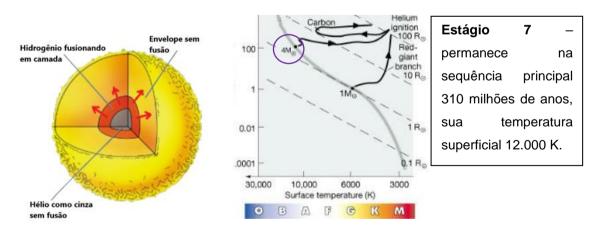


Fonte: Chaisson & McMillan, Astronomy Today 5th edition.

Como a pressão no núcleo enfraquece, com a redução do hidrogênio, a força gravitacional vai ganhando e contraindo o núcleo da estrela.

Para fusionar hélio o núcleo deve ultrapassar a temperatura de 100.000.000 K.

Uma vez contraindo o núcleo, este se aquece juntamente com as camadas vizinhas e o hidrogênio começa a queimar nas camadas acima do núcleo, o núcleo com hélio inerte (sem queima) desequilibra a estrela que precisa voltar para a condição de equilíbrio $\Omega_g + 2U = 0$, e enquanto o caroço (núcleo) se contrai, o raio da estrela se expande para manter a conservação de energia, fazendo-a sair da sequência principal.



Fonte: Chaisson & McMillan, Astronomy Today 5th edition.

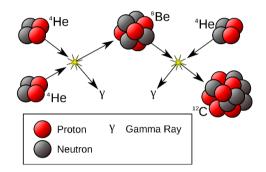
Dessa forma vemos no Diagrama HR como isso ocorre para uma estrela de 4M0, dizemos que a estrela se deslocou para o ramo das gigantes, suas

camadas mais externas se resfriam, com isso sua temperatura superficial diminui (Tsuperficial = Teff).

Uma vez que a estrela se encontra no ramo das gigantes há um pequeno aumento da sua luminosidade.

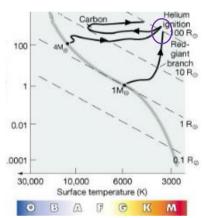
Na próxima etapa de evolução a estrela continua no ramo das gigantes, e como sua massa é maior que 2,5M0 inicia-se o processo de fusão chamado de triplo alfa, que fusiona hélio em carbono, não diminui sua luminosidade.

Observe abaixo o processo triplo alfa que só ocorre quando a temperatura do núcleo ultrapassar 1.000.000.000 K.



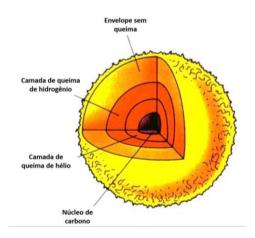
As partículas Alfa são os núcleos de Hélio, 2 prótons e 2 nêutrons

Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Triple-alpha_process



Neste ponto é que inicia a fusão do hélio de forma estável, como agora a estrela está com o novo processo de fusão, sua temperatura vai aumentando no núcleo e transferindo o calor para as camadas vizinhas, a estrela terá um aumento de temperatura, mas sua luminosidade permanece constante.

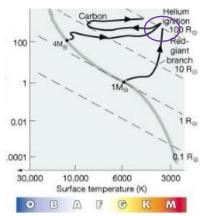
Fonte: Chaisson & McMillan, Astronomy Today 5th edition.



Fonte: Chaisson & McMillan, Astronomy Today 5th edition.

Durante a fusão do hélio há formação de carbono em seu núcleo, como cinzas da queima do combustível.

A estrela vai fusionando o hélio em carbono até que o hélio no núcleo se esgote, com isso haverá a formação de um núcleo inerte de carbono.



Com este núcleo de carbono, poderá ocorrer algumas possibilidades, dependendo da massa da estrela.

Se a massa da estrela estiver entre 2,5M0 e 8M0, estas estrelas terminam suas vidas como anãs brancas de carbono e oxigênio C-O.

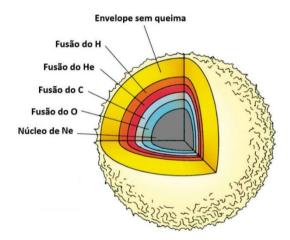
Mas se a massa da estrela estiver entre 8Mo e 10Mo, elas irão fusionar carbono e oxigênio C-O.

Fonte: Chaisson & McMillan, Astronomy Today 5th edition.

As reações que ocorrem são apresentadas abaixo:

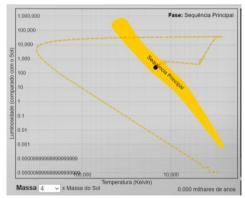
$$^{12}\text{C} + ^{4}\text{He} \rightarrow ^{16}\text{O} + \text{V}$$
 $^{16}\text{O} + ^{4}\text{He} \rightarrow ^{20}\text{Ne} + \text{V}$

Neste caso a estrela irá fusionar o carbono e o oxigênio ficando em camadas e como cinza restará um núcleo de neônio e oxigênio.



Fonte: Chaisson & McMillan, Astronomy Today 5th edition.

Mas este núcleo se desloca no Diagrama HR.



Com o carbono exaurido nas camadas externas ao núcleo, novamente o núcleo se contrai e aumenta a temperatura superior e isso faz a estrela se deslocar para a esquerda no HR.

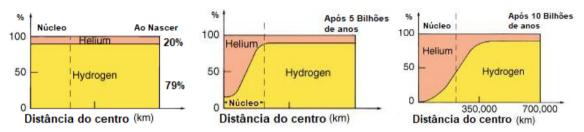
Fonte: Las Cumbres Observatory, www.starinabox.lco.global.

Agora o que resta é um núcleo degenerado de O-Mg-Ne, oxigênio, magnésio e neônio, sendo sustentado apenas pela pressão de elétrons degenerados, e que possui um limite de massa para suportar, chamado de limite de Chandrasekhar de 1,4Mo, se passar disso a pressão de degenerescência não suporta e a estrela entra em colapso e produzem como remanescente estrela de nêutrons.

MATERIAL PARA O 3° MAPA CONCEITUAL – ESTRELAS DE ALTA MASSA M > 10M0

Vamos estudar neste momento a evolução estelar após a sequência principal, as estrelas vão deixar a sequência principal apenas quando diminuir muito o hidrogênio em seu núcleo, na estrela ainda há 85% de hidrogênio original, mas as condições de fusão deixam de ser possíveis e o equilíbrio não se sustenta mais.

Para o caso do Sol observe as imagens abaixo com a descrição de redução do hidrogênio em seu núcleo.

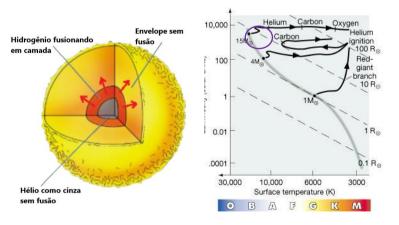


Fonte: Chaisson & McMillan, Astronomy Today 5th edition.

Como a pressão no núcleo enfraquece, com a redução do hidrogênio, a força gravitacional vai ganhando e contraindo o núcleo da estrela.

Para fusionar hélio o núcleo deve ultrapassar a temperatura de 100.000.000 K.

Uma vez contraindo o núcleo, este se aquece juntamente com as camadas vizinhas e o hidrogênio começa a queimar nas camadas acima do núcleo, o núcleo com hélio inerte (sem queima) desequilibra a estrela que precisa voltar para a condição de equilíbrio $\Omega_g + 2U = 0$, e enquanto o caroço (núcleo) se contrai, o raio da estrela se expande para manter a conservação de energia, fazendo-a sair da sequência principal.



Estágio – permanece na sequência principal 40 milhões de anos, sua temperatura superficial aproximada 30.000 K.

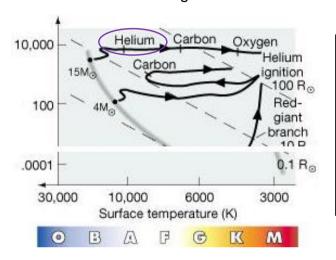
Fonte: Chaisson & McMillan, Astronomy Today 5th edition.

Estas estrelas mais massivas, possuem condições para fusionar elementos mais pesados, além do carbono e oxigênio C-O ou mesmo neônio e oxigênio Ne-O.

A separação entre caroço e envelope pode não ser bem definida, pois com a alta temperatura, os gases passam a transportar o calor por convecção e as regiões mais centrais ficam com temperatura constante, e a fusão do hidrogênio em seu núcleo cessa devido ao processo de convecção que leva o hidrogênio e o mistura como em uma chaleira fervendo.

Passam por estágio de supergigante vermelha com luminosidade aproximadamente constante, aumenta de tamanho e diminui sua temperatura superficial, por isso se desloca para a direita no Diagrama HR.

Observe bem a figura em detalhe abaixo:



Estágio – queima de hélio de forma controlada, sua massa é suficiente para ter temperatura no núcleo maior 100.000.000 K.

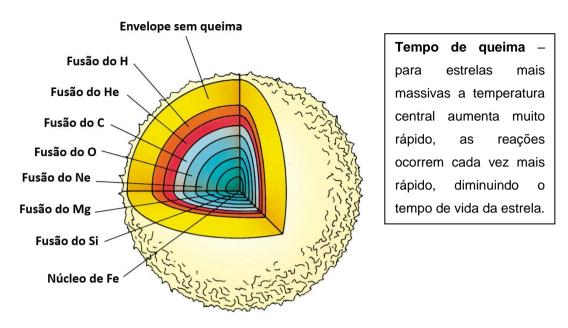
Para o carbono 600.000.000 K e vai aumentando quanto mais pesado for o elemento.

Fonte: Chaisson & McMillan, Astronomy Today 5th edition.

Este processo de fusão vai continuando para os demais elementos como, carbono, e oxigênio e vai prosseguindo enquanto a massa da estrela proporcionar temperatura central e pressão suficientes para fusionar os elementos, isso não ocorre até formar todos os elementos que conhecemos, há um elemento crucial para a vida da estrela, esse elemento é o ferro, quando há formação de ferro no núcleo da estrela ela está fadada à morte.

O elemento ferro ao fusionar não libera energia em forma de raio gama, ele agora precisa de energia, é um processo endotérmico e ao fazer isso a estrela irá iniciar seu processo de morte.

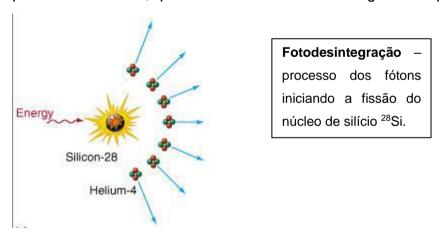
Observe abaixo o esquema de fusão em camadas de elementos químicos mais pesados, que ocorrem até o elemento ferro.



Fonte: Chaisson & McMillan, Astronomy Today 5th edition.

Quanto mais pesado for o elemento, maior será a temperatura para iniciar sua fusão, isto se dá pela força de repulsão entre os núcleos ser maior.

O núcleo de ferro formado é agora um núcleo inerte, vai crescendo à medida que as fusões vão ocorrendo nas camadas superiores, como a pressão no núcleo é menor ele vai implodindo e a temperatura no núcleo atinge 10 bilhões de Kelvin, fazendo os fótons atingirem energias altíssimas, esses fótons conseguem quebrar o ferro do núcleo por fotodesintegração, liberando-os em prótons e nêutrons, que acabam absorvendo energia neste processo.



Fonte: Chaisson & McMillan, Astronomy Today 8th edition.

Este processo acelera ainda mais o colapso da estrela, e seu núcleo agora apresenta apenas partículas elementares, prótons, elétrons.

Um novo processo ocorre chamado de neutronização do núcleo, neste processo como a densidade no núcleo é imensa 1.000 toneladas/cm², os prótons são pressionados contra os elétrons gerando a reação abaixo:

Próton + elétron → nêutron + neutrino

Os neutrinos escapam da estrela levando alguma energia e o núcleo se contrai ainda mais podendo chegar a densidades de 1 bilhão de toneladas/cm³.

Enfim o núcleo para a contração pois há um núcleo "sólido" de nêutrons, fazendo as camadas vizinhas colidirem violentamente ricocheteando no núcleo e expandindo violentamente, essa expansão violenta gera uma onda de choque que varre as camadas externas, expulsando a velocidade da ordem de dezenas de milhares de km/s, que alguns chamam de explosão de supernova.

Desde o processo do ferro até a explosão como supernova dura apenas alguns segundos para acontecer.

Como remanescente da supernova poderá ser formado ou uma estrela de nêutrons ou um buraco negro estelar, tudo vai depender das características do caroço e da massa inicial da estrela.

Ainda estamos estudando os limites de massa que isto ocorre, há simulações de computador tentando resolver isso, não apresentando um limite bem definido.

SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM 5

Esta quinta atividade mobilizará todo o conhecimento desenvolvido ao longo da Sequência Didática, se utilizando de elaboração, de análise e compreensão de todas as etapas trabalhadas até o momento.

gem 5	Título	Construindo um Diagrama HR Geral.			
	Conteúdos Trabalhados	Elaboração de diagramas, análise de dados.			
	Objetivo	Construir um Diagrama HR geral para uma tabela com dados de estrelas.			
endiza	Organização da Turma	Duplas para trabalho na sala de aula.			
Ensino e Aprendizagem	Metodologia	Apresentar uma tabela com dados de estrelas para os alunos construírem um Diagrama HR geral, indicando as regiões que eles encontraram; debate sobre os resultados alcançados e sobre as estrelas fora da sequência principal.			
Sequência de En	Materiais Necessários	Tabela com os dados das estrelas, folha do diagrama pré-formatada, flip-chart, marcador para quadro branco, lousa e giz, lápis ou lapiseira, caneta e borracha.			
rênc	Avaliação	Apresentação do Diagrama HR geral executado com soluções das questões apresentadas.			
Sedi	OBS	Retomando os conceitos, construção de um HR geral para identificar as regiões, raios e classificação estelar.			
	Duração	02 aulas de 45 minutos.			

A atividade proporcionará uma retomada do conhecimento através da elaboração de um Diagrama HR.

Será apresentado para os alunos uma tabela com dados de estrelas, estes deverão em duplas reconhecer as unidades e grandezas, para organizálas e possibilitar a construção de um Diagrama HR.

A construção será efetuada em sala de aula ou local a ser escolhido pelo professor, o local deverá possuir uma boa luminosidade para que a plotagem dos dados não seja prejudicada.

Neste processo pode-se verificar a capacidade de sintetizar informações, trabalho em grupo, organização das informações, aplicação do conhecimento em disposição gráfica, indiretamente pode-se verificar argumentação e solução de problemas, fique atento para ouvir seus alunos e verificar se estão utilizando conhecimentos de sua disciplina ou das demais nesta aplicação, gráficos são utilizados em grande parte nas Ciências da Natureza.

Após a plotagem dos pontos de todas as estrelas da tabela na folha do diagrama, esta deverá ser entregue previamente aos alunos, a análise será efetuada em partes.

Primeiro os alunos deverão reconhecer a sequência principal e as demais regiões presentes no diagrama construído, após isso deverão identificar as estrelas que se encontram fora da sequência principal, classificando-as como visto em atividades anteriores, gigante vermelha, anã branca, supergigantes.

O professor poderá solicitar ao término da elaboração, de forma colaborativa, para a sala toda, apresentando o Diagrama HR de um dos grupos a escolha ou voluntariando, informações sobre a estrela mais quente, a mais fria, a mais brilhante e menos brilhante, como poderíamos calcular o raio de uma das estrelas, sabendo a luminosidade e temperatura.

Neste ponto é importante avaliar se os alunos estão mobilizando o conhecimento anteriormente aprendido, ou se estão apenas reproduzindo, fazendo alguns questionamentos sobre o motivo de se usar essas relações, se há outra maneira de fazer, envolva a sala toda para que o conhecimento do grupo ocorra de forma colaborativa, e todos possam dar sua opinião.

A avaliação da atividade será por meio da entrega do Diagrama HR com as anotações correspondentes, mas principalmente pelas interações durante os questionamentos.

LISTA DE ESTRELAS E DADOS PARA ELABORAÇÃO DE UM DIAGRAMA HR GERAL.

As estrelas da lista foram escolhidas de um Diagrama HR publicado sobre os 100 anos do Diagrama HR, os dados disponíveis foram selecionados usandose o CDS Portal para pesquisa e coleta de informações, resultando na tabela apresentada abaixo.

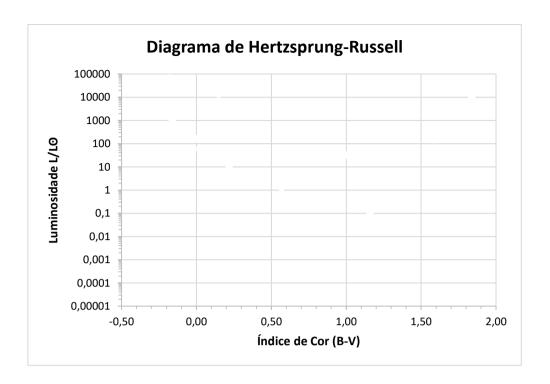
As duplas de alunos receberão uma cópia da tabela e da folha do gráfico com os eixos pré-determinados, farão o cálculo do índice de cor (B-V) e posterior plotagem das estrelas.

Professor lembre-os que a escala de luminosidade do eixo y é logarítmica e seus valores intermediários serão plotados aproximadamente, o importante é a elaboração do diagrama e compreensão das regiões e relações, não sendo afetada por esta aproximação.

Tabela com dados das estrelas para os alunos.

Diagrama Hertzsprung-Russell				
Nome da Estrela	Filtro mB	Filtro mV	Índice de Cor (B-V)	Luminosidade L/LO
Achernar	0,3	0,46		1030
Aldebaran	2,4	0,86		160
Alhena	1,92	1,92		162
Alnilam	1,51	1,69		66000
Altair	0,98	0,76		11
Antares	2,75	0,91		9250
Atlas	3,54	3,63		418
Canopus	-0,59	-0,74		13600
Estrela de Kapteyn	10,433	8,853		0,00377
Fomalhaut	1,25	1,16		17,3
Gacrux	3,23	1,64		146
HIP 49908	7,94	6,61		0,0468
HIP 84478	7,5	6,34		0,0897
KX Lib	6,83	5,72		0,163
Lalande 21185	8,96	7,52		0,00568
Menkar	4,17	2,53		481
Merak	2,35	2,37		59,2
Mira	7,63	6,53		18,6
Polaris	2,62	2,02		2440
Pollux	2,14	1,14		31,6
Saiph	1,88	2,06		4980
van Maanen's Star	12,92	12,374		0,000173
YZ Cet	13,885	12,074		0,000171
β Нуі	3,41	2,79		3,55
ζTuc	4,8	4,23		1,28
τCet	4,22	3,5		0,458

Folha para elaboração do diagrama dos alunos.



AVALIAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Última atividade a ser desenvolvida, a Avaliação da Sequência Didática, poderá ser executada uma retomada do conhecimento por meio de tópicos na lousa, interação dos alunos, sanando dúvidas remanescentes.

Fazer o fechamento da sequência com a aplicação do questionário final que verificará o nível alcançado pelos alunos após a aplicação, tabulado posteriormente, além de aplicação da avaliação pontual final que quantificará a aprendizagem de conceitos, análises apresentadas e conteúdos propostos, lembrando aos alunos de responderem de forma completa as questões, deixando-as o mais legível e completo possível.

QUESTIONÁRIO FINAL - ALUNOS

- 1) Como você explicaria para alguém após este estudo, o que é uma estrela?
- 2) Após este estudo como você explicaria o processo de formação de uma estrela para uma pessoa conhecida?
- 3) Após o aprendizado, como você explica a forma que a gravidade auxilia na formação, vida e morte de uma estrela? Explique sua resposta.
- 4) Todas as estrelas são iguais? Explique sua resposta.
- 5) Diante de tudo o que foi visto, como ocorre a evolução das estrelas?
- 6) De que forma você poderia explicar agora como as estrelas produzem sua energia?
- 7) Após as aulas de que forma você consegue explicar como as estrelas morrem?
- 8) Qual o motivo do Diagrama HR usar eixo em escala logarítmica? Explique sua resposta.
- 9) Após os conhecimentos desenvolvidos em aulas, como você explicaria o que é um Diagrama HR e o que ele representa?

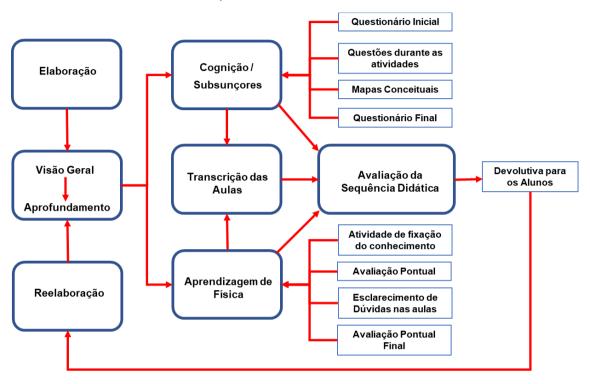
Posteriormente é muito importante apresentar uma devolutiva para os alunos, da aplicação da Sequência Didática, seus avanços e resultados apresentados.

Você poderá rever a sequência com estas informações, propondo mudanças, ajustes, reconstruções ou mesmo se utilizar dela com outro assunto que desejar desenvolver.

Para a reelaboração ou adaptação de novo material poderá ser utilizado o esquema apresentado abaixo:

Pode-se ver a elaboração do material seguindo uma visão geral para ir aprofundando aos poucos, como proposto por Zabala (1998), a subdivisão que criei para verificar a cognição como proposto por Colantonio *et al.* (2018) por meio de questionários, questões e entrevistas, e para verificar a aprendizagem de Física, avaliações com conceitos, conteúdos e exercícios, tudo isto será

avaliado em conjunto com as transcrições das aulas na avaliação da Sequência Didática, retornando aos alunos uma devolutiva sobre o processo de aprendizagem, dos avanços e desenvolvimentos obtidos durante o processo, que novamente poderá ser melhorado, modificado e adaptado para sua realidade e conteúdo ou disciplina a ser ministrada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

REFERÊNCIAS PARA ESTUDO

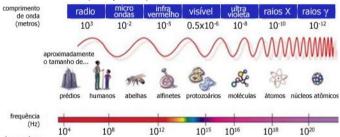
HORVATH, Jorge Ernesto. As estrelas na sala de aula: uma abordagem para o ensino da Astronomia estelar. Livraria da Física. São Paulo. 2019.

Atividade do Projeto Educacional em Ciências, Telescópios na Escola sobre as cores das estrelas, disponível em: http://www.telescopios na escola. pro. br/coresdasestrelas.pdf, acessado em set/2020.

Nome:	_ n	°:	Série:
-------	-----	----	--------

AVALIAÇÃO PONTUAL FINAL - DIAGRAMA HR

- Usando a relação entre as magnitudes de estrelas M★ MO = -2,5 log (L★/LO) podemos determinar sua luminosidade em termos de luminosidade solar LO, calcule quantas vezes a estrela Alnitak é mais luminosa que o Sol. MO = +4,77 e M★ = -5,03. (1,0 ponto)
- 2) Os astrônomos utilizam a equação **D** = **10** (m-M+5) / 5 que é o módulo da distância, sendo dessa forma mais simplificada, sem o logaritmo, utilizando-se esta relação, determine a distância em parsec de uma estrela que apresenta magnitude absoluta de M = -3,97 e magnitude aparente de m = 1,50. (1,0 ponto)
- 3) Sabendo-se em qual comprimento de onda uma estrela emite a maior parte de sua radiação, podemos determinar sua temperatura efetiva usando a Lei de Wien λ_{max} = 2.900 (nm.K) / T_{eff} (10³K). Determine a temperatura efetiva de uma estrela que consegue emitir no máximo de intensidade em raioX e outra que emite em rádio. Atenção nas unidades!!! (1,0 ponto)



Fonte: http://educacao.globo.com/fisica/assunto/ondas-e-luz/ondas-perodicas.html.

- 4) Os cientistas afirmam que o meio interestelar possui poeira e gases, como conseguimos verificar se esta afirmação está correta. Qual a maneira que você indicaria para verificar se esta afirmação está correta? (1,0 ponto)
- 5) Explique como ocorre a evolução de uma estrela de **baixa massa** abaixo de 2MO da sequência principal. (1,0 ponto)
- 6) Uma estrela para estar na sequência principal deverá estar "queimando" hidrogênio em seu núcleo. Explique ou desenhe como ocorre o equilíbrio hidrostático na estrela da sequência principal. (1,0 ponto)
- 7) Vimos que o tempo de vida de uma estrela depende diretamente de sua massa, quanto maior sua massa, mais rápido ela queima o combustível e morre. A maioria das estrelas tem seu tempo de vida calculado com base no tempo do Sol

 $\tau_{\rm sp} = 10^{10}$.(Mo³/M *3). Determine o tempo de vida de uma estrela de 10 Mo. (1,0 ponto)

8) Relacione as colunas abaixo como o que foi visto em relação à evolução de estrelas. (3,0 pontos)

Estrela de Baixa Massa •

Buraco Negro

Catuala da Alta Massa

Estrela de Nêutrons

Estrela de Alta Massa •

SupernovaAnã Branca

Estrela de Massa Intermediária •

• Nebulosa Planetária

GABARITOS

Segue abaixo os gabaritos das atividades e das avaliações propostas.

QUESTIONÁRIO INICIAL

- 1 Verificar aprendizagem do Ensino Fundamental ou médio onde é previsto o ensino desse conteúdo.
- 2 Verificar se os alunos relacionam com o Sol, uma vez que já estudaram no Ensino Fundamental como um modelo de estrela.
- 3 Relacionar se o estudante compreende a interação gravitacional no universo, proposto já na 1ª série do Ensino Médio.
- 4 Verificar se respondem devido à observação direta ou por meio de conhecimentos prévios, já viram no Ensino Fundamental e no Ensino Médio.
- 5 Foi estudado no Ensino Fundamental o Sol como estrela padrão, verificar se indicam essa aprendizagem em suas respostas.
- 6 Verificar se o aluno relaciona corretamente o processo de fusão nuclear.
- 7 Observar se os alunos relacionam o que já foi visto no Ensino Fundamental ou se indicam o que compreenderam no Ensino Médio.
- 8 Nesta questão deverão apresentar os conhecimentos de Matemática da 1ª série do Ensino Médio, também já viram em Química, inclusive por meio de gráficos.
- 9 Verificar as informações prévias, pode ser uma forma de aguçar a curiosidade dos alunos, podendo apresentar uma inferência devido às questões anteriores.

GABARITO ATIVIDADE DE FIXAÇÃO DE CONHECIMENTO

$$1 - L = 3.86 \times 10^{26} W$$

$$2 - D_{pc} = 6,67pc$$
; D = 21,7 anos-luz

$$3 - M = 5,52$$

$$4 - D = 128,2pc$$

$$5 - m_{Mira} = 6,62; M_{Mira} = 1,08$$

$$6 - T_{\text{eff}} = 5.920 \text{ K}; T_{\text{eff}} = 4.390 \text{ K}$$

GABARITO ATIVIDADE DE ESTUDO DIRIGIDO

1 – Esperamos que os alunos compreendam que é uma região e não apenas uma linha, onde as estrelas iniciam a fusão de hidrogênio no núcleo e passam a maior parte da vida nessa região.

- 2 Verificar se os alunos indicaram o balanço entre as pressões de radiação e gravitacional com base no texto apresentado.
- 3 Identificar se os alunos relacionam corretamente a massa e a vida da estrela como sendo inversamente proporcionais, lembre-se que não se deve responder apenas com a equação.

$$4 - \tau_{sp} = 1,9x10^{10}$$
 anos; $\tau_{sp} = 3 348 980$ anos

$$5 - R* = 5,14x10^{10}$$
m ou em relação ao Sol $R* = 73,81$ RO

$$6 - R * = 75,96 R0$$

GABARITO PRIMEIRA AVALIAÇÃO PONTUAL

1 - L = 405,5 L0

$$2 - D_{pc} = 20pc$$

$$3 - D = 15,63pc$$

$$4 - T_{eff} = 29.000 \text{ K}$$
; $T_{eff} = 2.420 \text{ K}$

- 5 Verificar se o aluno descreve o processo de formação com o aumento de densidades e formação dos caroços, que são aquecidos devido à conservação de energia (cinética em potencial) e estes caroços que vão aquecendo e girando, darão origem às protoestrelas.
- 6 Verificar se o aluno relaciona o decaimento β na transmutação do próton em nêutron, para que possa iniciar o processo de fusão e se indicam que essa transmutação só ocorre raras vezes, tendo uma probabilidade muito baixa de ocorrer.
- 7 Verificar se o aluno relaciona as forças de pressão com as gravitacionais, se consegue indicar que o equilíbrio ocorre camada por camada, podendo indicar o desenho proposto durante a atividade.

$$8 - \tau_{sp} = 8x10^{10}$$
 anos; $\tau_{sp} = 156.250$ anos

$$9 - R * = 4,57 R0$$

GABARITO AVALIAÇÃO PONTUAL FINAL

$$1 - L = 8.317,6 L0$$

$$2 - D = 124,16pc$$

$$3 - T_{\text{eff RX}} = 29.000.000 \text{ K}$$
; $T_{\text{eff Rádio}} = 0.0000029 \text{ K}$

4 – Ao observar imagem no óptico da Via Láctea, observamos a poeira como sendo as regiões escuras presentes na imagem. Podemos comparar imagens feitas no óptico e no infravermelho para evidenciar as regiões de poeira. No caso da presença de gases, é necessário fazer uma análise espectroscópica da radiação (luz) recebida pelo telescópio, identificando assim a presença de elementos como Hidrogênio, Oxigênio, normalmente em forma ionizada.

- 5 Verificar se o aluno consegue indicar esse modelo, relacionando os dados apresentados para estrelas de baixa massa.
- 6 Verificar se o aluno relaciona as forças de pressão com as gravitacionais, se consegue indicar que o equilíbrio ocorre camada por camada, podendo indicar o desenho proposto durante a atividade.

$$7 - \tau_{sp} = 10^7$$
 anos ou $\tau_{sp} = 10.000.000$ anos

8 – Estrela de Baixa Massa – Anã Branca e Nebulosa Planetária;

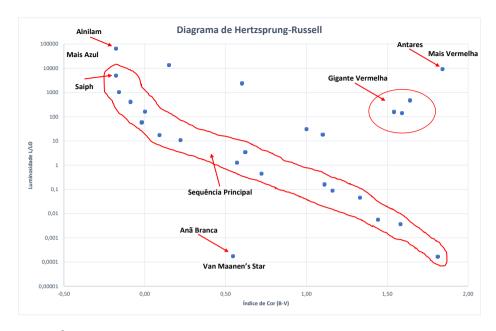
Estrela de Alta Massa – Buraco Negro, Estrela de Nêutrons e Supernova;

Estrela de Massa Intermediária – Estrela de Nêutrons e Anã Branca.

GABARITO DA TABELA PARA DIAGRAMA HR

Diagrama Hertzsprung-Russell				
Nome da Estrela	Filtro mB	Filtro mV	Índice de Cor (B-V)	Luminosidade L/LO
Achernar	0,3	0,46	-0,16	1030
Aldebaran	2,4	0,86	1,54	160
Alhena	1,92	1,92	0,00	162
Alnilam	1,51	1,69	-0,18	66000
Altair	0,98	0,76	0,22	11
Antares	2,75	0,91	1,84	9250
Atlas	3,54	3,63	-0,09	418
Canopus	-0,59	-0,74	0,15	13600
Estrela de Kapteyn	10,433	8,853	1,58	0,00377
Fomalhaut	1,25	1,16	0,09	17,3
Gacrux	3,23	1,64	1,59	146
HIP 49908	7,94	6,61	1,33	0,0468
HIP 84478	7,5	6,34	1,16	0,0897
KX Lib	6,83	5,72	1,11	0,163
Lalande 21185	8,96	7,52	1,44	0,00568
Menkar	4,17	2,53	1,64	481
Merak	2,35	2,37	-0,02	59,2
Mira	7,63	6,53	1,10	18,6
Polaris	2,62	2,02	0,60	2440
Pollux	2,14	1,14	1,00	31,6
Saiph	1,88	2,06	-0,18	4980
van Maanen's Star	12,92	12,374	0,55	0,000173
YZ Cet	13,885	12,074	1,81	0,000171
β Нуі	3,41	2,79	0,62	3,55
ζTuc	4,8	4,23	0,57	1,28
τCet	4,22	3,5	0,72	0,458

DIAGRAMA HR GERAL



QUESTIONÁRIO FINAL

- 1 Espera-se que os alunos relacionem com o material apresentado.
- 2 Esperamos que os alunos possam detalhar a formação e os princípios envolvidos, o teorema do Virial, o equilíbrio hidrostático.
- 3 Buscamos respostas que descrevem a atuação da gravidade em camadas, também as situações de equilíbrio e desequilíbrio durante a evolução e morte.
- 4 Verificar se apresentam uma síntese das respostas com as classificações espectrais, tipos ou classes de luminosidades.
- 5 Esperamos que os alunos possam se utilizar de uma das possibilidades apresentadas para a evolução das estrelas, evidenciando a internalização do conhecimento.
- 6 Buscamos respostas que indiquem os processos de produção de energia P-P e CNO e não apenas explicações da fusão nuclear.
- 7 Os alunos deverão relacionar a morte das estrelas com a massa inicial, apresentando um pequeno resumo, apontando os remanescentes respectivos.
- 8 Verificar se os alunos conseguiram compreender a necessidade de utilização devido as escalas e ordens de grandeza utilizadas, relacionando também com o que já viram no Ensino Médio.
- 9 Buscamos nessa questão respostas com informações sintetizadas dos alunos, com explicações sobre a classificação, organização, utilização do Diagrama HR.

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO INICIAL

Questionário Inicial – Diagrama de Hertzsprung-Russell

Non	e:n°:Série:
1)	Como você explicaria para alguém o que é uma estrela?
2)	Como uma estrela se forma (nasce)?
3) estr	De que forma a gravidade auxilia na formação, vida e morte de uma ela? Explique sua resposta.
4)	Todas as estrelas são iguais? Explique sua resposta.
5)	O que você sabe sobre evolução das estrelas? Explique sua resposta.
6)	Como você descreve a forma que as estrelas produzem sua energia?
7)	As estrelas morrem? Explique sua resposta.
8)	Qual o motivo dos cientistas usarem gráficos em escala logarítmica?
9) HR?	Você já ouviu falar de Diagrama de Hertzsprung-Russell ou Diagrama O que você imagina que ele representa?

^	
APÊNDICE C – ATIVIDADE DE ELABORAÇÃO DO DIAGRAMA I	JD
APENDICE C - ATTVIDADE DE ELABORACAO DO DIAGRANIA I	אר

Nome:	n°	Série
-------	----	-------

Atividade de elaboração do diagrama de Hertzsprung-Russell para alunos.

Utilize a tabela para elaborar seu diagrama na folha de construção, lembre-se que este diagrama a ser construído será de Luminosidade em função do índice de cor, calcule o índice de cor primeiramente e construa seu diagrama com bastante atenção, lembre-se que o eixo y está em escala logarítmica e poderá ter seus valores plotados aproximados.

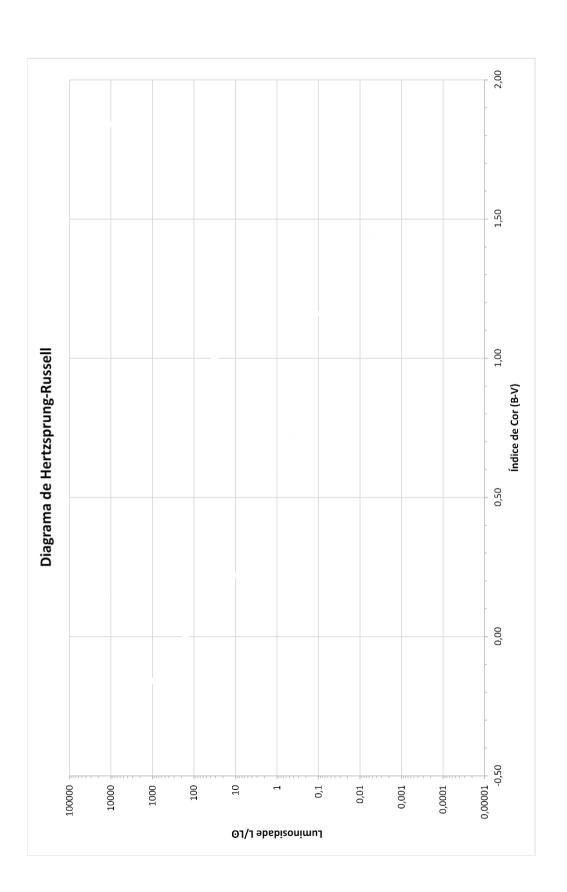
Após a elaboração do diagrama faça as atividades propostas.

Diagrama Hertzsprung-Russell				
Nome da Estrela	Filtro mB	Filtro mV	Índice de Cor (B-V)	Luminosidade L/L0
Achernar	0,3	0,46		1030
Aldebaran	2,4	0,86		160
Alhena	1,92	1,92		162
Alnilam	1,51	1,69		66000
Altair	0,98	0,76		11
Antares	2,75	0,91		9250
Atlas	3,54	3,63		418
Canopus	-0,59	-0,74		13600
Estrela de Kapteyn	10,433	8,853		0,00377
Fomalhaut	1,25	1,16		17,3
Gacrux	3,23	1,64		146
HIP 49908	7,94	6,61		0,0468
HIP 84478	7,5	6,34		0,0897
KX Lib	6,83	5,72		0,163
Lalande 21185	8,96	7,52		0,00568
Menkar	4,17	2,53		481
Merak	2,35	2,37		59,2
Mira	7,63	6,53		18,6
Polaris	2,62	2,02		2440
Pollux	2,14	1,14		31,6
Saiph	1,88	2,06		4980
van Maanen's Star	12,92	12,374		0,000173
YZ Cet	13,885	12,074		0,000171
β Нуі	3,41	2,79		3,55
ζTuc	4,8	4,23		1,28
τ Cet	4,22	3,5		0,458

Atividades propostas

1) Identifique as regiões presentes no Diagrama HR, circulando-as ou escrevendo à caneta azul ou vermelha sobre a folha do diagrama.

2)	Qual a estrela mais brilhante do diagrama?
3)	Usando a relação de índice de cor, qual estrela mais vermelha e qua estrela mais azul no diagrama executado?
	Estrela mais Vermelha
	Estrela mais Azul
4)	Neste diagrama há alguma anã branca? Qual o nome dela? Quais características de uma anã branca? Explique.
5)	De acordo com o diagrama você consegue identificar pelo menos uma gigante vermelha, qual o nome dela? Ela é uma estrela ou apenas uma fase de evolução? Explique sua resposta.
6)	Se usarmos a relação de Luminosidade e de temperatura de uma estrela da sequência principal podemos calcular seu raio, usando a estrela Achernar com uma luminosidade de 1.030 Lo e temperatura de 18.700 K calcule seu raio.



APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO FINAL

Questionário Final – Diagrama de Hertzsprung-Russell

Nome:	n°:Série:
1)	Como você explicaria para alguém após este estudo, o que é uma estrela?
2)	Após este estudo como você explicaria o processo de formação de uma estrela para uma pessoa conhecida?
3)	Após o aprendizado, como você explica a forma que a gravidade auxilia na formação, vida e morte de uma estrela? Explique sua resposta.
4)	Todas as estrelas são iguais? Explique sua resposta.
5)	Diante de tudo o que foi visto, como ocorre a evolução das estrelas?
6)	De que forma você poderia explicar agora como as estrelas produzem sua energia?
7)	Após as aulas, de que forma você consegue explicar como as estrelas morrem
8)	Qual o motivo do Diagrama HR usar eixo em escala logarítmica? Explique sua resposta.
9)	Após os conhecimentos desenvolvidos em aulas, como você explicaria o que e um Diagrama HR e o que ele representa?