

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

KARINA BRASIL NEVES

Análise qualitativa de uma sequência didática (SD): Ensino de Astrofísica Estelar para
alunos do Ensino Médio

São Paulo

2020

KARINA BRASIL NEVES

Análise qualitativa de uma sequência didática (SD): Ensino de Astrofísica Estelar para
alunos do Ensino Médio

Dissertação apresentada ao Instituto de Astronomia,
Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade
de São Paulo como requisito parcial para obtenção do
título de Mestre em Ensino de Astronomia.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Ernesto Horvath

**Versão Corrigida. O original encontra-se
disponível na Unidade.**

São Paulo

2020

Ficha Catalográfica

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

Neves, K. B.

Análise qualitativa de uma sequência didática (SD):

Ensino de Astrofísica Estelar para alunos do Ensino
Médio/ Karina Brasil Neves; Jorge Ernesto
Horvath. –São Paulo, 2020.

Número de folhas f.: 163 il.

Mestrado Profissional – Instituto de Astronomia, Geofísica e
Ciências Atmosféricas IAG da Universidade de São
Paulo – Ao Departamento de Mestrado Profissional:
Astronomia.

1. Ensino de Astrofísica 2. Ensino Integral 3. Sequência Didática

NEVES, Karina B. **Análise qualitativa de uma sequência didática (SD)**: Ensino de Astrofísica Estelar para alunos do Ensino Médio. Dissertação apresentada ao Instituto de Astronomia e Geociências Atmosférica, IAG da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ensino de Astronomia.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. Jorge Ernesto Horvath
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
Departamento de Astronomia IAG/USP

Profa. Dra. Laura Paulucci Marinho
Universidade Federal do ABC

Prof. Dr. Rodolfo Valentim da Costa Lima
Departamento de Física, Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas
(ICAQF)

Dedico este trabalho a meus pais, meu irmão e meu noivo, com todo o meu afago e amor, a minha admiração e gratidão pelo apoio e carinho ao longo de sua elaboração.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a minha família, em especial ao meu falecido pai, que sempre torceu pelo progresso dos meus estudos. A minha amada mãe pelo incentivo e apoio incondicionais. Mesmo sob cansaço, sempre buscou o melhor para mim.

Ao meu querido irmão, que, em meio a momentos difíceis, sempre se mostra muito presente. Dedico todo meu amor e carinho.

Ao meu noivo, que, mesmo após um dia cansativo de serviço, sempre estava aqui para me auxiliar e orientar em cada decisão para a finalização deste projeto.

Aos meus amigos, que me apoiaram para a realização desta etapa.

Aos meus colegas do MPEA com quem compartilhei ótimos momentos.

A esta Universidade, seu corpo docente, sua direção e administração, que oportunizaram a janela pela qual hoje vislumbro um horizonte superior, eivado pela acendrada confiança no mérito e na ética aqui presentes.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Jorge Ernesto Horvath, pelo suporte e pelos incentivos diários. Gratidão pelas predisposições acompanhadas sempre de muita alegria, sorrisos e paciência. Meus sinceros agradecimentos pelas palavras positivas e pela imensurável contribuição aos meus conhecimentos.

Enfim, agradeço à E.E. Prof. Deolinda Copelli de Sousa Lima, onde trabalhei e apliquei o projeto desta pesquisa, agradeço pela oportunidade, pelo tempo e espaço disponibilizados para a realização deste trabalho. E profundamente às minhas 4 alunas, cuja participação e paciência, cujo apoio e incentivo durante a elaboração da minha dissertação foram fundamentais para a concretização deste projeto.

Lembre-se de olhar para as estrelas e não para
baixo, para os seus pés.
Tente achar o sentido no que você vê,
E pergunte sobre o que faz o universo existir.
Seja curioso.

(Stephen Hawking)

RESUMO

O presente trabalho visa a apresentar um desenho de uma proposta de Sequência Didática (SD), que trata de um instrumento de planejamento de ensino usado, também, como objeto de pesquisa, auxiliando na investigação do trabalho do docente dentro de uma pesquisa metodológica, em que análises qualitativas acompanhadas de discussões para redesenhar iterativamente a SD foram utilizadas. O assunto proposto teve por objetivo introduzir uma sequência didática utilizando conceitos físicos básicos, apresentando a Física Quântica e outros ramos importantes (Termodinâmica, Eletromagnetismo, Propriedades da Luz, etc.) para a exploração do ensino de Astrofísica Estelar para os alunos do Ensino Médio. O projeto desenvolveu-se a partir da realização de 28 aulas aplicadas para 4 alunas da segunda série do Ensino Médio, em uma escola pública no interior de São Paulo. Os temas das aulas relacionaram-se com a estrutura da matéria, explorando historicamente o processo de construção de modelos da estrutura atômica; as estrelas e suas propriedades, apresentando e discutindo a origem da luminosidade delas, determinando seu brilho e sua temperatura, finalizando na construção do diagrama de cor versus magnitude absoluta das estrelas; ciclo da vida estelar, explorando o nascimento das estrelas, sua evolução e sua morte, compreendendo-o por meio do aprofundamento de sua estrutura interna e suas mudanças no tempo). Todas as atividades foram realizadas através de SD, que trabalhou a habilidade a ser desenvolvida empregando os seguintes recursos: lousa digital para a explicação em slides; utilização de simuladores, diários de bordo e exercícios, além de anotações, sendo a pesquisadora a própria professora da turma. Ao início das aulas, eram propostas aos alunos questões iniciais para despertar a curiosidade sobre o assunto. O aprendizado foi analisado com base na evolução conceitual desses alunos ao longo das aulas. Conclui-se que essas aulas contribuíram satisfatoriamente para o aprendizado dos alunos, já que os resultados apresentaram um progresso significativo, implicando uma apresentação final, tratada como “Culminância”, dos alunos para a comunidade, comprovando-se resultados positivos.

Palavras-chave: Ensino de Astrofísica, Ensino Integral, Sequência Didática.

ABSTRACT

The present work aims to present a drawing of a Didactic Sequence (SD) proposal, which deals with a teaching planning instrument also used as a research object, assisting in the investigation of the work of the teacher within a methodological research, in which qualitative analyses accompanied by discussions to iteratively redesign the DS were used. The proposed subject had as objective to introduce a didactic sequence using basic physical concepts, presenting the Quantum Physics and other important branches (Thermodynamics, Electromagnetism, Properties of Light, etc.) for exploring the teaching of Stellar Astrophysics for high school students. The project was developed from the realization of 28 applied classes for 4 students of the second grade of high school, in a public school in the interior of São Paulo. The themes of the classes related to the structure of the subject, historically exploring the process of constructing models of the atomic structure; the stars and their properties, presenting and discussing the origin of their luminosity, determining their brightness and temperature, ending in the construction of the color diagram versus absolute magnitude of stars; cycle of stellar life, exploring the birth of stars, their evolution and their death, understanding it through the deepening of their internal structure and their changes in time). All activities were carried out through SD, which worked the skill to be developed using the following resources: digital whiteboard for explanation in slides; use of simulators, logbooks and exercises, as well as annotations, the researcher being the class's own teacher. At the beginning of the classes, students were asked initial questions to arouse curiosity on the subject. The learning was analyzed based on the conceptual evolution of these students throughout the classes. It is concluded that these classes contributed satisfactorily to the students' learning, since the results presented a significant progress, implying a final presentation, treated as "Culmination", of the students to the community, proving positive results.

Keywords: Teaching Astrophysics, Comprehensive Education, Didactic Sequence.

Sumário

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	12
1.1	O contexto do Ensino Integral.....	14
1.2	Desenhando uma Sequência Didática (SD)	17
2	O ENSINO DE FÍSICA E DA ASTROFÍSICA ESTELAR NO ENSINO MÉDIO 31	
2.1	Desenvolvimento da Física Moderna.....	32
2.2	Natureza da luz e como estudá-la.....	32
2.3	Modelos atômicos	38
2.4	Relação das linhas espectrais com as substâncias	43
3	POSICIONANDO A ASTROFÍSICA NO CONTEXTO ESCOLAR.....	46
3.1	Estrelas e suas propriedades.....	46
3.2	Ciclos da vida estelar.....	53
3.3	Atividades baseadas nos conteúdos anteriores.....	60
3.3.1	Aula 1.....	60
3.3.2	Aula 2.....	61
3.3.3	Aula 3.....	61
3.3.4	Aula 4.....	62
3.3.5	Aula 5.....	63
4	METODOLOGIA DE PESQUISA DOS RESULTADOS DA APLICAÇÃO DA SD 64	
4.1	Tipo de pesquisa.....	64
4.2	O problema.....	65
4.3	O material coletado	67
5	ANÁLISE DOS DADOS COLETADOS E DISCUSSÃO.....	73
5.1	Instrumento de coleta de dados	73
5.2	Primeiro Semestre	73
5.3	Relação das linhas espectrais com as substâncias	74
5.4	Natureza da luz e como estudá-la.....	75
5.5	O modelo atômico de Bohr	77
5.6	Aplicação às estrelas e suas propriedades	80
5.7	Ciclos da vida estelar.....	81
5.8	Questionário final.....	84

5.9 Trajetória das alunas.....	90
5.9.1 Análise dos resultados conforme a literatura da área.....	98
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	102
REFERÊNCIAS	109
APÊNDICE 1 – NATUREZA DA LUZ E COMO ESTUDÁ-LA	115
APÊNDICE 2 – MODELOS ATÔMICOS	123
APÊNDICE EXTRA – EXPERIMENTO E USO DO SIMULADOR Phet.....	131
APÊNDICE 3 – RELAÇÃO DAS LINHAS ESPECTRAIS COM AS SUBSTÂNCIAS 137	
APÊNDICE 4 – ESTRELAS E SUAS PROPRIEDADES	141
APÊNDICE 5 – CICLOS DA VIDA ESTELAR.....	153

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Considerada uma ciência antiga, a Astronomia, tal como nós a entendemos, busca a compreensão dos objetos presentes no Universo através de observações. Civilizações como: egípcia, assíria, babilônica e chinesa, por volta de 6000 a.C., fizeram grandes contribuições evidentes nos seus registros mais antigos. Em contrapartida, no século XVI, tornaram-se referência dos "antigos" no mundo Ocidental: Aristóteles, Aristarco, Hiparco e Pitágoras com argumentos e conceitos importantes para o desenvolvimento da ciência. Mais tarde, Johannes Kepler, N. Copérnico e Galileu Galilei com seus trabalhos e a enorme contribuição de Isaac Newton foram essenciais para fundamentar o ulterior salto quali-quantitativo da moderna Astronomia.

Pode-se dizer que o “moderno” conhecimento das estrelas começa efetivamente com a construção da Teoria Quântica, a qual contribuiu definitivamente para a compreensão da espectroscopia e, por sua vez, propiciou o avanço da Astrofísica, facilitando a interpretação das linhas espectrais emitidas pelos elementos químicos nas estrelas. Posteriormente, estes avanços permitiram a compreensão da Cosmologia Contemporânea por meio da interpretação das linhas espectrais dos quasares e outras observações cruciais, conjugadas com o desenvolvimento dos modelos do Universo.

Com os avanços tecnológicos entre os séculos XIX e XX, o desenvolvimento da Astrofísica impulsionou a ciência contribuindo para a descoberta e compreensão de uma enorme variedade de objetos celestes. Assim, mundos distantes do Sistema Solar foram descobertos e tornaram-se materiais de estudos até os dias atuais, como: estrelas de muitos tipos, nebulosas diversas, aglomerados de estrelas e incontáveis galáxias. O conhecimento do mundo físico progrediu muito no século XX dado o surgimento da chamada Física Moderna. Os principais avanços no mundo tecnológico ocorreram, em parte, devido ao surgimento da Física Quântica e da Teoria da Relatividade, utilizadas como base para a explicação de fenômenos nas escalas atômica, nuclear e astronômica. As aplicações posteriores são inúmeras e muito estendidas e formam parte do nosso dia a dia.

Graças aos estudos na segunda metade do século XIX e no século XX, hoje, os astrônomos são capazes de explicar fenômenos observados nas estrelas como aspectos de um *único* modelo geral de evolução estelar. A compreensão do chamado diagrama

Hertzsprung-Russell, as fontes de energia e a estrutura estelar, a evolução das estrelas são partes da temática deste trabalho, que visa a despertar o interesse do jovem pelo funcionamento, pela origem e evolução das estrelas (HORVATH, 2008). Motivar os alunos a irem além, exprimindo uma abordagem empírica que resulta em um avanço real para a compreensão das estrelas (HORVATH, 2013), é possível até certo ponto nesta área do conhecimento, mas os conceitos físicos desenvolvidos ajudam a montar um quadro abrangente das estrelas, o qual sistematiza e ordena o conhecimento empírico.

Os currículos e programas de Física destinados ao Ensino Médio deixam claro que a Física abordada na escola deve ser transmitida como um elemento básico para uma boa compreensão e satisfação cultural do cidadão de hoje, e não se deve à memorização de conteúdos e fórmulas, muito menos à repetição de procedimentos artificiais ou abstratos, mas antes à articulação e ao gerenciamento de ideias, sua manipulação simbólica e factual e utilização concreta quando possível.

O conhecimento científico deve estar voltado para o cidadão contemporâneo. As tecnologias contribuem para esse avanço, por meio do qual é possível ouvir música digitalizada, manusear computadores que operam com semicondutores, fósseis e objetos antigos que foram datados por meio de elementos radioativos, entre outros exemplos. (CURRÍCULO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2011).

É de extrema necessidade que os educadores tenham consciência do que é preciso ser ensinado sem pretextos, dependendo de um movimento de investigação e reflexão, estabelecendo discussões sobre diferentes argumentos e, a partir dessas análises, criarem estratégias e meios necessários para o desenvolvimento de forma coerente e empírica.

Por isso, o presente trabalho tem por objetivo desenvolver uma Sequência Didática como ferramenta fundamental, utilizando conceitos físicos básicos, apresentando a Física Quântica e outros ramos importantes (Eletromagnetismo, Termodinâmica, etc.) para a exploração do ensino de Astrofísica estelar para alunos do Ensino Médio.

As Sequências Didáticas são temas de interesse da área do ensino de ciências há bastante tempo (GIORDAN et al., 2011). Vista como objeto de pesquisa, a Sequência Didática é uma importante ferramenta de ensino. Historicamente, no cenário nacional e internacional, as Sequências Didáticas têm sido utilizadas como instrumentos de *planejamento* do ensino e também como objetos de pesquisa em si próprios, criando condições favoráveis para os alunos se apropriarem de ferramentas culturais próprias da comunidade científica. (ALMOULOAD e COUTINHO, 2008). A tal investigação auxilia

na compreensão da ciência referência e da ciência no nível escolar (SOARES e GURIDI, 2012). Portanto, os instrumentos de planejamento podem auxiliar nas "atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetos educacionais, que têm um princípio conhecido tanto pelo professor como pelos alunos" (ZABALA, 1998, p. 18), fundamentando e direcionando a SD.

Considerando diferentes linhas de pesquisas que foram realizadas no ensino-aprendizagem de conteúdos científicos específicos no ensino de Astrofísica, por exemplo, Brosseau e Piet Lijnse, analisou-se com o propósito de desenhar uma SD, refletiu-se a respeito de como tal conhecimento utilizado para a sua construção (em *grãos finos*, vide a seguir) ocorre de forma coerente, proporcionando a pesquisa cumulativa, maximizando a aprendizagem e estabelecendo a comunicação de forma mais explícita.

Ao desenvolver uma SD, é de extrema importância o planejamento dessas abordagens comunicativas e de como serão usadas, do que o professor deve estar ciente e da motivação dos alunos nos assuntos que serão ensinados. Para Leach e Scott (2008), o professor exerce um papel fundamental na introdução de ideias científicas, utilizando a aprendizagem específica, diferenciando o modo de pensamento cotidiano e científico.

A aprendizagem efetiva tem dificuldades em aplicar os conhecimentos conceituais em vários contextos. A reflexão de uma SD deve ocorrer de forma bastante minuciosa, para que as possíveis abordagens ocorram através de uma perspectiva desenvolvida, em que seja possível descrever o uso da fala/discurso durante a sequência de ensino, interpretado de maneira mais ampla planejando quais abordagens comunicativas serão usadas, incluindo conversas professor-aluno, gestos e discussões entre colegas (GALANO et al., 2018).

1.1 O contexto do Ensino Integral

O desafio da Educação Paulista, nos últimos anos, é a universalização da Educação Básica para a construção de uma escola de qualidade. O programa de Ensino Integral garante um acesso de qualidade à educação de jovens e adolescentes, em condições de cumprimento do currículo, proporcionando o enriquecimento das abordagens pedagógicas.

No regime de 40 horas semanais, o profissional consolida a educação básica associada a projetos sob responsabilidade de desenvolvimento de metodologias e estratégias de ensino. Portanto, o modelo pedagógico do Ensino Integral corrobora com

as inovações em conteúdo, e suas bases encontram-se incorporadas ao Artigo 2º da Lei de Diretrizes e Bases (LDB 9394/96) e do Artigo 3º da Constituição Federal.

Para formar um jovem autônomo, solidário e competente, é preciso conceber outros espaços educativos onde o jovem seja tratado como sendo fonte de iniciativa, liberdade e compromisso. As inovações em conteúdo, método e gestão se materializam nas práticas educativas (e não apenas no currículo), na diversificação de metodologias pedagógicas e na introdução de processos de planejamento, acompanhamento e avaliação das atividades meio e fim da escola respectivamente.

(Diretrizes do Programa Ensino Integral, p. 14, 2011)

A utilização da parte diversificada é trabalhada juntamente com a Base Nacional Comum Curricular. Sendo assim, a disciplina Eletiva ocupa um lugar central na diversificação das experiências escolares, o que promove o enriquecimento de conteúdos considerando a interdisciplinaridade como eixo metodológico.

Fazendo parte da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, no artigo 26, os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (1999) contemplam os conteúdos e as estratégias de aprendizagem, capacitando o ser humano.

As disciplinas Eletivas, de organização semestral, são propostas e elaboradas por grupos de ao menos dois professores de disciplinas distintas. O tema é de livre escolha dos professores, desde que se trate de um assunto relevante e que seja abordado de modo a aprofundar os conteúdos da Base Nacional Comum.

(Diretrizes do Programa Ensino Integral, p. 29, 2011)

Cada projeto desenvolvido deve ser explicado através de uma ementa; a publicação dessas ementas permite que os alunos escolham de forma consciente a Eletiva de que desejam participar.

A Eletiva Pré-Iniciação Científica tem por objetivo contribuir com atividades investigativas, fortalecendo o desenvolvimento de competências e habilidades previstas no Currículo do Estado de São Paulo. Promove o sucesso de ensino aprendizagem por meio das vivências escolares nas quais a prática investigativa tenha base criativa, inovação, metodologia científica, análise de dados, produção de protótipos e argumentação.

Considerando a interdisciplinaridade e seu eixo metodológico, investiga-se a relação entre os temas explorados, buscando sempre o respeito das especificidades das diversas áreas do conhecimento. Com relação à diversificação de conceitos, a parte diversificada seguindo a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, em seu artigo 26, recomenda diretrizes para o parecer das Eletivas no Ensino Integral. Neste contexto é que a Astrofísica Estelar pode ser considerada como "ideal", já que satisfaz todas as condições requeridas.

Desta forma, sua elaboração ocorre de maneira semestral e é organizada por, pelo menos, dois professores de disciplinas distintas. O tema é livre, porém, o assunto precisa ser relevante para que possa ser aprofundado nos conteúdos propostos pela Base Nacional Comum Curricular.

A disciplina Eletiva Pré Iniciação Científica conta com uma participação reduzida dos alunos do Ensino Médio e a atuação de um professor para o desenvolvimento das atividades realizadas por eles. A importância do *ensino por investigação*, segundo Piet Lijnse (1995), é enriquecer a SD reforçando o estudo sistemático e justificando os processos de ensino aprendizagem em que a oportunidade de desenvolver a alfabetização científica colabora para a melhoria do desempenho dos estudantes, auxiliando no envolvimento de diversas práticas de linguagens diferentes, o qual garante a centralidade nas práticas de ensino, objetivando cada característica específica para complementar os procedimentos trabalhados (KLASSEN E KORTLAND, 2010).

Com uma maior flexibilização, o desenvolvimento deste projeto foi realizado nesta disciplina e contou com a participação de 4 alunas que se dedicaram e se esforçaram para a elevação do propósito. O número reduzido de alunos facilitou o contato e o acompanhamento didático para aprofundar a cognição. Segundo Vygotsky (GIORDAN et al., 2011), na aproximação da chamada *Zona de Desenvolvimento Proximal*, é preciso afirmação nos avanços cognitivos dos alunos, o que depende, exclusivamente, de uma interação concreta entre aluno e professor.

Essa ação foi crucial para que as alunas pudessem interagir com a construção do seu próprio conhecimento, em que foram apontadas as necessidades de repensar as estratégias do aprender. Vale a pena pensar que a contribuição para o desempenho dos estudantes fortaleceu a construção de seu conhecimento por diversas habilidades a partir da investigação, com práticas satisfatórias para o fortalecimento dos argumentos científicos.

1.2 Desenhando uma Sequência Didática (SD)

Quando o aluno não conhece ou não entende o que é para ser feito e por que, o que foi pedido deixa de ser interessante (KLASSEN E KORTLAND, 2010). A busca pelo aperfeiçoamento didático fez muitos profissionais buscarem métodos para adequar o ensino.

A didática francesa vem estudando o contexto das SD no Ensino de Matemática, principalmente no Ensino de Física e no contexto de “Teaching-Learning-Sequences” (TLS). Na década de 80, surgiu o termo “didática matemática”, representando a pesquisa educacional da Matemática. No Brasil, esse contexto é confundido com a disciplina didática no ensino de Matemática, conhecida como sequência, módulo ou unidade didática. A SD vem se tornando um tema de grande interesse na área da Educação há bastante tempo. Segundo Castro (em GIORDAN et al., opus citatum, p. 2), entende-se que a chamada *aprendizagem por unidade* atende às necessidades do estudante de maneira mais efetiva. Ao identificar os temas que serão trabalhados, as *atividades* e as *relações* estabelecidas em uma SD devem contribuir para a compreensão de seu valor educacional, bem como a inserção de atividades que contribuam para sua melhoria. Entende-se por unidade didática a unidade de programação ou unidade de intervenção pedagógica como um “conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais que têm um princípio e um fim conhecido tanto pelo professor como pelos alunos” (ZABALA, 1998, p.18). Seguindo a análise do processo educativo, a SD deve ser realizada através de uma perspectiva processual, considerando as fases do planejamento, da aplicação e da avaliação.

A construção da SD poderá ser coletiva, porém sua validação é considerada interna, pois, para avaliar sua eficácia, “questionários, observações diretas, entrevistas, análises de livros, análise documental são suficientes para abranger a complexidade do fenômeno didático” (ARTIGUE, 1996, p.245).

Os trabalhos orientados na linha investigativa concentram-se principalmente no Ensino de Matemática e no Ensino de Ciências. A linha francesa segue a teoria das Situações Didáticas propostas por BROSSEAU (em GIORDAN et al., opus citatum, p. 4).

A prática do estudo do processo de ensino aprendizagem de um dado conceito e a construção de uma SD têm o intuito de proporcionar ao aluno condições favoráveis à construção e à compreensão desse conceito, segundo ALMOULOUD E COUTINHO (em

GIORDAN et al., opus citatum, p. 4). Trata-se de um instrumento de planejamento para auxiliar a prática docente. É importante destacar que a SD é um tema atual e de extrema importância na educação.

O desenvolvimento de uma SD pode representar a aproximação entre a pesquisa em ensino e a sala de aula, segundo NASCIMENTO, GUIMARÃES E EL-HANI (em GIORDAN et al., opus citatum, p. 5). Eles afirmam que “pesquisas deste tipo, principalmente se forem realizadas em colaboração entre pesquisadores e professores, são uma das maneiras de superar a lacuna pesquisa/prática na área de ensino de Ciências”.

Ao se engajar nas interações discursivas com o professor nas situações de aprendizagem em sala de aula, o aluno estabelece conexões entre a compreensão do cotidiano e o conhecimento científico, segundo SCHROEDER, FERRARI E SYLVIA (em GIORDAN et al., opus citatum, p. 5).

Estudos realizados por Piet Lijnse (2000) procuraram estabelecer um conteúdo específico de conhecimento confiável de tal forma que a compreensão dos alunos ocorra de forma objetiva. Seguindo a linha europeia, as características de aprendizagem foram classificadas como “tamanhos de grãos”, permitindo que pesquisadores se inspirem, de forma explícita, nas descobertas dos trabalhos dos outros. Os “grãos” são entendidos como o processo ou a prática descrita detalhadamente dentro de uma ação, de onde provém orientações sobre o ensino da Ciência.

Piet Lijnse segue argumentando que ainda não existe um método de conhecimento amplamente aceito sobre como ensinar conteúdo científico garantindo que seja entendido por muitos alunos. Muito precisa ser feito para que se estabeleça esse conhecimento sobre ensino-aprendizagem de conteúdo específico, cujas características da aprendizagem devem ser separadas em “tamanho de grãos”, e o seu aprofundamento ocorra em “tamanhos de grãos” finos.

A construção do conhecimento designa no processo de defesa de um ensino que aproxime a Ciência e o cotidiano dos alunos, permitindo que estes interajam em uma nova “ciência”, com uma nova forma de ver o mundo e seus acontecimentos, podendo, assim, “modificá-lo e a si próprio através da prática consciente propiciada por sua interação cercada de saberes de noções e conhecimentos científicos, bem como habilidades associadas ao fazer científico”, de acordo com SASSERON (em FREIRE E MOTOKANE, opus citatum, p. 120), por meio de práticas discursivas específicas: um modo específico de ler, redigir, escutar, falar e atribuir sentido (MAINGUENEAU, 2000).

Como desenvolver uma metodologia para atingir estes objetivos? Acredita-se que o primeiro aspecto fundamental é estimular o diálogo em sala de aula, o qual favorece nos processos de ensino-aprendizagem ao exteriorizar pensamentos, dúvidas e formas de raciocínio dos alunos, beneficiando as práticas discursivas em sala de aula. Assim, o conhecimento científico é construído por pessoas, tornando-se conjectural e não simplesmente descoberto no mundo. Mais ainda, retira das Ciências o caráter vertical, o da autoridade que "baixa" assuntos para os leigos, ou seja, que o ensino consiste só em aceitar o "saber sábio". A Ciência efetivamente praticada pelos cientistas é uma discussão permanente sem bordas, na qual os consensos são construídos progressivamente (embora existam períodos de "mudança de paradigma", como expressado por Kuhn (...)). É importante que os alunos se acostumem a ver a Ciência como um processo dialético baseado tanto nas evidências quanto nos conceitos em que estas se encaixam e que, por sua vez, ajudam a criar.

Dentro dos padrões da SD, pode-se desenvolver a *transposição didática*, que nada mais é do que um instrumento eficiente para analisar o processo de maneira qualitativa e, utilizando saberes científicos (saber sábio), transformá-lo dentro de um contexto didático (saber ensinar), esculpindo essa aprendizagem para que ela apareça nas salas de aulas (saber ensinado). Vê-se aqui a conexão direta com o documento da UNESCO a respeito dos chamados 4 pilares da Educação (Currículo do Estado de São Paulo, 2010).

CHEVALLARD (em FREIRE E MOTOKANE, opus citatum, p. 4) afirma que o "saber sábio" (ou saber de referência), aquele produzido pela comunidade científica, sofre várias modificações até se tornar objeto de ensino, pois "novos" conhecimentos capazes de responder a dois domínios epistemológicos diferentes, Ciência e sala de aula, são importantes para valorizar a comunicação educador-educando, a fim de que os conteúdos sejam apreciados no contexto escolar, de forma que o material e a abordagem mantenham a relação com a natureza da Ciência, na qual é vista aqui a insistência no diálogo.

Ao desenvolver o modelo de transposição instrutiva, é possível refletir sobre quais conteúdos serão priorizados no contexto escolar, quais abordagens e quais correspondências com a natureza da Ciência, aprofundando conhecimentos das diferentes áreas (Física, Química, Biologia e suas respectivas esferas) através de um questionamento central capaz de ganhar a atenção dos alunos.

Portanto, a *transposição didática* é a forma de analisar e dispor elementos do processo. Ao se apropriar de uma figura explicativa e argumentativa em contextos mais

específicos, a sistematização de uma SD destaca o ensino de Ciências permitindo, assim, que os alunos atuem na resolução de um problema autêntico.

Considerando diferentes linhas de pesquisa que foram realizadas no ensino-aprendizagem de conteúdos científicos específicos no ensino de Astrofísica, é possível identificar diferentes tipos de conhecimentos estabelecidos pelos pesquisadores:

- Conhecimento estabelecido;
- Conhecimento comunicado entre pesquisadores;
- Conhecimento do ensino de conteúdo científico específico;
- Conhecimento aplicável e reaplicável;
- Conhecimento do ensino e da aprendizagem;
- Conhecimento da aprendizagem específica.

Entre outros que não serão aprofundados neste projeto. E como tal conhecimento pode ser comunicado entre pesquisadores permite a construção de SD (em grãos finos relacionando temas específicos) de forma coerente, tornando a pesquisa mais cumulativa, maximizando a aprendizagem e estabelecendo a comunicação mais explicitamente.

Nos últimos anos, a teoria da Aprendizagem Significativa, segundo Vygotsky (1896-1934), ganhou amplo espaço para se constituir como objetivo principal de muitas iniciativas que contrapõem as ideias vigentes da época, como a de que aprendizagem não ocorre numa simples associação de ideias armazenadas na memória, mas dentro de um processo ativo e interpessoal (NEVES E DAMIANI, 2006). A SD consiste na elaboração de instrumentos de estudos que auxiliam e flexibilizam o ensino e deve estar ligada ao conteúdo do currículo.

Embora muito estendida e estudada, a aprendizagem significativa tem dificuldade em aplicar os conhecimentos conceituais em vários contextos. A reflexão de uma SD deve ocorrer de forma tão minuciosa, que as possíveis abordagens ocorram por meio de uma perspectiva desenvolvida, na qual se descreva o uso da fala/discurso durante a sequência de ensino. Interpretado de maneira mais ampla, deve planejar quais abordagens comunicativas serão usadas, incluindo conversas professor-aluno, gestos e discussões entre colegas (GALANO et al., 2018). Levantamento sobre trabalhos envolvendo Sequências Didáticas no ensino de Ciências por GIORDAN e colaboradores (2011) indicam falta de rigor e clareza na descrição e no desenvolvimento dessas atividades e apontam necessidade de esforços para a ampliação dessa literatura e um aprimoramento da comunicação com o aluno.

Este projeto contribui para a pesquisa científica em educação, fornecendo um exemplo do desenvolvimento interativo, auxiliando na construção da SD, apoiando o aluno e descrevendo seus níveis de aprendizagem, informando atividades instrucionais adequadas, de forma intuitiva através de estratégias de raciocínio dos alunos sobre a estrutura e evolução estelar (GALANO et al., 2018).

Para construir e implementar essas sequências, o guia presente é a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), um documento de caráter normativo, que assegura aos estudantes o desenvolvimento de dez competências gerais. Ao definir essas competências, a BNCC estimula ações destacando as competências gerais da Educação Básica, proferindo a construção de conhecimentos. Este trabalho não tem por objetivo aprofundar nesse assunto, mas serão mencionados dois itens que foram destacados na Tabela 1.

A Tabela 1 mostra a análise dos propósitos do ensino-aprendizagem de uma área específica da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), apresentando o plano de conteúdo para esta sequência de ensino.

Tabela 1 – Análise do ensino-aprendizagem BNCC

Competências Gerais da Educação Básica (BNCC)	Fundamentos Pedagógicos	Base Nacional Comum Curricular e Currículos	Processo de Envolvimento na Organização do Currículo
Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas.	As decisões pedagógicas devem estar orientadas para o desenvolvimento de competências.	A BNCC e os currículos têm papéis complementares para assegurar as aprendizagens essenciais definidas para cada etapa da educação básica, em que o conjunto de decisões caracteriza o currículo em ação.	Conceber e pôr em prática situações e procedimentos para motivar e engajar os alunos nas aprendizagens; Construir e aplicar procedimentos de avaliação formativa de processo ou de resultado que levem em conta os contextos e as condições de aprendizagem, tomando tais registros como referência para melhorar o desempenho da escola, dos

			<p>professores e dos alunos;</p> <p>Selecionar, produzir, aplicar e avaliar recursos didáticos e tecnológicos para apoiar o processo de ensinar e aprender;</p> <p>Criar e disponibilizar materiais de orientação para os professores, bem como manter processos permanentes de formação docente que possibilitem contínuo aperfeiçoamento dos processos de ensino-aprendizagem.</p>
--	--	--	--

Fonte: Base Nacional Comum Curricular – BNCC

Sendo assim, a proposta de SD encaixa muito bem com a ideia central que cabe às escolas de Ensino Médio: proporcionar aos alunos experiências e processos que lhes garantam as aprendizagens necessárias para a leitura da realidade e o enfrentamento dos novos desafios da contemporaneidade. O acervo deve ser apresentado como campo aberto para as investigações, de forma que esses alunos se sintam estimulados a equacionar e resolver questões ligadas às gerações anteriores, relacionando a criatividade com o novo (BNCC, 2011, p.465).

A Tabela 2 mostra a organização dos conteúdos básicos desenvolvidos no Currículo de Física no Ensino Médio.

Tabela 2 – Currículo de Física do Estado de São Paulo

Série	Quadro de conteúdo do Currículo do Estado de São Paulo	Habilidades
1 ^a	3 ^o Bimestre Interação gravitacional:	Compreender as interações gravitacionais entre os objetos na superfície da Terra ou entre

	<ul style="list-style-type: none"> • O campo gravitacional e sua relação com massas e distâncias envolvidas. <p><i>4º Bimestre</i> Sistema Solar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Da visão geocêntrica de mundo à visão heliocêntrica, no contexto social cultural em que essa mudança ocorreu; • O campo gravitacional e as leis de conservação no sistema de planetas e satélites e no movimento de naves espaciais; • A inter-relação Terra-Lua-Sol. <p>Universo, evolução, hipóteses e modelos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Teorias e hipóteses históricas e atuais sobre a origem, constituição e evolução do Universo; • Etapas de evolução estelar - da formação à transformação em gigantes, anãs ou buracos negros; • Estimativas do lugar da vida no espaço e no tempo cósmicos; • Avaliação da possibilidade de existência de vida em outras partes do Universo; • Evolução dos modelos de Universo: - matéria, radiações e interações fundamentais; • O modelo cosmológico atual - espaço curvo, inflação e Big Bang. 	<p>os astros no Universo, identificando e relacionando variáveis relevantes nessas interações;</p> <p>Descrever, representar e comparar os modelos geocêntrico e heliocêntrico do Sistema Solar;</p> <p>Reconhecer os modelos atuais propostos para a origem, evolução e constituição do Universo, os debates entre eles e os limites de seus resultados;</p> <p>Relacionar ordens de grandeza de medidas astronômicas de espaço e tempo para fazer estimativas e cálculos;</p> <p>Identificar as principais características do modelo cosmológico atual.</p>
2ª	<p><i>1º Bimestre</i> Calor, ambiente e usos de energia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fenômenos e sistemas cotidianos que envolvem trocas de calor; • Controle de temperatura em sistemas e processos práticos; • Procedimentos para medidas de trocas de energia envolvendo calor e trabalho. <p>Propriedades térmicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dilatação, condução e capacidade térmica; calor específico de materiais de uso prático; • Quantificação de trocas térmicas em processos reais; • Modelos explicativos de trocas térmicas na condução, convecção ou irradiação. 	<p>Identificar fenômenos, fontes e sistemas que envolvem calor para a escolha de materiais apropriados a diferentes usos e situações;</p> <p>Reconhecer propriedades térmicas dos materiais e sua influência nos processos de troca de calor;</p> <p>Reconhecer o calor como energia em trânsito;</p> <p>Compreender e aplicar a situações reais o conceito de equilíbrio térmico;</p>

	<p><i>2º Bimestre</i> Calor, ambiente e usos de energia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Histórico da unificação calor-trabalho mecânico e da formulação do princípio de conservação de energia; • Entropia e degradação da energia; • Fontes de energia da Terra - transformações e degradação; • O ciclo de energia do Universo e as fontes terrestres de energia; • Balanço energético nas transformações de uso e na geração de energia; • Necessidades energéticas e o problema da degradação. <p><i>3º Bimestre</i> Som, imagem e comunicação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Som - características físicas e fontes; • Amplitude, frequência, comprimento de onda, velocidade e ressonância de ondas mecânicas; • Luz - características físicas e fontes; • Formação de imagens, propagação, reflexão e refração da luz; • Sistemas de ampliação da visão, como lupas, óculos, telescópios e microscópios. <p><i>4º Bimestre</i> Luz e cor:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A diferença entre a cor das fontes de luz e a cor de pigmento; • O caráter policromático da luz branca; • As cores primárias (azul, verde e vermelho) no sistema de percepção e nos aparelhos e equipamentos. <p>Ondas eletromagnéticas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A interpretação do caráter eletromagnético da luz; • Emissão e absorção de luz de diferentes cores; • Evolução histórica da representação da luz como onda eletromagnética. <p>Transmissões eletromagnéticas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Produção, propagação e detecção de ondas eletromagnéticas; 	<p>Reconhecer a evolução histórica do modelo de calor, a unificação entre trabalho mecânico e calor e o princípio de conservação da energia;</p> <p>Identificar as diferentes fontes de energia na Terra, suas transformações e sua degradação;</p> <p>Reconhecer a constante presença das ondas sonoras no dia a dia, identificando objetos, fenômenos e sistemas que produzem sons;</p> <p>Associar diferentes características de sons a grandezas físicas, como frequência e intensidade, para explicar, reproduzir, avaliar e controlar a emissão de sons por instrumentos musicais e outros sistemas;</p> <p>Caracterizar ondas mecânicas (por meio dos conceitos de amplitude, comprimento de onda, frequência, velocidade de propagação e ressonância) a partir de exemplos de músicas e de sons cotidianos;</p> <p>Reconhecer o papel da luz, suas propriedades e fenômenos que envolvem a sua propagação, como formação de sombras, reflexão, refração etc.</p> <p>Associar características de obtenção de imagens a propriedades físicas da luz para explicar, reproduzir, variar ou controlar a qualidade das imagens produzidas;</p> <p>Reconhecer diferentes instrumentos ou sistemas que servem para ver, melhorar e</p>
--	---	--

	<ul style="list-style-type: none"> Equipamentos e dispositivos de comunicação, como rádio e TV, celulares e fibras ópticas; Evolução da transmissão de informações e seus impactos sociais. 	<p>ampliar a visão, como olhos, óculos, lupas, telescópios, microscópios etc., visando à sua utilização adequada;</p> <p>Identificar a luz branca como composição de diferentes cores;</p> <p>Associar a cor de um objeto a forma de interação da luz com a matéria (reflexão, refração, absorção);</p> <p>Reconhecer o atual modelo científico utilizado para explicar a natureza da luz;</p> <p>Identificar os principais meios de produção, propagação e detecção de ondas eletromagnéticas no cotidiano;</p> <p>Explicar o funcionamento básico de equipamentos e sistema de comunicação, como rádio, televisão, telefone celular e fibras ópticas, com base nas características das ondas eletromagnéticas.</p>
3 ^a	<p><i>3^o Bimestre</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Matéria, propriedades e constituição; Modelos de átomos e moléculas para explicar características macroscópicas mensuráveis; A matéria viva e sua relação/distinção com os modelos físicos de materiais inanimados; Os modelos atômicos de Rutherford e Bohr. <p>Átomos e radiações:</p> <ul style="list-style-type: none"> A quantização da energia para explicar a emissão e absorção de radiação pela matéria; A dualidade onda-partícula; As radiações do espectro eletromagnético e seu uso tecnológico, como a iluminação incandescente, a fluorescente e o laser; 	<p>Identificar e estimar ordens de grandeza de espaço em escala subatômica, nelas situando fenômeno conhecidos;</p> <p>Explicar características macroscópicas observáveis e propriedades dos materiais, com base em modelos atômicos;</p> <p>Explicar a absorção e a emissão de radiação pela matéria, recorrendo ao modelo de quantização da energia;</p> <p>Reconhecer a evolução dos conceitos que levaram à idealização do modelo quântico para o átomo;</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Núcleo atômico e radioatividade; • Núcleos estáveis e instáveis, radiatividade natural e induzida; • A intensidade da energia no núcleo e seus usos médico, industrial, energético e bélico; • Radiatividade, radiação ionizante, efeitos biológicos e radioproteção. <p><i>4º Bimestre</i> Partículas elementares:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evolução dos modelos para a constituição da matéria - dos átomos da Grécia Clássica aos quarks; • A diversidade das partículas subatômicas, elementares ou não; • A detecção e a identificação das partículas; • A natureza e a intensidade das forças nas transformações das partículas. 	<p>Identificar diferentes radiações presentes no cotidiano, reconhecendo sua sistematização no espectro eletromagnético e sua utilização por meio das tecnologias a elas associadas (rádio, radar, forno de micro-ondas, raios X, tomografia, laser etc.);</p> <p>Explicar diferentes processos de geração de energia nuclear (fusão e fissão), reconhecendo-os em fenômenos naturais e em sistemas tecnológicos;</p> <p>Caracterizar o funcionamento de uma usina nuclear, argumentando sobre seus possíveis riscos e as vantagens de sua utilização em diferentes situações.</p>
--	---	--

Fonte: Currículo do Estado de São Paulo

Ao examinar os conteúdos da Tabela 2, observa-se que apresentam conjuntos de temas que têm por objetivo habilitar o estudante para "traduzir" e interpretar fisicamente o mundo moderno. Portanto, com a finalidade de aprimorar o ensino de ciências, maximizando sua compreensão, propõe-se uma perspectiva construtivista social sobre a aprendizagem (Currículo do Estado de São Paulo, 2011), reforçando o propósito de informar o ensino de Ciências em contextos formais, segundo LEACH E SCOTT (em KLAASSEN E KORTLAND, opus citatum, p. 14), e as ferramentas de design de abordagem comunicativa, segundo SCOTT et al. (em KLAASSEN E KORTLAND, opus citatum, p. 12).

A flexibilidade da organização escolar tornou-se independente ao romper a centralidade das disciplinas nos currículos, deslocando os aspectos mais globalizados e que envolvam a complexidade das relações existentes entre os ramos da Ciência no mundo real.

A sistematização em leis, teorias e modelos desenvolve o pensamento científico e as habilidades, privilegia os conhecimentos conceituais e sua relação com os fatos empíricos, construindo uma base que permite aos estudantes investigar, analisar e discutir

situações-problema. Assim sendo, os estudantes têm autonomia para reelaborar seus próprios saberes.

É dito que se quer ensinar “para aprender”, mas como saber se o aluno ‘entende’ uma ideia específica ou não? Segundo MULHALL et al., (em KLAASSEN E KORTLAND, opus citatum, p. 61), o que se quer é melhorar a compreensão dos alunos, para isso resultados de aprendizagens são operacionalizados, desenvolvendo tarefas e instrumentos que possam fornecer evidências da compreensão desse aluno, desempenhando um papel de aprendizagem mais amplo. McDERMOTT (em KLAASSEN E KORTLAND, opus citatum, p. 38) observam que o entusiasmo dos alunos e professores não é suficiente. O objetivo principal é que os estudantes alcancem gradualmente uma visão de todos os indicadores claramente para desenvolver as habilidades de raciocínio científico com muita qualidade na Ciência, focando primeiro no aluno para melhor compreensão das ideias científicas. Os praticantes das Ciências acreditam universalmente que esses objetivos são atingidos inexoravelmente, o que contrasta com os estudos de McDERMOTT (em KLAASSEN E KORTLAND, opus citatum, p. 38) de forma notória.

As reformas curriculares em nosso país mostram claramente que a evolução didática é difícil. Apesar de toda a eloquência teórica do currículo, ainda falta conhecimento didático necessário. O desenvolvimento do currículo requisita evidência pedagógica com relação à ideia da qualidade da aprendizagem, enumerando as estratégias didáticas que não são sequer mencionadas e muito menos consideradas uma variável relevante.

É importante não focar somente na aprendizagem dos alunos, mas, em particular, também na aprendizagem do professor, estruturando a SD empiricamente testada com os respectivos cenários, materiais de ensino, a fim de que o professor se sinta familiarizado com o material proposto.

O desenvolvimento das tarefas e dos instrumentos devem fornecer evidências do conhecimento dessa temática através dos destaques dos seguintes assuntos: estrutura da matéria; as estrelas e suas propriedades; a origem da luminosidade das estrelas, determinando o brilho e sua temperatura; diagrama HR; ciclos da vida estelar; etc. Assim sendo, o aluno terá o apoio do material apresentado pelo professor para a construção da aprendizagem de forma conceitual, para que, ao final, consigam descrever um relato detalhado da evolução das estrelas.

Abaixo, segue a estrutura do desenho da SD deste trabalho, elencado com o resumo da aprendizagem e das percepções esperadas através das realizações das atividades a serem desenvolvidas com os alunos.

Tabela 3 - Estrutura da Sequência Didática

SD 1 – Aula 1	
Tema	Conteúdo
Natureza da luz e como estudá-la	-Luz e suas propriedades; -Contexto histórico; -Leis de reflexão e refração; -O experimento de Young; -Luz como onda: difração; -O espectro eletromagnético; -Atividade experimental (difração).
SD 2 – Aula 2	
Tema	Conteúdo
O modelo atômico de Bohr	-Modelo atômico de John Dalton (1766-1844); -Modelo atômico de Joseph John Thompson (1856-1940); -O modelo atômico de Rutherford (1871-1937); - O modelo atômico de Niels Bohr (1885-1965); -Exercícios (Simulador Phet).
SD 3 – Aula 3	
Tema	Conteúdo
Relação das linhas espectrais com as substâncias	-A natureza da luz; -Espectro contínuo; -Espectro de emissão; -Espectro de absorção; -Atividade experimental (construção do espectrômetro).
SD 4 – Aula 4	
Tema	Conteúdo
Estrelas e suas propriedades	-Estimativas de distâncias; -Distância por paralaxe (Paralaxe estelar); -Classificação das estrelas; -As cores e a classificação espectral das estrelas; -O diagrama Hertzsprung-Russel;

	-Classe de luminosidade; -Relação entre magnitude e brilho aparente; - Exercícios (Simulador Stellarium).
SD 5 – Aula 5	
Tema	Conteúdo
Ciclos da vida estelar	-Nascimento de uma estrela; -Fontes de fusão nuclear; -Equilíbrio e estrutura estelar; -Tempo de vida da estrela; -Equilíbrio hidrostático; -Evolução e estágio do ciclo estelar; -Ciclos da vida estelar; -Experimento (Simulador The size of Space).

Fonte: arquivo pessoal da pesquisadora

Tabela 4 – Resumo da aprendizagem e as percepções esperadas a partir da realização das atividades.

SD	Tema	Objetivo da aprendizagem	Habilidades a ser desenvolvida
1	Natureza da luz e como estudá-la	Discutir a emissão de luz por diferentes materiais e o estudo de suas propriedades atômicas.	Ler e interpretar texto científico; analisar e interpretar resultados de atividade experimental demonstrativa.
2	O modelo atômico de Bohr	Analisar as transmissões, entre níveis de energia, possíveis a um elétron no átomo de hidrogênio.	Explorar historicamente o processo de construção de modelos da estrutura atômica.
3	Relação das linhas espectrais com as substâncias	Discutir a emissão de luz por diferentes materiais e o estudo de suas propriedades atômicas.	Ler e interpretar texto científico; analisar e interpretar resultados de atividade experimental demonstrativa.
4	Estrelas e suas propriedades	Reconhecer, identificar e mostrar a localização de algumas estrelas conhecidas.	Explorar historicamente a origem da luminosidade das estrelas, determinando o

			brilho e a sua temperatura, caminhando para a construção do diagrama de cor versus brilho das estrelas
5	Ciclos da vida estelar	Reconhecer, identificar e compreender o ciclo da vida estelar.	Explorar historicamente o nascimento das estrelas, sua evolução e sua morte compreendendo o ciclo da vida estelar através do aprofundamento de sua estrutura interna.

Fonte: arquivo pessoal da pesquisadora

Sendo assim, será feito a seguir um breve relato das sequências de aprendizagem.

2 O ENSINO DE FÍSICA E DA ASTROFÍSICA ESTELAR NO ENSINO MÉDIO

Colocar em contato os alunos com a Astronomia implica falar do nascimento das Ciências. De fato, não se sabe exatamente como começaram os estudos astronômicos, e a curiosidade pelos céus é muito antiga e suas origens, enigmáticas. Mas é claro que o surgimento das civilizações gregas trouxe uma Astronomia diferente, de forma qualitativa com relação à ciência e à religião. Seguiram o prazer de estudar os fenômenos naturais sem razão utilitária, apenas pelo prazer de aprender, levando à separação entre religião e filosofia, iniciando um marco histórico no desenvolvimento científico ocidental.

As diversas tentativas de compreender as estrelas compactuaram finalmente, depois de séculos de pensamento e observação, para o surgimento da Astrofísica Estelar, havendo inúmeras razões para abordar, em sala de aula, as estrelas. É importante salientar a diferença entre “falar” assuntos científicos e “compreendê-los”. No entanto, o letramento científico no Ensino Médio encontra-se defasado em algum ponto em meados do século XIX (HORVATH, 2019), o que resulta claramente insuficiente para uma abordagem física das estrelas. Portanto, o que poderia ser feito para funcionarem “esses mecanismos”, reforçando o desenvolvimento e a compreensão da Ciência? É necessária uma boa reflexão sobre a Ciência no âmbito escolar, porque o seu enfoque encontra-se defasado.

O ensino sobre as estrelas poderia até se transformar em um dos focos principais no Ensino Médio (BANDECCHI, 2018), porém a insegurança do profissional fortalece a barreira substancial para o ensino das Ciências diante de uma postura construtivista. Mesmo o assunto estando disponível nos PCNs e na BNCC, o ensino de Astronomia ocorre por ciclos em que existe um afastamento progressivo entre professor-aluno, já que o profissional, muitas vezes, não se sente seguro e não possui materiais e recursos suficientes para a abordagem do tema, dificultando assim qualquer aproximação pedagógica. Também é importante que o professor encontre o seu próprio caminho de ensino, sabendo que o ambiente escolar varia muito de acordo a cada comunidade. O objetivo geral no ensino da Astrofísica Estelar é apresentar uma visão contemporânea do ambiente estelar, exprimindo seus fundamentos, mas a execução disso depende do contexto escolar específico. É por isso a ênfase, anteriormente, nas características da Escola Integral.

2.1 Desenvolvimento da Física Moderna

No final do século XIX, muitos físicos famosos acreditavam que a tarefa da Física tinha terminado, que nada mais havia para descobrir. Restavam, é verdade, alguns “pequenos” problemas, nas palavras de Jeans (1877-1946). Segundo ele, bastaria apenas um pouco de empenho para resolvê-los. Com o passar do tempo, perceberam que esses problemas não eram tão pequenos quanto pensavam; por isso, só puderam ser resolvidos com a criação de duas novas teorias bastante radicais: a *Teoria da Relatividade e a Mecânica Quântica* (KEPLER E SARAIVA, 2017).

Essas teorias revolucionaram a Física no início do século XX e ajudaram a conhecer muito da estrutura da matéria. Com o desenvolvimento dos experimentos, primeiro o elétron e o núcleo, depois os prótons e nêutrons e muitas mais partículas elementares foram descobertas e estudadas. Simultaneamente, a ideia da evolução do Universo levou a conectar o mundo elementar com este, já que o Universo teria passado por estágios nos quais a temperatura e densidade eram tão elevadas que somente os componentes elementares deviam ter um papel. Foi assim, possível em última instância, formular hipóteses sobre a *origem* do Universo. A Física desenvolvida a partir do início do século XX passou a ser chamada de *Física Moderna*, enquanto a Física desenvolvida anteriormente ficou conhecida pelo nome de *Física Clássica*.

2.2 Natureza da luz e como estudá-la

A ideia do estudo sobre a natureza da luz ocupou o pensamento dos filósofos clássicos por séculos. No século I a.C., o filósofo Lucrécio pensava que a luz era composta de pequenas partículas emitidas pelo Sol e outros corpos. Até o ano 1000 d.C., prevaleceu a ideia de que a luz saía dos olhos para atingir o objeto enxergado, e não ao contrário. Baseado em observações simples com a persistência das imagens quando os olhos são fechados (HORVATH, 2008), um dos primeiros que contestou essa teoria foi o cientista Al-Haytam (965-1039).

Os filósofos gregos acreditavam que a luz era constituída de pequenas partículas propagando-se em linha reta com altíssima velocidade. Leonardo da Vinci, por meio da comparação entre a luz e o eco, elaborou a hipótese de que a luz poderia ter natureza ondulatória.

Somente no século XVII, com os trabalhos de Kepler, Snell, Descartes e outros, foram estabelecidos alguns fatos básicos a respeito da luz, tais como as leis de reflexão e a descoberta da refração. Porém, a questão da velocidade da luz demorou mais tempo

para ser estabelecida: embora Kepler e a maioria de seus contemporâneos pensassem na sua infinidade, as observações do astrônomo dinamarquês Ole Christensen Roemer (1644-1710) provaram que era muito rápida, mas não necessariamente infinita. Utilizando métodos completamente astronômicos, Roemer mediu a diferença de tempo entre os eclipses das luas de Júpiter, quando a Terra se encontrava do mesmo lado do Sol que o planeta e quando se encontravam em lados opostos. A diferença atribuída à velocidade da luz resultou em um valor 30% menor que o atual (299.792 km/s), mas provou que ela não era infinita (HORVATH, 2008).

Leon Foucault conseguiu medir a velocidade da luz dentro de um longo tubo com água. O resultado mostrou que a luz anda mais devagar na água que no ar. Dois meses depois, Fizeau repetiu essa experiência e comprovou a medida de Foucault. Esses testes seriam fundamentais para a comprovação da teoria corpuscular da luz, em que destacou os nomes de Newton e Descartes e, na teoria da ondulatória, os de Hooke e Huygens.

Um nome fundamental na pesquisa da natureza da luz é o de Isaac Newton. Além de descobrir a decomposição da luz branca por um prisma, Newton construiu o primeiro telescópio refletor e criou a *teoria corpuscular da luz*, na qual ela era resultado de pequenas “partículas” que se propagavam. Conceito que voltaria a aparecer em outro contexto no século XX, após publicar suas pesquisas no livro *Optiks*, em 1704.

Vários outros pesquisadores adotaram acerca da luz uma visão bem diferente, descrevendo-a como um fenômeno ondulatório, no qual a luz é algo análogo, como as ondas que são produzidas numa piscina quando uma pedra é jogada. Por volta de 1680, o holandês Christiaan Huygens (1629-1695) produziu a primeira teoria completa da luz como sendo uma onda, que passou inicialmente bastante despercebida. Uma descrição tão diferente da newtoniana ganhou fundamentos experimentais com a descoberta da *interferência* pelo físico inglês Thomas Young (1773-1829), uma série de bandas claras e escuras alternadas numa tela onde a luz tinha passado por duas fendas finas diferentes. A interferência foi interpretada como as somas e diferenças da intensidade numa tela que são explicadas naturalmente se as “crestas” e os “vales” das ondas não coincidirem em sua fase. Young também conseguiu explicar vários resultados relacionados a Newton em termos da teoria ondulatória.

Logo em seguida, os franceses Augustin-Jean Fresnel (1788-1827), Siméon-Denis Poisson (1781-1840) e outros desenvolveram, com sucesso, a teoria ondulatória para explicar a difração. A difração pode ser descrita simplesmente como a capacidade da luz em “contornar” obstáculos. Isto é, ao proferir que a luz se propaga em linha reta, fala-se

sempre dos casos conhecidos, em que os objetos são muito grandes quando comparados ao comprimento de onda da luz. Quando esta condição não se realiza, a luz mostra seu aspecto ondulatório de forma marcante: da mesma forma que uma pedra num estanque irradia ondas, a luz se comporta de forma similar e é dito que se *difrata* para iluminar de forma não uniforme uma tela, por exemplo, quando feito um minúsculo buraco.

No começo do século XIX, o pesquisador alemão Joseph Fraunhofer (1787-1826) estudava a luz do Sol utilizando uma técnica conhecida desde os tempos de Newton: a decomposição da luz em cores ao passar por um prisma, o chamado *espectro*. Ao observar, notou raias escuras por conta da ausência de luz, sendo possível ver linhas escuras atravessando as bandas de cor, ou seja, faltava luz em certas posições do espectro.

Este fenômeno tinha sido observado pelo físico-químico inglês William Wollaston (1766-1828) em 1802, mas Fraunhofer foi capaz de identificar e catalogar um grande número de linhas. Tempos depois, uma vez aceita a hipótese quântica de Max Planck (1858-1947) e alguns seguidores, percebeu-se a enorme importância da descoberta das linhas quando interpretadas em termos dessas novas ideias.

Planck tinha proposto resolver sérios problemas encontrados no estudo da absorção de luz pela matéria, que só poderia ser absorvida (e depois emitida) não em qualquer quantidade, mas em “pacotes” chamados por ele de *quanta* (*Figura 1*). Estes pacotes de energia tinham uma relação simples com a frequência da luz ν ; segundo a hipótese de Planck, elas eram proporcionais, ou seja:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (1)$$

Em que a constante de proporcionalidade $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J s}$ é um número extremamente pequeno, que ficou conhecido como *constante de Planck*. Para Planck, essa ideia foi meramente um recurso para calcular as quantidades importantes da absorção da luz pela matéria, mas nada além disso. Porém, a imagem de um mundo onde a luz e matéria estão *quantizadas*, ou seja, somente aparecem em “pacotes” (conceito totalmente alheio à Física Clássica a qual permite qualquer valor da energia e não só os múltiplos de h), é distinta constante de Planck. Essa teoria ganhou força quando os físicos viram que as previsões explicavam com bastante exatidão e grande elegância os dados experimentais. Cálculos desse tipo permitiriam aos jovens de então ganharem o Prêmio Nobel de Física, concebido a Albert Einstein (1879-1955) em 1921 pela explicação do

efeito fotoelétrico e a construção dos primeiros modelos de átomo, a Niels Bohr (1885-1962), assim como a outros físicos contemporâneos que exploraram a fundo a ideia dos *quanta* (HORVATH, 2008).

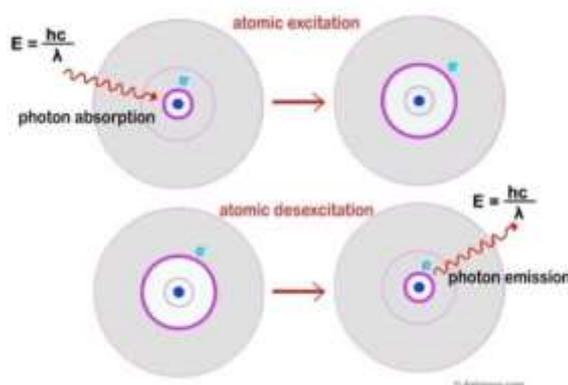


Figura 1- Fonte: Astronoo. Universo em todas as suas formas. <http://www.astronoo.com/pt/artigos/principio-absorcao-emissao-atmica.html>

Precisamente nas ideias de Bohr e na nascente Teoria Quântica, encontrou a explicação hoje amplamente confirmada: da existência das linhas escuras que Fraunhöfer havia observado (Figura 2). Com essa discussão a respeito da natureza da luz, cabe perguntar de que forma se pode melhorar o conhecimento do Universo aproveitando o aprendizado. Os astrônomos estudam as propriedades dos objetos do seu interesse utilizando a informação contida na luz, levantando dados a respeito com instrumentos especializados, na faixa óptica e em outras regiões do espectro.

Por volta de 1850, o químico e físico inglês Michael Faraday (1791-1867) e James Clerk Maxwell (1831-1879) construíram a síntese da visão atual da natureza da luz, e sua descrição é o resultado do produto da síntese atingida. O trabalho experimental de Faraday juntamente com as observações do francês André-Marie Ampère (1775-1836), do dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851) e de outros levaram Maxwell à formulação matemática geral dos fenômenos *eletromagnéticos*, nos quais a luz aparece como um caso particular (que o próprio Maxwell, porém, não chegou a perceber na sua totalidade).

A identificação da luz, como uma manifestação do eletromagnetismo, unificou imediatamente a visão que existia de ambos os campos. Coube ao físico alemão Heinrich Hertz (1857-1894) responder à seguinte indagação: existiria “luz” cujo comprimento de onda fosse muito maior ou muito menor do que a faixa do visível? A resposta é afirmativa, a descoberta das ondas de rádio de comprimento mais longo e de natureza idêntica à da

luz visível. Os “Raios-x” detectados pelo alemão Wilhelm Röntgen (1845-1923), quando pesquisava amostras de metais raros, resultaram em uma forma energética de “luz”. Assim, rapidamente ficou claro que o chamado *espectro eletromagnético* se estende muito aquém e muito além dos comprimentos de onda da luz visível. Hoje se está em condições de explorar o Universo utilizando as mais variadas técnicas para captar fenômenos que passam despercebidos no visível. O avanço teórico e experimental no estudo da luz ampliou ainda mais a possibilidade de explorar o Cosmos (HORVATH, 2008).

Essa relação que permite investigar e obter dados concretos a respeito das estrelas, que em boa parte é desconhecida pelos alunos, resulta fundamentalmente em esclarecer e colocar a luz como protagonista do enorme avanço da Astronomia, mostrando como sua formulação física alavancou os estudos astronômicos e vice-versa.

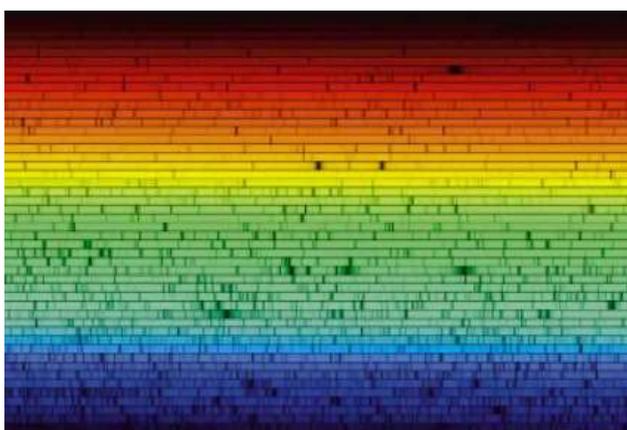


Figura 2 – Linhas de Fraunhofer: o espectro de luz que revela a idade e a composição química do Sol.
Espectro de luz não contínuo. Crédito: NOAO/ NOS/ AURA/ NSF.

Um desses exemplos é o *efeito fotoelétrico* descoberto em 1887 pelo físico Heinrich Hertz quando tentou produzir e detectar as ondas eletromagnéticas previstas por Maxwell. Hertz percebeu que, quando a luz incidia em um metal, uma diferença de potencial surgia pelo fato de os elétrons serem arrancados desse metal. O efeito fotoelétrico é, então, a produção de elétrons em um metal devido à incidência de luz. No entanto, admitindo a natureza ondulatória da luz, a Física Clássica não foi capaz de dar uma explicação satisfatória para o fenômeno, especialmente porque o limiar não depende da intensidade, mas sim da cor da luz incidente.

Já foi dito que a história da Mecânica Quântica começou em 1900, quando o físico alemão Max Planck apresentou uma solução para um dos problemas que intrigavam os

físicos no final do século XIX: a radiação do corpo negro. Vários físicos tentaram resolver esse problema, sem sucesso. Porém, para obtê-la, ele teve de fazer uma hipótese ousada, segundo ele, feita por “puro desespero”, sendo que o próprio Planck não acreditava nela. Sua hipótese era de que a radiação emitida pelo corpo não ocorria de maneira contínua, mas sim na forma de pequenos “pacotes”, de modo que a energia (E) de cada “pacote” seria proporcional à frequência (ν) da radiação. Para resolver tal problema, ele postulou a energia quantizada da equação (1). Em 1918, Max Planck recebeu o prêmio Nobel de Física pela descoberta dos chamados *quanta* de energia, a quantização da luz (KEPLER E SARAIVA, 2017).

Aos 26 anos, usando as ideias de Planck, Albert Einstein chegou a uma interpretação aceitável do efeito fotoelétrico. Einstein chamou cada pacote de luz de *quantum*. Mais tarde, cada um desses *quanta* foi chamado de fóton. No mesmo ano, publicou, no Anuário Alemão de Física, três artigos que mudariam a história da Física, entre eles um sobre o efeito fotoelétrico, em que reconsiderou a natureza corpuscular da luz da perspectiva das novas ideias quânticas emergentes.

O efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons de uma superfície metálica devido à incidência de radiação eletromagnética sobre aquela (superfície metálica). Os elétrons arrancados do metal pela radiação incidente são chamados de fotoelétrons. Dentre os fenômenos observados experimentalmente durante o efeito fotoelétrico, é possível destacar as seguintes características interpretadas assim por Einstein:

- A energia dos elétrons emitidos pela superfície depende da frequência da radiação incidente e não da sua intensidade;
- O aumento da intensidade da radiação incidente provoca apenas um aumento do número de elétrons emitidos;
- Os elétrons são emitidos instantaneamente pela superfície metálica;
- Durante o efeito fotoelétrico, cada fóton atinge um único elétron, transferindo-lhe toda a sua energia.

Para que os fotoelétrons sejam separados do metal, é necessário que o fóton da radiação incidente tenha um valor de energia mínima superior à função trabalho do metal. Isso corresponde a um valor de frequência mínima da onda incidente chamada de frequência de corte. Para que o efeito fotoelétrico ocorra, é necessário que a energia dos fótons seja maior que a energia de ligação dos elétrons presos ao metal. Esse valor da

frequência de corte corresponde a um comprimento de onda (λ) chamado de comprimento de onda de corte.

A descoberta do efeito fotoelétrico teve grande importância para a compreensão mais profunda da natureza da luz. Graças a esse efeito, tornou-se possível o cinema falado, e uma célula fotoelétrica permite reconstituir os sons registrados nas películas do cinematógrafo, assim como a transmissão de imagens animadas (televisão). Pode-se também verificar a utilização da tecnologia do efeito fotoelétrico no funcionamento das câmeras de TV, nos óculos de visão noturna, nos sistemas de desligamento automático de iluminação, nas portas que abrem e fecham automaticamente nos shoppings, nos relógios que funcionam com energia solar, etc.

2.3 Modelos atômicos

O átomo é hoje considerado o contribuinte básico da matéria, da ordem de grandeza de 10^{-10} m, impossível de ser observado a olho nu mesmo com a ajuda dos mais poderosos equipamentos ópticos. Para desvendar o chamado *mundo microscópico*, desenvolveram-se investigações e experimentos proporcionando criações de novas ideias e modelos.

A ideia proposta pelos atomistas gregos 2500 anos atrás, na Grécia Antiga, atravessou mais de 2000 anos sem ser, geralmente, aceita. Os gregos inventaram o termo *átomo* (a = negação; tomo = partes, não há partes, portanto, indivisível), e suas propostas filosóficas são chamadas de atomismo lógico, ainda desvinculadas das provas experimentais conhecidas e exigidas por um problema científico. Essa transformação do atomismo teria que esperar muitos séculos (PIETROCOLA E UETA, 2004).

Por volta de 1600, a ideia sobre a continuidade da matéria era a mais aceita. A impossibilidade do “acesso direto” à realidade microscópica possibilitou sugerir modelos para representar diferentes procedimentos de investigação. Com o desenvolvimento do estudo dos gases, o inglês Robert Boyle (1627-1691) abriu caminho para a coleta de evidências a favor da natureza *corpuscular* da matéria.

Depois de coletar evidência concreta sugerindo a natureza *corpuscular* da matéria (por exemplo, os números puros que balancam as reações químicas, vide abaixo), a ideia de continuidade foi abandonada estabelecendo definitivamente a teoria atômica de John Dalton aproximadamente no ano de 1800. Desde os gregos até os dias atuais, os modelos atômicos passaram por “reconstruções” para descrever melhor os fenômenos observados, evoluindo, assim, suas características (PIETROCOLA E UETA, 2004).

O modelo atômico de Dalton (1803)

O cientista inglês John Dalton (1766-1844) observou que o balanço químico das reações era atingido por proporções que envolviam números inteiros e, desenvolvendo a denominada Teoria Atômica, que propunha um modelo de átomo baseado nas seguintes ideias:

- Toda matéria é constituída por átomos (postulado dos atomistas gregos);
- Os átomos são esferas maciças, indivisíveis e neutras (evidentemente idealizados);
- Os átomos não podem ser criados nem destruídos (isto é importante porque resulta uma lei de conservação, da qual o mundo físico está cheio);
- Os elementos químicos são formados por átomos simples, que explicam tais proporções das reações químicas;
- Os átomos de determinado elemento são idênticos entre si em tamanho, forma, massa e demais propriedades;
- Um composto é formado pela combinação de átomos de dois ou mais elementos que se unem entre si em várias proporções simples. Cada átomo guarda sua identidade química.

Defendeu fortemente seu modelo, apesar de serem evidenciadas várias objeções, chegando a recusar sistematicamente tudo o que contrariasse suas afirmações (a exemplo de muitos cientistas contemporâneos propensos ao dogmatismo mais puro...). Graças ao seu prestígio, mas principalmente à aquisição de dados que maioritariamente confirmavam a presença de unidades discretas, suas ideias mantiveram-se firmes por algumas décadas.

O modelo atômico de Thomson (1897)

Joseph John Thomson (1856-1940) teve a tarefa de contestar nada menos que a ideia de que o átomo era indivisível. Com os dados disponíveis na época, propôs um modelo mais coerente que o de Dalton.

Primeiramente, ele considerou que toda matéria era constituída de átomos. Mas conseguiu determinar que esses átomos continham partículas de carga negativa denominados *elétrons*. Eletricamente neutros, os átomos apresentavam uma distribuição uniforme, contínua e esférica de carga positiva, na qual os elétrons se distribuía uniformemente. Essa distribuição garante o equilíbrio elétrico, evitando o colapso da estrutura. O diâmetro do átomo seria da ordem de $10^{-10}m$, segundo suas estimativas (essencialmente corretas).

O átomo de Thomson também ficou conhecido como o *Modelo do Pudim de Passas*, no qual as passas representam os elétrons, e a massa do pudim (contínua), a carga elétrica positiva. Nos conteúdos da escola, é um passo obrigatório antes dos refinamentos de Bohr e subsequentes.

O modelo atômico de Rutherford (1911)

Em 1911 o físico neozelandês Ernest Rutherford (1871-1937), ganhador do prêmio Nobel em 1908, fez sua “experiência de espalhamento de partículas alfa” para suas novas descobertas sobre a estrutura do átomo, surgindo daí a base para o modelo de átomo que estudamos até os dias de hoje.

Em sua experiência, Rutherford bombardeou uma fina folha de ouro com partículas alfa (pequenas partículas radioativas portadoras de carga elétrica positiva emitidas por alguns átomos radioativos, como o polônio). Observou que a maioria atravessou a lâmina, outras mudaram ligeiramente de direção, mas algumas ricochetearam. Este acontecimento foi evidenciado por uma tela com material fluorescente apropriado, usado na identificação de partículas alfa. Mas o que Rutherford esperava com esse experimento? Esperava-se que, segundo o modelo de Thomson, as partículas alfas atravessassem a folha de ouro quase sem sofrer desvios em todos os casos.

Entretanto, alguns dos desvios foram muito maiores do que se poderia supor, por exemplo, algumas partículas ricochetearam até aproximadamente 180° . Foi a partir dessa experiência que Rutherford levou suas ideias para o meio científico. A ideia de Thomson para o átomo foi mantida em parte, mas com modificações estruturais importantes.

Rutherford propôs que os átomos seriam constituídos por um núcleo muito denso carregado positivamente, onde se concentraria praticamente toda a massa. Ao redor desse núcleo positivo, ficariam os elétrons distribuídos espaçadamente numa região denominada de *eletrosfera*. Comparou seu modelo ao Sistema Solar, onde o Sol seria o núcleo, e os planetas seriam os elétrons. Surge então, o célebre modelo "planetário" do átomo.

De sua experiência Rutherford também pode concluir, fazendo medidas quantitativas, que o átomo teria um núcleo com diâmetro da ordem de 10^{-13} cm e que o diâmetro do átomo seria da ordem de 10^{-8} cm . Isso significa que o núcleo é aproximadamente cem mil vezes menor que o átomo. A medida 10^{-8} cm passou a ser chamada de *angstrom* ($1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$).

Portanto, as principais características do átomo de Rutherford são as seguintes:

- O átomo não é maciço, mas formado por uma região central denominada *núcleo*, muito pequeno em relação ao diâmetro atômico. Na verdade, o átomo é um grande vazio;
- Esse núcleo concentra toda a massa do átomo e é dotado de carga elétrica positiva, na qual estão os prótons;
- Na região ao redor do núcleo, denominada de eletrosfera, estão girando em órbitas circulares os elétrons (partículas muito mais leves que os prótons, cerca de 1836 vezes), neutralizando a carga nuclear.

O átomo foi sendo revelado e construído aos poucos através de inúmeras teorias verificadas cientificamente desde 1800. Mesmo no modelo atômico proposto por Rutherford, em 1911, havia ainda certas perguntas que esse modelo não explicava. O principal problema era que, segundo os trabalhos de James Clerk Maxwell (1831-1879) sobre eletromagnetismo, partículas carregadas e em movimento acelerado irradiam energia (ondas eletromagnéticas) e, portanto, “gastam” energia. Sendo assim, os elétrons não poderiam ter órbita circular estável e estariam sofrendo perda constante de energia durante seu giro em torno do núcleo, caindo rapidamente no núcleo! Contudo, isso não ocorre. Como explicar esse fenômeno?

O átomo de Rutherford provou a existência do núcleo, mas falhou na explicação clássica da estabilidade do átomo. Esse problema só seria resolvido com a criação de um novo modelo proposto por Niels Bohr (1885-1965), como uma correção ao modelo de Rutherford e que será vista a seguir.

O modelo atômico de Bohr (1913)

Em 1913, o físico dinamarquês Niels Bohr (1885-1962), ganhador do prêmio Nobel em 1922, propôs um modelo atômico explicando a estabilidade do átomo. Para isso, Bohr baseou-se nas ideias do alemão Max Planck (1858-1947), obtendo desse modo um excelente resultado, mas se afastando muito da Física Clássica (PIETROCOLA E UETA, 2004).

Em 1913, Bohr propôs modificações importantes ao modelo de Rutherford. Segundo o modelo antigo, a ideia de quantização só assume números inteiros (Figura 3). Os elétrons poderiam orbitar o núcleo a qualquer distância. Bohr sugeriu o *momentum angular* múltiplo, em que os elétrons poderiam ocupar órbitas bem definidas em torno do núcleo em órbitas circulares $m_e v r = n \frac{h}{2\pi}$ (KEPLER E SARAIVA, 2017).

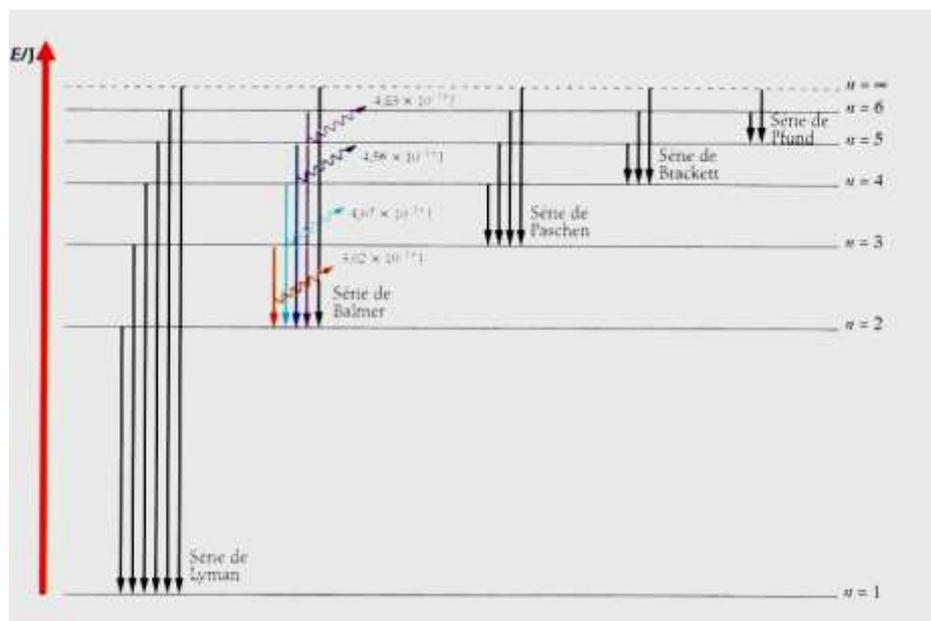


Figura 3: Níveis de energia do hidrogênio. Fonte:

<http://fisicaquimicanet.blogspot.com/2010/01/atomo-de-hidrogenio-e-estrutura-atmica.html>

Os níveis de energia do hidrogênio são quantizados, assumindo números inteiros, e suas órbitas são quantizadas, logo, os níveis de energia são quantizados, conforme a equação 1.

Após um detalhado estudo do espectro descontínuo do átomo de hidrogênio, que possui apenas um elétron movendo-se em torno do núcleo, Bohr propõe um modelo atômico por meio dos seguintes postulados:

- O elétron descreve órbitas circulares ao redor do núcleo, cujos raios r_n dessas órbitas são dados pela expressão: $r_n = n^2 \cdot \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m Z e^2}$;
- As órbitas foram chamadas por Bohr de estados estacionários. Portanto, diz-se que o elétron está em um estado estacionário ou em um nível de energia no qual cada órbita é caracterizada por um *número quântico* (n), que pode assumir valores inteiros 1, 2, 3...;
- Um elétron que permanece em um dado estado estacionário não emite energia, apresentando assim energia constante;
- A passagem de um elétron de uma órbita para outra supõe absorção ou emissão de determinada quantidade de energia, conforme o elétron se move de uma posição menos energética para outra mais energética e vice-versa;
- A energia é absorvida ou liberada na forma de radiação eletromagnética e é calculada pela expressão $\Delta E = h\nu$ ou $E_f - E_i = h\nu$, onde E_i e E_f correspondem, respectivamente, à energia do elétron nos estados de energia n_i e n_f e o ν corresponde à frequência da onda eletromagnética (luz) emitida ou absorvida.

As discussões que estavam abertas referente aos espectros de emissão e absorção foram finalmente compreendidas, o que permitiu encaixar os espectros estelares observados um século antes nos avanços daquela época. Resulta evidentemente que o estudo dos espectros estelares e dos modelos atômicos deve ser totalmente integrado.

2.4 Relação das linhas espectrais com as substâncias

Viu-se que o átomo de Bohr, baseado nas ideias de Planck, permitia somente *energias definidas* para os elétrons, os chamados níveis de energia. O preenchimento progressivo desses níveis eletrônicos para átomos diferentes é a base da ideia de *camadas eletrônicas* e dela dependem quase todos os fenômenos químicos. Os níveis de energia trazem uma consequência importante para a forma como a luz e os átomos interagem: se um elétron está num certo estado de energia e o átomo é iluminado por luz com uma determinada faixa de comprimento de onda, ele pode absorver alguns fótons (os “pacotes” de Planck) para pular para um estado de maior energia. Assim, este processo *retira* da luz fótons que os elétrons utilizaram para serem promovidos, e aqueles que *‘faltam’* na luz, ao chegarem ao observador, são visualizados como linhas escuras (KEPLER E SARAIVA, 2017).

O espectro de luz visível é possível de ser observado quando a luz de uma lâmpada comum (de filamento incandescente) passa através de um prisma, sendo decomposta em várias cores, conhecidas popularmente como arco-íris.

Se essa experiência for repetida utilizando uma luz proveniente de uma lâmpada de gás, o espectro completo não será obtido. Algumas linhas estarão presentes, correspondendo a algumas frequências das ondas de luz visível. Essas linhas formam o espectro de linhas ou espectro atômico.

Utilizando o modelo atômico de Bohr, pode-se explicar o mistério dos espectros atômicos. Conforme seus postulados, os elétrons, ao serem excitados por uma fonte externa de energia, saltam para um nível de maior energia e, ao retornarem aos níveis de menor energia, liberam-na (a energia) em forma de luz (fótons). Como a cor da luz emitida depende da energia entre os níveis envolvidos na transição e como essa diferença varia de elemento para elemento, a luz apresentará cor característica para cada elemento químico.

Dentre os espectros atômicos, vale ressaltar que o espectro de emissão existe quando o elétron perde energia, emitindo um fóton, e o espectro de absorção existe quando o elétron ganha energia absorvendo um fóton.

Kirchhoff extraiu algumas “leis” empíricas muito úteis no tratamento de espectros. São elas:

- I. Um corpo opaco muito quente (sólido, líquido ou gasoso) emite um espectro contínuo.
- II. Um gás transparente muito quente produz um espectro de linhas brilhantes (de emissão). O número e a posição dessas linhas dependem dos elementos químicos presentes no gás.
- III. Se um espectro contínuo emitido por um corpo quente passar por um gás à temperatura mais baixa, a presença do gás frio faz surgir linhas escuras (absorção). O número e a posição dessas linhas dependem dos elementos químicos presentes no gás.

É importante frisar que as linhas escuras não significam ausência total de luz, mas sim um déficit de fótons. Conclui-se que o gás absorve radiação vinda em sua direção e a reemite em todas as direções, diminuindo, assim, o fluxo na direção da fonte. Kirchhoff e Bunsen reconheceram que essa poderia ser uma poderosa ferramenta para determinar a composição química dos elementos do Sol e das estrelas fixas.

Em 1860, Kirchhoff tinha identificado cerca de 16 elementos químicos diferentes entre as centenas de linhas que ele registrou do espectro do Sol. Assim, ficou fácil para ele especular a composição química do Sol e sua estrutura. No mesmo ano, as observações estelares com a utilização dos espectros tomaram um grande impulso com Donati (1826-1873) em Florença, Rutherford (1816-1892) em Nova Iorque, Airy (1801-1891) em Greenwich, Huggins (1824-1910) em Londres e Secchi (1818-1878) em Roma (KEPLER E SARAIVA, 2017).

Em meados de 1862, as observações estavam a todo vapor, e o astrônomo sueco *Ångström* (1814-1874) aumentou a precisão do comprimento de onda e identificou as linhas de hidrogênio no Sol. Um pouco mais adiante, por volta do ano de 1868, o astrônomo Lockyer (1836-1920) identificou o elemento químico hélio no Sol. Após 27 anos, o elemento hélio foi encontrado na Terra pelo químico inglês Ramsay (1852-1916). Hoje em dia, sabe-se que o hélio é o segundo elemento mais abundante do Universo, perdendo apenas para o hidrogênio (KEPLER E SARAIVA, 2017).

Com todos esses conceitos e desenvolvimentos, estava aberta a porta para a extração de dados quantitativos das estrelas a partir dos espectros e da medida dos fluxos. A construção de modelos específicos para explicar a Física das estrelas foi acontecendo

simultaneamente, com a incorporação das ideias e métodos da Mecânica dos Fluidos, a Termodinâmica e a nascente Física Nuclear, como será descrito a seguir.

3 POSICIONANDO A ASTROFÍSICA NO CONTEXTO ESCOLAR

Ensinar Astrofísica Estelar para alunos do Ensino Médio vai muito além de enunciar fatos a respeito das estrelas. É preciso despertar o fascínio lúdico, ocorrendo a compreensão do aluno de forma cognitiva e dando sentido a todo o conjunto. Segundo CAVAGNETTO (2010), é importante priorizar os conhecimentos científicos, cuja abordagem estimule o contexto específico relacionado à Ciência, apropriando a explicação e argumentação em contextos que privilegiem a literatura científica, moldando o desenho da SD (em FREIRE E MOTOKANE, opus citatum, p. 124).

Ao introduzir o conteúdo referente às estrelas e suas propriedades na vida escolar, é possível descobrir qual a percepção dos estudantes antes de expor os conteúdos na sala de aula. A observação empírica introduz aos alunos ideias e conceitos experimentais que os desafiam dentro do potencial astronômico. É importante que o aluno se envolva com o aprendizado, comprometido na busca por respostas e soluções para questões que sejam apresentadas pelo professor (RODRIGUES, 2016).

O desenvolvimento de experimentos e o uso de simuladores resulta, se utilizados de forma concreta, numa ferramenta importante para os alunos, motivando-os e firmando as suas ideias. A visão contemporânea desses assuntos leva a um horizonte mais acurado sobre a temática, mas, no seu papel de simples divulgação, não é nada fácil, já que requer estudo aprofundado, tal como foi tentado. Acredita-se, assim, que uma SD bem elaborada torna o estudo vantajoso e diferenciado, sendo possível encontrar razões e evidências que contribuam para as pesquisas de ensino em Astrofísica. Será vista a seguir, a apresentação dos tópicos e posteriormente seu desenvolvimento.

3.1 Estrelas e suas propriedades

Inicia-se com uma observação elementar: ao examinar o céu, é possível notar uma “floresta” de estrelas e que elas são fontes de luz muito mais fracas que o Sol. Percebem-se também suas cores diversas, desde o branco azulado da maioria até um amarelo avermelhado, um pouco mais raro. A energia da luz emitida por unidade de tempo é conhecida como luminosidade na Astronomia. Será visto como descrever esse observável e sua relação com as propriedades e estrutura das estrelas a seguir.

Luminosidade das estrelas

Se pensar que as estrelas são objetos muito distantes, qual a origem da luminosidade delas? Essa pergunta adquiriu grande relevância a partir do século XIX, juntamente com o desenvolvimento da Termodinâmica e do Eletromagnetismo, ferramentas fundamentais para a compreensão de diversos fenômenos físicos. (ORTIZ, 2014).

Nos séculos XIX e XX, o carvão figurou como um dos principais combustíveis fósseis utilizados para a produção de energia térmica nas residências. Seria ele, ou algum tipo de combustão (tal como considerada pelos gregos), a fonte de energia do Sol? Utilizando cálculos simples, chega-se a uma conclusão. Tomando o Sol como referência: hoje são conhecidas a massa e a luminosidade dele, como também a quantidade de energia que um quilograma de carvão pode produzir. Um simples cálculo envolvendo essas quantidades mostra que, se o carvão vegetal fosse a fonte de energia do Sol, esse combustível se esgotaria em um período de apenas 6 a 10 mil anos! Se fossem feitos cálculos substituindo o carvão vegetal por outro combustível como carvão mineral ou petróleo, os resultados seriam aproximadamente os mesmos. A idade da Terra estimada pelos geólogos é muitíssimo maior, indicando que a luminosidade das estrelas deve ser de outra natureza. Esse tipo de estimativa simples é de fundamental importância para os alunos, já que constitui um genuíno raciocínio científico (tal como utilizado por Lord Kelvin e outros) e desmonta concepções prévias de variadas origens (KEPLER E SARAIVA, 2017).

No século XIX, quando o estudo da Termodinâmica, do calor e da energia estava se desenvolvendo, a questão de por que as estrelas brilham foi levantada. A luz e o calor emitidos pelo Sol, cerca de 400 trilhões de Watts, precisavam de uma fonte e, somente em 1938, os cientistas descobriram que essa fonte era proveniente da energia liberada pela fusão nuclear. A primeira lei da Termodinâmica estabelece que a energia, incluindo o calor, nunca é criada nem destruída, simplesmente transformada em outra forma.

Em 1898, o físico Wilhem Wien estabeleceu a lei da radiação, sendo que, quanto mais quente for um objeto, mais azul será a radiação emitida por ele. Essa lei é facilmente observada na cor da chama de um fogão de cozinha: uma chama bem azulada indica uma chama quente, enquanto que uma chama mais avermelhada indica uma chama mais fria. A cor de uma estrela é determinada pela *temperatura* em que se encontra na superfície. O brilho dela é determinado pela *quantidade de luz* que ela irradia por segundo, através de toda a sua superfície.

A construção do *diagrama de cor versus brilho* das estrelas é conhecida como: Diagrama de Hertzsprung-Russel (HR), nele cada ponto indica o brilho e a cor de uma determinada estrela (Figura 4). É necessário destacar que o Diagrama HR somente recolhe a emissão de luz no espectro visível, não a total (ou bolométrica). Esse Diagrama foi desenvolvido pelo dinamarquês Ejnar Hertzsprung (1873-1967), em 1913, e pelo americano Henry Norris Russell (1877-1957), por volta de 1911. Os dois descobriram uma relação existente entre a luminosidade de uma estrela e sua temperatura superficial. Hertzsprung notou as estrelas de mesma cor e luminosidade relativamente alta, chamando-as de gigantes, já as estrelas de baixa luminosidade chamou de Anãs. Russell aproveitou os estudos de Hertzsprung e estendeu a classificação para mais de 300 estrelas cujas paralaxes (e assim suas distâncias) haviam sido medidas naquela época (KEPLER E SARAIVA, 2017).

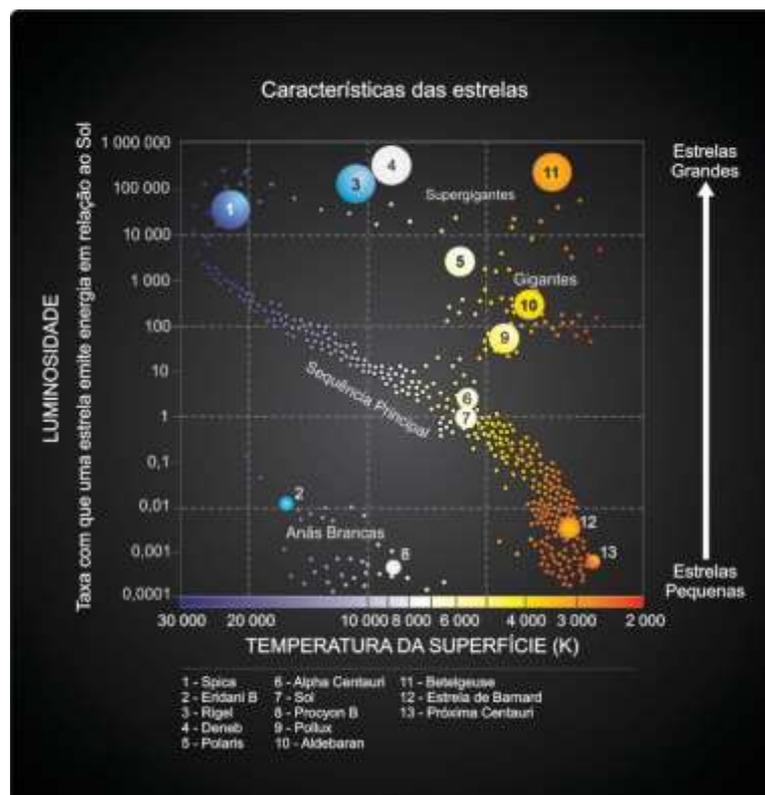


Figura 4 – Diagrama HR. Características das estrelas.

Fonte: <https://brazilastronomy.wordpress.com/o-diagrama-hr/>

A energia luminosa é medida pelo seu brilho, portanto, o brilho de uma estrela depende somente de sua temperatura superficial e da área total de sua superfície (vide equação 4).

Vê-se, assim, um princípio de classificação para as estrelas observadas. As *gigantes vermelhas* possuem temperaturas observadas relativamente baixas, têm uma grande área superficial, por isso são estrelas brilhantes e luminosas. Já as *anãs brancas* possuem temperaturas superficiais altas, mas são pouco brilhantes sendo impossível enxergar qualquer uma delas a olho nu.

A luminosidade de uma estrela seria a potência que ela é capaz de gerar no seu interior, em geral por meio de fusões nucleares. A luminosidade do Sol é de aproximadamente $3,8 \times 10^{26}$ *Watts*, valor simbolizado por L_{\odot} . Para as outras estrelas, preferiu-se medir suas luminosidades com referência à luminosidade de $10^4 L_{\odot}$, ou seja, ela é 10.000 vezes mais luminosa que o Sol. As estrelas passam boa parte de sua vida na sequência principal, realizando a queima do hidrogênio produzindo energia através de reações nucleares, *convertendo núcleos de hidrogênio em núcleos de hélio*. As estrelas de maior massa ficam um tempo menor na sequência principal porque são mais brilhantes: sua luminosidade é desproporcionalmente maior, elas devem “queimar” hidrogênio mais rapidamente do que as estrelas com massa menor (HORVATH, 2008).

Quando o hidrogênio começa a faltar no centro das estrelas, elas começam a sair da Sequência Principal, expandindo-se conforme a sua massa, sendo encontradas acima dela. São estrelas que já esgotaram boa parte de suas reservas de hidrogênio. Já, abaixo da sequência principal, encontram-se as estrelas anãs-brancas. Estas estrelas têm aproximadamente o diâmetro da Terra e sua massa é da ordem da massa do Sol. Embora tenham altas temperaturas superficiais, não são muito luminosas.

Com o desenvolvimento da Estrutura Estelar, foi possível refinar o quadro: as anãs-brancas são o último estágio da evolução das estrelas similares ao Sol. Nesta fase, sua luminosidade é unicamente devida à energia térmica, ou seja, a estrela esfria lentamente e fica difícil observá-las por conta da sua fraca luminosidade. Nem todas as estrelas terminam sua vida como anãs-brancas; algumas tornam-se estrelas de nêutrons e outras transformam-se em buracos negros.

Em 1792, Thomas Wedgwood, ao observar um forno, associa a temperatura com a cor da luz emitida por um objeto aquecido. No final do século XIX, surge o conceito do *corpo negro*: entende-se por radiação de um corpo negro um objeto que absorve toda a

luz que incide sobre ele sem refletir nada da radiação (definição dada por Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) em meados de 1859-60).

O equilíbrio termodinâmico ocorre quando o corpo irradia energia na mesma taxa que absorve, caso contrário ele esquentaria ou esfriaria, e sua temperatura variaria. Assim sendo, um corpo negro, além de ser um absorvedor *perfeito*, é um *emissor* perfeito também e pode absorver e emitir fótons. Quando se fala em corpo negro, é porque a eficiência da absorção e da emissão são máximas, ou seja, não se retira nada, mantendo os 100%. Isso foi estudado por Kirchhoff (HORVATH, 2020).

Em 1893, o alemão Wilhelm Wien (1864-1928), do Physikalisch-Technische Reichsanstalt (PTR), instituto de metrologia alemão, descobriu empiricamente a chamada Lei de Wien, que relaciona a temperatura do máximo do espectro com a frequência dos fótons emitidos:

$$h\nu = 2,821 k_B T \quad (2)$$

Em 1898, Wien propôs a lei de distribuição da intensidade da radiação de corpo para *altas frequências*, mas que falha em comprimento de onda longo. Lord Rayleigh e James Jeans obtêm uma lei válida para *baixa frequência*, mas leva à “*catástrofe do ultravioleta*” (divergência para pequenos comprimentos de onda). O corpo negro deveria emitir infinita energia, o que é absurdo (KEPLER E SARAIVA, 2017).

Segundo expressão completa da lei de Planck (que tem o limite de Rayleigh-Jeans nas baixas frequências e de Wien nas altas), qualquer corpo em equilíbrio termodinâmico emitirá fótons. Esta radiação, conhecida como *radiação de corpo negro* ou *radiação térmica*, não depende da direção de emissão, não é polarizada e não diverge em absoluto. Antes, a soma (integral) de todas as frequências leva à Lei de Stefan-Boltzmann $\propto \sigma T^4$. Agora, uma estrela não é um corpo negro, mas não está muito longe disso.

Foi escrito para o fluxo na *fotosfera* da estrela (a superfície esférica de onde os fótons são emitidos):

$$F \equiv \sigma T_{ef}^4 \quad (3)$$

Definindo um parâmetro chamado *temperatura efetiva* T_{ef} . Para uma estrela esférica de raio R , a luminosidade é obtida multiplicando-se o fluxo pela área da fotosfera $4\pi R^2$:

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

A determinação das luminosidades precisa de estimativas independentes das distâncias estelares. Ao lidar com estrelas próximas, é possível resolver o deslocamento periódico devido à órbita terrestre pelo método de *paralaxe trigonométrica* (HORVATH, 2008). Posteriormente, com o estudo das variáveis chamadas Cefeidas, foi possível estender as distâncias enormemente. Há outros métodos, mas não serão aqui abordados.

É relevante entender que, quando o hidrogênio começa a faltar no centro das estrelas, elas devem fatalmente sair da Sequência Principal, onde seu destino será se expandirem e transformarem em *gigantes vermelhas*, que são encontradas acima da Sequência Principal desde que sua massa seja da ordem da massa do Sol. São estrelas que já esgotaram uma parte de suas reservas de hidrogênio e não podem mais sustentar a fusão em hélio no centro.

O lugar abaixo da Sequência Principal está ocupado pelas *estrelas anãs*. Essas estrelas têm aproximadamente o diâmetro da Terra e sua massa é da ordem da massa do Sol. Embora tenham altas temperaturas superficiais, não são muito luminosas.

Métodos para determinar distâncias até as estrelas: Paralaxe trigonométrica

Para a paralaxe estelar, usamos o raio da Órbita em torno do Sol, cujo valor é de 1 UA (aproximadamente 150 milhões de quilômetros), essa medida é denominada “paralaxe heliocêntrica”. Na prática, as medições de paralaxe heliocêntrica de estrelas são feitas, comparando-se fotografias tomadas em épocas separadas por 6 meses, formando assim uma linha de base que corresponde ao diâmetro da órbita da Terra.

Quanto mais distante a estrela, menor será sua paralaxe. Sua unidade usual é o segundo de arco (“”). As grandes distâncias do universo podem ser medidas também em ano-luz e parsec. A unidade de medida ano-luz é usada no cálculo da distância, com o valor correspondente aproximadamente 9,4 trilhões de quilômetros. O parsec, equivale aproximadamente 3,26 anos luz ou 206265 UA.

O método de triangulação ou paralaxe, é um dos métodos mais antigos para determinação de distâncias na Astronomia. Durante muitos séculos este foi o método mais usado pelos astrônomos. Utilizando este método, um grupo de cientistas comandados por Giovanni Domenico Cassini (1625-1712), reuniu informações e determinou o valor para

a unidade astronômica (UA) de 140 milhões. Hoje sabemos que este valor é de aproximadamente 149 milhões (MORAIS, 2009, p. 158).

Método para determinar distâncias até as estrelas: as Cefeidas

A astrônoma norte-americana Henrietta Swan Leavitt descobriu que uma estrela pulsante pode diminuir sua luminosidade, sendo assim, é possível calcular seu período utilizando a magnitude absoluta. Descobriu também, que o período de um ponto ao outro diz um máximo de luminosidade.

As Cefeidas são conhecidas como estrelas variáveis e possuem uma magnitude constante, cujo brilho altera-se em ciclos que podem durar horas ou anos ou ser imprevisíveis. Muitas estrelas passam por uma instabilidade durante suas vidas.

Este método descoberto por Henrietta ajudou no entendimento de galáxias e nebulosas, estabelecendo a relação entre período e luminosidade. Os cálculos de Henrietta foram utilizados e serviram de referência para outras observações, sendo possível provar com eles que algumas nebulosas eram galáxias, comprovando que elas estão se afastando, originando, assim, a extragaláctica e a cosmologia.

$$m_V = -2,76 \log \log P - 1,4 \quad (5)$$

Onde: m_V = magnitude absoluta e P = período (em dias).

A primeira Cefeida teve sua paralaxe trigonométrica medida e esse método foi utilizado para as demais Cefeidas. Uma vez calibrado, é possível medir a magnitude aparente (Ma), o fluxo (F) e o período (P), descobrindo a distância:

$$Ma = \frac{P}{F} \quad (6)$$

Em 1920, acreditava-se que Andrômeda e algumas nebulosas (galáxias) faziam parte da Via Láctea. Afirmava-se que todo o Universo estava dentro da Via Láctea. Shapley e Cutis realizaram um grande debate para discutir o tamanho da Via Láctea.

O astrônomo americano Vesto Melvin Slipher (1875-1969) descobriu que as linhas espectrais da galáxia Andrômeda (M31) deslocava para o azul, evidenciando que essa galáxia estava se aproximando do Sol. Por duas décadas, Slipher estudou 41 galáxias e, ao analisar seus espectros, notou que estavam se afastando, com o deslocamento

espectral para o vermelho. Percebeu que, quanto mais longínqua a galáxia, maior era seu deslocamento espectral para o vermelho (KEPLER E SARAIVA, 2017).

No dia 06 de outubro de 1923, Hubble descobriu a primeira Cefeida identificada na nebulosa de Andrômeda e com a ajuda de seu colaborador, Milton Humason, calcularam as distâncias de Andrômeda e de outras galáxias. Fotografaram os espectros de diversas galáxias e, ao compararem essas distâncias, notaram velocidades de afastamento a partir dos desvios para o vermelho. Dessa forma puderam verificar que as galáxias mais distantes estavam se afastando com velocidades maiores. Ao estimar o período de Andrômeda, determinaram sua longitude e perceberam que a distância era muito maior que a nossa galáxia. Hubble publicou esse trabalho em 1924, classificando o método das Cefeidas como um dos melhores métodos para ser utilizado em distâncias estimadas muito grandes, inclusive, em extragalácticas próximas (STEINER, 2018).

3.2 Ciclos da vida estelar

Os atomistas Demócrito e Leucipo acreditavam que a Via Láctea era um conjunto de estrelas (HORVATH, 2008). Ideia bastante avançada, pois naquela época não se permitia associar de forma imediata com ‘algo’ mais familiar sem sofrer interferência religiosa, pois existia um certo ‘convencimento’ sobre as pessoas e a sociedade com relação aos astros.

Por vários séculos, a ideia de Aristóteles (384 a.C. – 322 a.C.), referente ao modelo Geocêntrico, predominou. Durante a Idade Média, o filósofo Giordano Bruno (1548-1600) contestou a teoria de Aristóteles. Acreditava que as estrelas eram idênticas ao Sol, quebrando completamente o pensamento da Igreja. Em 1648, Giordano foi acusado de heresia e acabou na fogueira.

Quando Galileu começou a utilizar o primeiro telescópio desenvolvido em 1608, estudou a Via Láctea com rigor, distinguindo individualmente as estrelas e revelando muitas características novas delas. E também foi possível começar a pensar como essas estrelas se mantêm e se mudam para tempos muito longos.

Já foi visto como associar a cor da estrela com sua temperatura. Para relacionar fluxo com energia emitida por segundo, considera-se que a emissão é igual para qualquer direção, portanto, o fluxo da estrela ocorre de acordo com a equação (3).-Estando a uma distância d da estrela, é possível destacar que, ao medir o fluxo, ele cai com o inverso do quadrado dessa distância, ou seja:

$$F = \frac{L}{4\pi d^2} \quad (7)$$

Como mencionado anteriormente, o diagrama HR (Hertzsprung Russell) classificou as estrelas relacionando a luminosidade e sua temperatura superficial, mostrando a faixa onde se encontram as estrelas na chamada SP.

Já se observou que Wien estabeleceu a Lei da Radiação, de acordo com a qual, quanto mais quente for um objeto, mais azul será a radiação emitida por ele. A cor de uma estrela é determinada pela *temperatura* em que se encontra na superfície. Assim, o Diagrama HR (Figura 4) separa as estrelas em grupos "quentes" e "frios" e, se houver uma estimativa das distâncias, a equação 4 permite estabelecer quantidade de energia que está efetivamente radiando. (HORVATH, 2019). Será vista, detalhadamente, a forma utilizada pelas estrelas para produzir esta energia.

Fontes de energia das estrelas

No final do século XIX, os cientistas Eddington, Hans Bethe e outros deram os primeiros passos para a velha questão: “*o que sustenta uma estrela?*”. A observação de que a Sequência Principal é a região mais povoada do Diagrama HR leva a pensar que deve ser o estágio *mais longo* da evolução estelar, já que cerca de 90% delas está aí. É a partir da SP que a estrela dá início à queima de hidrogênio para manter a estrela “viva” e sustentar seu equilíbrio. Possuindo combustível suficiente, a estrela se mantém constante sem variações em seu estágio evolutivo mais longo (HORVATH, 2008). Em 1898, Sir Robert Stawell Ball (1840-1913), ao observar fósseis, notou que fósseis de peixes tinham olhos bem desenvolvidos e descartou a hipótese de que o Sol estaria esfriando a partir de um aquecimento inicial durante sua formação.

O que gera energia ao Sol? Lord Kelvin (1824-1907) acreditava que a contração do Sol poderia fornecer essa energia, já que tornar um objeto mais ligado implica se desfazer da energia em excesso. Ao realizar os cálculos, Lord Kelvin chegou a uma idade entre 20 e 100 milhões de anos, hipótese muito maior do que o tempo estimado por combustível (FILHO E SARAIVA, 2017).

Por volta de 1920, o astrônomo inglês Sir Arthur Stanley Eddington (1882-1944) sugeriu a ideia de que uma intensa fonte de energia no núcleo da estrela gera a pressão que contrabalança a força atrativa da gravidade, estabilizando a estrela por muitos bilhões

de anos. A Astrofísica permite, indiretamente, explorar o interior das estrelas, já que as propriedades da superfície eram consequências da estrutura interna.

O papel fundamental na teoria da fusão nuclear nas estrelas, processo responsável pelo seu brilho, corresponde, entre outros, ao alemão Hans Albrecht Bethe (1906-2005). Além do chamado ciclo próton-próton (Figura 5), processo que Bethe elaborou, ele trabalhou conjuntamente com von Weizsäcker em um segundo ciclo que ficou conhecido como ciclo CNO (Figura 5), envolvendo uma cadeia complexa de seis reações nucleares em que átomos de carbono e nitrogênio agem como catalisadores para fusão nuclear. Nesse ciclo, o modo dominante será o de produção de energia se a temperatura for alta o suficiente (HORVATH, 2019).

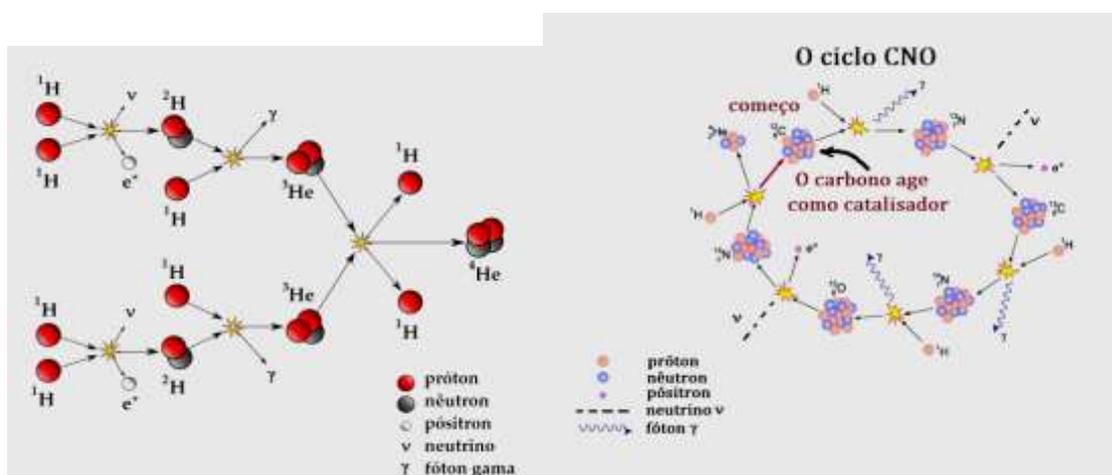


Figura 5 – Produção de energia estelar – Ciclo PPI (esquerda) e Ciclo CNO (direita). Fonte: As Estrelas na Sala de Aula, J.E. Horvath (São Paulo, Livraria da Física, 2019)

Hoje o valor aceito para a temperatura no núcleo do Sol é de 15 milhões de Kelvin, como explicado por Bethe. Nessa temperatura predomina o ciclo próton-próton (Figura 5). Para o desenvolvimento do ciclo próton-próton, a estrela necessita de temperatura maior que 8 milhões de graus para ser efetiva.

O tempo de vida de uma estrela é a razão entre a energia que ela tem disponível e a taxa com que ela gasta essa energia, ou seja, sua luminosidade. A luminosidade da estrela é proporcional à sua massa ($L \propto M^3$), isto é, o tempo de vida é controlado pela massa da estrela: quanto maior sua massa, mais rapidamente ela gasta sua energia e menos tempo ela dura.

A estrela passa a parte mais longa da sua vida na Sequência Principal, gerando energia através de fusões termonucleares. Estrelas como o Sol transformam quatro

núcleos de hidrogênio (quatro prótons) em um núcleo de hélio (partícula α). Neste tipo de transformação, ocorre uma diferença de massa, esta entra na reação maior e sai menor. Essa massa “desaparecida” é transformada em energia. Segundo Eddington, na equação de Einstein ($E = mc^2$) a massa pode ser convertida em energia (LEISTER, 2014).

$$(4M_H - M_{He})c^2 = 26.73 \text{ MeV} \quad (8)$$

E, assim, dividindo a equação (8) por $M_{He}c^2$, vê-se que, em cada reação, há um 0.7% da energia que é liberada, permitindo ao Sol brilhar por $\tau_{\odot} \cong 10^{11} \text{ anos}$ com a suposição de que todo o hidrogênio poderia ser fusionado (HORVATH, 2020).

Esta "aplicação prática" da fórmula mais famosa do século XX é um dos passos fundamentais para conectar as ideias e os conceitos da teoria com um fato empírico bem concreto, que é o longo tempo de vida do Sol. A mesma conta pode ser repetida para qualquer estrela, deixando a massa como variável livre. Desde que as estrelas muito luminosas sejam as de maiores massas na SP, o resultado é

$$t_{SP} = \frac{1}{\left(\frac{M}{M_{\odot}}\right)^2} \times 10^{10} \text{ anos} \quad (9)$$

E resulta evidentemente que as estrelas de menores massas vão permanecer fusionando hidrogênio por vários bilhões de anos.

Onde se formam as estrelas?

Ao observar o céu noturno, as estrelas revelam diferentes cores e brilhos e se distribuem desigualmente no céu. Seu nascimento ocorre de nuvens frias de gás e poeira, conhecidas como nuvens moleculares, que estão espalhadas por toda a galáxia.

Essas nuvens iniciam um processo de contração no qual alguns pontos dessa nuvem ficam instáveis gravitacionalmente, dando origem ao que um dia será uma estrela, originando berçários estelares. Abaixo, exemplos de berçários conhecidos.



Figura 6 – Formação de estrelas. NGC 3603 e NGC 3576, exemplos de nuvens escuras associada a região de formação de estrelas. Fonte: <https://scitechdaily.com/two-star-formation-regions-southern-milky-way/>

Quando uma nuvem de gás e poeira começa a se contrair por conta da atração gravitacional, a estrela inicia seu processo de nascimento e lentamente a gravidade obriga toda essa massa gigantesca a se condensar. Tomando o Sol como exemplo: na sua formação seria necessária uma nuvem de gás inicial com um tamanho cem vezes maior que o nosso Sistema Solar.

Historicamente, a *hipótese nebular* formulada por Immanuel Kant (1724-1804) em meados de 1755 foi a solução para o problema da origem do Sistema Solar. Essa teoria admitia que a formação do Sol e dos planetas ocorreram a partir de uma nebulosa primordial, ideia essa que partiu do francês Pierre-Simon de Laplace (1749-1827), afirmando, por meio de hipóteses, que o Sol e os planetas se formaram no *mesmo processo*. Ao utilizar recursos sofisticados, foi possível medir as abundâncias dos elementos químicos que compõem o Sol e os planetas; estas medidas apresentam semelhanças, nas quais existem diferenças notórias em relação ao seu processo de formação.

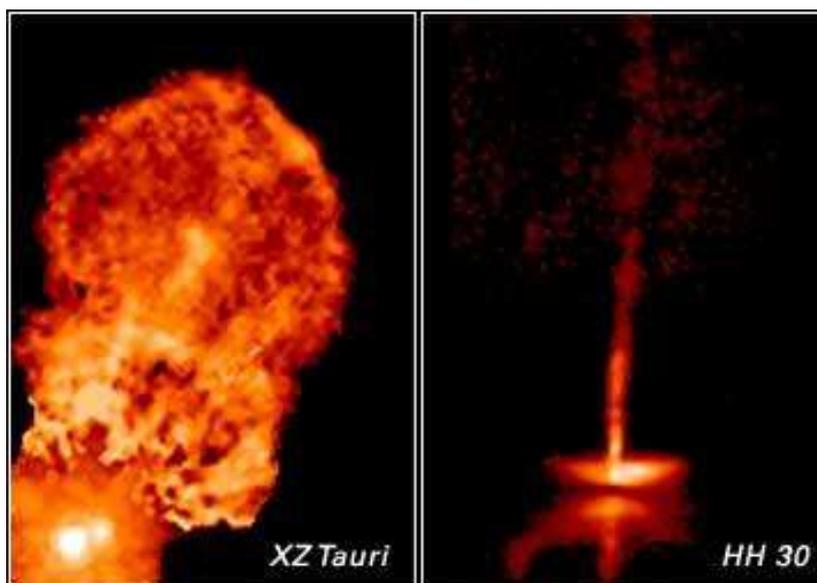


Figura 7 -Duas estrelas em formação capturadas pelo telescópio Hubble. O disco de acúmulo de matéria e jato perpendicular são claramente visíveis no painel esquerdo. Esses ambientes favorecem a formação dos sistemas planetários a partir da matéria do disco, como deve ter acontecido no Sistema Solar. Fonte: *Interdisciplinary study of the synthesis of the origin of the chemical elements and their role in the formation and structure of the Earth*. Fonte: *O ABCD da Astronomia e Astrofísica*, J.E. Horvath (São Paulo, Ed. Livraria da Física, 2008).

Hoje é possível observar a formação de estrelas e planetas de maneira direta. A uma distância relativamente pequena do Sol, existem várias regiões de formação estelar que podem ser catalogadas e observadas em vários estágios de sua formação. Assim, pode-se imaginar como nosso Sistema Solar foi formado em um mesmo plano (exceto a órbita do sistema binário Plutão-Caronte) pelo momento angular existente (HORVATH et al., 2020).

Astrônomos procuram explicar completamente a formação das estrelas e buscam planetas em torno. Atualmente existe um catálogo de planetas extras solares dividido por conjuntos, tornando essa realidade um dos campos mais atrativos da Astronomia.

As evidências apontam para que, há aproximadamente 5 bilhões de anos, uma enorme nuvem de gás enriquecido com elementos mais pesados tenha iniciado sua contração por efeito da própria gravitação, devido à perturbação relacionada a trocas de energias com o gás. Sua pressão interna mantinha-se em processos com uma sequência de colapsos formando “casulos” chamados de *glóbulos de Bok*. A adição de matéria vizinha em cima das regiões mais densas originou as primeiras fases do estágio, conhecido como *TTauri* (Figura 7).

Após alguns milhões de anos, o jovem Sol, por meio de contrações, elevou sua temperatura até os milhões de graus, estabelecendo a geração de energia que o mantém brilhando até hoje.

Evolução final das estrelas

Quando a estrela consome parte do seu combustível nuclear, o seu destino final depende de dois fatores: o primeiro é se a estrela é simples ou faz parte de um sistema binário, múltiplo, e o segundo está relacionado à sua massa inicial.

Quando a nuvem de gás se contrai para a formação de uma protoestrela, a temperatura do núcleo fica alta o suficiente para iniciar as reações nucleares. Então, a protoestrela torna-se uma estrela na sequência principal transformando hidrogênio em hélio. Para os objetos abaixo de $0,08 M_{\odot}$, ela torna-se uma anã-marrom, sem nunca conseguir realizar a fusão do hidrogênio. Acima desse valor, até chegar a $0,45 M_{\odot}$, ela tornar-se-á uma estrela do tipo do Sol, mas com uma estrutura totalmente convectiva (KEPLER E SARAIVA, 2017).

Estrelas maiores que $2M_{\odot}$ operam no ciclo próton-próton na SP e possuem uma camada de convecção externa (exemplo, o Sol). Já para as estrelas mais massivas, a queima principal do hidrogênio é pelo ciclo CNO (Figura 5) e possuem o núcleo convectivo, porém sua atmosfera é radiativa. Estrelas de até aproximadamente $8M_{\odot}$ conseguem transformar o hélio nuclear em carbono e oxigênio, saindo do ramo das supergigantes. Somente acima deste valor, é possível avançar na fusão do próprio carbono, até finalmente transformar o núcleo em ferro, caminhando para seu estágio final. Quando o núcleo chega no ferro, sua energia não é suficiente para continuar a fusão, então, colapsa ejetando boa parte de sua massa como supernova. O que restará é uma estrela de nêutrons ou um Buraco Negro (Figura 8).



Figura 8 – Ciclo de vida das estrelas. Fonte: <http://humbertoosousa.blogspot.com/2015/05/como-nascem-e-morrem-as-estrelas.html>

3.3 Atividades baseadas nos conteúdos anteriores

A seguir, serão abordados o roteiro de aula e as habilidades que serão desenvolvidas gradualmente em cada sequência de aula. As atividades desenvolvidas ajudarão na assimilação dos conteúdos discutidos e contribuirão para a construção da aprendizagem de forma que as evidências das sequências de ensino desenhem as situações do projeto de pesquisa mais adiante. Para desempenhar as atividades, pode-se seguir o roteiro relatado mais adiante.

3.3.1 Aula 1

Ao se tratar do conteúdo “A natureza da luz e como estudá-la”, o objetivo da aula é destacar a análise e o desenvolvimento das ideias a respeito da luz e o estado atual das pesquisas, incluída a instrumentação que possibilitou esses avanços. As habilidades que os alunos precisam desenvolver nessa etapa são:

- Identificar fenômenos físicos relacionados às teorias propostas;
- Reconhecer os fenômenos presentes no cotidiano, a partir da observação, análise e experimentação de situações concretas.

A atividade será iniciada com um levantamento de uma abordagem do tema sobre a natureza da luz. O desenvolvimento ocorrerá de acordo com a explicação da aula. Essa aula terá o auxílio de slides didáticos contendo Física básica: reflexão, refração e difração. Para um bom resultado, é recomendado que o professor organize sua aula para que sobre 15 minutos para as perguntas e os esclarecimentos de dúvidas.

3.3.2 Aula 2

É continuação da aula anterior, seguindo os mesmos objetivos e habilidades. A atividade é dividida em três etapas. A primeira etapa será a explicação do conteúdo (descrição da aula 1) e, na segunda etapa, o desenvolvimento da atividade ocorre por meio de um experimento para ficar claro o conteúdo apresentado. Na terceira etapa, a aula será explicativa e expositiva, com o auxílio de slides didáticos; nela os alunos deverão sentir-se confortáveis para a formulação das perguntas.

Pode ser considerado como avaliação o levantamento de hipóteses, conhecimentos e concepções prévias dos estudantes sobre o tema em discussão.

3.3.3 Aula 3

Continuação da aula 2, segue com a explicação do modelo atômico de Bohr (1913) e os objetivos de analisar as transições entre níveis de energia possíveis a um elétron no átomo de hidrogênio. A habilidade que deve ser desenvolvida é:

- Explorar historicamente o processo de construção de modelos da estrutura atômica.

A atividade deverá ser iniciada com um contexto histórico. O objetivo principal é mostrar para os alunos como foi possível a Rutherford e seus colaboradores reformularem o modelo atômico, propondo a existência de um pequeno núcleo no centro e elétrons espalhados fora dele, e a evolução atômica desse modelo através da contribuição de Bohr. No decorrer da aula, é importante que fique bem claro para os alunos que as evidências do mundo atômico acontecem de forma indireta comparando ao que um detetive deve realizar: ao buscar pistas, ele consiga compor uma explicação para algum acontecimento ou fenômeno. Espera-se que os alunos, ao analisarem o mundo atômico, consigam perceber que existe uma impossibilidade de “acesso direto” à realidade microscópica e compreender o experimento realizado por Rutherford.

Já foi dito que o modelo proposto por Rutherford apresentava alguns limites, mas a contribuição do modelo de Niels Bohr aperfeiçoou-o, apresentando a fórmula para a

realização do cálculo dos níveis energéticos. Vê-se aqui, a construção do modelo atômico analisando as transições entre níveis de energia acessíveis a um elétron no átomo de hidrogênio. Toda essa contextualização precisará do auxílio de textos para leitura e análise, que estão disponíveis neste projeto (APÊNDICE). Vale ressaltar que os textos aqui mencionados servem como base para os professores. Assim, os alunos poderão sistematizar as ideias do modelo de Bohr, tanto pelo ponto de vista conceitual quanto pelo matemático. A todo o momento, os alunos deverão se sentir confortáveis para formular suas perguntas e cabe o professor esclarecer as dúvidas.

Os materiais de auxílio serão slides didáticos (lousa interativa) e diário de bordo. No conceito avaliativo, considerar o levantamento de hipóteses, conhecimentos e concepções prévias dos estudantes sobre o tema em discussão.

3.3.4 Aula 4

O dinamismo da atividade ocorrerá pelo tema “Estrelas e suas propriedades”. O objetivo central dessa tarefa será a descrição de fatos básicos e observações das estrelas através do diagrama HR enfatizando depois a descrição física da estrutura estelar, a geração de energia dessas estrelas e o transporte de energia no interior estelar. As equações básicas serão apresentadas ocorrendo a identificação das diferentes estrelas e sua classificação. Os cálculos ajudarão na compreensão de como “funcionam” as estrelas até sua evolução para o caminho do fim. A habilidade a ser desenvolvida é:

- Identificar o método mais comum para se medir distâncias utilizando a trigonometria para a realização dos cálculos.

O professor pode iniciar a aula com duas questões disparadoras: “Como foram determinadas as distâncias estelares?” e “Quanta energia emitem as estrelas?”, sendo que a segunda pergunta depende do fluxo que se observa, lembrando que a distância do observador não pode influenciar na luminosidade.

Em seguida, iniciar a aula com um breve contexto histórico. Durante a sistematização, o professor precisa deixar bem claro para os alunos os seguintes pontos:

- A paralaxe trigonométrica é um método de triangulação antigo utilizado pelos astrônomos há séculos;
- As Cefeidas são estrelas variáveis e possuem uma magnitude dependente do período;
- A cor de uma estrela é determinada pela *temperatura* em que se encontra na superfície e sua luminosidade pela *quantidade de luz* que ela irradia por segundo através de toda a sua superfície;

- A lei de Wien estabelece a lei da radiação, sendo que quanto mais quente for o objeto, mais azul será a radiação emitida por ele, já que o máximo da emissão se desloca segundo $\lambda \times T = cte$;
- A luminosidade de uma estrela é a potência (W) que ela é capaz de gerar no seu interior;
- Assim, no Diagrama Hertzsprung-Russel (HR), cada ponto indica a potência luminosa e a cor de uma determinada estrela.

Se as habilidades apresentadas nesta Sequência Didática forem atingidas, os alunos resolverão com facilidade os exercícios propostos.

3.3.5 Aula 5

Os objetivos da atividade “Ciclos da vida estelar” são reconhecer, identificar e compreender o ciclo da vida estelar. A habilidade a ser desenvolvida é:

- Explorar o nascimento das estrelas, sua evolução e sua morte, compreendendo o ciclo da vida estelar por meio das características de sua estrutura interna.

A atividade será iniciada com uma questão disparadora: “Seriam as estrelas observadas por Hipparcos há mais de 2 milênios as mesmas observadas hoje?” (HORVATH, 2019). Após a coleta das análises feitas pelos alunos, o professor deverá iniciar a aula com um breve contexto histórico, em seguida, serão projetados na lousa interativa os slides referentes ao conteúdo mencionado nessa SD. Ao final da aula, os alunos realizarão um experimento e resolverão os exercícios.

4 METODOLOGIA DE PESQUISA DOS RESULTADOS DA APLICAÇÃO DA SD

Ao contextualizar o ensino de Física dentro do ensino de Astrofísica, é necessária a elaboração de um material didático acessível que envolva os alunos e, através de suas experiências, promova a construção de saberes científicos adequados (FREIRE E MOTOKANE, 2016). Ao pensar em determinar a estrutura e a evolução das estrelas para os alunos, é importante que eles relacionem o conteúdo com a existência da humanidade e entendam que o verdadeiro conhecimento satisfaz a curiosidade (HORVATH, 2008).

A dissertação segue uma SD do ensino de Astrofísica para alunos do Ensino Médio. Foram utilizados simuladores, diário de bordo, lista de exercícios, desenvolvimento de experimentos, aulas expositivas e a aplicação de um questionário final, que serviram como ferramentas e contribuíram na construção deste estudo. O enfoque principal é mostrar a educação das estrelas dentro do ensino de Física em conteúdos como: Termodinâmica, Eletromagnetismo, Propriedades da Luz, etc. O objetivo é indicado através das atividades propostas, desenhando o referencial para fundamentar a análise de dados.

4.1 Tipo de pesquisa

O foco deste trabalho será particularmente a metodologia *qualitativa* de pesquisa e avaliação. O pesquisador detém o papel prioritário referente à apresentação do conhecimento produzido.

A pesquisa qualitativa é interpretativa, e as hipóteses são construídas durante o processo investigativo. Na busca por uma narrativa detalhada, o pesquisador almeja credibilidade para os seus modelos interpretativos (MOREIRA, 2011, p.76).

No paradigma qualitativo, é importante focar nos resultados significativos procurando a explicação interpretativa. O uso da linguagem do dia a dia é válida para as interpretações dos significados trazidos pelos atores (ERICKSSON, p.86).

O paradigma qualitativo requer requisitos cuidadosos, em que as fontes de evidências sejam como uma descrição detalhada, utilizando a narrativa dos personagens de forma coerente, promovendo a construção do conhecimento de maneira positiva, através de uma análise intuitiva (GIORDAN, 2011).

As pesquisas em sala de aula requerem o descobrimento de ações nas quais se construa um ambiente de aprendizagem ‘facilitador’, em que os alunos possam se

apropriar de fato dos conteúdos. O estudo de caso educativo consiste em melhorar a compreensão da ação educativa.

4.2 O problema

Já foi dito que muitos professores demonstram insegurança ao levar o tema ‘Astronomia’ para as salas de aulas, sentindo-se inabilitados a suprir as expectativas de seus alunos. Aqueles que se arriscam buscam o apoio em livros didáticos, que muitas vezes apresentam conteúdos fracionados e explicações insuficientes, quando não errôneas. Esses professores têm pouco conhecimento sobre conceitos científicos envolvidos nos estudos sobre estrelas, galáxias, o Universo ou até mesmo sobre o Sistema Solar, pois, em sua formação, os conhecimentos dessa natureza não fizeram parte do currículo escolar, segundo LEITE E HOSOUME (em HORVATH, opus citatum, p. 233).

Muitas vezes, parte desse material o professor não encontra na biblioteca da escola, obrigando o profissional a buscar outros meios e recursos nem sempre confiáveis.

O ensino de Astrofísica não é comum para os alunos do Ensino Médio. A seguir, a tabela 5 apresenta o currículo do Estado de São Paulo. Nota-se que os conteúdos seguem fragmentados e não têm uma sequência contínua.

Tabela 5 – Currículo do Estado de São Paulo

1ª série

3º Bimestre
 Interação gravitacional:
 O campo gravitacional e sua relação com massas e distâncias envolvidas

4º Bimestre
 Sistema Solar:
 Da visão geocêntrica de mundo à visão heliocêntrica, no contexto social cultural em que essa mudança ocorreu

O campo gravitacional e as leis de conservação no sistema de planetas e satélites e no movimento de naves espaciais

A inter-relação Terra-Lua-Sol

Universo, evolução, hipóteses e modelos:
 Teorias e hipóteses históricas e atuais sobre a origem, constituição e evolução do Universo

Etapas de evolução estelar - da formação à transformação em gigantes, anãs ou buracos negros

Estimativas do lugar da vida no espaço e no tempo cósmicos

Avaliação da possibilidade de existência de vida em outras partes do Universo

Evolução dos modelos de Universo - matéria, radiações e interações fundamentais

o modelo cosmológico atual - espaço curvo, inflação e big bang

2ª série

1º Bimestre
 Calor, ambiente e usos de energia:
 Fenômenos e sistemas cotidianos que envolvem trocas de calor

Controle de temperatura em sistemas e processos práticos

Procedimentos para medidas de trocas de energia envolvendo calor e trabalho

Propriedades térmicas:
 Dilatação, condução e capacidade térmica; calor específico de materiais de uso prático

Quantificação de trocas térmicas em processos reais

Modelos explicativos de trocas térmicas na condução, convecção ou irradiação

2º Bimestre
 Calor, ambiente e usos de energia:
 Histórico da unificação calor-trabalho mecânico e da formulação do princípio de conservação de energia

Entropia e degradação da energia:
 Fontes de energia da Terra - transformações e degradação

O ciclo de energia do Universo e as fontes terrestres de energia

Balço energético nas transformações de uso e na geração de energia

Necessidades energéticas e o problema da degradação

3º Bimestre
 Som, imagem e comunicação:
 Som - características físicas e fontes

Amplitude, frequência, comprimento de onda, velocidade e ressonância de ondas mecânicas

Luz - características físicas e fontes:
 Formação de imagens, propagação, reflexão e refração da luz

Sistemas de ampliação da visão, como lupas, óculos, telescópios e microscópios

4º Bimestre
 Luz e cor:
 A diferença entre a cor das fontes de luz e a cor de pigmento

O caráter policromático da luz branca

As cores primárias (azul, verde e vermelho) no sistema de percepção e nos aparelhos e equipamentos

Ondas eletromagnéticas:
 A interpretação do caráter eletromagnético da luz

Emissão e absorção de luz de diferentes cores

Evolução histórica da representação da luz como onda eletromagnética

Transmissões eletromagnéticas:
 Produção, propagação e detecção de ondas eletromagnéticas

Equipamentos e dispositivos de comunicação, como rádio e TV, celulares e fibras ópticas

Evolução da transmissão de informações e seus impactos sociais

3ª série

3º Bimestre
 Matéria, propriedades e constituição

Modelos de átomos e moléculas para explicar características características

Macroscópicas mensuráveis

A matéria viva e sua relação/distinção com os modelos físicos de materiais inanimados

Os modelos atômicos de Rutherford e Bohr

Átomos e radiações:
 A quantização da energia para explicar a emissão e absorção de radiação pela matéria

A dualidade onda-partícula

As radiações do espectro eletromagnético e seu uso tecnológico, como a iluminação incandescente, a fluorescente e o laser

Núcleo atômico e radiatividade

Núcleos estáveis e instáveis, radiatividade natural e induzida

A intensidade da energia no núcleo e seus usos médico, industrial, energético e bélico

Radiatividade, radiação ionizante, efeitos biológicos e radioproteção

4º Bimestre
 Partículas elementares:
 Evolução dos modelos para a constituição da matéria - dos átomos da Grécia Clássica aos quarks

A diversidade das partículas subatômicas, elementares ou não

A detecção e a identificação das partículas

A natureza e a intensidade das forças nas transformações das partículas

A partir dos problemas e hipóteses aqui mencionados, os objetivos desta pesquisa foram propor um estudo através de uma didática científica e resumi-lo basicamente em análise, descrição e melhoria do aprendizado.

A interação entre professor e aluno é essencial. Seria possível concentrar-se nas concepções dos alunos? Lembrando que as ideias dos alunos devem ser abordadas diretamente, quando elas são melhor entendidas, certamente é possível progredir em domínios científicos específicos, melhorando o desenvolvimento de abordagens de ensino como apoio nessa progressão (SCOTT, 1992).

Segundo Klaassen (1994), a interpretação do pensamento dos alunos direciona para a construção de um “bom ensino”. Portanto, é importante deixar claro que a chave da comunicação precisa estar ligada e direcionada para o entender ensinando e entender aprendendo. Isso significa que os processos de aprendizagem dos alunos e professores devem ser estudados em relação um ao outro. Em grande parte das pesquisas, falta esse foco essencial sobre o que é ensinado e a aprendizagem de Ciências, segundo SCOTT, NIEDDERER E GOLDBERG (em KLAASSEN E KORTLAND, opus citatum, p. 96).

Embora a SD aplicada não tenha sido guiada especificamente por nenhuma teoria, é possível indagar *a posteriori*:

1. É possível propor uma mudança metodológica?
2. O que de fato melhorou?
3. Por que melhorou?
4. Qual o papel que a Ciência pode ter?
5. Como articular esse conhecimento na vida dos alunos?

4.3 O material coletado

Foram elaborados materiais didáticos para aplicação deste projeto e desenvolvidas atividades para ajudar a mensurar as informações e atingir os objetivos aqui propostos. A coleta partiu de registros em diários de bordo, recepção e efetividade da Sequência Didática, slides didáticos, experimentos práticos, questionário final e anotações do pesquisador. A seguir, as fontes de dados serão apresentadas com detalhes:

Diário de Bordo

Com a finalidade de explorar a sustentabilidade, foram disponibilizados cadernos para os alunos corporificarem seus registros individuais, sob a orientação de realizarem

anotações pertinentes ao conhecimento adquirido sobre a aula e anexarem o material disponibilizado pela pesquisadora.

Sequência Didática

O objetivo central é permitir que o aluno consiga interagir na alfabetização científica (SASSERON, 2008, p. 12). As práticas discursivas favorecem no ensino, e os elementos do processo que auxiliam nas investigações e análises contribuem na reflexão sobre quais conteúdos serão priorizados. Os materiais compõem um certo número de aulas planejadas previamente com o intuito de observar as situações de aprendizagem, envolvendo os conceitos previstos na pesquisa didática (PAIS, 2002, p.102). Sequências Didáticas são temas de interesse da área de ensino de Ciências há bastante tempo (GIORDAN et al., 2011) (em FREIRE E MOTOKANE, opus citatum, p. 116 e 120).

Também foi apontado, na Introdução, que as investigações baseadas em *design* nos estudos de ciências da aprendizagem na América do Norte e pesquisas europeias mostram que a aprendizagem, para ser significativa, deve ser separada em "grãos grandes" (LIJNSE, 1995). Ao relacionar as pesquisas internacionais com as pesquisas nacionais, nota-se que a criação de um processo investigativo requer qualidade e habilidade na busca da narrativa detalhada dos alunos, mostrando, assim, resultados significativos. Através da didática científica, é possível concentrar nas ideias dos alunos, buscando eficácia no que será ensinado através da aprendizagem de Ciências e na construção desta aprendizagem. Esta pode ocorrer de forma intuitiva, por meio do desenvolvimento de tarefas, com o objetivo de favorecer o conhecimento dessa temática em relação ao conteúdo específico. Essas pesquisas criam formatos cumulativos, permitindo aos pesquisadores desenharem claramente as descobertas do trabalho do outro (KORTLAND E KLAASSEN, 2010).

As alegações para introduzir um modelo simples da evolução das estrelas para os alunos do Ensino Médio, dentro de um contexto histórico científico explicando propriedades familiares da Termodinâmica, do Eletromagnetismo, etc., proporciona aos educandos a oportunidade de utilizar esse modelo para explicarem os processos familiares, entregando, assim, a responsabilidade aos próprios alunos e medindo a aprendizagem em "grãos finos".

O conhecimento sobre a aprendizagem específica é caracterizado como "grão fino" e as teorias instrucionais são difíceis de articular na ausência de sequência de

atividades e recursos associados como apoio à aprendizagem, segundo COBB E GRAVEMEIJER (em KLAASSEN E KORTLAND, opus citatum, p. 12).

Foram desenvolvidas 5 aulas didáticas em uma SD com as seguintes informações:

- Área do conhecimento;
- Ano/Série;
- Tema;
- Título da atividade;
- Número de aulas previstas;
- Habilidade a ser desenvolvida;
- Objeto de aprendizagem;
- Materiais necessários para a aula;
- Contexto;
- Sistematização/Avaliação;
- Exercícios/Mão na massa.

Planos de aula

Foram elaborados planos de aula para auxiliar a SD. O plano de aula é um apoio para o docente durante a aula que será ministrada, amparando o educador na sequência das atividades que estarão descritas nele.

Simuladores

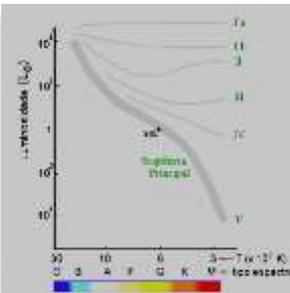
Foram utilizados três simuladores para o desenvolvimento das SDs, com a finalidade de auxiliar nas construções de novos saberes científicos e fortalecer a aprendizagem significativa. São eles:

- Phet: Espalhamento de Rutherford - com objetivo de analisar o comportamento das partículas-alfa enquanto elas viajam através de uma fina camada de átomos;
- Phet: Tela do Pudim de Ameixa - para a exploração do comportamento esperado das partículas-alfa com base no modelo Pudim de Ameixa de um átomo, sugere-se um átomo composto de substâncias com cargas positivas difusa embutida com elétrons carregados negativamente. O simulador está disponível na página de atividades com simulações interativas PhET. Simulador de Rutherford: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/rutherford-scattering. Acessado em 06/09/2019.

- Stellarium – sua principal característica é mostrar o céu realista em três dimensões coincidentemente ao que se vê a olho nu ou com a ajuda de um binóculo ou telescópio. É uma espécie de “planetário de código aberto” para o seu computador ou celular com acesso remoto, sem necessidade de “baixar o aplicativo”. O simulador foi utilizado para identificar a constelação de Orion e a escolha de 5 estrelas para preencher a tabela 6. Utilizando o diagrama HR em branco fornecido para graficar as informações coletadas, as alunas preencheram esses dados (utilizando uma posição MUITO aproximada) e, assim, foi possível a construção de seu próprio diagrama HR.

Tabela 6 – Sequência Didática: Estrelas e suas propriedades

Nome da estrela	Magnitude absoluta	Tipo espectral e classe de luminosidade	Luminosidade	Nome correspondente à classe de luminosidade



Fonte: arquivo pessoal da pesquisadora

O simulador está disponível na página de atividades com simulações interativas Stellarium. Encontra-se na página: <https://stellarium-web.org/>. Acessado em 11/10/2019.

A utilização deste recurso deu-se por conta de a escola não permitir aulas noturnas, e as alunas realizarem curso técnico no período noturno.

- The size of space – tem por objetivo mostrar para o aluno a observação do Universo em escala. Este simulador foi elaborado por Neal Agarwal. Para sua utilização, é necessário apenas o uso da tecla “seta” para a direita ou deslize para a esquerda para iniciar a animação. Ao final da apresentação, é sugerido iniciar uma discussão com os argumentos propostos pelos alunos.

Disponível no endereço: <https://neal.fun/size-of-space/>. Acessado em: 29/11/2019.

Com o intuito de reforçar a construção do saber científico, o uso deste simulador ocorreu para auxiliar de maneira empírica a imaginação real das distâncias estelares (vivencial) pelas alunas, já que a utilização dos simuladores para esses fins é de grande valia.

Experimento prático

Durante a aplicação das SDs, foram desenvolvidos três experimentos práticos:

- Construção do espectrógrafo;
- Difração da luz;
- Cálculo da potência do Sol.

Com o intuito de enriquecer as SDs, os experimentos auxiliaram para a fixação das habilidades propostas em cada uma delas.

Questionário final

O questionário final tem por objetivo a entrega de responsabilidade aos alunos: como os alunos poderão usar os conteúdos que lhe foram introduzidos, com alguma oportunidade de manifestar-se? (LIJNSE, 2009).

Em uma abordagem convencional (metacognitiva), o ensino ocorre através de soluções de problemas. Isso significa que os alunos precisam voltar e refletir sobre suas ideias e opiniões para substituí-las no problema que foi imposto. O desafio de uma abordagem de baixo para cima consiste em os alunos olharem para frente e refletirem sobre o que já sabem para atendê-lo, deixando enquadrarem amplamente os problemas que impulsionam seu processo de aprendizagem, por meio de atitudes e habilidades desenvolvidas.

Quadro 1 – atividade final: Questionário final respondido pelas alunas

Questionário Final (QF)
<ol style="list-style-type: none"> 1. Como ocorre a formação das estrelas? Como você descreve a composição de uma estrela? 2. Você consegue explicar o diagrama HR? O que mostra realmente? 3. Você consegue explicar como ocorre o equilíbrio de uma estrela? Que tipo de equilíbrio é esse? Você pode expressar as forças que atuam na estrela? (Se preferir, faça a representação em desenho). 4. Como você justifica o modelo de reações nucleares que consomem H e He e assim por diante até a estrela finalizar sua vida? O que as supernovas têm a ver com essa "morte"? Qual a sua ideia sobre o Buraco Negro desse ponto de vista?

5. Que evidência você tem de que as reações "químicas" acontecem em uma estrela? Ficou claro nas aulas?
6. Com base no exercício 6 da Sequência Didática “Estrelas e suas propriedades”, utilize os dados que você organizou no diagrama HR para responder às perguntas abaixo:
 - a) Qual é a estrela mais evoluída da amostra?
 - b) Qual viverá mais? Por quê?
 - c) Qual viverá menos? Por quê?
 - d) Como terminarão suas vidas?
7. Dos assuntos abordados em sala, você consegue descrever quais apresentaram as maiores dificuldades?
8. Como você relaciona com a Física o que foi tratado?
9. O que de fato você não conseguiu entender em absoluto?
10. Até que ponto você consegue fazer um “relato” detalhado da evolução das estrelas?

Fonte: pesquisadora

Anotações do pesquisador

No transcorrer das SDs em sala de aula, foram realizados registros do desenvolvimento sequencial e anotações das falas dos alunos para verificação posterior.

5 ANÁLISE DOS DADOS COLETADOS E DISCUSSÃO

5.1 Instrumento de coleta de dados

O desenvolvimento da SD ocorreu pela exploração histórica, questões disparadoras, sistematização do conteúdo, que podem ser consideradas como uma avaliação do processo; exercícios e experimentos (tipo "mão na massa" do HORVATH, 2008) foram utilizados para fixação do conhecimento e o questionário final, utilizado para análise qualitativa deste processo. A coleta de dados foi realizada por meio do uso de diários de bordo, onde foram realizados os registros pertinentes à decorrerência das aulas, bem como anotações e acompanhamento feitos pela pesquisadora.

Aproveitando os questionamentos e comentários dos alunos no decorrer das aulas, buscou-se afinidade com os princípios estruturais da SD, estando eles vinculados à exploração histórica e à epistemologia da Astrofísica.

5.2 Primeiro Semestre

A princípio, o projeto seria iniciado e concluído no primeiro semestre de 2019 e reaplicado com questionários para os alunos no segundo semestre. Por motivos pessoais, o projeto iniciou-se no primeiro e encerrou-se no segundo, sem reaplicação.

O professor Jorge Ernesto Horvath foi convidado para ministrar uma palestra para os alunos do Ensino Médio. A palestra ocorreu no mês de março para aproximadamente 120 alunos, com o tema: “A vida secreta das estrelas”. A didática usada pelo professor prendeu a atenção dos jovens por 90 minutos.

Durante a palestra, um aluno questionou o professor Jorge: “o que acontece na colisão de buracos negros? O que são planetas órfãos? ”.

Em seguida, o professor de Filosofia/Sociologia questionou: “existem muitos questionamentos em relação ao conhecimento científico, principalmente em relação ao espaço e à Astronomia. Como os astrônomos/cientistas lidam com esses questionamentos e como romper essa barreira do senso comum que é algo tão caro para nós cientistas, principalmente para nós de Ciências Humanas? ”.

A diretora da escola, Profa. Maria Jucineide, valorizou a palestra, realizando registros com fotos, filmagens e agradecendo ao Prof. Horvath por se preocupar com a aproximação entre a Universidade e os alunos da periferia, finalizando seus dizeres: “Essa é nossa escola. Escola de oportunidades. Maior orgulho”.

Muitos alunos afirmaram se sentirem importantes com a visita do Professor Jorge, porque não conseguem ver perspectivas de futuro dentro dos estudos por conta do meio em que vivem. É importante salientar que a palestra foi de grande valia, pois a curiosidade em conhecer a vida do astrônomo chamou bastante a atenção de vários alunos. O cuidado em buscar informações verdadeiras ficou bastante evidente entre eles, visto que muitos desses jovens não se preocupavam em pesquisar fontes seguras.



Professor Jorge Horvath, ministrando a palestra para os alunos do Ensino Médio. Fonte: arquivo pessoal da pesquisadora.

5.3 Relação das linhas espectrais com as substâncias

Análise das cores do espectro:

- Hidrogênio na região vermelha (656 nm);
- Hidrogênio na região azul (486 nm);
- Ferro na região violeta (431 nm).

A sistematização dessa SD ocorreu através do experimento “Difração da Luz”. O experimento tem por objetivo identificar os fenômenos físicos relacionados às teorias propostas, reconhecendo as linhas do espectro contínuo através de observações, análise e experimentação de situações concretas. Foram utilizados:

- 1 CD;
- Caixa de papelão com tampa;
- Fita adesiva;
- Folha de papel branco;
- Tesoura;
- Luz artificial ou do Sol.

Abaixo, a aluna demonstrando o experimento para os alunos da sala.



Fonte: arquivo pessoal da pesquisadora

5.4 Natureza da luz e como estudá-la

Essa sequência foi dividida em três etapas:

1ª Etapa:

Após a apresentação do tema “Luz e suas propriedades”, foram introduzidas as considerações históricas em uma aula expositiva com duração de trinta minutos. No término da atividade expositiva, foi apresentado um vídeo que explica por meio de animações como ocorre o efeito fotoelétrico e suas aplicações no cotidiano, com duração de aproximadamente nove minutos. Ao final dos esclarecimentos, foi proposta a construção do espectrômetro. Dúvidas como:

A6: “Se juntar todos os espectros, eles se completam? ”.

A5: “O elétron é negativo? ”. (Embora seja uma convenção, o sinal relativo da carga é oposto ao do próton...isto é o importante)

2ª Etapa:

Construção do espectrômetro. Foram utilizados caixa de papelão e um CD.



Fonte: arquivo pessoal da pesquisadora

A4: “Qual o lado ‘certo’ para o corte de 0,5 mm? ”.

A1: “Posso fazer o espectro com caixinha de pasta de dente? ”.

A2: “Posso fazer com caixa de remédio? ”.

A3: “Qual o tipo de caixa? ”.

3ª Etapa:

Utilização do espectro no estacionamento da escola.



Fonte: arquivo pessoal da pesquisadora

Os alunos realizaram a construção do espectrógrafo. Foram utilizadas caixas de creme dental e caixas de remédios. O aluno teve a ideia de confeccionar uma caixa de papelão para a construção de um espectro maior.

A1: “Qual o tamanho do furo? Qual o tamanho do CD? Como eu sei que o CD está em 60°?”

Após o espectro pronto, surgiram dúvidas como:

A2: “Está muito largo o corte, posso usar a fita isolante para fechar mais a largura do diâmetro da caixa?”

Durante a observação, as alunas viram as seguintes cores do espectro:

A2: “Roxo, azul, verde, amarelo, laranja e vermelho (contra o Sol). ”

A2: “Azul, verde, vermelho, alaranjado (frente ao Sol). ”

A3: “Vi uma 'voltinha' (como uma curva do arco-íris) bem o arco-íris. ”

A2: “A gente precisa estar em uma posição certa para saber usar o espectro?”

As alunas A2, A3 e A4 orientaram a coordenadora da escola, explicando sobre o espectro, com o qual ela ficou maravilhada.

O aluno A1 observou no espectro as seguintes cores: azul e roxo. O aluno sentiu dificuldades na montagem do espectro e não posicionou o CD na posição correta, dificultando assim sua observação.

A5: “O espectro de papelão ‘não deu certo’”.

O aluno não conseguiu finalizar o experimento.



Fonte: arquivo pessoal da pesquisadora

5.5 O modelo atômico de Bohr

Questão 1: análise dos modelos atômicos: Dalton, Thomson e Rutherford.

Na questão 1, buscou-se verificar o estudo dos modelos atômicos, destacando as ideias principais sobre cada modelo, e mencionar a partir de qual modelo foi introduzido o conceito de carga elétrica no interior do átomo e a forma como está distribuída.



Fonte: Diário de bordo. Arquivo pessoal da pesquisadora

Questão 2: utilizar as expressões matemáticas do texto para calcular o valor da energia para o átomo de hidrogênio.

A segunda questão refere-se à utilização de expressões matemáticas. Consiste em analisar o elétron do átomo de hidrogênio ao utilizar o “salto quântico” do nível de energia $n = 3$ para o estado fundamental (nível $n = 1$) e responder se o átomo absorve ou emite energia. Considerando o valor de energia, o valor da frequência do fóton é expresso através da realização da transição de níveis.

“O elétron é negativo”

2a) $n_3 = -1,5$ $-1,51 - (-13,6)$ R: Ele emite energia
 $n_1 = -13,6$ $-1,51 + 13,6$
 $= 12,09 \text{ eV}$

Fonte: Diário de bordo. Arquivo pessoal da pesquisadora

2-h) $E = h \cdot f$ \rightarrow está multiplicando

$f = \frac{E}{h} = \frac{12,09 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{6,63 \cdot 10^{-34}} = 2,91 \cdot 10^{-14} \cdot 10^{14} = 2,91 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$

$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ $f = \frac{19,334 \cdot 10^{-19}}{6,63 \cdot 10^{-34}} = 2,91 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$

1 elétron-volt vale $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

R: Foton = $2,91 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$
 Valor em joule: $12,09 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 19,334 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Fonte: Diário de bordo. Arquivo pessoal da pesquisadora

Questão 3: análise da transição do átomo de hidrogênio.

A terceira questão considera que o átomo de hidrogênio possui um elétron no nível 2 que retornou para o estado fundamental e pretende analisar essa transição, mencionando se o elétron absorve ou emite energia, demonstrando o cálculo dessa energia envolvida em elétron-volt e Joule.

3-a) Tela unit $E_2 = -3,4 \text{ eV}$ $- 3,4 - (-13,6)$
 $E_1 = -13,6$ $- 3,4 + 13,6$
 $= 10,2 \text{ eV}$

b) $E = h \cdot f$ $f = \frac{10,2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{6,63 \cdot 10^{-34}} = 2,46 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$
 $f = \frac{16,32 \cdot 10^{-19}}{6,63 \cdot 10^{-34}} = 2,46 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$

* Energia em joules: $16,32 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
 * Frequência do fóton: $2,46 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$

Fonte: Diário de bordo. Arquivo pessoal da pesquisadora

Ao final da resolução dos exercícios, foi proposta a utilização do simulador Phet: Espalhamento de Rutherford, com o objetivo de analisar o comportamento das partículas-alfa enquanto elas viajam através de uma fina camada de átomos.

Pontos principais da atividade do simulador Phet:

- Núcleos atômicos;
- Estrutura atômica;
- Mecânica Quântica.

Após seguir o roteiro de atividade, o passo a passo do procedimento referente ao espalhamento de Rutherford é identificar e explicar os fatores que alteram a deflexão das partículas-alfa.

A1: “O simulador ajudou bastante para entender o conteúdo, pois, somente com a explicação, tínhamos que ficar imaginando a Teoria de Rutherford”.

Para a exploração do comportamento esperado das partículas-alfa com base no modelo Pudim de Ameixa de um átomo, sugere-se um átomo composto de substâncias com cargas positivas difusas embutidas com elétrons carregados negativamente.

Após seguir o roteiro de atividade, o passo a passo do experimento “Tela do Pudim de Ameixa” é descrever:

- a) O comportamento das partículas-alfa e justificar o que se esperava desse comportamento;
- b) O comportamento dessas partículas com relação aos níveis de energia quando ocorre o aumento ou a diminuição dessa energia.

5.6 Aplicação às estrelas e suas propriedades

Analisar a tabela com a informação de três estrelas próximas ao Sol com os seus respectivos ângulos de Paralaxe (em segundos de arco). Na questão 1, as alternativas a e b pedem o cálculo da distância de cada estrela do Sol em UA, AL, pc respectivamente.

The image shows handwritten calculations for three parts: a), b), and c). Each part involves calculating distance from parallax.

a) Calculating distance in AU ($d(\text{AU}) = \frac{206265}{p(\text{''})}$):

- $d(\text{AU}) = \frac{206265}{0,112} = 1841651,7857142857$
- $d(\text{AU}) = \frac{206265}{0,379} = 544234,8284960422$
- $d(\text{AU}) = \frac{206265}{0,286} = 721204,7377622377$

b) Calculating distance in AL ($d(\text{AL}) = \frac{3,26}{p(\text{''})}$):

- $d(\text{AL}) = \frac{3,26}{0,112} = 29,098214285714285$
- $d(\text{AL}) = \frac{3,26}{0,379} = 8,601583113456464$
- $d(\text{AL}) = \frac{3,26}{0,286} = 11,398601398601399$

c) Calculating distance in pc ($d(\text{pc}) = \frac{1}{p(\text{''})}$):

- $d(\text{pc}) = \frac{1}{0,112} = 8,928571428571429$
- $d(\text{pc}) = \frac{1}{0,379} = 2,638522427440633$
- $d(\text{pc}) = \frac{1}{0,286} = 3,5000000000000004$

Fonte: Diário de bordo. Arquivo pessoal da pesquisadora

Na alternativa c, ainda na questão 1, pergunta-se: a estrela Sirius é a mais brilhante do céu noturno. Explique por que sua paralaxe é menor que a da Próxima Centauri, que é muito menos brilhante (só é possível vê-la com um potente telescópio).

A alternativa “c” não foi respondida pelas alunas. O exercício não ficou claro o suficiente para a obtenção de uma resposta.

As questões 2, 3, 4 e 5 referem-se a perguntas com verdadeiro e falso com o objetivo de reforçar a sistematização dessa SD.

VERDADEIRO OU FALSO	
2.	(V) O diagrama HR é um diagrama de classificação de estrelas.
3.	(V) Estrelas gigantes vermelhas tem alta luminosidade.
4.	(V) Estrelas de baixa massa tem tempo de vida maior do que estrelas de alta massa.
5.	(F) As estrelas passam o seu maior tempo de vida na fase de gigante.

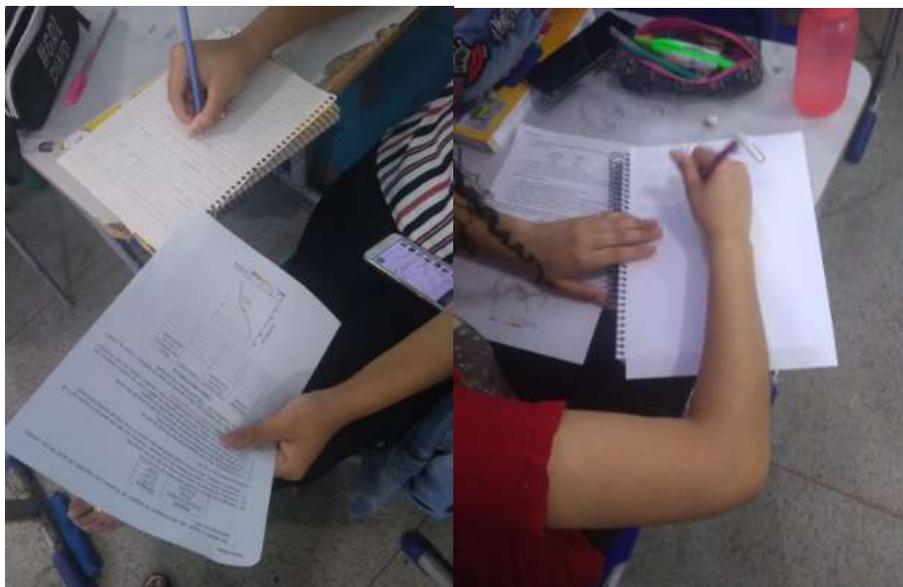
Fonte: Diário de bordo. Arquivo pessoal da pesquisadora

A1: “É confusa a teoria para responder o exercício Verdadeiro e Falso. As contas são fáceis de fazer”.

A2: “Não achei tão complicado, consegui entender. Fiquei com um pouco de dificuldade em responder o Verdadeiro e Falso”.

A3: “As contas não achei difícil, a fórmula é simples. O exercício Verdadeiro e Falso errei duas questões por falta de atenção”.

Na questão seis, foi utilizado um diagrama HR em branco para aplicar os dados e criar o próprio diagrama HR. Com o auxílio para a resolução desse exercício, foi utilizado o simulador *Stellarium* e a escolha de 5 estrelas da Constelação de Órion para completar a tabela e o diagrama HR (considerando a posição muito aproximada).



Fonte: Diário de bordo. Arquivo pessoal da pesquisadora

5.7 Ciclos da vida estelar

A aula foi iniciada com a seguinte pergunta: “seriam as estrelas observadas por Hipparcos há mais de dois milênios as mesmas que observamos hoje? ”

A3: “Depende da vida delas? ”

A4: “Qual o tempo de vida das estrelas? Podem ser diferentes estrelas? ”

A aluna A4, dentro de sua curiosidade, pesquisou o tempo de vida médio das estrelas e logo respondeu:

A4: “As estrelas vivem milhões de anos, portanto, respondendo à pergunta acima, são. ”

A5: “Quem nasceu primeiro: Nebulosa ou estrela? ”

A4: “A nebulosa. ”

Foi proposto, na questão 1, o cálculo da luminosidade do Sol. Utilizando o livro “ABCD da Astronomia e Astrofísica”, do professor Jorge Horvath (opus citatum, 2008), foi possível construir um fotômetro muito simples que emprega materiais comuns.

Materiais utilizados:

- Uma folha de papel branco comum (sulfite A4);
- Um pouco de óleo de cozinha;
- Uma lâmpada de 100 Watts.

Ao utilizar a expressão:

$$\frac{L_{\odot}}{D_{\odot}} = \frac{L_{lamp}}{D_{lamp}} \quad (10)$$

As alunas obtiveram da medida o valor de $L_{\odot} = 5 \times 10^{26} \text{ Watts}$, um número próximo do esperado *a priori* $4 \times 10^{26} \text{ Watts}$. Na percepção das alunas A1 e A4, surgiu o questionamento referente à distância "correta" da lâmpada para a precisão do cálculo e a reclamação quanto à didática do experimento do livro, com a fala final: "é muito confuso!"

Analisando essa atividade qualitativamente, pode-se afirmar que a dúvida das alunas é pertinente, porém não foi levado em consideração que o valor obtido não está tão distante do esperado. Talvez a lâmpada utilizada não fosse adequada para tal experimento.





Fonte: arquivo pessoal da pesquisadora

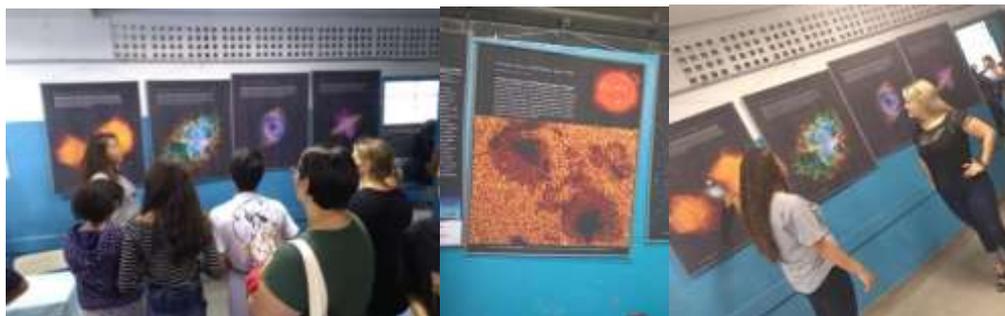
Na questão 2, foi utilizado o simulador ‘The size of space’ já mencionado. O objetivo do simulador é apresentar para os alunos, em modo de animação, o tamanho dos objetos comparado com o tamanho do Universo em escala.



Aluna realizando a apresentação do simulador para a comunidade no dia da Culminância.

Fonte: arquivo pessoal da pesquisadora.

A finalização do material desenvolvido em sala ocorreu durante a Culminância. As alunas realizaram uma apresentação dos conteúdos para a comunidade.



Fonte: arquivo pessoal da pesquisadora

5.8 Questionário final

Dentro de uma perspectiva, o ato de avaliar dentro de um contexto escolar é expresso como uma investigação da qualidade dos resultados obtidos, produzindo a condição do objeto investigado.

A avaliação é um ato subsidiário da obtenção de resultados mais satisfatórios possíveis, portanto subsidiária no processo, de um movimento construtivo. Conseqüentemente, é um instrumento de busca de construção, por isso funciona articulado com um projeto pedagógico que se crê e se efetua construtivamente.

(Luckesi, 2005)

Ao se escolher um *instrumento de coleta de dados para a avaliação*, é importante frisar que possui caráter de desempenho provisório do aluno, não devendo ser usado apenas para avaliar em caráter quantitativo.

A base do questionário será particularmente a metodologia qualitativa para apresentação do conhecimento produzido. Todas as hipóteses foram geradas durante o processo investigativo por meio de uma narrativa detalhada buscando credibilidade aos modelos avaliativos e interpretativos desta pesquisadora, desenvolvidos pelas alunas por meio de resoluções de tarefas, anotações no diário de bordo, utilização de simuladores e desenvolvimento de experimentos.

Questão 1: Trata-se da formação das estrelas. Como o aluno descreve a composição de uma estrela.

A1: “Através das nebulosas que são grandes nuvens de gases com hélio e hidrogênio, esses gases se contraem pela força da gravidade e assim sua temperatura aumenta, queimando esses gases e criando uma estrela. Conforme a temperatura das estrelas esquenta ou estariam elas virando outro tipo de estrela, classificadas como ‘gigante

vermelha' 'supergigante vermelha' e outros, ao longo de seu ciclo com a contração gravitacional e a energia das estrelas elas podem virar um Buraco Negro, anã branca ou uma estrela de nêutrons”.

A2: “Uma estrela se forma pelo colapso de uma nuvem de material composta principalmente de Hidrogênio. Uma vez que o núcleo estelar seja mais denso, parte do Hidrogênio é convertido em Hélio pelo processo de fusão nuclear. Quando as estrelas se formam, 71% é Hidrogênio e 27% é Hélio”.

A3: “A estrela se forma através da contração de nuvens de gás e poeira (nebulosa), isso ocorre por causa da atração gravitacional. Depois das contrações das nebulosas, surge a estrela. As estrelas são compostas por hidrogênio, hélio e outros metais pesados”.

Questão 2: Aborda o conhecimento sobre o diagrama HR.

A1: “Diagrama HR é um gráfico que mostra e determina a classificação das estrelas conforme a sua luminosidade e temperatura e onde cada uma se encontra, mostrando também a sequência principal, onde as estrelas se encontram no início do seu ciclo”.

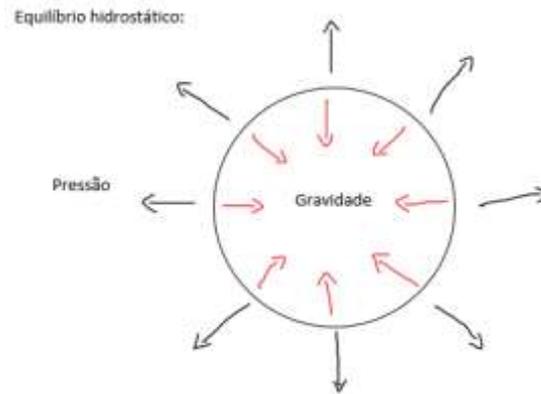
A2: “É a relação que existe entre a luminosidade de uma estrela e sua temperatura. As estrelas da mesma cor podem ser divididas entre luminosas, que são chamadas de gigantes, e as estrelas de baixa luminosidade, chamadas anãs. A maior parte das estrelas ficam na Sequência Principal, onde estão as estrelas quentes e muito luminosas e estrelas frias e pouco luminosas. E é a massa da estrela que vai determinar onde ela ficará na Sequência Principal”.

A3: “Diagrama de Hertzsprung-Russell (HR), nos mostra o brilho e a cor das estrelas, assim conseguimos localizar a colocação de cada estrela (a maioria das estrelas se encontram na sequência principal) ”.

Questão 3: Refere-se ao equilíbrio de uma estrela, expressando as forças através da escrita ou representação em desenho.

A1: “É quando as forças que atuam dentro da estrela, atuam com a mesma intensidade fora dela. Esse equilíbrio ocorre para que os gases da estrela não se contraíam. As forças que atuam são a das fases da estrela e a força gravitacional.

A2:



Fonte: arquivo pessoal da pesquisadora

A3: “O equilíbrio de uma estrela se dá por causa do Equilíbrio Hidrostático, que é quando a pressão no ponto interno da estrela compensa a pressão gravitacional, que é causada pelo material acima do ponto”.

Questão 4: Trata-se da finalização de uma estrela, justificando o modelo de reações nucleares que consomem H e He e assim por diante, associando a “morte” dessa estrela com o surgimento de uma Supernova e destacando a ideia da formação de um buraco negro.

A1: “O modelo de reações nucleares é uma cadeia que em suas fases vão consumindo hidrogênio e hélio e seus outros gases, isso ocorre durante o ciclo final das estrelas. A supernova tem uma luminosidade intensa e quando uma estrela brilha muito é porque está queimando sua energia e seu combustível, no entanto, a morte de uma estrela pode ser de várias formas, uma delas é se transformar em uma supernova. Já no fim de sua vida, após a supernova, ela pode virar uma estrela de nêutrons ou um buraco negro”.

A2: “A estrela aumenta o seu brilho e se torna uma gigante vermelha. Ela termina a vida como Anã Branca. A Supernova, explode porque nela contém muita energia, logo em seguida ocorre a formação de um Buraco Negro Estelar”.

A3: “A estrela ao decorrer de sua vida, vai produzindo os elementos químicos presentes em suas camadas até chegar ao núcleo, cada um deles vai sendo produzido em etapas, primeiro o hidrogênio, depois o hélio e por fim os metais mais pesados. Algumas estrelas têm o seguinte ciclo : nasce de uma nebulosa --- vira uma estrela ---- depois vira uma super gigante vermelha--- quando ocorre a explosão (colapso) dessa super gigante vermelha (depois que todos os elementos químicos dela são produzidos e ela chega ao ferro, obs: algumas colapsam antes de chegar ao ferro), ela vira uma Supernova, e essa

supernova vai dar origem a um Buraco Negro (quando a estrela é 10× maior que a massa solar) ou uma estrela de nêutrons (a estrela de Nêutrons, só é captada pelas vibrações dela). E o Buraco Negro é um campo gravitacional muito intenso, onde nem a luz consegue escapar dele”.

Questão 5: As reações nucleares que acontecem em uma estrela. Expressar com clareza o que foi absorvido durante as aulas.

A1: “Essas reações químicas, são chamadas de reações nucleares e através delas que ocorre o ciclo de vida é a evolução das estrelas, o que determina a sua luminosidade, calor e as propriedades de cada estrela, essas reações podem ser de fusão e fissão, produzindo energia no núcleo da estrela”.

A2: “No núcleo de uma estrela ocorrem reações responsáveis pela luz, calor, e outras radiações provenientes do astro; reação de fissão e fusão; mudança de cor, temperatura e luminosidade”.

A3: “Temos por exemplo o brilho da estrela, que se dá através do equilíbrio térmico que é quando a energia produzida no centro da estrela (reações termonucleares) é igual à energia que a estrela perde na forma de radiação eletromagnética, que nada mais é do que a luz, o brilho da estrela. Temos como referência o Sol, a estrela que faz parte do nosso sistema, onde vemos e "sentimos" o seu brilho. E através de um experimento, tivemos tal comprovação: Ao olhar em direção ao sol (raios solares) com os nossos espectros (que foram criados por nós mesmos) enxergamos várias cores, sendo elas as cores vermelha, roxa, verde, amarela e azul. A vermelha sempre foi a cor mais observada. E temos como entendimento que a cor vermelha está relacionada ao elemento químico Hidrogênio, então, a conclusão do meu experimento foi que, o Sol ainda está produzindo e queimando Hidrogênio, e as estrelas quando estão nessa etapa, ainda estão presentes na Sequência Principal, onde passam 90% de suas vidas”.

Questão 6: Relação direta entre o exercício 6 da SD 4 – ‘Estrelas e suas propriedades’ e os dados coletados, correspondendo às questões abaixo:

Aluno	Estrela mais evoluída	Qual viverá mais e por quê?	Qual viverá menos e por quê?	Como terminarão suas vidas?
A1	“Betelgeuse e Rigel, as estrelas mais	“Sirius, pois é uma estrela “pequena” e menos massiva,	“Betelgeuse, pois ela é uma estrela supergigante, ou	“Quando a estrela já estiver queimando todo o

	evoluídas são aquelas que estão fora da sequência principal, classificadas como supergigante vermelha ou gigante vermelha.”	o que faz com que seu tempo de vida seja maior, pois a sua queima de combustível não é tão rápida.”	seja, é mais massiva e quente, o que faz com que ela queime rapidamente e morra.”	seu combustível ela vai esfriando lentamente, o fim do ciclo pode resultar em uma Anã branca, estrela de nêutrons ou um Buraco Negro”.
A2	“Rigel.”	“Capela, porque a massa dessa estrela é menor, e quanto menor a massa da estrela, mas tempo ela vive.”	“Sírius, porque as estrelas maiores e mais 'pesadas', gastam mais rapidamente seu combustível e por isso dura menos.”	“Depende da massa da estrela, quanto maior a massa, mais calor e luz ela libera. Sua morte acontece quando já tiver queimado todo o combustível, o que gera muita energia a ponto da estrela explodir.”
A3	“A Rigel e a Betelgeuse (Super gigantes brilhantes).”	“A Canopus (Gigante Brilhante).”	“A Rigel e a Betelgeuse pois quanto maior a estrela, menor é o seu tempo de vida (inversamente proporcional).”	“A Rigel e a Betelgeuse irão virar uma estrela de nêutrons ou um buraco negro, a Canopus pode virar uma supernova ou uma anã branca e a Procyon são anãs brancas, já estão no fim da vida”.

Fonte: arquivo pessoal da pesquisadora

As quatro últimas perguntas deste questionário contribuíram para o desenho desta Sequência Didática dentro de uma análise qualitativa:

Questão 7: Dentre os assuntos abordados nas aulas, destaque as maiores dificuldades.

A1: “No tema ‘Estrelas e suas propriedades’.

A2: “A dificuldade foi mais no começo das aulas/explicações, que era um pouco complicado entender e guardar algumas informações na memória, mas com o decorrer das aulas as coisas foram ficando mais claras”.

A3: “As maiores dificuldades ficam um pouco na teoria, mas quando era mostrado na prática com experimentos e simuladores, ficava mais fácil o entendimento do conteúdo”.

Questão 8: Trata-se de relacionar os conteúdos abordados em sala com a Física.

A1: “Os temas tratados são conceitos da Física, como a luminosidade, distância, densidade, temperatura e composição, usados para estudar o Universo, conhecido como Astrofísica, um ramo da Física e da Astronomia”.

A2: “Em ambas as partes, estudamos sobre distância, luminosidade, temperatura, gravidade, entre outros”.

A3: “A Física está totalmente junto com a astronomia, para estudar os astros precisamos entender um pouco da Física”.

Questão 9: Refere-se ao que de fato o aluno não conseguiu entender em absoluto.

A1: “As cadeias das reações nucleares e suas fases”.

A2: “Uma coisa que eu não consegui entender muito bem, foi em relação a formação das nebulosas”.

A3: “Eu não consegui entender em absoluto a questão de cada componente químico presente na atmosfera”.

Questão 10: Trata-se do “relato” detalhado da evolução das estrelas.

A1: “Os gases da nuvem nebulosa se contraem, criando uma grande temperatura no núcleo, começando então as reações nucleares, então temos uma estrela formada que entra na sequência principal do diagrama HR. As estrelas tem sua massa classificada com base na massa do Sol, o ciclo de sua vida e o fim é determinado pela massa solar que ela se inicia, exemplo: se a estrela inicia a sua vida com 25 ou até 100 massas solares, no fim do seu ciclo, após o período como Supernova, ela se torna um Buraco Negro. Outro fator é o que a estrela produz e consome em seu núcleo, como hélio, carbono, oxigênio, assim saem da sequência principal e vão para onde a sua massa se classifica. Quando uma estrela vai para a classificação das gigantes e supergigantes, que são tipos de estrelas com massas maiores, ou seja, elas produzem diferentes elementos químicos e os queimam mais rápido, tendo como seu último estágio da queima de combustível o ferro, com isso a estrela

colapsa e parte de sua massa se torna uma supernova e as outras partes podem ser uma estrela de Nêutrons ou um Buraco Negro”.

A2: “Entendo que o nascimento de uma estrela ocorre no berçário estelar, onde tem grandes nuvens de gás e poeira, o hidrogênio é o principal “combustível” para as reações nesses corpos celestes, porém, quando ele acaba, o hélio entra em cena, provocando a expansão e o aumento de energia no interior das estrelas, elas aumentam o tamanho e ficam com luminosidade avermelhada, a famosa gigante vermelha. As estrelas com massa igual à do Sol, terminam em Anã Branca. Depois a estrela explode, se tornando um Buraco Negro ou pode se tornar uma estrela de Nêutrons”.

A3: “A evolução da estrela: Tudo começa com a nebulosa, a nuvem de gás e poeira, que vai se contraindo, pela atração gravitacional, e dá origem a uma estrela, essa estrela pode virar uma super gigante ou uma supergigante vermelha, se ela virar uma supergigante, depois da produção total de seus elementos químicos, ela irá colapsar e virar uma Anã Branca. Se por acaso a estrela for uma gigante vermelha, quando ela colapsar, ela pode virar uma estrela de Nêutrons ou um Buraco Negro, caso sua massa seja $10\times$ maior que o Sol. As estrelas colapsam porque já produziram todos os elementos químicos presentes nela, mas demoraram milhões de anos para que isso aconteça, pois, esses elementos químicos vão sendo produzidos em etapas até chegar ao núcleo e lá é produzido o último elemento (Se a estrela não colapsar antes) ”.

5.9 Trajetória das alunas

Neste momento, serão utilizados os dados do QF e as tarefas realizadas em sala para analisar a evolução individual de cada aluna de maneira que essas concepções sejam referenciadas com as falas durante a atividade para a entrega dos questionários e dos exercícios.

Para isso, a sequência levou em consideração o ensino de aprendizagem de baixo para cima, projetando as atividades gradativamente, possibilitando que as alunas desenvolvessem conceitos e habilidades, moldando, assim, novos conhecimentos com base nos já existentes.

Será mostrado como as alunas demonstraram seus conhecimentos a partir do que foi proposto e desenvolvido durante os meses de aplicação deste projeto.

Referente aos tópicos das aulas, foram aplicados os temas consideráveis e discutidos durante o curso: formação de estrelas, diagrama HR, equilíbrio de uma estrela

e as forças que atuam nesse equilíbrio, reações nucleares, “morte” de uma estrela, Supernova; Buraco Negro e a evolução das estrelas de forma detalhada.

Ao estudar a natureza da luz, percorreu-se o caminho vasto do conhecimento em que a Física acompanhou a Astronomia fortemente. Ao descobrir as linhas de absorção, em meados do século XIX, o espectro tornou-se uma espécie de “assinatura” dos elementos existentes na atmosfera da estrela, assim foi possível compreender e quantificar o modelo do átomo de Bohr. Desse modo, os fótons que são coletados das estrelas desempenham um papel principal para compreendê-las e analisá-las. Com essas informações, é possível construir um espectrômetro para observar os espectros da luz descritos, e a sua importância é grande, resultando interesse entre os alunos (HORVATH, 2008,2019).

Ao construir o espectrômetro, o Aluno 2 questiona o material a ser utilizado, porque, nas descrições, pede-se uma caixa de papelão. Dúvidas como: “posso utilizar uma caixa de remédio?” “Para tal experimento, a ‘caixa’ a ser utilizada não influencia.” “O que realmente importa é o corte da caixa e o ângulo base para a fixação do CD”. Para a eficiência do experimento, esses são os requisitos essenciais.

No decorrer das aulas, surgiu a curiosidade em confeccionar um espectrômetro de papelão “maior”. O Aluno 5 percebeu que os materiais disponíveis não eram suficientes para tal experimento. O aluno imaginou que, quanto maior o espectrômetro, maior seria a faixa espectral para analisar, e as linhas seriam melhor observadas.

Ele precisava de um CD muito maior para analisar as linhas. Caso o corte fique largo, o dispersor não funciona, como foi mencionado pela Aluna 2.

Ao apontar o espectrômetro para uma fonte luminosa, como o Sol ou uma lâmpada, o sulco do CD irá dispersar a luz igual uma rede que os astrônomos profissionais usam, permitindo, assim, encontrar várias linhas interessantes sem grande esforço (HORVATH, 2008). O posicionamento incorreto do CD levou o Aluno 1 à reflexão do “insucesso”. O Aluno 6 comparou as cores observadas por ele com as observadas pelos demais alunos e percebeu que seu experimento não estava correto, já que notou que o este não apresentava as linhas de hidrogênio na região vermelha, elemento químico que o aluno enfatizou durante as aulas.

A absorção e emissão de radiação aconteceriam de forma discreta, em “pacotes”: se a transição ocorrer do nível maior para o nível menor, por exemplo $3 \rightarrow 2$, ocorre a emissão de um fóton de comprimento $\lambda = 656 \text{ nm}$ (na região vermelha do espectro) correspondendo à primeira linha da Série de Balmer. Agora, se ocorrer o inverso, por

exemplo $2 \rightarrow 3$, o fóton será promovido ao nível superior; neste caso, faltará fóton na luz nesse comprimento, dando formação à linha de absorção (escura) (HORVATH, 2019).

A tarefa desenvolvida em sala, com foco na realização dos cálculos dessas frequências, levou as alunas a realizarem uma comparação entre as linhas já observadas e o experimento anterior, analisando a transposição do átomo de hidrogênio e mencionando se o elétron absorve ou emite energia.

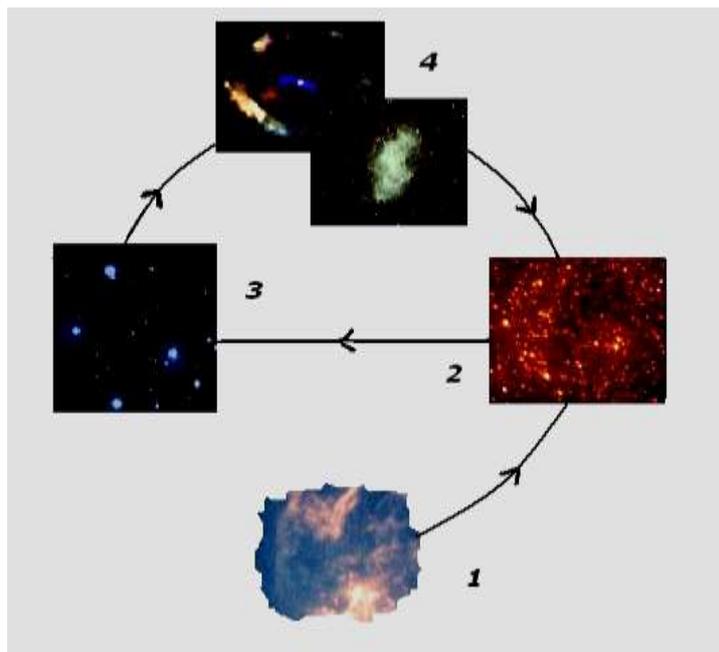


Figura 9 – Ciclo estelar. Fonte: Livro ‘O ABCD da Astronomia e Astrofísica

A Figura 9 representa a dificuldade da Aluna 6: “quem nasceu primeiro: Nebulosa ou estrela?” (Só para pontuar, as alunas 5 e 6 não faziam parte do projeto; participavam esporadicamente). É válido mencionar que este tempo é proporcional ao inverso do cubo da massa, ou seja, $\frac{1}{M^3}$. Ao sair da SP, a estrela deixa de produzir hidrogênio e inicia a fase da produção de elementos mais pesados a partir dos mais leves.

Assim, o interior das estrelas, por milhões de anos, muda progressivamente a composição do gás. Ao ejetar esse gás ao meio interestelar, as Nebulosas planetárias e as Supernovas são originadas.

Em relação à resposta da Aluna 5, ela compreendeu que o início de uma estrela está em uma nuvem de gás e poeira com atração gravitacional que começa a se contrair, iniciando, assim, seu processo de nascimento. E lentamente a gravidade obriga que toda essa massa gigantesca se aproxime do centro (figura 9 – etapa 4). A Aluna 5 compreendeu

que uma estrela se origina a partir de um gás de origem primordial, determinando sua evolução.

Infere-se que a luminosidade da estrela é dada pela lei de Stefan-Boltzmann, conforme a equação 4. A relação entre raio e temperatura intervém na luminosidade da estrela, ainda que a temperatura seja mais decisiva. Ao analisar o diagrama HR (Figura 4), é fácil observar que, quanto maior a massa da estrela, mais quente, maior e mais luminosa ela se torna.

Confrontando o experimento potência do Sol, é possível compreender melhor a luminosidade das estrelas. As alunas 1 e 5 questionaram os valores da potência para o cálculo. Considerando o Sol como estrela padrão, todas as demais estrelas são iguais a ele, portanto, serão consideradas somente as variações das distâncias. Desse modo, a distância fica completamente precisa em razão do fluxo cair com o quadrado da distância; este assunto não será aprofundado neste trabalho.

Conforme a equação 10, é possível igualar a luminosidade do Sol com a luminosidade da lâmpada, visto que o valor calculado pelas alunas não está distante do valor real. Segundo elas, a didática utilizada no livro “O ABCD da Astronomia e Astrofísica” demonstra uma linguagem não tão facilitada, porém, o experimento foi desenvolvido por elas.

Em relação ao QF (Quadro 1), a Aluna 1 utilizou um “toque coloquial”, ou seja, não compreendeu que os questionamentos se destinavam ao seu posicionamento durante as aulas. Muitos alunos do Ensino Médio prendem-se em procurar respostas “coladas” de livros e materiais disponíveis, garantindo, assim, a segurança na entrega da atividade. Ela não se manteve errada em suas respostas, porém, o apego ao “copiar” permaneceu. Muitos professores só aceitam respostas copiadas, tolhendo o pensamento do aluno.

Com relação ao equilíbrio de uma estrela, foi solicitada a descrição das forças atuantes. A Aluna 2 representou sua resposta através de desenho. Ao analisá-lo, percebe-se que a aluna não desenhou um equilíbrio local; a pressão aparenta estar fora da estrela e a gravidade ‘puxada’ para dentro dela. O que a Aluna realmente demonstrou foi o equilíbrio hidrostático estelar, no qual se sabe que a gravidade e a pressão atuam na estrela e que a soma dessas forças resulta no equilíbrio interno (representado pelas setas – terceira lei de Newton: ação e reação) desta, impedindo o seu colapso. A estrutura estelar depende das condições físicas no interior da estrela, onde essa estrutura é definida pelas variáveis: pressão, densidade, temperatura e luminosidade. Quando a estrela está na SP, em seu interior ocorre o equilíbrio hidrostático, em que a ação gravitacional e a pressão possuem

a mesma intensidade. Nessa fase, a estrela não se contrai nem se expande, mantendo-se em equilíbrio.

Para a Aluna 3, o equilíbrio da estrela ocorre por conta da pressão no ponto interno, e a estrela compensa a pressão gravitacional pelo ponto acima. Considerando uma estrela, sua esfericidade diz respeito à parte *espacial*, tanto quanto sua distribuição de energia. O colapso dessa estrela ocorre igualmente em todas as direções modificando apenas sua fonte e o seu campo gravitacional, colapsa seguindo este mesmo padrão. Dessa forma, o que está além do ponto não gera força gravitacional; somente em seu interior (seguindo o Teorema de Birkhoff). Conforme o que foi dito pela aluna, deve ser claro que uma estrela estática, ou colapsando, ou pulsando, ou explodindo geram o mesmo campo gravitacional (BEVILÁCQUA, 2007).

A Aluna 3, em suas respostas, mostra o empenho e a participação efetiva no decorrer das aulas. Na questão 4, percebe-se que a aluna adquiriu conhecimento sobre o assunto, afirmando as reações nucleares até a estrela finalizar sua vida. As pontuações que a aluna fez referentes às Supernovas e aos Buracos Negros mostram sua compreensão sobre o assunto, descrevendo-o com clareza, captando e integrando seu conhecimento de forma complexa. A aluna abrangeu a questão e descreveu sua resposta em uma sequência coerente, abordando detalhes específicos.

Ainda na mesma questão, na descrição da Aluna 2, ela associa a morte da estrela como uma espécie de evolução, a estrela torna-se uma Supernova e, por liberar muita energia, essa estrela transforma-se em um Buraco Negro. A compreensão dela deu-se em estágios evolutivos, em que a estrela continua armazenando energia para o próximo colapso. A aluna não compreendeu a evolução dos estágios estelares e não conseguiu diferenciar as estrelas que explodem como Supernova conforme sua massa.

Neste ponto, o conteúdo abordado em sala de aula não atingiu as expectativas esperadas. Visto que, primeiramente a estrela colapsa e dependendo da sua massa ela se torna uma Supernova, caso a quantidade de massa seja superior, essa estrela liberará energia, mas não conseguirá evitar que o caroço central (muito maior) se torne um Buraco Negro. A relação do tempo de vida da estrela (equação 9) com sua luminosidade (equação 4), em que esse tempo é controlado pela massa da estrela, ou seja, quanto maior sua massa, velozmente ela gasta sua energia e menos tempo ela dura, faz com que as estrelas mais massivas consumam rapidamente sua energia, vivendo por menos tempo. Este assunto ficou claro para as alunas.

Ao descrever as reações nucleares, as alunas 1 e 2 envolveram a fissão nuclear em suas explicações. As alunas entenderam que dentro do processo nuclear as reações de fissão e fusão fazem parte do mesmo processo. É evidente que este conteúdo não ficou claro, pois a forma de gerar energia nas estrelas é desenvolvida através da produção de energia de fusão nuclear e gerar energia pela fissão é impossível. Assim, Bethe (1906-2005) publicou a teoria sobre “*A produção de Energia nas Estrelas*”, descrevendo a produção de energia de fusão nuclear das estrelas, em que este processo envolve uma cadeia complexa de seis reações nucleares tal que os átomos de carbono e oxigênio agem como catalisadores, conhecido como Ciclo do Carbono (FILHO E SARAIVA, 2017).

Já o ciclo próton-próton ocorre em pares com núcleos de hidrogênio que colidem resultando um núcleo de deutério, um pósitron e um neutrino. O processo continua até ocorrer a formação de He-3 emitindo energia. Ao final, dois núcleos de He-3 se fundem formando um núcleo de He-4 com dois prótons livres, onde inicia todo o processo novamente.

Ainda na questão 5, a Aluna 3 compreendeu que a quantidade de energia produzida no centro da estrela é a mesma quantidade que a estrela "perde" em forma de radiação eletromagnética, associando essa radiação ao brilho da estrela (luz). É evidente que, para a aluna, o processo estelar que ocorre dentro é a causa para o que é emitido para fora. A mesma aluna conseguiu relacionar o experimento desenvolvido em sala (espectrômetro) com as reações químicas que acontecem em uma estrela. Ao mencionar as cores vermelha, roxa, verde, amarela e azul, ela relaciona a cor vermelha com o elemento químico Hidrogênio e conclui que o Sol ainda produz e queima H. Ressalta que as estrelas, quando estão nessa etapa, ainda estão presentes na Sequência Principal.

Na questão 6, ao justificar o término da vida de uma estrela, a Aluna 1 não menciona o colapso. Para ela, a estrela “encolhe” resultando em uma Anã Branca, estrela de Nêutrons ou um Buraco Negro. Em nenhum momento, ela menciona a massa para cada um desses fins, comprovando que o assunto não ficou objetivo para a sua compreensão. A Aluna 3 não percebe compatibilidade entre as três estrelas (Rigel, Betelgeuse e Canopus), para ela as estrelas seguirão caminhos diferentes dentro das duas possibilidades mencionadas. Segundo ela, a ‘estrela’ Procyon é uma anã-branca que está no ‘fim da vida’; na verdade, não associou a estrela a cadáveres estelares. Na alternativa ‘c’ da questão 6, a aluna usa o termo “pesadas” para explicar o conceito de “estrelas maiores”, justificando a estrela que viverá menos. Para a aluna, quanto “maior” (em relação ao “tamanho” mais “pesada” comparado com a sua massa) a estrela, menos ela vive. Durante

as aulas, as alunas usavam o termo “são inversamente proporcionais”, quanto maior sua massa, menor será seu tempo de vida.

Com relação à questão 7, o ensino de Astrofísica é extremamente atrativo e desafiador, especialmente para aqueles alunos que detêm uma certa simpatia científica. Desafiar a sala de aula com conteúdo astronômico não é comum, pois o professor muitas vezes encontra-se inseguro e, quando este conteúdo é abordado, gera uma certa “estranheza” para os alunos. A Aluna 2 justifica suas maiores dificuldades no começo das aulas/explicações. Neste momento é possível notar o início da construção da aprendizagem, na qual a aluna precisou envolver os conceitos e habilidades em seu repertório de conhecimento sobre Física básica para construir, assim, novos conhecimentos com base nos conhecimentos já adquiridos. É muito válida essa colocação, visto que o aluno precisa do tempo de “maduração”, ou seja, um tempo em que ele se familiarize com o assunto proposto.

A ideia de construção de uma ponte que possa ligar o conhecimento empírico à construção dos conhecimentos estelares delega aos pesquisadores respostas positivas para essa questão.

Com relação à questão 9, a Aluna 1 mencionou dificuldade em compreender a cadeia de reações nucleares e suas fases. Realmente se trata de um assunto complexo e sua abordagem precisa ser revista, pois é um assunto importante que requer uma atenção especial. A Aluna 3 demonstrou a falta de compreensão sobre o componente químico presente na atmosfera, conteúdo básico de química que necessita de uma noção rudimentar da formação dos elementos no Cosmos. Em relação ao componente químico presente na atmosfera, ele não foi abordado neste trabalho. Analisando a resposta da aluna de uma outra maneira, nota-se que a aluna mencionou que não entendeu em absoluto cada componente químico presente na atmosfera. Essa resposta é avaliada da seguinte forma: este “componente químico presente na atmosfera” seria a mudança do elemento químico dentro da estrela, mas a aluna associou a mudança desses elementos partindo da atmosfera até a chegada ao núcleo. Considerando a estrela como uma “casca de cebola”, iniciando a mudança do H para He e assim sucessivamente, a confusão é evidente.

Prosseguindo na questão 9, a Aluna 2 deixou evidente que não absorveu o conteúdo referente à formação de Nebulosas, que são conhecidas como nuvens de gás e poeira existentes em uma galáxia. Popularmente falando, são os restos de colapsos de muitas estrelas e gás da galáxia.

A última questão do QF descrita pelas alunas mostra a evolução pessoal com relação aos conteúdos abordados em sala. A Aluna 2 não menciona a palavra *massiva* e que viverá menos após a explosão, apenas usa a palavra “depois” para expressar isso, tornando-se um Buraco Negro ou uma estrela de Nêutrons. Ao descrever o nascimento da estrela, a Aluna 3 afirma que a estrela evolui para uma supergigante ou uma supergigante vermelha, pulando a fase da SP e muitos processos evolutivos. A aluna apresenta um problema semântico, bastante comum em geral: confunde supergigante com gigante. Analisando a figura 4, as estrelas que se encontram acima da SP, na região superior direita, são as estrelas frias e luminosas, conhecidas como gigantes e pertencentes à classe de luminosidade II ou III. No topo desse diagrama, existem algumas estrelas ainda mais luminosas conhecidas como supergigantes, com classe de luminosidade I. Interpretando o diagrama HR, é possível notar que o ramo das gigantes converge para o ramo das supergigantes e é comum a interpretação acima mencionada. Com relação à Aluna 1, fica difícil mensurar o quanto aprendeu (se realmente aprendeu) porque a aluna não usou suas próprias palavras. Portanto, este questionário foi encaminhado a elas em caráter qualitativo para avaliação da aprendizagem adquirida em relação aos conteúdos próprios, e a utilização de um discurso alheio faz suspeitar das suas respostas.

Como finalização e contribuição no desenho da SD, a questão 10, em caráter qualitativo, insere alegações para introduzir um modelo simples da evolução das estrelas para os alunos do Ensino Médio, dentro de um contexto histórico científico explicando propriedades familiares da Termodinâmica, do Eletromagnetismo, das Propriedades da luz, etc., proporciona aos alunos a oportunidade de utilizar esse modelo para explicarem os processos familiares, entregando, assim, a responsabilidade aos próprios alunos e medindo a aprendizagem em "grãos finos". O conhecimento sobre a aprendizagem específica é caracterizado como "grão fino" e as teorias instrucionais são difíceis de articular na ausência de sequência de atividades e recursos associados como apoio à aprendizagem (COBB E GRAVEMEIJER, p. 77, 2008).

De acordo com a questão 8, as alunas 1 e 3 afirmam a ligação dos conceitos físicos com a Astronomia. Pode-se dizer que o tratamento desses assuntos nos mostram resultados favoráveis. Segundo Balley et al. (2009), o tema sobre as estrelas também é considerado importante para alunos do Ensino Médio, quando a formação e evolução das estrelas e suas atribuições para a evolução de todo Universo servem como exemplo principal. A Física busca, ainda, uma teoria que consiga unir a Mecânica Quântica e a

teoria da Relatividade; mesmo ambas sendo contraditórias, elas não se aplicam diretamente em um fenômeno, porque a Física Quântica trata de partículas pequenas enquanto a Relatividade Geral trata de corpos macroscópicos como planetas, estrelas e galáxias. Facilmente pode-se afirmar que, em boa parte, ambas se complementam.

As alunas relataram a evolução de maneira clara, porém, em relação à Aluna 1, que utilizou palavras "coloquiais", não é possível mensurar acuradamente o grau de aprendizagem. O que de fato ficou claro? O que de fato não ficou claro? Quais instrumentos seriam necessários para medir tal conhecimento?

As informações prestadas no QF possuem caráter qualitativo. Ao decidir quais dados coletar, é possível selecionar e interpretar estes dados. Nesse sentido, é permitido focar em algo inesperado ou crucial. Para interpretar pessoas adequadamente, é necessário adotar uma postura intencional (DENNETT, 1992). Portanto, é vultoso se colocar no lugar do aluno e os professores interpretarem o que eles dizem, mesmo que essa interpretação vá o mais longe possível.

Ao interpretar o aluno com base nos fatores causais, muitas dessas interpretações são realizadas em questionários implicando o entendimento do processo real de ensino-aprendizagem em detalhes suficientes. Logo, compreende-se que o questionário norteou esta SD e pontuou o que de fato precisa ser revisto para a qualidade do desenho da SD.

Entretanto, a falta de clareza com relação ao componente químico presente na atmosfera, às cadeias das reações nucleares e à formação das Nebulosas pontua a necessidade de enfatizar durante a aula as semelhanças e as diferenças entre esses aspectos.

5.9.1 Análise dos resultados conforme a literatura da área.

O avanço da tecnologia e o aprofundamento do estudo do Cosmo e seus componentes têm sido tão grandes no século XXI, que poderia ser reconhecido como o “século da Astrofísica”. Afinal, este século ficou marcado por diversas descobertas, dentre elas, a expansão do Universo e primeira fotografia de um Buraco Negro.

Existem várias razões para abordar as estrelas na sala de aula, porém os conteúdos integram transversalmente as disciplinas: Física, Química, Matemática e História (HORVATH, 2019). No Brasil, a escola pública é tratada há bastante tempo como algo defasado. Quando o enfoque é a área de Ciências, a dificuldade em refletir conhecimentos através de atividades e discussões a respeito torna-a uma disciplina hermética.

O ensino precisa acompanhar essas mudanças (MOURÃO, 2009). Um dos objetos do letramento científico é permitir que o aluno possa interagir com uma nova cultura, aproximando a ciência escolar com a ciência de referência, permitindo, assim, o diálogo entre a pesquisa e o ensino na sala de aula.

Ao observar as escolas no momento atual, nota-se que o conhecimento científico leva o tratamento de “pronto e acabado”, não havendo discussões referentes ao fazer científico ou até mesmo sobre a construção desse conhecimento, distanciando, assim, a defesa consensual do ensino de aproximar a Ciência e o cotidiano dos alunos, segundo CACHAPUZ et al. (em FREIRE E MOTOKANE, opus citatum, p. 116).

Todavia, a prática que propicia a interação de saberes e conhecimentos científicos deve estar atrelada às habilidades e ao fazer científico. O incentivo no desenvolvimento das práticas discursivas enriquece o processo de alfabetização científica.

Para Sasseron e Carvalho (2011), é preciso entender o novo modo de pensar permitindo maior aproximação com a ciência, atribuindo um sentido para esse conhecimento. É importante que o jovem exteriorize seus pensamentos, estimulando o diálogo em sala de aula. Ao auxiliar os estudantes a reconhecerem as ideias científicas, é possível refletir sobre quais conteúdos serão priorizados no contexto escolar.

Ao desenvolver a SD, os instrumentos de planejamento de ensino proporcionam condições favoráveis para os alunos se apropriarem de ferramentas culturais (ALMOULOU E COUTINHO, 2008). A investigação evidencia fatores importantes na alfabetização científica e transposição didática, que estimulam o diálogo em pesquisa de ensino em sala de aula.

Segundo Giordan et al., (2011), as Sequências Didáticas são temas de grande interesse na área do ensino da natureza há bastante tempo. A SD busca explorar determinados conhecimentos com a finalidade de estabelecer interações discursivas entre os alunos e professores, favorecendo os conceitos, modelos e as práticas do fazer científico, segundo GEHLEN E DELIZOICOV (em FREIRE E MOTOKANE, opus citatum, p. 122).

No desenvolvimento da SD, é imprescindível considerar as concepções prévias dos alunos. Tais concepções caracterizam as vias de aprendizagem que os estudantes desenvolvem efetivamente através das vias de conhecimentos esperados de acordo com as caracterizações prévias.

No desenvolvimento desta pesquisa, notaram-se vultosas limitações com relação à instituição de ensino. Inicialmente, foi proposto para os alunos (cerca de 7 alunos) a

observação noturna. A atividade proposta consistia em investigar a constelação de Órion e esmiuçar cuidadosamente as seguintes estrelas: As Três Marias, Betelgeuse e Rigel. Comparar as estrelas mais brilhantes e anotar suas cores.

Foram disponibilizados para os alunos bússolas e mapas celestes (conforme solicitado por eles), mas infelizmente a atividade não aconteceu. É norma da escola que o aluno matriculado no período integral não realize atividades em casa, pois fica o dia todo na escola. Portanto, as atividades que foram desenvolvidas na escola (este projeto) respeitaram os horários de aula de 50 minutos cada.

Ao final de cada semestre, o aluno tem a liberdade de mudar de projeto. No segundo semestre de 2019, a eletiva "Pré-Iniciação" perdeu cerca de 5 alunos para a eletiva "Do chocolate" (...). Sendo que 3 desses 5 alunos integravam este trabalho. Por esse motivo, o projeto de Astronomia para alunos do Ensino Médio ficou com apenas 4 alunas.

Visto que o projeto era desenvolvido nas duas primeiras aulas às sextas feiras, com início às 8h e término às 9h40min, outro fator que atrapalhou a pesquisa foram os horários. As alunas não respeitavam os horários de entrada, sendo que, muitas vezes, o conteúdo tinha que ser concretizado em 40 minutos de aula. Além disso, faltavam consecutivamente, tendo o conteúdo abordado anteriormente que ser lembrado para dar continuidade. Os recursos eram limitados. A escola dispunha de uma sala de informática para atender todos os alunos da escola que estavam desenvolvendo projetos no mesmo horário. No início, o projeto era desenvolvido na sala dos professores pela quantidade mínima de alunos, logo, houve dificuldades para conseguir utilizar a sala, uma vez que os demais professores com uma quantidade maior de alunos também queriam acesso à sala, por ser o único local da escola que disponibiliza o recurso de impressão. Para suprir as necessidades, uma das alunas emprestou para o projeto um roteador para o desenvolvimento das aulas.

Com o problema da internet resolvido, os alunos tinham como recurso os próprios celulares. Para manusear os simuladores, as alunas utilizavam o notebook da pesquisadora. Em contrapartida, a sala de informática era dividida entre o projeto de Astronomia (Pré-Iniciação Científica) e os demais, que contavam com parceria de dois professores com um número maior de alunos, sendo a pesquisadora a professora da turma e a única com este projeto. Com relação à sequência de aulas apresentadas, mesmo com tantas dificuldades, pode-se afirmar uma aquisição significativa do conhecimento por

parte das alunas, pois ocorreram menções pertinentes a características pontuais e importantes do ciclo estelar.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste projeto, foram desenvolvidas SDs sobre Astrofísica Estelar para alunos do Ensino Médio da Escola Estadual de Ensino Integral com o propósito de investigar os conhecimentos prévios dos alunos em relação ao tema e acompanhar a evolução do desenvolvimento didático no decorrer das atividades propostas. Foram realizadas análises de teses e dissertações, artigos periódicos e publicações internacionais com o intuito de enriquecer esta pesquisa.

Ao desenvolvê-la, fez-se necessário refletir sobre a dificuldade de encontrar material de apoio nesta área. Ao buscar transformações no ensino, os caminhos percorridos mostraram uma deficiência, por exemplo, a falta de trabalhos publicados no âmbito nacional e internacional (LANGHI E NARDI, 2010; LANGHI, 2011; LÜDKE E ANDRÉ, 1986; HORVATH, 2019; LUCKESI, 2005; KLAASSEN E KORTLAND, 2010; PIET LIJNSE, 2000; GIORDAN et al., 2011; FREIRE E MOTOKANE, 2016; MAINGUENEAU, 2000; ARTIGUE, 1996; ZABALA, 1998; ERICKSSON, 1977; MOURÃO, 2009), dificultando, assim, o estudo por estratégias para a inclusão da Astrofísica Estelar na Educação Básica.

Ao visitar a biblioteca da Escola na qual este projeto foi desenvolvido, quase não se encontraram livros relacionados ao tema. Os livros abaixo mencionados foram encontrados na biblioteca da escola, constando apenas um exemplar em todo o seu acervo:

- BROW, A. **Guia ilustrado Zahar Astronomia**. 3ª edição. 2007. Rio de Janeiro.
- KEPLER, S.O.; SARAIVA, M. F. O. **Astronomia & Astrofísica**. Editora Livraria da Física. 2ª edição. 2004. São Paulo.
- HORVATH, J. E. **O ABCD da Astronomia e Astrofísica**. 2ª edição. Editora Livraria da Física. 2008. São Paulo.
- KERROD, R. **Fique por dentro da Astronomia**. 2001. São Paulo.
- NOGUEIRA, S. Coleção explorando o ensino Astronomia. Fronteira espacial – Parte I. Volume 11. 2009. Brasília.

Com a perspectiva de um imenso contingente de **adolescentes, jovens e adultos que se diferenciam por condições de existência e perspectivas de futuro desiguais**, é o que o Ensino Médio deve trabalhar. Está em jogo a recriação da escola que, embora não possa por si só resolver as desigualdades sociais, pode ampliar as condições de inclusão social, ao possibilitar o **acesso**

à ciência, à tecnologia, à cultura e ao trabalho (Parecer CNE/CEB nº 5/2011⁵²; ênfases adicionadas).

(BNCC, pg. 462)

Segundo a BNCC, o Ensino Médio é a etapa final da educação básica, de direito de todo cidadão brasileiro, garantindo a permanência e as aprendizagens dos estudantes, respondendo às suas demandas e aspirações presentes e futuras. A diversidade de material científico didático apropriado e análise educativa para essa disciplina, analisando de uma maneira complexa, é escassa (LEITE E HOSOUME, 2007), tornando o cenário preocupante em relação à formação dos professores.

Normalmente, o conhecimento que um professor de Ensino Médio apresenta sobre o conteúdo referente à Astronomia, Astrofísica e Cosmologia é fruto de pesquisa própria e, muitas vezes, negligencia muitos erros (MOURÃO, 2009).

O processo de construção do aprendiz sempre ocorre livre de como será ensinado. Como segundo ponto de partida, é importante que os alunos construam novos conhecimentos com base no que eles próprios entendam, sendo assim, conseguem estender seus conhecimentos conceituais, experiências e sistemas de crenças existentes em uma determinada direção.

É importante não focar somente na aprendizagem dos alunos, mas, em particular, na aprendizagem do professor, estruturando a Sequência Didática empiricamente testada com os respectivos cenários e materiais de ensino, para que o professor se sinta familiarizado com o material proposto. Portanto, vale a pena buscar evidências de como expressar e discutir que a qualidade didática seja tão intensa quanto as sequências e situações de ensino.

Neste trabalho, procurou-se uma descrição detalhada, buscando justificativas e compreensões das atividades e processos específicos de ensino-aprendizagem de conteúdo. Descrever o que está ou deveria estar acontecendo nas aulas de Ciências com relação às interações dos processos de ensino aprendizagem deve ser interpretativo em termos de teoria didática (LIJNSE, 2009), cabendo aos professores realizarem o funcionamento das sequências na prática e lembrando que não existe “melhor maneira” de ensinar um tópico.

A educação deve ser algo útil para a vida do aluno (MOURÃO, 2009), sendo assim, o desenho desta SD respeitou as estratégias pedagógicas com ações diferentes para explorar as ideias dos alunos.

A atividade foi desenvolvida durante as sextas-feiras, nas duas primeiras aulas, na eletiva Pré-Iniciação Científica. A eletiva contava com 19 alunos do Ensino Médio. No programa de Ensino Integral, desenvolveram-se projetos semestrais, no entanto, a Pré-Iniciação é um projeto pré-definido que tem por objetivo contribuir com as atividades investigativas no período de dois semestres ou até o aluno encerrar o Ensino Médio, fortalecendo o desenvolvimento de competências e habilidades previstas no Currículo do Estado de São Paulo.

Por se tratar de uma grade diversificada, é possível moldar o conteúdo curricular para fortalecer as bases científicas através de projetos desenvolvidos pelos alunos. Neste componente, os alunos possuem autonomia para participar ou desenvolver projetos. Caso o aluno desista de permanecer na eletiva, ele precisa esperar o encerramento do semestre para escolher outro projeto definido pelos professores.

A barreira substancial para o ensino das ciências é evidente, principalmente no estudo da Astronomia. A discussão de conteúdos astronômicos em sala de aula requer respostas positivas e para isso é preciso motivar os alunos para que eles avancem a Astronomia além do Sistema Solar. De fato, os tópicos de Astrofísica e Cosmologia estão presentes na sociedade moderna e seduzem os estudantes.

Nos tópicos anteriores, foi mencionado como a Astronomia é abordada nos currículos escolares. Discutiu-se a defasagem do ensino básico, sendo o principal foco deste trabalho motivar um pensamento mais profundo sobre os assuntos astronômicos.

Abordaram-se os conceitos físicos e matemáticos no esforço de montar um manual de instrução que rodeasse os conceitos astrofísicos. Por serem ferramentas essenciais, muitas vezes, passam despercebidos aos olhos dos alunos e tornam-se secundários. Portanto, considera-se a Física uma ciência exata e procura-se mobilizar os alunos adentrando numa cultura de pesquisa em relação ao conhecimento astrofísico.

Este trabalho não tem por objetivo solucionar os problemas de defasagem do ensino público no Estado de São Paulo, mas sim propor um indicador a ser estudado. A deficiência no ensino de Astrofísica Estelar foi exposta e essa defasagem vai além do Brasil, é possível notar uma relação entre os conhecimentos prévios dos alunos aqui e em outros países (BANDECCHI, 2018). Assim, a Física “clássica” pré-existente é herança da Astrofísica Estelar, que revoluciona o desenvolvimento astronômico desde o “antigo” ao “novo”.

Alunos que estudaram astronomia durante o estágio escolar, desenvolveram de maneira mais efetiva a percepção sobre aspectos específicos relacionados às estrelas e a Física, o que parece bastante razoável, uma vez que foi perceptível na atividade que os discentes com conhecimentos prévios sobre Astrofísica Estelar tiveram mais facilidade no desenvolvimento do trabalho.

(BANDECCHI, 2018)

A elaboração deste projeto contou com a participação de 4 alunas e, para a apresentação dos conteúdos, a escola dispunha de alguns suportes didáticos, tais como: lousa interativa, internet na sala de aula (uma das alunas da Pré-Iniciação emprestou o seu roteador devido à falta de computadores) e o espaço físico em si, com “liberdade” para o uso. Na mesma sala eram desenvolvidos projetos diferentes, porém, entre um assunto e outro chamava atenção dos demais que participavam da atividade esporadicamente.

Este projeto contou também com a elaboração de SD realizadas pelas alunas. No início, elas demonstraram algumas limitações em relação ao contexto histórico. Para as aulas seguintes, solicitaram imagens, para absorver o conteúdo de maneira mais concreta. É possível verificar nas respostas das alunas que a descrição do funcionamento das estrelas não ficou claro, visto que as alunas incorporaram a fissão em suas respostas. É importante que o professor se mantenha atento aos termos utilizados durante a aula para não causar essa compreensão equivocada (BANDECCHI, 2018).

O desenvolvimento do experimento pelos alunos (espectrômetro) pontuou respostas positivas, nas quais os cálculos utilizados de suas frequências para o estudo da emissão e absorção dos fótons, além das análises espectrais, descreveram um aumento significativo durante sua realização. Os próprios alunos perceberam sua funcionalidade e a importância da construção correta. Segundo Bailey (2006), demonstrar que o instrumento desenvolvido tenha sensibilidade suficiente para ser usado para medir o impacto na instrução da compreensão dos alunos sobre os conceitos de estrelas e formação de estrelas. Para Hudgins (em SLATER, opus citatum, p. 4), criar exercícios colaborativos para a realização de tarefas coletivas, visa melhorar o entendimento dos alunos em muitos tópicos da Astronomia.

A contribuição dos simuladores no decorrer das aulas foi de grande valia. Para Richwine (em SLATER, opus citatum, p. 6), o uso de software ajuda os alunos nas participações das aulas e a investigação científica foca na determinação do impacto de experiências e realça os conhecimentos e atitudes dos alunos. Durante a aula, as alunas

confirmaram a compreensão sobre os átomos com a ajuda do simulador e a expressão ‘ricocheteiam’ também ficou clara para elas.

Com relação aos estágios de evolução estelar, a abordagem aparece um pouco limitada, pois os aspectos envolvidos (físicos e matemáticos) não foram abordados com clareza. Segundo Furutani (2009), ensina-se Astrofísica Estelar através da construção de modelos de estrelas de diferentes tamanhos. É muito importante a utilização de outros recursos como: gráfico, imagens ou simulações.

Ao ensinar fusão nuclear para explicar o funcionamento das estrelas, duas alunas mencionaram fusão e fissão dentro do mesmo processo. É evidente que este assunto não ficou claro. Visto que elas associaram com a "quebra" da energia, caminhando a estrela para a “explosão”, acredita-se que a fissão destacada pelas alunas seria o processo encarado como a energia a ser liberada do nuclídeo de alta massa quebrado em dois nuclídeos de massa intermediária, onde a ligação ocorre através da queda da energia por núcleons de massas superiores a 56, indicando núcleons mais compactados formando dois nuclídeos de massa intermediária. Porém, o exposto foi de grande valia, pois este assunto não é abordado em grande parte das escolas.

No que se refere ao equilíbrio hidrostático, o conflito entre Pressão vs. Gravidade aponta aquisição de conhecimento. Embora a aluna não tenha desenhado um equilíbrio local, expressou seu conhecimento indicando resultados adequados para esse tema.

Em relação à descrição do relato detalhado da evolução das estrelas, foram observados termos como: contração dos gases, reações nucleares, Supernovas, Buracos Negros, berçário estelar, gás e poeira, o hidrogênio como principal combustível para as reações, hélio, interior das estrelas, luminosidade, gigante vermelha, Anã Branca, explosão, estrela de Nêutrons, supergigante, colapso, produção de elementos químicos por etapas até chegarem no núcleo. As alunas fizeram ligações entre a evolução da estrela em seu tempo de existência apresentando importantes características sobre o processo final do ciclo estelar.

Com relação à sequência de aulas apresentadas, houve um retorno satisfatório das alunas. A utilização das aulas expositivas, o uso de simuladores, os experimentos desenvolvidos durante o percurso e a quantidade de aulas favoreceram de maneira mais adequada o ensino da Evolução Estelar. Os conteúdos “As cadeias das reações nucleares e suas fases” e “Cada componente químico presente na atmosfera” de fato não alcançaram seu objetivo, porque a maneira tratada foi superficial, como o caso das “formações das

Nebulosas”. Precisaria, ao menos, de duas aulas a mais para que o conteúdo não ficasse um tanto quanto vago para as alunas.

O desenvolvimento do experimento da difração serviu para explicar o comportamento da luz e teve seu objetivo alcançado, pois as alunas solicitaram o mesmo experimento para utilizar na Feira de Ciências. Elas acharam pertinente o assunto e aproveitaram para explicar o conteúdo “Luz e suas propriedades” no decorrer da feira científica. O experimento “Potência do Sol” foi extremamente arrebatador, pois as alunas utilizaram o livro “O ABCD da Astronomia e Astrofísica”, 2ª edição, do Professor Jorge Horvath, para a realização da investigação. Dentre os cálculos, as alunas obtiveram o resultado de $5,2 \times 10^{26} W$. Este resultado levou-as à seguinte hipótese: a altura da folha influencia nos cálculos? Para as alunas, a justificativa do erro foi associada à altura da folha. Apenas a Aluna 1 fez uma pequena observação quanto à potência da lâmpada, porém, logo descartou sua hipótese.

Em discussões em sala de aula, as alunas expuseram seus pensamentos sobre o experimento e solicitaram que ele fosse refeito, mas a prática não foi repetida devido ao clima. A utilização do simulador “The size of space” proporcionou a visualização do abstrato, através da animação utilizando o tamanho dos objetos comparando-os com o tamanho do Universo em escala.

A aplicação de um QF deu-se para avaliar a SD de maneira qualitativa. Sua aplicação aconteceu no semestre posterior à aplicação deste trabalho, seguindo o princípio de construção do conhecimento “de baixo para cima”, em que o ensino por “grãos finos” torna o desenvolvimento da atividade mais satisfatória, dentro de uma perspectiva avaliativa. A finalidade desta avaliação foi investigar os resultados produzidos dentro de um ensino aprendizagem decorrente da aproximação da pesquisa em ensino e sala de aula.

Com este questionário, foi possível analisar de maneira satisfatória os elementos do processo de transposição didática reproduzida através das investigações baseadas em design nos estudos de ciências da aprendizagem da América do Norte e pesquisas europeias.

Os resultados da aplicação do tema em sala de aula retratam uma abordagem empírica preenchida com conceitos e quantidades necessários para construir o conhecimento de Astrofísica Estelar, demonstrando que as alunas adquiriram experiências significativas.

Mostrar mudanças no raciocínio dos alunos antes e depois das atividades de ensino ajuda a modelar as progressões através dos níveis (GALANO et al., 2018). O QF auxiliou

na comparação das respostas mantendo a abordagem qualitativa. E vale ressaltar que não houve um questionário diagnóstico. Mesmo as alunas cometendo alguns equívocos, boa parte das questões foram respondidas de maneira correta.

Os registros em sala de aula e as atividades desenvolvidas contribuíram para a investigação do conhecimento durante as aulas, enriquecendo os detalhes deste trabalho, uma vez que recursos visuais, imagens e vídeos são de extrema importância para o ensino de Ciências, em especial para a Astronomia.

Houve também dificuldades na realização das tarefas por causa da internet e até mesmo dos atrasos e das faltas das alunas; perdeu-se muito tempo em decorrência disso, mas acredita-se que deve ser entendido como condição típica no Brasil. Alguns assuntos demandaram um tempo maior, como a construção do “espectrômetro”. Outros assuntos mais complexos foram discutidos teoricamente, pois exigiam um aprofundamento e uma boa base matemática mais avançada, por exemplo, as “reações nucleares”, que exigiam um tempo maior do que o fornecido.

As aulas realizadas proporcionaram um retorno positivo, tendo a contribuição das imagens, dos simuladores, dos experimentos, dos exercícios e do questionário para a compreensão dos alunos. Com relação à quantidade de aulas, acredita-se que seria interessante os alunos realizarem mais atividades ou tarefas que saiam da rotina da sala de aula, isso tornaria mais atraente o estudo do tema (BANDECCHI, 2018).

Segundo Lijnse (2009), o ponto de partida mais adequado para um design instrucional seria o desenvolvimento da pesquisa a longo prazo, levando uma estrutura didática empiricamente apoiada para o ensino de toda a ciência. Por conseguinte, esta pesquisa teve a duração de dois semestres e foi fortemente apoiada pelas experiências descritas pela pesquisadora Mônica Bandecchi (2018) e Lijnse (2009).

Crê-se que as comunicações de pesquisas sobre sequência de ensino-aprendizagem podem dar uma visão mais clara de suas qualidades, o que tornaria mais fácil construí-las em pesquisas futuras. Além disso, foram levados em conta a escassez na quantidade de alunos e a melhor exploração de alguns aspectos numa próxima aplicação.

REFERÊNCIAS

Adaptado de: BROCKINGTON. Guilherme; SOUSA. Wellington Batista; UETA, Nobuko. Física: Física moderna e contemporânea, módulo 6. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/caiovasconcelos/downloads/ensino-medio/fisica-moderna-e-contemporanea-usp>>. Acesso em: 11 ago. 2019.

Adaptado de: <http://cdcc.usp.br/cda/dispositivos/paralaxe/index.html>. **Paralaxe estelar**. Centro de divulgação da astronomia. Acessado em 19 set 2019.

AGUIAR, R. R. **Tópicos de astrofísica e cosmologia: uma aplicação de física moderna e contemporânea no ensino médio**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências. 2010.

BAILEY, J. M. et al. **College students' preinstructional ideas about stars and star formation**. The Astronomy Education Review. Cambridge. 2009.

BEVILÁCQUA, L. I. **O teorema de Birkhoff**. Departamento de Física-Matemática. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2007.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. São Paulo. Disponível em: basenacionalcomum.mec.gov.br/imagens/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf. Acessado em: 10/04/2020.

BRASIL. Currículo do Estado de São Paulo. **Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Ensino Fundamental – Ciclo II e Ensino Médio**. São Paulo. 2010.

CAPELATO, H. V. **Introdução a astronomia e astrofísica**. Cap. 05. Estrelas. INPE. Disponível no link: <http://www.cdcc.usp.br/cda/cursos/2015/evolucao-estelar/1-aula-O-Sol/Introducao-a-Astronomia-e-Astrofisica-Cap-05-Estrelas-Hugo-Vicente-Capelato-INPE.pdf>. Acessado em 19 set 2019.

COLANTONIO, A; GALANO, S.; LECCIA, S.; PUDDU, E.; TESTA, I. **Design and development of a learning progression about stellar structure and evolution.** Physical Review Physics Education Research 14, 010143. 2018.

CUNHA, L. E. **Da astronomia básica à astrofísica: um curso para ensino médio.** Programa MNPEF. Mestrado Nacional Profissional. Polo Florianópolis. SC. 2017.

DENNETT, D. **Consciousness Explained.** (Back Bay Books, NY, 1992)

EDUCAÇÃO. Currículo do Estado de São Paulo. **Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Ensino Fundamental – Ciclo II e Ensino Médio.** São Paulo. 2011.

EDUCAÇÃO. Secretaria da; Governo do Estado de São Paulo. **Diretrizes do Ensino Integral.** Escola de Tempo Integral. São Paulo. 2011.

EDUCAÇÃO. Secretaria da; Governo do Estado de São Paulo. **Material de apoio currículo do Estado de São Paulo.** Caderno do Professor. Física: Ensino Médio. 3ª série. Volume 2. Nova edição 2014-2017. São Paulo, p. 17, 2014-2017.

FERREIRA, C. A. **Medidas de distâncias em astronomia: uma proposta de unidade de ensino potencialmente significativa para o ensino médio.** Dissertação Mestrado Profissional do Centro de Ciências Exatas da Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória 2018.

KEPLER, K. S. O.; SARAIVA, M. F. O. **Astronomia & Astrofísica.** Departamento de Astronomia – Instituto de Física. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2017.

FREIRE, C.; MOTOKANE, M. T. **Elaboração de uma sequência didática voltada para a alfabetização científica e ecologia. Designing a teaching sequence for scientific literacy in ecology.** Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista, Vol. 6, n.1.jan./jun.2016. USP – Ribeirão Preto. São Paulo

FURUTANI, T. **A student-constructed three-dimensional model of stars in nearby space**. Astronomy Education Review. Cambridge, v. 7, n. 2, p. 122-131. 2009.

GIORDAN, M.; GUIMARÃES, Y. A. F.; MASSI, L. **Uma análise das abordagens investigativas de trabalhos sobre sequências didáticas: tendências no ensino de ciências**. Universidade de São Paulo.

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

HORVATH, J. E. **O ABCD da Astronomia e Astrofísica**. 2ª edição. 2008.

HORVATH, K. A.; HORVATH, J. E.; BRETONES, P. **Interdisciplinary study of the synthesis of the origin of the chemical elements and their role in the formation and structure of the Earth**. Revista Brasileira de Ensino de Física. Artigos Gerais.

HORVATH, J. E. **Uma proposta para o ensino da astronomia e astrofísica estelares no ensino médio**. Departamento de Astronomia, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2013.

KLAASSEN, K.; KORTLAND, K. **Designing theory-based teaching-learning sequences for Science education**. Proceedings of the Symposium in honour of Piet Lijnse at the time of his retirement of Physics Didactics at Utrecht University. FIsme series on Research in Science Education; nr. 64; 2010.

LEISTER, N. V. **Fascículo da Palestra: O Sol**. Curso de Extensão Universitária. Departamento de Astronomia. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG/USP. Universidade de São Paulo. 2014.

LUCKESI, C. C. **Avaliação da aprendizagem: uma visão geral**. Conferência: avaliação da aprendizagem na escola, Colégio Uirapuru, Sorocaba, SP, 8 de outubro de 2005.

LYRA, V. S. **Prática de observação astronômica no ensino médio: uma proposta de sequência didática para uso de telescópio remoto**. Mestrado Profissional em Educação. Universidade Federal de São Carlos. UFSCar. São Paulo. 2020.

MAINGUENEAU, D. **Termos-chave da análise do discurso**. Belo Horizonte. Editora UFMG. (Tradução do original francês *Les termes clés de l'analyse du discours*, 1987). Brasil. 2000.

MENEZES, L. C. **Interessar, Motivar, Criar – três estratégias para o ensino de ciências**. Ciência em Tela – Volume 1. Número 1. Universidade de São Paulo. 2008.

MOREIRA, M. A. **Metodologias de Pesquisa em Ensino**. Editora Livraria da Física. São Paulo. 2011.

MOURÃO, D. R. **Astrofísica: Por que e como ensiná-la no ensino médio. Um estudo qualitativo da inserção da matéria de astrofísica no currículo de física pelos Parâmetros Curriculares Nacionais**. VOL.5, NUM.12. Scientia Plena. São Paulo. 2009.

NEVES, R. A.; DAMIANI, M. F. **Vygotsky e as teorias da aprendizagem**. UNIREVISTA-Vol. 1, nº 2: (abril 2006). Universidade Federal de Pelotas. Rio Grande do Sul. RS.

OLIVEIRA KEPLER, K. S. O.; SARAIVA, F. O. **Determinação de distâncias astronômicas**. Modificada em 26 set 2018. Disponível no link: <http://astro.if.ufrgs.br/dist/>. Acessado em 19 set 2019.

OLIVEIRA KEPLER, K. S. **Simulação de Paralaxe Estelar**. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/parallax/Parallax.htm>. Acessado em 19 set 2019.

OLIVEIRA KEPLER, K. S.; SARAIVA, M. F. O. **Astronomia & Astrofísica**. 4ª edição. 2017.

ORTIZ, R. **Evolução estelar – I**. Aperfeiçoamento em Astronomia para a docência. Leitura semana 21: Evolução Estelar – I. Disponível no link:

http://each.uspnet.usp.br/ortiz/classes/Leitura_s21_Evolucao_Estelar1. Acessado em: 19 set 2019.

PIETROCOLA, M.; UETA, N. Física Moderna e Contemporânea. Universidade de São Paulo - USP. SÃO PAULO. 2004.

REINFELD, E. L.; HARTMAN, M. A. **Kinesthetic live cycle of stars**. The Astronomy Education Review, Issue 2, Volume 7:158-175, 2009.

ROCHA, D. B.; GEORGE, S.; JUNQUEIRA, M. S. SONIA; MARRANGHELLO; GUILHERME. **O ensino de astronomia no planetário da Unipampa: matemática e paralaxe**. Universidade Federal de Pampa. Bagé. Rio Grande do Sul.

RODRIGUES, R. S. R. **Formação e evolução estelar como uma proposta de contextualização para o ensino de termodinâmica no Ensino Médio**. Pós-Graduação em Ensino de Física. UFSC. Florianópolis. 2016.

SANTOS, E. F. **Variáveis cefeidas e a contribuição feminina na ciência: recursos para o ensino de oscilações ondas e óptica**. Dissertação Mestrado Profissional em Ensino de Física. Universidade Federal de Sergipe. 2017.

SIMON, R. A. **Do geocentrismo à gravitação universal: proposta e implementação de uma sequência didática para o ensino médio**. Mestrado Profissional em Ensino de Física. UFSCar. São Paulo. 2016.

SLATER, T.F. **The first big wave of astronomy education research dissertations and some directions for future research efforts**. The Astronomy Education Review, Issue 1, Volume 7:1-12, 2008.

TEIXEIRA, H.; SOBRINHO, L.; DRUMOND, C. **Aplicações da trigonometria na astronomia: medição de distâncias pelo método de paralaxe**.

VIEIRA, M. B. F. **Astrofísica Estelar para o Ensino Médio: Análise de uma proposta.** Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas IAG. Departamento de Astronomia. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2018.

VIIRI, J.; SAVINAINEN, A. **Teaching-learning sequences: A comparison of learning demand analysis and educational reconstruction.** Department of Teacher Education, University of Jyväskylä, P. O. Box 35, FI-40014. University of Jyväskylä. Finland. 2008.

ZABALA, A. **Como trabalhar os conteúdos procedimentais em aula.** 2ª Edição. Artmed. Porto Alegre. 1999.

APÊNDICE 1 – NATUREZA DA LUZ E COMO ESTUDÁ-LA

AULA DIDÁTICA

(AS AULAS CONSTITUEM UMA SD)

Área: Ciência da Natureza

Ano/Série: EM

Tema: Astrofísica.

Título da atividade: A natureza da luz e como estudá-la.

Número de aulas previstas: 04

Habilidade a ser desenvolvida: identificar os fenômenos físicos relacionados às teorias propostas; reconhecer os fenômenos no cotidiano, a partir da observação, análise e experimentação.

Objetivos de aprendizagem: analisar o desenvolvimento das ideias a respeito da luz e o estado atual das pesquisas, incluída a instrumentação que possibilitou esses avanços.

Materiais necessários para a aula: diário de bordo.

Questão disparadora: *Qual a real natureza da luz?*

Orientações para o professor:

- ✓ Iniciar a atividade com um bate-papo para o levantamento dos conhecimentos prévios da turma em relação ao tema “A natureza da luz e como estudá-la”;
- ✓ Apresentar a questão disparadora e anotar no quadro as observações apresentadas pelos alunos.

Contexto:

Os filósofos gregos acreditavam que a luz era constituída de pequenas partículas propagando-se em linha reta com altíssima velocidade. Leonardo da Vinci, por meio da comparação entre a luz e o eco, elaborou a hipótese de que a luz poderia ter natureza ondulatória. Então, no século XVII, de um lado surgiu uma corrente liderada por Isaac Newton, que defendia o modelo corpuscular; de outro, C. Huygens e outros que eram favoráveis ao modelo ondulatório. Essas duas teorias explicam tanto a refração como a reflexão da luz. Apenas no século XIX, Thomas Young fortaleceu o modelo ondulatório, quando observou o fenômeno da interferência da luz.

Em 1850, Leon Foucault conseguiu medir a velocidade da luz dentro de um longo tubo com água. O resultado mostrou que a luz anda mais devagar na água que no ar. Dois meses depois, Fizeau repetiu essa experiência e comprovou a medida de Foucault. Esses testes liquidaram de vez a teoria corpuscular da luz de Newton e Descartes, e confirmaram a teoria ondulatória de Hooke e Huygens.

No final do século XIX, muitos físicos famosos acreditavam que a tarefa da Física tinha terminado, que nada mais havia para descobrir. Restavam, na verdade, alguns “pequenos” problemas. Segundo eles, bastaria apenas um pouco de empenho para resolvê-los. Com o passar do tempo, perceberam que esses problemas não eram tão pequenos quanto pensavam, por isso só puderam ser resolvidos com a criação de duas novas teorias: a **Teoria da Relatividade** e a **Mecânica Quântica**.

Essas teorias revolucionaram a Física no início do século XX e ajudaram a conhecer muito da estrutura da matéria. Muitas partículas elementares foram descobertas e, com isso, foi possível formular hipóteses sobre a origem do Universo. A Física desenvolvida a partir do início do século XX passou a ser chamada de **Física Moderna**, enquanto a Física desenvolvida anteriormente ficou conhecida pelo nome de **Física Clássica**.

Texto extraído: MANIESI, Paulo Sérgio. FÍSICA MODERNA. **Como surgiu a física moderna. Física Moderna**. Dualidade onda-partícula. Dom Bosco. Física 18, pg 28.

Texto extraído: SAMPAIO, J. L. CALÇADA, C. S. **Física**. São Paulo: Editora Atual, 2º Ed – vol. Único. Ano 2005

CONTEXTO:

Professor, inicie a aula com a apresentação do tema “Luz e suas Propriedades”. Introduzir as considerações históricas através de uma aula expositiva, com duração de trinta minutos. A participação ativa do educando é de suma importância para que o ensino-aprendizagem ocorra de maneira satisfatória. Ao término da atividade expositiva, foi proposto um vídeo que explica por meio de animações como ocorre o efeito fotoelétrico e suas aplicações no cotidiano. O vídeo tem duração de aproximadamente 9 minutos e está disponível no link: <https://www.youtube.com/watch?v=CEuMmMxD-vI>.

A NATUREZA DA LUZ E SUAS PROPRIEDADES

A ideia do estudo sobre a natureza da luz ocupou o pensamento dos filósofos clássicos por séculos. No século I a.C., o filósofo Lucrécio pensava que a luz era composta de pequenas partículas emitidas pelo Sol e outros corpos. Até o ano 1000 d.C., prevaleceu

a ideia de que a luz saía dos olhos para atingir o objeto enxergado, e não ao contrário. Baseado em observações simples com a persistência das imagens quando os olhos são fechados (HORVATH, 2008), um dos primeiros que contestou essa teoria foi o cientista Al-Haytam (965-1039).

Somente no século XVII, com os trabalhos de Kepler, Snell, Descartes e outros, foram estabelecidos alguns fatos básicos a respeito da luz, tais como as leis de reflexão e a descoberta da refração. Porém, a questão da velocidade da luz demorou mais tempo para ser estabelecida: embora Kepler e a maioria de seus contemporâneos pensassem na sua infinidade, às observações do astrônomo dinamarquês Ole Christensen Roemer (1644-1710) provaram que era muito rápida, mas não necessariamente infinita. Utilizando métodos completamente astronômicos, Roemer mediu a diferença de tempo entre os eclipses das luas de Júpiter, quando a Terra se encontrava do mesmo lado do Sol que o planeta e quando se encontravam em lados opostos. A diferença atribuída à velocidade da luz resultou em um valor 30% menor que o atual (299.792 km/s), mas provou que ela não era infinita.

Leon Foucault conseguiu medir a velocidade da luz dentro de um longo tubo com água. O resultado mostrou que a luz anda mais devagar na água que no ar. Dois meses depois, Fizeau repetiu essa experiência e comprovou a medida de Foucault. Esses testes seriam fundamentais para a comprovação da teoria corpuscular da luz, em que destacou os nomes de Newton e Descartes e, na teoria da ondulatória, os de Hooke e Huygens.

Um nome fundamental na pesquisa da natureza da luz é o de Isaac Newton. Além de descobrir a decomposição da luz branca por um prisma, Newton construiu o primeiro telescópio refletor e criou a *teoria corpuscular da luz*, na qual ela era resultado de pequenas “partículas” que se propagavam. Conceito que voltaria a aparecer em outro contexto no século XX, após publicar suas pesquisas no livro *Optiks*, em 1704.

Vários outros pesquisadores adotaram acerca da luz uma visão bem diferente, descrevendo-a como um fenômeno ondulatório, no qual a luz é algo análogo, como as ondas que são produzidas numa piscina quando uma pedra é jogada. Por volta de 1680, o holandês Christiaan Huygens (1629-1695) produziu a primeira teoria completa da luz como sendo uma onda, que passou inicialmente bastante despercebida. Uma descrição tão diferente da newtoniana ganhou fundamentos experimentais com a descoberta da *interferência* pelo físico inglês Thomas Young (1773-1829), uma série de bandas claras e escuras alternadas numa tela onde a luz tinha passado por duas fendas finas diferentes. A interferência foi interpretada como as somas e diferenças da intensidade numa tela que

são explicadas naturalmente se as “crestas” e os “vales” das ondas não coincidirem em sua fase. Young também conseguiu explicar vários resultados relacionados a Newton em termos da teoria ondulatória.

Logo em seguida, os franceses Augustin-Jean Fresnel (1788-1827), Siméon-Denis Poisson (1781-1840) e outros desenvolveram, com sucesso, a teoria ondulatória para explicar a difração. A difração pode ser descrita simplesmente como a capacidade da luz em “contornar” obstáculos. Isto é, ao proferir que a luz se propaga em linha reta, fala-se sempre dos casos conhecidos, em que os objetos são muito grandes quando comparados ao comprimento de onda da luz. Quando esta condição não se realiza, a luz mostra seu aspecto ondulatório de forma marcante: da mesma forma que uma pedra num estanque irradia ondas, a luz se comporta de forma similar e é dito que se *difrata* para iluminar de forma não uniforme uma tela, por exemplo, quando feito um minúsculo buraco.

No começo do século XIX, o pesquisador alemão Joseph Fraunhofer (1787-1826) estudava a luz do Sol utilizando uma técnica conhecida desde os tempos de Newton: a decomposição da luz em cores ao passar por um prisma, o chamado *espectro*. Ao observar, notou raias escuras por conta da ausência de luz, sendo possível ver linhas escuras atravessando as bandas de cor, ou seja, faltava luz em certas posições do espectro.

Este fenômeno tinha sido observado pelo físico-químico inglês William Wollaston (1766-1828) em 1802, mas Fraunhofer foi capaz de identificar e catalogar um grande número de linhas. Tempos depois, uma vez aceita a hipótese quântica de Max Planck (1858-1947) e alguns seguidores, percebeu-se a enorme importância da descoberta das linhas quando interpretadas em termos dessas novas ideias.

Planck tinha proposto resolver sérios problemas encontrados no estudo da absorção de luz pela matéria, que só poderia ser absorvida (e depois emitida) não em qualquer quantidade, mas em “pacotes” chamados por ele de *quanta* (*Figura 1*). Estes pacotes de energia tinham uma relação simples com a frequência da luz ν ; segundo a hipótese de Planck, elas eram proporcionais, ou seja:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (1)$$

Em que a constante de proporcionalidade $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J s}$ é um número extremamente pequeno, que ficou conhecido como *constante de Planck*. Para Planck, essa

ideia foi meramente um recurso para calcular as quantidades importantes da absorção da luz pela matéria, mas nada além disso. Porém, a imagem de um mundo onde a luz e matéria estão *quantizadas*, ou seja, somente aparecem em “pacotes” (conceito totalmente alheio à Física Clássica a qual permite qualquer valor da energia e não só os múltiplos de h), é distinta constante de Planck. Essa teoria ganhou força quando os físicos viram que as previsões explicavam com bastante exatidão e grande elegância os dados experimentais. Cálculos desse tipo permitiriam aos jovens de então ganharem o Prêmio Nobel de Física, concebido a Albert Einstein (1879-1955) em 1921 pela explicação do efeito fotoelétrico e a construção dos primeiros modelos de átomo, a Niels Bohr (1885-1962), assim como a outros físicos contemporâneos que exploraram a fundo a ideia dos *quanta*.

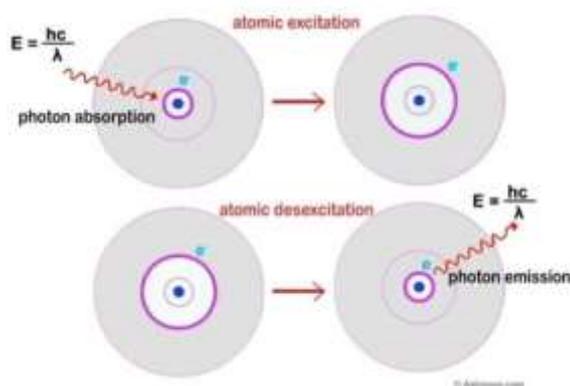


Figura 1- Fonte: Astronoo. Universo em todas as suas formas.
<http://www.astronoo.com/pt/artigos/principio-absorcao-emissao-atmica.html>

Precisamente nas ideias de Bohr e na nascente Teoria Quântica, encontrou a explicação hoje amplamente confirmada: da existência das linhas escuras que Fraunhofer havia observado (Figura 2). Com essa discussão a respeito da natureza da luz, cabe perguntar de que forma se pode melhorar o conhecimento do Universo aproveitando o aprendido. Os astrônomos estudam as propriedades dos objetos do seu interesse utilizando a informação contida na luz, levantando dados a respeito com instrumentos especializados, na faixa óptica e em outras regiões do espectro.

Por volta de 1850, o químico e físico inglês Michael Faraday (1791-1867) e James Clerk Maxwell (1831-1879) construíram a síntese da visão atual da natureza da luz, e sua descrição é o resultado do produto da síntese atingida. O trabalho experimental de Faraday juntamente com as observações do francês André-Marie Ampère (1775-1836),

do dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851) e de outros levaram Maxwell à formulação matemática geral dos fenômenos *eletromagnéticos*, nos quais a luz aparece como um caso particular (que o próprio Maxwell, porém, não chegou a perceber na sua totalidade).

A identificação da luz, como uma manifestação do eletromagnetismo, unificou imediatamente a visão que existia de ambos os campos. Coube ao físico alemão Heinrich Hertz (1857-1894) responder à seguinte indagação: existiria “luz” cujo comprimento de onda fosse muito maior ou muito menor do que a faixa do visível? A resposta é afirmativa, a descoberta das ondas de rádio de comprimento mais longo e de natureza idêntica à da luz visível. Os “Raios-x” detectados pelo alemão Wilhelm Röntgen (1845-1923), quando pesquisava amostras de metais raros, resultaram em uma forma energética de “luz”. Assim, rapidamente ficou claro que o chamado *espectro eletromagnético* se estende muito aquém e muito além dos comprimentos de onda da luz visível. Hoje se está em condições de explorar o Universo utilizando as mais variadas técnicas para captar fenômenos que passam despercebidos no visível. O avanço teórico e experimental no estudo da luz ampliou ainda mais a possibilidade de explorar o Cosmos .

Essa relação que permite investigar e obter dados concretos a respeito das estrelas, que em boa parte é desconhecida pelos alunos, resulta fundamentalmente em esclarecer e colocar a luz como protagonista do enorme avanço da Astronomia, mostrando como sua formulação física alavancou os estudos astronômicos e vice-versa.

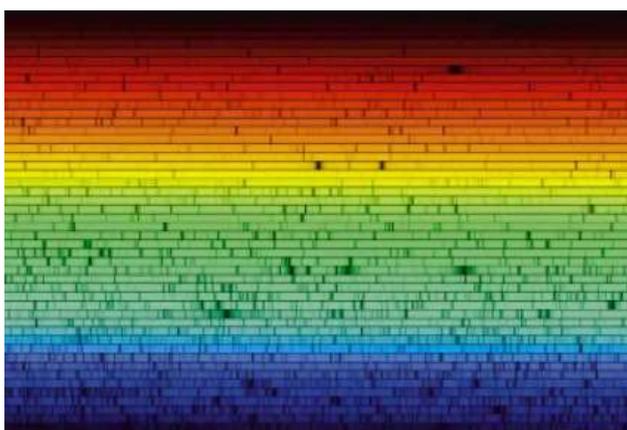


Figura 2 – Linhas de Fraunhofer: o espectro de luz que revela a idade e a composição química do Sol.

Espectro de luz não contínuo. Crédito: NOAO/ NOS/ AURA/ NSF.

Um desses exemplos é o *efeito fotoelétrico* descoberto em 1887 pelo físico Heinrich Hertz quando tentou produzir e detectar as ondas eletromagnéticas previstas por

Maxwell. Hertz percebeu que, quando a luz incidia em um metal, uma diferença de potencial surgia pelo fato de os elétrons serem arrancados desse metal. O efeito fotoelétrico é, então, a produção de elétrons em um metal devido à incidência de luz. No entanto, admitindo a natureza ondulatória da luz, a Física Clássica não foi capaz de dar uma explicação satisfatória para o fenômeno, especialmente porque o limiar não depende da intensidade, mas sim da cor da luz incidente.

Já foi dito que a história da Mecânica Quântica começou em 1900, quando o físico alemão Max Planck apresentou uma solução para um dos problemas que intrigavam os físicos no final do século XIX: a radiação do corpo negro. Vários físicos tentaram resolver esse problema, sem sucesso. Porém, para obtê-la, ele teve de fazer uma hipótese ousada, segundo ele, feita por “puro desespero”, sendo que o próprio Planck não acreditava nela. Sua hipótese era de que a radiação emitida pelo corpo não ocorria de maneira contínua, mas sim na forma de pequenos “pacotes”, de modo que a energia (E) de cada “pacote” seria proporcional à frequência (ν) da radiação. Para resolver tal problema, ele postulou a energia quantizada da equação (1). Em 1918, Max Planck recebeu o prêmio Nobel de Física pela descoberta dos chamados *quanta* de energia, a quantização da luz.

Aos 26 anos, usando as ideias de Planck, Albert Einstein chegou a uma interpretação aceitável do efeito fotoelétrico. Einstein chamou cada pacote de luz de *quantum*. Mais tarde, cada um desses *quanta* foi chamado de fóton. No mesmo ano, publicou, no Anuário Alemão de Física, três artigos que mudariam a história da Física, entre eles um sobre o efeito fotoelétrico, em que reconsiderou a natureza corpuscular da luz da perspectiva das novas ideias quânticas emergentes.

O efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons de uma superfície metálica devido à incidência de radiação eletromagnética sobre aquela (superfície metálica). Os elétrons arrancados do metal pela radiação incidente são chamados de fotoelétrons. Dentre os fenômenos observados experimentalmente durante o efeito fotoelétrico, é possível destacar as seguintes características interpretadas assim por Einstein:

- A energia dos elétrons emitidos pela superfície depende da frequência da radiação incidente e não da sua intensidade;
- O aumento da intensidade da radiação incidente provoca apenas um aumento do número de elétrons emitidos;
- Os elétrons são emitidos instantaneamente pela superfície metálica;
- Durante o efeito fotoelétrico, cada fóton atinge um único elétron, transferindo-lhe toda a sua energia.

Para que os fotoelétrons sejam separados do metal, é necessário que o fóton da radiação incidente tenha um valor de energia mínima superior à função trabalho do metal. Isso corresponde a um valor de frequência mínima da onda incidente chamada de frequência de corte. Para que o efeito fotoelétrico ocorra, é necessário que a energia dos fótons seja maior que a energia de ligação dos elétrons presos ao metal. Esse valor da frequência de corte corresponde a um comprimento de onda (λ) chamado de comprimento de onda de corte.

A descoberta do efeito fotoelétrico teve grande importância para a compreensão mais profunda da natureza da luz. Graças a esse efeito, tornou-se possível o cinema falado, e uma célula fotoelétrica permite reconstituir os sons registrados nas películas do cinematógrafo, assim como a transmissão de imagens animadas (televisão). Pode-se também verificar a utilização da tecnologia do efeito fotoelétrico no funcionamento das câmeras de TV, nos óculos de visão noturna, nos sistemas de desligamento automático de iluminação, nas portas que abrem e fecham automaticamente nos shoppings, nos relógios que funcionam com energia solar, etc.

Referências:

- HORVATH. J. E. **O ABCD da Astronomia e Astrofísica**. 2ª edição. 2008.
- KEPLER. K. S. O.; SARAIVA. M. F. O. **Astronomia & Astrofísica**. 4ª edição. 2017.
- MUSIAU. P. M; COSTA. Prof. Dr. R. S. **Elaboração de uma sequência didática sobre conceitos de Física Moderna e contemporânea num DVD**. Universidade Federal de Rondônia (Unir). Programa Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF). Ji – Paraná, 2015.

AULA DIDÁTICA

(AS AULAS CONSTITUEM UMA SD)

Área: Ciência da Natureza

Ano/Série: EM

Tema: Astrofísica

Título da atividade: O modelo atômico de Bohr (1913)

Número de aulas previstas: 02

Habilidade a ser desenvolvida: explorar historicamente o processo de construção de modelos da estrutura atômica.

Objetos de aprendizagem: analisar as transições, entre níveis de energia, possíveis a um elétron no átomo de hidrogênio.

Materiais necessários para a aula: diário de bordo.

Questão disparadora: *Como se pode descobrir a estrutura de algo invisível?*

Contexto: O átomo considerado o contribuinte básico da matéria, da ordem de grandeza de 10^{-10} m, impossível de ser observado a olho nu nem com a ajuda dos mais poderosos equipamentos ópticos. A preocupação em desvendar o chamado mundo microscópico desenvolveu investigações e experimentos proporcionando criações de novas ideias e modelos.

A ideia proposta há 2500 anos, na Grécia Antiga, gerou muita polêmica. Os gregos inventaram o termo **átomo** (a = negação; tomo = partes, não há partes, portanto, indivisível) e suas descobertas filosóficas não foram aceitas universalmente, por conta de os argumentos propostos não possuírem provas experimentais, sendo um grande problema retórico.

Por volta de 1600, a ideia sobre a continuidade da matéria era a mais aceita. A impossibilidade do “acesso direto” à realidade microscópica possibilitou sugerir modelos para representar diferentes procedimentos de investigação. Com o desenvolvimento do

estudo dos gases, as ideias do inglês Robert Boyle (1627-1691) contribuíram para o avanço da natureza corpuscular da matéria.

Em 1803, após a divulgação da teoria atômica de Dalton, o átomo passou por muitas reconstruções e modelos, bem como suas características e evoluções. A atividade tem por objetivo, aproveitar e desfrutar das ideias desses grandes cientistas que contribuíram para revolucionar e mudar os pensamentos através da evolução do modelo atômico de Bohr consolidando a teoria já revisada: o eletromagnetismo.

Contextualização:

A aula será iniciada com a apresentação do título, o tema da aula e a habilidade que será desenvolvida. Logo em seguida, os alunos realizarão a leitura dos seguintes textos:

MODELOS ATÔMICOS

O átomo é hoje considerado o contribuinte básico da matéria, da ordem de grandeza de 10^{-10} m, impossível de ser observado a olho nu mesmo com a ajuda dos mais poderosos equipamentos ópticos. Para desvendar o chamado *mundo microscópico*, desenvolveram-se investigações e experimentos proporcionando criações de novas ideias e modelos.

A ideia proposta pelos atomistas gregos 2500 anos atrás, na Grécia Antiga, atravessou mais de 2000 anos sem ser, geralmente, aceita. Os gregos inventaram o termo *átomo* (a = negação; tomo = partes, não há partes, portanto, indivisível), e suas propostas filosóficas são chamadas de atomismo lógico, ainda desvinculadas das provas experimentais conhecidas e exigidas por um problema científico. Essa transformação do atomismo teria que esperar muitos séculos.

Depois de coletar evidência concreta sugerindo a natureza *corpuscular* da matéria (por exemplo, os números puros que balançam as reações químicas, vide abaixo), a ideia de continuidade foi abandonada estabelecendo definitivamente a teoria atômica de John Dalton aproximadamente no ano de 1800. Desde os gregos até os dias atuais, os modelos atômicos passaram por “reconstruções” para descrever melhor os fenômenos observados, evoluindo, assim, suas características.

O modelo atômico de Dalton (1803)

O cientista inglês John Dalton (1766-1844) observou que o balanço químico das reações era atingido por proporções que envolviam números inteiros e, desenvolvendo a

denominada Teoria Atômica, que propunha um modelo de átomo baseado nas seguintes ideias:

- Toda matéria é constituída por átomos (postulado dos atomistas gregos);
- Os átomos são esferas maciças, indivisíveis e neutras (evidentemente idealizados);
- Os átomos não podem ser criados nem destruídos (isto é importante porque resulta uma lei de conservação, da qual o mundo físico está cheio);
- Os elementos químicos são formados por átomos simples, que explicam tais proporções das reações químicas;
- Os átomos de determinado elemento são idênticos entre si em tamanho, forma, massa e demais propriedades;
- Um composto é formado pela combinação de átomos de dois ou mais elementos que se unem entre si em várias proporções simples. Cada átomo guarda sua identidade química.

Defendeu fortemente seu modelo, apesar de serem evidenciadas várias objeções, chegando a recusar sistematicamente tudo o que contrariasse suas afirmações (a exemplo de muitos cientistas contemporâneos propensos ao dogmatismo mais puro...). Graças ao seu prestígio, mas principalmente à aquisição de dados que majoritariamente confirmavam a presença de unidades discretas, suas ideias mantiveram-se firmes por algumas décadas.

O modelo atômico de Thomson (1897)

Joseph John Thomson (1856-1940) teve a tarefa de contestar nada menos que a ideia de que o átomo era indivisível. Com os dados disponíveis na época, propôs um modelo mais coerente que o de Dalton.

Primeiramente, ele considerou que toda matéria era constituída de átomos. Mas conseguiu determinar que esses átomos continham partículas de carga negativa denominadas *elétrons*. Eletricamente neutros, os átomos apresentavam uma distribuição uniforme, contínua e esférica de carga positiva, na qual os elétrons se distribuía uniformemente. Essa distribuição garante o equilíbrio elétrico, evitando o colapso da estrutura. O diâmetro do átomo seria da ordem de $10^{-10}m$, segundo suas estimativas (essencialmente corretas).

O átomo de Thomson também ficou conhecido como o *Modelo do Pudim de Passas*, no qual as passas representam os elétrons, e a massa do pudim (contínua), a carga

elétrica positiva. Nos conteúdos da escola, é um passo obrigatório antes dos refinamentos de Bohr e subsequentes.

O modelo atômico de Rutherford (1911)

Em 1911 o físico neozelandês Ernest Rutherford (1871-1937), ganhador do prêmio Nobel em 1908, fez sua “experiência de espalhamento de partículas alfa” para suas novas descobertas sobre a estrutura do átomo, surgindo daí a base para o modelo de átomo que estudamos até os dias de hoje.

Em sua experiência, Rutherford bombardeou uma fina folha de ouro com partículas alfa (pequenas partículas radioativas portadoras de carga elétrica positiva emitidas por alguns átomos radioativos, como o polônio). Observou que a maioria atravessou a lâmina, outras mudaram ligeiramente de direção, mas algumas ricochetearam. Este acontecimento foi evidenciado por uma tela com material fluorescente apropriado, usado na identificação de partículas alfa. Mas o que Rutherford esperava com esse experimento? Esperava-se que, segundo o modelo de Thomson, as partículas alfas atravessassem a folha de ouro quase sem sofrer desvios em todos os casos.

Entretanto, alguns dos desvios foram muito maiores do que se poderia supor, por exemplo, algumas partículas ricochetearam até aproximadamente 180° . Foi a partir dessa experiência que Rutherford levou suas ideias para o meio científico. A ideia de Thomson para o átomo foi mantida em parte, mas com modificações estruturais importantes.

Rutherford propôs que os átomos seriam constituídos por um núcleo muito denso carregado positivamente, onde se concentraria praticamente toda a massa. Ao redor desse núcleo positivo, ficariam os elétrons distribuídos espaçadamente numa região denominada de *eletrosfera*. Comparou seu modelo ao Sistema Solar, onde o Sol seria o núcleo, e os planetas seriam os elétrons. Surge então, o célebre modelo "planetário" do átomo.

De sua experiência Rutherford também pode concluir, fazendo medidas quantitativas, que o átomo teria um núcleo com diâmetro da ordem de 10^{-13} cm e que o diâmetro do átomo seria da ordem de 10^{-8} cm . Isso significa que o núcleo é aproximadamente cem mil vezes menor que o átomo. A medida 10^{-8} cm passou a ser chamada de *angstrom* ($1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$).

Portanto, as principais características do átomo de Rutherford são as seguintes:

- O átomo não é maciço, mas formado por uma região central denominada *núcleo*, muito pequeno em relação ao diâmetro atômico. Na verdade, o átomo é um grande vazio;
- Esse núcleo concentra toda a massa do átomo e é dotado de carga elétrica positiva, na qual estão os prótons;
- Na região ao redor do núcleo, denominada de eletrosfera, estão girando em órbitas circulares os elétrons (partículas muito mais leves que os prótons, cerca de 1836 vezes), neutralizando a carga nuclear.

O átomo foi sendo revelado e construído aos poucos através de inúmeras teorias verificadas cientificamente desde 1800. Mesmo no modelo atômico proposto por Rutherford, em 1911, havia ainda certas perguntas que esse modelo não explicava. O principal problema era que, segundo os trabalhos de James Clerk Maxwell (1831-1879) sobre eletromagnetismo, partículas carregadas e em movimento acelerado irradiam energia (ondas eletromagnéticas) e, portanto, “gastam” energia. Sendo assim, os elétrons não poderiam ter órbita circular estável e estariam sofrendo perda constante de energia durante seu giro em torno do núcleo, caindo rapidamente no núcleo! Contudo, isso não ocorre. Como explicar esse fenômeno?

O átomo de Rutherford provou a existência do núcleo, mas falhou na explicação clássica da estabilidade do átomo. Esse problema só seria resolvido com a criação de um novo modelo proposto por Niels Bohr (1885-1965), como uma correção ao modelo de Rutherford e que será vista a seguir.

O modelo atômico de Bohr (1913)

Em 1913, o físico dinamarquês Niels Bohr (1885-1962), ganhador do prêmio Nobel em 1922, propôs um modelo atômico explicando a estabilidade do átomo. Para isso, Bohr baseou-se nas ideias do alemão Max Planck (1858-1947), obtendo desse modo um excelente resultado, mas se afastando muito da Física Clássica.

Em 1913, Bohr propôs modificações importantes ao modelo de Rutherford. Segundo o modelo antigo, a ideia de quantização só assume números inteiros (Figura 3). Os elétrons poderiam orbitar o núcleo a qualquer distância. Bohr sugeriu o *momentum angular* múltiplo, em que os elétrons poderiam ocupar órbitas bem definidas em torno do núcleo em órbitas circulares $m_e v r = n \frac{h}{2\pi}$.

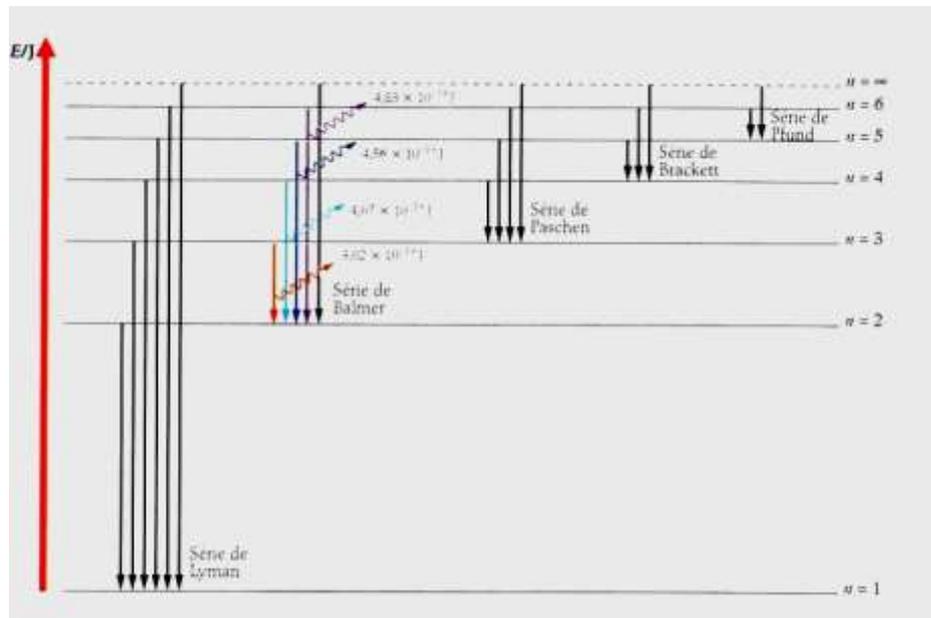


Figura 3: Níveis de energia do hidrogênio. Fonte:

<http://fisicaquimicanet.blogspot.com/2010/01/atomo-de-hidrogenio-e-estrutura-atmica.html>

Os níveis de energia do hidrogênio são quantizados, assumindo números inteiros, e suas órbitas são quantizadas, logo, os níveis de energia são quantizados, conforme a equação 1.

Após um detalhado estudo do espectro descontínuo do átomo de hidrogênio, que possui apenas um elétron movendo-se em torno do núcleo, Bohr propõe um modelo atômico por meio dos seguintes postulados:

- O elétron descreve órbitas circulares ao redor do núcleo, cujos raios r_n dessas órbitas são dados pela expressão: $r_n = n^2 \cdot \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m Z e^2}$;
- As órbitas foram chamadas por Bohr de estados estacionários. Portanto, diz-se que o elétron está em um estado estacionário ou em um nível de energia no qual cada órbita é caracterizada por um *número quântico* (n), que pode assumir valores inteiros 1, 2, 3...;
- Um elétron que permanece em um dado estado estacionário não emite energia, apresentando assim energia constante;
- A passagem de um elétron de uma órbita para outra supõe absorção ou emissão de determinada quantidade de energia, conforme o elétron se move de uma posição menos energética para outra mais energética e vice-versa;
- A energia é absorvida ou liberada na forma de radiação eletromagnética e é calculada pela expressão $\Delta E = h\nu$ ou $E_f - E_i = h\nu$, onde E_i e E_f correspondem,

respectivamente, à energia do elétron nos estados de energia n_i e n_f e ν corresponde à frequência da onda eletromagnética (luz) emitida ou absorvida.

As discussões que estavam abertas referente aos espectros de emissão e absorção foram finalmente compreendidas, o que permitiu encaixar os espectros estelares observados um século antes nos avanços daquela época. Resulta evidentemente que o estudo dos espectros estelares e dos modelos atômicos deve ser totalmente integrado.

MÃO NA MASSA (atividade)

Após a leitura dos textos, com o auxílio do professor, os alunos deverão responder aos exercícios propostos.

1. Com o auxílio do texto sobre modelos atômicos de Dalton, Thomson e Rutherford, escreva, em poucas palavras, as ideias centrais sobre cada modelo. Mencione a partir de qual modelo introduzem-se as cargas elétricas no interior do átomo e a forma como elas estão distribuídas.
2. Utilize as expressões matemáticas do texto para calcular o valor da energia dos níveis de 1 a 5 para o átomo de hidrogênio.

Considere que o elétron no átomo de hidrogênio “salte” do nível de energia $n = 3$ para o estado fundamental (nível $n = 1$). Baseando-se no diagrama de níveis para o átomo de hidrogênio, responda:

- a) Ao realizar esse “salto”, o elétron absorve ou emite energia? Qual o valor, em elétron-volt, dessa energia envolvida?
 - b) Qual o valor da energia, em Joules, e da frequência do fóton ao realizar essa transição de níveis?
3. Suponha que, no átomo de hidrogênio, um elétron do nível de energia $n = 2$, volte para o estado fundamental. Baseando-se no diagrama de níveis para o átomo de hidrogênio, responda:
 - a) Ao realizar essa transição, o elétron absorve ou emite energia? Qual o valor, em elétron-volt, dessa energia envolvida?
 - b) Qual o valor da energia, em Joule, e da frequência do fóton ao realizar essa transição de níveis?

Sistematização/avaliação:

Professor, é importante deixar claro para os alunos os seguintes pontos:

- No modelo de Dalton, o átomo é uma esfera maciça e neutra, no qual cada átomo possui um tamanho próprio, associando esse modelo a uma bola de bilhar.
- No modelo de Thomson, o átomo é uma esfera positiva com cargas negativas incrustadas, associando esse modelo a um pudim de passas.

- No modelo de Rutherford, o átomo possui partículas positivas e neutras em seu núcleo e ao seu redor; na eletrosfera, as cargas negativas giram, associando a um modelo planetário.
- No modelo de Bohr, se um elétron receber a energia adequada, ele passará para um estado de maior energia, chamado de estado excitado, mas ficará nesse estado por curtíssimo intervalo de tempo; rapidamente ele emitirá um fóton (onda eletromagnética) e voltará para o estado fundamental. O átomo possui níveis de energia bem determinados, nos quais o elétron pode realizar “saltos” quânticos entre esses níveis, podendo, assim, sua energia ser absorvida ou liberada na forma de radiação eletromagnética.

Referências:

Adaptado de: BROCKINGTON. Guilherme; SOUSA. Wellington Batista; UETA. Nobuko. Física: Física moderna e contemporânea, módulo 6. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/caiovasconcelos/downloads/ensino-medio/fisica-moderna-e-contemporanea-usp>>. Acesso em: 11 ago. 2019.

EDUCAÇÃO. Secretaria da. **Material de apoio.** Governo do Estado de São Paulo.

Currículo do Estado de São Paulo. Caderno do Professor. Física: Ensino Médio. 3ª série. Volume 2. Nova edição 2014-2017. São Paulo, ano 2014-2017.

AULA DIDÁTICA

(AS AULAS CONSTITUEM UMA SD)

Esta sequência de atividade será realizada em três etapas. A primeira etapa será a explicação dos seguintes conteúdos: “A natureza da luz” e “Espectroscopia”. Na segunda etapa, ocorrerá o desenvolvimento da atividade prática através de um experimento (construindo um espectro), deixando claro o conteúdo apresentado na primeira etapa. Para a fixação do conhecimento, será incluída no material a explicação das séries de Balmer. A terceira etapa, como sugestão de finalização da sistematização, será a utilização do simulador Phet: Espalhamento de Rutherford e o desenvolvimento do experimento difratando a luz. A todo momento, os alunos deverão se sentir confortáveis para esclarecerem suas dúvidas.

Atividade I

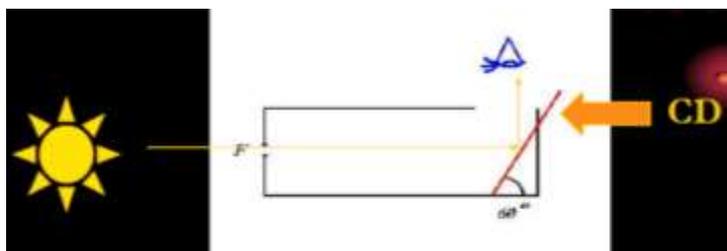
Construindo um espectro

A atividade terá o objetivo de construir um espectrômetro e, para o seu desenvolvimento, será utilizado o livro do Professor Doutor Jorge Ernesto Horvath, **ABCD da Astronomia e Astrofísica 2ª edição**. Os materiais necessários são:

- ❖ 1 CD;
- ❖ 1 caixa de sapato ou caixa similar;
- ❖ 1 estilete;
- ❖ 1 fita isolante.

Após a confecção do material, os alunos observarão a composição química do Sol, levando em consideração:

- Hidrogênio na região vermelha (656 nm);
- Hidrogênio na região azul (486 nm);
- Ferro na região do violeta (431 nm).



A todo momento, o aluno deverá se sentir confortável para formular suas perguntas e esclarecer suas dúvidas.

Atividade II

ESPALHAMENTO DE RUTHERFORD – (*Rutherford Scattering*)

O objetivo da atividade é analisar o comportamento das partículas-alfa, enquanto elas viajam através de uma fina camada de átomos.

Pontos principais da atividade do simulador Phet:

- Núcleos Atômicos;
- Estrutura Atômica;
- Mecânica Quântica.

Ferramenta:

O simulador está disponível na página de atividades com simulações interativas PhET.

Simulador de Rutherford: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/rutherford-scattering. Acessado em 06/09/2019.

Introdução:

Neste exercício, você simulará a observação do experimento proposto por Rutherford. Os átomos seriam constituídos por um núcleo muito denso carregado positivamente, onde se encontraria praticamente toda a massa. Ao redor desse núcleo positivo, ficariam os

elétrons, distribuídos espaçadamente numa região denominada de eletrosfera, comparando seu modelo ao sistema solar, onde o Sol seria o núcleo, e os planetas, os elétrons. Surge, então, o célebre modelo planetário do átomo.

Procedimento:

Tabela do Átomo de Rutherford:

- 1) Inicialize o programa **Espalhamento de Rutherford**.
- 2) Selecione Átomo de Rutherford.
- 3) Ligue a fonte de partículas-alfa.
- 4) Identifique os componentes do modelo.
- 5) Ligue os traços para ver a trajetória das partículas-alfa.
- 6) Observe a vista do comportamento das partículas-alfa.
- 7) Explore a causa de as partículas-alfa serem desviadas do núcleo do átomo ao se aproximarem.
- 8) Se achar necessário, pause o simulador para analisar o comportamento das partículas-alfa.
- 9) Aumente ou diminua a energia das partículas-alfa e analise o comportamento delas.
- 10) Mude a composição do núcleo e anote as observações.

Após essas observações, responda:

1. Identifique e explique os fatores que alteram a deflexão das partículas-alfa.

Tela do Pudim de Ameixa

Para a exploração do comportamento esperado das partículas-alfa com base no modelo Pudim de Ameixa de um átomo, sugere-se um átomo composto de substâncias com cargas positivas difusas embutidas com elétrons carregados negativamente.

- 1) Selecione Átomo Bolo de Passas.
- 2) Ligue a fonte de partículas-alfa.
- 3) Observe o comportamento de partículas-alfa previstas por Rutherford.
- 4) Identifique partes do modelo Pudim de Ameixa.
- 5) Compare as escalas das vistas mostradas em cada tela.
- 6) Aumente ou diminua a energia das partículas-alfa e observe.
- 7) Caso deseje, mude as cores de fundo do simulador para a projeção.

Após as observações, responda:

1. Descreva o comportamento das partículas-alfa na tela do Átomo de Pudim de Ameixa. Você esperava esse comportamento? Justifique.
2. No item “Partícula-alfa”, com relação aos níveis de energia, o que acontece se aumentar ou diminuir a energia? Descreva o comportamento dessas partículas.

Atividade III

Para a sistematização e o encerramento do conteúdo, sugere-se o desenvolvimento do experimento “Difração da Luz”.

O experimento tem por objetivo identificar os fenômenos físicos relacionados às teorias propostas, reconhecendo as linhas do espectro contínuo através de observação, análise e experimentação de situações concretas. Os materiais a serem utilizados são:

- ❖ 1 CD;
- ❖ Caixa de papelão com tampa;
- ❖ Fita adesiva;
- ❖ Folha de papel branco;
- ❖ Tesoura;
- ❖ Luz artificial ou do Sol.

Apresentar o vídeo “Difratando a Luz; Rede de Difração”, que explica o desenvolvimento da atividade de forma direta e objetiva. O vídeo tem duração de aproximadamente 4 minutos e está disponível no link: <https://www.youtube.com/watch?v=S095n6ZYIBw&t=209s>. Acessado em 05/09/2019.

Referências:

Adaptado de: BROCKINGTON. Guilherme; SOUSA. Wellington Batista; UETA.Nobuko. **Física: Física moderna e contemporânea, módulo 6**. Disponível em:<<https://docente.ifrn.edu.br/caiovasconcelos/downloads/ensino-medio/fisica-moderna-e-contemporanea-usp>>. Acesso em: 11 ago. 2019.

MUSIAU. Paulo Malicka; COSTA. Ricardo de Sousa. **Elaboração de uma sequência didática sobre conceitos de física moderna e contemporânea num DVD**. Universidade Federal de Rondônia (Unir). Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF). Ji – Paraná, 2015.

EDUCAÇÃO. Secretaria da; Governo do Estado de São Paulo. **Material de apoio currículo do Estado de São Paulo**. Caderno do Professor. Física: Ensino Médio. 3ª série. Volume 2. Nova edição 2014-2017. São Paulo, ano 2014-2017.

HORVATH. J. E. **O ABCD da Astronomia e Astrofísica**. 2ª edição. 2008.

KEPLER. K. S. O.; SARAIVA. M. F. O. **Astronomia & Astrofísica**. 4ª edição. 2017.

KRAMER. Carlos Antonio. **Experimento de espectroscopia caseiro para demonstração da Física Moderna no Ensino Médio**. Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS). Campus Cerro Largo. Cerro Largo, 2015.

RIZZUTTO. Márcia de Almeida. **Física Aplicada. Aula 9**. Universidade de São Paulo. Instituto de Física. 1º semestre de 2019.

BROCKINGTON. Guilherme; PIETROCOLA. Maurício. **Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de física moderna?** Investigações em Ensino de Ciências – V10(3), pp. 387-404, 2005.

APÊNDICE 3 – RELAÇÃO DAS LINHAS ESPECTRAIS COM AS SUBSTÂNCIAS

AULA DIDÁTICA

(AS AULAS CONSTITUEM UMA SD)

Área: Ciência da Natureza

Ano/Série: EM

Tema: Astrofísica

Tema: Astrofísica

Título da atividade: Relação das linhas espectrais com as substâncias

Número de aulas previstas: 02

Habilidade a ser desenvolvida: ler e interpretar texto científico, analisar e interpretar resultados de atividade experimental demonstrativa.

Objetos de aprendizagem: discutir a emissão de luz por diferentes materiais e relacioná-la às propriedades atômicas estudadas.

Materiais necessários para a aula: diário de bordo.

Contexto:

Viu-se que o átomo de Bohr, baseado nas ideias de Planck, permitia somente *energias definidas* para os elétrons, os chamados níveis de energia. O preenchimento progressivo desses níveis eletrônicos para átomos diferentes é a base da ideia de *camadas eletrônicas* e dela dependem quase todos os fenômenos químicos. Os níveis de energia trazem uma consequência importante para a forma como a luz e os átomos interagem: se um elétron está num certo estado de energia e o átomo é iluminado por luz com uma determinada faixa de comprimento de onda, ele pode absorver alguns fótons (os “pacotes” de Planck) para pular para um estado de maior energia. Assim, este processo *retira* da luz fótons que os elétrons utilizaram para serem promovidos, e aqueles que *‘faltam’* na luz, ao chegarem ao observador, são visualizados como linhas escuras.

O espectro de luz visível é possível de ser observado quando a luz de uma lâmpada comum (de filamento incandescente) passa através de um prisma, sendo decomposta em várias cores, conhecidas popularmente como arco-íris.

Se essa experiência for repetida utilizando uma luz proveniente de uma lâmpada de gás, o espectro completo não será obtido. Algumas linhas estarão presentes, correspondendo a algumas frequências das ondas de luz visível. Essas linhas formam o espectro de linhas ou espectro atômico.

Utilizando o modelo atômico de Bohr, pode-se explicar o mistério dos espectros atômicos. Conforme seus postulados, os elétrons, ao serem excitados por uma fonte externa de energia, saltam para um nível de maior energia e, ao retornarem aos níveis de menor energia, liberam-na (a energia) em forma de luz (fótons). Como a cor da luz emitida depende da energia entre os níveis envolvidos na transição e como essa diferença varia de elemento para elemento, a luz apresentará cor característica para cada elemento químico.

Dentre os espectros atômicos, vale ressaltar que o espectro de emissão existe quando o elétron perde energia, emitindo um fóton, e o espectro de absorção existe quando o elétron ganha energia absorvendo um fóton.

Kirchhoff extraiu algumas “leis” empíricas muito úteis no tratamento de espectros. São elas:

- I. Um corpo opaco muito quente (sólido, líquido ou gasoso) emite um espectro contínuo.
- II. Um gás transparente muito quente produz um espectro de linhas brilhantes (de emissão). O número e a posição dessas linhas dependem dos elementos químicos presentes no gás.
- III. Se um espectro contínuo emitido por um corpo quente passar por um gás à temperatura mais baixa, a presença do gás frio faz surgir linhas escuras (absorção). O número e a posição dessas linhas dependem dos elementos químicos presentes no gás.

É importante frisar que as linhas escuras não significam ausência total de luz, mas sim um déficit de fótons. Conclui-se que o gás absorve radiação vinda em sua direção e a reemite em todas as direções, diminuindo, assim, o fluxo na direção da fonte. Kirchhoff e Bunsen reconheceram que essa poderia ser uma poderosa ferramenta para determinar a composição química dos elementos do Sol e das estrelas fixas.

Em 1860, Kirchhoff tinha identificado cerca de 16 elementos químicos diferentes entre as centenas de linhas que ele registrou do espectro do Sol. Assim, ficou fácil para ele especular a composição química do Sol e sua estrutura. No mesmo ano, as observações estelares com a utilização dos espectros tomaram um grande impulso com Donati (1826-1873) em Florença, Rutherford (1816-1892) em Nova Iorque, Airy (1801-1891) em Greenwich, Huggins (1824-1910) em Londres e Secchi (1818-1878) em Roma.

Em meados de 1862, as observações estavam a todo vapor, e o astrônomo sueco *Ångström* (1814-1874) aumentou a precisão do comprimento de onda e identificou as linhas de hidrogênio no Sol. Um pouco mais adiante, por volta do ano de 1868, o astrônomo Lockyer (1836-1920) identificou o elemento químico hélio no Sol. Após 27 anos, o elemento hélio foi encontrado na Terra pelo químico inglês Ramsay (1852-1916). Hoje em dia, sabe-se que o hélio é o segundo elemento mais abundante do Universo, perdendo apenas para o hidrogênio.

Com todos esses conceitos e desenvolvimentos, estava aberta a porta para a extração de dados quantitativos das estrelas a partir dos espectros e da medida dos fluxos. A construção de modelos específicos para explicar a Física das estrelas foi acontecendo simultaneamente, com a incorporação das ideias e métodos da Mecânica dos Fluidos, a Termodinâmica e a nascente Física Nuclear.

Sistematização/avaliação:

Como ferramenta de avaliação, é sugerido, para o fechamento da sequência de atividade, propor aos alunos a construção, de forma prática, de um experimento básico que permita a sistematização desses estudos, tanto para a luz visível quanto para outras “janelas” de observação que são atualmente uma rica fonte de dados a respeito do Universo e seu conteúdo. E ao professor, que projete para os alunos os seguintes vídeos: <https://www.youtube.com/watch?v=S095n6ZYIBw> acessado em 27/08/2019 e <https://www.youtube.com/watch?v=-e9crnQEA78&t=197s> acessado em 27/08/2019. Em seguida, propor a construção de um espectrômetro para a fixação do conteúdo (passo a passo disponível no **APÊNDICE EXTRA**).

Referências:

Adaptado de: SOLDÁ. Newton; PARRA. Eduardo; NORRY. Renata Mendes. PIETROCOLA. Maurício. **Sequência didática experimental. Experimentos de óptica usando laser pointer.** Disponível em: <http://paje.fe.usp.br/~mef-pietro/mef2/app.upload/14/_mefmi_016-00.pdf>. Acesso em: 12ago. 2019.

MANIESI. Paulo Sérgio. FÍSICA MODERNA. **Como surgiu a física moderna. Física Moderna.** Dualidade onda-partícula. Dom Bosco. Física 18, pg 28.

HORVATH. J. E. **O ABCD da Astronomia e Astrofísica.** 2ª edição. 2008.

KEPLER. K. S. O.; SARAIVA. M. F. O. **Astronomia & Astrofísica.** 4ª edição. 2017.

MUSIAU. P. M; COSTA. Prof. Dr. R. S. **Elaboração de uma sequência didática sobre conceitos de Física Moderna e contemporânea num DVD.** Universidade Federal de Rondônia (Unir). Programa Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF). Ji – Paraná, 2015

APÊNDICE 4 – ESTRELAS E SUAS PROPRIEDADES

AULA DIDÁTICA

(AS AULAS CONSTITUEM UMA SD)

Área: Ciência da Natureza

Ano/Série: EM

Tema: Estrelas e suas propriedades.

Título da atividade: Distância e Luminosidade

Número de aulas previstas: 04 aulas.

Habilidade a ser desenvolvida: explorar historicamente a origem da luminosidade das estrelas, determinando o brilho e a sua temperatura, caminhando para a construção do diagrama de cor versus brilho das estrelas.

Objetos de aprendizagem: reconhecer, identificar e mostrar a localização de algumas estrelas conhecidas.

Materiais necessários para a aula: diário de bordo.

Questão disparadora: *Como foram determinadas as distâncias estelares?*

Contexto:

Ao observar o céu, é possível notar uma “floresta” de estrelas e que elas são fontes de luz muito mais fracas que o Sol. Logo, nota-se suas cores variáveis, desde de o branco azulado da maioria até um amarelo avermelhado, um pouco mais raro.

O espaço entre as estrelas é imenso comparado com o tamanho delas; a distância média que separa estrelas vizinhas é cerca de 4 anos luz, ignorando os sistemas binários.

Como foram determinadas as distâncias estelares? (Horvath, 2008).

Com o avanço científico, hoje se dispõe de algumas técnicas que serão abordadas: paralaxe trigonométrica, as Cefeidas, o método da Supernova tipo Ia e o diagrama HR.

Contextualização:

A aula será iniciada com a apresentação do título, do tema da aula e da habilidade que será desenvolvida. Logo em seguida, os alunos realizarão a leitura dos seguintes textos:

Estrelas e suas propriedades

Inicia-se com uma observação elementar: ao examinar o céu, é possível notar uma “floresta” de estrelas e que elas são fontes de luz muito mais fracas que o Sol. Percebem-se também suas cores diversas, desde o branco azulado da maioria até um amarelo avermelhado, um pouco mais raro. A energia da luz emitida por unidade de tempo é conhecida como luminosidade na Astronomia. Será visto como descrever esse observável e sua relação com as propriedades e estrutura das estrelas a seguir.

Luminosidade das estrelas

Se pensar que as estrelas são objetos muito distantes, qual a origem da luminosidade delas? Essa pergunta adquiriu grande relevância a partir do século XIX, juntamente com o desenvolvimento da Termodinâmica e do Eletromagnetismo, ferramentas fundamentais para a compreensão de diversos fenômenos físicos. (ORTIZ, 2014).

Nos séculos XIX e XX, o carvão figurou como um dos principais combustíveis fósseis utilizados para a produção de energia térmica nas residências. Seria ele, ou algum tipo de combustão (tal como considerada pelos gregos), a fonte de energia do Sol? Utilizando cálculos simples, chega-se a uma conclusão. Tomando o Sol como referência: hoje são conhecidas a massa e a luminosidade dele, como também a quantidade de energia que um quilograma de carvão pode produzir. Um simples cálculo envolvendo essas quantidades mostra que, se o carvão vegetal fosse a fonte de energia do Sol, esse combustível se esgotaria em um período de apenas 6 a 10 mil anos! Se fossem feitos cálculos substituindo o carvão vegetal por outro combustível como carvão mineral ou petróleo, os resultados seriam aproximadamente os mesmos. A idade da Terra estimada pelos geólogos é muitíssimo maior, indicando que a luminosidade das estrelas deve ser de outra natureza. Esse tipo de estimativa simples é de fundamental importância para os alunos, já que constitui um genuíno raciocínio científico (tal como utilizado por Lord Kelvin e outros) e desmonta concepções prévias de variadas origens.

No século XIX, quando o estudo da Termodinâmica, do calor e da energia estava se desenvolvendo, a questão de por que as estrelas brilham foi levantada. A luz e o calor emitidos pelo Sol, cerca de 400 trilhões de Watts, precisavam de uma fonte e, somente em 1938, os cientistas descobriram que essa fonte era proveniente da energia liberada pela fusão nuclear. A primeira lei da Termodinâmica estabelece que a energia, incluindo o calor, nunca é criada nem destruída, simplesmente transformada em outra forma.

Em 1898, o físico Wilhem Wien estabeleceu a lei da radiação, sendo que, quanto mais quente for um objeto, mais azul será a radiação emitida por ele. Essa lei é facilmente observada na cor da chama de um fogão de cozinha: uma chama bem azulada indica uma chama quente, enquanto que uma chama mais avermelhada indica uma chama mais fria. A cor de uma estrela é determinada pela *temperatura* em que se encontra na superfície. O brilho dela é determinado pela *quantidade de luz* que ela irradia por segundo, através de toda a sua superfície.

A construção do *diagrama de cor versus brilho* das estrelas é conhecida como: Diagrama de Hertzsprung-Russel (HR), nele cada ponto indica o brilho e a cor de uma determinada estrela (Figura 4). É necessário destacar que o Diagrama HR somente recolhe a emissão de luz no espectro visível, não a total (ou bolométrica). Esse Diagrama foi desenvolvido pelo dinamarquês Ejnar Hertzsprung (1873-1967), em 1913, e pelo americano Henry Norris Russell (1877-1957), por volta de 1911. Os dois descobriram uma relação existente entre a luminosidade de uma estrela e sua temperatura superficial. Hertzsprung notou as estrelas de mesma cor e luminosidade relativamente alta, chamando-as de gigantes, já as estrelas de baixa luminosidade chamou de anãs. Russell aproveitou os estudos de Hertzsprung e estendeu a classificação para mais de 300 estrelas cujas paralaxes (e assim suas distâncias) haviam sido medidas naquela época.

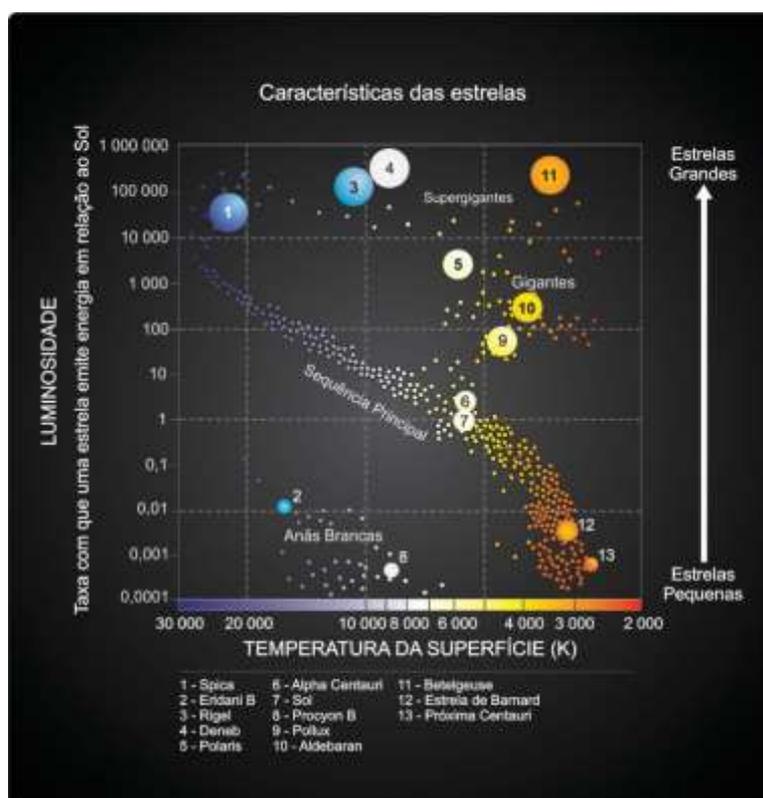


Figura 4 – Diagrama HR. Características das estrelas.

Fonte: <https://brazilastronomy.wordpress.com/o-diagrama-hr/>

A energia luminosa é medida pelo seu brilho, portanto, o brilho de uma estrela depende somente de sua temperatura superficial e da área total de sua superfície (vide equação 4).

Vê-se, assim, um princípio de classificação para as estrelas observadas. As *gigantes vermelhas* possuem temperaturas observadas relativamente baixas, têm uma grande área superficial, por isso são estrelas brilhantes e luminosas. Já as *anãs brancas* possuem temperaturas superficiais altas, mas são pouco brilhantes sendo impossível enxergar qualquer uma delas a olho nu.

A luminosidade de uma estrela seria a potência que ela é capaz de gerar no seu interior, em geral por meio de fusões nucleares. A luminosidade do Sol é de aproximadamente $3,8 \times 10^{26}$ Watts, valor simbolizado por L_{\odot} . Para as outras estrelas, preferiu-se medir suas luminosidades com referência à luminosidade de $10^4 L_{\odot}$, ou seja, ela é 10.000 vezes mais luminosa que o Sol. As estrelas passam boa parte de sua vida na sequência principal, realizando a queima do hidrogênio produzindo energia através de reações nucleares, *convertendo núcleos de hidrogênio em núcleos de hélio*. As estrelas de

maior massa ficam um tempo menor na sequência principal porque são mais brilhantes: sua luminosidade é desproporcionalmente maior, elas devem “queimar” hidrogênio mais rapidamente do que as estrelas com massa menor.

Quando o hidrogênio começa a faltar no centro das estrelas, elas começam a sair da Sequência Principal, expandindo-se conforme a sua massa, sendo encontradas acima dela. São estrelas que já esgotaram boa parte de suas reservas de hidrogênio. Já, abaixo da sequência principal, encontram-se as estrelas Anãs Brancas. Estas estrelas têm aproximadamente o diâmetro da Terra e sua massa é da ordem da massa do Sol. Embora tenham altas temperaturas superficiais, não são muito luminosas.

Com o desenvolvimento da Estrutura Estelar, foi possível refinar o quadro: as anãs-brancas são o último estágio da evolução das estrelas similares ao Sol. Nesta fase, sua luminosidade é unicamente devida à energia térmica, ou seja, a estrela esfria lentamente e fica difícil observá-las por conta da sua fraca luminosidade. Nem todas as estrelas terminam sua vida como Anãs Brancas; algumas tornam-se estrelas de Nêutrons e outras transformam-se em Buracos Negros.

Em 1792, Thomas Wedgwood, ao observar um forno, associa a temperatura com a cor da luz emitida por um objeto aquecido. No final do século XIX, surge o conceito do *corpo negro*: entende-se por radiação de um corpo negro um objeto que absorve toda a luz que incide sobre ele sem refletir nada da radiação (definição dada por Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) em meados de 1859-60).

O equilíbrio termodinâmico ocorre quando o corpo irradia energia na mesma taxa que absorve, caso contrário ele esquentaria ou esfriaria, e sua temperatura variaria. Assim sendo, um corpo negro, além de ser um absorvedor *perfeito*, é um *emissor* perfeito também e pode absorver e emitir fótons. Quando se fala em corpo negro, é porque a eficiência da absorção e da emissão são máximas, ou seja, não se retira nada, mantendo os 100%. Isso foi estudado por Kirchoff.

Em 1893, o alemão Wilhelm Wien (1864-1928), do Physikalish-Technische Reichsanstalt (PTR), instituto de metrologia alemão, descobriu empiricamente a chamada Lei de Wien, que relaciona a temperatura do máximo do espectro com a frequência dos fótons emitidos:

$$h\nu = 2,821 k_B T \quad (2)$$

Em 1898, Wien propôs a lei de distribuição da intensidade da radiação de corpo para *altas frequências*, mas que falha em comprimento de onda longo. Lord Rayleigh e James Jeans obtêm uma lei válida para *baixa frequência*, mas leva à “*catástrofe do ultravioleta*” (divergência para pequenos comprimentos de onda). O corpo negro deveria emitir infinita energia, o que é absurdo.

Segundo expressão completa da lei de Planck (que tem o limite de Rayleigh-Jeans nas baixas frequências e de Wien nas altas), qualquer corpo em equilíbrio termodinâmico emitirá fótons. Esta radiação, conhecida como *radiação de corpo negro* ou *radiação térmica*, não depende da direção de emissão, não é polarizada e não diverge em absoluto. Antes, a soma (integral) de todas as frequências leva à Lei de Stefan-Boltzmann $\propto \sigma T^4$. Agora, uma estrela não é um corpo negro, mas não está muito longe disso.

Foi escrito para o fluxo na *fotosfera* da estrela (a superfície esférica de onde os fótons são emitidos):

$$F \equiv \sigma T_{ef}^4 \quad (3)$$

Definindo um parâmetro chamado *temperatura efetiva* T_{ef} . Para uma estrela esférica de raio R , a luminosidade é obtida multiplicando-se o fluxo pela área da fotosfera $4\pi R^2$:

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

A determinação das luminosidades precisa de estimativas independentes das distâncias estelares. Ao lidar com estrelas próximas, é possível resolver o deslocamento periódico devido à órbita terrestre pelo método de *paralaxe trigonométrica*. Posteriormente, com o estudo das variáveis chamadas Cefeidas, foi possível estender as distâncias enormemente. Há outros métodos, mas não serão aqui abordados.

É relevante entender que, quando o hidrogênio começa a faltar no centro das estrelas, elas devem fatalmente sair da Sequência Principal, onde seu destino será se expandirem e transformarem em *gigantes vermelhas*, que são encontradas acima da Sequência Principal desde que sua massa seja da ordem da massa do Sol. São estrelas que

já esgotaram uma parte de suas reservas de hidrogênio e não podem mais sustentar a fusão em hélio no centro.

O lugar abaixo da Sequência Principal está ocupado pelas *estrelas anãs*. Essas estrelas têm aproximadamente o diâmetro da Terra e sua massa é da ordem da massa do Sol. Embora tenham altas temperaturas superficiais, não são muito luminosas.

Métodos para determinar distâncias até as estrelas: Paralaxe trigonométrica

Para a paralaxe estelar, usamos o raio da Órbita em torno do Sol, cujo valor é de 1 UA (aproximadamente 150 milhões de quilômetros), essa medida é denominada “paralaxe heliocêntrica”. Na prática, as medições de paralaxe heliocêntrica de estrelas são feitas, comparando-se fotografias tomadas em épocas separadas por 6 meses, formando assim uma linha de base que corresponde ao diâmetro da órbita da Terra.

Quanto mais distante a estrela, menor será sua paralaxe. Sua unidade usual é o segundo de arco (“). As grandes distâncias do universo podem ser medidas também em ano-luz e parsec. A unidade de medida ano-luz é usada no cálculo da distância, com o valor correspondente aproximadamente 9,4 trilhões de quilômetros. O parsec, equivale aproximadamente 3,26 anos luz ou 206265 UA.

O método de triangulação ou paralaxe, é um dos métodos mais antigos para determinação de distâncias na Astronomia. Durante muitos séculos este foi o método mais usado pelos astrônomos. Utilizando este método, um grupo de cientistas comandados por Giovanni Domenico Cassini (1625-1712), reuniu informações e determinou o valor para a unidade astronômica (UA) de 140 milhões. Hoje sabemos que este valor é de aproximadamente 149 milhões.

Método para determinar distâncias até as estrelas: as Cefeidas

A astrônoma norte-americana Henrietta Swan Leavitt descobriu que uma estrela pulsante pode diminuir sua luminosidade, sendo assim, é possível calcular seu período utilizando a magnitude absoluta. Descobriu também, que o período de um ponto ao outro diz um máximo de luminosidade.

As Cefeidas são conhecidas como estrelas variáveis e possuem uma magnitude constante, cujo brilho altera-se em ciclos que podem durar horas ou anos ou ser imprevisíveis. Muitas estrelas passam por uma instabilidade durante suas vidas.

Este método descoberto por Henrietta ajudou no entendimento de galáxias e nebulosas, estabelecendo a relação entre período e luminosidade. Os cálculos de Henrietta foram utilizados e serviram de referência para outras observações, sendo possível provar com eles que algumas nebulosas eram galáxias, comprovando que elas estão se afastando, originando, assim, a extragaláctica e a cosmologia.

$$m_V = -2,76 \log \log P - 1,4 \quad (5)$$

Onde: m_V = magnitude absoluta e P = período (em dias).

A primeira Cefeida teve sua paralaxe trigonométrica medida e esse método foi utilizado para as demais Cefeidas. Uma vez calibrado, é possível medir a magnitude aparente (Ma), o fluxo (F) e o período (P), descobrindo a distância:

$$Ma = \frac{P}{F} \quad (6)$$

Em 1920, acreditava-se que Andrômeda e algumas nebulosas (galáxias) faziam parte da Via Láctea. Afirmava-se que todo o Universo estava dentro da Via Láctea. Shapley e Cutis realizaram um grande debate para discutir o tamanho da Via Láctea.

O astrônomo americano Vesto Melvin Slipher (1875-1969) descobriu que as linhas espectrais da galáxia Andrômeda (M31) deslocava para o azul, evidenciando que essa galáxia estava se aproximando do Sol. Por duas décadas, Slipher estudou 41 galáxias e, ao analisar seus espectros, notou que estavam se afastando, com o deslocamento espectral para o vermelho. Percebeu que, quanto mais longínqua a galáxia, maior era seu deslocamento espectral para o vermelho.

No dia 06 de outubro de 1923, Hubble descobriu a primeira Cefeida identificada na nebulosa de Andrômeda e com a ajuda de seu colaborador, Milton Humason, calcularam as distâncias de Andrômeda e de outras galáxias. Fotografaram os espectros de diversas galáxias e, ao compararem essas distâncias, notaram velocidades de afastamento a partir dos desvios para o vermelho. Dessa forma puderam verificar que as galáxias mais distantes estavam se afastando com velocidades maiores. Ao estimar o período de Andrômeda, determinaram sua longitude e perceberam que a distância era muito maior que a nossa galáxia. Hubble publicou esse trabalho em 1924, classificando

o método das Cefeidas como um dos melhores métodos para ser utilizado em distâncias estimadas muito grandes, inclusive, em extragalácticas próximas.

Sistematização/avaliação:

Professor, é importante deixar claro para os alunos os seguintes pontos:

A paralaxe trigonométrica é um método de triangulação antigo utilizado pelos astrônomos.

- As Cefeidas são estrelas variáveis e possuem uma magnitude constante.
- As Supernovas tipo Ia (SN tipo Ia) são conhecidas como clássicas e são associadas com a queima explosiva do carbono. São utilizadas como indicadores de distâncias de galáxias.
- As estrelas em sistemas binários recebem massa de sua companheira e preenchem seu lóbulo de Roche por expansão devido à evolução.
- A primeira lei da Termodinâmica declara que a energia, incluindo o calor, nunca é criada nem destruída, simplesmente transformada em outra forma, sendo assim, os cientistas da época descobriram que a fonte de energia das estrelas era proveniente de uma fonte “inesgotável”: fusão nuclear, tendo elemento principal a “queima” do hidrogênio.
- A cor de uma estrela é determinada pela *temperatura* em que se encontra na superfície, e seu brilho é determinado pela *quantidade de luz* que ela irradia por segundo através de toda a sua superfície.
- A lei de Wien estabelece a lei da radiação: quanto mais quente for o objeto, mais azul será a radiação emitida por ele.
- No Diagrama Hertzsprung-Russell (HR), cada ponto indica o brilho e a cor de uma determinada estrela.
- A luminosidade de uma estrela é a potência (W) que ela é capaz de gerar no seu interior.

Exercícios

1. Na tabela a seguir, são apresentados os ângulos de paralaxe (em segundos de arco) de três estrelas próximas ao Sol.

Estrela	Paralaxe
Próxima Centauri	0,772''
Sírius	0,379''
Procyon	0,286''

- a) Calcule a distância de cada uma delas do Sol em UA.
- b) Calcule a distância de cada uma delas do Sol em AL (ano-luz).
- c) Calcule a distância de cada uma delas do Sol em pc (parsec).
- d) A estrela Sírius é a mais brilhante do céu noturno. Explique por que sua paralaxe é menor que a de Próxima Centauri, que é muito menos brilhante (só é possível vê-la com um potente telescópio).

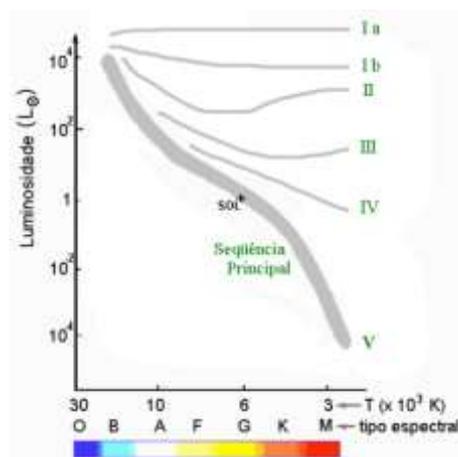
VERDADEIRO OU FALSO

2. () O diagrama HR é um diagrama de classificação de estrelas.
 3. () Estrelas gigantes vermelhas têm alta luminosidade.
 4. () Estrelas de baixa massa têm tempo de vida maior do que estrelas de alta massa.
 5. () As estrelas passam o seu maior tempo de vida na fase de gigante.
6. Utilize o diagrama em branco fornecido para graficar os dados e crie seu próprio diagrama HR. Utilizando o Stellarium, identifique a constelação de Orion e escolha 5 estrelas para pôr na tabela e no diagrama HR abaixo (posição MUITO aproximada).

Dica: magnitude absoluta e tipo espectral mais classe luminosa são dados no Stellarium. Clique na estrela e obtenha as informações. Considerar $M_{\odot} = +4,85$ para estimar a luminosidade.

TABELA DE ESTRELAS

Nome da estrela	Magnitude absoluta	Tipo espectral e classe de luminosidade	Luminosidade	Nome correspondente à classe de luminosidade



Referências:

- CUNHA. L. E. **Da astronomia básica à astrofísica: um curso para ensino médio.** Programa MNPEF. Mestrado Nacional Profissional. Polo Florianópolis. SC. 2017.
- SANTOS. E. F. **Variáveis cefeidas e a contribuição feminina na ciência: recursos para o ensino de oscilações ondas e óptica.** Dissertação Mestrado Profissional em Ensino de Física. Universidade Federal de Sergipe. 2017.
- KEPLER. K. S. O; SARAIVA. F. O. **Determinação de distâncias astronômicas.** Modificada em 26 set 2018. Disponível no link: <http://astro.if.ufrgs.br/dist/>. Acessado em 19 set 2019.
- CAPELATO. H. V. Introdução a astronomia e astrofísica. Cap. 05. Estrelas. INPE. Disponível no link: <http://www.cdcc.usp.br/cda/cursos/2015/evolucao-estelar/1-aula-O-Sol/Introducao-a-Astronomia-e-Astrofisica-Cap-05-Estrelas-Hugo-Vicente-Capelato-INPE.pdf>. Acessado em 19 set 2019.
- ORTIZ. R. **Evolução estelar – I.** Aperfeiçoamento em Astronomia para a docência. Leitura semana 21: Evolução Estelar – I. Disponível no link: http://each.uspnet.usp.br/ortiz/classes/Leitura_s21_Evolucao_Estelar1. Acessado em: 19 set 2019.
- Adaptado de: <http://cdcc.usp.br/cda/dispositivos/paralaxe/index.html>. **Paralaxe estelar.** Centro de divulgação da astronomia. Acessado em 19 set 2019.
- FERREIRA. C. A. **Medidas de distâncias em astronomia: uma proposta de unidade de ensino potencialmente significativa para o ensino médio.** Dissertação Mestrado Profissional do Centro de Ciências Exatas da Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória 2018.
- KEPLER. K. S. O. **Simulação de Paralaxe Estelar.** Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/parallax/Parallax.htm>. Acessado em 19 set 2019.
- MENEZES. L. C. **Interessar, Motivar, Criar – três estratégias para o ensino de ciências.** Ciência em Tela – Volume 1. Número 1. Universidade de São Paulo. 2008.
- AGUIAR. R. R. **Tópicos de astrofísica e cosmologia: uma aplicação de física moderna e contemporânea no ensino médio.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências. 2010.

TEIXEIRA. H; SOBRINHO. L; DRUMOND. C. **Aplicações da trigonometria na astronomia: medição de distâncias pelo método de paralaxe.**

HORVATH. J. E. **O ABCD da Astronomia e Astrofísica.** 2ª edição. 2008.

KEPLER. K. S. O.; SARAIVA. M. F. O. **Astronomia & Astrofísica.** 4ª edição. 2017.

ROCHA. D.B; GEORGE. S; JUNQUEIRA. M.S. SONIA; MARRANGHELLO; GUILHERME. **O ensino de astronomia no planetário da Unipampa: matemática e paralaxe.** Universidade Federal de Pampa. Bagé. Rio Grande do Sul.

APÊNDICE 5 – CICLOS DA VIDA ESTELAR

AULA DIDÁTICA

(AS AULAS CONSTITUEM UMA SD)

Área: Ciência da Natureza

Ano/Série: EM

Tema: Estrelas e suas propriedades.

Título da atividade: Ciclos da vida estelar

Número de aulas previstas: 02 aulas

Habilidade a ser desenvolvida: explorar historicamente o nascimento das estrelas, sua evolução e sua morte compreendendo o ciclo da vida estelar através do aprofundamento de sua estrutura interna.

Objetos de aprendizagem: reconhecer, identificar e compreender o ciclo da vida estelar.

Materiais necessários para a aula: diário de bordo.

Questão disparadora: *Seriam as estrelas observadas por Hipparcos há mais de 2 milênios as mesmas observadas hoje? (Horvath, 2009).*

Contextualização:

A aula será iniciada com a apresentação do título, o tema da aula e a habilidade que será desenvolvida. Logo em seguida, serão projetados na lousa interativa os slides referentes ao conteúdo mencionado nesta Sequência Didática. Ao final, os alunos realizarão um experimento e farão a resolução de um exercício. Para sistematizar, será projetado na lousa uma atividade do simulador ‘*the size of space*’.

Contexto:

Os atomistas Demócrito e Leucipo acreditavam que a Via Láctea era um conjunto de estrelas. Ideia bastante avançada, pois naquela época não se permitia associar de forma imediata com ‘algo’ mais familiar sem sofrer interferência religiosa, pois existia um certo ‘convencimento’ sobre as pessoas e a sociedade com relação aos astros.

Por vários séculos a ideia de Aristóteles (384 a.C. – 322 a.C.) referente ao modelo Geocêntrico predominou. Durante a Idade Média, o filósofo Giordano Bruno (1548-1600) contestou a teoria de Aristóteles. Acreditava que as estrelas eram idênticas ao Sol, quebrando completamente o pensamento da Igreja. Em 1648, Giordano foi acusado de heresia e acabou na fogueira.

Quando Galileu começou a utilizar o primeiro telescópio desenvolvido em 1608, estudou a Via Láctea com rigor, distinguindo individualmente as estrelas e revelando muitas características novas delas. E também foi possível começar a pensar como essas estrelas se mantêm e se mudam para tempos muito longos.

Já foi visto como associar a cor da estrela com sua temperatura. Para relacionar fluxo com energia emitida por segundo, considera-se que a emissão é igual para qualquer direção, portanto, o fluxo da estrela ocorre de acordo com a equação (3).-Estando a uma distância d da estrela, é possível destacar que, ao medir o fluxo, ele cai com o inverso do quadrado dessa distância, ou seja:

$$F = \frac{L}{4\pi d^2} \quad (7)$$

Como mencionado anteriormente, o diagrama HR (Hertzsprung Russell) classificou as estrelas relacionando a luminosidade e sua temperatura superficial, mostrando a faixa onde se encontram as estrelas na chamada SP.

Já se observou que Wien estabeleceu a Lei da Radiação, de acordo com a qual, quanto mais quente for um objeto, mais azul será a radiação emitida por ele. A cor de uma estrela é determinada pela *temperatura* em que se encontra na superfície. Assim, o Diagrama HR (Figura 4) separa as estrelas em grupos "quentes" e "frios" e, se houver uma estimativa das distâncias, a equação 4 permite estabelecer quantidade de energia que está efetivamente radiando. Será vista, detalhadamente, a forma utilizada pelas estrelas para produzir esta energia.

Fontes de energia das estrelas

A observação de que a Sequência Principal é a região mais povoada do Diagrama HR leva a pensar que deve ser o estágio *mais longo* da evolução estelar, já que cerca de

90% delas está aí. É a partir da SP que a estrela dá início à queima de hidrogênio para manter a estrela “viva” e sustentar seu equilíbrio. Possuindo combustível suficiente, a estrela se mantém constante sem variações em seu estágio evolutivo mais longo. No final do século XIX, os cientistas Eddington, Hans Bethe e outros deram os primeiros passos para a velha questão: “*o que sustenta uma estrela?*”.

Em 1898, Sir Robert Stawell Ball (1840-1913), ao observar fósseis, notou que fósseis de peixes tinham olhos bem desenvolvidos e descartou a hipótese de que o Sol estaria esfriando a partir de um aquecimento inicial durante sua formação.

O que gera energia ao Sol? Lord Kelvin (1824-1907) acreditava que a contração do Sol poderia fornecer essa energia, já que tornar um objeto mais ligado implica se desfazer da energia em excesso. Ao realizar os cálculos, Lord Kelvin chegou a uma idade entre 20 e 100 milhões de anos, hipótese muito maior do que o tempo estimado de combustível.

Por volta de 1920, o astrônomo inglês Sir Arthur Stanley Eddington (1882-1944) sugeriu a ideia de que uma intensa fonte de energia no núcleo da estrela gera a pressão que contrabalança a força atrativa da gravidade, estabilizando a estrela por muitos bilhões de anos. A Astrofísica permite, indiretamente, explorar o interior das estrelas, já que as propriedades da superfície eram consequências da estrutura interna.

O papel fundamental na teoria da fusão nuclear nas estrelas, processo responsável pelo seu brilho, corresponde, entre outros, ao alemão Hans Albrecht Bethe (1906-2005). Além do chamado ciclo próton-próton (Figura 5), processo que Bethe elaborou, ele trabalhou conjuntamente com von Weizsacker em um segundo ciclo que ficou conhecido como ciclo CNO (Figura 5), envolvendo uma cadeia complexa de seis reações nucleares em que átomos de carbono e nitrogênio agem como catalisadores para fusão nuclear. Nesse ciclo, o modo dominante será o de produção de energia se a temperatura for alta o suficiente.

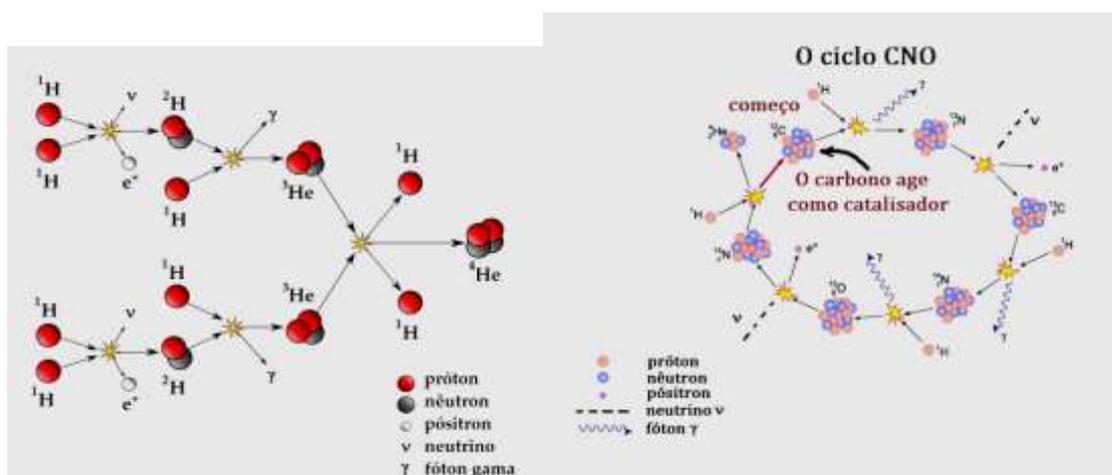


Figura 5 – Produção de energia estelar – Ciclo PPI (esquerda) e Ciclo CNO (direita). Fonte: *As Estrelas na Sala de Aula*, J.E. Horvath (São Paulo, Livraria da Física, 2019)

Hoje o valor aceito para a temperatura no núcleo do Sol é de 15 milhões de Kelvin, como explicado por Bethe. Nessa temperatura predomina o ciclo próton-próton (Figura 5). Para o desenvolvimento do ciclo próton-próton, a estrela necessita de temperatura maior que 8 milhões de graus para ser efetiva.

O tempo de vida de uma estrela é a razão entre a energia que ela tem disponível e a taxa com que ela gasta essa energia, ou seja, sua luminosidade. A luminosidade da estrela é proporcional à sua massa ($L \propto M^3$), isto é, o tempo de vida é controlado pela massa da estrela: quanto maior sua massa, mais rapidamente ela gasta sua energia e menos tempo ela dura.

A estrela passa a parte mais longa da sua vida na Sequência Principal, gerando energia através de fusões termonucleares. Estrelas como o Sol transformam quatro núcleos de hidrogênio (quatro prótons) em um núcleo de hélio (partícula α). Neste tipo de transformação, ocorre uma diferença de massa, esta entra na reação maior e sai menor. Essa massa “desaparecida” é transformada em energia. Segundo Eddington, na equação de Einstein ($E = mc^2$) a massa pode ser convertida em energia.

$$(4M_H - M_{He})c^2 = 26.73 \text{ MeV} \quad (8)$$

E, assim, dividindo a equação (8) por $M_{He}c^2$, vê-se que, em cada reação, há um 0.7% da energia que é liberada, permitindo ao Sol brilhar por $\tau_{\odot} \cong 10^{11} \text{anos}$ com a suposição de que todo o hidrogênio poderia ser fusionado (HORVATH, 2020).

Esta "aplicação prática" da fórmula mais famosa do século XX é um dos passos fundamentais para conectar as ideias e os conceitos da teoria com um fato empírico bem concreto, que é o longo tempo de vida do Sol. A mesma conta pode ser repetida para qualquer estrela, deixando a massa como variável livre. Desde que as estrelas muito luminosas sejam as de maiores massas na SP, o resultado é

$$t_{SP} = \frac{1}{\left(\frac{M}{M_{\odot}}\right)^2} \times 10^{10} \text{ anos} \quad (9)$$

E resulta evidentemente que as estrelas de menores massas vão permanecer fusionando hidrogênio por vários bilhões de anos.

Onde se formam as estrelas?

Ao observar o céu noturno, as estrelas revelam diferentes cores e brilhos e se distribuem desigualmente no céu. Seu nascimento ocorre de nuvens frias de gás e poeira, conhecidas como nuvens moleculares, que estão espalhadas por toda a galáxia.

Essas nuvens iniciam um processo de contração no qual alguns pontos dessa nuvem ficam instáveis gravitacionalmente, dando origem ao que um dia será uma estrela, originando berçários estelares. Abaixo, exemplos de berçários conhecidos.



Figura 6 – Formação de estrelas. NGC 3603 e NGC 3576, exemplos de nuvens escuras associadas a região de formação de estrelas. Fonte: <https://scitechdaily.com/two-star-formation-regions-southern-milky-way/>

Quando uma nuvem de gás e poeira começa a se contrair por conta da atração gravitacional, a estrela inicia seu processo de nascimento e lentamente a gravidade obriga toda essa massa gigantesca a se condensar. Tomando o Sol como exemplo: na sua formação seria necessária uma nuvem de gás inicial com um tamanho cem vezes maior que o nosso Sistema Solar.

Historicamente, a *hipótese nebular* formulada por Immanuel Kant (1724-1804) em meados de 1755 foi a solução para o problema da origem do Sistema Solar. Essa teoria admitia que a formação do Sol e dos planetas ocorreram a partir de uma nebulosa primordial, ideia essa que partiu do francês Pierre-Simon de Laplace (1749-1827), afirmando, por meio de hipóteses, que o Sol e os planetas se formaram no *mesmo processo*. Ao utilizar recursos sofisticados, foi possível medir as abundâncias dos elementos químicos que compõem o Sol e os planetas; estas medidas apresentam semelhanças, nas quais existem diferenças notórias em relação ao seu processo de formação.

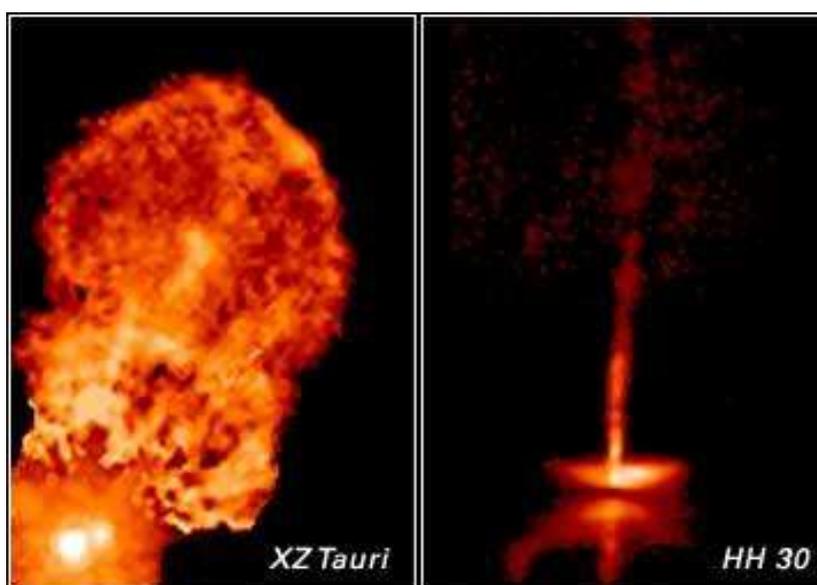


Figura 7 - Duas estrelas em formação capturadas pelo telescópio Hubble. O disco de acúmulo de matéria e jato perpendicular são claramente visíveis no painel esquerdo. Esses ambientes favorecem a formação dos sistemas planetários a partir da matéria do disco, como deve ter acontecido no sistema solar. Fonte: Interdisciplinary study of the synthesis of the origin of the chemical elements and their role in the formation and structure of the Earth. Fonte: O ABCD da Astronomia e Astrofísica, J.E. Horvath (São Paulo, Ed. Livraria da Física, 2008).

Hoje é possível observar a formação de estrelas e planetas de maneira direta. A uma distância relativamente pequena do Sol, existem várias regiões de formação estelar que podem ser catalogadas e observadas em vários estágios de sua formação. Assim, pode-se imaginar como nosso Sistema Solar foi formado em um mesmo plano (exceto a órbita do sistema binário Plutão-Caronte) pelo momento angular existente.

Astrônomos procuram explicar completamente a formação das estrelas e buscam planetas em torno. Atualmente existe um catálogo de planetas extrassolares dividido por conjuntos, tornando essa realidade um dos campos mais atrativos da Astronomia.

As evidências apontam para que, há aproximadamente 5 bilhões de anos, uma enorme nuvem de gás enriquecido com elementos mais pesados tenha iniciado sua contração por efeito da própria gravitação, devido à perturbação relacionada a trocas de energias com o gás. Sua pressão interna mantinha-se em processos com uma sequência de colapsos formando “casulos” chamados de *glóbulos de Bok*. A adição de matéria vizinha em cima das regiões mais densas originou as primeiras fases do estágio, conhecido como *TTauri* (Figura 7).

Após alguns milhões de anos, o jovem Sol, por meio de contrações, elevou sua temperatura até os milhões de graus, estabelecendo a geração de energia que o mantém brilhando até hoje.

Evolução final das estrelas

Quando a estrela consome parte do seu combustível nuclear, o seu destino final depende de dois fatores: o primeiro é se a estrela é simples ou faz parte de um sistema binário, múltiplo, e o segundo está relacionado à sua massa inicial.

Quando a nuvem de gás se contrai para a formação de uma protoestrela, a temperatura do núcleo fica alta o suficiente para iniciar as reações nucleares. Então, a protoestrela torna-se uma estrela na sequência principal transformando hidrogênio em hélio. Para os objetos abaixo de $0,08 M_{\odot}$, ela torna-se uma anã-marrom, sem nunca conseguir realizar a fusão do hidrogênio. Acima desse valor, até chegar a $0,45 M_{\odot}$, ela tornar-se-á uma estrela do tipo do Sol, mas com uma estrutura totalmente convectiva.

Estrelas maiores que $2M_{\odot}$ operam no ciclo próton-próton na SP e possuem uma camada de convecção externa (exemplo, o Sol). Já para as estrelas mais massivas, a queima principal do hidrogênio é pelo ciclo CNO (Figura 5) e possuem o núcleo convectivo, porém sua atmosfera é radiativa. Estrelas de até aproximadamente $8M_{\odot}$ conseguem transformar o hélio nuclear em carbono e oxigênio, saindo do ramo das supergigantes. Somente acima deste valor, é possível avançar na fusão do próprio carbono, até finalmente transformar o núcleo em ferro, caminhando para seu estágio final. Quando o núcleo chega no ferro, sua energia não é suficiente para continuar a fusão, então, colapsa ejetando boa parte de sua massa como Supernova. O que restará é uma estrela de Nêutrons ou um Buraco Negro (Figura 8).



Figura 8 – Ciclo de vida das estrelas. Fonte: <http://humbertoosousa.blogspot.com/2015/05/como-nascem-e-morrem-as-estrelas.html>

Exercícios

1. Para iniciar a atividade, a sugestão é o cálculo da luminosidade do Sol disponível no livro “**ABCD da Astronomia e Astrofísica**” do Professor Doutor Jorge E. Horvath. Abaixo segue a atividade descrita.

Para compreender melhor a luminosidade das estrelas, pode-se estimar diretamente a do Sol, construindo um *fotômetro* muito simples que emprega materiais comuns. A lista é:

- Uma folha de papel branco comum;
- Um pouco de óleo de cozinha;
- Uma lâmpada de 100 Watts.

No papel, espalhe a gota de óleo numa área de uns 2 cm de diâmetro. Acenda a lâmpada no exterior onde incida o Sol diretamente. Ponha o papel próximo à lâmpada e afaste-o até que o brilho de ambos os lados (o que é iluminado pela lâmpada e o que está voltado para o Sol) seja o mesmo. A cor dos lados do papel será um pouco diferente, já que a lâmpada está muito mais fria do que a superfície do Sol. Meça a distância da lâmpada quando o brilho for igual. Da igualdade do brilho de cada lado, sabe-se que a intensidade da iluminação é aproximadamente a mesma. Essa última diminui conforme o quadrado

da distância até a fonte e resulta diretamente proporcional à luminosidade da fonte. Assim, é escrito que:

$$\frac{L_{\odot}}{D_{\odot}^2} = \frac{L_{\text{lamp}}}{D_{\text{lamp}}^2} \quad (10)$$

Como D_{lamp} já foi medido e se sabe que sua luminosidade (potência) ocorre de maneira direta, pode-se estimar a luminosidade do Sol sabendo que a sua distância (1 UA) é de 150 milhões de quilômetros. Os cálculos indicam algo como $L_{\odot} = 4 \times 10^{26}$ Watt. Este número confere com o seu resultado?

Alguns fatores que complicam uma comparação direta são as diferentes temperaturas da lâmpada e do Sol (de fato, T_{lamp} é menos da metade de T_{\odot}), e, assim, a porcentagem da energia emitida na forma de luz visível é maior para o Sol do que para a lâmpada. A atmosfera espalha e absorve ainda parte desta luz, devendo ser introduzida uma correção nos cálculos para levar em conta esses efeitos. O resultado deve ser preciso dentro de um fator 2-3 devido a esses erros experimentais e essas incertezas no processo de medida.

2. Utilizando o simulador '*the size of space*' elaborado por Neal Agarwal disponível no endereço: neal.fun/size-of-space/, use a tecla de seta para a direita ou deslize para a esquerda para iniciar a animação para os alunos. Ao final da apresentação, inicie uma discussão com os argumentos propostos pelos alunos.

Referências:

- CUNHA. L. E. **Da astronomia básica à astrofísica: um curso para ensino médio**. Programa MNPEF. Mestrado Nacional Profissional. Polo Florianópolis. SC. 2017.
- SANTOS. E. F. **Variáveis cefeidas e a contribuição feminina na ciência: recursos para o ensino de oscilações ondas e óptica**. Dissertação Mestrado Profissional em Ensino de Física. Universidade Federal de Sergipe. 2017.
- KEPLER. K. S. O; SARAIVA. F. O. **Determinação de distâncias astronômicas**. Modificada em 26 set 2018. Disponível no link: <http://astro.if.ufrgs.br/dist/>. Acessado em 19 set 2019.
- CAPELATO. H. V. Introdução a astronomia e astrofísica. Cap. 05. Estrelas. INPE. Disponível no link: <http://www.cdcc.usp.br/cda/cursos/2015/evolucao-estelar/1-aula-O-Sol/Introducao-a-Astronomia-e-Astrofisica-Cap-05-Estrelas-Hugo-Vicente-Capelato-INPE.pdf>. Acessado em 19 set 2019.

ORTIZ. R. **Evolução estelar – I.** Aperfeiçoamento em Astronomia para a docência. Leitura semana 21: Evolução Estelar – I. Disponível no link: http://each.uspnet.usp.br/ortiz/classes/Leitura_s21_Evolucao_Estelar1. Acessado em: 19 set 2019.

Adaptado de: <http://cdcc.usp.br/cda/dispositivos/paralaxe/index.html>. **Paralaxe estelar.** Centro de divulgação da astronomia. Acessado em 19 set 2019.

FERREIRA. C. A. **Medidas de distâncias em astronomia: uma proposta de unidade de ensino potencialmente significativa para o ensino médio.** Dissertação Mestrado Profissional do Centro de Ciências Exatas da Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória 2018.

KEPLER. K. S. O. **Simulação de Paralaxe Estelar.** Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/parallax/Parallax.htm>. Acessado em 19 set 2019.

MENEZES. L. C. **Interessar, Motivar, Criar – três estratégias para o ensino de ciências.** Ciência em Tela – Volume 1. Número 1. Universidade de São Paulo. 2008.

AGUIAR. R. R. **Tópicos de astrofísica e cosmologia: uma aplicação de física moderna e contemporânea no ensino médio.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências. 2010.

TEIXEIRA. H; SOBRINHO. L; DRUMOND. C. **Aplicações da trigonometria na astronomia: medição de distâncias pelo método de paralaxe.**

HORVATH. J. E. **O ABCD da Astronomia e Astrofísica.** 2ª edição. 2008.

KEPLER. K. S. O.; SARAIVA. M. F. O. **Astronomia & Astrofísica.** 4ª edição. 2017.

ROCHA. D.B; GEORGE. S; JUNQUEIRA. M.S. SONIA; MARRANGHELLO; GUILHERME. **O ensino de astronomia no planetário da Unipampa: matemática e paralaxe.** Universidade Federal de Pampa. Bagé. Rio Grande do Sul.