



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS BLUMENAU  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Gabriela Mikoaski

**Ensinando Cosmologia no Ensino Médio:** Um livro de apoio ao professor com propostas e ideias de atividades para aplicar em sala de aula.

Blumenau  
2024

Gabriela Mikoaski

**Ensinando Cosmologia no Ensino Médio:** Um livro de apoio ao professor com propostas e ideias de atividades para serem aplicadas em sala de aula.

Dissertação submetida ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Profa. Dra. Lara Fernandes dos Santos Lavelli

Blumenau

2024

Mikoaski, Gabriela

Ensinando Cosmologia no Ensino Médio : Um livro de apoio ao professor com propostas e ideias de atividades para aplicar em sala de aula. / Gabriela Mikoaski ; orientadora, Lara Fernandes dos Santos Lavelli, 2024.  
169 p.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Blumenau, 2024.

Inclui referências.

1. Ensino de Física. 2. Ensino de Cosmologia. 3. BNCC. 4. Novo Ensino Médio. 5. Cosmologia. I. Fernandes dos Santos Lavelli, Lara. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. III. Título.

Gabriela Mikoaski

**Ensinando Cosmologia no Ensino Médio:** Um livro de apoio ao professor com propostas e ideias de atividades para serem aplicadas em sala de aula.

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 9 de Julho de 2024, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

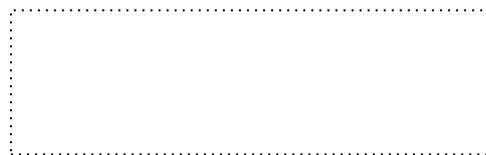
Prof. Dr. Esley Scatena Gonçalves  
MNPEF/UFSC – *campus* Blumenau

Profa. Dra. Cintia Barbosa Passos  
IFC – *campus* Blumenau

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestra em Ensino de Física.



Coordenação do Programa de Pós-Graduação



Profa. Dra. Lara Fernandes dos Santos Lavelli  
Orientadora

Blumenau, 2024.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente quero agradecer à Profa. Dra. Lara dos Santos Lavelli por todos os ensinamentos e conselhos como orientadora, além de ser uma pessoa e profissional inspiradora. Também quero agradecer a todos os docentes do programa, em especial aos professores Dr. Lucas Natalio Chavero, por ter proporcionado tantos momentos de reflexão que me fizeram crescer como profissional, e Dr. Esley Scatena Gonçalves, por todos os ensinamentos e aprendizados.

Quero agradecer também minha colega de mestrado e amiga Kessia, por sempre nos apoiarmos nos momentos de dificuldade ao longo das aulas, das avaliações e da escrita da dissertação. Sabemos que a profissão docente não é fácil, e ter pessoas que te apoiam e te entendem diariamente é essencial. Por isso, agradeço minha colega de profissão e grande amiga Thais, por ter aturado meus momentos de loucura, desaparecimentos e, muitas vezes, falta de senso, além de ter me ajudado a escrever esta página de agradecimento.

Também quero agradecer à supervisora da escola em que este produto foi aplicado, Anna Carolina, por fazer com que isso fosse possível e por ter lutado ao meu lado nas batalhas da educação. Agradeço também minha família, minha mãe e meu pai, por sempre me apoiar em todas as decisões e auxiliado nas dificuldades em todos os momentos da minha vida. Gostaria de agradecer também ao meu amigo Mateus que, em meio aos nossos encontros, as inúmeras conversas reflexivas que tivemos sobre política, educação e vida auxiliaram diretamente na escrita desta dissertação e na construção do produto didático.

Por fim, quero agradecer meu colega de graduação, de mestrado, de profissão e meu marido Augusto, que sempre me apoiou nas minhas loucuras diariamente. Muito obrigada por me ajudar com as correções, a fazer as minhas ideias de experimentos funcionarem, por todo o apoio e por cuidar tão bem da Pituca.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

## RESUMO

O ensino de cosmologia tem sido um tema de interesse entre os estudantes, embora historicamente subutilizado nas salas de aula devido à falta de formação adequada dos professores e divergências conceituais nos materiais didáticos. No entanto, a importância dessa temática na educação básica é reconhecida, pois permite aos alunos discutir a natureza da ciência, diferentes visões de mundo e compreender explicações sobre o Universo, sua origem e estrutura. Recentemente, houve uma mudança significativa nos currículos escolares brasileiros, com a introdução do Novo Ensino Médio (NEM) em 2022. Nesses novos currículos, a cosmologia ganhou destaque, tornando-se obrigatória na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) do Ensino Médio e presente nos livros didáticos disponíveis. Além disso, a partir de uma revisão da literatura, observou-se que muitos estudos ressaltam a importância de ensinar sobre a origem do Universo, mas poucos oferecem orientações práticas sobre como fazê-lo. A proposta deste produto didático surge da falta de material de apoio para os professores ministrarem esse conteúdo de forma eficaz. Ele consiste em um livro com textos de apoio criados a partir de uma fundamentação teórica, explicações, planos de aula e ideias de atividades sobre cosmologia para serem aplicadas em aulas de Física no Ensino Médio. A sequência de atividades foi baseada na estrutura de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), nas quais abordam conceitos relacionados à estrutura do Universo, propriedades das ondas eletromagnéticas, o espectro eletromagnético, a expansão e origem do Universo. O produto didático possui quatro capítulos, cada um englobando um tema diferente relacionado à Cosmologia. Ele foi aplicado em turmas de primeiro e terceiro ano do Ensino Médio, com ajustes realizados após a primeira aplicação para melhor adequação. Para analisar a aplicação do produto didático, as respostas dos alunos foram categorizadas para verificar se houveram indícios de aprendizagem significativa.

**Palavras-chave:** Ensino de Cosmologia; BNCC; Novo Ensino Médio.

## ABSTRACT

The teaching of cosmology has been a topic of interest among students, although historically underused in classrooms do to the lack of adequate teacher training and conceptual divergences in teaching materials. However, the importance of this theme in basic education is recognized, as it allows students to discuss the nature of science, different worldviews and understand explanations about the Universe, its origin and structure. Recently, there has been a significant change in brazilian school curricular, with the introduction of the New Secondary Education (NEM) in 2022. In these new curricular, cosmology gained prominence, becoming required in the National Common Curricular Base (BNCC) of Secondary Education and present in available textbooks. Moreover, from a review of the literature, it was observed that many studies highlight the importance of teaching about the origin of the Universe, but few show how to do it. The proposal for this educational product arises from the lack of support material for teachers to teach this content effectively. It consists of a book with supporting texts created from a theoretical foundation, explanations, lesson plans and activity ideas about cosmology to be applied in Physics classes in high school. The sequence of activities was based on the structure of a Potentially Significant Teaching Unit (UEPS), in which they address concepts related to the structure of the Universe, properties of electromagnetic waves, the electromagnetic spectrum and the expansion and origin of the Universe. The teaching product has four chapters, each covering a different topic related to Cosmology. It was applied to first and third year of high school classes, with adjustments made after the first application for better adaptation. To analyze the application of the teaching product, the students' responses were categorized and to check whether there were signs of significant learning.

**Keywords:** Teaching of Cosmology; BNCC; New Secondary Education (NEM).

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: esquema do experimento de Fizeau para determinação da velocidade da luz (figura fora de escala). .....	22
Figura 2: Experimento de Michelson para determinação da velocidade da luz (figura fora de escala). .....	23
Figura 3: O espectro eletromagnético. ....	24
Figura 4: gráfico do espectro da intensidade de radiação de um objeto submetido a diferentes temperaturas. ....	25
Figura 5: Representação do fenômeno ondulatório de Difração.....	26
Figura 6: representação do experimento da dupla-fenda e o padrão de interferência formado no anteparo.....	27
Figura 7: representação do fenômeno de difração da luz quando esta passa por uma rede de difração, sendo $d$ a distância entre as fendas, $\theta$ o ângulo da interferência construtiva, $m$ um número inteiro e $\lambda$ o comprimento de onda. ....	28
Figura 8: representação das franjas criadas por um gás quente que atravessa uma rede de difração. ....	29
Figura 9: representação de um espectro contínuo, de emissão e de absorção. ....	30
Figura 10: representação de uma fonte sonora se aproximando e afastando do observador, para demonstração do Efeito Doppler. ....	31
Figura 11: representação do Efeito Doppler de uma galáxia se afastando ou se aproximando do observador (figura fora de escala). ....	33
Figura 12: Relação entre a distância das galáxias e a velocidade de fuga descoberta por Hubble em 1929.....	34
Figura 13: Gráfico da variação da magnitude aparente em função do desvio para o vermelho do espectro. A linha pontilhada representa a previsão do Universo se ele fosse composto de matéria não-relativística sem levar em consideração a constante cosmológica, a linha tracejada demonstra a previsão feita se o Universo fosse composto apenas de matéria não relativística, e a linha contínua indica a previsão feita de parte do universo fosse de matéria não relativística e outra parte fosse de algum outro componente. ....	38
Figura 14: separação da força forte e fraca, conforme a idade e energia do Universo .....	41
Figura 15: Teoria do Big Bang e a composição do Universo. ....	43

Figura 16: Competências específicas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias para o NEM.....	45
Figura 17: Currículo em espiral de Santa Catarina baseado na BNCC. ....	46
Figura 18: Lista de objetos celestes citados pelos alunos escrita no quadro da sala durante a aula sobre estrutura do Universo em uma das turmas. ....	55
Figura 19: Modelo científico de Universo criado por um dos grupos durante a Aula 1. ....	56
Figura 20: Idades dos corpos celestes e modelo científico da estrutura do Universo criado por um grupo de alunos na Aula 1.....	57
Figura 21: imagens obtidas de diferentes telescópios da Nebulosa do Caranguejo e da Nebulosa da Tarântula utilizadas na atividade da Aula 2 da primeira aplicação. .	59
Figura 22: Respostas da questão 1 da Aula 2 de um dos grupos de alunos. ....	60
Figura 23: Respostas da questão 1 da Aula 2 de um dos grupos de alunos. ....	61
Figura 24: Respostas das questões 3 e 4 da Atividade 2. ....	61
Figura 25: Alunos realizando o experimento com o espectroscópio construído por eles. ....	63
Figura 26: Foto do espectro de uma lâmpada de gás Hélio (a esquerda), gás Xenon (meio) e Neônio (a direita).....	63
Figura 27: Respostas das questões 1 e 2 da atividade sobre o espectro eletromagnético do Universo.....	64
Figura 28: Respostas das questões 3 e 4 da atividade sobre o espectro eletromagnético do Universo.....	65
Figura 29: Respostas da questão 1 da atividade sobre a expansão do Universo.....	66
Figura 30: Gráficos da atividade sobre expansão do Universo.....	67
Figura 31: Linha do tempo da origem do Universo. ....	68
Figura 32: alterações realizadas na atividade sobre o experimento com os espectros. ....	70
Figura 33: Modelo de Universo apenas com corpos celestes do sistema solar, sem especificações de tamanho ou distância em relação a Terra. ....	72
Figura 34: Modelo de Universo apenas com corpos celestes do sistema solar representado por um gráfico do tamanho pela distância em relação à Terra. ....	73
Figura 35: respostas dos alunos sobre os o diâmetro, distância e idade dos corpos celestes conhecidos, apenas do sistema solar.....	74
Figura 36: Modelos de Universo com corpos celestes fora do sistema solar.....	75

Figura 37: respostas dos alunos sobre os o diâmetro, distância e idade dos corpos celestes conhecidos.....	76
Figura 38: respostas da atividade sobre o espectro eletromagnético. ....	78
Figura 39: respostas dos alunos das questões 1 e 2 na atividade realizada na Aula 3. ....	80
Figura 40: respostas dos alunos das questões 3 e 4 na atividade realizada na Aula 3. ....	81
Figura 41: calendário do Universo construído pelos estudantes. ....	84

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: número de artigos encontrados sobre o tema Ensino de Cosmologia. ....	18
Quadro 2: Passos para a elaboração de uma UEPS.....	48
Quadro 3: Organização das aulas da primeira versão do produto didático.....	51
Quadro 4: Organização das aulas da segunda versão do produto didático. ....	51
Quadro 5: comparações entre os assuntos e atividades de cada aula da primeira e segunda versão do produto.....	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: tabela de léptons, seu símbolo e sua carga correspondente. ....	40
Tabela 2: tabela de Quarks, seu símbolo e carga correspondente.....	40

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CBEMTC	Currículo Base do Ensino Médio do Território Catarinense
NEM	Novo Ensino Médio
PCNEM	Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio
PNLDEM	Plano Nacional do Livro Didático do Ensino Médio
UEPS	Unidade de Ensino Potencialmente Significativa

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>18</b>
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DOS CONCEITOS DE FÍSICA.....</b>	<b>21</b>
3.1	PRORPIEDADES DA LUZ .....	21
3.1.1	<b>Velocidade da Luz.....</b>	<b>21</b>
3.1.2	<b>O espectro eletromagnético.....</b>	<b>23</b>
3.1.3	<b>Interferência e Difração .....</b>	<b>26</b>
3.2	ESPECTROSCOPIA ÓPTICA.....	29
3.3	EFEITO DOPPLER DA LUZ .....	31
3.4	EXPANSÃO DO UNIVERSO .....	33
3.4.1	<b>A Expansão acelerada do Universo.....</b>	<b>35</b>
3.4.1.1	<i>Energia Escura .....</i>	<i>36</i>
3.5	BIG BANG .....	38
3.5.1	<b>O Modelo-Padrão: conceitos básicos sobre partículas .....</b>	<b>39</b>
3.5.2	<b>A História da Origem do Universo .....</b>	<b>41</b>
<b>4</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DE ENSINO APRENDIZAGEM .....</b>	<b>44</b>
4.1	A BNCC E O NEM DE SANTA CATARINA.....	44
4.2	UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS) .....	47
<b>5</b>	<b>PRODUTO DIDÁTICO.....</b>	<b>50</b>
5.1	CONSTRUÇÃO DO PRODUTO DIDÁTICO.....	50
5.2	METODOLOGIA DE ANÁLISE DA APLICAÇÃO DAS AULAS.....	52
<b>6</b>	<b>APLICAÇÃO DO PRODUTO DIDÁTICO.....</b>	<b>53</b>
6.1	CONTEXTO DE APLICAÇÃO.....	53
6.2	RELATOS DA PRIMEIRA APLICAÇÃO .....	54
6.2.1	<b>Aula 1: Estrutura do Universo.....</b>	<b>54</b>
6.2.2	<b>Aula 2: O que a luz pode nos contar sobre o Universo?.....</b>	<b>58</b>
6.2.3	<b>Aula 3: O espectro eletromagnético do Universo.....</b>	<b>62</b>
6.2.4	<b>Aula 4: Expansão do Universo.....</b>	<b>65</b>
6.2.5	<b>Aula 5: A Teoria do Big Bang.....</b>	<b>67</b>
6.3	MODIFICAÇÕES REALIZADAS APÓS A PRIMEIRA APLICAÇÃO .....	69
6.4	RELATOS DA SEGUNDA APLICAÇÃO .....	71
6.4.1	<b>Aula 1: Estrutura do Universo.....</b>	<b>72</b>

6.4.2	Aula 2: Quais informações a luz pode nos dar sobre o Universo? .....	77
6.4.3	Aula 3: Expansão do Universo.....	80
6.4.4	Aula 4: A evolução do Universo.....	83
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	85
	REFERÊNCIAS .....	87
	APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL .....	90

## 1 INTRODUÇÃO

Temas relacionados à Cosmologia são de interesse comum entre os estudantes e o ensino destes conteúdos está previsto nos documentos curriculares brasileiros desde 1990, com os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM). Porém, eles não eram aplicados em sala de aula, principalmente devido à má formação docente na área de Cosmologia e divergências conceituais nos livros didáticos (Júnior, et al, 2018).

No entendimento de Henrique e Silva (2009), essa temática deve ser trabalhada na educação básica, uma vez que possibilita ao aluno discutir a natureza da ciência e diferentes visões de mundo, além de conhecer explicações sobre o Universo, sua origem e estrutura. Esses conteúdos, ainda que pouco trabalhados em sala de aula, na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e no Currículo Base do Ensino Médio do Território Catarinense (CBEMTC) o ensino de Cosmologia ganhou um papel de destaque. Ele se tornou obrigatório na BNCC do Ensino Médio (Brasil, 2018), e é encontrado nos livros didáticos disponíveis do Plano Nacional do Livro Didático do Ensino Médio (PNLDEM) 2021. Conforme o CBEMTC, origem do Universo é o primeiro assunto a ser trabalhado na área de Ciências da Natureza (Santa Catarina, 2021).

Os novos currículos foram introduzidos em 2022, em todas as escolas de Ensino Médio do país, com o Novo Ensino Médio (NEM). Na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, ocorreram inúmeras mudanças, que vão desde a carga horária de cada disciplina envolvida (Química, Física e Biologia), o formato dos livros didáticos e até na estruturação curricular (Brasil, 2018; Santa Catarina, 2021). Dividida em três competências específicas, elas tratam de assuntos relacionados à matéria e energia, vida, Terra e cosmos e a contextualização social, histórica e cultural da ciência. Dentro de cada competência, existem habilidades para serem desenvolvidas ao longo de todo o Ensino Médio (Brasil, 2018).

Diante das necessidades encontradas, a proposta do produto didático se apoia no seguinte aspecto: o interesse sobre Cosmologia por parte dos estudantes e destaque deste tema na nova BNCC. Porém, após a realização de uma revisão da literatura sobre o tema, percebe-se a falta de material de apoio para o professor ministrar este conteúdo no Ensino Médio. Muitos trabalhos se preocupam em descrever os diversos motivos pelo qual é importante ministrar sobre temas

relacionados à origem do Universo em sala de aula, ou sobre quais conteúdos abordar dentro dessa temática, mas poucos propõem como fazê-lo.

A partir dessas problemáticas, decidiu-se elaborar um produto didático no formato de um livro, em que apresenta textos com explicações sobre o tema e também uma sequência didática, baseada na estrutura de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), que tem como objetivo ensinar tópicos da Cosmologia. A UEPS criada foi aplicada duas vezes: a primeira vez com turmas de primeiro ano e a segunda com turmas do terceiro ano do Ensino Médio. Na primeira aplicação foi utilizada uma proposta da UEPS que continha cinco aulas com dois períodos de 45 minutos cada. A partir de algumas dificuldades encontradas, foram feitas algumas alterações e a segunda aplicação possuía apenas quatro aulas, também com dois períodos. Após as aplicações, as respostas dos alunos foram categorizadas e analisadas, para verificar se houve indícios de aprendizagem significativa.

Para a construção do produto didático, apresenta-se a fundamentação teórica em física utilizada, que são abordados conceitos a respeito da natureza e propriedades da luz, bem como métodos de espectroscopia óptica, muito utilizados na investigação de corpos celestes. Por fim, a expansão do Universo e o Big Bang, são brevemente discutidos. Também é apresentada a fundamentação de ensino e aprendizagem, utilizando como base os pressupostos das UEPS e a BNCC.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Na revisão da literatura buscaram-se trabalhos e estudos pertinentes ao ensino de temas relacionados à Cosmologia no Ensino Médio. Para tal, buscou-se em sete revistas dedicadas ao ensino de física, ciências e astronomia, de âmbito nacional e internacional. O ponto de partida para esta revisão foi a palavra-chave "cosmologia". Vale destacar que não se estipulou um intervalo temporal específico para essa busca, dada a escassez de artigos sobre o tema. Posteriormente, dentre esses artigos, foram selecionados aqueles que abordavam propostas ou sequências de ensino aplicadas à Cosmologia. Os resultados da revisão estão dispostos no Quadro 1.

Quadro 1: número de artigos encontrados sobre o tema Ensino de Cosmologia.

Revista	Número de artigos que citavam "cosmologia"	Número de artigos sobre propostas ou sequências de ensino de cosmologia
Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF)	29	0
Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF)	13	0
Revista Latino-Americana de Ensino de Astronomia (RELEA)	4	1
Revista de Enseñanza de las Ciencias	6	0
Revista do Professor de Física	1	1
Revista Experiências em Ensino de Ciências (EENCI)	13	3
Revista Investigación em Educacion em ciências	0	0
Physics Education IOP Science	41	1
ERIC Institute of Education Science	8	1
<b>Total</b>	<b>115</b>	<b>7</b>

Fonte: do autor.

Dentre os trabalhos que citavam o tema "cosmologia", a maior parte deles eram discussões de estudos e assuntos relacionados ou sobre a importância e as dificuldades de abordar estes temas em sala de aula. Os artigos encontrados sobre propostas ou aplicações de sequências de ensino de Cosmologia eram a minoria,

como indicado no Quadro 1, e são todos de edições das revistas dos últimos seis anos.

A maioria dos artigos encontrados não tratavam o tema “cosmologia” como elemento central da sequência didática, mas sim como uma ferramenta para o ensino de conteúdos naturalmente já vistos na disciplina de Física. Por exemplo, Aguiar e Housome (2018) criaram e aplicaram um currículo alternativo para turmas de primeiro ano do Ensino Médio, que trabalha conceitos de força, estrutura da matéria, energia e conservação e ondulatória, incluindo tópicos de astronomia, astrofísica e cosmologia. Já Cardoso e Costa (2020) propuseram diversos experimentos de astronomia e cosmologia que podem ser aplicados no Ensino Médio ao longo de diversos conteúdos. Alves-Brito e Massoni (2019) criaram um jogo que permite tratar sobre elementos químicos e tabela periódica, de forma que tópicos de Cosmologia e outros estejam agregados na sequência. Silva, Damasio e Raicik (2019) e Miranda, Matos e Coelho (2019) elaboraram e aplicaram sequências de ensino em que tópicos de cosmologia eram introduzidos como pano de fundo de conteúdos que não são comumente ministrados no Ensino Médio, como assuntos voltados para Física Moderna e Contemporânea em geral.

Um dos artigos encontrados apresenta uma sequência didática completa que aborda diretamente o tema. Caldas e Siqueira (2019) apresentam uma UEPS sobre Cosmologia como resultado de um produto didático. Esta UEPS aborda os conceitos de um ponto de vista histórico, começando com a visão de Heliocêntrica do Universo até chegar nos modelos cosmológicos atuais. Neste produto didático são utilizados recursos variados como vídeos, textos, apresentação expositiva de slides, listas de exercícios, peças teatrais e mapas conceituais. Os principais conceitos físicos abordados nesta UEPS são Movimento Circular Uniforme, Gravitação, Leis de Kepler, Fenômenos Astronômicos, Ordem de grandeza e instrumentos de medida.

Outro estudo interessante foi realizado por Salimpour *et al* (2021). Os autores não apresentam uma sequência didática em si, mas sugerem atividades e formas de ensinar alguns conceitos de difícil compreensão da Cosmologia. O objetivo deste estudo é fornecer uma visão aprofundada de representações comumente utilizadas para explicar conceitos de Cosmologia (como imagens de telescópios, gráficos e esquemas), e como essas representações podem ser úteis para o ensino deste tema.

Analisando os artigos encontrados para esta revisão de literatura, percebe-se que o produto educacional proposto vem de encontro com outros trabalhos que já

foram realizados. Uma vez que, ele também utiliza tópicos de Cosmologia para ensinar conceitos básicos de outros conteúdos, como ondas eletromagnéticas e suas propriedades. Outro ponto importante desta revisão é que muitos artigos encontrados falavam sobre o ensino de Cosmologia ser importante na educação básica, mas como é possível verificar no Quadro 1, poucos se preocupam em dar alternativas ou propor sequências de ensino que possam ser utilizados por professores.

## 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DOS CONCEITOS DE FÍSICA

### 3.1 PRORPIEDADES DA LUZ

A luz foi tema de estudo entre físicos e filósofos ao longo de séculos, e seu comportamento dualístico é amplamente debatido. Ela possui propriedades ondulatórias, como a refração, difração e interferência, e propriedades corpusculares, como o transporte de energia, evidenciado no efeito fotoelétrico (Damineli, et al, 2011). A seguir, serão discutidas sobre algumas dessas propriedades, que serão importantes para o entendimento da espectroscopia óptica.

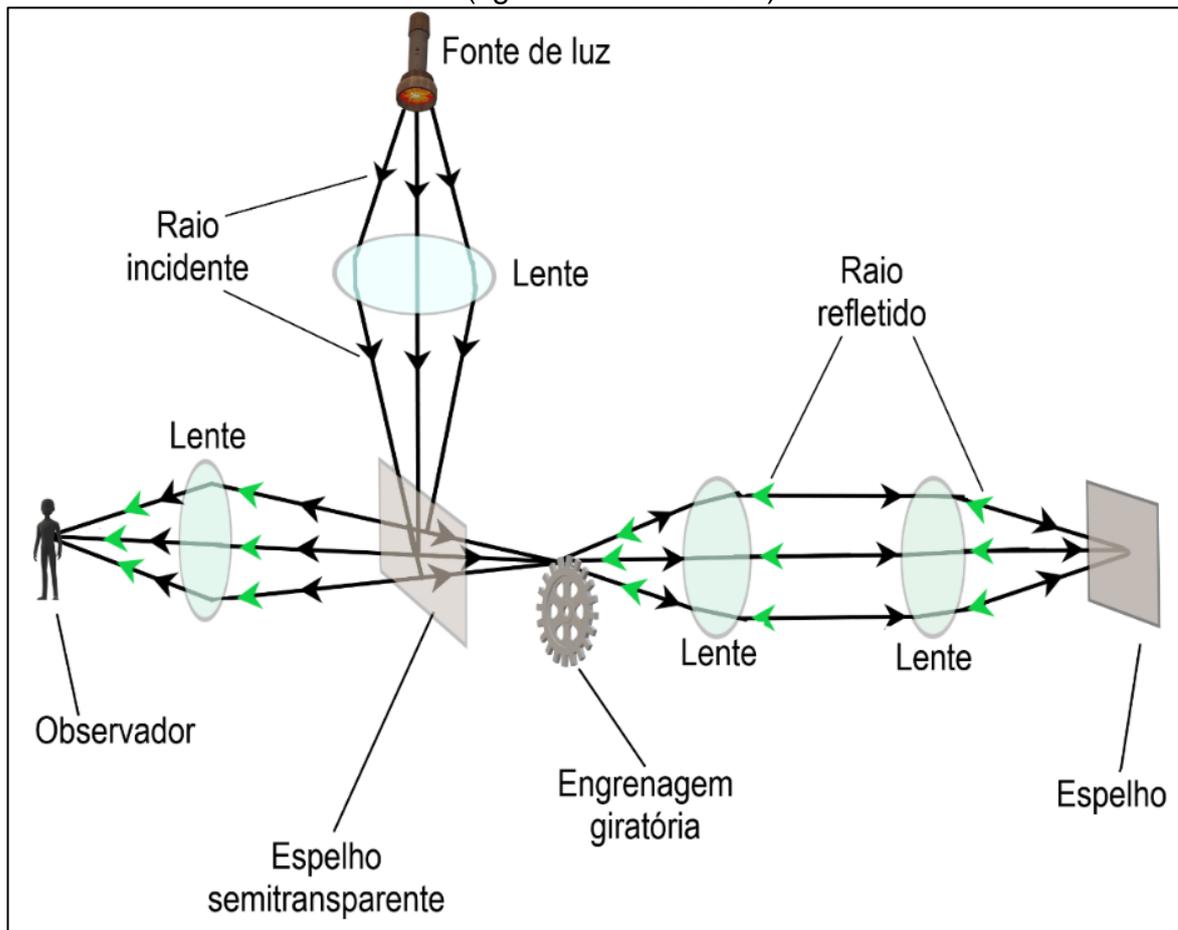
#### 3.1.1 Velocidade da Luz

Até o século XVII acreditava-se que a luz possuía uma velocidade infinita. A primeira evidência de que a luz poderia ter uma velocidade determinada foi através de observações astronômicas feitas do período de Io, uma das luas de Júpiter. O período é determinado a partir do tempo entre um eclipse e outro, que é de 42,5 horas. Entretanto, este período é diferente se a medida for realizada quando a Terra está se aproximando ou se afastando de Júpiter (Tipler; Mosca, 2009b).

O astrônomo Ole Rømer percebeu que este fenômeno poderia estar associado ao fato da luz ter uma velocidade finita. Então, propôs um método que levava em consideração o movimento da Terra e a diferença de tempo entre o início dos eclipses para tentar calcular esta velocidade (Tipler; Mosca, 2009b).

Em 1849, o físico francês Armand Fizeau realizou a primeira medida não astronômica da velocidade da luz, conforme ilustrado na Figura 1. A luz emitida (setas pretas da Figura 1) por uma fonte era refletida por um espelho semitransparente. A luz refletida era transmitida através dos espaçamentos de uma roda dentada (engrenagem giratória, indicada na Figura 1). Em seguida, passava por duas lentes até chegar ao espelho, localizado a 8,63 km da fonte de luz. A luz era refletida (setas verdes da Figura 1) pelo espelho e chegava ao observador. A velocidade da luz era medida a partir da velocidade angular da roda dentada, que permitia a passagem da luz apenas entre os seus espaçamentos (Tipler; Mosca, 2009b).

Figura 1: esquema do experimento de Fizeau para determinação da velocidade da luz (figura fora de escala).

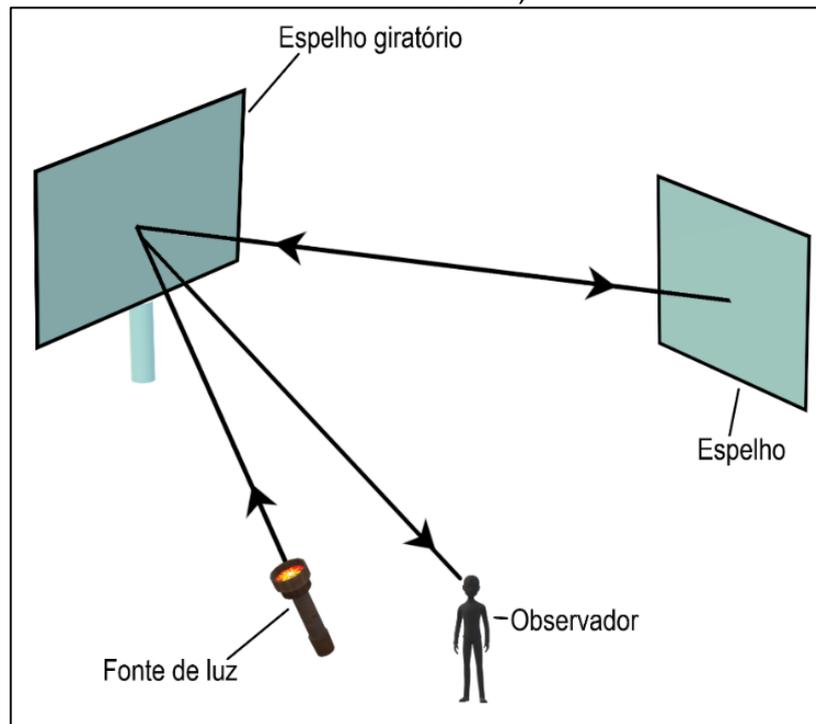


Fonte: do autor.

Aprimorando este método, em 1850, Jean Foucault também tentou medir a velocidade da luz. Ele conseguiu verificar que na água, a luz possui uma velocidade menor quando comparada à sua propagação no ar. Por volta de 1920, Albert Abraham Michelson, físico norte-americano, obteve medidas mais precisas, utilizando um espelho giratório octogonal, como mostrado na Figura 2. Neste experimento, o espelho giratório gira de acordo com o tempo que a luz demora para ir até o espelho fixo e ser refletida, voltando ao espelho giratório e indo até o observador (Tipler; Mosca, 2009b).

Atualmente, a velocidade da luz é definida como 299.792.458 m/s no vácuo, assim como todo o espectro eletromagnético (Tipler; Mosca, 2009b). A seguir, serão discutidas características do espectro eletromagnético com mais detalhes.

Figura 2: Experimento de Michelson para determinação da velocidade da luz (figura fora de escala).

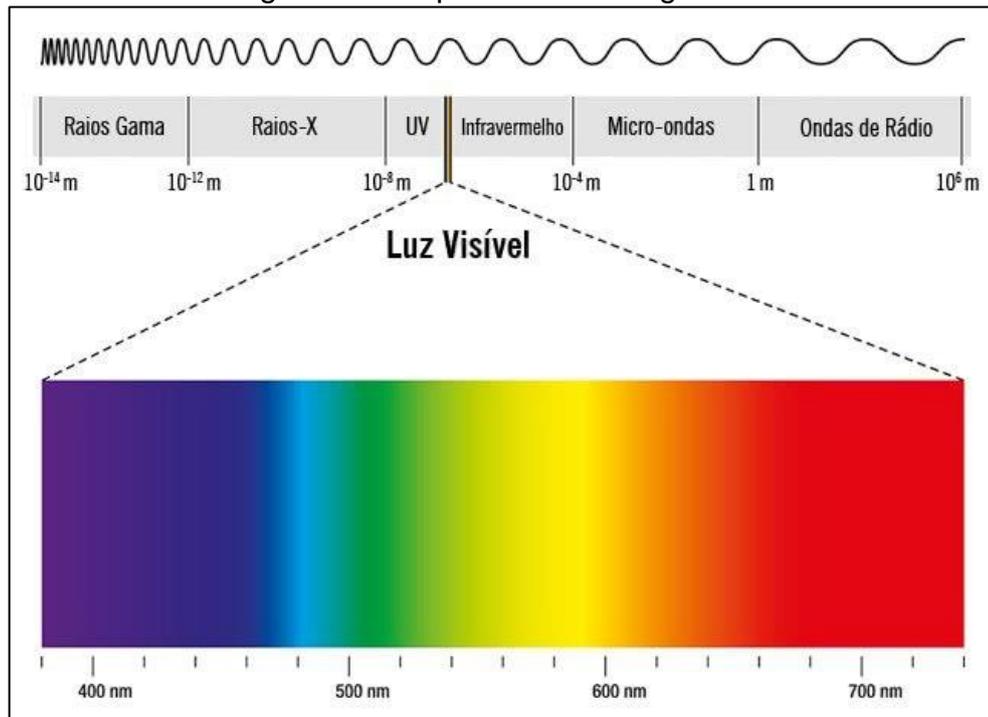


Fonte: do autor.

### 3.1.2 O espectro eletromagnético

Uma onda eletromagnética é uma oscilação do campo eletromagnético. A luz visível faz parte de uma pequena região do espectro eletromagnético, assim as de rádio, as micro-ondas e a luz ultravioleta, mesmo que não possamos vê-las (Knight, 2009a). O espectro eletromagnético é dividido em faixas de energia (radiação eletromagnética de altas energia, como os raios X e raios gama, e de baixas energia, como ondas de rádio e micro-ondas) e conforme a sua frequência e comprimento de onda, conforme ilustra a Figura 3 (Damineli, et al, 2011).

Figura 3: O espectro eletromagnético.



Fonte: Toda Matéria. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/espectro-eletromagnético>. Acesso em: 4 abr. 2024.

As fontes de luz emitem energia em uma determinada faixa de frequência ou comprimento de onda. A distribuição do espectro da energia de uma fonte determina o seu espectro eletromagnético. Com base na Figura 3, na faixa das baixas frequências, temos as ondas de rádio e micro-ondas. Em seguida, temos o infravermelho, observado na emissão de calor dos corpos. Na faixa de altas energias, após a luz visível, temos a radiação ultravioleta, raios X e raios gama (Damineli, *et al*, 2011).

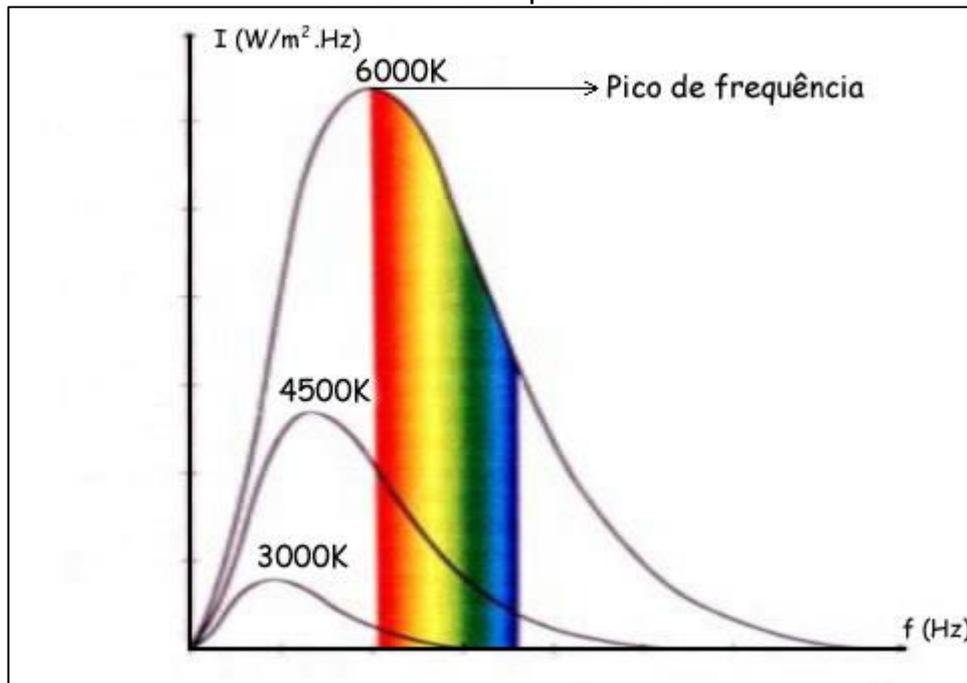
Objetos com uma temperatura alta, como o Sol e outras estrelas, emitem ondas eletromagnéticas em todos os comprimentos de onda possíveis, sendo seu espectro eletromagnético dependente unicamente da sua temperatura (Knight, 2009b). Todos os corpos que possuem uma temperatura maior que o zero absoluto ( $-273,15$  °C), emitem radiação eletromagnética. Isso ocorre quando partículas carregadas são aceleradas ou quando elétrons ligados a átomos e moléculas transitam para estados de menor energia (Tipler; Mosca, 2009b). Corpos que possuem maiores temperaturas estão associadas a uma maior frequência de agitação dessas partículas (Damineli, *et al*, 2011).

A equação que descreve a relação da temperatura com o comprimento de onda emitido é chamada de Lei de Wien, e permite obter a temperatura na superfície de uma estrela, por exemplo, a partir da medida do comprimento de onda do máximo de intensidade (Knight, 2009b). Esta lei pode ser descrita pela equação:

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{b}{T} \quad (1)$$

Sendo  $\lambda_{m\acute{a}x}$  o comprimento de onda de máxima intensidade do espectro eletromagnético,  $b$  a constante de deslocamento de Wien (0,002897 mK) e  $T$  a temperatura do corpo. A Figura 4 mostra um gráfico que descreve a Lei de Wien, explicitando a dependência de  $\lambda_{m\acute{a}x}$  com  $T$  a partir do espectro eletromagnético de um determinado objeto submetido a diferentes temperaturas. Podemos verificar que objetos com maior temperatura emitem ondas com maior intensidade e comprimentos de ondas mais curtos (ou seja, mais altas energias). Cada curva indicada na Figura 4 corresponde a intensidade de emissão a uma temperatura, de 6000 Kelvins, 4500 Kelvins e 3000 Kelvins.

Figura 4: gráfico do espectro da intensidade de radiação de um objeto submetido a diferentes temperaturas.



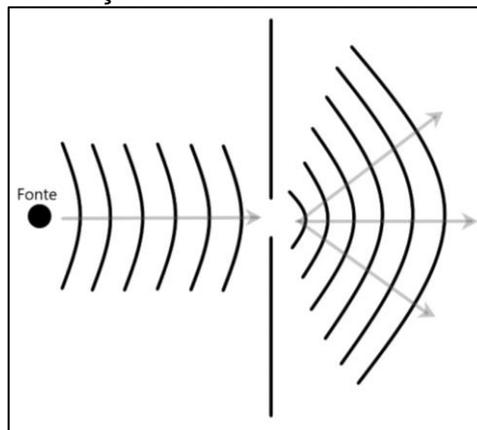
Fonte: Disponível em: <[https://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n25\\_Alvorenga/corpo\\_negro.htm](https://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n25_Alvorenga/corpo_negro.htm)>. Acesso: 04 de abril de 2024.

### 3.1.3 Interferência e Difração

Estudos na área da Cosmologia apoiam-se na utilização de telescópios espaciais, que coletam e analisam a luzes emitidas por corpos celestes em diversos comprimentos de onda. Dentre os principais componentes óticos dos telescópios, destaca-se a grade de difração, que tem como objetivo realizar a separação espectral desta luz coletada. Deste modo, por estarem presentes diretamente no estudo da Cosmologia, se faz necessária uma abordagem sobre as propriedades de interferência e difração da luz.

Interferência e difração são fenômenos ondulatórios, que distinguem as ondas das partículas. Interferência pode ser caracterizada pela sobreposição de duas ondas no espaço (Tipler; Mosca, 2009b). Já a difração é o desvio das ondas quando são bloqueadas por um obstáculo, conforme ilustra a Figura 5 (Tipler; Mosca, 2009a). A difração se torna mais visível quando o comprimento de onda é igual ou menor que o tamanho da fenda do obstáculo.

Figura 5: Representação do fenômeno ondulatório de Difração.

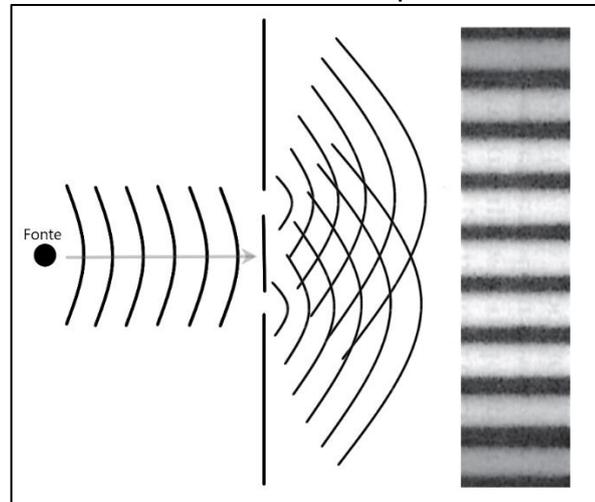


Fonte: do autor.

Analisando partículas ao invés de ondas, estas passariam livremente pela fenda, sem mudar de direção. Esta é uma das principais diferenças entre as características corpusculares e ondulatórias (Tipler; Mosca, 2009a), e foi verificado no experimento da Dupla-Fenda de Thomas Young, realizado em 1801. Este experimento consiste, basicamente, em um feixe de luz que passa por duas fendas estreitas e muito próximas. A luz atravessa as fendas e, através da difração, cada

fenda atua como uma fonte de luz linear. No anteparo a frente, um padrão de interferência é formado, conforme ilustra a Figura 6 (Tipler; Mosca, 2009b).

Figura 6: representação do experimento da dupla-fenda e o padrão de interferência formado no anteparo.



Fonte: do autor.

Se substituirmos a fenda dupla por uma tela com um  $N$  número de fendas, dispõe-se de uma rede de difração. Essas redes são um grande número de fendas, espaçadas igualmente em uma superfície plana. Se iluminadas em um dos lados, as fendas se tornam uma fonte luminosa que sofre difração (Knight, 2009a). Um disco de CD ou DVD são bons exemplos de redes de difração (Tipler, Mosca, 2009b).

A Figura 7 mostra uma vista superior de rede de difração com  $N$  fendas e com espaçamento  $d$  entre as fendas. Se uma onda plana, de comprimento  $\lambda$ , se aproxima da rede de difração, cada fenda irá gerar outras novas frentes de onda, que irão se sobrepor e sofrer interferência umas com as outras. O ângulo formado pelas interferências construtivas é apresentado por  $\theta$  (Knight, 2009a).

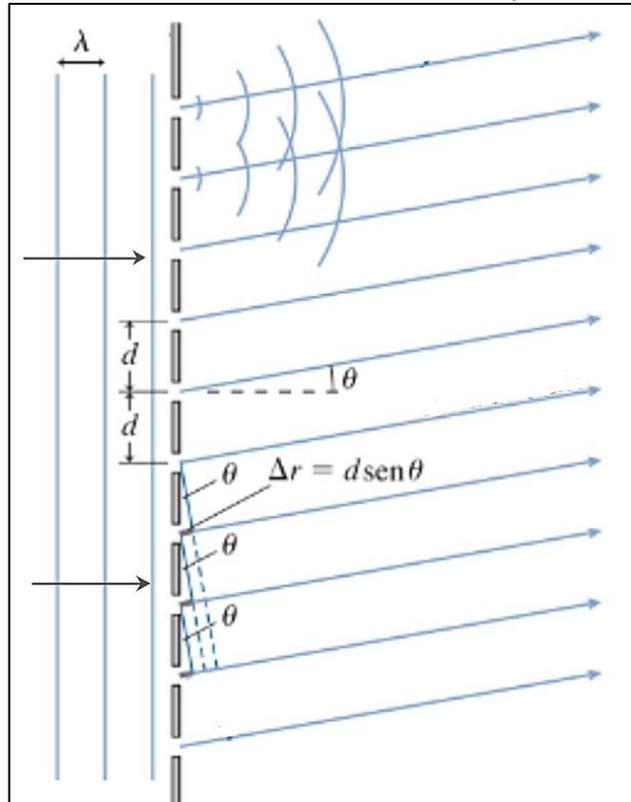
Se quisermos saber o padrão de interferência formado por uma rede de difração, consideramos que a distância das fendas até o anteparo é muito grande, em relação ao tamanho das fendas, da mesma forma que na dupla-fenda. Utilizamos essa aproximação pois, dessa forma, podemos considerar que os raios que atingem o anteparo são paralelos, facilitando a análise matemática. Então, o padrão de interferência formado pode ser descrito por, sendo  $m$ , um número inteiro:

$$d \cdot \text{sen}\theta = m \cdot \lambda \quad (2)$$

Podemos também identificar este padrão pela distância entre as franjas, através da equação:

$$y_m = L \cdot \tan\theta \quad (3)$$

Figura 7: representação do fenômeno de difração da luz quando esta passa por uma rede de difração, sendo  $d$  a distância entre as fendas,  $\theta$  o ângulo da interferência construtiva,  $m$  um número inteiro e  $\lambda$  o comprimento de onda.

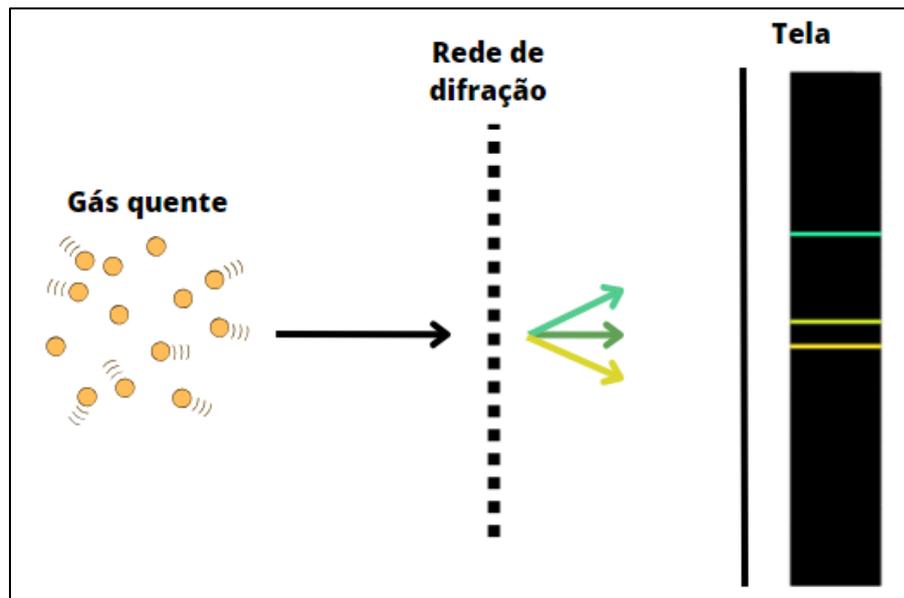


Fonte: KNIGHT, 2009a, p. 678 (adaptada).

Sendo  $y_m$  a posição da  $m$ -ésima franja brilhante e  $L$  a distância até a tela (Knight, 2009a). Em redes de difração, as franjas brilhantes são bem claras e podem ser usadas para separar comprimentos de onda da luz. Se a luz incidente for policromática, que é gerada pela emissão atômica de um gás quente, cada componente sofrerá difração com um ângulo diferente, de acordo com seu comprimento de onda. Se o número de fendas  $N$  for grande o suficiente, veremos franjas diferentes na tela, como é mostrado na Figura 8.

Se tentássemos utilizar o experimento da dupla fenda para esta medição, as franjas brilhantes seriam largas demais para diferenciar os diferentes comprimentos de onda (Knight, 2009a).

Figura 8: representação das franjas criadas por um gás quente que atravessa uma rede de difração.



Fonte: do autor.

A ciência capaz de medir comprimentos de onda de emissões atômicas ou moleculares, é nomeada de espectroscopia. Com esta técnica, é possível identificar comprimentos de onda emitidos por diferentes elementos químicos (Knight, 2009a). Em seguida, será discutido com mais detalhes sobre a espectroscopia óptica.

### 3.2 ESPECTROSCOPIA ÓPTICA

A luz emitida por objetos no espaço é essencial para a sua própria compreensão. É possível obter diferentes informações desses corpos, como sua temperatura, elementos químicos que os formam e características dinâmicas, a partir da radiação eletromagnética emitida, podendo ser observada em diferentes faixas espectrais (Damineli, *et al*, 2011).

Na astronomia, a espectroscopia possui um papel muito importante para determinar essas informações. Esta análise é feita utilizando um espectroscópio, cuja sua função é decompor a luz proveniente da fonte. Este equipamento funciona da seguinte forma: a luz a ser analisada passa por uma fenda, incide sobre uma grade de difração e, assim, é decomposta, como indicado na Figura 8. Através disso é possível analisar a composição química de uma fonte de luz com determinada

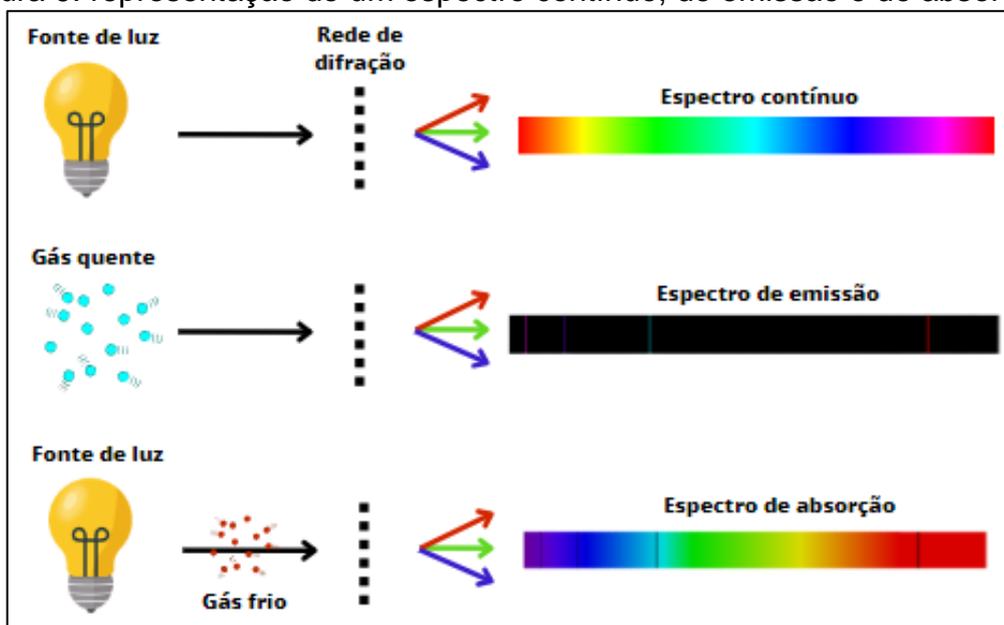
precisão, visto que os elementos químicos possuem íons distintos de cada substância presente no corpo. Comparando a posição das linhas espectrais da fonte de luz observada, é possível identificar os respectivos comprimentos de onda das linhas e os elementos químicos que as formam (Damineli, *et al*, 2011).

No século XIX, o físico alemão Gustav Kirchhoff (1824-1887) realizou diversos experimentos utilizando sólidos e gases com diferentes condições de temperatura e pressão. A partir desses resultados, ele formulou três leis que descrevem o espectro emitido por uma fonte. Elas são conhecidas como as Leis de Kirchhoff da espectroscopia e afirmam que

- (1). Um sólido ou líquido aquecido, ou ainda um gás suficientemente denso, emite energia em todos os comprimentos de onda, de modo que produz um espectro contínuo de radiação;
  - (2). Um gás quente de baixa densidade emite luz cujo espectro consiste apenas em linhas de emissão características da composição química do gás;
  - (3). Um gás frio de baixa densidade absorve certos comprimentos de onda quando uma luz contínua o atravessa, de modo que o espectro resultante será um contínuo sobreposto por linhas de absorção características da composição química do gás.
- (Damineli, *et al*, 2011, p. 33)

As Leis de Kirchhoff da Espectroscopia estão representadas visualmente na Figura 9, demonstrando os espectros contínuos, de emissão e de absorção.

Figura 9: representação de um espectro contínuo, de emissão e de absorção.



Fonte: do autor.

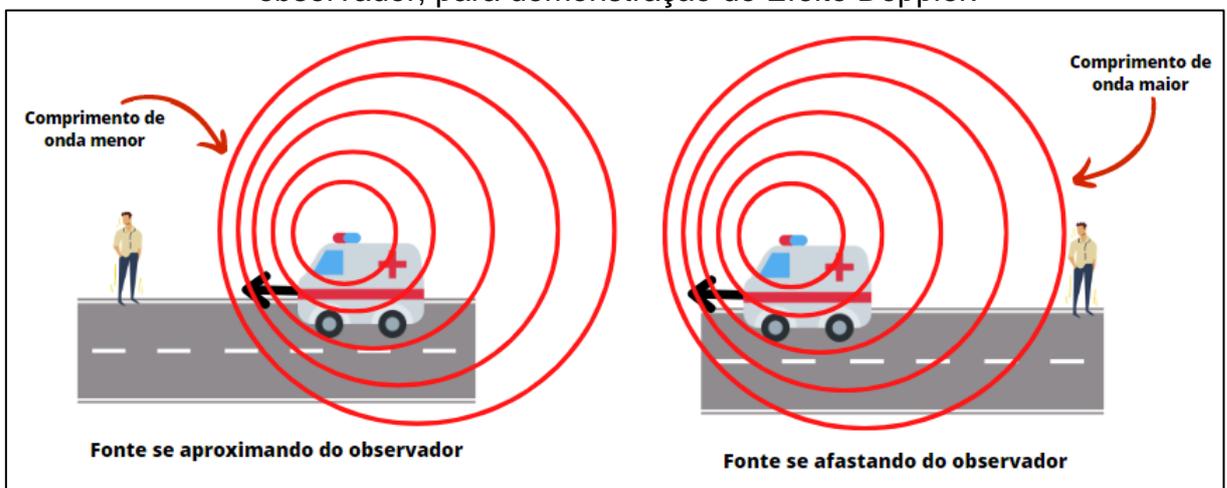
### 3.3 EFEITO DOPPLER DA LUZ

Além da composição química e temperatura, é possível obter informações sobre o estado dinâmico de objetos astronômicos, utilizando a espectroscopia. Se uma fonte de luz se movimentar em relação ao observador, a radiação emitida sofre um fenômeno ondulatório chamado efeito Doppler, que modifica a sua frequência e comprimento de onda (Damineli, et al, 2011), discutido com mais detalhes a seguir.

O efeito Doppler é um fenômeno ondulatório, que pode ser percebido no cotidiano sempre quando há movimento relativo entre uma fonte sonora e o observador. Por exemplo, se uma fonte sonora está se aproximando de um observador em repouso, espaço entre cada crista da onda fica menor, resultando em uma diminuição do comprimento de onda e, conseqüentemente, um aumento da frequência, produzindo um som mais agudo. Agora, se esta mesma fonte está se afastando do observador em repouso, o comprimento de onda fica maior, e conseqüentemente, a frequência menor, produzindo um som mais grave. (Tipler; Mosca, 2009c).

Um exemplo desse fenômeno são sirenes de ambulâncias ou viaturas ao se aproximarem e se afastarem de nós. Ao se aproximarem, percebemos que o som fica mais agudo e ao se afastarem, mais grave. A Figura 10 representa visualmente este exemplo.

Figura 10: representação de uma fonte sonora se aproximando e afastando do observador, para demonstração do Efeito Doppler.



Fonte: do autor.

Como as ondas eletromagnéticas possuem propriedades ondulatórias, elas também podem exibir o Efeito Doppler. Contudo, neste caso, a variação do comprimento de onda resulta em uma mudança da cor desta luz. Desta forma, se o movimento da fonte ocorrer na mesma direção em que o observador está localizado, a frequência aumenta e o comprimento de onda diminui, fazendo com que a radiação emitida tenha um desvio para a faixa do azul (chamado de *blueshift*). Se o movimento da fonte for da direção contrária ao observador, então o comprimento de onda aumenta e a frequência diminui, provocando assim um desvio para a faixa do vermelho (chamado de *redshift*) (Damineli, *et al*, 2011). A Figura 11 representa, fora de escala, este efeito.

Este deslocamento do comprimento de onda é dado pela Equação 4, sendo  $\Delta\lambda$  a diferença do comprimento de onda observado e o comprimento de onda emitido,  $\lambda_o$  o comprimento de onda emitido,  $v$  a velocidade da fonte em relação ao observado e  $c$  a velocidade da luz.

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_o} = \frac{v}{c} \quad (4)$$

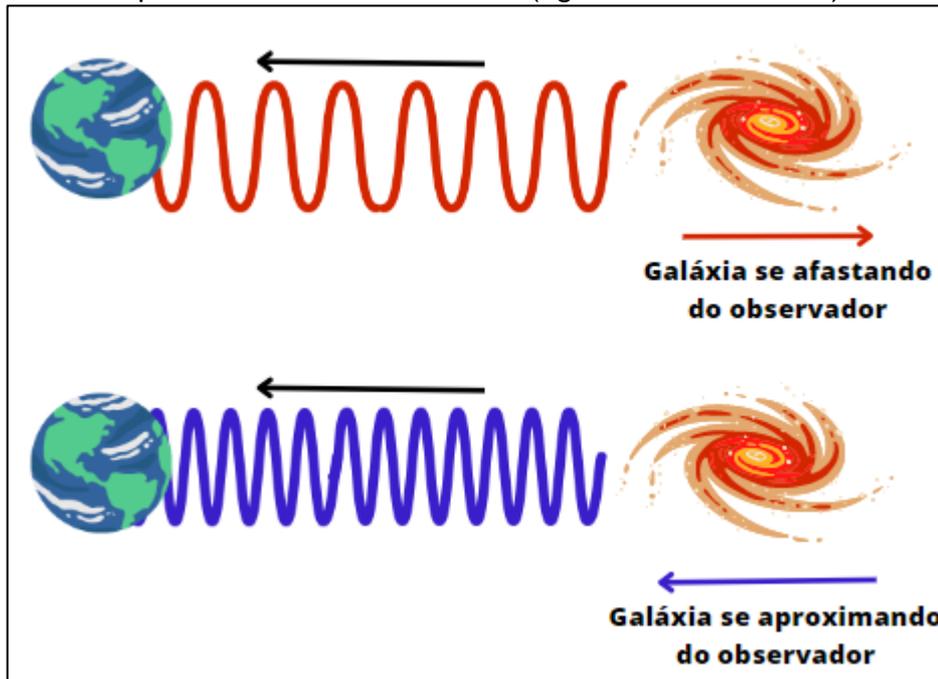
Para as ondas eletromagnéticas, é preciso levar em consideração que o intervalo de tempo medido para o referencial da fonte é diferente do receptor. Dessa forma, é necessário incluir a dilatação temporal nas equações para o efeito Doppler. A Equação 5 descreve a diferença na frequência observada quando a fonte está se aproximando do receptor (Tipler; Mosca, 2009c).

$$f' = \sqrt{\frac{1+(v/c)}{1-(v/c)}} \cdot f_o \quad (5)$$

Quando a fonte está se afastando, a frequência é descrita pela Equação 6 (Tipler; Mosca, 2009c), sendo  $f'$  a frequência observada pelo receptor,  $v$  a velocidade da fonte,  $c$  a velocidade da luz e  $f_o$  a frequência emitida pela fonte:

$$f' = \sqrt{\frac{1-(v/c)}{1+(v/c)}} \cdot f_o \quad (6)$$

Figura 11: representação do Efeito Doppler de uma galáxia se afastando ou se aproximando do observador (figura fora de escala).



Fonte: do autor.

### 3.4 EXPANSÃO DO UNIVERSO

O efeito Doppler da luz possibilitou alcançar o conhecimento que possuímos a respeito da expansão do Universo. Ele se dá a partir da medição do movimento de um corpo luminoso se deslocando diretamente na linha de visão. Quando uma galáxia está se afastando de nós, o comprimento de onda da luz emitida por ela, fica maior, então temos um desvio para o vermelho do seu espectro. Se ela estiver se aproximando (como a galáxia de Andrômeda), o comprimento de onda fica menor, ocorrendo um desvio para o azul. Através do efeito Doppler é possível identificar a distância de estrelas próximas através sua velocidade transversal à linha de visão. (Weinberg, 1993).

Em 1923, o físico Edwin Hubble conseguiu medir com grande precisão as distâncias de algumas supostas nebulosas e estrelas Cefeidas<sup>1</sup>. Alguns anos depois, ele publicou seus resultados e mostrou que as nebulosas eram, na verdade, outras galáxias. Em 1929, Hubble verificou que a distância das galáxias possuía uma relação

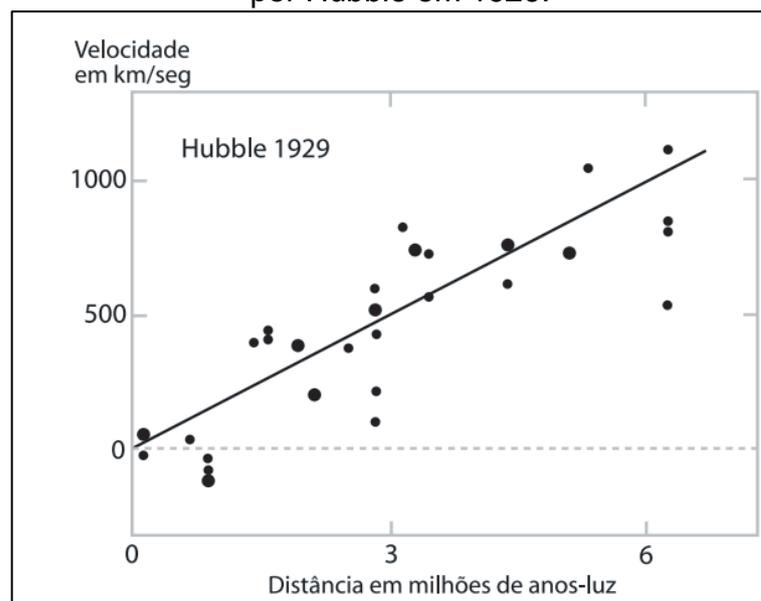
<sup>1</sup> Cefeidas: são estrelas que possuem uma luminosidade variável e costumam ser usadas para determinar distâncias de galáxias (Damineli, et al, 2011).

com a velocidade em que ela se afasta de nós, conhecida como Lei de Hubble (Damineli, *et al*, 2011):

$$v = H_0 \cdot D \quad (7)$$

Na relação 7,  $v$  é a velocidade com que as galáxias se afastam,  $H_0$  a constante de Hubble e  $D$  a distância da galáxia em relação à nós. A Figura 12 demonstra a relação entre a distância das galáxias e as suas respectivas velocidades de afastamento, determinadas por Hubble.

Figura 12: Relação entre a distância das galáxias e a velocidade de fuga descoberta por Hubble em 1929.



Fonte: Damineli, *et al*, 2011, p. 260

A relação de Hubble é de suma importância para a cosmologia moderna. O valor desta constante é de grande debate na literatura pelo fato de possuir diversas maneiras de realizar sua medição, porém há a certeza de que o Universo está se expandindo. A taxa de expansão é determinada por essa constante, e permanece a mesma em todas as direções. Há algumas exceções quando existe um excesso de aceleração gravitacional devido a aglomerações (Souza, 2019). A constante de Hubble medida em 2018 possui um valor aproximado de 73,5 km/s/Mpc Sendo 1 Mpc (megaparsec) cerca de 3 milhões de anos-luz. (Pedreira, 2022).

A lei de Hubble foi logo considerada como uma evidência da expansão do Universo. Porém, se ela mostra que o Universo está se expandindo, podemos concluir que em algum momento ele já foi menor, ou até mesmo possuiu um tamanho nulo. A

ideia de que o Universo estava compactado em um ponto muito pequeno é conhecido como Big Bang. No Big Bang, a expansão do Universo não se refere apenas à matéria, mas também ao espaço e o tempo (Damieli, *et al*, 2011).

A partir dessas conclusões, é possível supor que no passado havia condições físicas muito diferentes das atuais, como as densidades, temperaturas do Universo (Souza, 2019). Pode-se estimar a idade do Universo de forma aproximada conforme a Equação 8:

$$tempo = \frac{distância}{velocidade} = \frac{distância}{H_0 \cdot distância} = \frac{1}{H_0} \quad (8)$$

Utilizando a constante de Hubble, é possível estimar a idade aproximada do Universo, a partir da Equação 8 (Damineli, *et al*, 2011):

$$\frac{1}{73,5 \frac{km}{s}} = \frac{1 mpc}{73,5 km} s =$$

$$\frac{3,086 \cdot 10^{19} km}{73,5 km} s = 4,198 \cdot 10^{17} s = 13,3 \text{ bilhões de anos}$$

### 3.4.1 A Expansão acelerada do Universo

Com as observações de Hubble, ficou claro que o Universo estava se expandindo. Mas, as estrelas Cefeidas utilizadas por Hubble não podem ser observadas em distâncias muito grandes, devido seu brilho fraco. Dessa forma, seria necessário utilizar objetos astronômicos com uma luminosidade muito maior, como supernovas. Elas são explosões que ocorrem no final da vida de uma estrela e isso produz uma quantidade de luz muito grande, facilitando esse tipo de observação (Reis, Siffert, 2022).

As supernovas utilizadas para esse tipo de observação são do tipo IA: elas surgem de explosões termonucleares de estrelas anãs brancas em sistemas binários. As explosões dessas supernovas produzem uma luminosidade muito parecida umas com as outras, o que é fundamental para fazer um comparativo nesse tipo de observação, e podemos considera-las como Velas-Padrão (Reis, Siffert, 2022).

É possível estimar a distância de um objeto pela luminosidade que ele emite, através da equação abaixo, onde F é o fluxo de luminosidade, ou quantidade de luz, que recebemos na câmera do telescópio e L a luminosidade da fonte:

$$d_F = \sqrt{\frac{L}{4\pi F}} \quad (9)$$

Nesta equação consideramos que todas as supernovas estariam a uma distância de 10 parsecs. Então, sabendo a luminosidade de fontes próximas, é possível estimar a luminosidades parecidas de fontes mais distantes, utilizando o conceito de velas-padrão.

Até os anos 90 acreditava-se que essa expansão era desacelerada. Conforme os conhecimentos até esta época, acreditava-se que o Universo era composto apenas de matéria não relativística (matéria comum e matéria escura, que se movem em velocidades pequenas) e radiação, o que levava a previsões de que a velocidade da expansão diminuiria com o tempo (Reis, Siffert, 2022).

Assim, começou-se a utilizar essas supernovas para observar o parâmetro da expansão, na década de 90. O Universo sendo composto pela matéria não relativística, ele se expandiria de forma desacelerada. Os primeiros trabalhos que buscavam essas informações, estavam tentando estimar o valor do parâmetro dessa desaceleração, hoje chamado de  $q_0$ . Se  $q_0 > 0$ , indica que o Universo está se expandindo de maneira desacelerada e se  $q_0 < 0$ , de maneira acelerada (Reis, Siffert, 2022).

Em 1998, uma colaboração chamada High-Z Supernova Search tinha o objetivo de achar supernovas com um parâmetro de desvio do espectro específico, medir suas distâncias e calcular parâmetros cosmológicos (Riess et al, 1998). Observando uma amostra com 50 supernovas do tipo IA, eles perceberam que, na verdade, elas se afastavam de maneira acelerada, com um parâmetro de aceleração  $q_0 < 0$ . Essa descoberta, publicada em 1998, fez os autores Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt e Adam G. Riess serem laureados com o Prêmio Nobel de 2011 (The Nobel Prize in Physics, 2011).

#### 3.4.1.1 *Energia Escura*

Para ter uma aceleração, seria necessário existir alguma coisa que cause esse comportamento (Reis, Siffert, 2022). Conforme Riess *et al* (1998), uma possível explicação para esta observação é que a energia do vácuo acelera a expansão. O vácuo pode ser considerado uma fonte de energia que permite explicar a causa da

expansão acelerada. Conforme a teoria da relatividade geral, se existir um meio com pressão negativa suficiente, é possível gerar uma repulsão gravitacional, ao contrário do que diz a mecânica newtoniana. Mesmo a energia do vácuo sendo uma possível explicação, o valor da sua densidade se mantém constante, enquanto a densidade de matéria mudou ao longo da evolução do Universo (Souza, 2019).

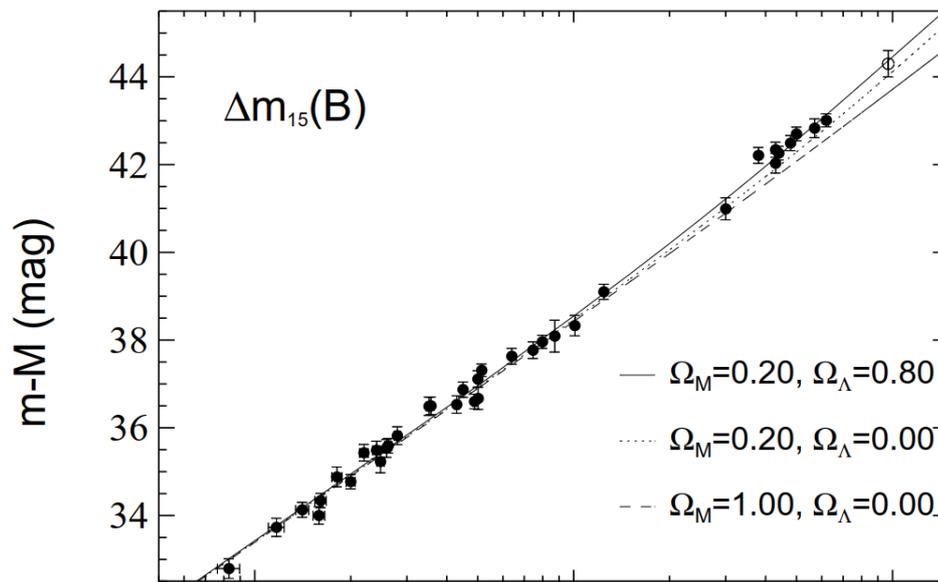
Na Figura 13 é possível verificar os dados obtidos por Riess *et al* (1998) nas suas observações, plotados em um gráfico da variação da magnitude aparente em função do desvio para o vermelho do espectro. Os pontos indicam as observações das supernovas do tipo IA. A linha tracejada demonstra a previsão feita se o Universo fosse composto apenas de matéria não relativística, a linha pontilhada se ele fosse composto de matéria não-relativística, mas ainda não levando em consideração a constante cosmológica, que é uma constante que indica a taxa de expansão do Universo. Na linha contínua, a previsão feita de parte do universo fosse de matéria não relativística e outra parte fosse de algum outro componente.

Como podemos observar na Figura 13, os dados obtidos se aproximam mais da linha contínua, indicando que há outra energia que faz com que o Universo tenha uma expansão acelerada, além da energia do vácuo.

Essa energia foi nomeada de energia escura. Várias alternativas surgiram para tentar descrevê-la, como a Quintessência, de Caldwell, Dave e Steinhardt. Nesse modelo, a energia escura teria origem no decaimento de um campo quântico, que dominava o Universo antes da Inflação, e contém características que podem repelir gravitacionalmente. Segundo eles, a quintessência não emite luz, possui uma pressão negativa e deve ser homogênea em grandes escalas, caso contrário sua presença já teria sido detectada (Souza, 2019).

Apesar da energia do vácuo ser a explicação mais trivial para a expansão acelerada do Universo, as observações realizadas mostram uma diferença entre os valores de densidade de energia de  $10^{55}$  vezes. Supondo que só existisse a energia do vácuo como fator para a expansão acelerada, o Universo teria uma idade de  $10^{-10}$  segundos e o tamanho do horizonte causal de apenas 3 cm (Souza, 2019).

Figura 13: Gráfico da variação da magnitude aparente em função do desvio para o vermelho do espectro. A linha pontilhada representa a previsão do Universo se ele fosse composto de matéria não-relativística sem levar em consideração a constante cosmológica, a linha tracejada demonstra a previsão feita se o Universo fosse composto apenas de matéria não relativística, e a linha contínua indica a previsão feita de parte do universo fosse de matéria não relativística e outra parte fosse de algum outro componente.



Fonte: Riess *et al* (1998), p. 1022.

### 3.5 BIG BANG

A teoria do Big Bang é o modelo que explica a origem e evolução do Universo. Apesar do nome ser relacionado com uma explosão, esta é uma relação incorreta, pois ocorreu, na verdade, uma grande expansão. Não temos hoje uma teoria que explique tudo o que ocorreu, principalmente antes da Era de Planck (quando o Universo possuía  $10^{-43}$  segundos de vida). Porém, podemos avançar a partir do instante primordial e tentar entender como ocorreu a evolução do Universo, utilizando hipóteses e evidências experimentais.

Uma das evidências experimentais que confirmam a teoria do Big Bang é a radiação cósmica de fundo de micro-ondas, prevista por George Gamow no final da década de 1940 e detectada em 1964, por Arno Penzias e Robert Wilson. Essa radiação é um resquício da era em que a maior parte do Universo era formado por

ela. Ela é uma das descobertas mais importantes para confirmar que, em algum momento, o Universo era muito quente e denso. Acredita-se que nessa radiação encontram-se informações que ajudam no entendimento da formação de galáxias e aglomerados. Apesar da quantidade dessa radiação ser pequena, quando comparada com a quantidade de matéria, no passado, a densidade desse gás de fótons deve ter sido igual ou até maior que a densidade de matéria (Souza, 2019).

O principal motivo para supor a existência desta grande quantidade de radiação nos primeiros instantes do Universo, é que ela pode ser comparada a um corpo negro. O comprimento de onda onde ocorre o máximo de emissão evolui proporcionalmente ao parâmetro de escala (R) do Universo, ou seja, conforme o Universo se expande, o comprimento de onda dessa radiação também aumenta. Isso indica que a radiação presente no Universo possuía comprimento de ondas menores, logo, os fótons eram mais energéticos em um passado remoto. Dessa forma, a temperatura (T) dessa radiação também deveria ser mais alta, conforme indicado na Equação 10:

$$\frac{T}{T_0} = \frac{1}{R} = 1 + z \quad (10)$$

Sendo  $T_0$  a temperatura atual, e  $1 + z$  o efeito *redshift*. Essa equação demonstra que, se o tamanho do Universo era 10000 vezes menor ( $1 + z = 10000$ ), a temperatura deveria ser 10000 vezes maior também (Souza, 2019).

### 3.5.1 O Modelo-Padrão: conceitos básicos sobre partículas

O objetivo da discussão sobre o Modelo-padrão neste trabalho é fundamentar a explicação sobre história da origem do Universo, que envolve um conhecimento básico sobre a interação de algumas partículas fundamentais.

Desde 1978, o Modelo padrão é a teoria oficial da física das partículas elementares. Ele é composto por três teorias principais: a teoria dos quarks, que explica a estrutura das partículas; a teoria eletrofraca, que une a interação eletromagnética e fraca; e a cromodinâmica quântica, que aborda a interação forte. Embora não responda a todas as perguntas, o Modelo padrão é capaz de explicar muitas das propriedades e interações das partículas fundamentais.

Neste modelo, as partículas fundamentais, ou seja, aquelas não possuem uma estrutura interna observável, são os léptons e os quarks, e cada um dos quais apresenta seis “sabores” distintos, separadas em três gerações. Toda a matéria é

composta por léptons e quarks. Até agora, não foi registrada nenhuma partícula constituída por mais de um lépton, ou seja, os léptons sempre são encontrados como partículas individuais. Já os hádrons, como os bárions e os mésons, são formados por agrupamentos de quarks.

Os léptons são considerados partículas fundamentais. Cada lépton possui um neutrino correspondente, sendo o mais conhecido deles, o elétron. Na Tabela 1, há os “sabores” existentes do léptons e seu neutrino correspondente, seu símbolo e carga elétrica (Tipler, Llewellyn, 2014).

Tabela 1: tabela de léptons, seu símbolo e sua carga correspondente.

Lépton	Símbolo	Carga
Elétron	$E$	-1
Neutrino do elétron	$\nu_e$	0
Múon	$\mu$	-1
Neutrino do múon	$\nu_\mu$	0
Táuon	$\tau$	-1
Neutrino do táuon	$\nu_\tau$	0

Fonte: adaptado de Tipler, Llewellyn, 2014, p. 590.

Além dos léptons, como partículas fundamentais há também os Quarks, os quais podem se unir e formar outras partículas. As combinações de três quarks são chamadas de bárions, como Prótons e Nêutrons, por exemplo. Na Tabela 2, há as informações sobre os Quarks, seu símbolos e carga elétrica (Tipler, Llewellyn, 2014).

Tabela 2: tabela de Quarks, seu símbolo e carga correspondente.

Quark	Símbolo	Carga
Up	$U$	$2/3$
Down	$D$	$-1/3$
Charme	$C$	$2/3$
Estranho	$S$	$-1/3$
Top	$T$	$2/3$
Bottom	$B$	$-1/3$

Fonte: adaptado de Tipler, Llewellyn, 2014, p. 590.

Existe uma antipartícula para cada partícula existente. Uma partícula e sua respectiva antipartícula compartilham a mesma massa e spin, mas apresentam cargas elétricas opostas. Por exemplo, a antipartícula do elétron, que possui carga negativa, é o pósitron. O pósitron possui a mesma massa e momento angular que o elétron,

mas possui carga elétrica positiva. Quando elas se encontram, elas acabam se aniquilando (Tipler, Llewellyn, 2014).

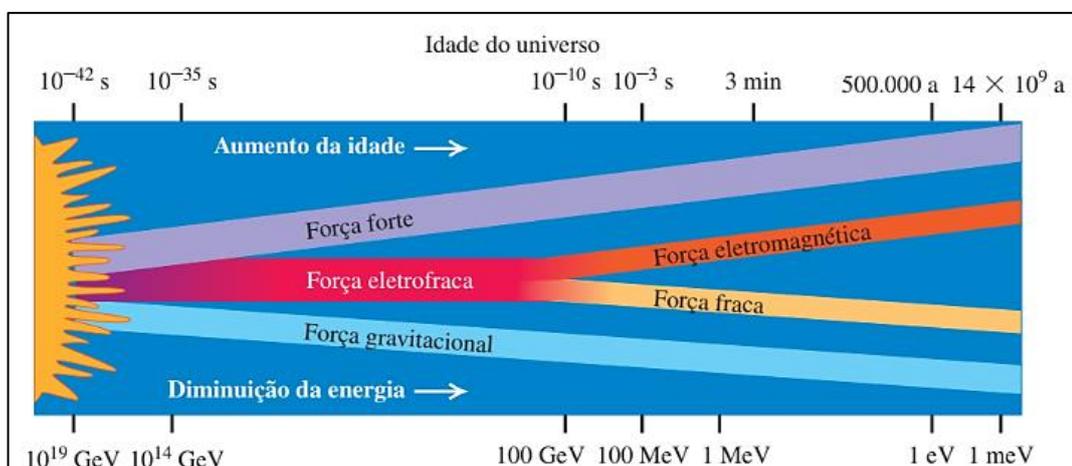
### 3.5.2 A História da Origem do Universo

Conforme a teoria do Big Bang, a temperatura do Universo no instante  $t = 10^{-43}$  s, também chamado de Era de Planck, era aproximadamente  $10^{32}$  K, e a energia média por partícula era de  $10^{19}$  GeV.

Entre este intervalo de tempo e  $t=10^{-35}$  s, as interações entre as forças forte e fraca estavam unidas. O Universo continha uma grande quantidade de quarks e léptons que se transformavam constantemente. Outras partículas com massas maiores podem ter existido e sido destruídas livremente (Young, Freedman, 2016).

No instante  $t = 10^{-35}$  s, a temperatura do Universo diminuiu para  $10^{27}$  K e a energia média era de  $10^{14}$  GeV. Neste instante, a interação entre a força forte e a fraca se separam. Pode-se comparar essa separação com a ebulição de um líquido: é um processo comparável a um núcleo pesado entrando em ebulição, o que faz as partículas se afastar e ficarem fora do alcance das forças nucleares. Este processo é esquematizado na Figura 14.

Figura 14: separação da força forte e fraca, conforme a idade e energia do Universo



Fonte: Young, Freedman, 2016, p 489.

Devido esse processo, o Universo passou a se expandir de forma drástica, mais rápido que nos dias atuais, onde o fator de escala  $R$  aumentou  $10^{50}$  vezes em  $10^{-32}$  s. Este período ficou conhecido como inflação cósmica.

No instante  $t = 10^{-32}$  s, o Universo era formado por quarks, léptons e bósons mediadores. Ele permaneceu se expandindo e esfriando até o instante  $t = 10^{-6}$  s. Neste período, a temperatura era de aproximadamente  $10^{13}$  K e a energia média era de 1 GeV. Os quarks começaram a se unir e formar núcleons e antinúcleons. Fótons com energia suficiente produziam pares de núcleons-antinúcleons para equilibrar o processo de aniquilamento.

Em  $t = 14$  s, a energia média reduziu-se para 1 MeV, fazendo com que a produção de pares cessasse. Isso fez com que o Universo ficasse com muito mais partículas do que antipartículas. Em uma temperatura próxima a  $10^{10}$  K, a distribuição de prótons é 4,5 vezes maior que a de nêutrons. Nêutrons livres decaem espontaneamente formando prótons, o que fez com que essa distribuição aumentasse até o instante  $t = 225$  s. Neste período, a temperatura era de  $10^9$  K e a energia média era de 2 MeV.

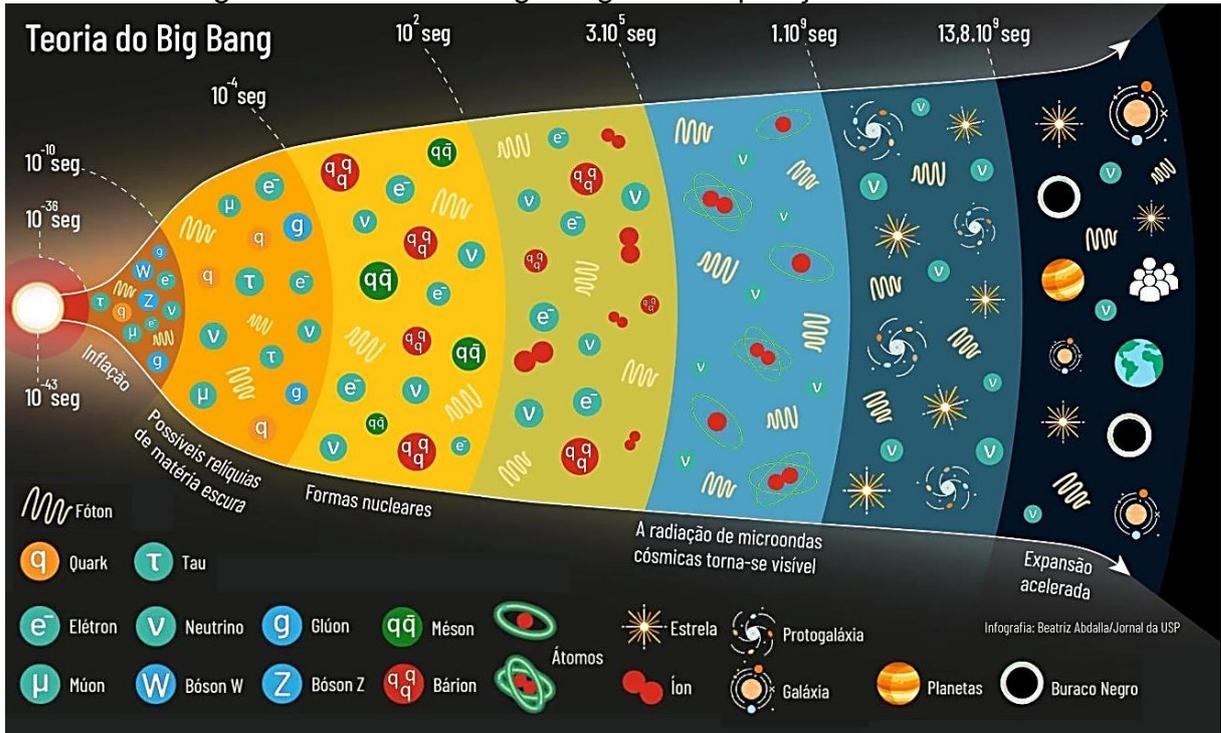
Este instante foi marcado pelo início da formação de deutérios, período chamado de nucleossíntese (formação de núcleos), formando núcleos de Hidrogênio, Hélio e alguns de Lítio. A energia média ainda era muito elevada para que os elétrons ficassem ligados aos núcleos formados, não existindo nenhum átomo.

A nucleossíntese de outros elementos químicos começou somente em  $t = 10^{13}$  s, ou 380.000 anos. Neste instante, a temperatura do Universo era de 3000 K e a energia média era de décimos de elétrons-volt.

Lentamente e átomos neutros foram formando nuvens de gás e, posteriormente, as estrelas, por conta da atração gravitacional. Os átomos com massas mais elevadas passaram a ser formado no interior das estrelas (Young, Freedman, 2016).

Para uma melhor compreensão de todos os instantes significativos para a formação do Universo, a Figura 15 mostra a idade, o período e a sua composição em cada período.

Figura 15: Teoria do Big Bang e a composição do Universo.



Fonte: Adaptada de Abdalla, B., Jornal da USP, 2019. Disponível em <<https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-exatas-e-da-terra/maior-acelerador-de-particulas-do-mundo-passa-por-um-upgrade-o-que-vem-por-ai/>>

## 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DE ENSINO APRENDIZAGEM

### 4.1 A BNCC E O NEM DE SANTA CATARINA

A BNCC entrou em vigor, em todas as escolas do país, no ano de 2022, com a implementação obrigatória do NEM. O objetivo deste novo currículo, na área de Ciências da Natureza, é propor ao estudante o desenvolvimento da capacidade de

analisar e discutir situações-problema que emerjam de diferentes contextos socioculturais, além de compreender e interpretar leis, teorias e modelos, aplicando-os na resolução de problemas individuais, sociais e ambientais (Brasil, 2018, p. 548).

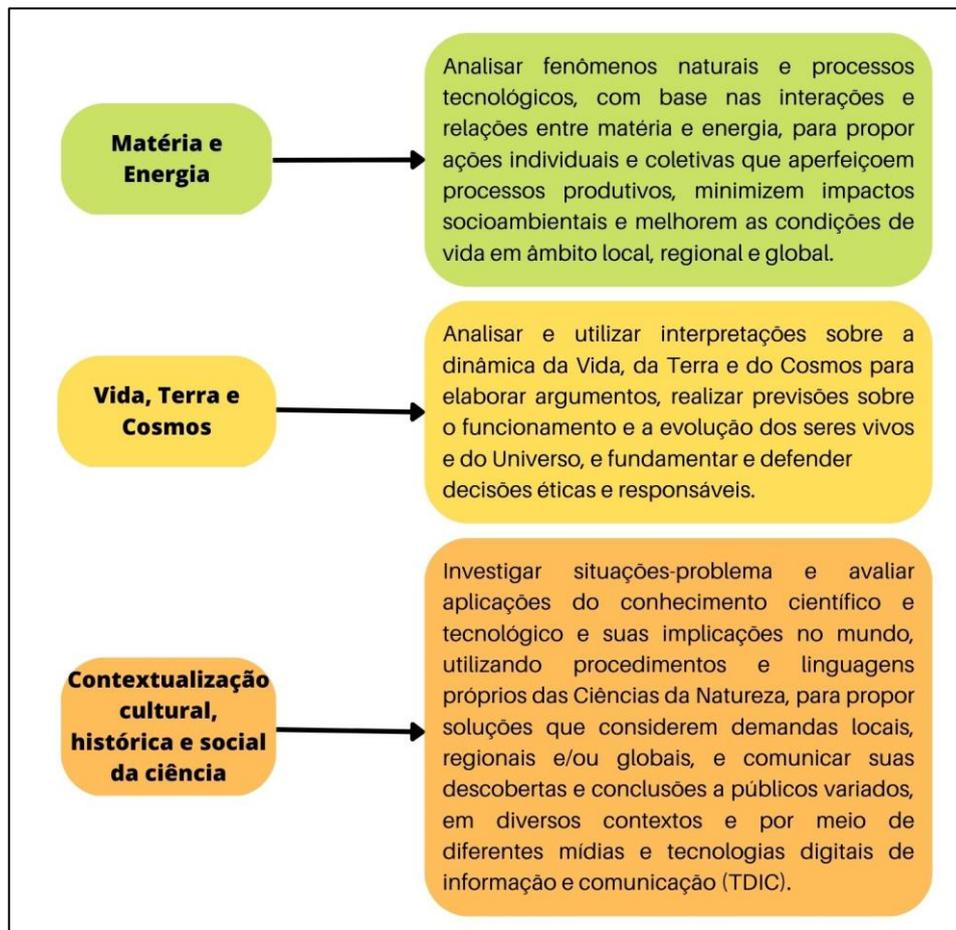
A BNCC é dividida em três competências e cada competência possui uma série de habilidades a serem desenvolvidas. Elas estão presentes no currículo base dos estudantes desde o Ensino Fundamental, sendo o papel do Ensino Médio aprofundar e melhorar as habilidades já adquiridas. A Figura 16 ilustra as temáticas e suas respectivas competências (Brasil, 2018).

Além disso, a nova base curricular prevê a inserção de metodologias de ensino voltadas para a resolução de situações-problemas, práticas investigativas e contextualização histórica do conhecimento. Elas estão intrínsecas nas habilidades de cada uma das competências (Brasil, 2018).

Para a implementação da BNCC e do NEM, o Estado de Santa Catarina criou um documento que norteia a aplicação dos documentos nacionais nas escolas estaduais. No CBEMTC, a área da Ciências da Natureza é dividida em três componentes curriculares: Biologia, Química e Física.

Segundo este documento, a Física deve tratar “da sistematização de regularidades de toda a matéria e energia em seus movimentos, em suas múltiplas interações e suas constituições elementares” (Santa Catarina, 2021, p. 174 *apud* Santa Catarina, 2014, p. 160). Com os estudantes, deve ser trabalhado as leis e os princípios físicos que regem a natureza e o funcionamento de tecnologias utilizadas no cotidiano.

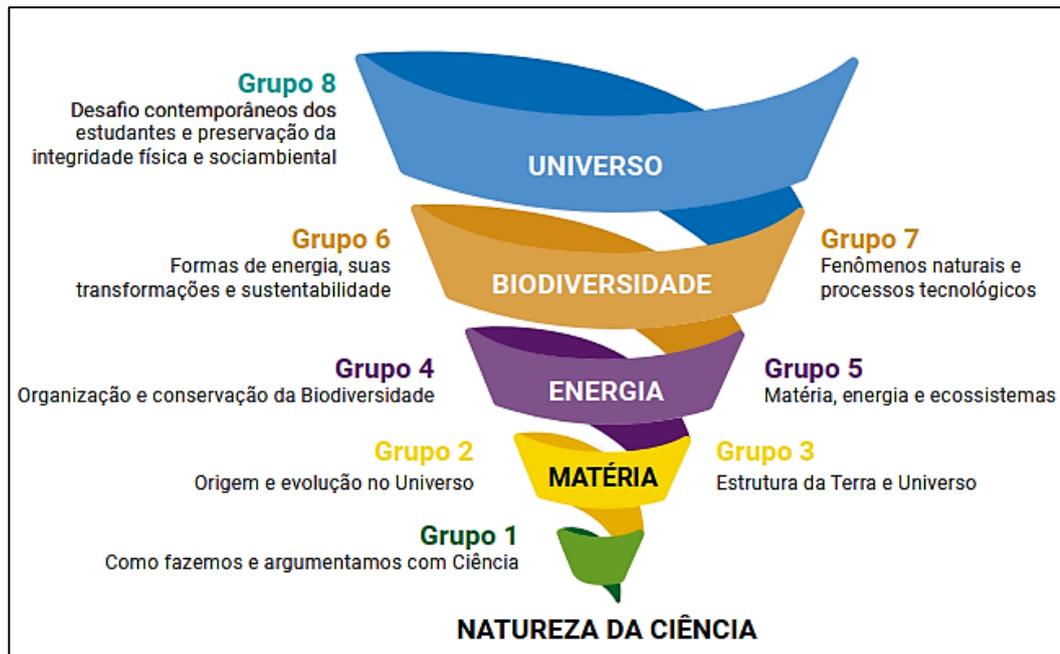
Figura 16: Competências específicas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias para o NEM.



Fonte: do autor.

No CBEMTC (Santa Catarina, 2021), o currículo está organizado em uma forma em que o conhecimento é visto de forma mais complexa a cada etapa. A área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias possui conceitos estruturantes que englobam a natureza da ciência, matéria, energia, biodiversidade e Universo. Na Figura 17, há a estrutura em espiral da organização do novo currículo catarinense, com todos os conceitos estruturantes e ordem de aplicação dos mesmos em sala de aula. Cada conceito estruturante possui um objeto do conhecimento que engloba as disciplinas de Física, Química e Biologia.

Figura 17: Currículo em espiral de Santa Catarina baseado na BNCC.



Fonte: Santa Catarina, 2021, p. 183.

O produto didático proposto está dentro dos Grupos 2 e 3 da Figura 17. Os objetos do conhecimento contemplados nesses grupos condizem com o que foi elaborado na proposta: o estudo do Big Bang, nucleossíntese, estrutura da matéria e espectroscopia, causas e efeitos dos movimentos dos objetos macroscópicos e corpos celestes, evolução do Universo, interações fundamentais da natureza, estrutura da matéria, fenômenos e instrumentos ópticos e conhecimento (senso comum, científico, filosófico).

O produto didático também teve que ir de encontro com as metodologias propostas na BNCC (Brasil, 2018) e no CBEMTC (Santa Catarina, 2021). A forma de ministrar os objetos do conhecimento deve ser pensada para garantir

uma aproximação maior com os processos e práticas de investigação na Área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, de modo a conseguirem identificar e formular problemas, propor e testar hipóteses, escolher formas e instrumentos para coletar dados e informações acerca dos objetos de estudo, planejar e realizar atividades experimentais e de campo, avaliar, tirar conclusões e comunicar suas pesquisas (Santa Catarina, 2021, p. 194).

Dessa forma, optou-se por produzir uma sequência didática, que irá compor o produto didático, baseado nas Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS).

#### 4.2 UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS)

A UEPS se apoia em diversos teóricos da aprendizagem, como Vygotsky, Novak, Gowin, Vergnaud, Moreira, Johnson-Laird e principalmente em Ausubel (Ferreira, *et al*, 2020). Ela tem como objetivo fazer com que os alunos relacionem seus conhecimentos prévios com os apresentados e tenham a capacidade de resolver problemas frente a novas situações (Pantoja; Moreira, 2019).

Durante uma UEPS, o aluno é exposto a diferentes informações, que se relacionam com um conhecimento específico já existente, chamado de subsunçor. Ele possui um vínculo com o conteúdo que está sendo ensinado e serve de base para o aprendizado de novos conceitos. Porém, há situações que o estudante não possui os subsunçores necessários para aprender determinados temas. Dessa forma, existem os organizadores prévios que, segundo Ausubel, se baseiam na

a) a importância das ideias relevantes e apropriadas já estabelecidas na estrutura cognitiva, para torná-las potencialmente significativas e proporcionar apoio estável ao novo conhecimento; b) utilizar um material mais geral e inclusivo do que os subsunçores é mais vantajoso, devido a maior estabilidade, poder de explicação e capacidade de integração à estrutura cognitiva; e c) tentar identificar aspectos relevantes para o ensino na estrutura cognitiva e explicitar a sua relação com o material instrucional (Ferreira, *et al*, 2020, p. 4).

É importante ressaltar que, quando o estudante é submetido a uma UEPS, ele pode ou não desenvolver uma aprendizagem significativa dos conceitos apresentados. Este processo é determinado também pelo engajamento e intenção do aluno de aprender significativamente, ou seja, requer predisposição (Ferreira, *et al*, 2020).

A construção de uma UEPS é baseada em princípios, conforme discutido por Moreira (2011), e são apoiados pelos teóricos citados acima. Dentre eles: (1) O primeiro princípio se baseia na aprendizagem significativa de Ausubel, onde o

conhecimento prévio é a variável de maior intervenção na aprendizagem; (2) os sentimentos, os pensamentos e as ações de quem está aprendendo são importantes quando integrados ao processo de aprendizagem; (3) o estudante decide se quer ter uma aprendizagem significativa; (4) organizadores prévios facilitam a relação entre o conhecimento que o aluno já sabe com o que irá aprender; (5) Situações-problemas trazer sentido aos novos conhecimentos e podem ser usadas como organizadores prévios; (6) deve ser levado em conta que a consolidação da aprendizagem ocorre de maneira progressiva; (7) as situações-problemas devem ser fornecidas pelo professor; (8) a interação social e a linguagem são essenciais para o processo de aprendizagem; (9) estudante, professor e material educativo devem possuir uma relação que facilite o entendimento dos significados; (10) a aprendizagem deve ser significativa e crítica.

A construção da proposta do produto didático elaborado neste trabalho fundamentou-se nos princípios citados acima. Além deles, utilizou-se como base uma série de passos para serem seguidos na construção de uma UEPS, definidos por Moreira (2011). Esses passos estão explicitados no Quadro 2.

Quadro 2: Passos para a elaboração de uma UEPS

1º passo: Definição do assunto	Neste passo, o professor deve definir um assunto específico que será tratado do início ao fim da UEPS.
2º passo: Verificação dos conhecimentos prévios	O professor deve definir uma situação problema inicial, que deverá ter como objetivo identificar os conhecimentos prévios dos alunos.
3º passo: Situação-problema inicial	Neste passo, também deve-se elaborar uma situação-problema simples, que aborde os conhecimentos prévios.
4º passo: Introdução ao assunto	O professor deve introduzir o tema que será abordado aos estudantes.
5º passo: Resolução de situações-problema mais complexas	Nesta etapa da UEPS, o professor deve elaborar outras situações-problemas para serem resolvidos pelos estudantes. Elas devem, obrigatoriamente, serem mais complexas que as anteriores e precisam envolver os conceitos já trabalhados. Uma dessas situações-problema deve ter caráter avaliativo e somativo, e deve ser realizada individualmente.
6º passo: Atividade colaborativa	O professor deve planejar uma atividade que tenha como objetivo encerrar o assunto que foi trabalhado. Esta atividade precisa ser colaborativa e retomar todos os conceitos vistos ao longo das aulas.

Fonte: baseado em Moreira (2011).

Em cada etapa desenvolvida, procura-se relacionar os conhecimentos prévios dos estudantes com o que está sendo aprendido, além de produzir materiais com o objetivo de facilitar a relação do que o aluno já sabe com o que irá aprender. Cada aula proposta é baseada em uma situação-problema diferente, onde sua resolução fica mais complexa a cada atividade.

Para compor parte do produto didático apresentado neste trabalho, foi elaborada e aplicada UEPS em sala de aula sobre a temática de cosmologia, que está descrito com detalhes no capítulo a seguir. Após a aplicação, serão analisadas as respostas e resoluções dos alunos nas situações-problemas desenvolvidas, com o objetivo de buscar indícios de uma aprendizagem significativa, visto que a mesma não pode ser definida em um curto período de tempo com uma única análise (Ferreira, *et al*, 2020).

## 5 PRODUTO DIDÁTICO

### 5.1 CONSTRUÇÃO DO PRODUTO DIDÁTICO

É uma realidade dos professores de educação básica a falta de material adequado e a má formação docente na área de Cosmologia. Dessa forma, há poucos recursos disponíveis e acessíveis para docentes do Ensino Médio ensinarem conteúdos que envolvam essa temática de forma eficaz (Júnior, *et al*, 2018).

O produto didático apresentado procura contornar esta problemática, através da construção de um material acessível de apoio para os professores da área e ideias de atividades e experimentos para serem aplicados nas aulas de Física do Ensino Médio. Dessa forma optou-se pela construção de um livro, que consiste em textos explicativos com a fundamentação teórica necessárias e sugestões de atividades que podem ser aplicadas individualmente ou como uma sequência. Os textos explicativos são voltados para professores e contemplam diversos temas relacionados ao estudo da Cosmologia, como as propriedades da luz, espectroscopia óptica, expansão do Universo, conceitos básicos sobre partículas e origem do Universo.

As atividades sobre o tema para serem aplicadas em sala de aula, vão ao encontro do conteúdo abordado nos textos. Elas são baseadas em situações-problema e nas habilidades e competências exigidas na BNCC (Brasil, 2018). A construção das atividades presentes no produto didático se baseou nas UEPS seguindo uma sequência de seis passos, definidas por Moreira (2011), indicados no Quadro 2. Por mais que o tema central seja Cosmologia, a UEPS acaba indo além: também são abordados conceitos relacionados à ondulatória e estudo de ondas eletromagnéticas. Dessa forma, ela pode ser utilizada como uma outra forma de ministrar estes conteúdos.

A estrutura das aulas e as atividades que compõe o produto didático passou por diversas modificações até chegar na versão final. Inicialmente, a UEPS possuía um total de cinco aulas, com dois períodos cada, detalhado no Quadro 3. A primeira coluna indica a aula, a segunda o seu assunto, e a terceira coluna as etapas das UEPS previstas por Moreira (2011).

Quadro 3: Organização das aulas da primeira versão do produto didático.

<b>Aula</b>	<b>Assunto</b>	<b>Aspectos da UEPS</b>
<b>1</b>	Estrutura do Universo	Etapa de verificações dos conhecimentos prévios e proposta da situação-problema inicial.
<b>2</b>	O espectro eletromagnético do Universo	Etapa em que a segunda situação-problema é proposta, envolvendo os conhecimentos prévios analisados na atividade anterior.
<b>3</b>	O que a luz nos fala sobre o Universo?	Etapa de introdução do assunto e proposta de situações-problemas mais complexas que envolvem os conhecimentos estudados anteriormente.
<b>4</b>	Expansão do Universo	Etapa de proposta de situações-problemas mais complexas que envolvem os conhecimentos estudados anteriormente e avaliação individual e somativa.
<b>5</b>	Big Bang	Etapa em que é realizada uma atividade colaborativa e encerramento do tema da UEPS.

Fonte: do autor.

Após a primeira aplicação do produto didático, perceberam-se alguns problemas na sua estrutura, como o tempo da sequência - acabou se tornando muito longa devido às adversidades enfrentadas durante as aulas - e a estrutura de algumas atividades - as perguntas não estavam bem formuladas para que os alunos compreendessem o que deveria ser respondido. Dessa forma, elaborou-se outra versão, que contém menos aulas e mudanças na estrutura das atividades, indicada no Quadro 4.

Quadro 4: Organização das aulas da segunda versão do produto didático.

<b>Aula</b>	<b>Assunto</b>	<b>Aspectos sequências da UEPS</b>
<b>1</b>	Estrutura do Universo	Etapa de verificações dos conhecimentos prévios e proposta da situação-problema inicial.
<b>2</b>	Quais informações a luz pode nos dar sobre o Universo?	Etapa em que a segunda situação-problema é proposta, envolvendo os conhecimentos prévios analisados na atividade anterior, e de introdução do assunto.
<b>3</b>	Expansão do Universo	Etapa de proposta de situações-problemas mais complexas que envolvem os conhecimentos estudados anteriormente e avaliação individual e somativa.
<b>4</b>	A Origem do Universo	Etapa em que é realizada uma atividade colaborativa e encerramento do tema da UEPS.

Fonte: do autor.

A segunda versão do produto didático também foi aplicada, acarretando em sua versão final. Todas as situações-problema foram pensadas para auxiliar o aluno a aprender significativamente. Conforme Moreira (2011), uma UEPS bem-sucedida deve reconhecer, na avaliação dos alunos, sinais de uma aprendizagem significativa, como “captação de significados, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema” (p. 5), visto que ela ocorre de modo progressivo.

Após a aplicação das duas versões do produto didático, foi realizada uma análise das respostas e as falas dos estudantes durante as aulas, para verificar indícios de aprendizagem significativa. A metodologia de análise dessas respostas está descrita a seguir.

## 5.2 METODOLOGIA DE ANÁLISE DA APLICAÇÃO DAS AULAS

Para a análise das respostas dos alunos às atividades propostas em sala de aula, foram separadas as respostas que compartilhavam semelhanças. Esses grupos geralmente abordavam o mesmo argumento e apresentavam um nível de complexidade similar em suas respostas. Essa classificação facilitou a identificação de padrões e tendências no entendimento dos alunos sobre os conceitos discutidos.

Após a classificação das respostas, foi realizada uma seleção dos exemplos mais relevantes para a análise. Isso incluiu a escolha de respostas que ofereciam *insights* valiosos sobre o processo de aprendizagem dos alunos, e estão exemplificados nas figuras dos relatos das aulas.

Durante esse processo, o foco foi a busca de evidências de aprendizagem significativa nas respostas das atividades e nas interações verbais dos alunos durante as aulas. Foram procurados indicadores de conexão dos conceitos e na capacidade de aplicação prática do conhecimento aprendido. O engajamento e a participação dos estudantes nas atividades foram notados pela professora ao longo do processo.

## 6 APLICAÇÃO DO PRODUTO DIDÁTICO

### 6.1 CONTEXTO DE APLICAÇÃO

O produto educacional foi aplicado em uma escola estadual localizada na cidade de Camboriú, no estado de Santa Catarina. Sua estrutura física é precária: não possui laboratórios de informática e de ciências, não há projetores ou sala de vídeo de fácil acesso, os itens que poderiam auxiliar de alguma forma nas aulas estão danificados e as tomadas incompatíveis às salas. Além disso, as salas dispõem apenas de um pequeno quadro branco, sendo muitas vezes o único recurso disponível para o professor.

As turmas são compostas por, no máximo, trinta alunos matriculados. Em algumas turmas da escola, há alunos com laudo de inclusão com diferentes níveis de aprendizagem. Nas turmas de Ensino Médio existem alunos que não sabem ler, escrever e interpretar, até alunos com pequenas dificuldades de atenção e concentração. Alguns destes estudantes necessitam de um segundo professor, que auxilia no desenvolvimento e execução das atividades.

As aulas que compõe o produto educacional foram aplicadas em um total de 6 turmas de primeiro e terceiro ano do Ensino Médio. Na primeira aplicação, elas foram aplicadas em três turmas de primeiro ano, que estavam tendo o contato com a Física pela primeira vez. Nessas turmas, a primeira versão da UEPS, descrita no Quadro 3, foi aplicado entre Maio e Junho de 2023. Já nas turmas de terceiro ano, o produto foi aplicado em Outubro de 2023, com algumas modificações descritas no Quadro 4.

Devido às controvérsias na escola, a aplicação demorou mais do que o esperado, acarretando em uma série de dificuldades nas aulas. Além disso, as turmas possuíam vários casos de evasão, atestados longos e faltas recorrentes. Isso fazia com que esses estudantes participassem apenas de algumas aulas da aplicação do produto didático e não concluíssem a UEPS inteira. Essas problemáticas levaram à dificuldades na análise da aprendizagem dos alunos como um todo, e na aplicação do produto. Em alguns casos, era necessário retomar as atividades, dar para o aluno fazê-la em casa, comprometendo o restante das aulas para a turma toda.

Devido à realidade apresentada na escola onde o produto educacional proposto foi aplicado, evitou-se a utilização de recursos como computadores, laboratório e equipamentos experimentais. Priorizou-se o uso de recursos de baixo

custo, para que possa ser aplicado em qualquer realidade com poucas adaptações. Também se tomou o cuidado para que em cada atividade e aula elaborada não faltasse nenhum conceito ou recurso em que os alunos poderiam ter alguma dificuldade. Optou-se por uma linguagem simples e atividades que valorizassem o conhecimento que os estudantes já possuíam para buscar o máximo aprofundamento de cada assunto.

## 6.2 RELATOS DA PRIMEIRA APLICAÇÃO

A primeira aplicação do produto didático foi realizada em três turmas de primeiro ano do Ensino Médio. As turmas tinham dois períodos separados de 45 minutos de aula por semana e a aplicação aconteceu durante um período de dois meses, tempo maior que o definido inicialmente. As atividades e aulas aplicadas foram apresentadas no exame de qualificação. Ao longo das aulas perceberam-se alguns problemas nas atividades criadas e, para o produto final, optou-se por realizar melhorias nela, sem alterar o objetivo e a estrutura da UEPS proposta inicialmente.

A seguir, serão apresentados os relatos de cada uma das aulas presentes no produto didático. Organizou-se as descrições por aula para facilitar a organização do texto. Para uma melhor análise do resultado da aplicação, foram colocadas fotos e descrições das atividades, perguntas e comentários realizados pelos alunos.

### 6.2.1 Aula 1: Estrutura do Universo

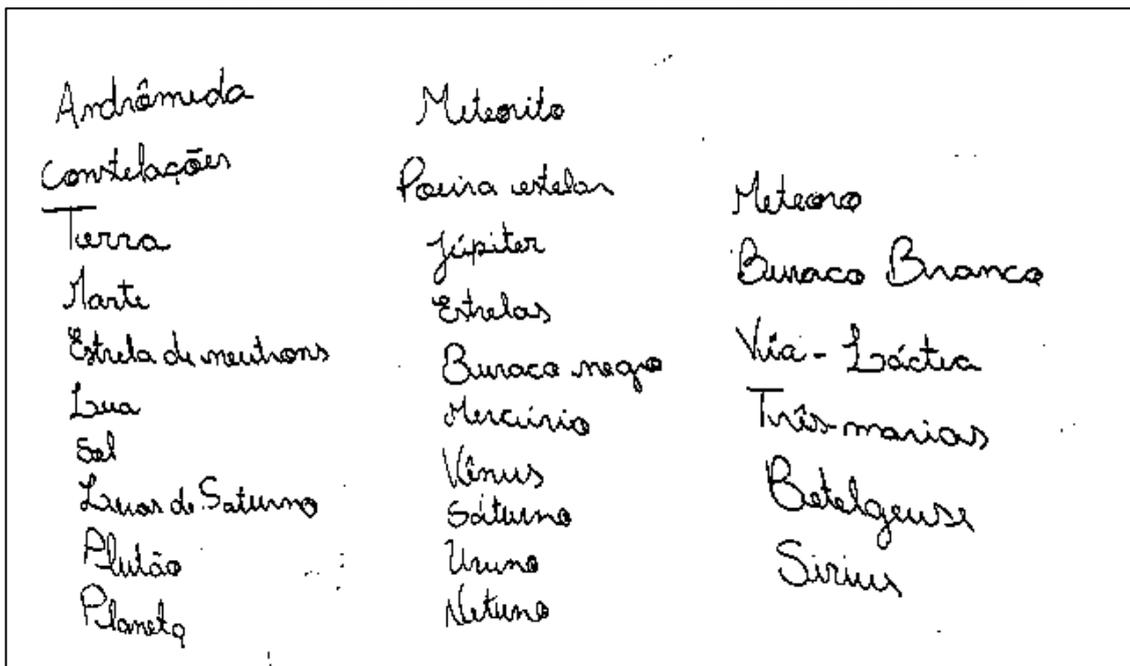
A atividade aplicada nesta aula se refere à conceitos relacionados à Estrutura do Universo, e tem como objetivo identificar as concepções dos alunos a respeito desse assunto. A aula possuía três momentos: (1) uma breve conversa sobre a importância do conhecimento da estrutura do Universo para entender sua origem; (2) um debate com a turma toda para discutir sobre alguns corpos celestes que os estudantes conheciam; (3) a proposta de uma situação-problema que consistia em estimar o tamanho, a idade e a distância em relação à Terra dos objetos celestes listados pelos alunos e, em seguida, a construção de um modelo de Universo com essas informações.

Durante a atividade, alguns alunos insistiram em pesquisar as informações sobre os objetos (tamanho, distância e idade) na internet, com relatos de “medo de

errar” ou “dificuldades para pensar”. Eles tiveram muita dificuldade para estimar valores com base nos que foram apresentados na atividade. Dessa forma, foi necessário enfatizar que a atividade não iria valer nota e não era necessário se preocupar com o erro, já que fazia parte do processo.

Eles listaram objetos celestes como “estrela”, “planeta” ou “galáxia”, como mostrado na Figura 18. Mas, na hora de elaborarem o modelo, perceberam que seria necessário especificar qual planeta ou qual estrela, pois sabiam que cada um tinham suas especificidades.

Figura 18: Lista de objetos celestes citados pelos alunos escrita no quadro da sala durante a aula sobre estrutura do Universo em uma das turmas.



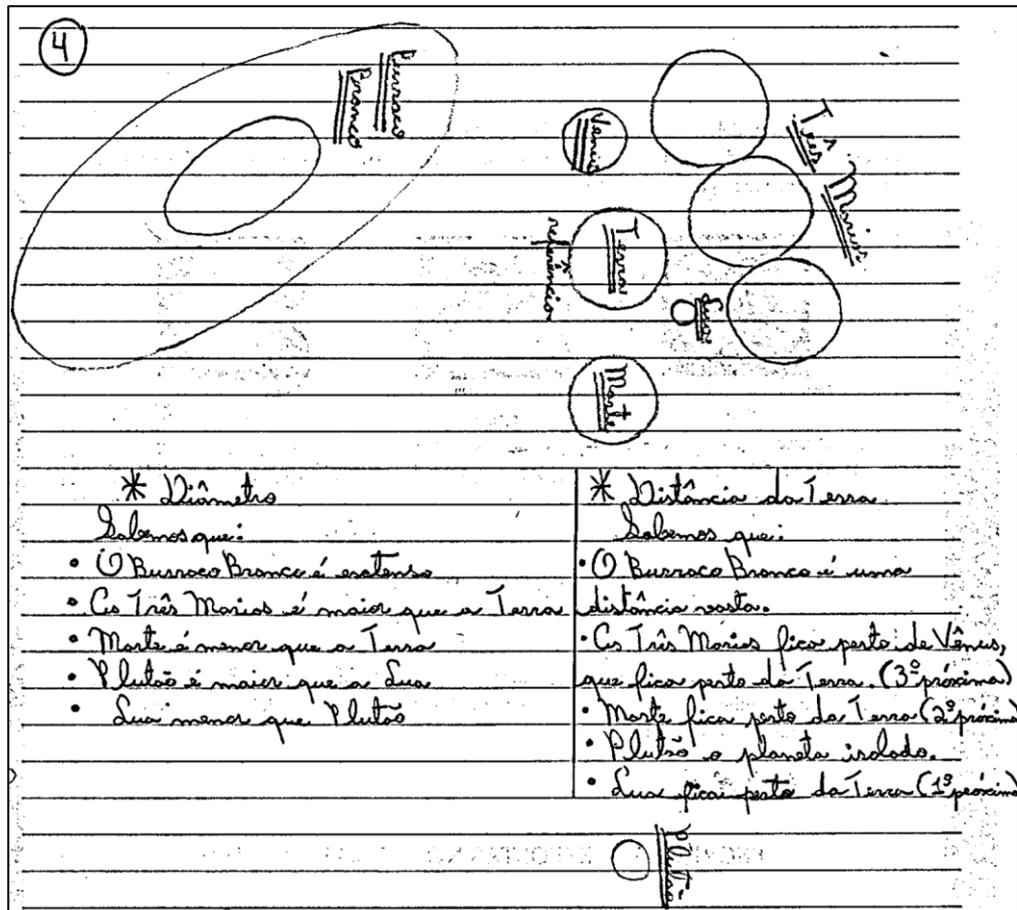
Fonte: do autor.

Parte dos estudantes teve a ideia de utilizar os números em notação científica para descrever as informações dos objetos, pois perceberam que eram números muito grandes para serem escritos da forma comum. Na hora de realizar essas comparações, os estudantes começaram a se dar conta de alguns aspectos, trazendo perguntas e falas interessantes na construção do seu modelo, por exemplo: “Se tem um buraco negro no centro da nossa galáxia, então a galáxia tem que ser maior que ele”; “As estrelas precisam ser mais velhas que os planetas, porque as estrelas puxam os planetas”; “É para estimar a idade da órbita da Terra ou de cada objeto?”, se

referindo que cada planeta possui uma translação diferente e portanto, a duração de 1 ano é diferente para cada um”.

A Figura 19 é a atividade realizada por um dos grupos de alunos. Nele, descreveram as considerações utilizadas para estimar o diâmetro e a distância da Terra até o objeto escolhido. Reparou-se que a constelação conhecida como “Três Marias” pelos estudantes (Cinturão de Órion), aparece como sendo “maior que a Terra” e “próximo a Vênus”. Além disso, as três estrelas que a compõem aparecem muito próximas e como uma coisa só. Neste modelo, a Terra foi utilizada de referência para a determinação do tamanho e distância dos outros objetos citados, sendo eles os planetas Vênus e Marte, a Lua e um buraco branco.

Figura 19: Modelo científico de Universo criado por um dos grupos durante a Aula 1.

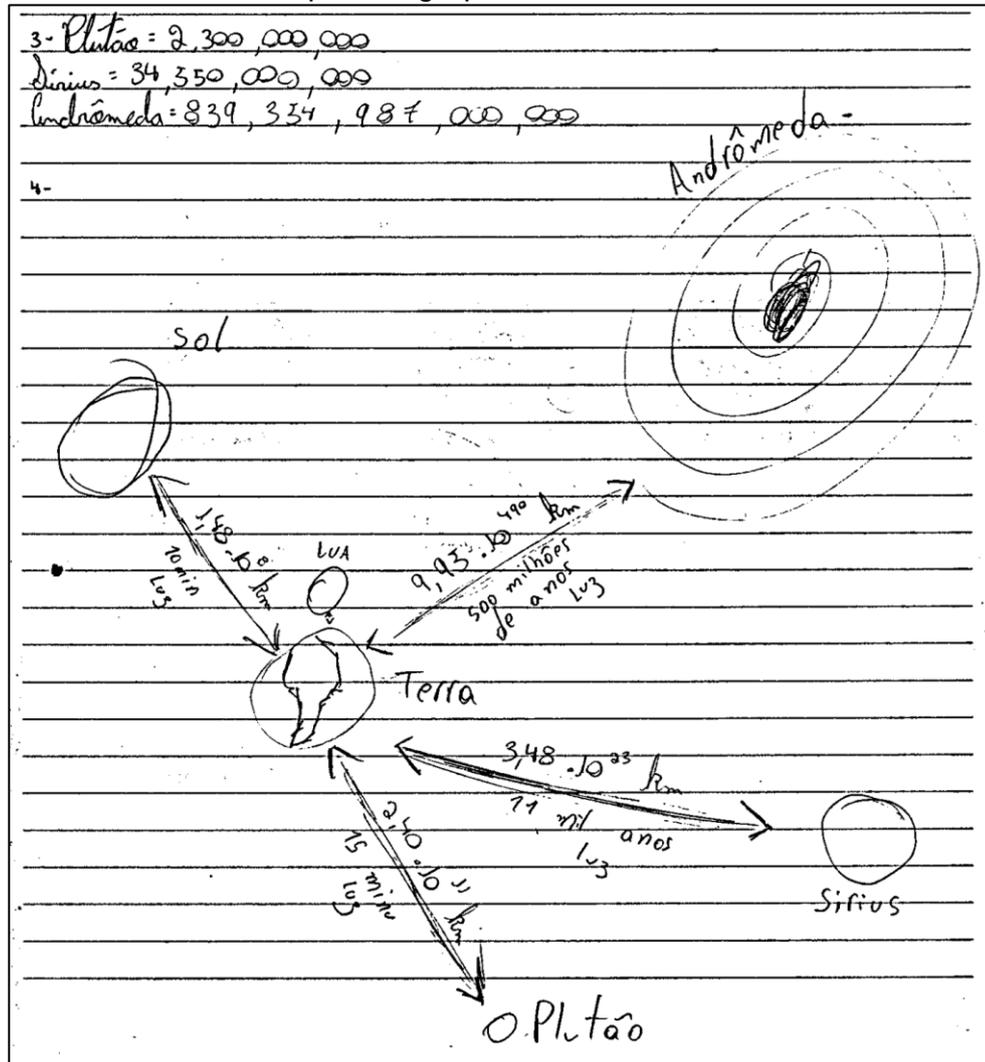


Fonte: do autor.

A Figura 20 também mostra um modelo da estrutura do Universo criado por outro grupo de estudantes. A idade da galáxia Andrômeda, indicada na questão 3, é maior que a idade próprio Universo: 839.334.987.000.000 anos. Durante a

apresentação desse grupo, os estudantes comentaram que preferiram utilizar a unidade de medida “anos-luz” para especificar as distâncias dos objetos da Terra, pois dessa forma facilitava a estimativa. Os tamanhos dos objetos estão especificados no desenho em quilômetros, acima da distância.

Figura 20: Idades dos corpos celestes e modelo científico da estrutura do Universo criado por um grupo de alunos na Aula 1.



Fonte: do autor.

Para corrigir esse problema, percebeu-se a necessidade de reescrever o enunciado da questão, dando ênfase na parte em que o estudante deveria estimar os valores com base nos conhecimentos atuais. Dessa forma, foram realizadas algumas melhorias para a versão final do produto didático, como ao invés de criar questões onde os alunos respondam sobre os detalhes dos corpos celestes, construir uma

tabela com as informações desejadas para cada um deles. Esta maneira agilizou a resolução da atividade e facilitou a criação do modelo de Universo.

A apresentação do modelo de Universo criado pelos estudantes, ficou vaga, repetitiva e sem discussões proveitosas. Dessa forma, uma das mudanças realizadas no produto final foi trocar a apresentação pela construção de um modelo científico do Universo mais elaborado, feito em uma folha a parte da atividade. Assim, os alunos e o professor podem realizar as comparações e evoluções do conhecimento em cada uma das aulas, pois poderão ser colocados no mural da sala.

### **6.2.2 Aula 2: O que a luz pode nos contar sobre o Universo?**

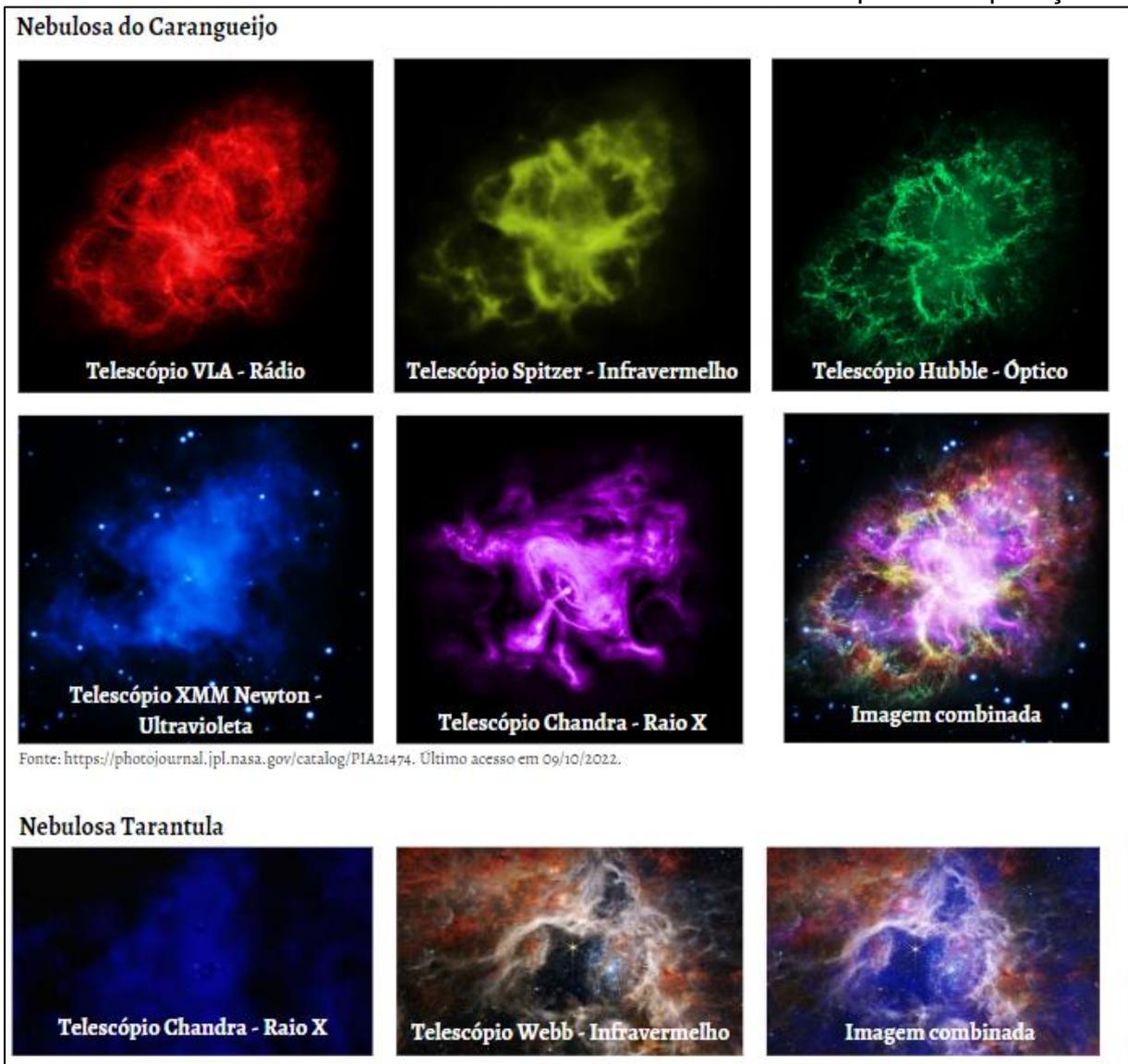
A Aula 2 consistia em trazer imagens de diferentes telescópios (que registram figuras em diferentes comprimentos de onda) de dois objetos celestes no espaço, dispostas na Figura 21. Os alunos deveriam observar e analisar as imagens conforme as informações solicitadas na tabela da Figura 22. O objetivo desta atividade era fazer com que os estudantes percebessem a diferença das informações que chegam até nós em cada comprimento de onda do espectro eletromagnético.

Esta atividade não gerou discussões interessantes e não teve um bom aproveitamento do conteúdo abordado. Os estudantes demonstraram interesse na introdução da aula, ao falar sobre as nebulosas e suas características. Porém, não viram sentido em fazer as comparações entre as imagens produzidas por diferentes telescópios, conforme o tamanho, formato e luminosidade.

Então, percebeu-se a necessidade de trocar a forma de abordagem da atividade, utilizando perguntas mais direcionadas sobre as imagens da Figura 21. É necessário que o professor também informe a característica de cada imagem e a informação fornecida por ela.

Como mostrado na Figura 22, a questão 1 acabou tendo informações sem profundidade. Um dos possíveis motivos para este problema seria que as observações solicitadas na questão serem abertas demais para o nível de conhecimento que os alunos possuem a respeito do assunto. Os estudantes acabaram escrevendo formas de seu cotidiano como “parece com um cogumelo”, “um gato com chapéu de mago” e “parece com o Dumbo” (personagem infantil).

Figura 21: imagens obtidas de diferentes telescópios da Nebulosa do Carangueijo e da Nebulosa da Tarântula utilizadas na atividade da Aula 2 da primeira aplicação.



Fonte: *Photo Journal* NASA. Disponível em: <<https://photojournal.jpl.nasa.gov>>. Último acesso em 9 de outubro de 2022.

Ainda em relação às observações do tamanho e formato, outro grupo de alunos seguiu a mesma ideia, mostrado na Figura 23: descrever as figuras utilizando objetos conhecidos por eles, como “polvo”, “tubarão”, “borboleta” e “tartaruga”. Em relação à luminosidade, houve poucas observações relevantes. Na Figura 20, estão descritas respostas como “um pouco escura”, “mais brilhante no centro que nas bordas” e “brilha bastante”. Na Figura 23, as observações se referiam mais ao local da luz do que a quantidade de brilho.

Sobre as observações adicionais e perguntas, não houveram muitas, como pode ser verificado na Figura 22 e 23. As poucas que existem, na Figura 22, não ajudam no aprimoramento do conhecimento dos estudantes. Nas perguntas 3 e 4, por serem mais específicas, os alunos escreveram respostas mais interessantes e conclusivas, como podemos observar na Figura 24.

Figura 22: Respostas da questão 1 da Aula 2 de um dos grupos de alunos.

1. Examine as imagens e preencha a tabela abaixo com as suas observações:

Nebulosa do caranguejo	Observações sobre formatos e tamanhos	Observações sobre luminosidade	Observações adicionais e perguntas
Rádio	parece um objeto mediano	um pouco escura	
Infravermelho	um cavalo e em outros ângulos corações	um pouco apagada	
Óptico	parece com o Lúmbre	radiante	Tem linhas finas mais densas.
Ultravioleta	parece com um cogumelo	mais brilhante no centro do que nas bordas	mais parecido com uma pedra
Raio X	parece um sino	brilho intenso no centro e é possível ver as ondas	o mais brilhante entre eles
Imagem combinada	parece um flamaça ou flamaça	mais brilhante que todas as outras	

Nebulosa Tarantula	Observações dos formatos e tamanhos	Observações sobre luminosidade	Observações adicionais e perguntas
Infravermelho	um gato com chapéu de mago	brilho bastante	
Raio X	fumaça	muito escura, apagada	
Imagem combinada	um gato azul com chapéu de mago	brilho muito e tem um de roxo	

Fonte: do autor.

Figura 23: Respostas da questão 1 da Aula 2 de um dos grupos de alunos.

1. Examine as imagens e preencha a tabela abaixo com as suas observações:

Nebulosa do caranguejo	Observações sobre formatos e tamanhos	Observações sobre luminosidade	Observações adicionais e perguntas
Rádio	Polvo	Brilha no meio	
Infravermelho	Flor	Brilha no meio para fora	
Óptico	Trevo	Brilha ao redor	
Ultravioleta	Tubarão	Brilha em pontos ao redor	
Raio X	Furacão	Brilha no meio para fora	
Imagem combinada	Borboleta	Brilha no meio em pontos externos	

Nebulosa Tarantula	Observações dos formatos e tamanhos	Observações sobre luminosidade	Observações adicionais e perguntas
Infravermelho	Asa de avião	Possui luz no meio	
Raio X	Tartaruga	Brilha no meio para fora	
Imagem combinada	Água	Brilha em pontos específicos	

Fonte: do autor.

Figura 24: Respostas das questões 3 e 4 da Atividade 2.

3. Os cientistas acreditam que a estrela no centro da Nebulosa do Caranguejo tem agora, aproximadamente, apenas 20 Km de diâmetro. Dada essas informações, como você pode explicar os enormes jatos que você vê na imagem de Raio-X?

A estrela possui forte gravidade e campos magnéticos girando muito rápido emitindo ondas onde a luz passa a ser raios.

5. Qual tipo de informação a imagem infravermelha da Nebulosa Tarantula pode nos fornecer? E a Raio-X? Pode oferecer uma estrela que tem pouca luz, ser visível onde no Raio X não conseguimos ver. No raio X vemos regiões específicas focando na luz onde tem calor (temperatura).

---

3- Porque ela continua expandindo.

---

4- Infravermelho: tá criando novas estrelas e soltando gás.

---

Raio X: Informa o brilho com mais clareza.

Fonte: do autor.

### 6.2.3 Aula 3: O espectro eletromagnético do Universo

O objetivo desta aula é compreender quais os tipos de informação podemos identificar através da luz que chega até nós dos corpos celestes. Inicialmente foi ministrada uma aula expositiva, com duração de 45 min sobre ondas eletromagnéticas, onde foram explanados conceitos como comprimento, amplitude e frequência de uma onda, diferenciação de ondas mecânicas para eletromagnéticas e o espectro eletromagnético. Em seguida, foi construído um espectroscópio de papel e os estudantes registram as fotos dos espectros de diferentes fontes de luz, para responderem as perguntas da atividade.

Esta aula teve um bom aproveitamento dos estudantes, em todas as suas etapas. Durante a aula expositiva sobre ondas eletromagnéticas, os alunos demonstraram interesse na explicação do conteúdo e interagiram bastante através de perguntas sobre as cores, luz emitida por estrelas e outros corpos celestes. Foi uma aula simples, utilizando apenas materiais como quadro e canetão e, mesmo assim, os estudantes se mostraram empolgados com o conteúdo.

Durante a construção do espectroscópio, os discentes demoraram em torno de 40-45 minutos para recortar e montar, ou seja, um período de aula completo. Alguns estudantes tiveram que terminá-lo em casa, pois não conseguiram fazê-lo durante o tempo disponível. Assim, percebeu-se uma dificuldade dos estudantes em fazer esse tipo de trabalho manual. Em alguns grupos, o espectroscópio não ficou bem montado e acabaram ficando algumas frestas que permitiam a passagem de luz externa. Na Figura 25, é possível verificar alguns estudantes realizando o experimento em sala de aula.

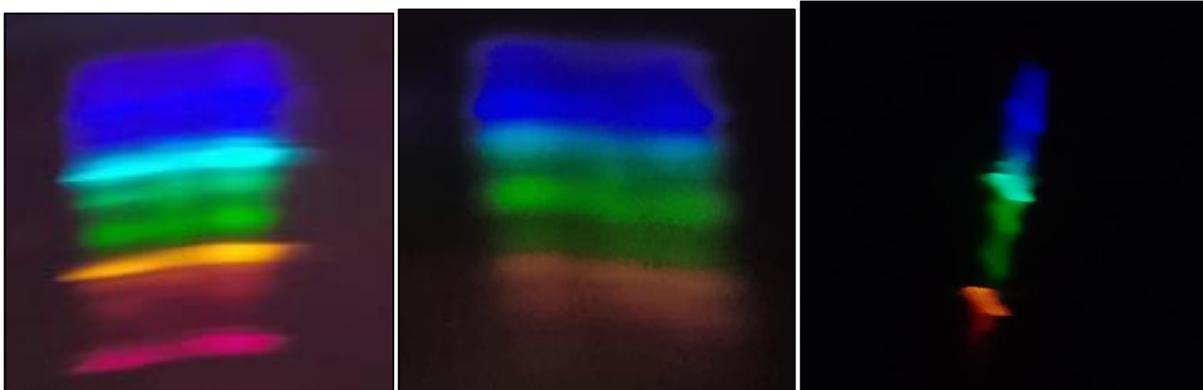
Figura 25: Alunos realizando o experimento com o espectroscópio construído por eles.



Fonte: do autor.

No dia do experimento, todos os estudantes conseguiram visualizar os diferentes espectros das fontes de luz, através da câmera de seus celulares. Como estavam divididos em grupos, todos tiveram acesso às fotos em algum dispositivo. Além disso, eles tiveram a iniciativa de compartilhar as fotos uns com os outros, para verificar qual delas possuía uma visualização melhor do espectro. Algumas das fotos dos espectros estão na Figura 26.

Figura 26: Foto do espectro de uma lâmpada de gás Hélio (a esquerda), gás Xenon (meio) e Neônio (a direita).



Fonte: do autor.

É possível verificar que os estudantes perceberam diferenças entre os espectros de cada fonte de luz, como é mostrado na Figura 27, pelas suas respostas. Dessa forma, percebeu-se que o objetivo da atividade, de diferenciar espectros de diferentes fontes de luz, foi atingido.

Figura 27: Respostas das questões 1 e 2 da atividade sobre o espectro eletromagnético do Universo.

1. Primeiramente, monte o seu espectrômetro de papel conforme indicado na folha. Acople o espectrômetro na câmera do seu celular e registre os espectros de cada fonte de luz. Anote as fontes de luz utilizadas:

Fonte de Luz 1: XENON

Fonte de Luz 2: NEON

Fonte de Luz 3: OXIGENIO

Fonte de Luz 4: HI DROGENIO

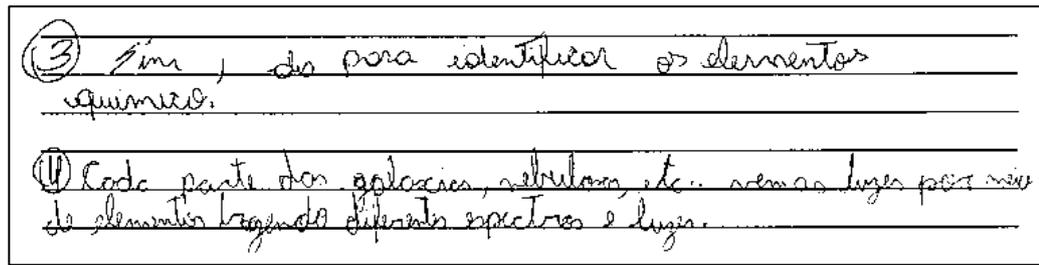
2. É possível ver espectros diferentes em cada uma das fontes de luz. Na tabela, anote as diferenças entre cada um dos espectros registrados.

Fonte de luz 1	Essa tem mais amarelo que ciano e tem pouco roxo
Fonte de luz 2	Essa tem mais roxo do que ciano tem tem pouco verde e pouco vermelho.
Fonte de luz 3	Essa não tem amarelo nem roxo e nem ciano.
Fonte de luz 4	Tem bastante amarelo, pouco ciano e quase nada de roxo.

Fonte: do autor.

Nas duas últimas questões, notou-se que os estudantes entenderam a importância da luz para o estudo da cosmologia e quais informações são possíveis identificar através dos espectros, como é mostrado na Figura 28.

Figura 28: Respostas das questões 3 e 4 da atividade sobre o espectro eletromagnético do Universo.



Por mais que essa atividade tenha trazido um bom retorno por parte dos estudantes, não houve conexão direta entre os espectros estudados nessa parte com a atividade seguinte. Então, para melhorar o aproveitamento e a contextualização dessa atividade, pensou-se em unir as explicações expositivas da Aula 4, sobre Expansão do Universo, com essa aula. Além das explicações, também foram unidas as atividades dessas aulas, tornando-as mais objetivas e contextualizadas com o conteúdo.

#### 6.2.4 Aula 4: Expansão do Universo

A aula sobre expansão do Universo teve dois momentos. O primeiro consistiu em uma explanação sobre o que é a expansão do Universo e como esse fenômeno acontece, com o auxílio de um elástico. No elástico eram marcados pontos fixos e um referencial e, quando esticados, estes pontos fixos se afastavam entre si. Os pontos mais distantes do referencial se afastavam mais. Com isso era possível demonstrar, de forma mais clara, como ocorre a expansão do Universo para os estudantes.

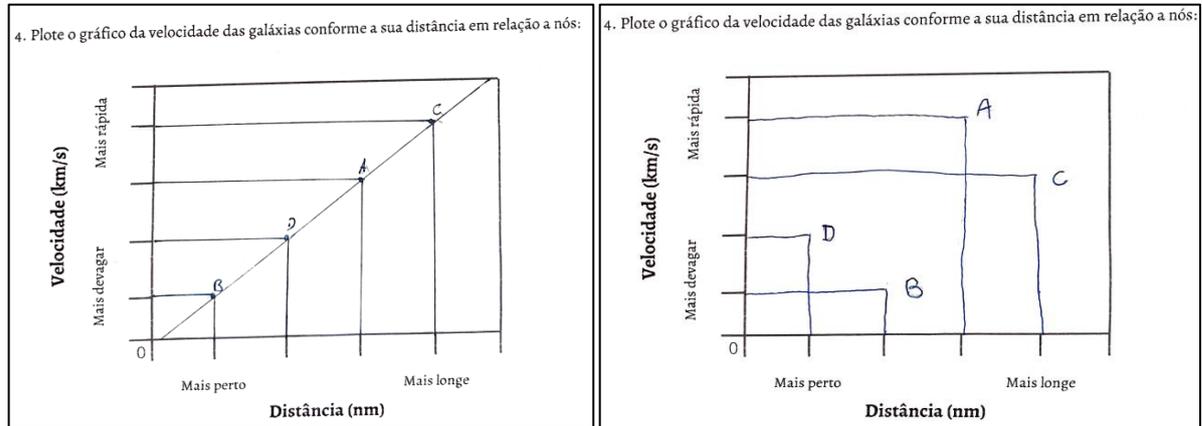
No segundo momento, foi entregue uma atividade com quatro questões, sendo seus objetivos: (1) determinar a distância de quatro galáxias de mesmo tamanho a partir das suas imagens ópticas; (2) determinar o comprimento de onda da linha vermelha do hidrogênio a partir do espectro dessas galáxias; (3) determinar o *Redshift* e sua porcentagem e, em seguida, a velocidade de afastamento dessas galáxias, a partir das informações da questão 2; (4) construir o gráfico da velocidade pela distância dessas galáxias.

Durante a explicação expositiva do conteúdo, utilizando o elástico como apoio, os estudantes demonstraram interesse e conseguiram relacionar os conceitos



Por conta dessa dificuldade citada da questão 1, o gráfico da última questão de alguns estudantes não saiu da maneira que deveria, como indicado na Figura 30.

Figura 30: Gráficos da atividade sobre expansão do Universo.



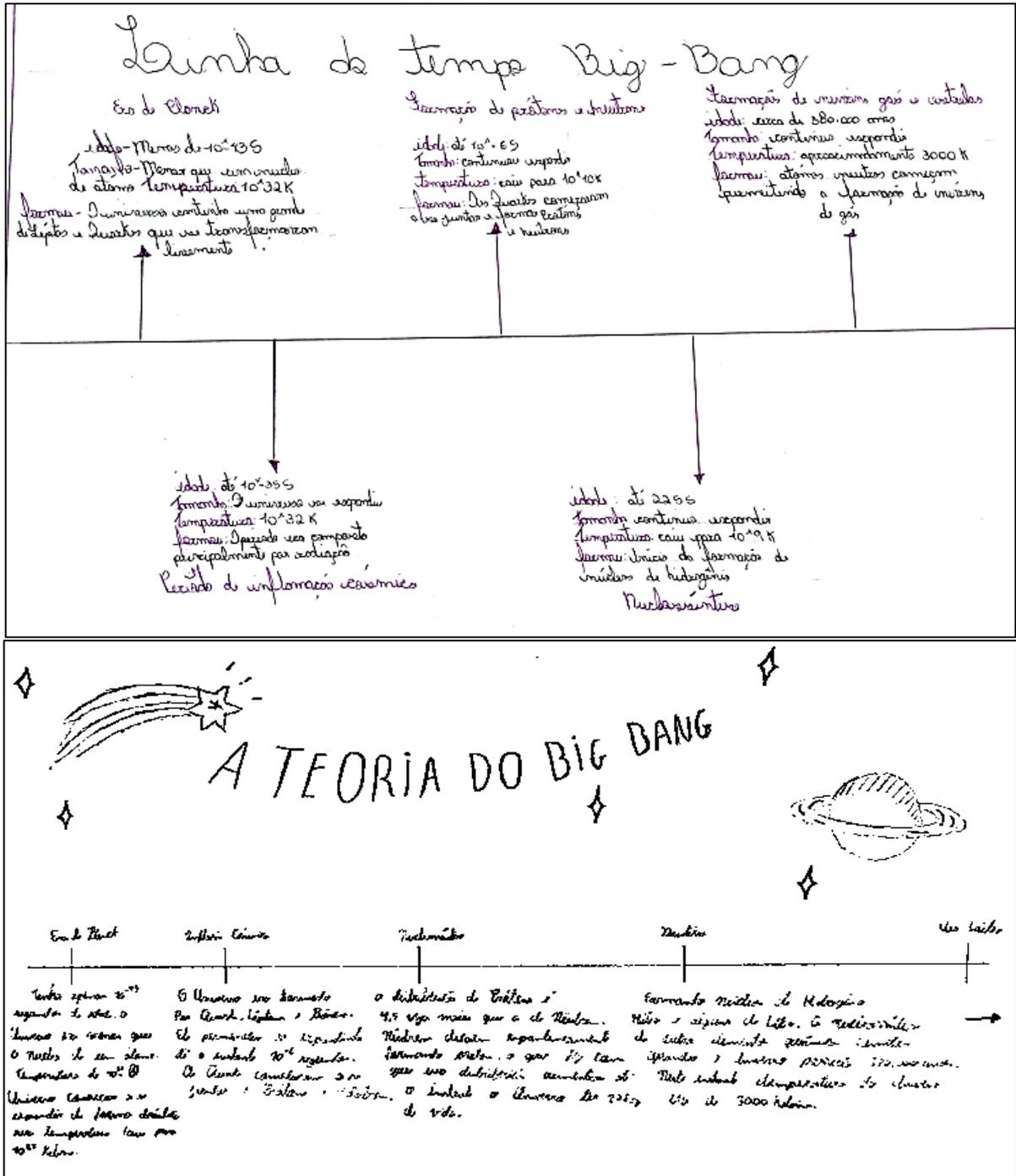
Fonte: do autor.

### 6.2.5 Aula 5: A Teoria do Big Bang

A última aula tem o objetivo de auxiliar os estudantes a criar conexões de tudo o que foi estudado ao longo da UEPS. Inicialmente foi entregue um texto para os estudantes intitulado "A Teoria do Big Bang", onde contava, de forma resumida, como o Universo que conhecemos hoje surgiu e quais eram suas características como tamanho, temperatura e composição, nos seus primeiros instantes. Em seguida, os estudantes deveriam produzir uma linha do tempo da origem do Universo com os marcos que achavam mais relevantes, utilizando as informações fornecidas no texto.

Esta aula foi aplicada em um momento em que aconteciam diversos eventos não presentes no calendário escolar. Dessa forma, o rendimento dos alunos na execução da atividade foi pior, se comparado com as outras aulas, pois eles estavam diretamente envolvidos nesses eventos. Então, houve poucas entregas da linha do tempo sobre a origem do Universo. Algumas das linhas do tempo produzidas pelos alunos estão na Figura 31.

Figura 31: Linha do tempo da origem do Universo.



Fonte: do autor.

Após esta análise, notou-se a necessidade de fazer diversas alterações na estrutura do produto didático, como já citado. Dessa forma, todas as mudanças realizadas em cada uma das aulas e atividades estão descritas a seguir.

### 6.3 MODIFICAÇÕES REALIZADAS APÓS A PRIMEIRA APLICAÇÃO

Algumas atividades da primeira aplicação do produto didático tiveram o resultado esperado, com respostas que evidenciavam que os alunos compreenderam o tema proposto. Porém, por se mostrar muito longa, os alunos perderam o interesse nas últimas atividades, muitos deixaram de entregar ou copiaram de outros colegas. Dessa forma, fazer uma análise criteriosa em busca de elementos que evidenciem a aprendizagem significativa se tornou difícil. Porém, por mais que o engajamento diminuiu ao longo da aplicação do produto didático, na execução das atividades, explanação dos assuntos das aulas e nos debates, os estudantes demonstraram curiosidade, fazendo questionamentos interessantes voltadas ao tema, conforme relatado anteriormente.

Após a aplicação da primeira proposta do produto didático, optou-se por realizar algumas mudanças nas atividades, aulas e situações problema. A primeira delas refere-se à atividade da Aula 1. Inicialmente, ela consistia em uma série de perguntas a respeito do tamanho, distância e idade dos corpos celestes do Universo. Para agilizar a atividade e facilitar a escrita e organização dos alunos, criou-se uma tabela com todas essas informações. Além da tabela, algumas exigências para a construção do modelo de Universo também foram alteradas. Na questão seguinte, foi solicitado para que os estudantes construam seu modelo em uma folha separada e não apresentem para a turma.

A Aula 2, a respeito das imagens de objetos celestes tiradas em diferentes telescópios, foi retirada da sequência. Sua temática foi englobada junto com as aulas seguintes. A aula expositiva sobre ondulatória, antes ministrada na Aula 3, passou a ser na Aula 2, e acrescentou-se tópicos sobre a expansão do Universo e espectroscopia. A aula referente à Expansão do Universo ficou mais extensa, porém tentou-se melhorar a conexão entre os assuntos que são abordados durante toda a Unidade, algo que não aconteceu com efetividade. Além dessas mudanças, a parte em que se referia ao experimento com os espectros foi totalmente reformulada, como é indicado na Figura 32.

Figura 32: alterações realizadas na atividade sobre o experimento com os espectros.

1. Primeiramente, monte o seu espectrômetro de papel conforme indicado na folha. Acople o espectrômetro na câmera do seu celular e registre os espectros os espectros de cada fonte de luz. Anote as fontes de luz utilizadas e pinte o espectro com as cores com mais destaque:

Fonte de Luz 1: \_\_\_\_\_

Vermelho  Roxo

Fonte de Luz 2: \_\_\_\_\_

Vermelho  Roxo

Fonte de Luz 3: \_\_\_\_\_

Vermelho  Roxo

Fonte de Luz 4: \_\_\_\_\_

Vermelho  Roxo

2. Como a luz pode ajudar a obter dados, informações e características dos corpos celestes no espaço?

Fonte: do autor.

Na última aula, sobre a Teoria do Big Bang, decidiu-se realizar mudanças tanto no texto quanto na própria atividade. Decidiu-se colocar exemplos de outras teorias sobre a origem do Universo, que temos ao longo da história, além de salientar as evidências científicas do Big Bang e trocar o título. Em relação à atividade, ao invés da linha do tempo, foi feito um calendário com os principais marcos de mudança na estrutura do Universo desde o seu início.

Para um melhor entendimento, o Quadro 5 a seguir organiza as mudanças realizadas na primeira versão do produto didático.

Quadro 5: comparações entre os assuntos e atividades de cada aula da primeira e segunda versão do produto.

Aula	1ª versão		2ª versão	
	Assunto	Atividade	Assunto	Atividade
1	Estrutura do Universo	Perguntas a respeito das características dos corpos celestes e produção de um modelo de Universo,	Estrutura do Universo	Tabela a respeito das características dos corpos celestes e produção de um modelo de Universo.

		com apresentação do modelo.		
2	O que a luz pode nos contar sobre o Universo?	Análise de imagens de corpos celestes em diferentes comprimentos de onda.	O que a luz pode nos contar sobre o Universo?	Experimento utilizando um espectroscópio de papel e resolução de problemas a partir do experimento.
3	O espectro eletromagnético do Universo	Experimento utilizando um espectroscópio de papel e resolução de problemas a partir do experimento.	A expansão do Universo	Análise dos espectros de diferentes galáxias com o objetivo de compreender a expansão do Universo.
4	A expansão do Universo	Análise dos espectros de diferentes galáxias com o objetivo de compreender a expansão do Universo.	A evolução do Universo	Texto sobre a história da evolução do Universo com exemplos de outras teorias no formato de um calendário e produção de um calendário da evolução do Universo.
5	A teoria do Big Bang	Texto sobre a Teoria do Big Bang que contava sobre a origem do Universo desde os primeiros instantes e produção de linha do tempo do Universo.	X	X

Fonte: do autor.

Após as mudanças realizadas, optou-se por aplicar o produto didático novamente com turmas do terceiro ano do Ensino Médio, na mesma escola. A seguir, são relatados os detalhes desta segunda aplicação.

#### 6.4 RELATOS DA SEGUNDA APLICAÇÃO

A sequência foi iniciada com 3 turmas de terceiro ano e finalizada apenas com 1, por interrupções de eventos escolares e alto nível de chuvas no período, ocasionando em enchentes e a impossibilidade de os alunos chegarem até a escola. Houve problemas com faltas, transferências e desistências no meio da aplicação da sequência, dificultando a análise da mesma como um todo.

Mesmo com essas dificuldades, a segunda aplicação da UEPS se mostrou mais promissora na identificação de indícios de aprendizagem significativa nas falas dos estudantes ao longo das aulas. Os alunos conseguiam conectar mais os assuntos

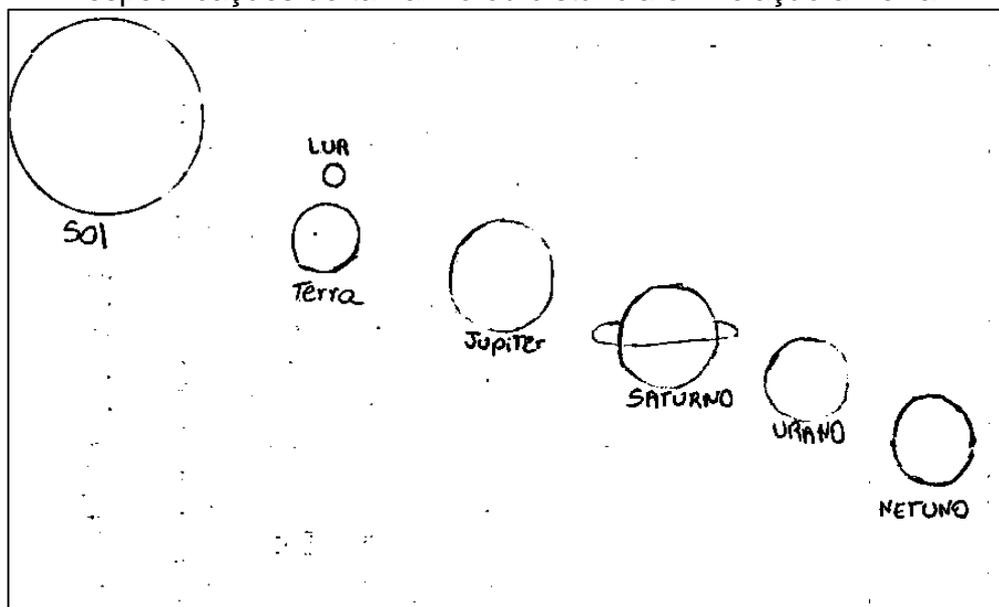
discutidos com as suas vivências. A única atividade que teve um baixo número de entregas foi referente à Aula 4, devido aos problemas relatados anteriormente. Muitos alunos faltaram no dia da finalização e entrega da atividade, dessa forma houve o recebimento de apenas uma atividade. Além disso, sentiu-se falta de uma avaliação individual final, para verificar o desempenho de cada aluno em relação aos conteúdos abordados.

#### 6.4.1 Aula 1: Estrutura do Universo

Na busca por mais praticidade e agilidade na realização das atividades, foi implementada uma nova abordagem ao disponibilizar tabelas para preenchimento. Esta estratégia otimizou o tempo dos alunos, facilitando o registro de informações relevantes de maneira organizada e prática.

Entretanto, durante a execução da atividade, observou-se uma tendência entre a maioria dos alunos em escolher elementos do nosso sistema solar para seus modelos. Embora isso tenha sido motivado pela percepção de que facilitaria a construção do modelo, tal abordagem acabou por dificultar a investigação dos conhecimentos prévios dos alunos sobre outros temas relacionados à estrutura do Universo. Um exemplo desse modelo pode ser verificado na Figura 33.

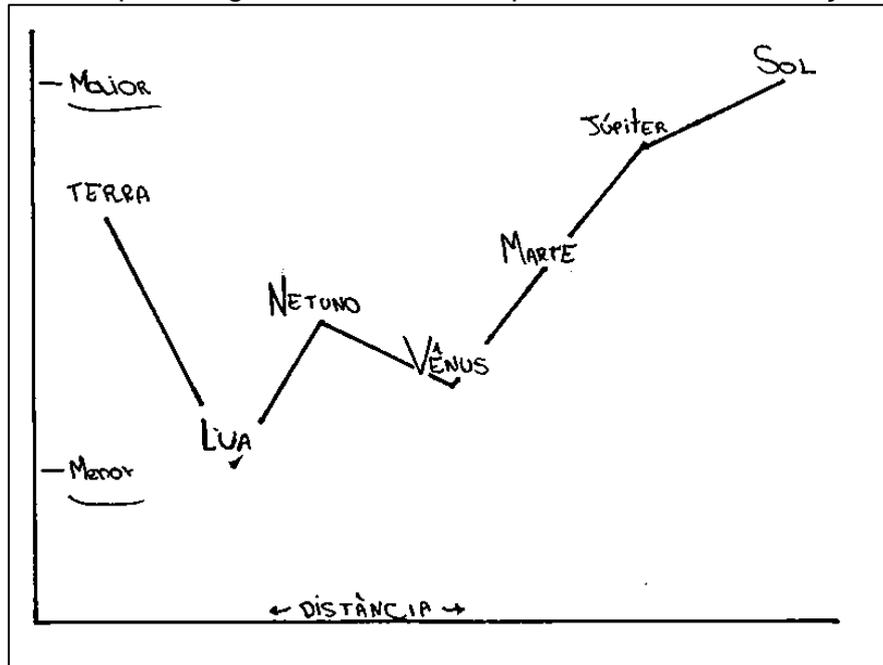
Figura 33: Modelo de Universo apenas com corpos celestes do sistema solar, sem especificações de tamanho ou distância em relação a Terra.



Fonte: do autor.

Apesar dessas dificuldades, alguns alunos apresentaram modelos interessantes em forma de gráfico, que se destacaram pela clareza na apresentação das informações e pela capacidade de transmitir as informações de forma clara e objetiva, como podemos verificar na Figura 34.

Figura 34: Modelo de Universo apenas com corpos celestes do sistema solar representado por um gráfico do tamanho pela distância em relação à Terra.



Fonte: do autor.

Além disso, ao comparar os modelos deste ano com os da primeira aplicação, foi possível observar uma melhor coerência no tamanho e na idade dos objetos representados. As idades dos corpos celestes do sistema solar estão todos na escala de  $10^9$ , a mesma do surgimento do Sol, Terra e Lua já indicados na tabela da atividade. A distância da Terra em relação aos objetos indicados demonstra uma falta de percepção na escala do sistema solar. Por exemplo, na Figura 35, na tabela da direita, Urano está mais próximo que a Lua, enquanto na tabela da esquerda todos os corpos celestes descritos estão na mesma escala da  $10^6$ .

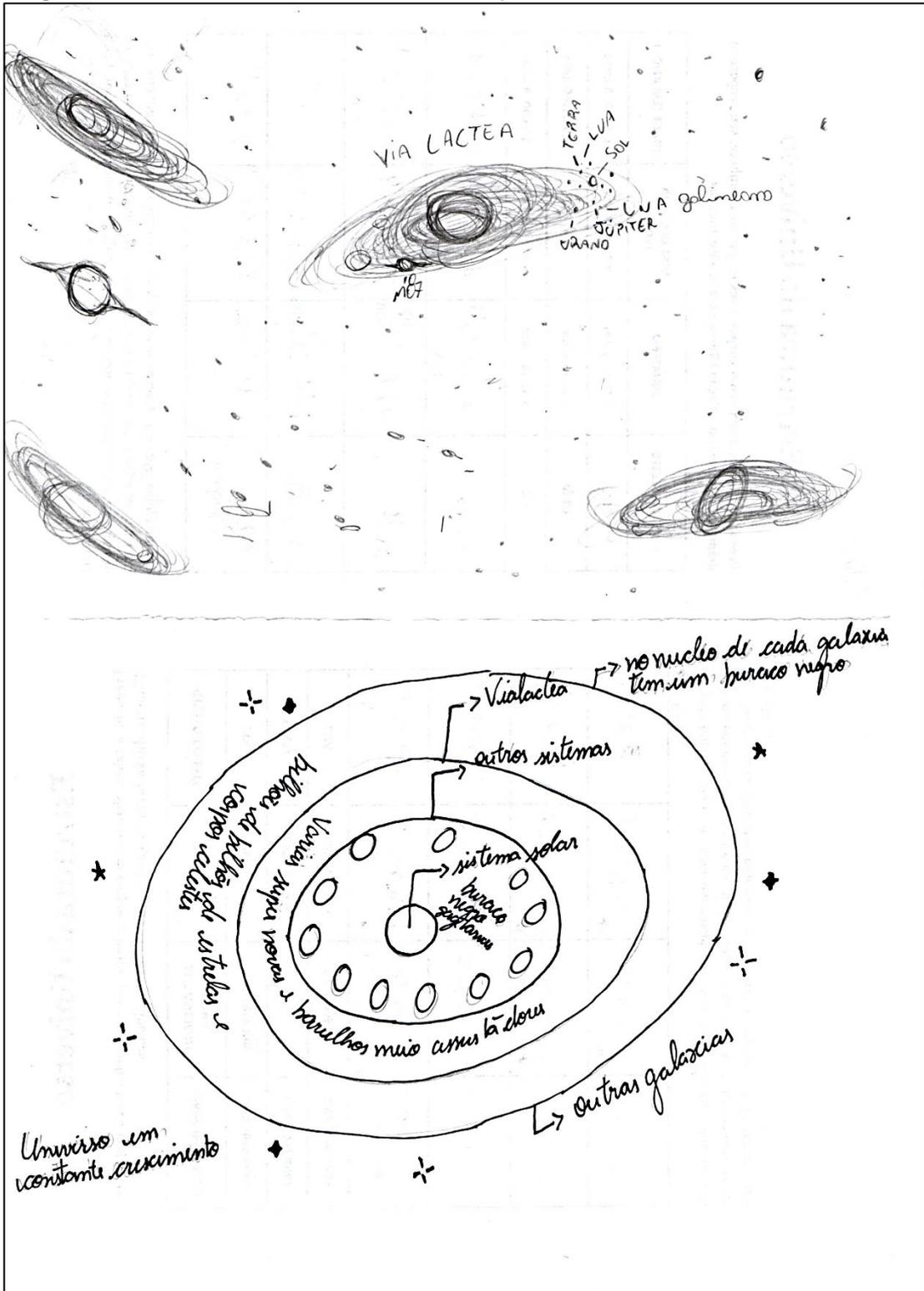
Figura 35: respostas dos alunos sobre os o diâmetro, distância e idade dos corpos celestes conhecidos, apenas do sistema solar.

Preencha a tabela abaixo com corpos celestes que você conhece, seu respectivo diâmetro, distância em relação à Terra e sua idade estimadas.				Preencha a tabela abaixo com corpos celestes que você conhece, seu respectivo diâmetro, distância em relação à Terra e sua idade estimadas.			
OBJETO CELESTE	DIÂMETRO	DISTÂNCIA DA TERRA	IDADE (EM ANOS)	OBJETO CELESTE	DIÂMETRO	DISTÂNCIA DA TERRA	IDADE (EM ANOS)
SOL	$1,39.10^6$ Km	$1,48.10^8$ Km	$4,63.10^9$ anos	SOL	$1,39.10^6$ Km	$1,48.10^8$ Km	$4,63.10^9$ anos
TERRA	$1,27.10^4$ Km	-	$4,54.10^9$ anos	TERRA	$1,27.10^4$ Km	-	$4,54.10^9$ anos
LUA	$3,47.10^3$ Km	$3,84.10^5$ Km	$4,53.10^9$ anos	LUA	$3,47.10^3$ Km	$3,84.10^5$ Km	$4,53.10^9$ anos
Júpiter	$2,32.10^5$ Km	$2,54.10^6$ Km	$4,67.10^9$ anos	Saturno	$1,32.10^5$ Km	$2,30.10^9$ Km	$4,95.10^9$ anos
Vênus	$1,08.10^4$ Km	$1,85.10^5$ Km	$4,37.10^9$ anos	Urano	$1,29.10^5$ Km	$3,02.10^3$ Km	$4,32.10^9$ anos
Marte	$1,21.10^4$ Km	$2,16.10^6$ Km	$4,45.10^9$ anos	Júpiter	$1,34.10^5$ Km	$2,15.10^7$ Km	$4,40.10^9$ anos
Netuno	$2,05.10^5$ Km	$1,53.10^6$ Km	$4,71.10^9$ anos	Netuno	$1,29.10^6$ Km	$9,10.10^7$ Km	$4,30.10^9$ anos

Fonte: do autor.

Poucos modelos representados pelos estudantes utilizaram corpos celestes que não fossem do sistema solar, mas é possível verificar alguns deles na Figura 36. Estes apresentam mais criatividade, sendo o primeiro com um maior detalhamento da localização dos objetos descritos no espaço. Porém, estes modelos que continham objetos celestes de fora do sistema solar, possuíam respostas mais discrepantes a respeito do seu tamanho, idade e distância em relação à Terra, como é exemplificado na Figura 37.

Figura 36: Modelos de Universo com corpos celestes fora do sistema solar.



Fonte: do autor.

Figura 37: respostas dos alunos sobre os o diâmetro, distância e idade dos corpos celestes conhecidos.

Preencha a tabela abaixo com corpos celestes que você conhece, seu respectivo diâmetro, distância em relação à Terra e sua idade estimadas.

OBJETO CELESTE	DIÂMETRO	DISTÂNCIA DA TERRA	IDADE (EM ANOS)
SOL	$1,39 \cdot 10^6$ Km	$1,48 \cdot 10^8$ Km	$4,63 \cdot 10^9$ anos
TERRA	$1,27 \cdot 10^4$ Km	-	$4,54 \cdot 10^9$ anos
LUA	$3,47 \cdot 10^3$ Km	$3,84 \cdot 10^5$ Km	$4,53 \cdot 10^9$ anos
Estrela Mataragalén	$1,20 \cdot 10^4$ km *	300/200 anos luz	33/14 bilhões anos
Antares	$33,90 \cdot 10^6$ km *	$5,50 \cdot 10^{18}$ km *	$4,60 \cdot 10^9$
Urano	$5,25 \cdot 10^{14}$ km *	$3,82 \cdot 10^{15}$ km *	$4,53 \cdot 10^9$
Plutão	$5,38 \cdot 10^6$ km *	$5,47 \cdot 10^{18}$ *	$4,52 \cdot 10^9$

\* = talvez

Preencha a tabela abaixo com corpos celestes que você conhece, seu respectivo diâmetro, distância em relação à Terra e sua idade estimadas.

OBJETO CELESTE	DIÂMETRO	DISTÂNCIA DA TERRA	IDADE (EM ANOS)
SOL	$1,39 \cdot 10^6$ Km	$1,48 \cdot 10^8$ Km	$4,63 \cdot 10^9$ anos
TERRA	$1,27 \cdot 10^4$ Km	-	$4,54 \cdot 10^9$ anos
LUA	$3,47 \cdot 10^3$ Km	$3,84 \cdot 10^5$ Km	$4,53 \cdot 10^9$ anos
Urano?	$2,23 \cdot 10^{14}$ Km	$6,59 \cdot 10^{18}$ Km	$4,57 \cdot 10^9$
M81	$20,70 \cdot 10^{18}$ Km	$9,13 \cdot 10^7$	$10,23 \cdot 10^9$ anos
Jupiter	$2,77 \cdot 10^5$ Km	$5,99 \cdot 10^6$ Km	$5 \cdot 10^{20}$
Sua galáxia	$2,84 \cdot 10^{17}$ Km	$7,87 \cdot 10^{17}$ Km	$7 \cdot 10^{16}$

Fonte: do autor.

#### 6.4.2 Aula 2: Quais informações a luz pode nos dar sobre o Universo?

Na Aula 2, foi ministrado uma aula expositiva sobre conceitos básicos de ondas eletromagnéticas, um tema que já haviam estudado em anos anteriores. A abordagem teve um caráter de revisão, visando consolidar os conceitos previamente aprendidos. Um aspecto interessante dessa aula foi a análise dos espectros das lâmpadas, que os alunos puderam observar e comparar. Essa atividade permitiu que eles visualizassem as diferenças nos espectros luminosos, como evidenciado nas respostas da Questão 1. Essa prática proporcionou uma compreensão mais profunda dos conceitos teóricos discutidos, além de oferecer uma experiência prática e concreta.

A mudança no formato da atividade foi bem-sucedida, pois tornou a aula mais dinâmica e fluida. Ao proporcionar uma atividade prática e direcionada, a aula cumpriu seu objetivo de compreender os conceitos de ondas eletromagnéticas e verificar a diferença entre espectros de diferentes elementos químicos de forma eficaz.

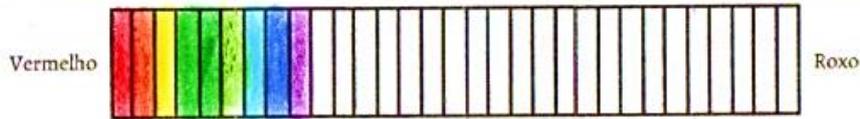
Na Figura 38 (a) e (b), é possível perceber que os espectros representados pelos alunos possuem diferenças nas cores utilizadas e nos espaços em branco. Conforme as respostas da questão 2, também se nota que os estudantes compreenderam que a luz proveniente dos corpos celestes pode indicar diversas informações. Na Figura 38 (b) o aluno evidencia que “dependendo da cor e da claridade, do brilho que ela emite no espaço, pode revelar a distância ou a proximidade de uma galáxia da Terra”. Já nas respostas da imagem (a), o discente escreve que “é possível identificar os gases, pois os gases emitem cada um uma frequência de onda”.

Essas informações evidenciam que os estudantes conseguiram perceber uma conexão entre os conceitos básicos sobre ondas eletromagnéticas apresentadas na aula expositiva com o experimento realizado e uma possível aplicação na astronomia, para a identificação de informações sobre corpos celestes.

Figura 38: respostas da atividade sobre o espectro eletromagnético.

1. Primeiramente, monte o seu espectrômetro de papel conforme indicado na folha. Acople o espectrômetro na câmera do seu celular e registre os espectros de cada fonte de luz. Anote as fontes de luz utilizadas e pinte o espectro com as cores com mais destaque:

Fonte de Luz 1: **Neônio**



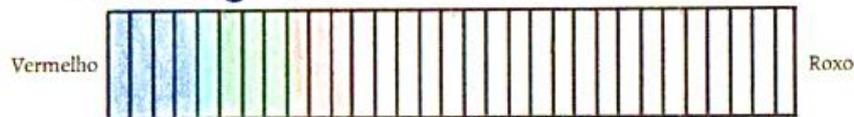
Fonte de Luz 2: **Criptônio**



Fonte de Luz 3: **Argônio**



Fonte de Luz 4: **Hidrogênio**



2. Como a luz pode ajudar a obter dados, informações e características dos corpos celestes no espaço?

Dependendo do cor e do claridade do brilho que ele emite no espaço, pode revelar a distância ou a proximidade de uma galáxia da Terra.

(a)

1. Primeiramente, monte o seu espectrômetro de papel conforme indicado na folha. Acople o espectrômetro na câmera do seu celular e registre os espectros os espectros de cada fonte de luz. Anote as fontes de luz utilizadas e pinte o espectro com as cores com mais destaque:

Fonte de Luz 1: NEONIO



Fonte de Luz 2: Kryptonio



Fonte de Luz 3: Argônio



Fonte de Luz 4: Hélio



2. Como a luz pode ajudar a obter dados, informações e características dos corpos celestes no espaço?

No luz dos corpos celestes é possível identificar os gases, pois os gases emitem cada um uma frequência de ondas.

(b)

Fonte: do autor.

### 6.4.3 Aula 3: Expansão do Universo

Na aula sobre a expansão do Universo, os alunos foram introduzidos ao conceito antes de iniciar a atividade prática. Assim como na primeira aplicação, um método visual envolvendo um elástico foi utilizado para facilitar a compreensão. Durante essa exposição, houve uma participação ativa dos alunos, que conseguiram articular os conhecimentos da UEPS com os novos conceitos apresentados.

As contribuições dos alunos ocorreram de forma dialogada ao longo de toda a aula, evidenciando um engajamento significativo. Por exemplo, um aluno questionou se a mudança para o infravermelho ocorre devido ao deslocamento para o vermelho devido à expansão do Universo, demonstrando um entendimento aprofundado do tema e uma conexão com os conceitos vistos nas aulas. Outras questões sobre telescópios também foram levantadas durante a discussão.

Essa aula foi conduzida em um formato diferente da primeira aplicação, onde os problemas propostos na atividade foram apresentados de maneira gradual e na construção do conhecimento ao longo de toda a aula, com acompanhamento individual do desempenho dos alunos. Esse método permitiu que cada aluno pudesse acompanhar o ritmo da aula e participar ativamente da atividade proposta.

Os estudantes conseguiram verificar quais as galáxias mais distantes utilizando as imagens ópticas distribuídas e identificar o comprimento de onda da linha vermelha do hidrogênio no espectro de cada galáxia, como exemplificado na Figura 39 (a) e (b).

Figura 39: respostas dos alunos das questões 1 e 2 na atividade realizada na Aula 3.

1. Observe as imagens ópticas das Galáxias A, B, C e D. Todas essas galáxias possuem, aproximadamente, o mesmo tamanho. Qual das galáxias está mais perto de nós? Ordene-as de maneira crescente quanto a sua distância em relação à nós.

B
D
A
C

Mais perto  Mais longe

Qual evidência você utilizou para responder a questão?

*O tamanho que aparenta ter na imagem, quanto maior ele aparenta ser, mais perto ele está, quanto menor mais distante se encontra.*

2. Observe o espectro das galáxias A, B, C e D. Determine o comprimento de onda da linha vermelha do hidrogênio em cada um dos espectros.

Galáxia A: 725 nm                      Galáxia C: 750 nm  
 Galáxia B: 660 nm                      Galáxia D: 700 nm

(a)



3. Comparando o comprimento da linha vermelha no espectro do hidrogênio com o observado nas galáxias na questão anterior, determine o desvio dessa linha do hidrogênio para as galáxias, em nm e depois a taxa de proporção para 1. Com essa informação, é possível determinar a velocidade de afastamento das galáxias, apenas multiplicando o valor encontrado pela velocidade da luz

Redshift galáxia A: 725 nm =  $1,10769231 \times 300.000 \text{ km/s} = 332.307.692 \text{ km/s}$   
 Redshift galáxia B: 665 nm =  $1,02307692 \times 300.000 \text{ km/s} = 306.923.077 \text{ km/s}$   
 Redshift galáxia C: 755 nm =  $1,16153846 \times 300.000 \text{ km/s} = 348.461.538 \text{ km/s}$   
 Redshift galáxia D: 700 nm =  $1,07692308 \times 300.000 \text{ km/s} = 323.076.923 \text{ km/s}$

4. Plote o gráfico da velocidade das galáxias conforme a sua distância em relação a nós:

Handwritten calculations for determining the velocity of galaxies based on their redshift:

$\begin{array}{r} 650 \times 1 \\ 720 \times x \\ \hline 650 \cdot x = 720 \\ x = \frac{720}{650} \\ x = 1,10769231 \cdot 300.000 \\ 332.307.692 \text{ km} \end{array}$	$\begin{array}{r} 650 \times 1 \\ 665 \times x \\ \hline 650 \cdot x = 665 \\ x = \frac{665}{650} \\ x = 1,02307692 \cdot 300.000 \\ 306.923.077 \end{array}$	$\begin{array}{r} 650 \times 1 \\ 755 \times x \\ \hline 650 \cdot x = 755 \\ x = \frac{755}{650} \\ x = 1,16153846 \cdot 300.000 \\ 348.461.538 \end{array}$	$\begin{array}{r} 650 \times 1 \\ 700 \times x \\ \hline 650 \cdot x = 700 \\ x = \frac{700}{650} \\ x = 1,07692308 \cdot 300.000 \\ 323.076.923 \end{array}$
--	---	---	---

(b)

Fonte: do autor.

A execução da atividade foi fundamental para solidificar o entendimento de que as galáxias mais distantes se afastam mais rapidamente, um princípio central na teoria da expansão do Universo. Essa compreensão foi evidenciada nas respostas da atividade, demonstrando que os alunos assimilaram o conceito de forma satisfatória.

#### 6.4.4 Aula 4: A evolução do Universo

Durante uma atividade em sala de aula, os alunos foram divididos em grupos para discutir um texto sobre a origem do Universo, como parte do encerramento da UEPS, tendo a oportunidade de esclarecer dúvidas conforme surgiam. Este texto possuía informações sobre algumas teorias não-científicas sobre a origem do Universo e também algumas das evidências apresentadas ao longo das aulas em relação à teoria do Big Bang. Seguindo o texto, eram apresentadas características relacionadas à temperatura, tamanho e composição do Universo em alguns desde o seu surgimento.

A mudança realizada no formato da atividade mostrou-se eficaz, resultando em discussões mais objetivas e resolvendo problemas relacionadas às crenças de alguns estudantes que haviam sido identificadas na primeira aplicação. O tema abordado no texto despertou diversos questionamentos nos estudantes, demonstrando um interesse pela discussão. No entanto, não houve conexões evidentes entre os conceitos previamente estudados e os novos apresentados no texto.

Um problema de organização do tempo surgiu durante a atividade, uma vez que esta acabou tomando mais tempo do que o esperado. Por conta disso, os alunos precisariam terminar o calendário na aula seguinte. Porém, devido à proximidade da semana de simulados escolares e vestibulares, apenas alguns alunos conseguiram entregar o calendário planejado para a atividade seguinte e o restante não compareceu mais na escola. Na Figura 41, há um exemplo do calendário entregue por um dos grupos de estudantes.

Para contornar esse problema, uma solução seria fornecer um modelo de calendário já pronto para os alunos, permitindo que eles o completem durante a mesma aula. Isso garantiria que todos os alunos pudessem concluir a atividade dentro do tempo disponível, mesmo diante de um cronograma apertado de avaliações. Este modelo foi adicionado posteriormente à versão final do produto didático.

Figura 41: calendário do Universo construído pelos estudantes.

CALENDÁRIO DO UNIVERSO			
<b>JANEIRO</b> 01- Era de Planck 01- Inflação Cósmica 01- Início da Nucleossíntese 01- Início da Formação de Quêrons 01- Nucleossíntese de outros elementos químicos 12- Primeira estrela surgiu. 26- Primeira galáxia surgiu.	<b>FEVEREIRO</b>	<b>MARÇO</b> 20- Formação das galáxias	<b>ABRIL</b>
<b>MAIO</b>	<b>JUNHO</b>	<b>JULHO</b>	<b>AGOSTO</b>
<b>SETEMBRO</b> 02- Formação do Sol e planetas.	<b>OUTUBRO</b>	<b>NOVEMBRO</b>	<b>DEZEMBRO</b> 31- Comportamento moderno do ser humano

Fonte: do autor.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O produto didático desenvolvido neste trabalho surge a partir da necessidade de tornar a Cosmologia mais acessível para os professores do Ensino Médio. A revisão bibliográfica realizada revelou uma ausência no que diz respeito às sequências didáticas sobre Cosmologia em sala de aula, seja devido à falta de preparo dos docentes nessa área (Júnior, et al, 2018), à redução do tempo curricular imposta pelas reformas educacionais (Brasil, 2018), ou à escassez de materiais didáticos adequados. Diante desses desafios, uma alternativa é integrar noções de Cosmologia aos conteúdos já estabelecidos no currículo, como realizado neste produto didático.

O produto didático final consiste em um livro com textos de apoio, com toda a fundamentação teórica necessária para ministrar aulas sobre o assunto, e ideias de atividades e experimentos para serem aplicados em turmas de Ensino Médio. As atividades e experimentos foram planejados baseando-se na estrutura de uma UEPS.

A aplicação do produto didático revelou a viabilidade de ensinar Cosmologia no contexto das aulas de Física, utilizando conceitos relacionados à Ondas Eletromagnéticas. Contudo, a análise dos resultados foi dificultada pela baixa taxa de participação contínua dos alunos, o que prejudicou a avaliação de possíveis indícios de aprendizagem significativa. Na primeira aplicação do produto didático, notou-se que o motivo deste acontecimento se deu pela grande quantidade de aulas previstas na primeira versão, além de eventos extraclasse. Este último percalço também afetou as turmas da segunda aplicação, somado também com o período de realização de vestibulares.

Um destaque positivo foi a facilidade de utilizar notação científica para representar as escalas dos corpos celestes. Por outro lado, na primeira aplicação, houveram episódios onde a cultura religiosa interferiu na realização das atividades por parte de alguns estudantes. Dessa forma, decidiu-se realizar alterações no vocabulário de alguns enunciados das atividades propostas, sem alteração dos objetivos, a fim de minimizar situações análogas.

As turmas de primeiro ano do NEM, da primeira aplicação, demonstram menos maturidade nas respostas, fazendo menos conexões com seus conhecimentos prévios com os estudados em sala, do que as turmas de terceiro ano da segunda aplicação. Isso demonstra a necessidade de adaptação do currículo em espiral (Figura 17) do CBEMTC, visto que esse conteúdo está previsto para ser ministrado no início

do primeiro ano do NEM. Ainda nessa análise, observou-se, nas duas aplicações, que ainda prevalece uma cultura na escola do “medo de errar”, ou seja, mesmo as atividades de baseando em situações problema, onde não havia solução certa, os estudantes tentavam conferir suas respostas em outras fontes.

A elaboração e aplicação deste produto didático destacaram a importância de considerar os fatores externos que afetam o ambiente escolar, como evasões, entrada de novos alunos e fatores climáticos que, às vezes, afetam áreas de risco onde a comunidade escolar reside. Embora algumas dessas eventualidades possam ser contornadas por meio de planejamento cuidadoso e empatia com a situação dos estudantes, o cotidiano docente muitas vezes apresenta imprevisibilidades.

Embora os resultados indiquem impactos positivos da aplicação deste produto didático na prática docente, fica evidente a necessidade de adaptações contínuas para adequar o produto às diferentes realidades e contextos escolares. A introdução de tópicos de Cosmologia durante as aulas de Física, por meio de situações-problema que consideram o conhecimento prévio dos alunos, despertou o interesse de alguns estudantes pela disciplina ao longo do processo. Dessa forma, fica evidente que o desenvolvimento e implementação de produtos didáticos como esse não apenas enriquecem o ensino de Física, mas também contribuem para a renovação e aprimoramento das práticas educacionais.

## REFERÊNCIAS

AGUIAR, R. R. HOUSOME, Y. **Tópicos de Astronomia, Astrofísica e Cosmologia na 1ª série do ensino médio como parte integrante de um projeto curricular diferenciado de Física.** Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia - RELEA, n. 25, p. 51-70, 2018.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular do Ensino Médio.** Publicada no D.O.U. de 14/12/2018.

CALDAS, L. R., SIQUEIRA, A. B. O. **Potentially meaningful teaching unit on Cosmology in the vision of the teacher of fundamental and average education.** IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1286, 2019.

DAMINELI, A. et al. **O céu que nos envolve: introdução à astronomia para educadores e iniciantes.** Odysseus Editora, 1ª edição, 2011.

**Espectro Eletromagnético: o que é, frequências e comprimentos de onda.** Toda Matéria, [s.d.]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/espectro-eletromagnetico/>. Acesso em: 4 abr. 2024.

FERREIRA, M. et al. **Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre óptica geométrica apoiada por vídeos, aplicativos e jogos para smartphones.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 42, 2020.

HENRIQUE, A. B., SILVA, C. **Discutindo a natureza da ciência a partir de episódios da história da cosmologia: o universo teve um começo ou sempre existiu?** Anais do VII Enpec, Florianópolis, novembro de 2009.

JÚNIOR, E. C. Et al. **Divulgação e ensino de Astronomia e Física por meio de abordagens informais.** Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 40, nº 4, 2018.

KNIGHT, R. **Física 2: Uma abordagem estratégica.** Bookman, 2 ed., Porto Alegre, 2009a.

KNIGHT, R. **Física 4: Uma abordagem estratégica.** Bookman, 2 ed., Porto Alegre, 2009b.

MOREIRA, M. A. **Unidades de Ensino Potencialmente Significativas - UEPS.** Aprendizagem Significativa em Revista, v. 1, n. 2, p. 43–63, 2011. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/asr/?go=artigos&idEdicao=2>>. Acesso em 05 de janeiro de 2023.

PANTOJA, G. C.; MOREIRA, M. A. **Investigando a implementação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre o conceito de Campo Magnético em disciplinas de Física Geral.** Rev. electrón. investig. educ. cienc., Tandil, v. 14, n. 2, p. 01-17, jul. 2019.

PEDREIRA, I. O. C. **Fundamentos da cosmologia um estudo sobre matéria escura.** Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2022.

REIS, Ribamar R. R. SIFFERT, Beatriz B. **Supernovas do tipo Ia e a expansão do Universo.** Cadernos de Astronomia, vol. 3, nº1, 21-32, 2022.

RIESS A. G., *et al.* **Observational evidence from supernovae for an accelerating universe and a cosmological constant.** The Astronomical Journal, 1161, p. 1009-1038, Setembro, 1998.

SALIMPOUR, S., *et al.* **Cosmos visualized Development of a qualitative framework for analyzing representations in cosmology education.** Physical Review Physics Education Research 17, 013104, 2021.

SANTA CATARINA. **Secretaria de Estado da Educação Currículo base do ensino médio do território catarinense: Caderno 2 – formação geral básica.** Secretaria de Estado da Educação. Florianópolis: Gráfica Coan, 2021.

SILVA, J. C. R., ROSA, T. W., Dias, J. F. **Calendário Cósmico e a Física Nuclear.** Editora Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2019.

SODRÉ JR., Laerte. **O lado escuro do universo.** Cad. Bras. Ens. Fís., v. 27, n. Especial: p. 743-769, nov. 2010.

SOUZA, R. E. **Introdução à cosmologia.** Editora Edusp, 2ª edição, 2019.

**The Nobel Prize in Physics 2011.** NobelPrize.org. Nobel Prize Outreach AB 2023. Sat. 28 Oct 2023. <<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2011/summary/>>

TIPLER, P. A., LLEWELLYN, R. A. **Física Moderna.** 6ª ed., editora LTC, Rio de Janeiro, RJ, 2014.

TIPLER, P. A., MOSCA, G. **Física para cientistas e engenheiros, Vol 1: Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica.** LTC Editora, 6ª edição, 2009a.

TIPLER, P. A., MOSCA, G. **Física para cientistas e engenheiros, Vol 2: eletricidade e magnetismo, óptica.** LTC Editora, 6ª edição, 2009b.

TIPLER, P. A., MOSCA, G. **Física para cientistas e engenheiros, Vol 3: mecânica quântica, relatividade e estrutura da matéria.** LTC Editora, 6ª edição, 2009c.

WEINBERG, S. **The first three minutes: a modern view of the origin of the universe.** Published by Fontana Paperbacks, 1993.

YOUNG, H. D., FREEDMAN, R. A. **Física IV: Óptica e Física Moderna.** Pearson Education do Brasil, 14. ed., São Paulo, 2016.

## APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS BLUMENAU  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA  
POLO 52

Gabriela Mikoaski

## PRODUTO EDUCACIONAL

GUIA PARA ENSINAR COSMOLOGIA

Blumenau, SC

2024

Gabriela Mikoaski

## GUIA PARA ENSINAR COSMOLOGIA

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: *Ensinando Cosmologia no Ensino Médio: Um livro de apoio ao professor com propostas e ideias de atividades para aplicar em sala de aula, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 52 – UFSC / Campus Blumenau*, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Profa. Dra. Lara dos Santos Lavelli

Blumenau, SC

2024

# GUIA PARA ENSINAR COSMOLOGIA

**Gabriela Mikoaski**

**Orientação: Dra. Lara dos Santos Lavelli**



**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física





# AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer à Profa. Dra. Lara dos Santos Lavelli por todos os ensinamentos e conselhos como orientadora, além de ser uma pessoa e profissional inspiradora. Também quero agradecer aos professores Dr. Lucas Natalio Chavero, por ter proporcionado tantos momentos de reflexão que me fizeram crescer como profissional, e Dr. Esley Scatena Gonçales, por todos os ensinamentos e aprendizados..

Quero agradecer também minha colega de mestrado e amiga Kessia, por termos passado raiva juntas e por sempre nos apoiarmos nos momentos de dificuldade ao longo das aulas, das avaliações e da escrita da dissertação.

Sabemos que a profissão docente não é fácil, e ter pessoas que te apoiam e te entendem diariamente é essencial. Por isso, agradeço minha colega de profissão e grande amiga Thais, por ter aturado meus momentos de loucura, desaparecimentos e, muitas vezes, falta de senso, além de ter me ajudado a escrever esta página de agradecimento.

Também quero agradecer à supervisora da escola em que este produto foi aplicado, Anna Carolina, por fazer com que isso acontecesse e por ter lutado ao meu lado nas batalhas da educação. Agradeço também minha família, minha mãe e meu pai, por sempre me apoiar em todas as decisões e auxiliado nas dificuldades em todos os momentos da minha vida. Gostaria de agradecer ao meu amigo Mateus que, em meio aos nossos encontros, as inúmeras conversas reflexivas que tivemos sobre política, educação e vida auxiliaram diretamente na escrita desta dissertação e na construção deste livro.

Por fim, quero agradecer meu colega de graduação, de mestrado, de profissão e meu marido Augusto, que sempre me apoiou em tudo. Muito obrigada por me ajudar com as correções, a fazer as minhas ideias de experimentos funcionarem, por todo o apoio e por cuidar tão bem da Pituca.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.



# ÍNDICE

<b>Introdução</b> .....	7
<b>1. Estrutura do Universo</b>	
1.1. Introdução .....	11
1.2. A estrutura do nosso Sistema Solar .....	12
1.3. Sobre a Via Láctea e onde estamos localizados .....	14
1.4. Os pequenos corpos que compõe o Universo: as partículas .....	15
1.5. Sugestão de aula .....	18
Sugestão de material extra .....	23
Referências do capítulo .....	23
<b>2. Quais informações a luz pode nos dar sobre o Universo?</b>	
2.1. Introdução .....	24
2.2. Propriedades da Luz .....	25
2.3. Espectroscopia Óptica .....	34
2.4. Sugestão de aula .....	36
Sugestão de material extra .....	44
Referências do capítulo .....	44
<b>3. Expansão do Universo</b>	
3.1. Introdução .....	45
3.2. Efeito Doppler da Luz .....	46

3.3. Expansão do Universo .....	48
3.4. A expansão acelerada do Universo .....	51
3.5. Sugestão de aula .....	54
Sugestão de material extra .....	63
Referências do capítulo .....	63

#### **4. A Evolução do Universo**

4.1. Introdução .....	65
4.2. A Teoria do Big Bang .....	66
4.3. A história do Universo .....	67
4.4. Sugestão de aula .....	70
Sugestão de material extra .....	76
Referências do capítulo .....	76





# INTRODUÇÃO

A Cosmologia é uma área da Física que aborda assuntos como a origem e a estrutura do Universo. É um tema que sempre desperta interesse entre os estudantes, gerando discussões e problemáticas interessantes ao longo das aulas. Ensinar Cosmologia para estudantes da Educação Básica não é algo trivial. Porém, possibilita ao aluno discutir a natureza da ciência e diferentes visões de mundo, além de conhecer explicações sobre o Universo, sua origem e estrutura.

O ensino destes conteúdos está previsto nos documentos curriculares brasileiros desde 1990, com os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM). Porém, esses conteúdos não eram aplicados em sala de aula, principalmente pela má formação docente nesta área e divergências conceituais nos livros didáticos.

Com a obrigatoriedade da utilização da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), o ensino de Cosmologia ganhou destaque e se tornou parte do currículo obrigatório da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias.

Pensando nesses aspectos, este livro surge a partir da seguinte problemática: a escassez de materiais acessíveis sobre o assunto e a falta de formação nesta área, que contribui ainda mais para a dificuldade no ensino de Cosmologia. Ele é o resultado de um produto educacional elaborado no programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

A proposta deste livro é fornecer um suporte para o professor ensinar Cosmologia, com uma fundamentação teórica sobre o conteúdo e ideias de atividades. Além de tópicos de Cosmologia, como estrutura do Universo, expansão do Universo e sua origem, também são abordados paralelamente conceitos de Ondulatória, como comprimento, frequência e velocidade de uma onda, classificação da natureza das ondas e ondas eletromagnéticas.

Devido ao baixo número de materiais encontrados acessíveis a professores, este livro fornece todo o apoio necessário para ensinar Cosmologia para todos os níveis do Ensino Médio da Educação Básica, desde a fundamentação teórica necessária para as aulas, até atividades que podem ser aplicadas separadamente ou em uma sequência didática.

É recomendado que o público alvo (estudantes do Ensino Médio) conheçam algumas temáticas como Notação Científica, composição e estrutura do átomo e noções básicas de escalas e unidades de medida.

As atividades elaboradas foram produzidas utilizando como metodologia de ensino as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS).

As UEPS dispõem de aulas expositivas, experimentos e resolução de situações-problema com diferentes níveis de dificuldade. Todas as atividades foram pensadas para serem aplicadas em escolas com pouca infraestrutura, sem necessitar do uso de laboratórios, computadores, projetores e etc.

## Estrutura do livro

Como já dito, este livro consiste em textos explicativos e ideias de atividades que podem ser aplicadas em sala de aula, em turmas de Ensino Médio. Os textos explicativos são voltados para professores e contemplam diversos temas relacionados ao estudo da Cosmologia, como as propriedades da luz, espectroscopia óptica, expansão do Universo, conceitos básicos sobre partículas e origem do Universo.

As atividades sobre o tema para serem aplicadas em sala de aula, vão ao encontro do conteúdo abordado nos textos. Elas são baseadas em situações-problema e nas habilidades e competências exigidas na BNCC. A estrutura e o tema de cada uma das aulas desta UEPS estão descritos no quadro abaixo.

<b>Aula</b>	<b>Assunto</b>	<b>Aspectos da UEPS</b>
1	Estrutura do Universo	Etapa de verificações dos conhecimentos prévios e proposta da situação-problema inicial.
2	O espectro eletromagnético do Universo	Etapa em que a segunda situação-problema é proposta, envolvendo os conhecimentos prévios analisados na atividade anterior.
3	O que a luz nos fala sobre o Universo?	Etapa de introdução do assunto e proposta de situações-problemas mais complexas que envolvem os conhecimentos estudados anteriormente.
4	Expansão do Universo	Etapa de proposta de situações-problemas mais complexas que envolvem os conhecimentos estudados anteriormente e avaliação individual e somativa.
5	Big Bang	Etapa em que é realizada uma atividade colaborativa e encerramento do tema da UEPS.

Em cada capítulo deste livro, há os seguintes tópicos:

- Explicação do conteúdo com figuras, esquemas e tabelas, com todo suporte necessário para ministrar uma aula sobre o tema no Ensino Médio;
- Sugestão de aula que contém sua proposta, os recursos necessários, habilidades da BNCC envolvidas, roteiro de aula e sugestão de atividade e/ou experimento.

No final da aplicação das aulas e atividades sugeridas neste livro, espera-se que o aluno aprimore a sua compreensão a respeito da dimensão e idade do Universo, entenda a importância do estudo da Cosmologia e relacione os conceitos básicos sobre ondulatória com esta área de estudo. Uma UEPS bem-sucedida deve reconhecer, na avaliação dos alunos, sinais de uma aprendizagem significativa, como a compreensão de significados e a habilidade de explicar e aplicar o conhecimento para resolver diversas situações-problema.



# I. ESTRUTURA DO UNIVERSO

## 1.1. Introdução

Compreender sobre a estrutura do Universo é fundamental para entendermos sobre como ele surgiu. É comum ouvirmos dos estudantes perguntas como “Como o Universo começou?”, “há quantos anos eles surgiu?” ou “quando nosso Sistema Solar surgiu?”. Muitas dessas perguntas possuem respostas simples. Mas, elas podem ser o início de uma discussão mais profunda sobre do que e como nosso Universo é formado.

Saber sobre a escala do nosso planeta, nosso Sistema Solar, nossa galáxia e onde estamos localizados, além do que essas coisas são compostas, é parte importante do processo de compreender como tudo começou. Neste capítulo serão discutidos brevemente essas informações, iniciando com a estrutura do Sistema Solar, algumas características e onde estamos localizados na Via Láctea e noções básicas sobre partículas, para que possamos começar a compreender melhor o nosso Universo.

## 1.2. A estrutura do nosso Sistema Solar

O nosso Sistema Solar possui corpos celestes com características próprias e muito diferentes umas das outras. Devido aos desenhos em livros didáticos e outras representações que encontramos, acabamos tendo ideias distorcidas sobre a real escala dos astros que o compõe.

O Sistema Solar é formado por três diferentes tipos de corpos celestes:

- **Planetas Clássicos:** são objetos celestes arredondados que orbitam o Sol, tem massa suficiente para ter gravidade própria e possuem órbita definida. No nosso Sistema Solar, os planetas são Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno.
- **Planetas Anões:** assim como os planetas clássicos, são objetos celestes arredondados que orbitam o Sol e tem massa suficiente para ter gravidade própria. Contudo não possuem órbitas bem definidas. Os planetas anões do Sistema Solar são Ceres, Eris e Plutão.
- **Pequenos Corpos:** todos os outros corpos celestes que orbitam o Sol e que não são satélites naturais de planetas são considerados pequenos corpos, como cometas, asteroides e meteoroides.

Para ser possível comparar a escala de distância e tamanho dos planetas do Sistema Solar de forma mais simples, na tabela a seguir há o diâmetro e a distância real, comparado ao tamanho e distância em escala. Perceba que o maior planeta do Sistema Solar, Júpiter, tem o tamanho de uma moeda de um centavo enquanto o Sol possui 16,5 cm nesta escala.

Objeto	Real Diâmetro (km)	Real distância (milhões de km)	Tamanho escalonado (cm)	Distância escalonada (m)
Sol	1.392.000	-	16,5	-
Mercúrio	4.880	58	0,06 (menor que um grão de areia)	6,9
Vênus	12.104	108	0,14 (grão de areia)	12,8
Terra	12.742	150	0,15 (grão de areia)	17,7
Marte	6.780	228	0,08 (quase 1 mm)	27
Júpiter	139.822	778	1,7 (moeda de 1 centavo)	92,3
Saturno	116.464	1.427	1,4 (botão)	169,3
Urano	50.724	2.870	0,6 (metade de um botão)	340,4
Netuno	49.248	4.496	0,6 (metade de um botão)	533,3

A Figura 1.1 representa o tamanho aproximado dos planetas do Sistema Solar, quando comparado uns aos outros. Na ordem, da esquerda para a direita, temos o Sol, seguido de Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano, Netuno e um dos planetas anões, Plutão. A distância entre eles está fora de escala.

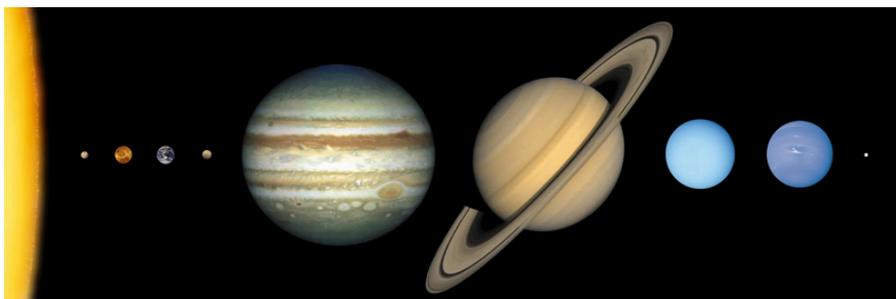


Figura 1.1: representação dos planetas em escala do Sistema Solar. Fonte: NASA/Lunar And Planetary Institute. Disponível em <<https://science.nasa.gov/resource/solar-system-sizes/>>

A Figura 1.2 compara o tamanho das órbitas de cada um dos planetas do Sistema Solar. As órbitas representadas à esquerda estão localizadas na parte interna da órbita de Marte indicada na representação à direita. O tamanho dos planetas está fora de escala.

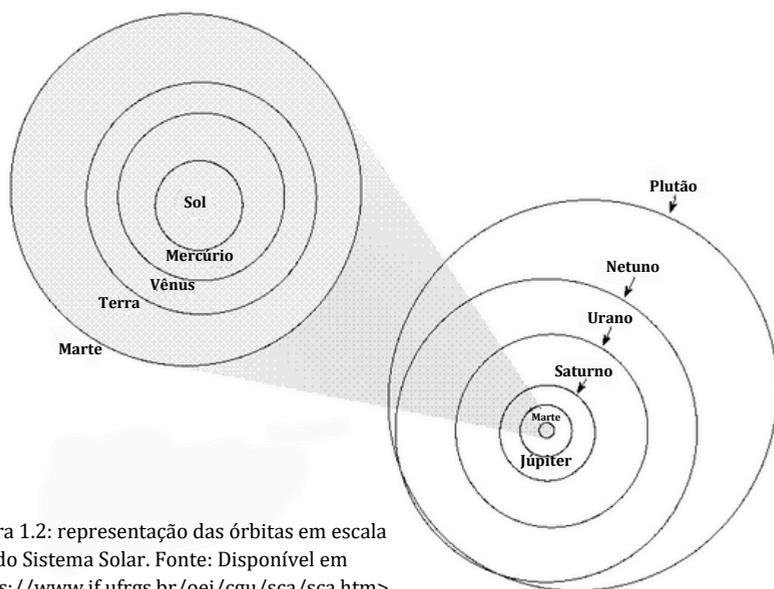


Figura 1.2: representação das órbitas em escala do Sistema Solar. Fonte: Disponível em <<https://www.if.ufrgs.br/oei/cgu/sca/sca.htm>>

## 1.3. Sobre a Via Láctea e onde estamos localizados

O Sol é uma das mais de 200 bilhões de estrelas que compõem a nossa galáxia, a Via Láctea. Ela possui um formato de disco plano, com uma protuberância central. As estrelas se agrupam em braços espirais, junto com gás e poeira dentro deste disco galáctico.

O nosso Sistema Solar está localizado em um desses braços espirais, a uma distância aproximada de 26.000 anos-luz do centro galáctico. A extensão total da Via Láctea é de cerca de 100.000 anos-luz, representado na Figura 1.3. Se considerarmos o Sol com um diâmetro de 16,51 centímetros, a Via Láctea teria uma extensão de 112 milhões de quilômetros, o que corresponde a aproximadamente 38% do diâmetro da órbita real da Terra ao redor do Sol.

Para colocar em perspectiva, na mesma escala, a órbita de Plutão teria apenas 1,4 km. Isso destaca o quão imensa é a Via Láctea em comparação com o nosso Sistema Solar. Abaixo, é possível visualizar a Via Láctea, com a posição do Sol marcada e sua distância em relação ao centro da galáxia.

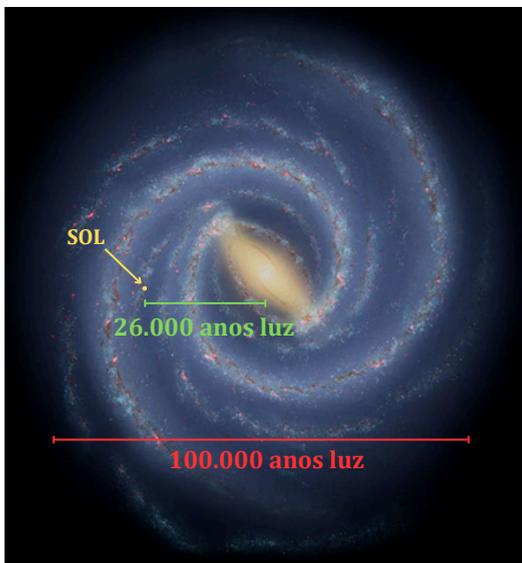


Figura 1.3: representação da posição do Sol na Via Láctea. Fonte: NASA/JPL-Caltech. Disponível em <<https://www.nasa.gov/centers-and-facilities/jpl/astromers-find-a-break-in-one-of-the-milky-ways-spiral-arms/>>

A galáxia mais próxima da Via Láctea é a galáxia de Andrômeda, e está localizada à 254 milhões de anos-luz de distância. Ela também é uma galáxia em espiral e possui um tamanho de 110.000 anos-luz, ou seja, ela é 10% maior que a nossa galáxia. Para se ter uma noção da distância entre esses dois corpos celestes, podemos colocar mais de 2.500 Via-Láctea enfileiradas entre elas.

## **1.4. Os pequenos corpos que compõem o Universo: as partículas**

As partículas mais fundamentais que compõem o Universo são chamadas de partículas elementares. Trata-se de partículas indivisíveis, que não possuem nenhuma estrutura, e que se unem para criar partículas mais conhecidas, como o nêutron e o próton. Seu estudo é importante para compreender como o Universo começou e sua composição e característica nos primórdios.

As partículas elementares são descritas por uma teoria, conhecida como Modelo-Padrão. Ele é composto por três teorias principais: a teoria dos quarks, que explica a estrutura das partículas; a teoria eletrofraca, que une a interação eletromagnética e fraca; e a cromodinâmica quântica, que aborda a interação forte. Embora não responda a todas as perguntas, o Modelo-Padrão é capaz de explicar muitas das propriedades e interações das partículas fundamentais.

Neste modelo, as partículas fundamentais são os léptons e os quarks, e cada um dos quais apresenta seis “sabores” distintos, separados em três gerações. Toda a matéria é composta por léptons e quarks. Até agora, não foi registrada nenhuma partícula constituída por mais de um lépton, ou seja, os léptons sempre são encontrados como partículas individuais.

Cada lépton possui um neutrino correspondente, sendo o mais conhecido deles, o elétron. Na tabela a seguir, há os “sabores” existentes dos léptons e seu neutrino correspondente, seu símbolo e carga elétrica.

Lépton	Símbolo	Carga
Elétron	$E$	-1
Neutrino do elétron	$\nu_e$	0
Múon	$\mu$	-1
Neutrino do múon	$\nu_\mu$	0
Táuon	$\tau$	-1
Neutrino do táuon	$\nu_\tau$	0

Além dos léptons, como partículas fundamentais há também os quarks, os quais podem se unir e formar outras partículas, como bárions e mésons. As combinações de três quarks são chamadas de bárions, como prótons e nêutrons, por exemplo. Os mésons são formados pelo combinação de um quark e um anti-quark.

Na tabela a seguir, há as informações sobre os “sabores” dos quarks, seu símbolos e carga elétrica.

Quark	Símbolo	Carga
Up	$U$	$2/3$
Down	$D$	$-1/3$
Charme	$C$	$2/3$
Estranho	$S$	$-1/3$
Top	$T$	$2/3$
Bottom	$B$	$-1/3$

Além dos quarks e lépton, existem outras partículas elementares chamadas de bósons, que fazem o transporte das interações fundamentais:

- Força Forte (responsável pela interação entre quarks);
- Força Fraca (responsável pelo decaimento radioativo);
- Força Eletromagnética (que atua em partículas carregadas);
- Gravitação (que atua em objeto massivos).

Também existem as antipartículas: para cada partícula existente há sua respectiva antipartícula, que compartilham a mesma massa e spin, mas apresentam cargas elétricas opostas. Por exemplo, a antipartícula do elétron, que possui carga negativa, é o pósitron. O pósitron possui a mesma massa e spin que o elétron, mas possui carga elétrica positiva. Quando elas se encontram, elas acabam se aniquilando.

A seguir, a Figura 1.4 mostra todas as partículas fundamentais do Modelo-Padrão e algumas das suas características, como massa e carga elétrica.

## Modelo Padrão das Partículas Elementares

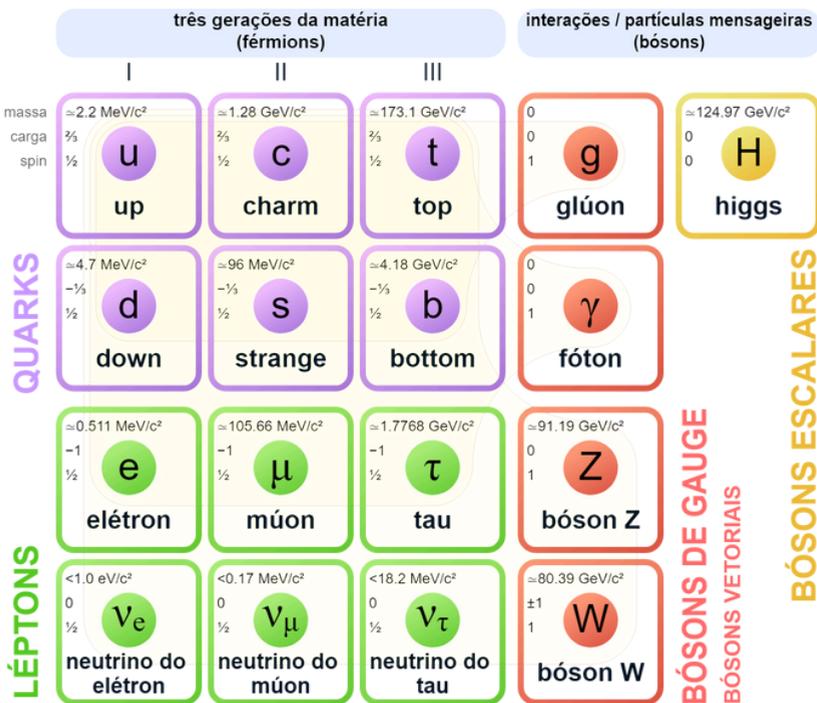


Figura 1.4: representação do Modelo-Padrão das partículas elementares. Disponível em [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d1/Standard\\_Model\\_of\\_Elementary\\_Particles-pt-br.svg/1024px-Standard\\_Model\\_of\\_Elementary\\_Particles-pt-br.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d1/Standard_Model_of_Elementary_Particles-pt-br.svg/1024px-Standard_Model_of_Elementary_Particles-pt-br.svg.png)

## 1.5. Sugestão de aula

**PROPOSTA DA AULA:** propor uma situação-problema inicial para verificar os conhecimentos prévios dos estudantes acerca da estrutura do Universo, analisando informações como tamanho dos corpos celestes, distância, localização e idade.

### **OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM:**

- Conhecer os objetos que fazem parte do nosso Sistema Solar, da Via Láctea e do Universo e sua escala;
- Entender o que é um modelo científico e como ele representa a realidade.

### **RECURSOS NECESSÁRIOS:**

- Cópia da “Atividade 1: Estrutura do Universo”, sendo uma para cada grupo de estudantes;
- Quadro e giz ou pincel.

### **HABILIDADES A SEREM DESENVOLVIDAS:**

- (EM13CNT201) Analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas e culturas para comparar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo com as teorias científicas aceitas atualmente;
- (EM13CNT204) Elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros);

- (EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações problema sob uma perspectiva científica.

## **ROTEIRO DA AULA:**

- **Duração total da aula:** 50 min;
- **Introdução da aula:** levantamento de corpos celestes conhecidos pelos estudantes (10 min);

No Universo, há diversos corpos celestes e objetos que compõe sua estrutura. Mas, onde estão esses objetos no espaço? Qual seu tamanho? O quão distante estão de nós? Saber responder essas perguntas nos ajuda a compreender a estrutura do Universo e criar modelos que nos ajudem a explicá-lo.

Introduza o tema da aula para os alunos e explique a importância de conhecer sobre a estrutura do Universo para criar um modelo dele. Em seguida, peça aos alunos corpos celestes que eles conhecem e fazem parte do Universo e escreva todos eles no quadro. Esta etapa da aula é importante para verificar o nível de conhecimento dos estudantes sobre o assunto. É provável que tenham alunos que saibam sobre vários objetos celestes e outros que conheçam apenas alguns do Sistema Solar. Mas, é imprescindível considerar válido todos eles, já que a atividade é preparada para atender diversos níveis de conhecimento.

- **Revisão:** Relembrando o que é um modelo científico (10 min);

Um modelo científico é uma explicação simplificada que nos ajuda a compreender melhor a realidade. Eles possuem diferentes formas e podemos utilizar imagens, simulações computacionais, equações matemáticas e analogias. Criar um modelo não é uma tarefa fácil, nem mesmo para cientistas, mas é algo presente na ciência há muito tempo.

Junto com os alunos, relembre alguns conceitos sobre método científico e o que é um modelo científico. Para a aplicação dessa atividade, é importante que os eles já saibam esses conceitos. Caso contrário, ocupe uma aula para falar sobre esse assunto.

- **Resolvendo a situação-problema inicial:** Criando e apresentando um modelo científico do Universo (30 min);

Divida a turma em grupos e distribua as cópias “Atividade 1: Estrutura do Universo”. Os alunos irão realizar a atividade em seus grupos e devem ter entre 15 e 20 minutos para fazer. O tempo curto é para que os estudantes pensem rápido e sem detalhes complexos na estrutura do seu modelo de Universo. Caso seja necessário, tire dúvidas e debata com eles sobre o que estão fazendo.

Nesta atividade, o aluno terá que criar um modelo de Universo, que explique o máximo de coisas possíveis sobre ele. O seu modelo deve conter os objetos celestes que ele conhece, suas distâncias e tamanhos, e onde estão localizados no espaço.

Após o término da atividade é importante que os estudantes apresentem o modelo científico criado pelo grupo para o restante da turma ou que seja feita uma exposição na sala para que todos possam visualizar. O modelo científico criado pelos estudantes deve ser retomado ao longo das próximas aulas para conectar os novos conhecimentos adquiridos.

## ATIVIDADE 1: ESTRUTURA DO UNIVERSO

1. Preencha a tabela abaixo com corpos celestes que você conhece, seu respectivo diâmetro, distância em relação à Terra e sua idade estimadas. Utilize como base as informações já fornecidas do Sol, da Terra e da Lua.

Objeto Celeste	Diâmetro	Distância da Terra	Idade (em anos)
Sol	$1,39 \times 10^6$ km	$1,48 \times 10^8$ km	$4,63 \times 10^9$ anos
Terra	$1,27 \times 10^4$ km	-	$4,54 \times 10^9$ anos
Lua	$3,47 \times 10^3$ km	$3,84 \times 10^5$ km	$4,53 \times 10^9$ anos

2. Em uma folha separada, crie seu modelo de Universo, levando em conta todas as informações escritas por você na tabela acima. O seu modelo de Universo pode ser descrito através de desenhos, esquemas, textos ou da forma que achar melhor. Use a criatividade!

## Sugestão de material extra

Site que simula a escala de diversos objetos do cotidiano, corpos celestes e pequenas partículas: <https://htwins.net/scale2/>



Para saber mais sobre partículas elementares e suas interações:

- OSTERMANN, Fernanda. Partículas elementares e interações fundamentais. Porto Alegre, Instituto de Física, UFRGS, Textos de Apoio ao professor de Física, nº 12, 2001.

## Referências do capítulo

**A Escala do Universo.** Acesso em maio de 2024. Disponível em <<https://www.if.ufrgs.br/oei/cgu/sca/sca.htm>>

SILVA, E. D. E. SILVA, T. M. P., VIEIRA, C.A. **O Sistema Solar.** Planetário da Universidade Federal de Santa Catarina. Acesso em maio de 2024. Disponível em <<https://planetario.ufsc.br/o-sistema-solar/>>

TIPLER, P. A., LLEWELLYN, R. A. **Física Moderna.** 6<sup>a</sup> ed., editora LTC, Rio de Janeiro, RJ, 2014.



## 2. O QUE A LUZ NOS DIZ SOBRE O UNIVERSO?

### 2.1. Introdução

A luz proveniente dos corpos celestes é a única informação que recebemos deles, através de telescópios na Terra e no espaço. Interpretar os dados que chegam até nós através da luz não é uma tarefa trivial mas, ela nos diz mais do que imaginamos sobre o Universo. Através das ondas eletromagnéticas emitidas pelos corpos celestes no espaço, que chegam na Terra, é possível determinar características como a composição química, temperatura e movimento desses objetos.

A luz foi tema de estudo entre físicos e filósofos ao longo de séculos, e seu comportamento dualístico é amplamente debatido. Por causa dela, acontecem fenômenos ondulatórios, como a refração, difração e interferência, e propriedades corpusculares, como o transporte de energia, evidenciado no efeito fotoelétrico. Neste capítulo, apresentaremos algumas propriedades da luz e discutiremos como essas informações chegam até nós e sua importância.

## 2.2. Propriedades da luz

### Velocidade da luz

Até o século XVII acreditava-se que a luz possuía uma velocidade infinita. A primeira evidência de que a luz poderia ter uma velocidade determinada foi através de observações astronômicas feitas do período de Io, uma das luas de Júpiter. O período era determinado a partir do tempo entre um eclipse e outro, que é de 42,5 horas. Entretanto, este período era diferente se a medida for realizada quando a Terra está se aproximando ou se afastando de Júpiter.

O astrônomo Ole Rømer percebeu que este fenômeno poderia estar associado ao fato da luz ter uma velocidade finita. Então, propôs um método que levava em consideração o movimento da Terra e a diferença de tempo entre o início dos eclipses para tentar calcular esta velocidade.

Em 1849, o físico francês Armand Fizeau realizou a primeira medida não astronômica da velocidade da luz, conforme ilustrado na Figura 2.1. A luz emitida (setas pretas) por uma fonte era refletida por um espelho semitransparente. A luz refletida era transmitida através dos espaçamentos de uma roda dentada (engrenagem giratória). Em seguida, passava por duas lentes até chegar ao espelho, localizado a 8,63 km da fonte de luz. A luz era refletida (setas verdes) pelo espelho e chegava ao observador. A velocidade da luz era medida a partir da velocidade angular da roda dentada, que permitia a passagem da luz apenas entre os seus espaçamentos.

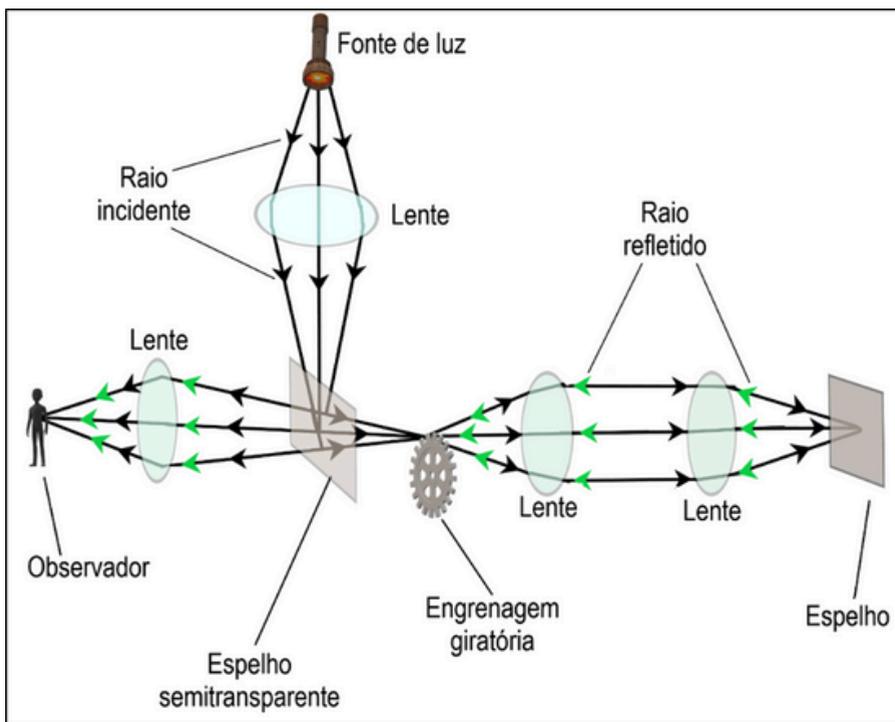


Figura 2.1: esquema do experimento de Fizeau para determinação da velocidade da luz (figura fora de escala). Fonte: do autor.

Aprimorando este método, em 1850, Jean Foucault também tentou medir a velocidade da luz. Ele conseguiu verificar que na água, a luz possui uma velocidade menor quando comparada à sua propagação no ar. Por volta de 1920, Albert Abraham Michelson, físico norte-americano, obteve medidas mais precisas, utilizando um espelho giratório octogonal, como mostrado na Figura 2.2. Neste experimento, o espelho giratório gira de acordo com o tempo que a luz demora para ir até o espelho fixo e ser refletida, voltando ao espelho giratório e indo até o observador.

Atualmente, a velocidade da luz é definida como 299.792.458 m/s no vácuo, assim como todo o espectro eletromagnético.

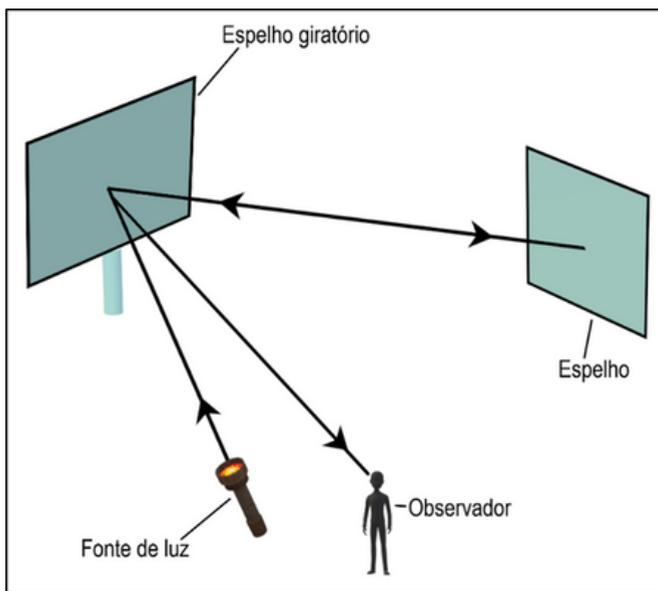


Figura 2.2: Experimento de Michelson para determinação da velocidade da luz (figura fora de escala). Fonte: do autor.

## O Espectro Eletromagnético

Uma onda eletromagnética é uma oscilação do campo eletromagnético. A luz visível faz parte de uma pequena região do espectro eletromagnético, assim como as de rádio, as micro-ondas e a luz ultravioleta, mesmo que não possamos vê-las. O espectro eletromagnético é dividido em faixas de energia (radiação eletromagnética de altas energia, como os raios X e raios gama, e de baixas energia, como ondas de rádio e micro-ondas) e conforme a sua frequência e comprimento de onda, conforme ilustra a Figura 2.3.

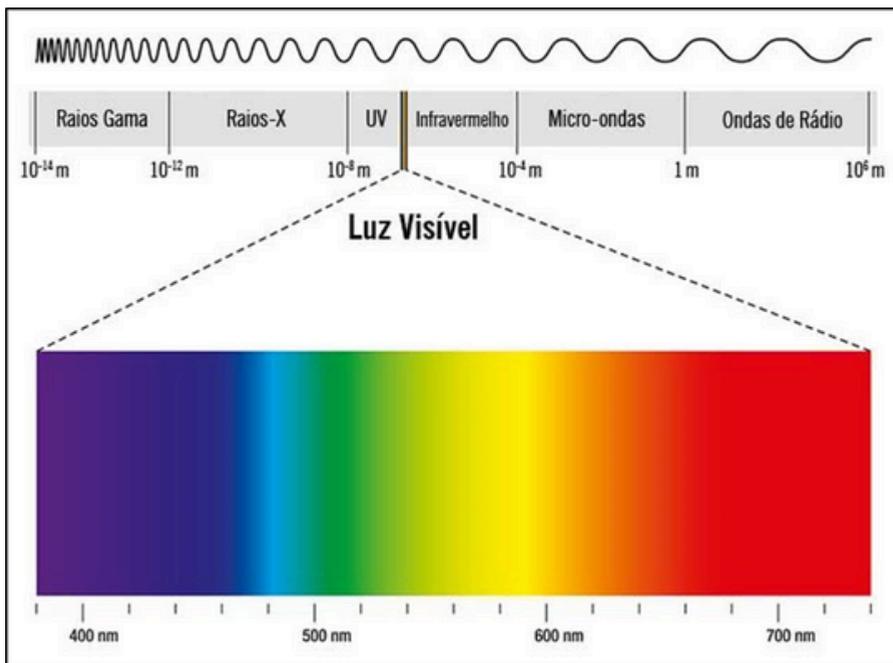


Figura 2.3: O espectro eletromagnético. Fonte: Toda Matéria. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/espectro-eletromagnetico>. Acesso em: 4 abr. 2024.

As fontes de luz emitem energia em uma determinada faixa de frequência ou comprimento de onda. A distribuição do espectro da energia de uma fonte determina o seu espectro eletromagnético. Com base na Figura 2.3, na faixa dos grandes comprimentos de onda, temos as ondas de rádio e micro-ondas. Em seguida, temos o infravermelho, observado na emissão de calor dos corpos. Na região de pequenos comprimentos de onda, temos as faixas de alta energia, após a luz visível, onde se encontram a radiação ultravioleta, raios X e raios gama.

Objetos com uma temperatura alta, como o Sol e outras estrelas, emitem ondas eletromagnéticas em todos os comprimentos de onda possíveis, sendo seu espectro eletromagnético dependente unicamente da sua temperatura. Esses objetos são chamados de Corpo Negro.

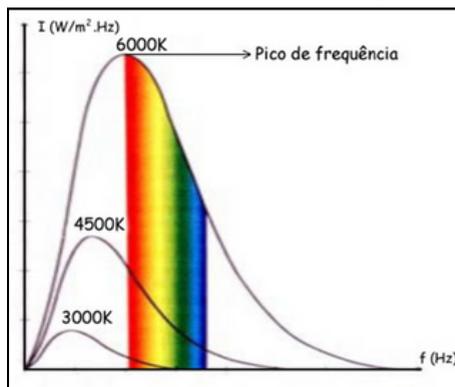
Todos os corpos que possuem uma temperatura maior que o zero absoluto (-273,15 °C), emitem radiação eletromagnética. Isso ocorre quando partículas carregadas são aceleradas. Corpos que possuem maiores temperaturas estão associados à uma maior frequência de agitação dessas partículas.

A equação que descreve a relação da temperatura com o comprimento de onda emitido é chamada de Lei de Wien, e permite obter a temperatura na superfície de uma estrela, por exemplo, a partir da medida do comprimento de onda do máximo de intensidade. Esta lei pode ser descrita pela equação:

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{b}{T} ,$$

sendo  $\lambda_{m\acute{a}x}$  o comprimento de onda de máxima intensidade do espectro eletromagnético,  $b$  a constante de deslocamento de Wien (0,002897 m.k) e  $T$  a temperatura do corpo em Kelvin (k). A Figura 4 mostra um gráfico que descreve a Lei de Wien, explicitando a dependência de  $\lambda_{m\acute{a}x}$  com  $T$  a partir do espectro eletromagnético de um determinado objeto submetido a diferentes temperaturas. Podemos verificar que objetos com maior temperatura emitem ondas com maior intensidade e comprimentos de ondas mais curtos (ou seja, mais altas energias). Cada curva indicada na Figura 2.4 ao lado corresponde a uma temperatura, de 6000 k, 4500 k e 3000 k.

Figura 2.4: gráfico do espectro da intensidade de radiação de um objeto submetido a diferentes temperaturas. Fonte: Disponível em: <[https://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n25\\_Alvarenga/corpo\\_negro.htm](https://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n25_Alvarenga/corpo_negro.htm)>. Acesso: 04 de abril de 2024.



## Interferência e Difração

Estudos na área da Cosmologia apoiam-se na utilização de telescópios espaciais, que coletam e analisam a luzes emitidas por corpos celestes em diversos comprimentos de onda. Dentre os principais componentes óticos dos telescópios, destaca-se a grade de difração, que tem como objetivo realizar a separação espectral desta luz coletada. Deste modo, por estarem presentes diretamente no estudo da Cosmologia, se faz necessária uma abordagem sobre os fenômenos de interferência e difração da luz.

Interferência e difração são fenômenos ondulatórios, que distinguem as ondas das partículas. Interferência pode ser caracterizada pela sobreposição de duas ondas no espaço. Já a difração é o desvio das ondas quando são bloqueadas por um obstáculo, conforme ilustra a Figura 2.5. A difração se torna mais visível quando o comprimento de onda é igual ou menor que o tamanho da fenda do obstáculo.

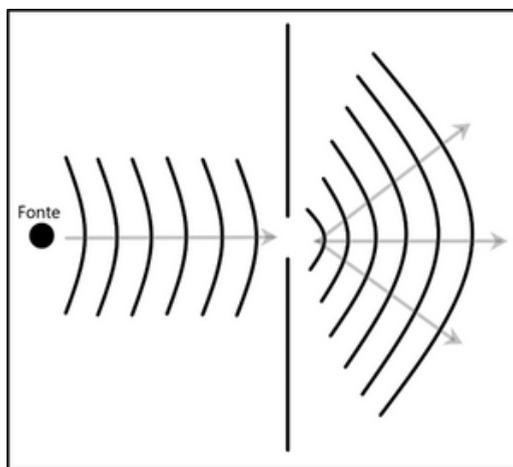


Figura 2.5: Representação do fenômeno ondulatório de Difração. Fonte: do autor.

Analisando partículas ao invés de ondas, estas passariam livremente pela fenda, sem mudar de direção. Esta é uma das principais diferenças entre as características corpusculares e ondulatórias, e foi verificado no experimento da Dupla-Fenda de Thomas Young, realizado em 1801. Este experimento consiste, basicamente, em um feixe de luz colimada que passa por duas fendas estreitas e muito próximas. A luz atravessa as fendas e, através da difração, cada fenda atua como uma fonte de luz linear. No anteparo a frente, um padrão de interferência é formado, conforme ilustra a Figura 2.6.

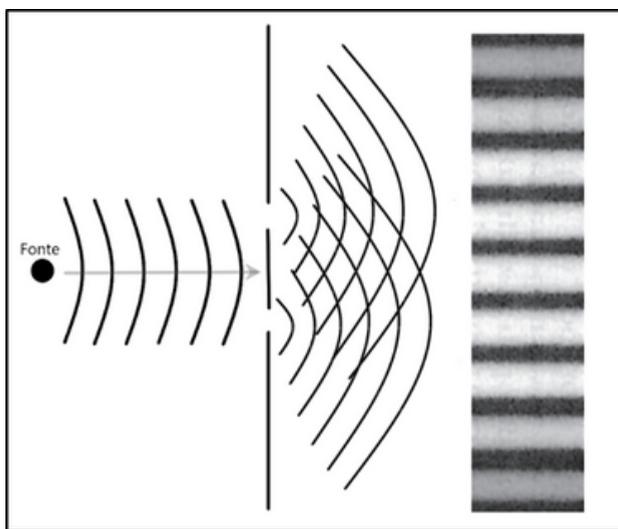


Figura 2.6: representação do experimento da dupla-fenda e o padrão de interferência formado no anteparo. Fonte: do autor.

Se substituirmos a fenda dupla por uma tela com um  $N$  número de fendas, dispõe-se de uma rede de difração. Essas redes são um grande número de fendas, espaçadas igualmente em uma superfície plana. Se iluminadas em um dos lados, as fendas se tornam uma fonte luminosa que sofre difração. Um disco de CD ou DVD são bons exemplos de redes de difração.

A Figura 2.7 mostra uma vista superior de rede de difração com  $N$  fendas e com espaçamento entre as fendas. Se uma onda plana, de comprimento  $\lambda$ , se aproxima da rede de difração, cada fenda irá gerar outras novas frentes de onda, que irão se sobrepor e sofrer interferência umas com as outras. O ângulo formado pelas interferências construtivas é representado por  $\theta$ .

Se quisermos saber o padrão de interferência formado por uma rede de di-

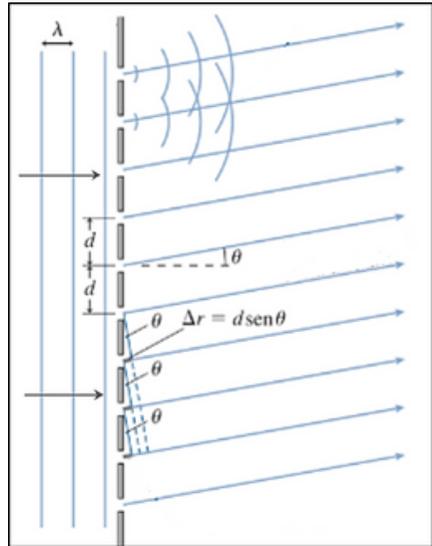
fração, consideramos que a distância das fendas até o anteparo é muito grande, em relação ao tamanho das fendas, da mesma forma que na dupla-fenda. Utilizamos essa aproximação pois, dessa forma, podemos considerar que os raios que atingem o anteparo são paralelos, facilitando a análise matemática. Então, o padrão de interferência formado pode ser descrito por

$$d \cdot \text{sen}\theta = m \cdot \lambda ,$$

sendo, um  $m$  número inteiro. Podemos também identificar este padrão pela distância entre as franjas, através da equação:

$$y_m = L \cdot \text{tan}\theta ,$$

Figura 2.7: representação do fenômeno de difração da luz quando esta passa por uma rede de difração, sendo  $d$  a distância entre as fendas,  $\theta$  o ângulo da interferência construtiva,  $m$  um número inteiro e  $\lambda$  o comprimento de onda. Fonte: KNIGHT, 2009, p. 678 (adaptada).



sendo  $y_m$  a posição da  $m$ -ésima franja brilhante e  $L$  a distância até a tela. Em redes de difração, as franjas brilhantes são bem claras e podem ser usadas para separar comprimentos de onda da luz. Se a luz incidente for policromática, como a que é gerada pela emissão atômica de um gás quente, cada componente sofrerá difração com um ângulo diferente, de acordo com seu comprimento de onda. Se o número de fendas  $N$  for grande o suficiente, veremos franjas diferentes na tela, como é mostrado na Figura 2.8.

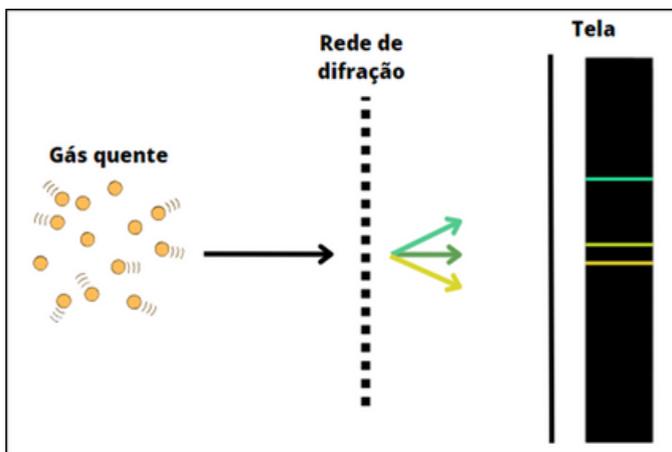


Figura 2.8: representação das franjas criadas por um gás quente que atravessa uma rede de difração. Fonte: do autor

Se tentássemos utilizar o experimento da dupla fenda para esta medição, as franjas brilhantes seriam largas demais para diferenciar os diferentes comprimentos de onda.

A ciência capaz de medir comprimentos de onda de emissões atômicas ou moleculares é nomeada de espectroscopia. Com esta técnica, é possível identificar comprimentos de onda emitidos por diferentes elementos químicos.

## 2.3. Espectroscopia Óptica

A luz emitida por objetos no espaço é essencial para a sua própria compreensão. É possível obter diferentes informações desses corpos, como sua temperatura, elementos químicos que os formam e características dinâmicas, a partir da radiação eletromagnética emitida, podendo ser observada em diferentes faixas espectrais.

Na astronomia, a espectroscopia possui um papel muito importante para determinar essas informações. Esta análise é feita utilizando um espectroscópio, cuja sua função é decompor a luz proveniente da fonte. Este equipamento funciona da seguinte forma: a luz a ser analisada passa por uma fenda, incide sobre uma grade de difração e, assim, é decomposta, como indicado na Figura 8. Através disso é possível analisar a composição química de uma fonte de luz com determinada precisão, visto que os elementos químicos possuem íons distintos de cada substância presente no corpo. Comparando a posição das linhas espectrais da fonte de luz observada, é possível identificar os respectivos comprimentos de onda das linhas e os elementos químicos que as formam.

No século XIX, o físico alemão Gustav Kirchhoff (1824-1887) realizou diversos experimentos utilizando sólidos e gases com diferentes condições de temperatura e pressão. A partir desses resultados, ele formulou três leis que descrevem o espectro emitido por uma fonte. Elas são conhecidas como as Leis de Kirchhoff da espectroscopia. Estão representadas na Figura 2.9 e descritas no quadro a seguir.

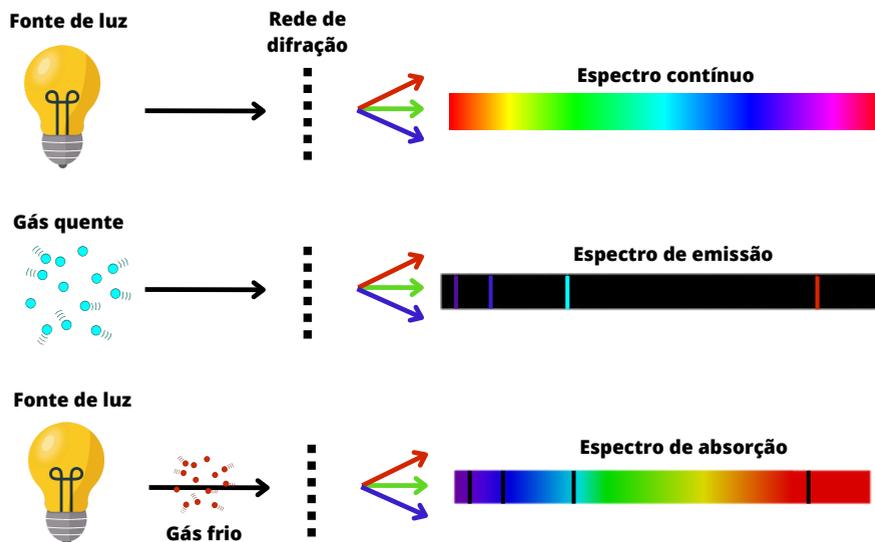


Figura 2.9: representação de um espectro contínuo, de emissão e de absorção.

Fonte: do autor.

1. Um sólido ou líquido aquecido, ou ainda um gás suficientemente denso, emite energia em todos os comprimentos de onda, de modo que produz um espectro contínuo de radiação;
2. Um gás quente de baixa densidade emite luz cujo espectro consiste apenas em linhas de emissão características da composição química do gás;
3. Um gás frio de baixa densidade absorve certos comprimentos de onda quando uma luz contínua o atravessa, de modo que o espectro resultante será um contínuo sobreposto por linhas de absorção características da composição química do gás.

(Damineli, et al, 2011, p. 33)

## 2.4. Sugestão de aula

**PROPOSTA DA AULA:** introduzir, através de uma aula expositiva, os conceitos de comprimento de onda, frequência, período, amplitude e classificação das ondas quanto a natureza e apresentar uma nova situação-problema sobre as propriedades da luz e sua utilização para captar informações sobre corpos celestes.

### **OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM:**

- Entender o conceito de ondas, frequência, comprimento, período e amplitude;
- Diferenciar as ondas eletromagnéticas das ondas mecânicas;
- Compreender qual a importância da luz para o estudo da estrutura do Universo e sua formação.

### **RECURSOS NECESSÁRIOS:**

- Uma cópia do “Espectrômetro de papel”, construído a partir do molde disponibilizado (Anexo A);
- Uma cópia por grupo da “Atividade 2: Quais informações a luz pode nos dar sobre o Universo?”
- Fontes de luz diversas, como lâmpadas fluorescentes, incandescentes, LEDs, o Sol, lanternas, ou o que tiver a sua disposição;
- Um pedaço de DVD ou CD com suas camadas separadas (como abrir um sanduíche) para servir como grade de difração;
- Tesoura e cola;
- Lápis de cor ou canetas coloridas.
- Câmera de celular.

Observação: Se você tiver disponível lâmpadas compostas por diferentes gases, os espectros captados ficam mais fáceis de serem diferenciados. Porém, fontes de luzes mais comuns também funcionam nesta atividade.

### **HABILIDADES A SEREM DESENVOLVIDAS:**

- (EM13CNT103) Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica.
- (EM13CNT205) Interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas noções de probabilidade e incerteza, reconhecendo os limites explicativos das ciências;
- (EM13CNT209) Analisar a evolução estelar associando-a aos modelos de origem e distribuição dos elementos químicos no Universo, compreendendo suas relações com as condições necessárias ao surgimento de sistemas solares e planetários, suas estruturas e composições e as possibilidades de existência de vida, utilizando representações e simulações, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros);
- (EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

## ROTEIRO DA AULA:

- **Duração total da aula:** 90 minutos.
- **Apresentação do assunto:** entendendo o que é uma onda eletromagnética (40 min)

Realize uma aula expositiva que envolva todas as características de uma onda eletromagnética. Esta aula pode ser realizada através de uma apresentação de slides, vídeos e até mesmo utilizando apenas o quadro como recurso. Apenas é importante que os seguintes conceitos sejam abordados:

- Diferenciação de uma onda eletromagnética;
- Comprimento de onda e frequência;
- Espectro eletromagnético.

Esses conceitos devem ser apenas introduzidos, visto que serão aprofundados ao longo da atividade. Outro fator a considerar é que esses conceitos sejam apresentados de uma forma que tenham relação com a aula anterior, ou seja, relacionando os conceitos de ondulatória com algumas características dos corpos celestes. As imagens em diferentes comprimentos de onda podem ser utilizadas para falar do espectro eletromagnético e quais informações são obtidas em cada comprimento de onda.

- **Construção de um espectroscópio** (30 min)

Um espectroscópio possui a função de decompor a luz proveniente da fonte. Este equipamento funciona da seguinte forma: a luz passa por uma fenda, incide sobre uma grade de difração e, assim, é decomposta. Através disso é possível analisar a composição química da luz com determinada precisão, visto que os elementos químicos possuem moléculas distintas de cada substância presente no corpo, formando diferentes linhas espectrais.

Divida os alunos em grupos (importante que seja o mesmo grupo da aula anterior) e entregue o molde para a construção do espectroscópio. É importante que o espectroscópio seja impresso em folha com gramatura maior. Caso sua escola não tenha disponível, é possível imprimir em folha sulfite e colá-la em um pedaço de cartolina, papel cartão ou papel *kraft*, que terá o mesmo efeito.

O espectroscópio deve ficar como o da Figura 2.10:

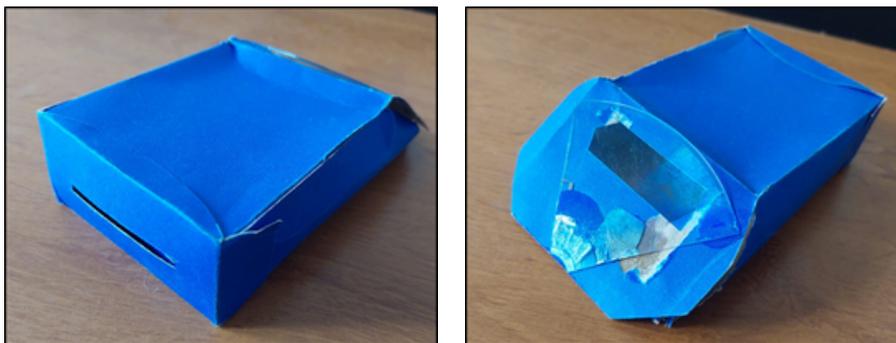


Figura 2.10: espectroscópio de papel montado. Fonte: do autor

Na aula anterior você deve solicitar aos alunos para trazerem DVDs para servirem como grade de difração. Enquanto os alunos montam, explique o que é um espectroscópio e como é utilizado na astronomia. Fale sobre o que é uma grade de difração e discuta o porquê ela é necessária para este experimento.

- **Execução do experimento e aplicação da atividade (20 min):**

Nos mesmos grupos, entregue a atividade para os estudantes e dê as instruções para a execução do experimento. Se o laboratório da escola for equipado com várias fontes de luz, permita que os alunos realizem todo o experimento.

Caso não tenha, faça o experimento de forma demonstrativa e peça para um dos estudantes do grupo registrar as fotos com os seus celulares. Após o registro das fotos, os estudantes deverão realizar a atividade entregue em seus grupos. Auxilie os alunos quando for necessário.

Para fazer o registro das fotos utilizando o celular, acople o espectroscópio com a parte do DVD virado para a câmera e aponte a fenda para a fonte de luz, como demonstrado na Figura 2.11.



Figura 2.11: demonstração de como realizar o registro das fotos dos espectros.

Para realizar o experimento, é importante que as luzes da sala estejam apagadas e as cortinas fechadas, ou seja, o ambiente deve estar o mais escuro possível e evitar ao máximo a entrada de luz externa. Quanto mais escuro o ambiente, melhor a foto do espectro. Na Figura 2.12, há alguns exemplos de fotos de espectros de lâmpadas diversas obtidas da utilização deste espectroscópio e da câmera de um celular.

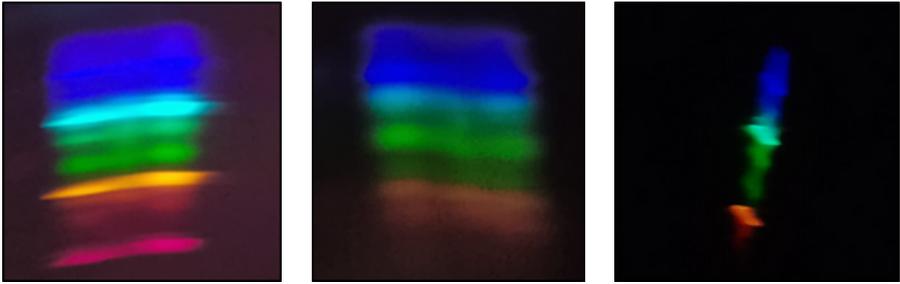
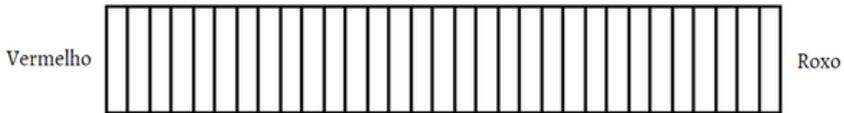


Figura 2.12: registro das fotos de espectros utilizando o espectroscópio de papel e a câmera do celular.

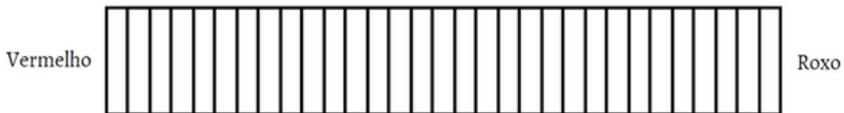
## ATIVIDADE 2: QUAIS INFORMAÇÕES A LUZ PODE NOS DAR SOBRE O UNIVERSO?

1. Primeiramente, monte o seu espectrômetro de papel conforme indicado na folha. Acople o espectrômetro na câmera do seu celular e registre os espectros de cada fonte de luz. Anote as fontes de luz utilizadas e pinte o espectro com as cores com mais destaque:

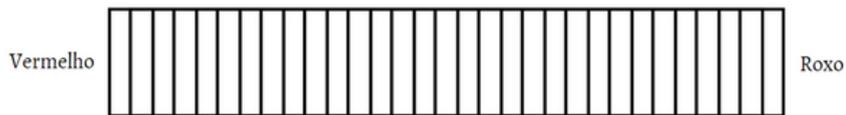
Fonte de luz 1: \_\_\_\_\_



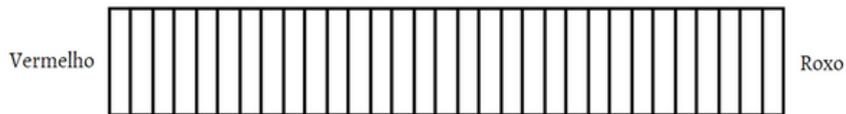
Fonte de luz 2: \_\_\_\_\_



Fonte de luz 3: \_\_\_\_\_

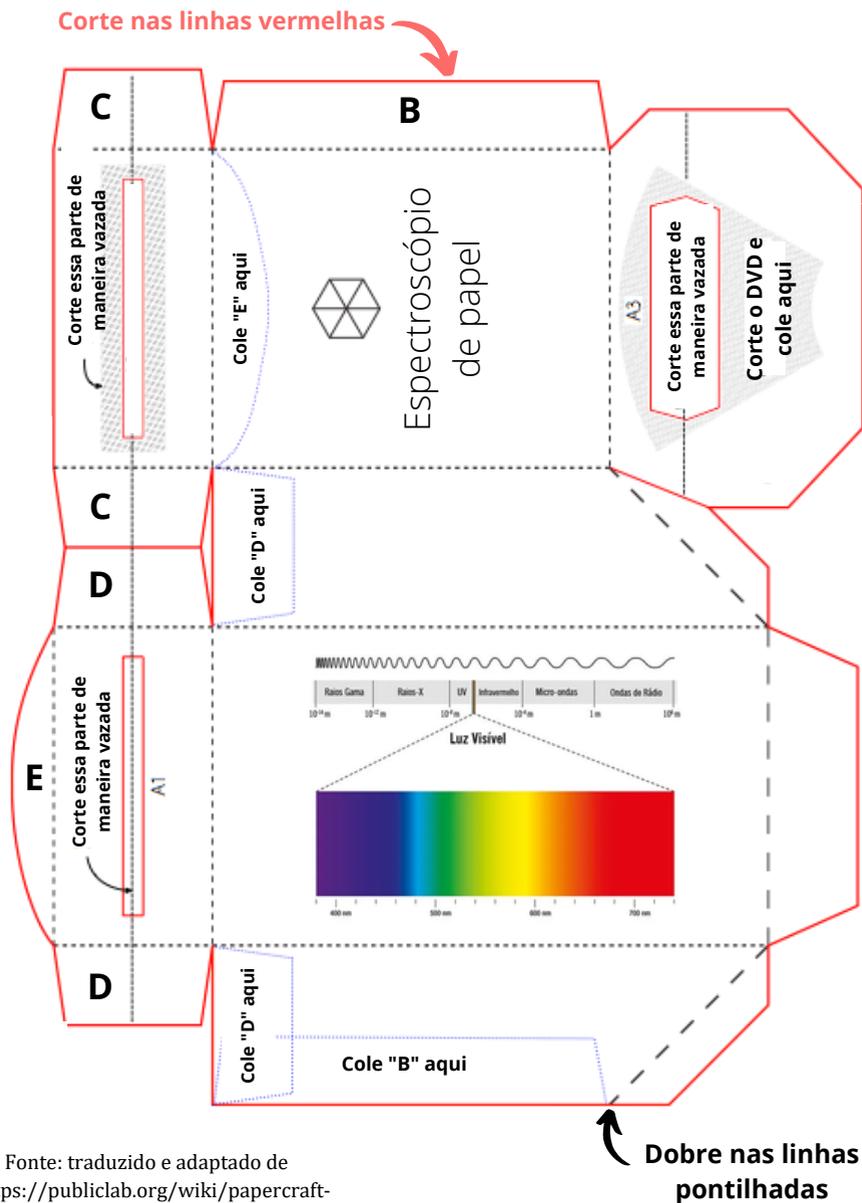


Fonte de luz 4: \_\_\_\_\_



2. A partir do que você observou no experimento realizado, formule uma explicação sobre como a luz pode ajudar a obter dados, informações e características dos corpos celestes no espaço.

# Molde para o Espectroscópio de papel



## Sugestão de material extra

- Episódio 5 da série Cosmos: Uma Odisséia do Espaço-Tempo, de 2014, com o físico e apresentador Neil de Grasse Tyson. Esse episódio trata da história e características fundamentais da luz, assim como sua utilidade no campo da Astronomia e Astrofísica.

## Referências do capítulo

DAMINELLI, A. *et al.* O céu que nos envolve: introdução à astronomia para educadores e iniciantes. Odysseus Editora, 1ª edição, 2011.

KNIGHT, R. Física 2: Uma abordagem estratégica. Bookman, 2 ed., Porto Alegre, 2009.

KNIGHT, R. Física 4: Uma abordagem estratégica. Bookman, 2 ed., Porto Alegre, 2009.

TIPLER, P. A., MOSCA, G. Física para cientistas e engenheiros, Vol 1: Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica. LTC Editora, 6ª edição, 2009.

TIPLER, P. A., MOSCA, G. Física para cientistas e engenheiros, Vol 2: eletricidade e magnetismo, óptica. LTC Editora, 6ª edição, 2009.

WEINBERG, S. The first three minutes: a modern view of the origin of the universe. Published by Fontana Paperbacks, 1993



# 3. EXPANSÃO DO UNIVERSO

## 3.1. Introdução

Além da composição química e temperatura, como foi apresentado no capítulo anterior, é possível obter informações sobre o estado dinâmico de objetos astronômicos, utilizando a espectroscopia. Em 1929, o cientista Erwin Hubble percebeu, observando alguns corpos celestes, que eles se afastam mais rapidamente quando estão mais distantes em relação à nós.

Se uma fonte de luz se movimentar em relação ao observador, a radiação emitida sofre um fenômeno ondulatório chamado efeito Doppler, que modifica a sua frequência e comprimento de onda. O estudo do efeito Doppler da luz possibilitou a descoberta de que o Universo está em expansão. Mas, se ele está expandindo, será que um dia já foi menor? Como e por que essa expansão acontece? As descobertas feitas por Hubble tornaram possíveis a elaboração de teorias mais complexas que buscam responder essas perguntas. Neste capítulo, serão discutidos conceitos relacionados à expansão do Universo, como efeito Doppler, a lei de Hubble e a Energia Escura.

## 3.2. O Efeito Doppler

O efeito Doppler é um fenômeno ondulatório, que pode ser percebido no cotidiano sempre quando há movimento relativo entre uma fonte sonora e o observador. Por exemplo, se uma fonte sonora está se aproximando de um observador em repouso, o espaço entre cada crista da onda fica menor, resultando em uma diminuição do comprimento de onda e, conseqüentemente, um aumento da frequência, produzindo um som mais agudo. Agora, se esta mesma fonte está se afastando do observador em repouso, o comprimento de onda fica maior, e conseqüentemente, a frequência menor, produzindo um som mais grave.

Um exemplo desse fenômeno são sirenes de ambulâncias ou viaturas ao se aproximarem e se afastarem de nós. Ao se aproximarem, percebemos que o som fica mais agudo e ao se afastarem, mais grave. A Figura 3.1 representa visualmente este exemplo.

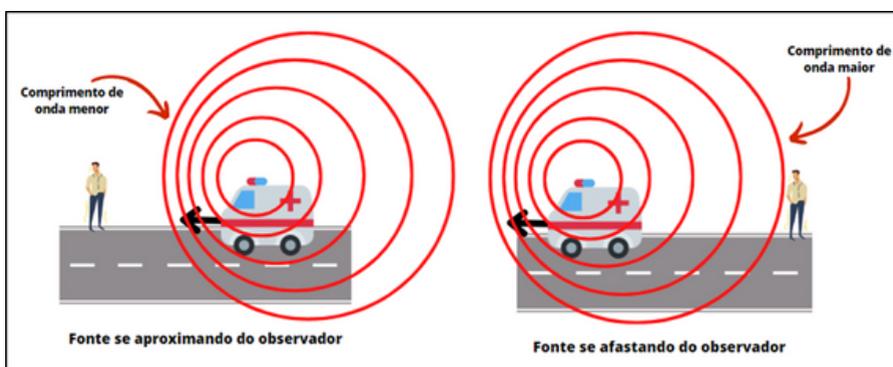


Figura 3.1: representação de uma fonte sonora se aproximando e afastando do observador, para demonstração do Efeito Doppler.

Como a luz possui propriedades ondulatórias, elas também, elas também podem exibir o Efeito Doppler. Contudo, neste caso, a variação do comprimento de onda resulta em uma mudança da cor desta luz. Desta forma, se o movimento da fonte ocorrer na mesma direção em que o observador está localizado, a frequência aumenta e o comprimento de onda diminui, fazendo com que a radiação emitida tenha um desvio para a faixa do azul, como na Figura 3.2. Se o movimento da fonte for na direção contrária ao observador, então o comprimento de onda aumenta e a frequência diminui, provocando assim um desvio para a faixa do vermelho.

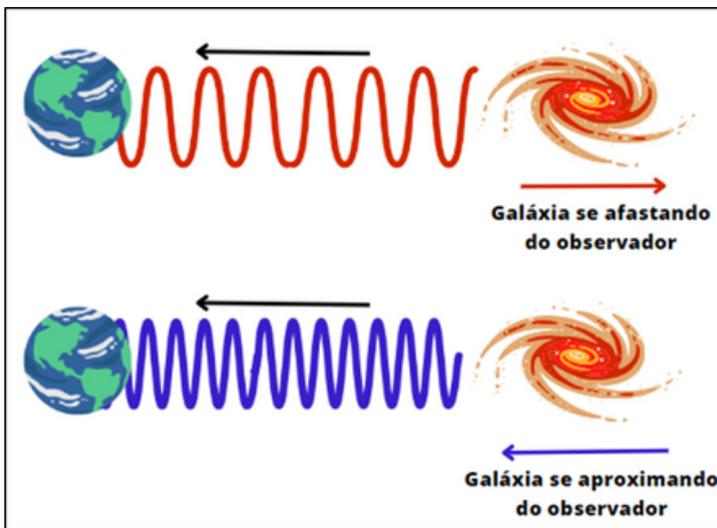


Figura 3.2: representação do Efeito Doppler de uma galáxia se afastando ou se aproximando do observador (figura fora de escala).

Este deslocamento do comprimento de onda é dado pela equação a seguir, sendo  $\Delta\lambda$  a diferença do comprimento de onda observado e  $\lambda_0$  comprimento de onda emitido,  $v$  a velocidade da fonte em relação ao observador, e  $c$  a velocidade da luz.

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_o} = \frac{v}{c}$$

Para as ondas eletromagnéticas, é preciso levar em consideração que o intervalo de tempo medido para o referencial da fonte é diferente do receptor. Dessa forma, é necessário incluir a dilatação temporal nas equações para o efeito Doppler. A Equação abaixo descreve a diferença na frequência observada quando a fonte está se aproximando do receptor:

$$f' = \sqrt{\frac{1+(v/c)}{1-(v/c)}} \cdot f_o$$

Quando a fonte está se afastando, a frequência é descrita pela equação abaixo, sendo  $f'$  a frequência observada pelo receptor,  $v$  a velocidade da fonte,  $c$  a velocidade da luz e  $f_o$  a frequência emitida pela fonte:

$$f' = \sqrt{\frac{1-(v/c)}{1+(v/c)}} \cdot f_o$$

### 3.3. Expansão do Universo

O efeito Doppler da luz possibilitou alcançar o conhecimento que possuímos a respeito da expansão do Universo. Ele se dá a partir da medição do movimento de um corpo luminoso se deslocando diretamente na linha de visão. Quando uma galáxia está se afastando de nós, o comprimento de onda da luz emitida por ela, fica maior, então temos um desvio para o vermelho do seu espectro. Se ela estiver se aproximando (como a galáxia de Andrômeda), o comprimento de onda fica menor, ocorrendo um desvio para o azul.

Em 1923, o físico Edwin Hubble conseguiu medir com grande precisão as distâncias de algumas supostas nebulosas e estrelas Cefeidas<sup>1</sup>. Alguns anos depois, ele publicou seus resultados e mostrou que as nebulosas eram, na verdade, outras galáxias. Em 1929, Hubble verificou que a distância das galáxias possuía uma relação com a velocidade em que ela se afasta de nós, conhecida como Lei de Hubble.

$$v = H_0 \cdot D$$

Na relação acima,  $v$  é a velocidade com que as galáxias se afastam,  $H_0$  a constante de Hubble e  $D$  a distância da galáxia em relação à nós. A Figura 3.3 demonstra a relação entre a distância das galáxias e as suas respectivas velocidades de afastamento, determinadas por Hubble.

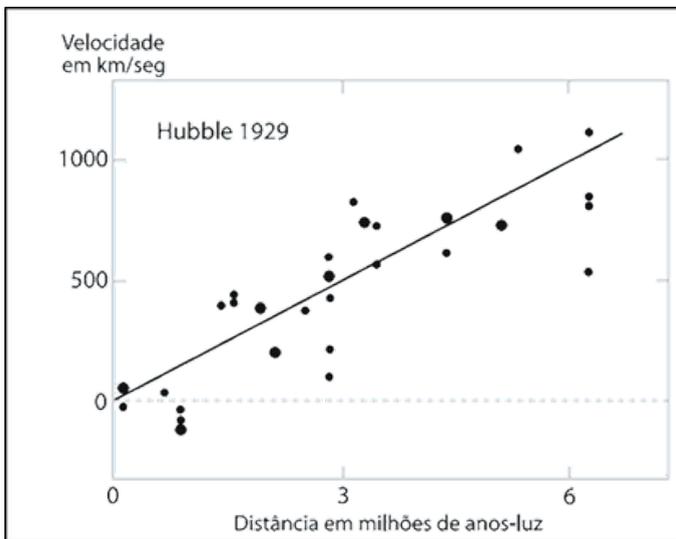


Figura 3.3: Relação entre a distância das galáxias e a velocidade de fuga descoberta por Hubble em 1929. Fonte: Damineli, et al, 2011, p. 260.

<sup>1</sup>Cefeidas: são estrelas que possuem uma luminosidade variável e costumam ser usadas para determinar distâncias de galáxias.

A relação de Hubble é de suma importância para a cosmologia moderna. O valor desta constante é de grande debate na literatura pelo fato de possuir diversas maneiras de realizar sua medição, porém há a certeza de que o Universo está se expandindo. A taxa de expansão é determinada por essa constante, e permanece a mesma em todas as direções. Há algumas exceções quando existe um excesso de aceleração gravitacional devido a aglomerações. A constante de Hubble medida em 2018 possui um valor aproximado de 73,5 km/s/Mpc Sendo 1 Mpc (megaparsec) cerca de 3 milhões de anos-luz.

A lei de Hubble foi logo considerada como uma evidência da expansão do Universo. Porém, se ela mostra que o Universo está se expandindo, podemos concluir que em algum momento ele já foi menor, ou até mesmo possuiu um tamanho nulo. A ideia de que o Universo estava compactado em um ponto muito pequeno é conhecido como Big Bang. No Big Bang, a expansão do Universo não se refere apenas à matéria, mas também ao espaço e o tempo.

A partir dessas conclusões, é possível supor que no passado haviam condições físicas muito diferentes das atuais, como as densidades e temperaturas do Universo. Pode-se estimar a idade do Universo de forma aproximada conforme a Equação abaixo:

$$tempo = \frac{distância}{velocidade} = \frac{distância}{H_0 \cdot distância} = \frac{1}{H_0}$$

Utilizando a constante de Hubble, é possível estimar a idade aproximada do Universo, a partir da Equação acima:

$$\frac{1}{73,5 \frac{km}{s}} = \frac{1 \text{ mpc}}{73,5 \text{ km}} s =$$

$$\frac{3,086 \cdot 10^{19} km}{73,5 \text{ km}} s = 4,198 \cdot 10^{17} s = 13,3 \text{ bilhões de anos}$$

### 3.4. Expansão acelerada do Universo

Com as observações de Hubble, ficou claro que o Universo estava se expandindo. Mas, as estrelas Cefeidas utilizadas por Hubble não podem ser observadas em distâncias muito grandes, devido seu brilho fraco. Dessa forma, seria necessário utilizar objetos astronômicos com uma luminosidade muito maior, como supernovas. Elas são explosões que ocorrem no final da vida de uma estrela e isso produz uma quantidade de luz muito grande, facilitando esse tipo de observação.

As supernovas utilizadas para esse tipo de observação são do tipo IA: elas surgem de explosões termonucleares de estrelas anãs brancas em sistemas binários. As explosões dessas supernovas produzem uma luminosidade muito parecida umas com as outras, o que é fundamental para fazer um comparativo nesse tipo de observação, e podemos considera-las como Velas-Padrão.

É possível estimar a distância de um objeto pela luminosidade que ele emite, através da equação abaixo, onde  $F$  é o fluxo de luminosidade, ou quantidade de luz, que recebemos na câmera do telescópio e  $L$  a luminosidade da fonte:

$$d_F = \sqrt{\frac{L}{4\pi F}}$$

Nesta equação consideramos que todas as supernovas estariam a uma distância de 10 parsecs ( $3.0857 \times 10^{16}$  m). Então, sabendo a luminosidade de fontes próximas, é possível estimar as luminosidades parecidas de fontes mais distantes, utilizando o conceito de velas-padrão. Até os anos 90 acreditava-se que a expansão do Universo era desacelerada. Conforme os conhecimentos até esta época, acreditava-se que o Universo era

composto apenas de matéria não relativística (que se movem em velocidades pequenas) e radiação, o que levava a previsões de que a velocidade da expansão diminuiria com o tempo.

Assim, na década de 90 começou-se a utilizar essas supernovas para observar o parâmetro da expansão ( $q$ ). Se o Universo fosse composto somente pela matéria não relativística, ele se expandiria de forma desacelerada. Os primeiros trabalhos que buscavam essas informações tinham o objetivo de estimar o valor dessa desaceleração. Se  $q > 0$ , indica que o Universo está se expandindo de maneira desacelerada e se  $q < 0$ , de maneira acelerada.

Em 1998, uma colaboração chamada High-Z Supernova Search tinha o objetivo de achar supernovas com um parâmetro de desvio do espectro específico, medir suas distâncias e calcular parâmetros cosmológicos. Observando uma amostra com 50 supernovas do tipo IA, eles perceberam que, na verdade, elas se afastavam de maneira acelerada, com um parâmetro de aceleração  $q < 0$ . Essa descoberta, publicada em 1998, fez os autores Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt e Adam G. Riess serem laureados com o Prêmio Nobel de 2011.

## Energia Escura

Para ter uma aceleração, seria necessário existir alguma coisa que causasse esse comportamento. Uma possível explicação para esta observação é que a energia do vácuo acelera a expansão. O vácuo pode ser considerado uma fonte de energia que permite explicar a causa da expansão acelerada. Conforme a teoria da relatividade geral, se existir um meio com pressão negativa sufi -

ciente, é possível gerar uma repulsão gravitacional, ao contrário do que diz a mecânica newtoniana. Mesmo a energia do vácuo sendo uma possível explicação, o valor da sua densidade se mantém constante, enquanto a densidade de matéria mudou ao longo da evolução do Universo.

Na Figura 3.4 é possível verificar os dados obtidos nas suas observações, plotados em um gráfico da variação da magnitude aparente em função do desvio para o vermelho do espectro. Os pontos indicam as observações das supernovas do tipo IA. A linha tracejada demonstra a previsão feita caso o Universo fosse composto apenas de matéria não relativística, a linha pontilhada caso ele fosse composto de matéria não-relativística, mas ainda não levando em consideração a constante cosmológica, que é uma constante que indica a taxa de expansão do Universo. Na linha contínua, a previsão feita caso parte do universo fosse de matéria não relativística e outra parte fosse de algum outro componente.

A Figura 3.4, compara os dados obtidos nas observações das supernovas IA, com as previsões teóricas. As informações encontradas se aproximam mais da linha contínua, indicando que há outra energia que faz com que o Universo tenha uma expansão acelerada, além da energia do vácuo. Essa energia foi nomeada de energia escura. Várias alternativas surgiram para tentar descrevê-la, como a Quintessência, de Caldwell, Dave e Steinhardt. Nesse modelo, a energia escura teria origem no decaimento de um campo quântico, que dominava o Universo antes da Inflação, e contém características que podem repelir gravitacionalmente. Segundo eles, a quintessência não emite luz, possui uma pressão negativa e deve ser homogênea em grandes escalas, caso contrário sua presença já teria sido detectada.

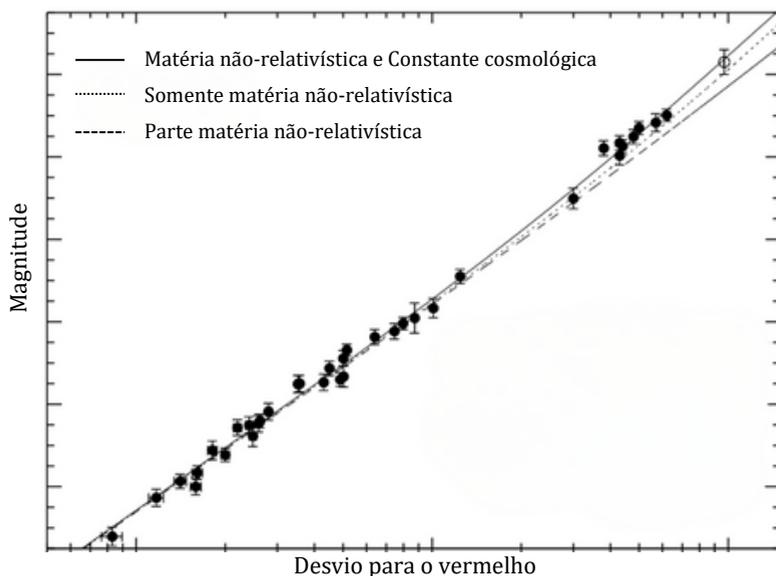


Figura 3.4: Gráfico da variação da magnitude aparente em função do desvio para o vermelho do espectro. A linha pontilhada representa a previsão do Universo se ele fosse composto de matéria não-relativística sem levar em consideração a constante cosmológica, a linha tracejada demonstra a previsão feita se o Universo fosse composto apenas de matéria não relativística, e a linha contínua indica a previsão feita de parte do universo fosse de matéria não relativística e outra parte fosse de algum outro componente. Fonte: Riess et al (1998), p. 1022.

Apesar da energia do vácuo ser a explicação mais trivial para a expansão acelerada do Universo, as observações realizadas mostram uma diferença entre os valores de densidade de energia de  $10^{55}$  vezes. Supondo que só existisse a energia do vácuo como fator para a expansão acelerada, o Universo teria uma idade de  $10^{10}$  segundos e o tamanho do horizonte causal de apenas 3 cm.

### 3.5. Sugestão de aula

**PROPOSTA DA AULA:** Esta atividade foi inspirada e adaptada de uma apostila digital com propostas de aula sobre Astronomia e Cosmologia chamada “*Cosmic Questions: Our place in space and time*” (Questões Cósmicas: nosso lugar no espaço e no tempo),

desenvolvido por *Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics*. Seu objetivo é compreender a expansão do Universo a partir da leitura e interpretação de espectros e imagens ópticas de algumas galáxias. É uma atividade individual para verificar quais conceitos os estudantes conseguiram compreender.

### **OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM:**

- Compreender as evidências para a expansão do universo;
- Verificar como a velocidade da expansão se relaciona com a distância;
- Entender como o espectro de emissão das galáxias se relacionam com a velocidade da galáxia.

### **RECURSOS NECESSÁRIOS:**

- Uma cópia por aluno da “Atividade 3: Expansão do Universo”;
- Uma cópia das imagens ópticas e dos espectros das galáxias;
- Quadro e canetão;
- Elástico com aproximadamente 1 m de comprimento;

### **HABILIDADES A SEREM DESENVOLVIDAS:**

- (EM13CNT204) Elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros).
- (EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações problema sob uma

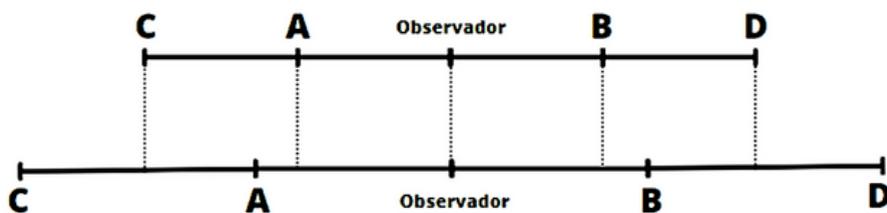
perspectiva científica.

- (EM13CNT303) Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, tanto na forma de textos como em equações, gráficos e/ou tabelas, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações.

## ROTEIRO DA AULA

- **Duração total da aula:** 60 minutos.
- **Apresentando a Expansão do Universo** (20 min);

De forma expositiva explique o que é a Expansão do Universo. Como auxílio, é possível utilizar um elástico para compreender que galáxias mais distantes, de um ponto pré-determinado, se afastam mais rapidamente do que galáxias mais próximas, como na figura abaixo:



Com o auxílio do elástico é possível realizar as marcações dos pontos do Observador e das galáxias A, B, C, D. Se fixarmos o ponto do Observador e esticarmos as pontas, iremos perceber que as galáxias D e C se afastam numa taxa maior que as galáxias A e B.

Essa demonstração ajuda os alunos a perceberem que galáxias mais distantes se afastam com uma velocidade maior do ponto do Observador.

- **Aplicação da atividade** (40 min);

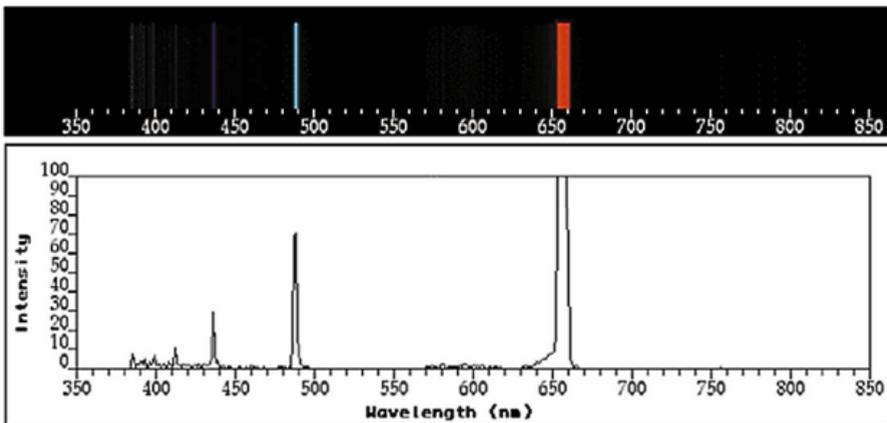
Esta atividade é individual. Ela serve como uma avaliação individual e somativa da aprendizagem dos alunos. Ela relaciona os conceitos de espectroscopia e imagens retiradas de telescópios para entender a expansão do Universo e suas evidências. Entregue as imagens e espectros das galáxias anexadas à atividade para cada um dos alunos. Em seguida, entregue a atividade e permita que os alunos realizem.

É possível que os estudantes possuam dúvidas na hora de realizar a leitura dos espectros ou calcular a taxa de afastamento das galáxias. Dessa forma, se achar necessário, auxilie a turma explicando como realizar estas etapas de maneira detalhada.

### **ATIVIDADE 3: EXPANSÃO DO UNIVERSO**

Por volta dos anos 1920, Edwin Hubble mediu os desvios para o vermelho dos espectros para determinar a velocidade das galáxias. Ele percebeu que havia uma relação entre a distância e a velocidade de uma galáxia. Essa relação pode ser descrita por uma equação simples e a equação do gráfico da distância pela velocidade nos dá a constante de Hubble para o Universo.

O *redshift* (desvio para o vermelho) é proporcional à velocidade da galáxia (para velocidades que não são próximas à velocidade da luz). Por exemplo, para uma galáxia se afastando de nós a 10% da velocidade da luz, a luz será desviada para o vermelho em 10%. Abaixo, temos o espectro de uma lâmpada de hidrogênio, para compararmos com o espectro das galáxias.



1. Observe as imagens ópticas das Galáxias A, B, C e D. Todas essas galáxias possuem, aproximadamente, o mesmo tamanho. Qual das galáxias está mais perto de nós? Ordene-as de maneira crescente quanto a sua distância em relação à nós.

\_\_\_\_\_ Mais perto \_\_\_\_\_ Mais longe

Qual evidência você utilizou para responder esta questão?

2. Observe o espectro das galáxias A, B, C e D. Determine o comprimento de onda da linha vermelha do hidrogênio em cada um dos espectros.

Galáxia A: \_\_\_\_\_ nm

Galáxia B: \_\_\_\_\_ nm

Galáxia C: \_\_\_\_\_ nm

Galáxia D: \_\_\_\_\_ nm

3. Comparando o comprimento da linha vermelha no espectro do hidrogênio com o observado nas galáxias na questão anterior, determine o desvio dessa linha do hidrogênio para as galáxias.

(*Redshift*), em nm. O *Redshift* pode ser determinado a partir da diferença entre as linhas vermelhas do espectro do hidrogênio e da galáxia.

Com essa informação, é possível determinar a velocidade de afastamento das galáxias, calculando a taxa de proporção do *Redshift* e multiplicando pela velocidade da luz.

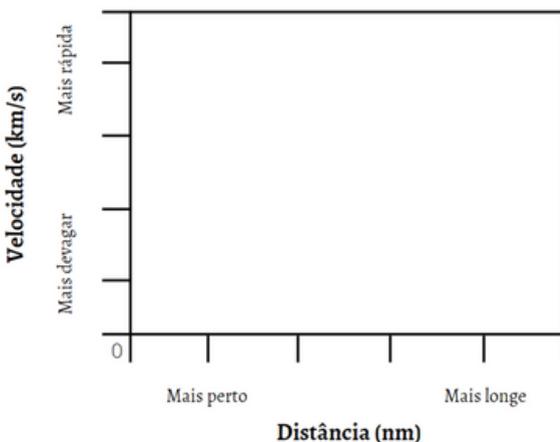
$$\text{Galáxia A: } \underset{\text{Redshift}}{\text{___ nm}} : 650 \text{ nm} = \underset{\text{Proporção}}{\text{___}} \times 300.000 \text{ km/s} = \underset{\text{Velocidade}}{\text{___}} \text{ km/s}$$

$$\text{Galáxia B: } \underset{\text{Redshift}}{\text{___ nm}} : 650 \text{ nm} = \underset{\text{Proporção}}{\text{___}} \times 300.000 \text{ km/s} = \underset{\text{Velocidade}}{\text{___}} \text{ km/s}$$

$$\text{Galáxia C: } \underset{\text{Redshift}}{\text{___ nm}} : 650 \text{ nm} = \underset{\text{Proporção}}{\text{___}} \times 300.000 \text{ km/s} = \underset{\text{Velocidade}}{\text{___}} \text{ km/s}$$

$$\text{Galáxia D: } \underset{\text{Redshift}}{\text{___ nm}} : 650 \text{ nm} = \underset{\text{Proporção}}{\text{___}} \times 300.000 \text{ km/s} = \underset{\text{Velocidade}}{\text{___}} \text{ km/s}$$

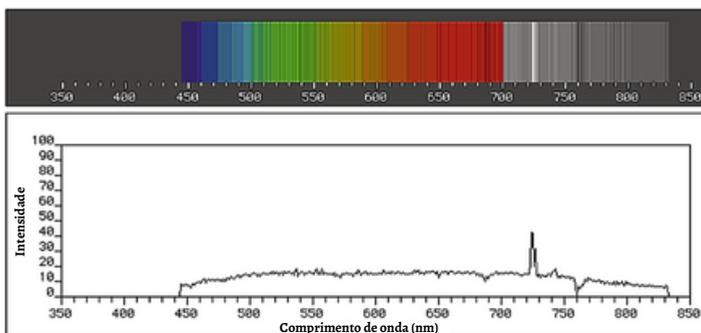
4. Plote o gráfico da velocidade das galáxias conforme a sua distância em relação a nós:



5. Com base na atividade realizada e nas suas percepções, descreva quais evidências você acha que podem confirmar que o Universo está em expansão. Se as galáxias estão se afastando cada vez mais entre si, como você acha que poderia ter sido o Universo em um passado distante?

# Figuras para a Atividade 3

Espectro da Galáxia A



Espectro da Galáxia B

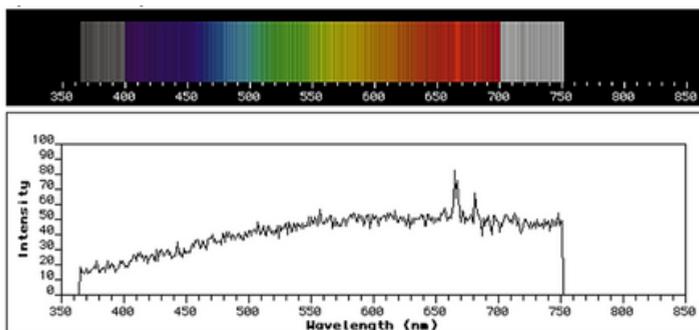


Imagem óptica da Galáxia A

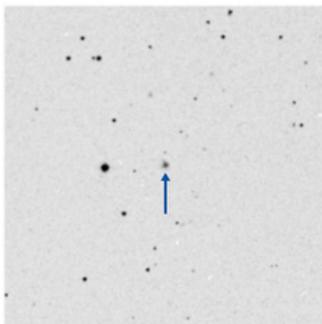
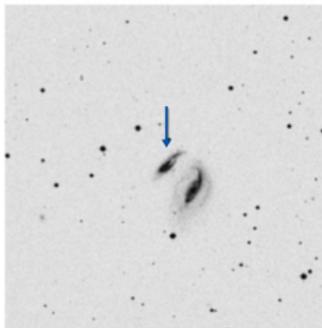
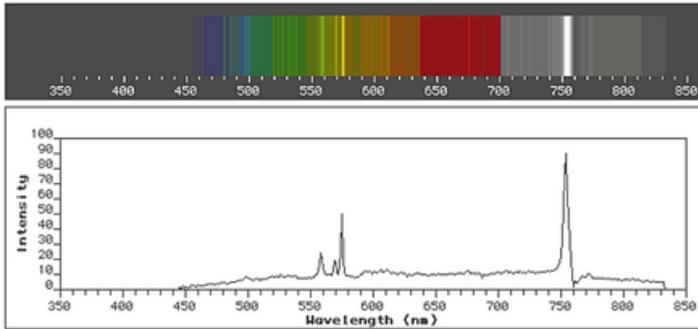


Imagem óptica da Galáxia B



# Figuras para a Atividade 3

Espectro da Galáxia C



Espectro da Galáxia D

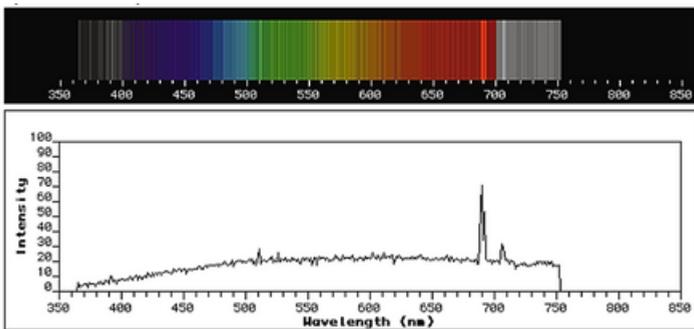


Imagem óptica da Galáxia C

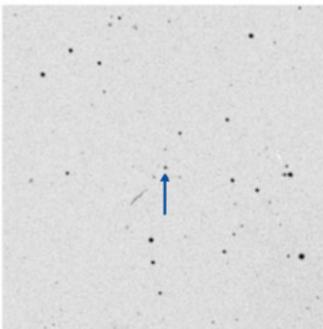
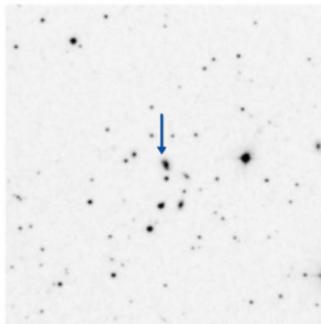


Imagem óptica da Galáxia D



## **Sugestão de material extra**

Artigo para aprofundar os conhecimentos sobre a Expansão do Universo:

- WAGA, Iaov. A Expansão do Universo. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 22, n. 2, 2000.

## Referências do capítulo

DAMINELI, A. *et al.* **O céu que nos envolve: introdução à astronomia para educadores e iniciantes.** Odysseus Editora, 1ª edição, 2011.

PEDREIRA, I. O. C. **Fundamentos da cosmologia um estudo sobre matéria escura.** Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2022.

REIS, Ribamar R. R. SIFFERT, Beatriz B. **Supernovas do tipo Ia e a expansão do Universo.** Cadernos de Astronomia, vol. 3, n ° 1, 21-32, 2022.

RIESS A. G., et al. **Observational evidence from supernovae for an accelerating universe and a cosmological constant.** The Astronomical Journal, 1161, p. 1009-1038, Setembro, 1998.

SOUZA, R. E. **Introdução à cosmologia.** Editora Edusp, 2ª edição, 2019.

**The Nobel Prize in Physics 2011.** NobelPrize.org. Nobel Prize Outreach AB 2023. Sat. 28 Oct 2023. <<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2011/summary/>>

TIPLER, P. A., MOSCA, G. **Física para cientistas e engenheiros, Vol 3: mecânica quântica, relatividade e estrutura da matéria.** LTC Editora, 6ª edição, 2009.

WEINBERG, S. **The first three minutes: a modern view of the origin of the universe.** Published by Fontana Paperbacks, 1993.



# 4. ORIGEM DO UNIVERSO

## 4.1. Introdução

O que procuramos compreender não é apenas uma busca pela origem do Universo, mas também como ele evoluiu para o estado complexo e diversificado que testemunhamos hoje. Estudar a origem e evolução do Universo nos permite discutir não apenas sua origem e estrutura, mas também questões relacionadas à natureza da Ciência e ampliar nossas visões de mundo.

Neste capítulo, serão discutidos a teoria do Big Bang, modelo científico mais aceito para explicar como o Universo surgiu, e a história de como o Universo evoluiu para o que conhecemos hoje, detalhando características como tamanho, temperatura e composição em cada parte da história.

Além disso, há um texto que resume toda a evolução do Universo em apenas um ano, ou seja, uma espécie de “calendário cósmico”, para tentarmos ampliar nossa noção de tempo e tamanho.

## 4.2. Big Bang

A teoria do Big Bang é o modelo que explica a origem e evolução do Universo. Apesar do nome ser relacionado com uma explosão, esta é uma relação incorreta, pois ocorreu, na verdade, uma grande expansão. Não temos hoje uma teoria que explique tudo o que ocorreu, principalmente antes da Era de Planck (quando o Universo possuía apenas  $10^{-43}$  segundos de vida). Porém, podemos avançar a partir do instante primordial e tentar entender como ocorreu a evolução do Universo, utilizando hipóteses e evidências experimentais.

Uma das evidências experimentais que confirmam a teoria do Big Bang é a radiação cósmica de fundo de micro-ondas, prevista por George Gamow no final da década de 1940 e detectada em 1964, por Arno Penzias e Robert Wilson. Essa radiação é um resquício da era em que a maior parte do Universo era formado por ela. Ela é uma das descobertas mais importantes para confirmar que, em algum momento, o Universo era muito quente e denso. Acredita-se que nessa radiação encontram-se informações que ajudam no entendimento da formação de galáxias e aglomerados. Apesar da quantidade dessa radiação ser pequena, quando comparada com a quantidade de matéria, no passado, a densidade desse gás de fótons deve ter sido igual ou até maior que a densidade de matéria.

O principal motivo para supor a existência desta grande quantidade de radiação nos primeiros instantes do Universo, é que ela pode ser comparada a um corpo negro. O comprimento de onda onde ocorre o máximo de emissão evolui proporcionalmente ao tamanho ou parâmetro de escala ( $R$ ) do Universo, ou seja, conforme o Universo se expande, o compri -

mento de onda da radiação também aumenta. Isso indica que a radiação presente no Universo possuía comprimento de ondas menores, ou seja, ondas de alta energia. Dessa forma, a temperatura ( $T$ ) dessa radiação também deveria ser mais alta, conforme indicado na Equação abaixo:

$$\frac{T}{T_0} = \frac{1}{R} = 1 + z ,$$

sendo  $T_0$  a temperatura atual, e  $1 + z$  o efeito *redshift*. Essa equação demonstra que, se o tamanho do Universo era 10000 vezes menor ( $1 + z = 10000$ ), a temperatura deveria ser 10000 vezes maior também. Quanto menor o Universo, menor o comprimento de onda da radiação presente nele e maior a temperatura.

### 4.3. A história da origem do Universo

Conforme a teoria do Big Bang, a temperatura do Universo no instante  $10^{-43}$  segundos, também chamado de Era de Planck, era aproximadamente  $10^{32}$  K, e a energia média por partícula era da ordem de  $10^{19}$  GeV.

Entre este intervalo de tempo e  $10^{-35}$  segundos, as interações entre as forças forte e fraca estavam unidas. O Universo continha uma grande quantidade de quarks e léptons que se transformavam constantemente. Outras partículas com massas maiores podem ter existido e sido destruídas livremente.

No instante  $10^{-35}$  segundos, a temperatura do Universo diminuiu para  $10^{27}$  K e a energia média era de  $10^{14}$  GeV. Neste instante, a interação entre a força forte e a fraca se separam. Pode-se comparar essa separação com a ebulição de um líquido: imagine um núcleo pesado entrando em ebulição, o que faz as partículas se afastem e fiquem fora do alcance das forças nucleares. Este processo é esquematizado na Figura 4.1.

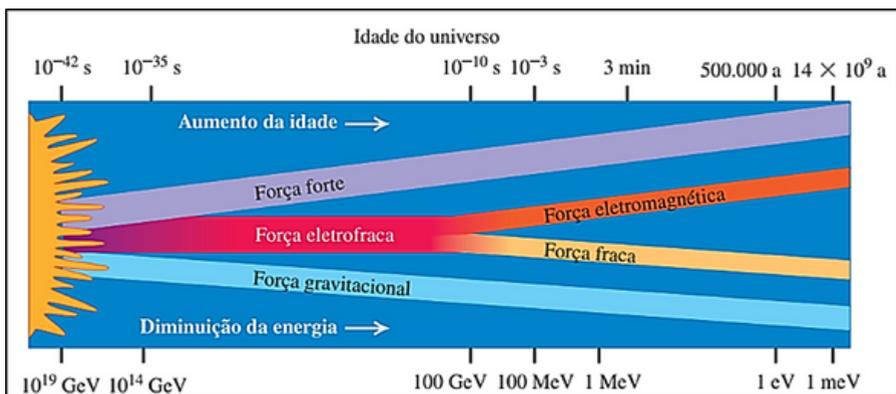


Figura 14: separação da força forte e fraca, conforme a idade e energia do Universo. Fonte: Young, Freedman, 2016, p 489

Devido esse processo, o Universo passou a se expandir de forma drástica, mais rápido que nos dias atuais, onde o fator de escala  $R$  aumentou  $10^{50}$  vezes em  $10^{-32}$  segundos. Este período ficou conhecido como inflação cósmica.

No instante  $10^{-32}$  segundos, o Universo era formado por quarks, léptons e bósons mediadores. Ele permaneceu se expandindo e esfriando até o instante  $10^{-6}$  segundos. Neste período, a temperatura era de aproximadamente  $10^{13}$  K e a energia média era da ordem de 1 GeV. Os quarks começaram a se unir e formar núcleons e antinúcleons. Fótons com energia suficiente produziam pares de núcleons-antinúcleons para equilibrar o processo de aniquilamento.

Em 14 segundos, a energia média reduziu-se para 1 MeV, fazendo com que a produção de pares cessasse. Isso fez com que o Universo ficasse com muito mais partículas do que antipartículas. Em uma temperatura próxima a  $10^{10}$  K, a distribuição de prótons é 4,5 vezes maior que a de nêutrons. Nêutrons livres decaem espontaneamente formando prótons, o que fez com que essa distribuição aumentasse até o instante 225 segundos. Neste período, a temperatura era de  $10^9$  K e a energia média era de 2 MeV.

Este instante foi marcado pelo início da formação de deutérios, período chamado de nucleossíntese (formação de núcleos), formando núcleos de Hidrogênio, Hélio e alguns de Lítio. A energia média ainda era muito elevada para que os elétrons ficassem ligados aos núcleos formados, não existindo nenhum átomo.

A nucleossíntese de outros elementos químicos começou somente em  $10^{13}$  segundos, ou 380.000 anos. Neste instante, a temperatura do Universo era de 3000 K e a energia média era de décimos de elétrons-volt.

Lentamente, os átomos neutros foram formando nuvens de gás e, posteriormente, as estrelas, por conta da atração gravitacional. Os átomos com massas mais elevadas passaram a ser formados no interior das estrelas.

Para uma melhor compreensão de todos os instantes significativos para a formação do Universo, a Figura 4.2 mostra a idade, sua composição em cada período.

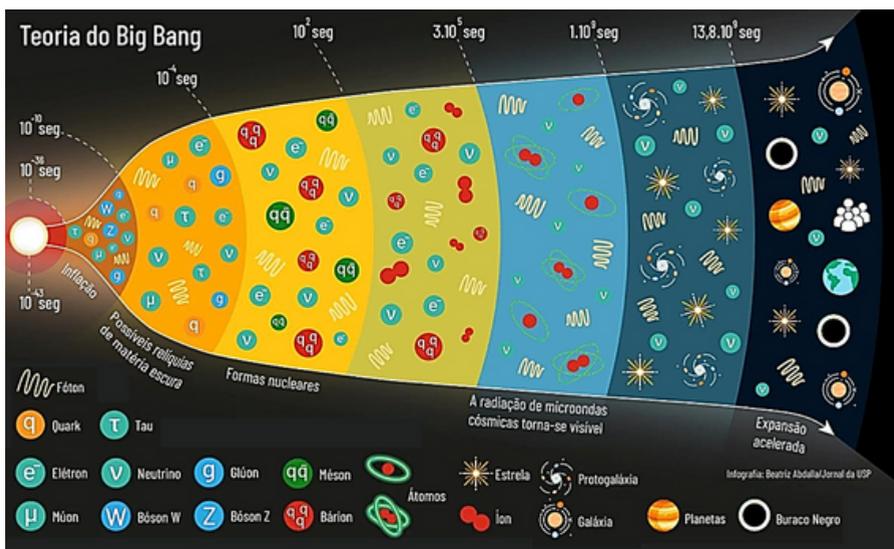


Figura 15: Teoria do Big Bang e a composição do Universo. Fonte: Abdalla, B., Jornal da USP, 2019.

## 4.4. Sugestão de aula

**PROPOSTA DA AULA:** Esta aula tem o objetivo de encerrar a UEPS através de uma atividade colaborativa. Ela consiste na leitura de um texto sobre a origem do Universo e a produção de um “calendário cósmico”.

### **OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM:**

- Compreender a origem do Universo e seus principais acontecimentos;
- Relacionar os assuntos vistos até então com as evidências para a Teoria do Big Bang sobre a origem do Universo.

### **RECURSOS NECESSÁRIOS:**

- Uma cópia por aluno do texto “A origem do Universo”;
- Uma cópia por aluno do modelo de calendário cósmico;
- Quadro e canetão.

### **HABILIDADES A SEREM DESENVOLVIDAS:**

- (EM13CNT201) Analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas e culturas para comparar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo com as teorias científicas aceitas atualmente;
- (EM13CNT204) Elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros).

- (EM13CNT209) Analisar a evolução estelar associando-a aos modelos de origem e distribuição dos elementos químicos no Universo, compreendendo suas relações com as condições necessárias ao surgimento de sistemas solares e planetários, suas estruturas e composições e as possibilidades de existência de vida, utilizando representações e simulações, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros);
- (EM13CNT302) Comunicar, para públicos variados, em diversos contextos, resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos, elaborando e/ou interpretando textos, gráficos, tabelas, símbolos, códigos, sistemas de classificação e equações, por meio de diferentes linguagens, mídias, tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC), de modo a participar e/ou promover debates em torno de temas científicos e/ou tecnológicos de relevância sociocultural e ambiental.
- (EM13CNT303) Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, tanto na forma de textos como em equações, gráficos e/ou tabelas, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações.

## **ROTEIRO DE AULA**

- **Duração total da aula:** 50 min;
- **Leitura do texto “A origem e evolução do Universo”** (15 min);

Introduza, de forma breve, o que será feito na aula: leitura de um texto sobre a Teoria do Big Bang e confecção de uma linha do tempo dos principais acontecimentos desde a origem do Universo até os dias atuais. Esta atividade foi pensada para ser o encerramento da sequência de atividades. Dessa forma, ela engloba todos os conceitos vistos até o momento. Leia o texto com os estudantes e discuta os pontos mais relevantes com eles. Procure instigá-los para que relembrem as informações vistas nas aulas anteriores.

- **Construção do calendário cósmico (35 min);**

Divida os alunos em grupos e entregue uma cópia do calendário cósmico para cada grupo. A partir das informações fornecidas pelo texto, eles devem preencher as informações no calendário. É importante que os alunos representem cada parte do calendário, incluindo desenhos e breves explicações.

Após finalizar a atividade, faça uma exposição dos trabalhos dos estudantes em murais da escola, como forma de exposição. Caso queira fazer trabalhos maiores, é possível fazer o calendário em uma cartolina ou papel kraft, porém levará mais tempo da aula.

# TEXTO: A ORIGEM E EVOLUÇÃO DO UNIVERSO

A teoria do Big Bang é o modelo científico que explica a estrutura, a origem e evolução do Universo. Apesar do nome ser relacionado com uma explosão, esta é uma relação incorreta, pois ocorreu, na verdade, uma grande expansão. Não temos hoje uma teoria que explique tudo o que ocorreu, principalmente antes da Era de Planck. Porém, podemos avançar a partir do instante primordial e tentar entender como ocorreu a evolução do Universo, utilizando hipóteses e evidências experimentais.

## **Evidências experimentais:**

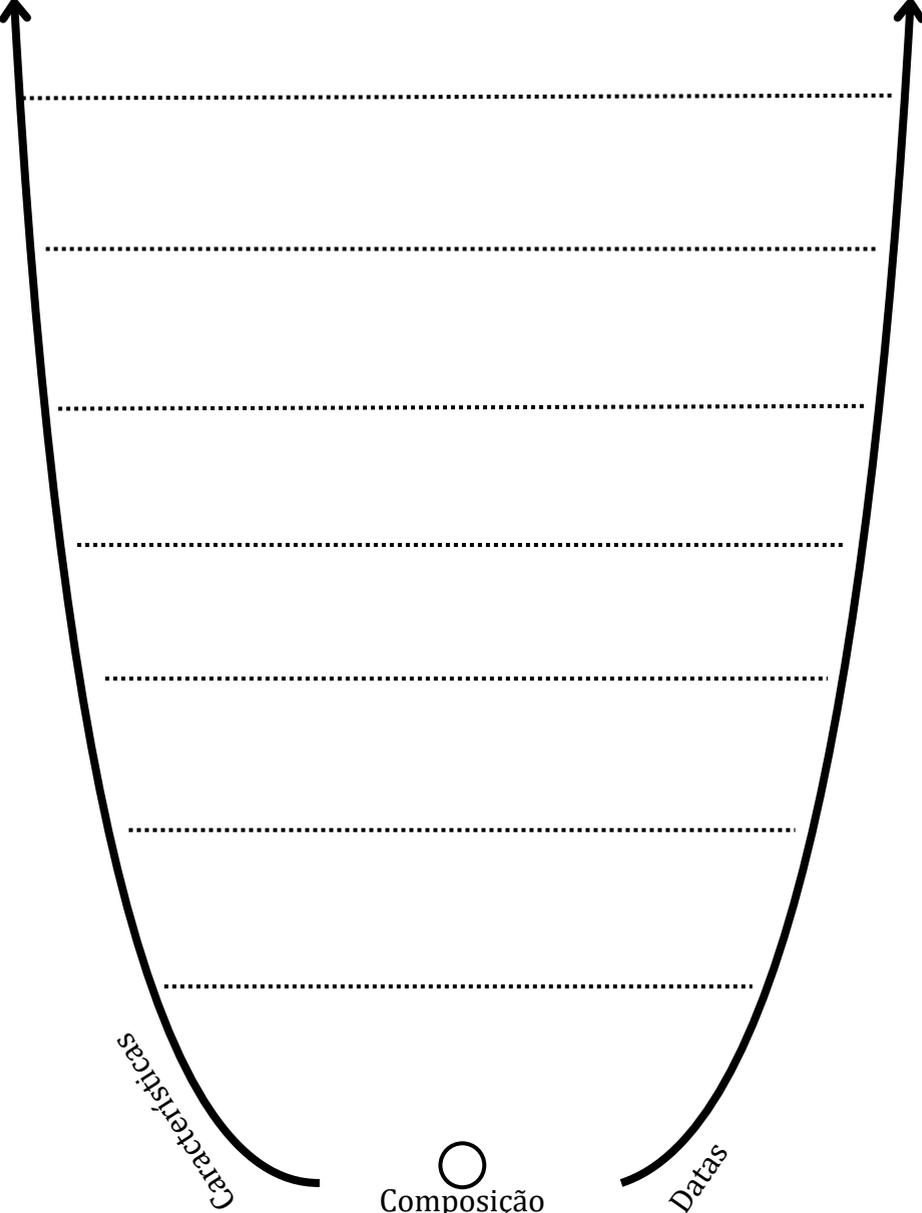
- Radiação Cósmica de Fundo de Micro-ondas: prevista por George Gamow no final da década de 1940 e detectada em 1964, por Arno Penzias e Robert Wilson. A radiação cósmica de fundo de micro-ondas é uma informação importante para identificar que no passado o Universo era muito quente e denso. Ela é um resquício que sobrou dessa época do Universo.
- Expansão do Universo: descoberta por Edwin Hubble em 1929, após perceber que estrelas mais distantes se afastavam mais rapidamente. Se agora o Universo está se expandindo, quer dizer que, em algum momento, ele foi apenas um ponto

## **Calendário do Universo:**

- (1 de janeiro): O instante de tempo mais antigo que conhecemos do Universo é conhecido como a Era de Planck. O Universo era menor que o núcleo de um átomo e tinha uma temperatura de  $10^{32}$  kelvins. Toda a matéria estava condensada nesse ponto.

- (1 de janeiro): continha uma grande quantidade de Léptons e Quarks, que se transformavam livremente. O Universo começou a se expandir de forma drástica e sua temperatura caiu para  $10^{27}$  kelvins. Este período ficou conhecido como Inflação Cósmica.
- (1 de janeiro): Os Quarks começaram a se juntar e Prótons e Nêutrons (e suas respectivas anti-partículas) passaram a se formar. A distribuição de Prótons é 4,5 vezes maior que a de Nêutrons. Em seguida, o período da Nucleossíntese se iniciou.
- 225 segundos (1 de janeiro): Neste período, a temperatura caiu para kelvins. Este instante foi marcado pelo início da formação de Deutérios, formando núcleos de Hidrogênio, Hélio e alguns de Lítio. A energia média ainda era muito elevada para que os elétrons ficassem ligados aos núcleos formados, não existindo nenhum átomo.
- 380.000 anos (1 de janeiro): Começaram a nucleossíntese de outros elementos químicos. Neste instante, a temperatura do Universo era de 3000 kelvins.
- 200 milhões de anos (12 de janeiro): a primeira estrela surgiu.
- 400 milhões de anos (26 de janeiro): a primeira galáxia surgiu
- 1 bilhão de anos (20 de março): a maioria das galáxias já haviam se formado, inclusive a Via-Láctea, galáxia em que vivemos.
- 11 bilhões de anos (2 de setembro): O Sol e os outros planetas do nosso sistema solar se formaram.
- 13,8 bilhões de anos (31 de dezembro - último minuto): ser humano com comportamento moderno, como o conhecemos, surgiu. O restante do tempo, é só a história da evolução da vida na Terra e do ser humano.

# MODELO DE CALENDÁRIO CÓSMICO



## Sugestão de material extra

- O texto foi baseado no calendário cósmico presente no livro “Os Dragões do Éden”, de Carl Sagan. Sugiro a leitura para um aprofundamento do assunto.
- Outra sugestão de leitura é o livro “Calendário Cósmico e a Física Nuclear”, de Júpiter Cirilo da Roza Silva, Cleci Teresinha Werner da Rosa e Johnny Ferraz Dias, da Universidade de Passo Fundo.

## Referências do capítulo

SOUZA, R. E. **Introdução à cosmologia**. Editora Edusp, 2ª edição, 2019.

YOUNG, H. D., FREEDMAN, R. A. **Física IV: Óptica e Física Moderna**. Pearson Education do Brasil, 14. ed., São Paulo, 2016.

SILVA, J. C. R., ROSA, T. W., Dias, J. F. **Calendário Cósmico e a Física Nuclear**. Editora Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2019.



Este é um guia para professores ensinarem  
Cosmologia no Ensino Médio. Contém textos com  
explicações dos conceitos, planos de aula,  
atividades e experimentos alinhados à BNCC.



**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física