



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS**  
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**  
**DO AMAZONAS**  
**MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**  
**POLO 04**

**Verônica Tavares Barbosa**

**PRODUTO EDUCACIONAL**

**A CONSTRUÇÃO DE UMA UEPS PARA O ENSINO DO**  
**EFEITO DOPPLER RELATIVÍSTICO COM ELEMENTOS**  
**CONTEXTUAIS DA COSMOLOGIA.**

**Manaus - Amazonas - Brasil**

**2023**

Verônica Tavares Barbosa

**A CONSTRUÇÃO DE UMA UEPS PARA O ENSINO DO  
EFEITO DOPPLER RELATIVÍSTICO COM ELEMENTOS  
CONTEXTUAIS DA COSMOLOGIA.**

Este Produto educacional é parte integrante da dissertação: A construção de uma UEPS para o ensino do efeito Doppler relativístico com elementos contextuais da Cosmologia, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 04 - UFAM / IFAM, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Lúcio Fábio Pereira da Silva.

Coorientador: Prof. Dr. Minos Martins Adão Neto.

Manaus - AM - Brasil

2023

---

**Biblioteca do IFAM – Campus Manaus Centro**

---

B238c Barbosa, Verônica Tavares.

A construção de uma UEPS para o ensino do efeito DOPPLER relativístico com elementos contextuais da cosmologia / Verônica Tavares Barbosa. – Manaus, 2023. 106 p. : il. color.

Produto Educacional proveniente da Dissertação - A construção de uma UEPS para o ensino do efeito DOPPLER relativístico com elementos contextuais da cosmologia. (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus Manaus Centro*; Universidade Federal do Amazonas, 2023.

Orientador: Prof. Dr. Lúcio Fábio Pereira da Silva.

Coorientador: Minos Martins Adão Neto.

ISBN 978-65-85652-34-6

1. Física. 2. Efeito Doppler Relativístico. 3. Aprendizagem Significativa. 4. UEPS. I. Silva, Lúcio Fábio Pereira da. (Orient.) II. Adão Neto, Minos Martins. III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. IV. Universidade Federal do Amazonas. V. Título

CDD 530

---

*Dedico este trabalho à minha querida e amada filha Luna.*

# Agradecimentos

Agradeço à Deus pela dádiva da vida, pela coragem e saúde.

À minha família, ao meu esposo e aos meus amigos Fábio, Aristeu, Evelyn, Francelino, Ariane e Carla por todo auxílio, palavras de apoio e incentivo direcionados à mim nesta caminhada do mestrado.

Meus agradecimentos ao Prof. Fredson Maciel pela colaboração durante a aplicação deste produto educacional.

Aos meus orientadores, pela dedicação, paciência e ensinamentos que foram fundamentais para nortear minhas atividades e a conclusão desta dissertação. Muito obrigada!

Aos professores da UFAM e do IFAM/POLO 04 por partilharem seus conhecimentos acadêmicos e suas experiências.

Estendo meus agradecimentos à Sociedade Brasileira de Física pela oportunidade concedida e pelo desenvolvimento do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, tão importante na busca da excelência do ensino de física.

À FAPEAM pelo apoio e concessão de bolsas de estudo, possibilitando dedicação exclusiva ao curso do mestrado.

À CAPES, o presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES). Agradeço pelo apoio a esse programa de mestrado.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte dessa formação, o meu muito obrigada!

# Lista de abreviaturas

**BNCC** Base Nacional Comum Curricular

**FMC** Física Moderna e Contemporânea

**MNPEF** Mestrado Profissional em Ensino de Física

**PCN's** Parâmetros Curriculares Nacionais

**PCP-EM** Proposta Curricular e Pedagógica do Ensino Médio do Estado do Amazonas.

**PHET** Physics Education Technology Project

**RCA** Referencial Curricular Amazonense

**SBF** Sociedade Brasileira de Física

**UEPS** Unidade de Ensino Potencialmente Significativa

# Lista de Figuras

|      |                                                                            |    |
|------|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1  | Mapa conceitual envolvendo a temática da UEPS. . . . .                     | 13 |
| 1.2  | Mapa conceitual envolvendo a temática da UEPS. . . . .                     | 14 |
| 3.1  | Interatividade sobre o paradoxo de Olbers. . . . .                         | 25 |
| 3.2  | Interatividade sobre as distâncias cósmicas. . . . .                       | 27 |
| 3.3  | Projeção de slide sobre a Unidade Astronômica. . . . .                     | 28 |
| 3.4  | Projeção de slide sobre o ano-luz. . . . .                                 | 28 |
| 3.5  | Projeção de slide sobre o parsec (parte 1). . . . .                        | 29 |
| 3.6  | Projeção de slide sobre o parsec (parte 2). . . . .                        | 29 |
| 3.7  | Projeção de slide sobre a origem a Relatividade Restrita . . . . .         | 30 |
| 3.8  | Projeção de slide sobre a cronologia de Albert Einstein. . . . .           | 30 |
| 3.9  | Projeção da questão conceitual da III interatividade - Peer Instruction. . | 31 |
| 3.10 | Projeção de slide: O absoluto torna-se relativo! . . . . .                 | 32 |
| 3.11 | Questão conceitual sobre a simultaneidade. . . . .                         | 33 |
| 3.12 | Projeção slide sobre a relatividade do tempo (parte 1). . . . .            | 34 |
| 3.13 | Projeção slide sobre a relatividade do tempo (parte 2). . . . .            | 35 |
| 3.14 | Projeção slide sobre o paradoxo dos gêmeos. . . . .                        | 36 |
| 3.15 | Projeção slide sobre a relatividade das distâncias. . . . .                | 36 |
| 3.16 | Projeção slide sobre o efeito Doppler relativístico. . . . .               | 38 |
| 3.17 | Questão conceitual sobre o efeito Doppler sonoro (parte 1). . . . .        | 39 |
| 3.18 | Questão conceitual sobre o efeito Doppler sonoro (parte 2). . . . .        | 40 |
| 3.19 | Questão conceitual sobre o efeito Doppler sonoro (parte 3). . . . .        | 40 |
| 3.20 | Projeção de slide sobre o efeito Doppler da luz. . . . .                   | 41 |
| 3.21 | Questão conceitual sobre o espectro eletromagnético (parte 1). . . . .     | 42 |
| 3.22 | Questão conceitual sobre o espectro eletromagnético (parte 2). . . . .     | 43 |

|      |                                                                                            |    |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.23 | Projeção de slide sobre a demonstração da equação do efeito Doppler relativístico. . . . . | 44 |
| 3.24 | Projeção de slide sobre a Espectroscopia. . . . .                                          | 46 |
| 3.25 | Projeção de slide sobre a cronologia de Hubble. . . . .                                    | 47 |
| 3.26 | Projeção de slide sobre a descoberta que Andrômeda era uma galáxia independente. . . . .   | 48 |
| 3.27 | Vesto Slipher e Henrieta Leavitt . . . . .                                                 | 48 |
| 3.28 | Projeção de slide sobre a lei de Hubble. . . . .                                           | 49 |
| 3.29 | Projeção de slide sobre a lei de Hubble. . . . .                                           | 50 |
| 3.30 | Projeção de slide sobre o experimento da expansão do Universo . . . . .                    | 51 |



# Lista de Tabelas

|     |                                                                                |    |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 | Tabela bidimensional da Taxonomia de Bloom. . . . .                            | 20 |
| 2.2 | Delineamento das aulas de aplicação desta UEPS segundo Moreira (2011). . . . . | 23 |
| 3.1 | Demonstrando a expansão sem centro geométrico. . . . .                         | 52 |

# Sumário

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 APRESENTAÇÃO</b>                                                   | <b>12</b> |
| <b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>                                          | <b>15</b> |
| 2.1 Unidade de Ensino Potencialmente Significativa - UEPS . . . . .     | 15        |
| 2.2 O emprego da Peer Instruction na UEPS. . . . .                      | 17        |
| 2.3 Os resultados da aprendizagem a luz da Taxonomia Revisada de Bloom. | 19        |
| 2.4 Enquadramento da UEPS segundo a BNCC . . . . .                      | 21        |
| 2.5 Descrição sintética das aplicações. . . . .                         | 23        |
| <b>3 PLANEJAMENTO DA UEPS</b>                                           | <b>24</b> |
| 3.1 Descrição das atividades. . . . .                                   | 24        |
| <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>                                             | <b>54</b> |
| <b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA</b>                                         | <b>55</b> |
| <b>Appendices</b>                                                       | <b>59</b> |
| <b>A Apresentação do produto educacional</b>                            | <b>60</b> |
| <b>Appendices</b>                                                       | <b>89</b> |
| <b>B Avaliação Diagnóstica</b>                                          | <b>90</b> |
| <b>Appendices</b>                                                       | <b>93</b> |
| <b>C Avaliação Formativa 1</b>                                          | <b>94</b> |
| <b>Appendices</b>                                                       | <b>96</b> |

|                                        |            |
|----------------------------------------|------------|
| <b>D Avaliação Formativa 2</b>         | <b>97</b>  |
| <b>Appendices</b>                      | <b>99</b>  |
| <b>E Avaliação Somativa Individual</b> | <b>100</b> |
| <b>Appendices</b>                      | <b>104</b> |
| <b>F Avaliação da própria UEPS</b>     | <b>105</b> |

# Capítulo 1

## APRESENTAÇÃO

Caro professor, este produto educacional trata da construção de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para o ensino do efeito Doppler relativístico com elementos contextuais da Cosmologia. Sua base teórica assenta-se na Teoria da Aprendizagem Significativa, haja vista que não podemos pensar no ensino de maneira fragmentada ou alheia a aprendizagem efetiva, duradora e significativa. Neste sentido, classificamos está UEPS como um material potencialmente significativo que visa despertar o interesse e a disposição do aluno em aprender o conteúdo.

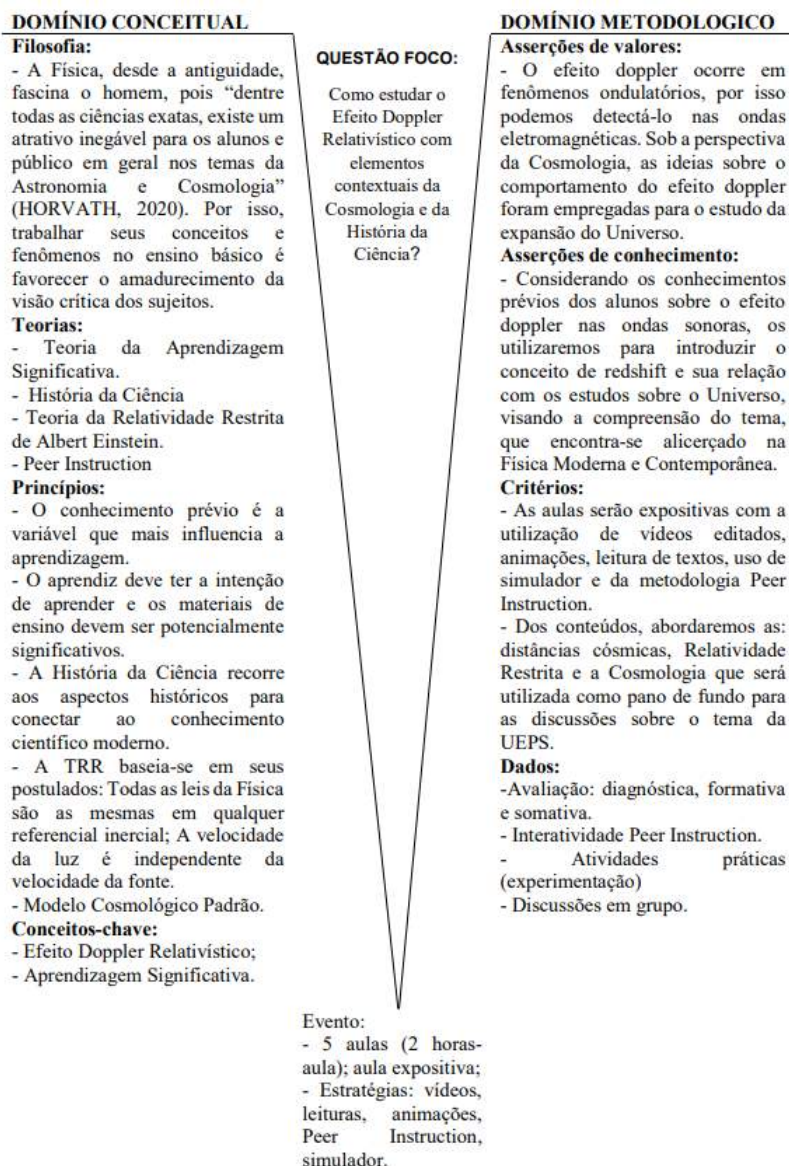
O planejamento e implementação dessa UEPS teve como público-alvo os alunos do terceiro ano do ensino médio. Essa seleção ocorreu devido ao período atípico da pandemia do Coronavírus (2020-2022) em que toda sociedade sofreu duras perdas, inclusive a educação escolar. Assim, com o objetivo de contribuir significativamente para a aprendizagem, a UEPS aborda um conteúdo físico bastante interessante, com aplicações no cotidiano e nos estudos acerca do Universo. No entanto, ressalta-se que as abordagens da UEPS pode ser adaptada para as turmas da segunda série do ensino médio, visto que a grade curricular dessa série contempla temáticas que envolvem os fenômenos ondulatórios.

As aulas de aplicação da UEPS foram divididas em cinco aulas, com carga horária de duas horas cada, conforme mostra a Tabela (2.2), entretanto é pouco convencional que as horas/aulas de Física tenham essa duração, neste caso específico, foi possível unir dois tempos de aula pertencentes ao professor regente da disciplina. Contudo, para contornar essa situação, uma sugestão é desenvolver as atividades dessa UEPS nos formatos de um projeto integrador ou Unidade Curricular de Aprofundamentos (UCAs), visto que seria



Outro instrumento apresentado aos interessados foi o Diagrama V de Gowin<sup>2</sup>. Esse diagrama proporciona uma visão detalhada das estratégias, avaliações, planejamento e aprendizagem do conteúdo.

Figura 1.2: Mapa conceitual envolvendo a temática da UEPS.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023).

Contudo, esperamos que esta UEPS possa auxiliar o professor de Física durante o processo de ensino e aprendizagem, contribuindo significativamente para a promoção de um ensino de qualidade, contextualizado e inovador, capaz de transformar as salas de aula em um ambiente dinâmico e colaborativo.

<sup>2</sup>O Diagrama V da UEPS está disponível no link <https://drive.google.com/drive/folders/15EErcs8FUggZdcj5XxfqCGksiRgXuytE?usp=sharing>

## Capítulo 2

# FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Assim como alguns conceitos físicos permaneceram imutáveis, o ensino de Física também esteve engessado durante algum tempo. As estratégias e metodologias adotadas foram, e em alguns casos ainda são, extremamente conteudistas e tradicionais ao ponto da aprendizagem não ser priorizada, ocorrendo apenas de forma mecânica. Contudo, não lançaremos críticas ao método tradicional de ensino, mas apresentaremos uma nova ferramenta com métodos dinâmicos para auxiliar a construção da aprendizagem significativa.

### 2.1 Unidade de Ensino Potencialmente Significativa - UEPS

A Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, conhecida como UEPS e idealizada por Marco Antônio Moreira, é uma espécie de sequência didática que se origina nas teorias da aprendizagem de vários teóricos. Sua filosofia é que “só há ensino quando há aprendizagem e esta deve ser significativa; ensino é o meio, aprendizagem significativa é o fim; materiais de ensino que busquem essa aprendizagem devem ser potencialmente significativos” (MOREIRA, 2011, p. 2).

A construção de uma UEPS deve obedecer os oito passos sequenciais propostos por Moreira (2011), e visa auxiliar o professor no planejamento, organização, aplicação e avaliação da sequência didática a ser trabalhada (MACIEL, 2016). Ressalva-se que é possível, em razão da teoria da aprendizagem escolhida, que alguns princípios recebam maior destaque do que outros, mas em suma a proposta consiste em:

1. Definir o tópico específico a ser abordado (MOREIRA, 2011).
2. Propor situações para o aluno externalizar seu conhecimento prévio (MOREIRA, 2011).
3. Apresentar em nível introdutório através de organizadores prévios o conhecimento que se pretende ensinar (MOREIRA, 2011).
4. Apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em conta a diferenciação progressiva (MOREIRA, 2011).
5. Retomada dos aspectos gerais do conteúdo em nova apresentação, mas com nível mais elevado de complexidade quando comparada à primeira exposição (MOREIRA, 2011).
6. Concluir a unidade prosseguindo o processo de diferenciação progressiva, mas buscando à reconciliação integrativa do conteúdo em nova apresentação (MOREIRA, 2011).
7. A avaliação da aprendizagem deve ser realizada ao longo da implementação da UEPS, mas também através da ferramenta avaliação somativa individual (MOREIRA, 2011).
8. A avaliação da própria UEPS só será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de aprendizagem significativa (captação de significados, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema) (MOREIRA, 2011).

Portanto, o modelo de UEPS pode ser entendido como um material potencialmente significativo, pois atende aos aspectos importantes da Teoria da Aprendizagem Significativa como estrutura, organização, levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos e a aplicação de exemplos em diferentes níveis de complexidade. Por apresentar uma estrutura flexível, este tipo de sequência didática permite que o professor faça adequações que favoreçam o alcance dos objetivos da aprendizagem. Outro ponto extremamente favorável ao uso da UEPS é a possibilidade de inserir atividades colaborativas envolvendo as metodologias ativas.



## 2.2 O emprego da Peer Instruction na UEPS.

A Peer Instruction se apresenta como uma ferramenta eficiente para transformar as salas de aula e tornar os alunos mais ativos cognitivamente. Seus objetivos visam “explorar a interação entre os estudantes durante as aulas expositivas e focar a atenção dos estudantes nos conceitos que servem de fundamento” (MAZUR, 2015, p. 10).

O sucesso da Peer Instruction está relacionado, em primeiro lugar, com a leitura prévia do material que deve ser disponibilizado antecipadamente ao aluno. E em segundo lugar, as aulas expositivas devem aprofundar o conteúdo do material disponibilizado, visando sanar as dúvidas, facilitar a compreensão e fornecer exemplos adicionais.

A aplicação da Peer Instruction possui sete etapas distintas, obedecendo o seguinte detalhamento:

1. Inicialmente, é recomendado que o professor disponibilize algum material introdutório correspondente ao assunto que será ministrado. Esta etapa visa auxiliar os alunos no processo de aquisição e apropriação dos conceitos básicos do assunto podendo ser feito através de leituras prévias, videoaulas e outras fontes (FILHO et al, 2019).
2. A segunda etapa consiste na aula presencial, onde o professor apresentará algumas considerações sobre o tema e seus conceitos-chaves (MAZUR, 2015).
3. Ao término da apresentação dialogada, o professor aplicará a questão conceitual que abrange o assunto discutido na aula, sendo usualmente de múltipla escolha.
4. Nesta etapa, os estudantes, individualmente, deverão analisar a questão e as opções de resposta, no momento oportuno os alunos deverão informar a alternativa escolhida juntamente com alguma argumentação para justificar seu ponto de vista. Após coletar a resposta da turma, o professor deve estar atento aos seguintes casos: quando a frequência de acertos apresentar o percentual entre 30% e 70%, recomenda-se que o professor inicie uma discussão para averiguar as argumentações que levaram os alunos a optar por determinada resposta. Entretanto, quando a frequência de acertos for abaixo de 30%, o professor deve retornar a apresentação do assunto abordando-o com mais detalhes, em seguida aplicar novamente o teste conceitual. E, para o caso em que as respostas certas atingirem o percentual de

70%, a aula pode prosseguir para os próximos tópicos (FILHO et al, 2019; MAZUR, 2015).

5. A quinta etapa é o cerne da metodologia, isto porque, quando o percentual de respostas certas estiver entre 30% e 70%, inicia-se, com a autorização do professor, uma discussão entre os colegas, preferencialmente duplas, por cerca de 2 minutos. Esse momento pode ser chamado de “fase de convencimento”, pois a dupla deverá entrar em consenso sobre a resposta correta e para isso deverão usar seus argumentos para convencer o colega que sua escolha é a mais acertada. O papel do professor é circular por entre as duplas interagindo e mediando algum conflito, mas sem interferir diretamente na resposta. Ao término do tempo estipulado, uma nova votação deve ocorrer (FILHO et al, 2019; MAZUR, 2015).
6. Nesta etapa o professor apresenta o resultado da votação resultante da fase de convencimento dos colegas, e caso seja oportuno para o momento, o professor pode requerer que os alunos compartilhem e justifiquem sob quais circunstâncias ocorreu (ou não) a mudança na escolha da alternativa (FILHO et al, 2019; MAZUR, 2015).
7. Por fim, o professor deve informar qual das alternativas é a correta. Em seguida, coerente com o resultado, o professor pode apresentar uma nova questão conceitual sobre o mesmo assunto, ou pode dar continuação na aula trabalhando o próximo conceito. Segundo Filho et al (2019, p. 64) “essa decisão dependerá do julgamento do professor sobre a adequação do entendimento atingido pelos estudantes a respeito do conteúdo abordado nas questões”. (FILHO et al, 2019; MAZUR, 2015).

Destacamos que cada questão conceitual (etapa 3) possui o seguinte formato genérico:

- 1.** Preposição da questão (1 minuto). **2.** Tempo para os estudantes pensarem (1 minuto). **3.** Os estudantes anotam suas respostas individuais (1-2 minutos). **4.** Os estudantes convencem seus colegas - Peer Instruction (1-2 minutos). **5.** Os estudantes anotam as respostas corrigidas (1 minuto). **6.** Feedback para o professor: registro das respostas. **7.** Explicação da resposta correta (2+ minutos). (MAZUR, 2015, p. 10).

Percebe-se que no detalhamento das etapas da Peer Instruction, os resultados dos testes conceituais são prontamente obtidos e identificados, no intuito de viabilizar esse

levantamento o professor pode usar flashcards inscritos, dispositivos portáteis, plataformas interativas e planilhas. Outra ferramenta que têm relação direta com o rendimento dos testes conceituais são as leituras, pois elas auxiliarão os alunos na aquisição prévia do conteúdo, além de qualificar o nível de discussão das fases dessa metodologia ativa.

Portanto, o entrelaçamento entre a Peer Instruction, a UEPS e a teoria de Ausubel mostra-se positivo para o processo da aprendizagem significativa, uma vez que a Peer Instruction possibilita o aprimoramento dos conhecimentos oriundos de uma aprendizagem superordenada, contribuindo de forma relevante para continuação do processo de subjunção derivativa, e podendo ainda, ser utilizada como organizador prévio no intuito de favorecer a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa dos conceitos e teorias.

## **2.3 Os resultados da aprendizagem a luz da Taxonomia Revisada de Bloom.**

Para discutir os resultados da aprendizagem é preciso dar ênfase ao passo que o antecede, isto é, o planejamento. Para Belhot e Ferraz (2010, p. 421) “na educação, decidir e definir os objetivos de aprendizagem significa estruturar, de forma consciente, o processo educacional de modo a oportunizar mudanças de pensamento, ações e condutas”, por isso planejar o que se pretende ensinar é determinante para a promoção da aprendizagem dos alunos.

Todavia, o planejamento das aulas deve assumir um caráter funcional de maneira que possibilite a aprendizagem dos conteúdos em caráter conceitual, procedimental e atitudinal. Mas, para que tudo ocorra como esperado é necessário definir os objetivos de forma clara, de modo que o processo de ensino seja compreensível para os alunos, e não fique implícito somente ao entendimento do professor. Assim, pensando nos objetivos educacionais e nos resultados da aprendizagem, alguns pesquisadores sugerem a utilização de instrumentos como as taxonomias.

No cenário educacional, a mais usada é a taxonomia de Bloom, que classifica as metas e objetivos da educação em domínios específicos: o cognitivo, o afetivo e o psicomotor. Um dos resultados da Taxonomia de Bloom é que “nas mesmas condições de ensino (desconsiderando as variáveis externas ao ambiente educacional) todos os alunos aprendiam, mas se diferenciavam em relação ao nível de profundidade e abstração do

conhecimento adquirido” (BLOOM; HASTIN; MADAUS, 1971 apud BELHOT e FERRAZ, 2010, p. 423). Todavia, a diferença apontada teria relação com as estratégias e com a organização do que seria ensinado/aprendido.

Para tanto, ressalta-se nesta UEPS utilizaremos a versão revisada da Taxonomia de Bloom, na qual “o tipo de conhecimento passou a ser designado por substantivos e os processos para atingi-los passaram a ser descritos por verbos” (AMARAL e TREVISAN, 2016, p. 454). Os verbos são: 1. *lembrar*, 2. *entender*, 3. *aplicar*, 4. *analisar*, 5. *sintetizar*, 6. *Criar* (BELHOT e FERRAZ, 2010). Em suma, para Belhot e Ferraz (2010), a revisão de Anderson et al (2001) proporcionou um aspecto bidimensional a versão revisada, dividindo o conhecimento como processo e como conteúdo assimilado. , conforme podemos constatar nas palavras do autor:

Assim, em um contexto prático, o professor pode inserir os objetivos da aprendizagem propostos em seu plano de ensino na intersecção entre as dimensões do conhecimento e do processo cognitivo. Ressalva-se que os objetivos não precisam necessariamente seguir a cronologia das aulas, podem pertencer a mais de uma célula e não é preciso preencher todas as células. A utilização da tabela bidimensional, análoga a Tabela (2.1), permite que o professor visualize o que está relacionado a aquisição do conhecimento e ao desenvolvimento de habilidade e competência dos alunos (BELHOT e FERRAZ, 2010).

Tabela 2.1: Tabela bidimensional da Taxonomia de Bloom.

|                 | Lembrar | Entender | Aplicar | Analisar | Avaliar | Criar |
|-----------------|---------|----------|---------|----------|---------|-------|
| Efetivo/Factual |         |          |         |          |         |       |
| Conceitual      |         |          |         |          |         |       |
| Procedural      |         |          |         |          |         |       |
| Metacognitivo   |         |          |         |          |         |       |

Fonte: Adaptada de FERRAZ; BELHOT (2010).

Portanto, para alcançar os objetivos estabelecidos por esta UEPS, todas as atividades de aplicação, materiais didáticos construídos, bem como a seleção das questões trabalhadas nas avaliações (diagnóstica, formativas e somativa individual) foram pautadas nos preceitos da Taxonomia revisada de Bloom, haja vista que o produto final destas aplicações é a aprendizagem significativa dos conteúdos.

## 2.4 Enquadramento da UEPS segundo a BNCC

### 1. Área do conhecimento:

(X) Ciências da Natureza e suas tecnologias

### 2. Componente curricular:

(X) Física

### 3. Competências específicas e habilidades a serem desenvolvidas nesta UEPS:

- Área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias para o Ensino Médio

Competência Específica 2 “Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar decisões éticas e responsáveis” (BRASIL, 2018, p. 556).

Esta competência ocupa-se da “complexidade dos processos relacionados à origem e o desenvolvimento da vida, planeta e Universo” (AMAZONAS, p. 166, 2021). Tratar essa competência é dar ao estudante a oportunidade de refletir sobre a evolução histórica da vida e dos conceitos da Física, além de trabalhar as diferentes interpretações e controvérsias envolvidos na construção do pensamento científico (AMAZONAS, p. 166, 2021):

(...) Para desenvolver efetivamente essa competência, é necessário realizar análises científicas de dados e informações relacionados às ideias, para descobrir todas as limitações, fazer dedução e conclusões e se firmar com ideias científicas relacionadas adequadas, mesmo sendo ideias científicas divergentes. Realizar debates e construir seus próprios argumentos de forma clara, coerente e objetiva (BRASIL, 2018, p. 556).

Contudo, para que o aluno desenvolva esta competência é necessário articular progressivamente um conjunto de habilidades que o auxilie nesta construção. Desta forma, as habilidades ligadas ao objetivo deste produto educacional são:

(EM13CNT201) Analisar e utilizar modelos científicos, propostos em diferentes épocas e culturas para avaliar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo.

(EM13CNT204) Elaborar explicações e previsões a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais.

(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 [...] (BRASIL, 2018, p. 557).

Uma outra questão que se aplica na nossa proposta é o uso da matemática. Sabemos que a matemática ocupa uma posição singular no cenário científico, pois é uma ciência investigativa, com linguagem própria e integra-se interdisciplinarmente nas diferentes ciências. Assim, os saberes da Matemática e da Física se relacionam, por isso sugerimos o uso da Competência 1 da *Área de Matemática e suas Tecnologias* que propõe:

Utilizar estratégias e procedimentos matemáticos para interpretar situações em diversos contextos, sejam atividades cotidianas, sejam fatos das Ciências da Natureza e Humanas, ou ainda questões econômicas ou tecnológicas, divulgados por diferentes meios, de modo a consolidar uma formação científica geral (BRASIL, 2018, p. 556).

E, com o mesmo entendimento à respeito das habilidades, articularemos a esta pesquisa, a habilidade (EM13MAT103) que visa “interpretar e compreender o emprego de unidades de medidas de diferentes grandezas, inclusive de novas unidades, como as de armazenamento de dados e de distâncias astronômicas e microscópicas, ligadas aos avanços tecnológicos [...]” (BRASIL, 2018, p. 556)

## 2.5 Descrição sintética das aplicações.

Tabela 2.2: Delineamento das aulas de aplicação desta UEPS segundo Moreira (2011).

| Aulas  | Descrição                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Duração |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Aula 1 | <p><b>Apresentação do tópico:</b> efeito Doppler relativístico</p> <p><b>Situação-problema inicial:</b> avaliação diagnóstica</p> <p><b>Sensibilização:</b> Paradoxo de Olbers e as distâncias cosmológicas.</p>                                                                                                               | 2h/a    |
| Aula 2 | <p><b>Aprofundamento:</b> aula expositiva sobre a Relatividade Restrita</p> <p><b>Nova situação-problema:</b> avaliação formativa 1.</p>                                                                                                                                                                                       | 2h/a    |
| Aula 3 | <p><b>Aprofundamento do tópico:</b> aula expositiva sobre o efeito Doppler relativístico.</p>                                                                                                                                                                                                                                  | 2h/a    |
| Aula 4 | <p><b>Diferenciando progressivamente:</b> retomada do estudo do efeito Doppler relativístico e sua aplicação na Cosmologia.</p> <p><b>Nova situação-problema:</b> avaliação formativa 2.</p>                                                                                                                                   | 2h/a    |
| Aula 5 | <p><b>Aula integradora final:</b> retomada do conteúdo envolvendo práticas para fomentar as discussões sobre as controvérsias conceituais que envolve o redshift devido o efeito Doppler relativístico e o redshift devido a expansão do Universo.</p> <p><b>Avaliação final:</b> avaliação somativa individual e da UEPS.</p> | 2h/a    |

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

## Capítulo 3

# PLANEJAMENTO DA UEPS

Iniciar a aula com uma apresentação geral da temática da UEPS bem como os objetivos, as formas de avaliações e a metodologia que será utilizada durante a aplicação da unidade. Em síntese, toda a aplicação da UEPS objetiva a verificação do processo de construção da aprendizagem significativa dos alunos que, segundo Moreira (2011), ocorre à medida em que os conhecimentos prévios dos estudantes interagem com os novos conhecimentos, organizando-se na estrutura cognitiva dos mesmos. Assim, alguns conceitos abordados pela Física Clássica, como, por exemplo, o comportamento de uma onda ou a caracterização do efeito Doppler poderão ser utilizados como materiais prévios auxiliares.

### 3.1 Descrição das atividades.

#### Aula 1

**Carga horária:** 2 hora-aula

**Objetivo:** 1. Realizar a avaliação diagnóstica. 2. Sensibilizar os alunos para o estudo da temática da UEPS através do tópico cosmológico o *Paradoxo de Olbers* mostrando-lhes a presença da Física/Cosmologia no cotidiano. 3. Estudar as unidades usadas para medir as distâncias cósmicas.

#### Metodologia:

A aula deve iniciar com aplicação da avaliação diagnóstica para que o professor tenha dados relacionados aos conhecimentos prévios dos alunos. Após, o recolhimento das avaliações, o professor deverá distribuir aos alunos o conjunto de cartões inscritos de A a



D para que possam sinalizar suas respostas nos momentos que ocorrem as *Interatividades baseadas na Peer Instruction*.

Assim, inicia-se a aula expositiva com a projeção de slides sobre o tópico cosmológico - Paradoxo de Olbers, introduzindo o significado de paradoxo para familiarizar os alunos seguido de alguns paradoxos famosos da Física. Partindo desse contexto, o professor iniciará a abordagem do Paradoxo de Olbers, contextualizando que por muito tempo ele permaneceu sem solução, mas que nos mostra a fascinação do homem com relação ao Cosmos.

Em seguida, projetar o quizz com a questão conceitual<sup>1</sup>: *imagine que você esteja caminhando ou simplesmente conversando com um amigo(a), sob um céu cheio de estrelas, e este amigo(a) lhe faz a seguinte pergunta: como o céu noturno tão repleto de estrela pode ser escuro? Não faria mais sentido se ele fosse brilhante como o dia? Afinal, você sabe porque o céu noturno é tão escuro?*

Figura 3.1: Interatividade sobre o paradoxo de Olbers.

The slide is titled "Interatividade: Interpretando o Paradoxo de Olbers". It contains a question: "1) Sobre o Paradoxo de Olbers, qual das alternativas abaixo é a resposta para este paradoxo? Justifique sua resposta." followed by four options: a) A poeira estelar absorve a luz das estrelas distantes. b) O Universo tem uma quantidade finita de estrelas. c) O Universo não existiu por todo o tempo. d) O Universo está se expandindo, por isso as estrelas estão obscurecendo. Below the options are five horizontal lines for justification. To the right of the text is a stick figure with a lightbulb above its head, and a photograph of a starry night sky with a bright orange star in the center. Source information is provided at the bottom of the slide.

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023).

Seguindo os passos genéricos da Peer instruction, o professor deverá informar a turma que terão cerca de dois minutos para pensar sobre a questão e justificar suas respostas, sendo que isto deve ser feito individualmente e que não podem conversar com os colegas. Transcorrido tempo estipulado para a fase individual acontece a primeira votação, entretanto se o percentual de acertos for baixo, a turma será autorizada a formar duplas

<sup>1</sup>As interatividades baseadas na Peer Instruction serão também chamadas de questões conceituais nesse produto educacional.

para a fase de convencimento do colega, na qual trocarão ideias sobre suas respostas ao mesmo que tempo tentam convencer um ao outro sobre qual das alternativas é mais conveniente para solucionar o paradoxo. Em seguida, a nova votação deve ser iniciada, e o professor deverá atentar-se para o feedback dos alunos.

***Caso o índice de acerto de 70% não seja alcançado: retornar a questão conceitual.***

O professor pode fazer uma breve explanação recorrendo a História da Ciência para explicar aos alunos que o Universo compreendido por Olbers, no início do século XIX, era infinito, estático, homogêneo, isotrópico, imutável, euclidiano e físico<sup>2</sup>. Por esses motivos esperava-se que as noites fossem infinitamente iluminadas como os dias, pois as estrelas estariam espalhadas uniformemente no espaço, dessa forma, aqui na Terra deveríamos receber simultaneamente a luz de todas as estrelas.

Para contextualizar pode-se utilizar a analogia da floresta, na qual é possível mostrar uma floresta pouco densa, mas que apesar dos troncos das árvores é possível ver o céu. Em contrapartida, se a floresta for mais densa e sua extensão for maior não haverá espaços vazios, isto é, não será mais possível ver o céu, pois haverá troncos em todas as direções que se olhar. Por fim, o professor precisa explicar porque a resposta correta é a letra *c* e não as demais. Por exemplo, Olbers propôs como resposta que a poeira estelar absorvia a luz das estrelas, mas isso não é verdade, pois a poeira estelar em determinado momento entraria em equilíbrio térmico com as estrelas e conforme fosse absorvendo radiação brilharia tanto quanto as estrelas.

***Caso o índice de acerto de 70% seja alcançado: seguir para o próximo tópico da aula.***

Prosseguindo a aula, o professor explicará as unidades utilizadas para medir as distâncias entre os objetos estelares, por exemplo, a distância entre a Terra e o Sol, ou entre as galáxias de Andrômeda e a Via-Láctea. Para tal, é conveniente revisar brevemente as definições das unidades usuais de distância adotadas pelo Sistema Internacional, as grandezas físicas (tempo, espaço, velocidade e aceleração), bem como as

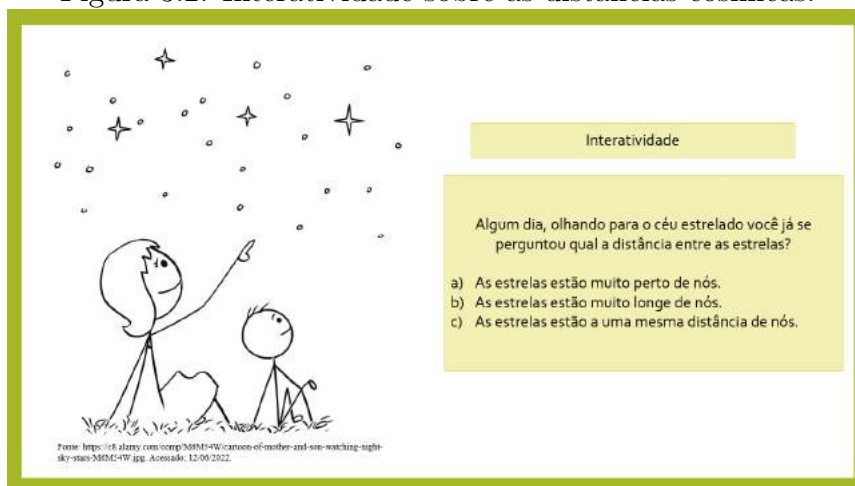
---

<sup>2</sup>Essa abordagem está disponível em <https://www.asterdomus.com.br/asterdomus/o-paradoxo-de-olbers-por-que-a-noite-e-escura/>. Acessado em 12 de junho de 2022.

potências de base 10. Esses conceitos servirão de materiais auxiliares e serão requeridos durante toda a aplicação da Unidade.

É interessante projetar algumas curiosidades sobre as viagens espaciais desde as tripuladas até as expedições realizadas por sondas, como a Voyager 1 e 2 por exemplo. Comparar, em quilômetros, a distância percorrida pela missão Apollo 11 que executou o primeiro pouso lunar, assim como a distância percorrida pelas sondas Voyager 1 e 2 lançada ao espaço em 1977 e que continuam se afastando do Sistema Solar. Utilizar o vídeo “NASA estabelece contato com a Voyager 2! Para onde está indo agora”<sup>3</sup>. Em seguida lançar a segunda interatividade, conforme mostra a Fig. (3.2).

Figura 3.2: Interatividade sobre as distâncias cósmicas.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023).

Essa questão é bem mais simples e baseia-se unicamente na percepção que os alunos têm sobre a distância que os separa das estrelas, com isso a resposta correta é a letra *b*. Lembrando que todo o sequenciamento da Peer Instruction deve ser obedecido dando atenção ao registro das respostas.

Em seguida, projetar o vídeo “Escalas e distâncias do Universo”<sup>4</sup>, depois contextualizar as principais características da unidade astronômica e do ano-luz.

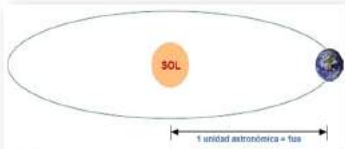
<sup>3</sup>Encontrado em <https://www.youtube.com/watch?v=SP-YHWXG2sA>. Acessado em 03 de abril de 2022.

<sup>4</sup>Encontrado em <https://www.youtube.com/watch?v=tMX2vbbGQa8>. Acessado em 30 de março de 2022.

# Recapitulando: Unidade Astronômicas (U.A.)



Para calcular distâncias dentro do sistema solar a unidade mais adequada é a Unidade Astronômica (UA), que é a distância média entre o Sol e a Terra.



Fonte: [http://3.bp.blogspot.com/\\_XhU7UbaLYPE/7z6Hsa2P0sI/AAAAAAAAAAw/twLXHDHfww4/s1600/UaadaP4-1B Astronomia.jpg](http://3.bp.blogspot.com/_XhU7UbaLYPE/7z6Hsa2P0sI/AAAAAAAAAAw/twLXHDHfww4/s1600/UaadaP4-1B Astronomia.jpg)



Unidade astronômica: ua = 149.597.870.700 metros (aproximadamente a distância média da Terra ao Sol)

<https://giz.ae.quora.com/quant-9466f0eb10c172227d0?no=1492-bq>

| Planeta  | Distância média ao Sol (em km) | Distância média ao Sol (em UA) |
|----------|--------------------------------|--------------------------------|
| Mercúrio | 57 930 000                     | 0,39                           |
| Vênus    | 108 200 000                    | 0,72                           |
| Terra    | 149 600 000                    | 1                              |
| Marte    | 227 940 000                    | 1,52                           |
| Júpiter  | 778 330 000                    | 5,20                           |
| Saturno  | 1 429 400 000                  | 9,53                           |

35

Figura 3.4: Projecção de slide sobre o ano-luz.

## Recapitulando: Ano-luz

O ano-luz é uma unidade de distância e não de tempo!  
É definido como a distância que um raio de luz que viaja pelo espaço durante o ano. Podemos definir 1 ano-luz a partir da equação de velocidade média:

$$V_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow \Delta s = V \cdot \Delta t$$

| Tempo e Espaço |                                                  |
|----------------|--------------------------------------------------|
| 1 minuto       | 60 segundo                                       |
| 1 hora         | 60 minutos x 60 segundo = 3.600 segundos         |
| 1 dia          | 24 horas x 3.600 segundos = 86.400 segundos      |
| 1 ano          | 365 dias x 86.400 segundos = 31.536.000 segundos |

Longo:  
1 ano-luz = 300.000 quilômetros por segundo x 31.536.000 segundos =  
9.460.800.000.000 (9 trilhões, quatrocentos e sessenta bilhões e oitocentos milhões de quilômetros).

Fonte: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-56758341>

26

Após as discussões exibir o segundo vídeo “O que é parsec (pc)?”<sup>5</sup>, recapitulando suas características. Realizar com os alunos um pequeno experimento envolvendo a técnica de paralaxe a fim de facilitar a visualização acerca do deslocamento aparente do objeto.

<sup>5</sup>Encontrado em <https://www.youtube.com/watch?v=M04Nqmy2LJE>. Acessado em 28 de março de 2022.

Figura 3.5: Projeção de slide sobre o parsec (parte 1).

O PARSEC depende de uma grande ideia – a paralaxe.

O termo **PARSEC** é a junção das palavras

paralaxe + segundo

https://universgenial.files.wordpress.com/2013/09/paralaxe-estelar.png

### Recapitulando: Parsec

Calculando o valor de 1 Parsec?!

Considerando que o ângulo  $p = 1''$

$$\operatorname{tg} 1'' = \frac{1 \text{ UA}}{d_{\text{sol}}} \text{ ou } d_{\text{sol}} = \frac{1 \text{ UA}}{\operatorname{tg} 1''}$$

Vamos utilizar:

$$d_{\text{sol}} = \frac{1 \text{ UA}}{\operatorname{tg} 1''}$$

$$d_{\text{sol}} = \frac{150\,000\,000}{0,00000484813}$$

$$d_{\text{sol}} \approx 3,0939764 \times 10^{13} \text{ km}$$

Assim,  
1 PARSEC = 31 trilhões de quilômetros.

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023).

Figura 3.6: Projeção de slide sobre o parsec (parte 2).

### Recapitulando: Parsec

Kiloparsec (Kpc)

• Uma distância de **um mil** parsecs é denotada kiloparsec (kpc). Usa-se essa unidade para expressar distâncias entre partes de uma galáxia ou dentro do grupo de galáxias.

Megaparsec (Mpc)

• Uma distância de **um milhão** de parsec é denotado megaparsec (Mpc). Geralmente usada para expressar distâncias entre galáxias vizinhas e aglomerados de galáxias

Gigaparsec (Gpc)

• Uma distância de **um bilhão** de parsec é denotado gigaparsec (Gpc). Usado para expressar os tamanhos de estruturas de grande escala, como a distância para quasares.

1 PARSEC tem quantos anos-luz

1 PARSEC =  $\frac{31 \text{ trilhões de quilômetros}}{9,5 \text{ trilhões de quilômetros}}$

1 PARSEC = 3,26 ano – luz

1 PARSEC tem quantas Unidades Astronômicas

1 PARSEC =  $\frac{30\,939\,764\,000\,000}{150\,000\,000}$

1 PARSEC = 206 265 UA

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023).

Para finalizar a aula deve ser distribuído aos alunos a cópia do texto “O que é a Teoria da Relatividade?”<sup>6</sup>, e o infográfico sobre a cronologia de Albert Einstein produzido a partir do texto “Einstein: Uma breve cronologia”<sup>7</sup>. Enfatizar que essas leituras são classificadas como atividades pós-aula e que devem ser realizadas, pois servirão como materiais auxiliares da aula seguinte.

## Aula 2

<sup>6</sup>Encontrado em: [http://www.bertolo.pro.br/fisica\\_cosmologia/RELATIVIDADE.htm](http://www.bertolo.pro.br/fisica_cosmologia/RELATIVIDADE.htm). Acessado em 03 de abril de 2022.

<sup>7</sup>Encontrado em: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/cronologia.pdf>. Acessado em 03 de abril de 2022.

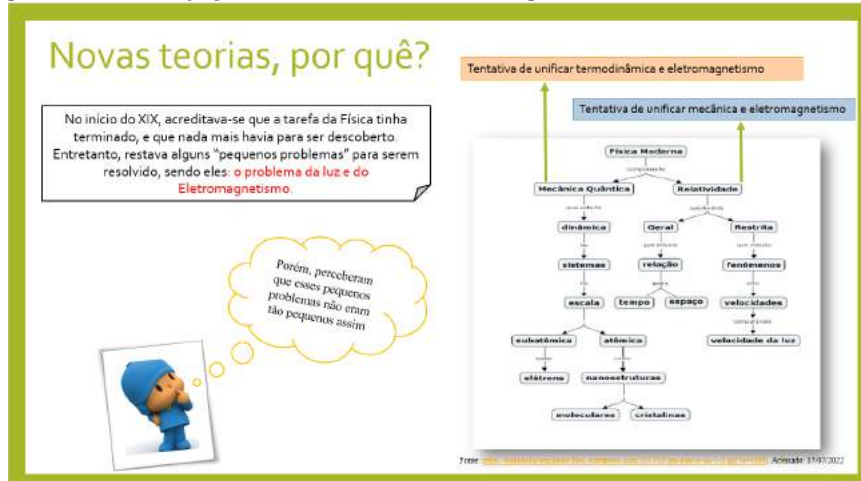
**Carga horária:** 2 horas-aula

**Objetivo:** 1. Apresentar a Teoria da Relatividade Restrita. 2. Discutir os postulados.

## Metodologia:

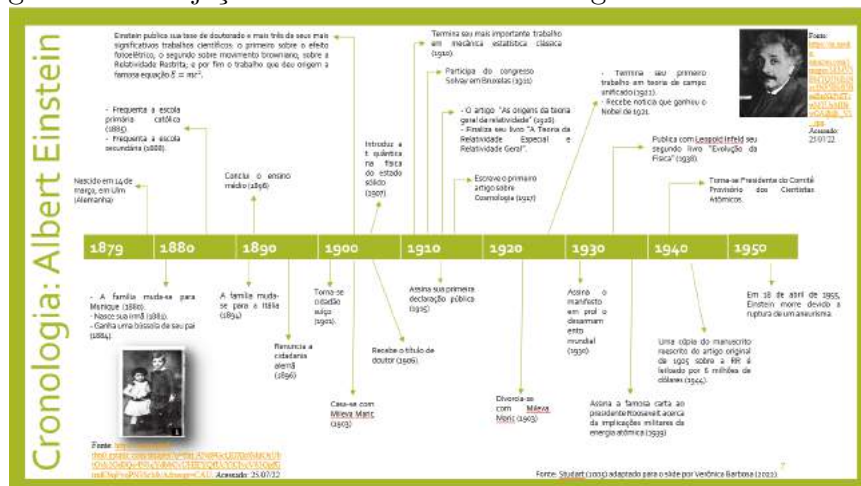
Aplicar no início da aula a avaliação formativa 1 com duração de quinze minutos, se necessário, acrescentar mais cinco minutos de tolerância. Distribuir os flashcards que serão utilizados nas votações da Peer Instruction. Iniciar a aula expositiva com base na História da Ciência para discutir os problemas da Física que não puderam ser resolvidos do ponto de vista clássico. Contextualizar os experimentos de Michelson-Morley acerca do éter (CARUSO, 2016). Projetar a cronologia de Albert Einstein (STUDART, 2005).

Figura 3.7: Projeção de slide sobre a origem a Relatividade Restrita



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023).

Figura 3.8: Projeção de slide sobre a cronologia de Albert Einstein.

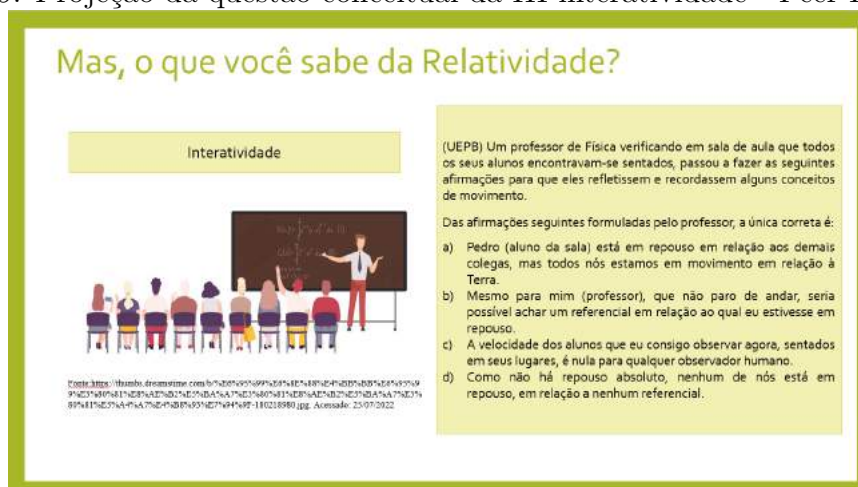


Fonte: Elaborado pela própria autora (2023).



É pertinente tecer algumas considerações sobre o entendimento clássico de conceitos como o espaço, o tempo, velocidade (da luz) e da simultaneidade, com base na leitura do texto disponibilizado sobre a Teoria da Relatividade, mais especificamente na seção *a relatividade que estamos acostumados* e que serão aprofundados no decorrer da aula. Para mobilizar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o conceito de movimento e referencial projeta-se a primeira interatividade desta aula<sup>8</sup>.

Figura 3.9: Projeção da questão conceitual da III interatividade - Peer Instruction.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023).

Lembrando que todos os passos genéricos da Peer Instruction devem ser obedecidos.

***Caso o índice de acerto de 70% não seja alcançado: retornar a questão conceitual.***

O professor deverá retornar a questão conceitual para esclarecer alguns pontos sobre as alternativas, mas tomando cuidado para não transmitir a resposta correta aos alunos, uma vez que haverá a reaplicação da questão. Entretanto, nesse espaço discutiremos sobre as soluções de cada alternativa.

Está é uma questão de vestibular<sup>9</sup> cuja a resposta correta é a letra *b*. A justificativa é a possibilidade de existir sim um referencial em que o professor está em repouso. Por exemplo, caso esse professor use óculos, este acessório estará em movimento junto com o ele com mesma direção, mesmo sentido e mesma velocidade. Dessa forma poderíamos

<sup>8</sup>Considerando a sequência de aplicações está interatividade é a terceira.

<sup>9</sup>Encontrada em: <https://fisicaevestibular.com.br/novo/mecanica/cinematica/conceitos-e-definicoes-movimento-e-reposuo/exercicios-movimento-reposuo/>. Acessado em 22 de abril de 2022.

dizer que um está em repouso em relação ao outro, isto é, que o professor está em repouso em relação ao acessório óculos, pois não ocorre mudança de posição.

A letra *a* está incorreta, pois todos os alunos estão em repouso em relação a Terra, de maneira geral, o aluno Pedro está em repouso em relação aos seus colegas de classe, assim como todos os alunos da classe estão em repouso em relação a Terra, uma vez que suas posições não são (ou foram) alteradas.

A letra *c* é falsa porque para alguém fora do nosso planeta observaria os alunos “girando” junto com a Terra, de igual modo, para um motoqueiro pilotando sua moto na rua como referencial, os alunos estariam em movimento. A alternativa *d* está incorreta, pois basta escolher um referencial conveniente, isto é, a posição do objeto ou da pessoa seja preservada para que não ocorra alterações em relação aquele que foi determinado como referencial, portanto existirá repouso se atendermos as condições necessárias.

***Caso o índice de acerto de 70% seja alcançado: seguir para o próximo tópico da aula.***

Continuando a aula, buscar ressignificar os conceitos de evento e observador, visto que na Relatividade Restrita eles possuem novos significados, utilizamos nos slides as definições de Tipler (2017). Em seguida, introduzir a ideia que a partir da teoria de Einstein alguns conceitos não são mais vistos como absolutos e imutáveis, o tempo e o espaço por exemplo, são definidos e entendidos contrariamente a concepção newtoniana. Questionar os alunos sobre os postulados da Relatividade Restrita, e após esse breve momento, apresentá-los formalmente, explicando suas implicações nos estudos da Física.

Figura 3.10: Projeção de slide: O absoluto torna-se relativo!

The slide is titled "O absoluto torna-se relativo!" in green. It features two portraits: Isaac Newton on the left and Albert Einstein on the right. Newton's portrait is associated with a yellow speech bubble stating: "O tempo é absoluto, verdadeiro e matemático, por sua própria natureza, sem relação a nada externo e permanecerá sempre semelhante e imutável." Einstein's portrait is associated with an orange speech bubble stating: "Nada disso! O tempo não pode ser observado a não ser em relação a algo. O tempo depende, portanto, não há tempo absoluto." To the right of the portraits, there is a list of bullet points: "• Albert Einstein concebeu a Teoria da Relatividade Restrita, em 1905, e revolucionou o entendimento dos fenômenos fundamentais que envolvem matéria, a energia e o tempo." and "• Essa Teoria baseia-se em dois princípios:". Below these are two numbered principles in green boxes: "1. O princípio da Relatividade: as leis da física são as mesmas para todos os REFERENCIAIS INERCIAIS." and "2. A constância da velocidade da luz: a luz se move pelo vácuo a uma velocidade constante *c* independentemente do movimento da fonte de luz." At the bottom left, there is a small source note: "Fonte: <https://bdeleiboc.files.wordpress.com/2014/12/einstein-y-newton.png?w=700>. Atualizado: 25/07/2022."

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023).



Dando seguimento a aula mais uma interatividade da Peer Instruction deve ser projetada, e está tem com foco a simultaneidade de eventos na Relatividade Restrita.

Figura 3.11: Questão conceitual sobre a simultaneidade.

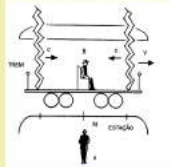
### Simultaneidade de eventos

Einstein observou que o único conceito físico real envolvido na nossa noção intuitiva de tempo era o de simultaneidade

Todos os nossos julgamentos com respeito ao tempo são sempre julgamentos de eventos simultâneos (NUSSENZVEIG, 1998).

### Interatividade

A figura mostra o observador A em pé na estação, enquanto vê um trem movendo-se a sua direita com velocidade  $V$ . Nota-se também que sentado exatamente no meio do trem está o observador B. De repente, o trem é atingido por dois relâmpagos ao mesmo tempo, conforme mostra a ilustração:



Das afirmações abaixo, a única correta é:

- a) Os eventos são simultâneos para ambos.
- b) Os eventos são simultâneos para o observador A, mas não são simultâneos para o observador B.

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023).

Lembrando que todos os passos genéricos da Peer Instruction devem ser obedecidos.

***Caso o índice de acerto de 70% não seja alcançado: retornar a questão conceitual.***

Para contextualizar a situação proposta pela questão conceitual o professor poderá exibir o trecho do documentário “Genius”, do canal National Geographic<sup>10</sup>, em que o intérprete de Einstein faz uma espécie de experimento de pensamento para explicar a simultaneidade do ponto de vista da Relatividade Restrita e a partir desse vídeo o professor pode agregar novas informações para auxiliar na compreensão da questão.

Para satisfazer os postulados da Relatividade Restrita o conceito de simultaneidade de eventos em pontos distantes deve ser analisado com maiores cuidados, pois segundo Nussenzveig (1998, p. 183) “todos os nossos julgamentos com respeito a tempo são sempre julgamentos de eventos simultâneos”. O autor exemplifica essa afirmação a partir do exemplo: se estivermos esperando um trem cujo horário de chegada é às 7 h, então isso significa que “a chegada do trem e a observação de que os ponteiros do relógio marcam 7 h são eventos simultâneos” (NUSSENZVEIG, 1998, p. 183). Mas, como saber que dois eventos que ocorrem em lugares diferentes são simultâneos?

<sup>10</sup>Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=H\\_w6mYPniFM](https://www.youtube.com/watch?v=H_w6mYPniFM). Acessado em 25 de abril de 2022. A série Genius contém 10 episódios que retratam a vida de Einstein e de outras personalidades.

Conclusão: Ao contrário da simultaneidade de eventos que ocorrem no mesmo ponto, a simultaneidade de eventos em dois pontos distantes não tem significado a priori: ela tem de ser definida por uma convenção. A definição de Einstein da simultaneidade de eventos distantes está relacionada com método 1<sup>a</sup> e com o princípio de (B)<sup>b</sup>, que confere à velocidade da luz no vácuo o caráter de uma constante universal (NUSSENZVEIG, 1998, p. 184).

<sup>a</sup>Consultar este método no livro de Física Básica de Moysés Nussenzveig na página 184.

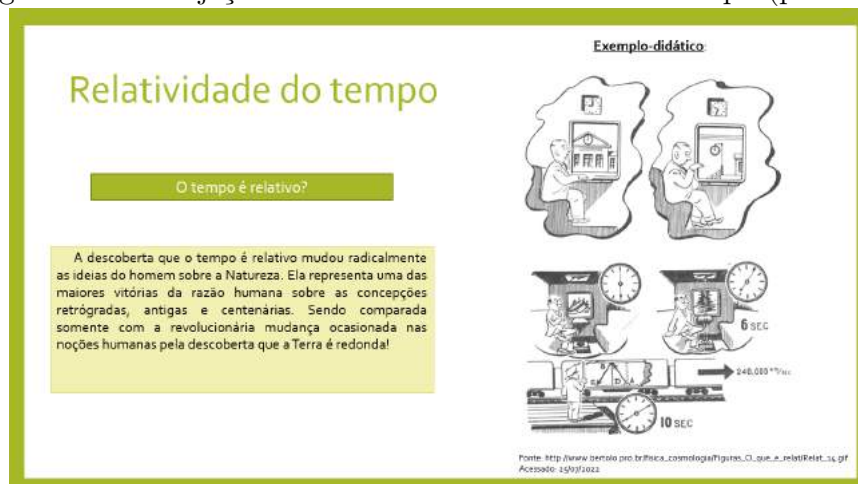
<sup>b</sup>Princípio de constância da velocidade da luz no vácuo.

A resposta correta é a alternativa *b*. Vamos analisar a justificativa: os dois eventos são a queda do raio, e convenientemente vamos dizer que  $P_1$  é a frente do trem e  $P_2$  é a traseira do trem (referencial  $S'$ ) que está se deslocando com velocidade  $v$  em relação ao observador em repouso na plataforma (referencial  $S$ ). Cada raio gera seu próprio sinal luminoso, assim se os dois eventos são simultâneos para o observador em  $S$  os dois sinais se encontram no ponto médio entre as duas extremidades  $P_1P_2$ . Mas, o observador sentado exatamente no meio do trem não interpreta o evento desta forma, isto é, o observador em  $S'$  está no ponto médio  $M'$  em movimento com o trem, então esse observador recebe primeiro o sinal vindo de  $P_1$  e depois recebe o outro sinal vindo de  $P_2$ . O ponto médio  $M'$  do trem não é o mesmo que o ponto médio  $M$ . (NUSSENZVEIG, 1998).

***Caso o índice de acerto de 70% seja alcançado: seguir para o próximo tópico da aula.***

Iniciar a abordagem sobre a relatividade do tempo.

Figura 3.12: Projeção slide sobre a relatividade do tempo (parte 1).



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023).

Contextualizar que este conceito passou a ser compreendido de maneira diferente da concebida na visão newtoniana de que o “o tempo é absoluto, verdadeiro e matemático, por sua própria natureza, sem relação a nada externo, permanece sempre semelhante e imutável” (NUSSENZVEIG, 1998, p. 185). Exibir o vídeo “dilatação temporal”<sup>11</sup>.

A proposta do exemplo-didático da Fig. (3.12) é contextualizar a forma pela qual percebemos o tempo, fazendo uso novamente na afirmação de Nussenzveig (1998, p. 183) de que “todos os nossos julgamentos com respeito a tempo são sempre julgamentos de eventos simultâneos”. Neste sentido, temos um passageiro no trem de Einstein<sup>12</sup> viajando a 240.000 Km/h e levará uma hora para percorrer 864.000.000 Km que é a distância entre as duas estações. No primeiro momento, o passageiro ajusta seu relógio com o relógio da estação onde embarcou no trem, mas ao chegar na estação de desembarque verifica que seu relógio está atrasado em relação ao relógio da nova estação. Então, o que pode ter acontecido?

Analisando a segunda figura nota-se que: a *Situação 1* supõem-se que o passageiro dentro do trem emitiu um sinal luminoso com uma lanterna que é colocada no piso do vagão, entretanto no teto deste vagão existe um espelho refletor, que por sua vez reflete essa luz de volta para o piso. Todavia, na *Situação 2*, para o observador na plataforma da estação, esse evento ocorre em posições diferentes. E obedecendo o segundo postulando da Relatividade Restrita temos que a velocidade da luz é a mesma para os dois observadores.

Figura 3.13: Projeção slide sobre a relatividade do tempo (parte 2).

**Relatividade do tempo**

**Situação 1:** Passageiro no trem (referencial S').  

$$\Delta t_0 = \frac{2d}{c}$$

**Situação 2:** Passageiro na plataforma (referencial S).  

$$\Delta t = \frac{2L}{c}$$

Usando o teorema de Pitágoras:  

$$L = \sqrt{d^2 + \left(\frac{v\Delta t}{2}\right)^2}$$

$$L = \frac{2}{c} \sqrt{d^2 + \left(\frac{v\Delta t}{2}\right)^2}$$

Com  $d = \frac{c\Delta t_0}{2}$  e substituindo na expressão acima  

$$\Delta t = \frac{2}{c} \sqrt{\left(\frac{c\Delta t_0}{2}\right)^2 + \left(\frac{v\Delta t}{2}\right)^2}$$

Ou  

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Fonte: [http://www.bertolo.pro.br/fisica/contenidos/figuras/03\\_sua\\_relativ\\_14.gif](http://www.bertolo.pro.br/fisica/contenidos/figuras/03_sua_relativ_14.gif) Acesso: 15/07/2022

Fonte: <http://www.preparaoem.com/fisica/Mat%C3%A9ria-do-tempo.htm> Acesso: 25/07/2022

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023).

<sup>11</sup>Encontrado em: <https://www.youtube.com/watch?v=MVeXopuYNTM>. Acessado em 24 de abril de 2022. Usar os primeiros três minutos do vídeo.

<sup>12</sup>Exemplo extraído do texto *O que é a Relatividade* distribuído como atividade pós-aula.

Dessa forma, é possível deduzir a equação da dilatação do temporal, conforme a Fig. (3.13). Como aplicação desse fenômeno relativístico, o professor deverá discutir o paradoxo dos gêmeos.

Figura 3.14: Projeção slide sobre o paradoxo dos gêmeos.

**Verificação: Paradoxo dos Gêmeos**

O Paradoxo dos gêmeos é um experimento mental envolvendo a dilatação temporal, uma das consequências da Relatividade. E mostra como um evento pode não ocorrer simultâneo para dois observadores.

Dois gêmeos fazem a seguinte experiência: um permanece na Terra e o outro parte numa astronave com 95% da velocidade da luz, com destino a uma estrela distante da Terra cerca de 20 anos-luz.

Ao retornar, o irmão viajante encontra seu irmão que ficou na Terra e percebe que este está alguns anos mais velho.

Como podemos explicar isso do ponto de vista da Relatividade Restrita?

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023).

Utilizar o vídeo sobre a dilatação temporal<sup>13</sup> para dinamizar as discussões.

O próximo tópico tratará da relatividade das distâncias. Nessa etapa deve-se explicar a turma que as medidas de distâncias em diferentes referenciais, assim como tempo, precisaram ser reinterpretadas sob a ótica da Relatividade Restrita, conforme mostra a Fig. (3.15).

Figura 3.15: Projeção slide sobre a relatividade das distâncias.

**Relatividade das distâncias**

Outra consequência direta do segundo postulada da Relatividade Restrita de que a velocidade da luz é a mesma quando medida a partir de qualquer referencial, a medição de distâncias a partir de diferentes referenciais também é afetada.

O observador em repouso na Terra, em seu referencial, observa um foguete com comprimento  $L_p$ , menor que aquele medido no referencial deste veículo espacial, ou seja,  $L < L_p$ .

O observador em movimento em relação a Terra, e em repouso em relação ao foguete observa o comprimento próprio da barra em  $L_p$ .

$$L = L_p \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

O efeito é válido apenas na direção do movimento. Nas direções perpendiculares ao movimento não ocorre alterações no comprimento da barra.

$L_p$  - é o comprimento próprio da barra quando medida em repouso no interior do foguete que se desloca com velocidade  $v$ .

$L$  - é o comprimento da barra quando medida em movimento em relação a Terra.

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023).

<sup>13</sup>Encontrado em: <https://www.youtube.com/watch?v=MVeXopuYNTM>. Acessado em 24 de abril de 2022. Editar o vídeo utilizando o trecho de 3:20 a 4:27

A análise desta consequência inicia com a adoção de um sistema de referência, ou seja, quem está em repouso ou em movimento em relação à quê. Nota-se que neste exemplo, o observador está em repouso na Terra e o astronauta está em repouso em relação ao foguete e o foguete está em movimento em relação a Terra. Assim, o observador na Terra mede o comprimento do foguete com sua régua e percebe que o comprimento do foguete é menor, contudo o astronauta que está em repouso dentro do foguete não faz essa mesma observação. Mas por que isso acontece? Discutir com a turma.

Outra sugestão para o exemplo-didático referente a contração do comprimento encontra-se no texto “o que é Teoria da Relatividade” na seção sobre *os relógios e réguas extravagantes* e poderão ser utilizadas pelo professor. Contudo, é importante relembrar mais uma vez dos postulados, frisando o princípio de constância da luz, pois é a partir dele(s) que o tempo e o espaço passaram a ser reinterpretados, e ambos não são mais entendidos como conceitos absolutos, e sim relativos.

Da mesma forma que convencionamos os referenciais para estudar o tempo é preciso que façamos para estudar o espaço, isso porque de acordo com o que vimos no estudo da dilatação temporal, a ocorrência de determinado evento, observado por observadores em sistemas referenciais diferentes, possuem significados distintos para cada um deles. Do mesmo modo podemos interpretar o fenômeno de contração do espaço medidos por observadores que estão em repouso ou movimento um em relação ao outro, pois “os corpos em movimento sofrem uma determinada contração na direção do movimento” (EINSTEIN, 2005, p. 37).

A forma cinemática de um corpo em movimento translacional uniforme sempre depende, portanto, de sua velocidade em relação ao sistema referencial; de fato a forma cinemática difere da forma geométrica apenas de uma contração na direção do movimento relativo na razão  $1: \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ . O movimento relativo de sistemas referenciais com velocidades superluminais não é compatível com nossos princípios (EINSTEIN, 2005, p. 41).

Ao final das discussões sobre os fenômenos relativísticos, o professor deverá distribuir dois textos: o primeiro sobre “O Efeito Doppler: uma cantora correndo a maratona desafina?”<sup>14</sup>, o segundo sobre “O espectro eletromagnético”<sup>15</sup>. Lembrar os alunos que

---

<sup>14</sup>Encontrado em: <https://seara.ufc.br/pt/producoes/nossas-producoes-e-colaboracoes/secoes-especiais-de-ciencia-e-tecnologia/tintim-por-tintim/fisica/>. Acessado em 24 de abril de 2022.

<sup>15</sup>Encontrado em: <https://www.parquecientec.usp.br/passeio-virtual/tudo-sao-ondas/o-espectro-eletromagnetico>. Acessado dia 24 de abril de 2022.

essas leituras são atividades pós-aula fundamentais para o desempenho deles na aula seguinte.

## Aula 3

**Carga horária:** 2 hora-aula

**Objetivo:** 1. Compreender o efeito Doppler relativístico. 2. Revisar o efeito Doppler clássico. 3. Estudar as aplicações do efeito Doppler relativístico.

## Metodologia:

Iniciar a aula expositiva utilizando a simulação do PHET<sup>16</sup> sobre os estudo das ondas, na qual deve-se abordar brevemente o conceito de ondas e através do simulador mostrar as ondas na água, no som e na luz, ressaltando que independente da sua natureza, as ondas apresentam as características: frequência ( $\nu$ ), a amplitude ( $A$ ) e o comprimento de onda ( $\lambda$ ). Esclarecer também que a onda eletromagnética se propaga no vácuo com velocidade  $c$ , ao contrário das ondas mecânicas que necessitam de um meio material para propagação.

Sobre o efeito Doppler é pertinente pontuar que se trata de um fenômeno ondulatório que pode ocorrer em qualquer tipo de onda, inclusive na luz, por isso pode ser explicado em termos dos postulados da Relatividade Restrita, passando a ser denominado efeito Doppler relativístico.

Figura 3.16: Projeção slide sobre o efeito Doppler relativístico.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023).

Com o objetivo de verificar os conhecimentos prévios dos alunos acerca do efeito

<sup>16</sup>Encontrado em: [https://phet.colorado.edu/sims/html/waves-intro/latest/waves-intro\\_all.html?locale=pt\\_BR](https://phet.colorado.edu/sims/html/waves-intro/latest/waves-intro_all.html?locale=pt_BR). Acessado em 13 de maio de 2022.

Doppler sonoro, projeta-se a questão conceitual, conforme Fig. (3.17).

Figura 3.17: Questão conceitual sobre o efeito Doppler sonoro (parte 1).

Interatividade



Fonte: [https://fisicaemhular.com.br/2019/09/05/conteudo/questao-conceitual-sobre-o-efeito-doppler-1\\_2903a25617905423.html\\_189504c/](https://fisicaemhular.com.br/2019/09/05/conteudo/questao-conceitual-sobre-o-efeito-doppler-1_2903a25617905423.html_189504c/). Acesso: 05/08/2022.

(UFRN-RN) Duas pessoas, que estão no ponto de ônibus, observam uma ambulância que delas se aproxima com a sirene de advertência ligada. Percebem que, ao passar por elas, o som emitido da sirene se torna diferente daquele percebido durante a aproximação. Por outro lado, comentando esse fato, elas concordam que o som mudou de uma tonalidade aguda para uma mais grave à medida que ambulância se distanciava.

Tal mudança é explicada pelo Efeito Doppler, segundo o qual, para essa situação, a:

- a) Amplitude do som diminuiu.
- b) Frequência do som diminuiu.
- c) Frequência do som aumentou.
- d) Amplitude do som aumentou.

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023).

Atentar-se para a execução de todos os passos genéricos da Peer Instruction.

***Caso o índice de acerto de 70% não seja alcançado: retornar a questão conceitual.***

A resposta da questão é a letra *b*, lembrando de não fornecer a resposta aos alunos, pois a questão será reaplicada.

Assim, o professor pode usar a definição para o efeito Doppler, que de acordo com Alonso (2015, p. 295) “quando a fonte de uma onda e o observador estiverem em movimento relativo, em relação ao meio material em que as ondas se propagam, a frequência das ondas observadas será diferente da frequência da fonte”. Esse fenômeno foi previsto em 1942 pelo físico Christian A. Doppler (1803-1853), e sua primeira verificação experimental foi realizada em 1945 por Christophorus Henricus Didericus Buys Ballot (1817-1890) ao colocar vários músicos dentro do vagão aberto de uma locomotiva em movimento.

A interpretação da questão conceitual é a seguinte: Na *situação 1* quando a ambulância estava se aproximando das pessoas no ponto de ônibus, a sirene emitia um som mais agudo (a frequência é maior). No entanto, na *situação 2* quando o veículo começou a se afastar do ponto de ônibus, o som emitido pela sirene tornou-se mais grave (a frequência é menor). Exibir o trecho do vídeo “Efeito Doppler: aplicações no dia a



dia.”<sup>17</sup>, e depois apresentar a interpretação do fenômeno.

Figura 3.18: Questão conceitual sobre o efeito Doppler sonoro (parte 2).

### Interpretando o fenômeno

Observador em Repouso e fonte em movimento

Fonte se aproxima do observador O1 – a frequência percebida pelo observador será maior que a frequência real da fonte.

Fonte se afasta do observador O2 – a frequência percebida pelo observador será menor que a frequência real da fonte

Observador em movimento e fonte em Repouso

Para o observador O1, que se aproxima da fonte, ele perceberá a frequência maior que a normal.

Para o observador O2, que se afasta da fonte, ele perceberá que a frequência é menor que a normal.

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023).

Uma sugestão é questionar a turma sobre a interpretação do motorista da ambulância para as duas situações, isto é, quando ele está se aproximando e depois de afastando com a ambulância do ponto de ônibus onde estava as duas pessoas. A partir dessa discussão o professor apresenta o estudo dos sinais da equação geral do efeito Doppler.

Figura 3.19: Questão conceitual sobre o efeito Doppler sonoro (parte 3).

### Interpretando o fenômeno

Equação geral do Efeito Doppler

$$f_o = f_f \frac{v \pm v_o}{v \mp v_f}$$

↑ frequência emitida pela fonte

↓ frequência aparente (percebida pelo observador)

↑ velocidade do observador em relação ao meio

↓ velocidade da fonte em relação ao meio

**Interpretando os sinais da equação geral**

1º caso: O sinal positivo no numerador e negativo no denominador corresponde a situação em que a fonte e o observador estão se aproximando.

2º caso: O sinal negativo no numerador acarreta uma frequência menor, mostrando que a fonte e o observador afastam-se um do outro.

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023).

Ao finalizar todas as colocações sobre o efeito Doppler sonoro o professor deve re-aplicar a questão conceitual.

<sup>17</sup>Encontrado em: <https://www.youtube.com/watch?v=rGAI1bwMmyQ>. Acessado em 19 de maio de 2022. Utilizar os primeiros 1:10 de duração



Ressalta-se que mesmo sendo alcançado o índice de acerto da questão conceitual na primeira votação da interatividade é pertinente abordar os detalhes apresentados sobre o efeito Doppler, como, por exemplo, a interpretação das situações em que o fenômeno é observado e o estudo dos sinais da equação geral, haja vista que esse contexto servirá como material auxiliar para os alunos nas aulas subsequentes.

***Caso o índice de acerto de 70% seja alcançado: seguir para o próximo tópico da aula.***

Prosseguindo a aula, lançar nova pergunta: Sobre o efeito Doppler o que acontece quando substituímos as ondas sonoras pelas ondas eletromagnéticas? O professor pode fundamentar-se nas palavras de Alonso (2015) para auxiliar os alunos à dissociar o efeito Doppler relativístico do efeito Doppler tradicional.

O efeito Doppler para ondas eletromagnéticas deve ser discutido separadamente porque, em primeiro lugar, ondas eletromagnéticas não consistem em matéria em movimento, e, portanto, a velocidade da fonte relativamente ao meio não entra em discussão; em segundo lugar, sua velocidade de propagação é  $c$  e é a mesma para todos os observadores, não importando seu movimento relativo. O efeito Doppler para ondas eletromagnéticas deve ser, necessariamente, calculado aplicando-se o princípio da relatividade (ALONSO, 2015, p. 347).

É claro que podemos assemelhar qualitativamente algumas características, ou seja, quando a luz se aproxima em relação a determinado referencial seu comprimento de onda aparente é menor, mas se a luz se afasta desse referencial seu comprimento de onda aparente é maior, ressaltando as questões de ordem particular do efeito Doppler da luz.

Figura 3.20: Projeção de slide sobre o efeito Doppler da luz.

**Efeito Doppler – Ondas Eletromagnéticas**

*O mesmo efeito pode ser visto com as ondas de luz:* se um objeto estiver se movendo em sua direção a uma velocidade comparável à velocidade da luz, os **comprimentos de onda serão comprimidos**, fazendo com que o objeto pareça **mais azul**, da mesma forma, se um objeto estiver se afastando de você a uma velocidade comparável à velocidade da luz, os **comprimentos de onda se estenderão**, fazendo com que o objeto pareça **mais vermelho**.

**ATENÇÃO!**

Os automóveis não se movem rápido o suficiente para vermos um desvio para o azul ou vermelho em sua cor.

As galáxias se movem rápido o suficiente em relação a Terra, de modo que sua luz é desviada para o azul ou vermelho.

<https://c.dgpi.com/16040-2473-090/doppler/2474111-2021-illustration-cartoon-mus-dm-mg-a-cir-gg> Acesso: 05/08/2022

<http://voynig.sdu.org/fig-comet-ignado/2016/1/indiaffindiff-Tabu61.png> Acesso: 05/08/2022

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023).

Lançar o questionamento: Mas, quando falamos em desvio para o vermelho ou desvio para o azul, estamos falando de quê? Pensando na importância desse conceito e com o objetivo de verificar a existência de conhecimento prévio em relação ao espectro eletromagnético aplica-se mais uma interatividade baseada na Peer Instruction.

Figura 3.21: Questão conceitual sobre o espectro eletromagnético (parte 1).



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023).

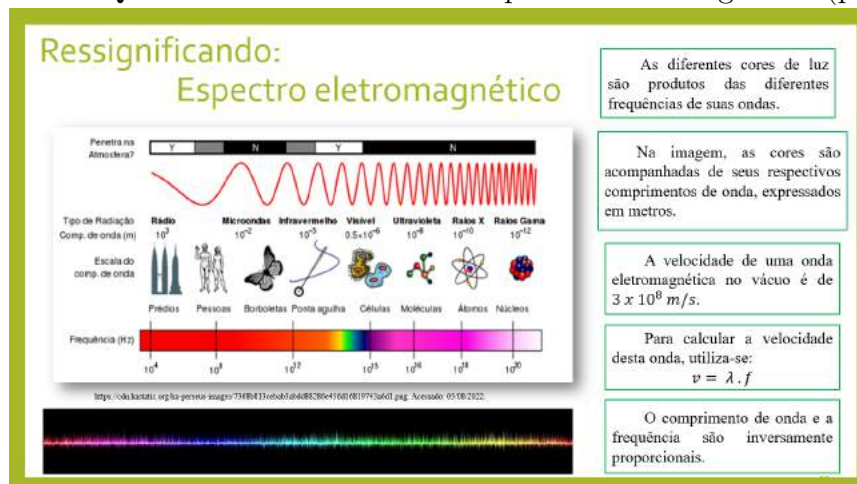
***Caso o índice de acerto de 70% não seja alcançado: retornar a questão conceitual.***

A resposta correta é a letra *b*. Inicialmente deverá ser exibido o vídeo “Espectro eletromagnético”<sup>18</sup> e a partir dele fazer alguns esclarecimentos sobre os tipos de ondas apresentado no vídeo. Esclarecer que a luz visível não é a única onda eletromagnética, mas representa uma pequena faixa do espectro. Pontuar que o espectro eletromagnético está organizado em uma determinada sequência, ou seja, numa ordem crescente de frequência.

Frisar também que o espectro da luz visível está na faixa de 400 a 700 nm ( $\lambda$ ), explicando que a frequência da onda determinará a sua cor (vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta), fato este bastante importante, pois a partir dessa afirmação será possível trabalhar os desvios que o comprimento de onda pode sofrer, isto é, os desvios para o vermelho (também conhecido como *redshift*) ou para o azul (*blueshift*), destacando que no texto sobre o espectro eletromagnético essa discussão está bem detalhada.

<sup>18</sup>Encontrado em: <https://www.youtube.com/watch?v=3po0Ek5aPKE>. Acessado em 27 de agosto de 2022.

Figura 3.22: Questão conceitual sobre o espectro eletromagnético (parte 2).



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023).

Com o término da explicação, reaplicar a questão conceitual e realizar nova votação.

***Caso o índice de acerto de 70% seja alcançado: seguir para o próximo tópico da aula.***

Ampliando as discussões, sugere-se abordar inicialmente as aplicações do dia a dia que utilizam o princípio do efeito Doppler da luz no funcionamento, dentre eles temos o trânsito, a medicina e a Cosmologia. Sobre a aplicação no trânsito exibir o trecho do vídeo “Efeito Doppler: aplicações no dia a dia”<sup>19</sup>, que trata sobre os radares portáteis utilizados por agentes da Polícia Rodoviária Federal nas rodovias brasileiras para detectar e coibir o excesso de velocidade cometido por motoristas infratores.

Para as discussões do vídeo pode-se descrever as características físicas do radar portátil, pois ao ser acionado na direção do automóvel em movimento, o equipamento emite ondas eletromagnéticas com determinada frequência (infravermelho). O automóvel, por sua vez, ao ser atingido por essas ondas passa a desempenhar tanto o papel de receptor quanto de fonte em movimento, uma vez que ao ser atingido pela onda eletromagnética, ela refletirá nele e será recebida de volta pelo radar portátil com a frequência diferente daquela no momento da emissão da onda.

<sup>19</sup>Encontrado em: <https://www.youtube.com/watch?v=rGAI1bwMmyQ>. Acessado em 08 de setembro de 2022. Utilizar a partir de 2:11 a 3:12 de duração

Para os cinemómetros a efeito Doppler, a mudança do valor da frequência ( $f_D$ ) duma radiação (de comprimento de onda  $\lambda$ ), reflectida sobre um objecto em movimento, dá a velocidade deste objecto ( $v$ ) através de:  $f_D = 2v \cos \alpha / \lambda$  (onde  $\alpha$  é o ângulo entre o eixo da radiação e do movimento) (PELLEGRINO, 2008, p. 1).

A partir das colocações, o professor poderá deduzir a equação do efeito Doppler da luz ao propor uma situação hipotética com dois sistemas de referências inerciais, onde o observador  $O$  encontra-se no referencial  $S$  e a fonte no referencial  $S'$  se movendo com velocidade  $v$  em relação ao referencial do observador. Assim, o evento 1 ocorre quando a fonte emite sua primeira frente de onda e algum tempo depois é detectada pelo observador em  $S$ . O evento 2 refere-se a descrição da segunda emissão de frente de onda em  $S'$  e instantes depois essa segunda frente de onda é detectada pelo observador  $O$  em  $S$ .

Importante destacar duas informações, na primeira, a fonte se move com velocidade  $v$ , mas as frentes de ondas se propagam na velocidade  $c$ ; a segunda é que a fonte emitiu a primeira onda, e em determinado tempo depois emitiu a segunda frente de onda. Deste modo, temos uma variação de tempo entre esses dois eventos que é dado por  $\Delta t$ , assim a primeira frente de onda se propagou  $x = \Delta t c$  e a fonte  $r = \Delta t v$ . Lembrá-los também que o comprimento de onda ( $\lambda$ ) e da frequência ( $\nu$ ) se relacionam, isto é, a frequência é inversamente proporcional ao comprimento de onda  $\nu = \frac{c}{\lambda}$ .

Figura 3.23: Projecção de slide sobre a demonstração da equação do efeito Doppler relativístico.

**Equação do Efeito Doppler Relativístico**

**Situação**

**Importante:**

- Frente de Onda**  
 $x = \Delta t c$
- Fonte emissora**  
 $r = \Delta t v$
- Frequência**  
 $\nu = c / \lambda$
- Comprimento de onda**  
 $\lambda = (c - v) \Delta t$

**Substituindo:**

$$\nu = \frac{c}{(c - v) \Delta t} \quad (1)$$

reescrevendo,

$$\nu = \frac{\Delta t^{-1}}{1 - \frac{v}{c}} \quad (2)$$

sendo  $\Delta t$  o tempo dilatado. E, pela Relatividade Restrita o tempo próprio é,

$$\Delta t = \gamma \Delta t' \quad (3)$$

e substituindo,

$$\nu = \frac{(\gamma \Delta t')^{-1}}{(1 - v/c)} \quad (4)$$

No referencial  $S'$ , a frequência é:

$$\nu' = 1/\Delta t' \quad \text{ou} \quad \nu' = (\Delta t')^{-1} \quad (5)$$

E substituindo (5) em (4)

$$\nu = \nu' \frac{(\gamma)^{-1}}{1 - v/c} \quad (6)$$

Com  $\gamma/c = \beta$  e  $(\gamma)^{-1} = \sqrt{1 - \beta^2}$ , assim (6) fica

$$\nu = \nu' \sqrt{\frac{1 + \beta}{1 - \beta}}$$

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023).

Na discussão sobre o resultado, têm-se que para  $v > 0$  o observador nota que a fonte está se aproximando e este cenário recebe o nome de desvio para o azul (blueshift), e

neste caso  $\nu > \nu'$ . Entretanto, quando  $v < 0$ , a fonte está se afastando e esse fenômeno é o desvio para o vermelho (redshift) e assim  $\nu < \nu'$  (SIQUEIRA, 2020).

Assim, desmembrando a equação (3.1),

$$\nu = \nu' \sqrt{\frac{1 + \beta}{1 - \beta}}, \quad (3.1)$$

obtem-se a expressão tanto para o desvio para o azul

$$\nu = \nu' \sqrt{\frac{1 + \beta}{1 - \beta}}, \quad (3.2)$$

quanto do desvio para o vermelho

$$\nu = \nu' \sqrt{\frac{1 - \beta}{1 + \beta}}. \quad (3.3)$$

Finalizar a aula sobre o efeito Doppler relativístico, e distribuir o texto “Espectro, a digital das estrelas”<sup>20</sup> e também o texto “Quem foi Edwin P. Hubble”<sup>21</sup>.

#### Aula 4

**Carga horária:** 2 hora-aula

**Objetivo:** 1. Compreender a aplicação efeito Doppler da luz na Cosmologia. 2. Estudar a lei de Hubble.

#### Metodologia:

No início da aula aplicar a avaliação formativa 2 com duração de quinze minutos, se necessário, conceder mais cinco minutos de tolerância.

Retomar o estudo do efeito Doppler da luz, perguntando aos alunos “como sabermos que a galáxia de Andrômeda irá colidir com a nossa Galáxia nos próximos bilhões de anos? E o que o efeito Doppler tem a ver com isso?”.

Para responder essas questões, o professor deve destacar a importância do espectro da luz visível nas pesquisas e observações do Cosmos pontuando, por exemplo, que a luz proveniente de galáxias distantes permitiu que astrônomos, como Hubble, realizassem grandes descobertas sobre o comportamento das galáxias distantes e do Universo. Utilizar a História da Ciência para tratar da Espectroscopia e sua relação com a velocidade

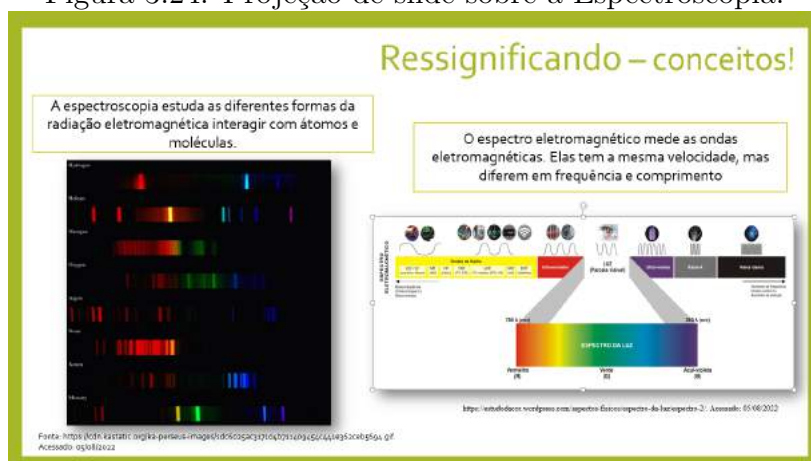
<sup>20</sup>Encontrado em: <https://planeta.rio/espectro-a-digital-das-estrelas/>. Acessado em 18 de setembro de 2022.

<sup>21</sup>Encontrado em <http://www.vidrariadelaboratorio.com.br/quem-foi-edwin-powell-hubble/>. Acessado em 18 de setembro de 2022.

de recessão das galáxias.

Destacar as primeiras pesquisas envolvendo a Espectroscopia, das quais estão os trabalhos de Fraunhofer que descobriu 574 linhas escuras no espectro solar em 1814; de Kirchhoff e Bunsen que em 1859 explicaram essas linhas escuras como sendo linhas de absorção atômica; e do casal Huggins que descobriram a composição de outras estrelas como sendo a mesma do Sol, e também determinaram a velocidade de afastamento da estrela Sirius em relação a Terra usando o método Doppler-Fizeau (DE ALCANTARA, 2015). Explicitar o objeto de estudo da Espectroscopia.

Figura 3.24: Projeção de slide sobre a Espectroscopia.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023).

Mas como o efeito Doppler pode nos auxiliar a interpretar que uma estrela ou galáxia está se afastando ou se aproximando da Terra? Para responder esta questão é preciso relembrar da definição de efeito Doppler e exemplificar a nova situação projetando a animação “Efeito doppler da luz”<sup>22</sup> que mostra uma estrela se afastando e se aproximando da Terra, de maneira semelhante a ocorrência do efeito Doppler sonoro. Esta animação possibilita ilustrar a ocorrência desse fenômeno na luz de maneira interativa.

Conforme exposto na projeção (representado pela Fig. (3.24)) destaca-se que cada elemento químico emite uma “cor” de radiação que o caracteriza, então, por exemplo, se a estrela observada for rica em sódio, o observador na Terra espera ver uma luz amarela sendo emitida por essa estrela (“digital espectroscópica” do sódio). No entanto, quando a estrela se aproxima do observador ela emite uma frequência maior e seu espectro de emissão tende a apresentar uma coloração em tons de verde, azul ou violeta (desvio para

<sup>22</sup>Encontrado em: [https://www.youtube.com/watch?v=8jQfN\\_YjZgg](https://www.youtube.com/watch?v=8jQfN_YjZgg). Acessado em 18 de setembro de 2022.

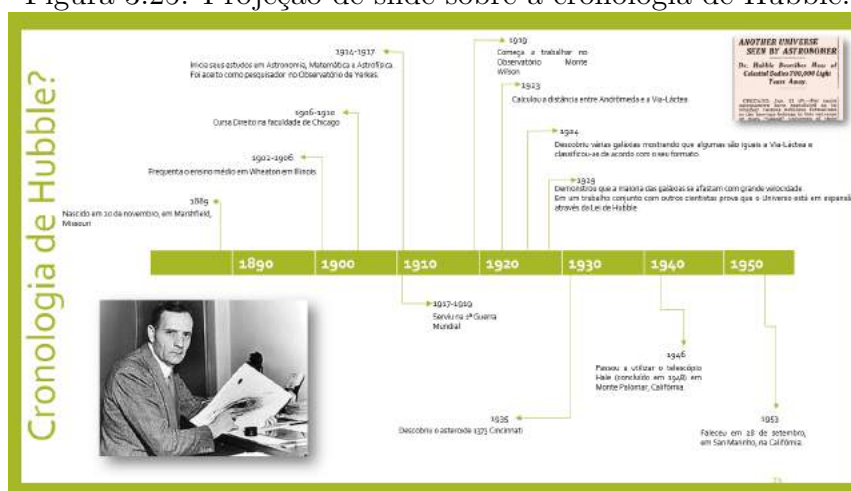
o azul). Em contrapartida, caso o movimento seja de afastamento, a frequência será menor e o espectro de emissão apresentará tons de laranja ou vermelho (desvio para o vermelho).

Para responder a pergunta sobre a aproximação de Andrômeda, o professor recorrerá a História da Ciência fazendo menção aos trabalhos de Vesto Slipher sobre o estudo dos espectros de luz oriundos de algumas estrelas e de nebulosas espirais utilizando a Espectroscopia, destacando que os espectrogramas relacionados à galáxia de Andrômeda (todos eles!) evidenciaram o deslocamento Doppler na luz vinda da nebulosa de Andrômeda apontando um desvio para o azul do espectro (DE ALCANTARA, 2015; BAGDONAS, 2015).

Essa descoberta significava que “a nebulosa de Andrômeda estaria se aproximando da Via-Láctea com uma velocidade de aproximadamente 300 km/h, a maior velocidade já observada para corpos astronômicos até então” (BAGDONAS, 2015, p. 80). Dessa forma, Slipher mostrou que os estudos referentes as velocidades de recessão das galáxias poderiam responder algumas questões sobre o Universo e esse cenário motivou muitos astrônomos, inclusive Hubble. Mas, quem era Hubble?

A partir do questionamento, o professor projetará os slides que tratam da cronologia de Edwin Powell Hubble, sua área de atuação e suas contribuições para a Astronomia Observacional, e consequentemente para a Astrofísica e Cosmologia.

Figura 3.25: Projeção de slide sobre a cronologia de Hubble.



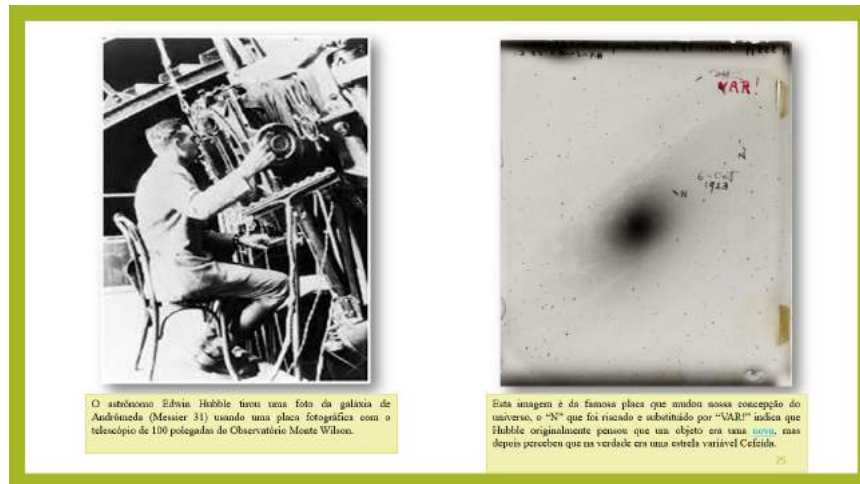
Fonte: Elaborado pela própria autora (2023).

Salientar que as descobertas de Hubble ocorreram quando ele passou a integrar a equipe do Observatório de Monte Wilson, onde foi capaz de provar que Andrômeda



era na verdade um sistema estelar independente da Via-Láctea (OLIVEIRA FILHO, 2004), classificou as galáxias de acordo com a morfologia delas em elípticas, espirais normais, espirais barradas e irregulares. E, por fim obteve a relação velocidade-distância, conhecida como a lei de Hubble.

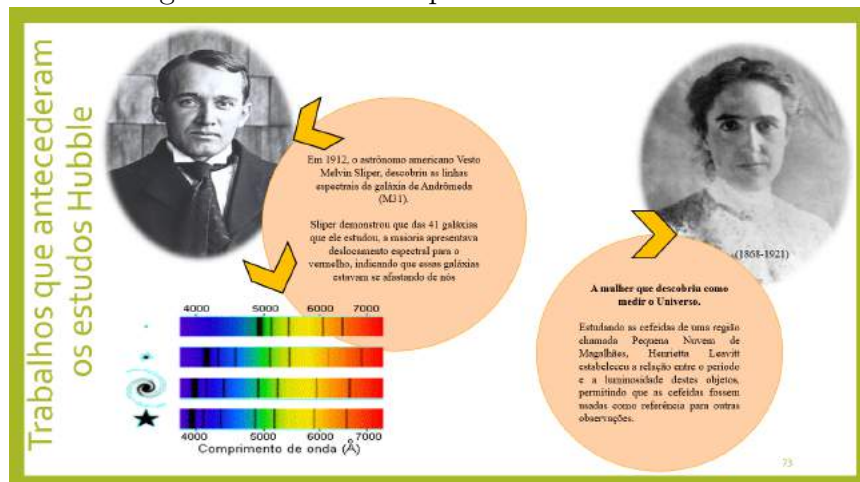
Figura 3.26: Projeção de slide sobre a descoberta que Andrômeda era uma galáxia independente.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023).

Utilizar a História da Ciência para narrar que Hubble e Humason (colaborador de Hubble) continuaram as pesquisas de Slipher, sendo capazes de refazer todas as medidas outrora realizadas, estenderam as observações e empregaram métodos mais consistentes como, por exemplo, a relação período-luminosidade das Cefeidas de Henrieta Leavitt, entre outros métodos para estimar as velocidades.

Figura 3.27: Vesto Slipher e Henrieta Leavitt



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023).



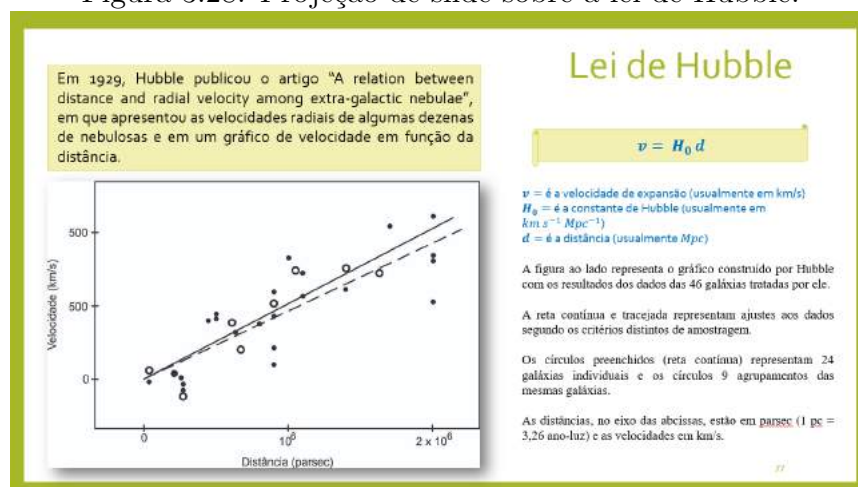
Discutir com a turma que ampliação dessas observações possibilitou que Hubble dispusesse de uma amostra significativa das distância entre galáxias e suas respectivas velocidades de afastamento. Em posse desses dados observacionais, concluiu que quanto mais distante da Terra estava (ou está) uma galáxia maior era (ou é) sua velocidade de afastamento, isto é, quanto mais distante mais desviada para o vermelho estaria a luz emitida por ela. Contudo, esse resultado não era novo, o equivalente ao efeito Doppler tradicional estaria ocorrendo com a luz.

O professor deve argumentar ainda, que o significado dessa descoberta vai muito além do efeito Doppler da luz, na verdade o espaço entre as galáxias estava se esticando, essa foi a primeira evidencia que o Universo estava em expansão. Ressalta-se que Hubble foi surpreendido por seus próprios resultados, mantendo-se cauteloso (DE ALCANTARA, 2015; BAGDONAS, 2015). Em 1929 publicou um artigo em que apresentou as velocidades radiais de algumas dezenas de nebulosas em um gráfico de velocidade em função da distância do qual é possível extrair a lei de Hubble

$$v = H_0 d, \quad (3.4)$$

com  $v$  sendo a velocidade de recessão da galáxia;  $H_0$  é a constante de Hubble; e  $d$  é a distância da galáxia. A interpretação da lei de Hubble evidencia que o Universo está se expandindo e a constante de Hubble  $H_0$  determina a taxa dessa expansão.

Figura 3.28: Projeção de slide sobre a lei de Hubble.

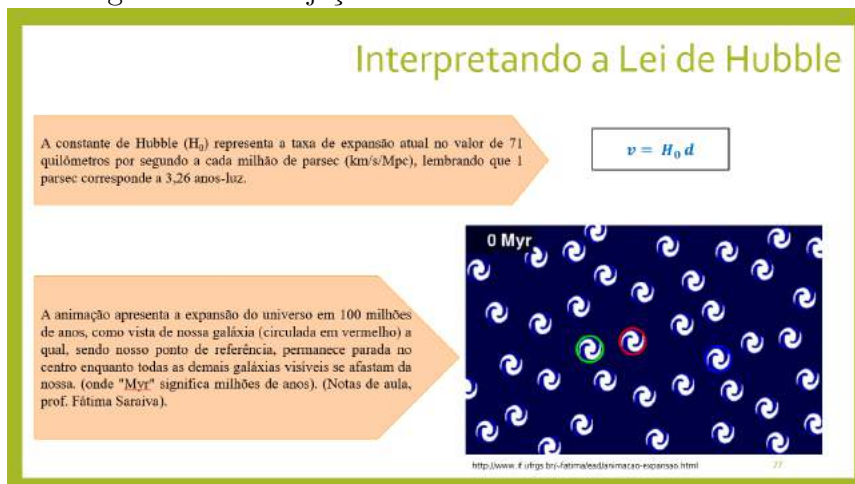


Fonte: Elaborado pela própria autora (2023).

A partir desta etapa da aula o professor projetará a animação “Expansão do Uni-

verso”<sup>23</sup> para trabalhar a aplicação das unidades de distâncias cósmicas aplicadas a lei de Hubble.

Figura 3.29: Projeção de slide sobre a lei de Hubble.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2023).

Para finalizar a temática desta aula, o professor poderá resolver algumas situações-problemas.

## Aula 5

**Carga horária:** 2 hora-aula

**Objetivo:** 1. Discutir as controvérsias conceituais dos redshift e a expansão do Universo. 2. Aplicar a avaliação somativa individual.

### Metodologia:

Para iniciar a aula expositiva o professor retomará as discussões sobre a lei de Hubble definindo-a novamente. Como esta lei prediz a expansão do Universo, sugere-se que o professor projete novamente a animação sobre essa expansão a fim de ressaltar a importância desse entendimento. A partir desse diálogo os alunos formarão duplas e o professor distribuirá algumas bexigas infláveis, caneta marcador e fita métrica. Instruir os alunos que façam alguns desenhos (pintinhas, círculos etc.) na bexiga. Esclarecer que tais desenhos serão as galáxias e o balão representará o universo desse experimento.

Com o término dessa primeira etapa os alunos deverão inflar um pouco o balão estabelecendo as galáxias que servirão como referência e assim realizar a primeira medição da distância, destacamos que é pertinente nomear as galáxias para que fique claro quais

<sup>23</sup>Encontrado em: <http://www.if.ufrgs.br/~fatima/ead/animacao-expansao.html>. Acessado em 29 de setembro de 2022.

estão sendo medidas. Em seguida, os alunos devem inflar novamente o balão e realizar nova medição, conforme mostra a tabela na projeção da Fig. (3.30).

Figura 3.30: Projeção de slide sobre o experimento da expansão do Universo

## Experimento sobre a expansão do Universo.

Essa atividade visa reproduzir o processo de medida científica e análise de dados, de maneira análoga aquela realizada por Hubble.

**Perguntas norteadoras da atividade:**  
 As galáxias estão todas se afastando uma das outras?  
 As galáxias estão todas se aproximando uma das outras?  
 Existe um centro na superfície do balão?

**Roteiro**  
 Vocês irão, em duplas, desenhar pontos num balão, representando galáxias, medir e registrar as distâncias entre as marcas e depois encher o balão.  
 Em uma roda de conversa: os alunos irão apresentar os dados e discutir os resultados obtidos.  
(esta atividade é uma adaptação de "Galaxies and the Universe" da Universidade da Califórnia de 1992 apud Kiké de Oliveira (2019)).

|                                                     | Medida 1 | Previsão | Medida 2 |
|-----------------------------------------------------|----------|----------|----------|
| Distância 1 - entre a galáxia ____ e a galáxia ____ |          |          |          |
| Distância 2 - entre a galáxia ____ e a galáxia ____ |          |          |          |
| Distância 3 - entre a galáxia ____ e a galáxia ____ |          |          |          |
| Circunferência do Universo                          |          |          |          |



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023).

Em seguida, o professor deverá convidar os alunos para uma roda de conversa com o intuito de discutir os resultados desse experimento, questionando-os sobre o que aconteceu com as distâncias medidas, por exemplo, tomando as galáxias-referências questionar os alunos sobre o que aconteceu com as galáxias que estavam mais próximas inicialmente em relação aquelas que estavam separadas por uma distância maior? E como poderíamos relacionar as observações deste experimento prático com a lei de Hubble? Indagar os alunos sobre o comportamento apresentado pelos desenhos, isto é, essas galáxias desse universo sofreram alguma alteração?

Explinar sobre as limitações do modelo balão quando comparado ao comportamento do Universo. Agregar ao contexto uma atividade sobre a expansão do Universo não precisar de um centro geométrico. Nesta atividade o professor precisará de cinco a dez cliques, pedaços de elástico de diversos tamanhos, régua ou fita métrica e papel milimetrado. Está atividade foi extraída do *Blog de Ciência-UNICAMP*<sup>24</sup> e seu desenvolvimento é feito da seguinte forma (SATO, 2019):

1. Amarre os cliques utilizando os pedaços de elástico, de forma que eles fiquem em fila.

<sup>24</sup>Encontrado em: <https://www.blogs.unicamp.br/tortaprimordial/expansao-sem-centro/>. Acessado em 18 de setembro de 2022.

2. As extremidades dessa fileira de cliques deve estar fixas, você pode prendê-las com uma fita na superfície da mesa ou solicitar que dois alunos as segurem.
3. Cada clipe é uma galáxia (semelhante ao experimento usando balão), então nomeie cada uma.
4. Escolha dois cliques-galáxia para ser os sistemas de referências, então faça as medições considerando as distância entre os referenciais e cada uma das outras galáxias.
5. Crie uma tabela para organizar as distâncias medida entre a(s) galáxias(s) de referência e as demais.
6. Simule a passagem de tempo da expansão deste universo esticando uma das extremidades da fileira de cliques e realizando nova medição, considerando a mesma configuração feita anteriormente.
7. Calcule o tamanho da expansão (distância final menos a distância inicial).
8. Construa um gráfico de expansão em função da distância e trace uma reta que aproxime os pontos.
9. Calcule o coeficiente angular da reta para encontrar o parâmetro de expansão (apesar do desejo de assemelhar esse parâmetro ao de Hubble, o nosso não possui unidade.)
10. Discutir o resultado.

Esse é o modelo da tabela para as anotações das medidas de distâncias entre os cliques-galáxias.

Tabela 3.1: Demonstrando a expansão sem centro geométrico.

| Galáxia | Distância inicial (cm) | Distância final (cm) | Expansão (cm) |
|---------|------------------------|----------------------|---------------|
|         |                        |                      |               |
|         |                        |                      |               |
|         |                        |                      |               |
|         |                        |                      |               |
|         |                        |                      |               |

Fonte: Adaptado de SATO (2019).

Sucintamente, o resultado desta atividade demonstra que independentemente da galáxia que é tomada como referencial, a expansão ocorre da mesma maneira, sem que seja necessário definirmos um centro.

Voltamos ao experimento do balão, o professor trabalhará outra controvérsia que diz respeito as galáxias, estrelas ou planetas esticarem ou não com a expansão do Universo. Para isso, o professor deverá substituir os desenhos feitos no balão por moedas organizadas em sua superfície, então o balão deverá ser inflado. Buscar diferenciar o comportamento dos desenhos e das moedas, acontece o mesmo?

Justificar que a expansão do Universo não afeta o tamanho dos objetos celestes como as galáxias e estrelas, contudo a luz que viaja com velocidade  $c$  as grandes distâncias cósmicas é afetada, ou seja, quando Hubble interpretou que quanto mais distante estava uma galáxia mais desviada para o vermelho estaria a luz emitida por ela e que esse fenômeno era devido ao efeito Doppler, na verdade é a onda luminosa que sofre um esticamento e isso aumenta seu comprimento de onda, o que causa o desvio para o vermelho observado por Hubble (MULLER, 2013).

Concluir as discussões, explicando que o fenômeno da expansão do Universo não é causado devido o efeito Doppler da luz, pois se assim fosse existiria um movimento relativo entre a fonte e observador, mas neste caso específico, as galáxias distantes não apresentam esse comportamento, então para essa configuração o mais oportuno seria dizer que o “redshift cosmológico” causa a expansão do Universo. Retornar o paradoxo de Olbers utilizando o vídeo “Por que o céu é escuro à noite”<sup>25</sup> para uma breve explicação, relacionando a solução do paradoxo com a expansão do Universo<sup>26</sup>.

Ao finalizar as discussões o professor aplicará a avaliação somativa individual<sup>27</sup>.

---

<sup>25</sup>Encontrado em: <https://www.sbfisica.org.br/v1/portalpion/index.php/materiais-didaticos/153-por-que-o-ceu-e-escuro-a-noite>. Acessado em 10 de junho de 2022.

<sup>26</sup>Os slides de aplicação deste produto educacional estão disponíveis no link <https://drive.google.com/drive/folders/15EErcs8FUggZdcj5XxfqCGksiRgXuytE?usp=sharing>.

<sup>27</sup>Ressalta-se que a avaliação diagnósticas, avaliação formativa 1, avaliação, formativa 2, avaliação somativa individual e a avaliação da própria UEPS encontram-se nos apêndices D, E, F, G e H deste produto educacional.

# CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em atenção ao novo currículo do ensino médio e as orientações estabelecidas pela BNCC, esperamos que este produto educacional possa servir como aporte para conduzir ao ensino do efeito Doppler relativístico, bem como para a teoria que o explica, a Relatividade Restrita. Sabemos das dificuldades inerentes da transposição didática destes conteúdos, principalmente da base algébrica e das questões epistemológicas, visto que o domínio dos seus fenômenos transcendem muito a observação e percepção da realidade cotidiana. Por esse motivo, apresentamos um leque de estratégias para fazê-lo com excelência, visando a aprendizagem significativa.

As estratégias e recursos empregados nesta UEPS objetivam a participação ativa e colaborativa dos alunos, pois esse comportamento é benéfico para a construção da aprendizagem com significados. Dentre as estratégias, a Cosmologia mostrou-se um cenário propício para enriquecer as discussões da temática trabalhada, haja vista que o efeito Doppler relativístico possui sua parcela de contribuição nos desdobramentos do pensamento cosmológico moderno, mas é preciso esclarecer as interpretações controversas entre os tipos de redshift oriundas da frágil compreensão dos conceitos.

Portanto, esperamos que este produto possa auxiliar os professores em suas práticas, no sentido de promover a aprendizagem significativa acerca do conteúdo efeito Doppler relativístico.

# Referências Bibliográficas

- [1] ALONSO, Marcelo. **Física: um curso universitário**, v. 2 Campos e ondas / Marcelo Alonso, Edward J. Finn; Giorgio Moscati (coord.); tradução Ivan C. Nascimento, Curt E. Hennies. - 2. ed. brasileira, São Paulo: Blucher, 2015.
- [2] AMAZONAS. **Referencial Curricular Amazonense**, 2019. Disponível em <https://www.sabermais.am.gov.br/pagina/jornada-pedagogica-2020-referencial-curricular>. Acessado em 09 de março de 2022.
- [3] AMAZONAS. Secretaria de Estado de Educação. **Proposta Curricular e Pedagógica Ensino Médio (PCP-EM)**. 2021. Disponível em <https://www.sabermais.am.gov.br/pagina/novo-ensino-medio-amazonas>. Acessado em 09 de março de 2022.
- [4] ANDERSON, L. W.; KRATHWOHL, K. R. A. **Taxonomy for learning, teaching and assessing: a revision of Blooms taxonomy or educational objectives**. New York: Longman, 2001.
- [5] BAGDONAS, Alexandre. **Controvérsias envolvendo a natureza da Ciência em sequências didáticas sobre a cosmologia**. Tese (Doutorado em Ensino de Física) - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015. Disponível em [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-14092015-112555/publico/Alexandre\\_Henrique\\_Bagdonas.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-14092015-112555/publico/Alexandre_Henrique_Bagdonas.pdf). Acessado em 21 de julho de 2022.
- [6] BELHOT, R. V; FERRAZ, A. P. C. M. **Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais**. Gestão e Produção. São Paulo, v.

- 17, n 2, p. 421-431, 2010. Disponível em <https://www.scielo.br/j/gp/a/bRkFgcJqbGCDp3HjQqFdqBm/?format=pdf&lang=pt..> Acessado em 16 de março de 2022.
- [7] BLOOM, B.S.; MADAUS, G. F. e HASTINGS, J. T. **Manual de Avaliação Formativa e Somativa da Aprendizagem do Aluno**. Nova York: McGraw-Hill, 1971.
- [8] BRASIL. Ministério da Educação. **Bases Legais - Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio**. Brasília, 2000. Disponível em <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf>. Acessado em 05 de fevereiro de 2022.
- [9] BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018. Disponível em [http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC\\_EI\\_EF\\_110518\\_versaofinal\\_site.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf). Acesso em: 05 fevereiro 2022.
- [10] CARUSO, Francisco. **Física moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos** / Francisco Caruso; Vitor Oguri. - 2. ed. - Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- [11] DE ALCANTARA, Marlon Cesar; LEAL, Karel Pontes. **Edwin Hubble & the Puzzle of Astronomical Red Shifts**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de São Paulo, 2015. Disponível em [https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as\\\_sdt=0\%2C5&q=edwin+hubble+\%5C\%26+the+puzzle+of+astronomical+red+shifts&btnG=](https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as\_sdt=0\%2C5&q=edwin+hubble+\%5C\%26+the+puzzle+of+astronomical+red+shifts&btnG=). Acessado em 21 d julho de 2022.
- [12] EINSTEIN, Albert. **Sobre o princípio da relatividade e suas implicações**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 27, p. 37-61, 2005.
- [13] FILHO, G. E.; SAUER, L. Z.; ALMEIDA, N. N.; VILLAS-BOAS, V. **Uma nova sala de aula é possível: aprendizagem ativa na educação em engenharias** / Gabriel Elmôr Filho ... [et al.] - 1. ed. - Rio de Janeiro: LTC, 2019.
- [14] MAZUR, Eric. **Peer instruction: a revolução da aprendizagem ativa** / Eric Mazur ; tradução: Anatólio Laschuk. - Porto Alegre : Penso, 2015.
- [15] MACIEL, Rafael Ramos. **A Astronomia nas aulas de Física: uma proposta de utilização de Unidades de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS)**.



- Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Universidade Federal de Santa Catarina. Araranguá, SC, 2016, 94p. Disponível em <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/178264>. Acessado em 10 de abril de 2022.
- [16] MOREIRA, M.A. **Unidades de Enseñanza potencialmente significativas - UEPS**. Aprendizagem Significativa em Revista / Meaningful Learning Review, Vol. 1, n. 2, pp. 43-63, 2011. Texto traduzido: Unidades de Ensino Potencialmente Significativas - UEPS. Disponível na página pessoal do Prof. Marco Antônio Moreira <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/UEPSport.pdf>. Acessado em: 19 de março de 2022.
- [17] MULLER, Alexei Machado. **Fundamentos de Astronomia e Astrofísica para o ensino superior na modalidade a distância** [recurso eletrônico] / Alexei Machado Muller, Dra. Maria de Fátima Oliveira Saraiva e Dr. Kepler de Souza Oliveira Filho. - Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2013. Disponível em [http://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n30\\_Muller](http://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n30_Muller). Acessado em 7 de junho de 2022.
- [18] NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso De Física Básica - vol. 4** / H. Moysés Nussenzveig - 1. ed. - - São Paulo: Editora Blucher, 1998.
- [19] OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza, SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. **Astronomia e Astrofísica**, 2. ed. São Paulo: Ed. Livraria da Física, 2004.
- [20] PELLEGRINO, O; CRUZ, A. **Controlo Metrológico dos cinemómetros**. Laboratório Central de Metrologia Instituto Português da Qualidade. Disponível em: [http://www.spmet.pt/Eventos/Encontro1/Olivier\\_Pellegrino.pdf](http://www.spmet.pt/Eventos/Encontro1/Olivier_Pellegrino.pdf). Acessado em 02 de agosto de 2023.
- [21] SATO, Eduardo A. **Atividade Experimental: Expansão sem centro**. Torta de Maçã Primordial, Campinas, 13 de junho de 2019. Disponível em <https://www.blogs.unicamp.br/tortaprimordial/expansao-sem-centro/>. Acessado em 18 de setembro de 2023.
- [22] SIQUEIRA, Gustavo Almeida. **Conceitos Físicos em Métodos de Detecção de Exoplanetas: Método Doppler** / Gustavo Almeida Siqueira. - Barra do Garças - MT, 2020 - 60p. :il. (algumas color.); 30 cm.

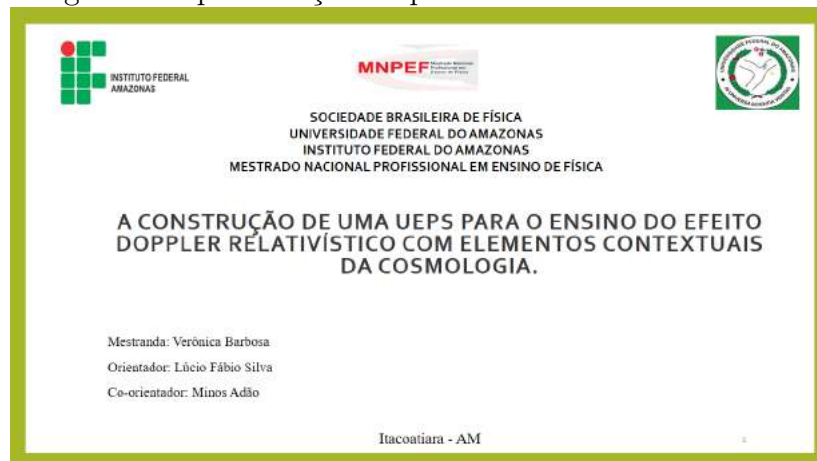
- [23] STUDART, Nelson. **Einstein: uma breve cronologia**. Revista Física na Escola, v. 6, n. 1, 2005. Disponível em <http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol06-Num1/cronologia1.pdf>. Acessado em 03 de abril de 2022.
- [24] TIPLER, Paul A., 1933 - **Física Moderna** / Paul A. Tipler e Ralph A. Llewellyn; tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi. - 6. ed. - [Reimpr.]- Rio de Janeiro: LTC, 2017. il.; 28 cm.
- [25] TREVISAN, A. L; AMARAL, R. G. **A Taxionomia revisada de Bloom aplicada à avaliação: um estudo de provas escritas de Matemática**. Ciência e Educação, Bauru, v. 22, p. 451-464, 2016. Disponível em <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/PGX4mJD5LKdqbqpPpTZgYTN/?format=pdf&lang=pt>. Acessado em 16 de março de 2022.

# Appendices

## Apêndice A

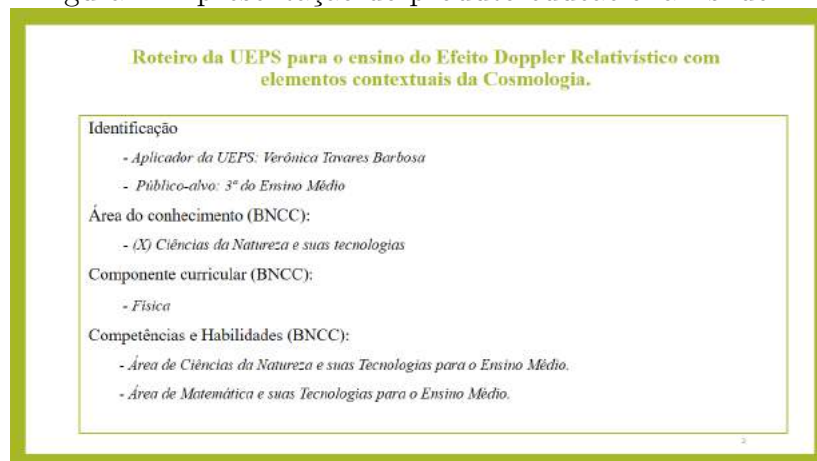
### Apresentação do produto educacional

Figura 1: Apresentação do produto educacional: slide 1.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 2: Apresentação do produto educacional: slide 2.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 3: Apresentação do produto educacional: slide 3.

| Quadro sintético dos conteúdos da UEPS                                                                                                  |                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Organização dos objetos do conhecimento da UEPS.                                                                                        | Quantidade de aulas (2h/a) | Metodologia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 1. Tópico cosmológico: Paradoxo de Olbers e as unidades de distâncias utilizadas na Cosmologia.                                         | 1 aula                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nas aulas expositivas serão implementadas algumas questões conceituais baseadas na metodologia ativa Peer Instruction.</li> <li>- Discussões entre os pares.</li> <li>- Resolução de problemas.</li> <li>- Atividades práticas.</li> <li>- Uso de objetos educacionais (animação, simuladores e vídeos)</li> <li>- Aplicação de 3 tipos de testes/avaliação: diagnóstica, formativa e somativa</li> </ul> |
| 2. Tópico relativístico: a Relatividade Restrita, seus postulados e consequências.                                                      | 1 aula                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 3. Tópico relativístico: O efeito Doppler da luz e sua caracterização.                                                                  | 1 aulas                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 4. Tópico cosmológico: A aplicação do efeito Doppler da luz na Cosmologia, e a Lei de Hubble.                                           | 1 aula                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 5. Tópico cosmológico: Discussão acerca das controvérsias conceituais dos tipos de desvios espectrais.                                  | 1 aula                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Encerramento das atividades.</li> <li>- Aplicação da Avaliação Somativa Individual.</li> </ul> |                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 4: Apresentação do produto educacional: slide 4.

**Aula 1**

**Tema:**

- Apresentação da temática de trabalho e seus objetivos.
- Sensibilização dos tópicos cosmológicos: Paradoxo de Olbers e as distâncias cósmicas.
- Aplicação da avaliação diagnóstica.

**Objetivo:**

- Especificar a proposta de trabalho, sua temática, seus objetivos e estratégias.
- Introduzir os tópicos de Cosmologia, a fim de instigar o aluno a pensar cientificamente.
- Diagnosticar os conhecimentos prévios dos alunos acerca da temática de trabalho desta UEPS.

**Encaminhamento metodológico:**

- Paradoxo de Olbers.
- Unidade Astronômica (UA); Parsec; Ano-luz

**Conhecimento prévio necessário:**

- Corpos celestes e noções primitivas de Cosmologia.
- Geometria analítica (lei dos senos; paralaxe).

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 5: Apresentação do produto educacional: slide 5.

**AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA**

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 6: Apresentação do produto educacional: slide 6.

**PERGUNTAS NORTEADORAS**

- Você conhece o Paradoxo de Olbers?
- Você sabe o que é um paradoxo?
- Qual a contribuição do Paradoxo de Olbers para a Cosmologia?

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 7: Apresentação do produto educacional: slide 7.



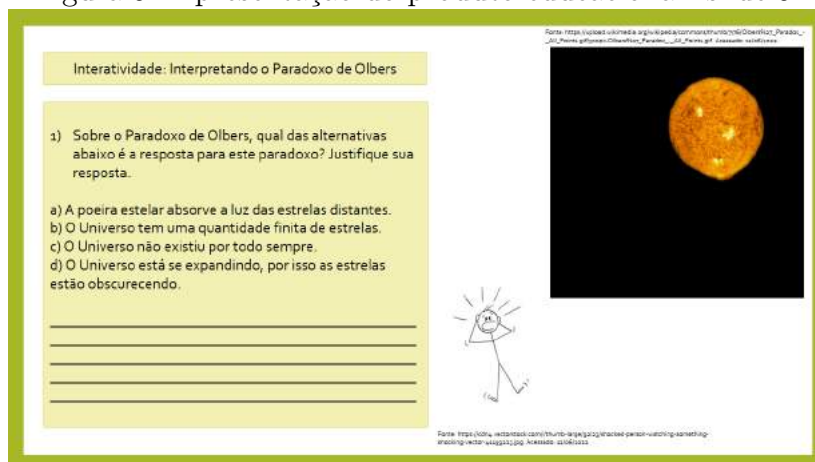
Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 8: Apresentação do produto educacional: slide 8.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 9: Apresentação do produto educacional: slide 9.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 10: Apresentação do produto educacional: slide 10.

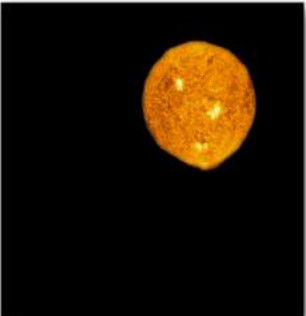
### Mas, como era Universo de Olbers?

No início do século XIX imaginava-se que o Universo era:

- a) Infinito
- b) Estático
- c) Homogêneo
- d) Isotrópico
- e) Imutável
- f) Euclidiano
- g) Físico

Com esse modelo de Universo em mente, uma outra característica deveria existir: os dias e as noites deveriam ser infinitamente luminosos.

Segundo esse pensamento, se existe estrelas espalhadas uniformemente pelo espaço, nós, aqui na Terra, deveríamos estar, a cada instante, recebendo a luz de todas elas simultaneamente.



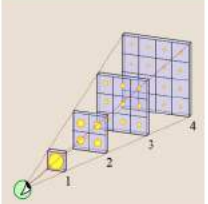
Fonte: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/06/Olbers\\_Paradoxo\\_-\\_All\\_Points\\_glb.jpg/Olbers\\_Paradoxo\\_-\\_All\\_Points\\_glb.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/06/Olbers_Paradoxo_-_All_Points_glb.jpg/Olbers_Paradoxo_-_All_Points_glb.jpg). Acesso: 11/06/2022.

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 11: Apresentação do produto educacional: slide 11.

### Considerações sobre o Paradoxo de Olbers

Suponha que as estrelas estejam distribuídas de maneira uniforme em um espaço infinito. Para um observador em qualquer lugar, o volume de uma esfera com centro nele aumentará com o quadrado do raio dessa esfera.




Assim, a medida que ele olha mais longe, vê um número de estrelas que cresce com o quadrado da distância. Como resultado, sua linha de visada sempre interceptará uma estrela seja lá qual for a direção que ele olhe.

Fonte: <https://www.sciencedigital.com.br/mg/arte/14/14.jpg>. Acesso: 12/06/2022.

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 12: Apresentação do produto educacional: slide 12.

### Analogia da Floresta



Fonte: <https://www.sciencedigital.com.br/mg/arte/14/14.jpg>. Acesso: 12/06/2022.

Na foto acima, pode-se ver o céu porque o trecho da floresta adiante é curto.



Fonte: <https://www.sciencedigital.com.br/mg/arte/14/14.jpg>. Acesso: 12/06/2022.

Se a extensão da floresta for suficientemente grande, os troncos preenchem todos os espaços vazios, e não é possível ver o céu. Todas as direções encontram troncos, mesmo aqueles distantes e pequenos.

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .



Figura 13: Apresentação do produto educacional: slide 13.

### Discussão sobre as propostas de solução

1. A poeira interestelar absorve a luz das estrelas.

→

Foi a solução proposta por Olbers, mas tem um problema. Com o passar do tempo, à medida que fosse absorvendo radiação, a poeira entraria em equilíbrio térmico com as estrelas, e passaria a brilhar tanto quanto elas. Não ajuda na solução.

2. A expansão do Universo degrada a energia

→

Isso porque a luz dos objetos distantes chega muito desviada para o vermelho e portanto muito fraca. Neste sentido, o desvio para o vermelho poderia ajudar na solução, porém essa degradação da energia pela expansão não é o suficiente para resolver o paradoxo.

3. O Universo não existiu por todo o sempre.

→

Essa é a solução atualmente aceita para o paradoxo. Como o Universo tem uma idade finita, e a luz tem uma velocidade finita, a luz das estrelas mais distantes ainda não teve tempo de chegar até nós. Portanto, o universo que enxergamos é limitado no espaço, por ser finito no tempo. A escuridão da noite é uma prova de que o Universo teve um início.

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 14: Apresentação do produto educacional: slide 14.

### Nossa régua na Terra – Sistema Métrico

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 15: Apresentação do produto educacional: slide 15.

### Ressignificando – Unidades SI

**O que é uma unidade de medida?**

Unidade de medida é o nome dado a uma quantidade específica de uma determinada grandeza física e que pode ser utilizada como referência ou como padrão de comparação para outras quantidades dessa mesma grandeza.

| Grandeza     | Unidade   | Símbolo                             | Valor em unidade fundamental do SI |
|--------------|-----------|-------------------------------------|------------------------------------|
| Comprimento  | Múltiplos | Quilômetro                          | km                                 |
|              |           | 1 km = 1000 m = 10 <sup>3</sup> m   |                                    |
|              |           | Hectômetro                          | hm                                 |
|              |           | 1 hm = 100 m = 10 <sup>2</sup> m    |                                    |
|              |           | Decâmetro                           | dam                                |
| Submúltiplos |           | 1 dam = 10 m = 10 <sup>1</sup> m    |                                    |
|              |           | Decímetro                           | dm                                 |
|              |           | 1 dm = 0,1 m = 10 <sup>-1</sup> m   |                                    |
|              |           | Centímetro                          | cm                                 |
|              |           | 1 cm = 0,01 m = 10 <sup>-2</sup> m  |                                    |
|              |           | Milímetro                           | mm                                 |
|              |           | 1 mm = 0,001 m = 10 <sup>-3</sup> m |                                    |

Fonte: <https://static.todamateria.com.br/upload/ou/ou/conteudo/unidade/comprimento.jpg>

**O que é uma grandeza física?**

Grandezas físicas são aquelas grandezas que podem ser medidas, ou seja, que descrevem qualitativamente e quantitativamente as relações entre as propriedades observadas no estudo dos fenômenos físicos.

| Grandeza | Unidade | Símbolo | Valor em outras unidades                               |
|----------|---------|---------|--------------------------------------------------------|
| Tempo    | minuta  | min     | 1 min = 60 s                                           |
|          | hora    | h       | 1 h = 60 min = 3600 s                                  |
|          | dia     | dia     | 1 dia = 24 h = 1440 min = 86400 s                      |
|          | ano     | ano     | 1 ano = 365 dias = 8760 h = 525 600 min = 31 536 000 s |

Fonte: <https://static.todamateria.com.br/upload/ou/ou/conteudo/unidade/comprimento.jpg>

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 16: Apresentação do produto educacional: slide 16.

## Ressignificando – Notação científica

- Um número está em notação científica quando estiver escrito no seguinte formato:  
 $x \cdot 10^y$
- $x$  é um valor qualquer multiplicado por uma potência de base 10.
- $y$  é o expoente que pode ser positivo ou negativo.
- Exemplo:
  - $5000 = 5 \cdot 10^3$
  - $0,005 = 5 \cdot 10^{-3}$
  - $0,0008 = 8 \times 10^{-4}$
  - $234 = 2,34 \times 10^2$
  - $0,092 = 9,2 \times 10^{-2}$
  - $54,65 \times 10^3 = 5,465 \times 10^4$

| Potência de base 10     |                           |
|-------------------------|---------------------------|
| $10^0 = 1$              |                           |
| $10^1 = 10$             | $10^{-1} = 0,1$           |
| $10^2 = 100$            | $10^{-2} = 0,01$          |
| $10^3 = 1000$           | $10^{-3} = 0,001$         |
| $10^4 = 10000$          | $10^{-4} = 0,0001$        |
| $10^5 = 100000$         | $10^{-5} = 0,00001$       |
| $10^6 = 1000000$        | $10^{-6} = 0,000001$      |
| $10^7 = 10000000$       | $10^{-7} = 0,0000001$     |
| $10^8 = 100000000$      | $10^{-8} = 0,00000001$    |
| $10^9 = 1000000000$     | $10^{-9} = 0,000000001$   |
| $10^{10} = 10000000000$ | $10^{-10} = 0,0000000001$ |

15

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 17: Apresentação do produto educacional: slide 17.

## Curiosidades

Você sabia que:

Apenas 12 pessoas pisaram na Lua – que fica cerca de 400.000 km da porta da sua casa.



Imagem 1: A missão Apollo 11 executou o primeiro pouso lunar tripulado da história. Fonte: NASA

❖ Sonda de exploração

A nave espacial mais rápida – e que até agora foi mais longe – chama-se Voyager 1. Ela partiu em 1977 com destino a Júpiter e Saturno. Hoje está a mais de 20 bilhões de quilômetros e continua se afastando do Sol a mais de 62.000 quilômetros por hora (COSTA, 2004).



Imagem 2: Concepção artística da Voyager 1. Fonte: <https://zenite.b-cdn.net/wp-content/uploads/2021/08/voyager1.jpg>

17

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 18: Apresentação do produto educacional: slide 18.

## Video sobre as sondas espaciais Voyager 1 e 2



**Voyager 2**

56.327 QUILOMETROS POR HORA



**Voyager 1**

61.155 QUILOMETROS POR HORA

MADE IN ANIMOTICA

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 19: Apresentação do produto educacional: slide 19.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 20: Apresentação do produto educacional: slide 20.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 21: Apresentação do produto educacional: slide 21.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 22: Apresentação do produto educacional: slide 22.



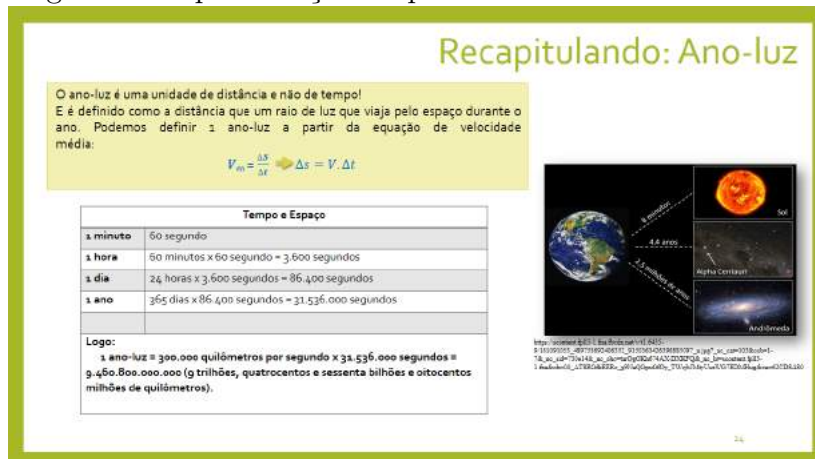
Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 23: Apresentação do produto educacional: slide 23.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

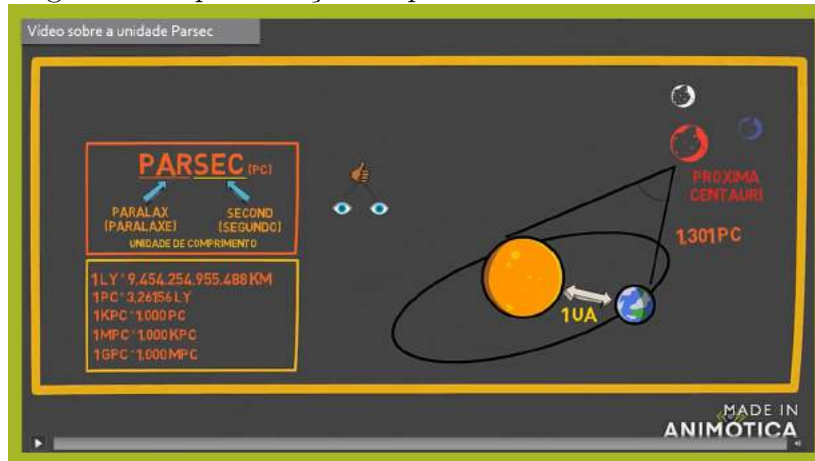
Figura 24: Apresentação do produto educacional: slide 24.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

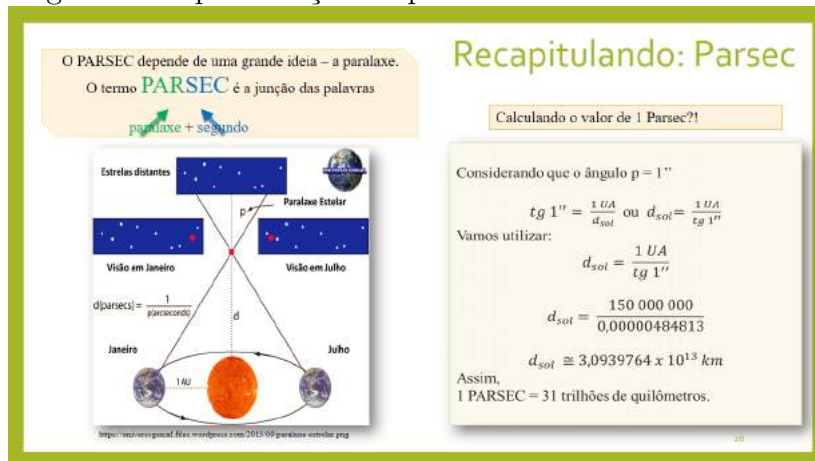


Figura 25: Apresentação do produto educacional: slide 25.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 26: Apresentação do produto educacional: slide 26.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 27: Apresentação do produto educacional: slide 27.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 28: Apresentação do produto educacional: slide 28.

**Tema:**

- Introdução a Relatividade Restrita.

**Objetivo:**

- Conhecer os postulados da Relatividade Restrita e consequentemente suas implicações na mudança de paradigmas da Física.

**Encaminhamento metodológico:**

- Cronologia de Albert Einstein
- Os postulados da Relatividade Restrita
- Simultaneidade
- Relatividade do tempo
- Relatividade das distâncias
- Desvio para o vermelho gravitacional

**Conhecimento prévio necessário:**

- Concepções dos conceitos da Mecânica Clássica

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 29: Apresentação do produto educacional: slide 29.

**AVALIAÇÃO FORMATIVA 1**

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 30: Apresentação do produto educacional: slide 30.

*"Há duas nuvenzinhas no horizonte da Física", será?*

**PERGUNTAS NORTEADORAS**

- O que é a Teoria da Relatividade Restrita?
- O que dizem seus postulados?
- Quais as implicações destes postulados para a Física?

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

# Novas teorias, por quê?

No início do XIX, acreditava-se que a tarefa da Física tinha terminado, e que nada mais havia para ser descoberto. Entretanto, restava alguns "pequenos problemas" para serem resolvidos, sendo eles: **o problema da luz e do Eletromagnetismo.**

*Porém, perceberam que esses pequenos problemas não eram tão pequenos assim*



Tentativa de unificar termodinâmica e eletromagnetismo

Tentativa de unificar mecânica e eletromagnetismo

```
graph TD
    FM[Física Moderna] --> MQ[Mecânica Quântica]
    FM --> RL[Relatividade]
    MQ --> D[dinâmica]
    MQ --> G[Geral]
    RL --> R[Restrita]
    RL --> F[Ferminismo]
    D --> S[sistemas]
    S --> E[escala]
    S --> T[tempo]
    S --> A[espaço]
    S --> V[velocidades]
    S --> SL[velocidade da luz]
    G --> R
    F --> R
    F --> SL
    E --> MQ1[microfísica]
    E --> AT[atômica]
    E --> N[nanoeletrônica]
    E --> C[cristalinas]
    AT --> N
    AT --> C
    N --> M[moleculares]
```

Fonte: <http://www.cnet.com.br/tecnologia/2011/07/20/11072002> Acesso: 11/07/2002

Figura 32: Apresentação do produto educacional: slide 32.

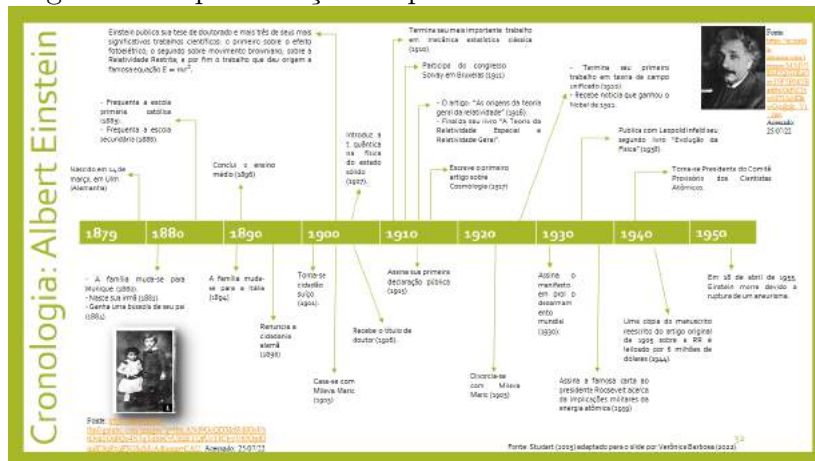
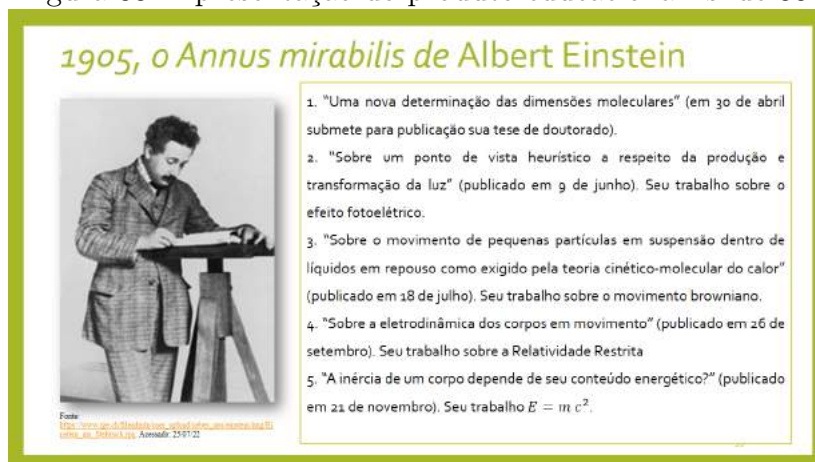


Figura 33: Apresentação do produto educacional: slide 33.



11

# Mas, o que você sabe da Relatividade?

## Interatividade

Fotoe <https://trello.com/drawdowncom/b/AE9w07W6EN8N8NE4B8BNBBNE9wP6A9NeJnSfMINEPhAEINBEINBAKATNEZPN8NFINEPhAEINBEINBATMA7NE9BN4INDEPLAKLNTNE4PB8FNE7CNHUE-TRCITR89D.jpg>. Armado: 25/07/2022.

(UEPB) Um professor de Física verificando em sala de aula que todos os seus alunos encontravam-se sentados, passou a fazer as seguintes afirmações para que eles refletissem e recordassem alguns conceitos de movimento.

Das afirmações seguintes formuladas pelo professor, a única correta é:

- a) Pedro (aluno da sala) está em repouso em relação aos demais colegas, mas todos nós estamos em movimento em relação à Terra.
- b) Mesmo para mim (professor), que não paro de andar, seria possível achar um referencial em relação ao qual eu estivesse em repouso.
- c) A velocidade dos alunos que eu consigo observar agora, sentados em seus lugares, é nula para qualquer observador humano.
- d) Como não há repouso absoluto, nenhum de nós está em repouso, em relação a nenhum referencial.

Figura 35: Apresentação do produto educacional: slide 35.

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

# O absoluto torna-se relativo!

O tempo é absoluto, verdadeiro e matemático, por sua própria natureza, sem relação a nada externo e permanecerá sempre semelhante e imutável.

Não posso negar para não poder ser o contrário: O tempo não pode ser o mesmo em todos os lugares. O tempo depende do movimento. Portanto, não há tempo absoluto.

- Albert Einstein concebeu a Teoria da Relatividade Restrita, em 1905, e revolucionou o entendimento dos fenômenos fundamentais que envolvem matéria, a energia e o tempo.
- Essa Teoria baseia-se em dois princípios:

1. **O princípio da Relatividade:** as leis da física são as mesmas para todos os REFERENCIAIS INERCIAIS.
2. **A constância da velocidade da luz:** a luz se move pelo vácuo a uma velocidade constante e independentemente do movimento da fonte de luz.

Fonte: <https://bit.ly/3t0z0es> files.wordpress.com/2015/11/einstein-y-newton.png?w=300. Acesso em: 23/07/2022.

12



Figura 37: Apresentação do produto educacional: slide 37.

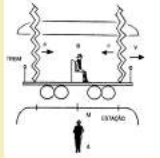
## Simultaneidade de eventos

Einstein observou que o único conceito físico real envolvido na nossa noção intuitiva de tempo era o de simultaneidade

Todos os nossos julgamentos com respeito ao tempo são sempre julgamentos de eventos simultâneos (NUSSENZVEIG, 1998)

Interatividade

A figura mostra o observador A em pé na estação, enquanto vê um trem movendo-se a sua direita com velocidade  $V$ . Nota-se também que sentado exatamente no meio do trem está o observador B. De repente, o trem é atingido por dois relâmpagos ao mesmo tempo, conforme mostra a ilustração:



Das afirmações abaixo, a única correta é:

- Os eventos são simultâneos para ambos.
- Os eventos são simultâneos para o observador A, mas não são simultâneos para o observador B.

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 38: Apresentação do produto educacional: slide 38.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 39: Apresentação do produto educacional: slide 39.

## 2ª Consequência dos postulados

### Relatividade do Tempo e das distâncias



Fonte: <https://a1static.brasileirocol.edu.com.br/br/contendo/imagens/criativos-dos-germeos-baseir-de-em-uma-das-consequencias-teoria-relatividade-distancia-tempo-52279215531.jpg>. Acesso em: 17/02/2023.

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 40: Apresentação do produto educacional: slide 40.



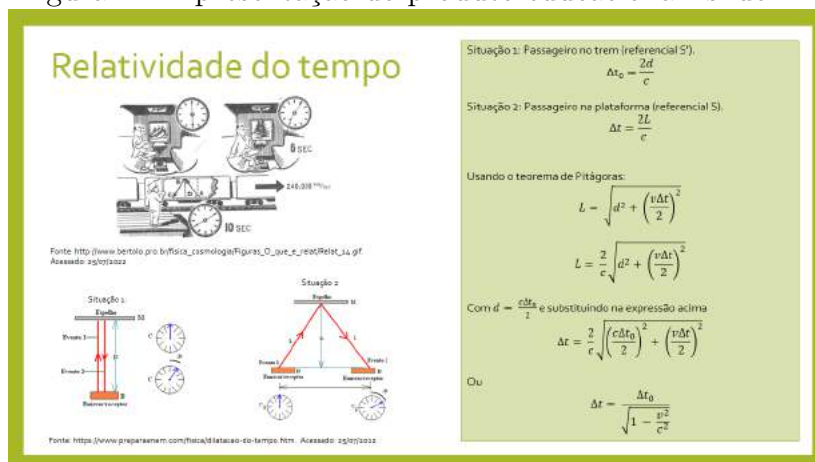
Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 41: Apresentação do produto educacional: slide 41.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 42: Apresentação do produto educacional: slide 42.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 43: Apresentação do produto educacional: slide 43.

## Paradoxo dos Gêmeos

O Paradoxo dos gêmeos é um experimento mental envolvendo a dilatação temporal, uma das consequências da Relatividade. Ele mostra como um evento pode não ocorrer simultâneo para dois observadores.

Dois gêmeos fazem a seguinte experiência: um permanece na Terra e o outro parte numa astronave com 95% da velocidade da luz, com destino a uma estrela distante da Terra cerca de 20 anos-luz.

Ao retornar, o irmão viajante encontra seu irmão que ficou na Terra e percebe que este está alguns anos mais velho.

Como podemos explicar isso do ponto de vista da Relatividade Restrita?

https://medium.com/@eltorvada/paradoxo-dos-gem%C3%AAs-823d0cedd7f1?accessed=15/07/2022

63

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 44: Apresentação do produto educacional: slide 44.

Vídeo sobre o paradoxo dos gêmeos

**O Paradoxo dos Gêmeos**

MADE IN ANIMOTICA

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 45: Apresentação do produto educacional: slide 45.

## Relatividade da distâncias

Outra consequência direta do segundo postulado da Relatividade Restrita de que a velocidade da luz é a mesma quando medida a partir de qualquer referencial, a medição de distâncias a partir de diferentes referenciais também é afetada.

O observador em repouso na Terra, em seu referencial, observa um foguete com comprimento  $L_p$  menor que aquele medido no referencial deste veículo espacial, ou seja,  $L < L_p$ .

O observador em movimento em relação a Terra, e em repouso em relação ao foguete observa o comprimento próprio da barra em  $L_p$ .

$$L = L_p \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$L_p$  - é o comprimento próprio da barra quando medida em repouso no interior do foguete que se desloca com velocidade  $v$ .

$L$  - é o comprimento da barra quando medida em movimento em relação a Terra.

O efeito é válido apenas na direção do movimento. Nas direções perpendiculares ao movimento não ocorre alterações no comprimento da barra.

Fonte: Autoria própria

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 46: Apresentação do produto educacional: slide 46.

## Relatividade da distâncias

Imaginemos que o trem de Einstein passa apressado em frente a uma plataforma de estação com 2 400 000 Km de comprimento. O trem viaja de um extremo ao outro da plataforma em  $2\,400\,000 / 240\,000 = 10$  segundos pelo relógio da estação. Mas, para o relógio do passageiro o trem terá gasto somente 6 segundos. Os passageiros estarão completamente satisfeitos ao concluírem que a plataforma não tem 2 400 000 km, mas  $240\,000 \times 6 = 1\,440\,000$  Km de comprimento.

O comprimento da plataforma, como vimos é maior do ponto de vista do referencial que está estacionário com relação a ela, que do ponto de vista do referencial relativo ao qual a plataforma está se movimentando. Todos os corpos em movimento contraem-se na direção do seu movimento.

**Exemplo-didático:**

Fonte: [http://www.bertolo.pro.br/fisica\\_comologia/figuras\\_0\\_que\\_e\\_relativista.gif](http://www.bertolo.pro.br/fisica_comologia/figuras_0_que_e_relativista.gif)  
Acessado: 25/03/2022

Fonte: [http://www.bertolo.pro.br/fisica\\_comologia/figuras\\_0\\_que\\_e\\_relativista.gif](http://www.bertolo.pro.br/fisica_comologia/figuras_0_que_e_relativista.gif)  
Acessado: 25/03/2022

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 47: Apresentação do produto educacional: slide 47.

**Tema:**

- Introdução ao efeito Doppler relativístico.

**Objetivo:**

- Revisar o efeito Doppler. Compreender o efeito Doppler relativístico. Conhecer as aplicações deste fenômeno no cotidiano.

**Encaminhamento metodológico:**

- Características das ondas
- Efeito Doppler em ondas sonoras.
- Efeito Doppler em ondas eletromagnéticas.
- Espectro eletromagnético.

**Conhecimento prévio necessário:**

- Fenômeno ondulatório.

## Aula 3

67

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 48: Apresentação do produto educacional: slide 48.

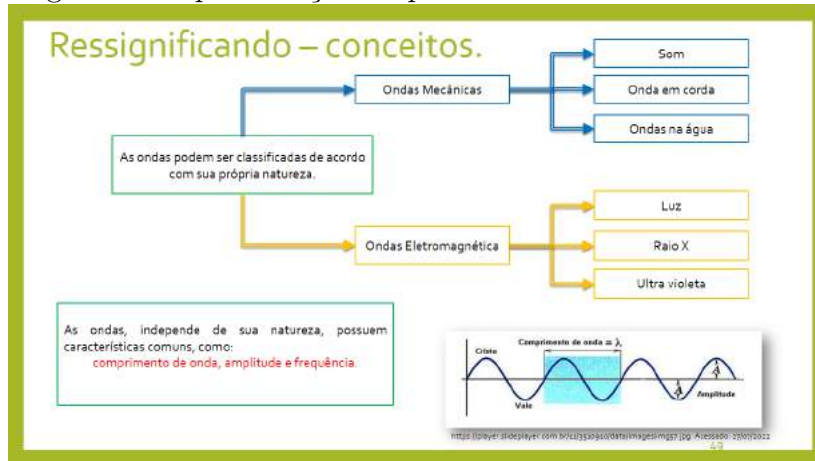
Tela do simulador PhET

Intro das Ondas

PhET

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 49: Apresentação do produto educacional: slide 49.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 50: Apresentação do produto educacional: slide 50.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 51: Apresentação do produto educacional: slide 51.

**Interatividade**

Fonte: [https://dicasdevestibular.com.br/curso/ing-contrast/aplicao-educacional-doppler/\\_2001a23e17065425\\_2001\\_89125044.jpg](https://dicasdevestibular.com.br/curso/ing-contrast/aplicao-educacional-doppler/_2001a23e17065425_2001_89125044.jpg). Acesso em: 05/08/2022.

(UFRN-RN) Duas pessoas, que estão no ponto de ônibus, observam uma ambulância que delas se aproxima com a sirene de advertência ligada. Percebem que, ao passar por elas, o som emitido da sirene se torna diferente daquele percebido durante a aproximação. Por outro lado, comentando esse fato, elas concordam que o som mudou de uma tonalidade aguda para uma mais grave à medida que ambulância se distanciava.

Tal mudança é explicada pelo Efeito Doppler, segundo o qual, para essa situação, a:

- Amplitude do som diminuiu.
- Frequência do som diminuiu.
- Frequência do som aumentou.
- Amplitude do som aumentou.

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

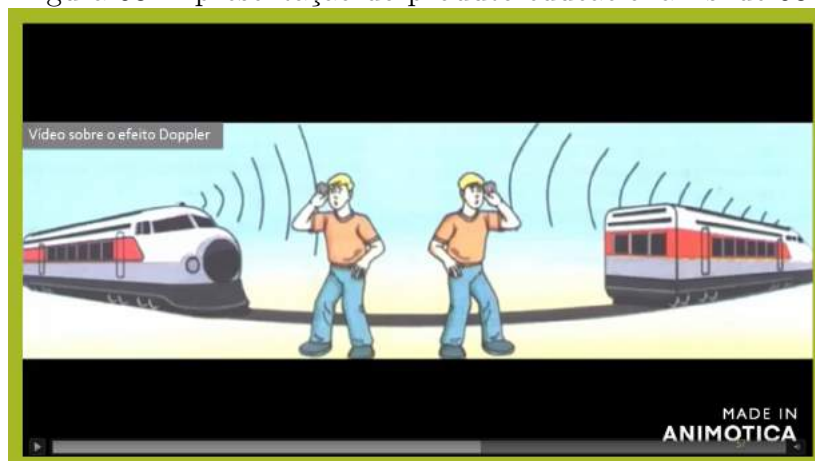


Figura 52: Apresentação do produto educacional: slide 52.



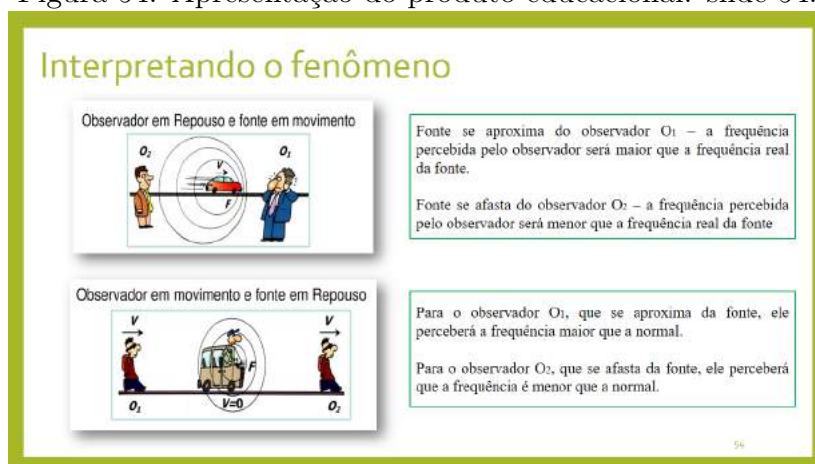
Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 53: Apresentação do produto educacional: slide 53.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 54: Apresentação do produto educacional: slide 54.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 55: Apresentação do produto educacional: slide 55.

### Interpretando o fenômeno

Equação geral do Efeito Doppler

frequência emitida pela fonte

$f_0 = f_f \frac{v \pm v_o}{v \mp v_f}$

frequência aparente (percebida pelo observador)

velocidade de propagação da onda

velocidade do observador em relação ao meio

velocidade da fonte em relação ao meio

**Interpretando os sinais da equação geral**

1º caso: O sinal positivo no numerador e negativo no denominador corresponde a situação em que a fonte e o observador estão se aproximando.

2º caso: O sinal negativo no numerador acarreta uma frequência menor, mostrando que a fonte e o observador afastam-se um do outro.

55

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 56: Apresentação do produto educacional: slide 56.

### Sobre o efeito Doppler, o que acontece quando substituímos as ondas sonoras pelas ondas eletromagnéticas?

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 57: Apresentação do produto educacional: slide 57.

### Efeito Doppler – Ondas Eletromagnéticas

*O mesmo efeito pode ser visto com as ondas de luz:* se um objeto estiver se movendo em sua direção a uma velocidade comparável à velocidade da luz, os comprimentos de onda serão comprimidos, fazendo com que o objeto pareça **mais azul**, da mesma forma, se um objeto estiver se afastando de você a uma velocidade comparável à velocidade da luz, os comprimentos de onda se estenderão, fazendo com que o objeto pareça **mais vermelho**.

**ATENÇÃO!**

Os automóveis não se movem rápido o suficiente para termos um desvio para o azul ou vermelho em sua cor.



[https://st.depositphotos.com/1639040/247311600-depositphotos\\_247341311-stock-illustration-cartoon-man-driving-a-car.jpg](https://st.depositphotos.com/1639040/247311600-depositphotos_247341311-stock-illustration-cartoon-man-driving-a-car.jpg) - Arquivo: 05/08/2022



[http://www.nasa.gov/pdf/content/images/2015/07/midnight\\_helios\\_201507.jpg](http://www.nasa.gov/pdf/content/images/2015/07/midnight_helios_201507.jpg) - Arquivo: 03/08/2022

As galáxias se movem rápido o suficiente em relação a Terra, de modo que sua luz é desviada para o azul ou vermelho.

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .



Espectro Eletromagnético

**Interatividade**

(Uniluz-adaptada) A luz visível, com comprimento de onda entre 400 nm e 700 nm, constitui apenas uma pequena "janela" de todo o espectro eletromagnético. Em outros intervalos de comprimento de onda, a radiação eletromagnética recebe outros nomes.

Assinale a alternativa correta:

- a) Corrente elétrica, radiação ultravioleta, raio X, radiação gama
- b) Radiação gama, ondas de rádio, raio X, radiação infravermelho.
- c) Radiação beta, radiação de fundo, radiação ultravioleta, corrente elétrica
- d) Radiação gama, corrente elétrica, radiação micro-ondas, raio X.

Figura 59: Apresentação do produto educacional: slide 59.

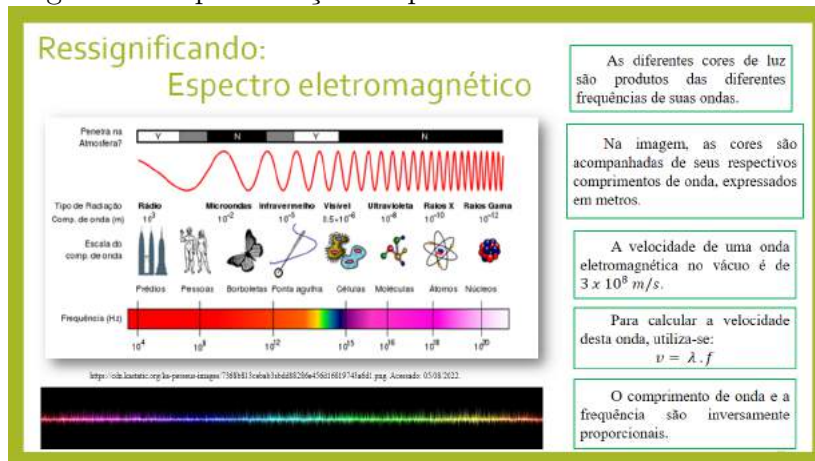


Figura 60: Apresentação do produto educacional: slide 60.



20



Figura 61: Apresentação do produto educacional: slide 61.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 62: Apresentação do produto educacional: slide 62.

**Equação do Efeito Doppler Relativístico**

**Situação**

1. Fonte em repouso em relação ao observador.

2. Fonte em movimento em relação ao observador.

3. Fonte em movimento em relação ao observador.

**Importante:**

**Frente de Onda**

$x = \Delta t c$

**Fonte emissora**

$r = \Delta t v$

**Frequência**

$\nu = c/\lambda$

**Comprimento de onda**

$\lambda = (c - v)\Delta t$

**Substituindo:**

$\nu = \frac{c}{(c - v)\Delta t}$  (1)

reescrevendo,

$\nu = \frac{\Delta t^{-1}}{1 - \frac{v}{c}}$  (2)

sendo  $\Delta t$  o tempo dilatado. E, pela RR o tempo próprio é,

$\Delta t = \gamma \Delta t'$  (3)

e substituindo,

$\nu = \frac{(\gamma \Delta t')^{-1}}{(1 - \frac{v}{c})}$  (4)

No referencial  $S'$ , a frequência é:

$\nu' = 1/\Delta t'$  ou  $\nu' = (\Delta t')^{-1}$  (5)

E substituindo (5) em (4)

$\nu = \nu' \frac{(\gamma)^{-1}}{1 - \frac{v}{c}}$  (6)

Com  $\gamma/c = \beta$  e  $(\gamma)^{-1} = \sqrt{1 - \beta^2}$ , assim (6) fica

$\nu = \nu' \sqrt{\frac{1 + \beta}{1 - \beta}}$

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 63: Apresentação do produto educacional: slide 63.

**Aula 4**

**Tema:**

- O efeito Doppler da luz na Cosmologia.

**Objetivo:**

- Compreender a aplicação do efeito Doppler da luz na Cosmologia. Estudar a lei de Hubble.

**Encaminhamento metodológico:**

- Espectroscopia
- Desvios espectrais
- Lei de Hubble

**Conhecimento prévio necessário:**

- Efeito Doppler da luz.
- Espectro eletromagnético.

63

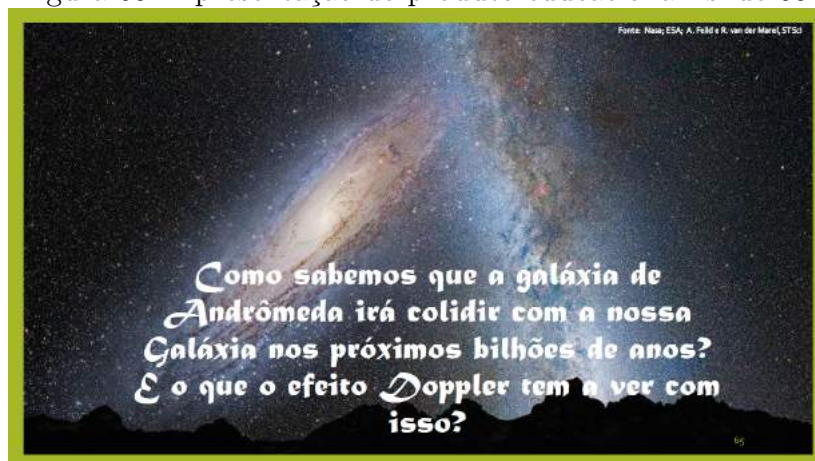
Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 64: Apresentação do produto educacional: slide 64.



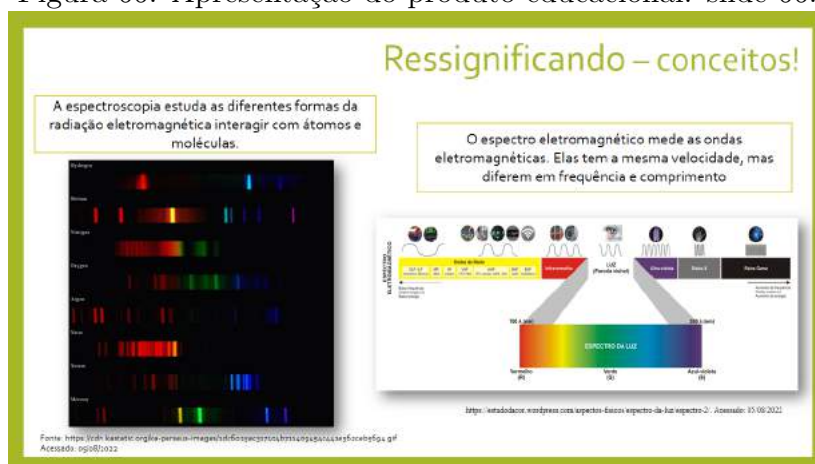
Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 65: Apresentação do produto educacional: slide 65.



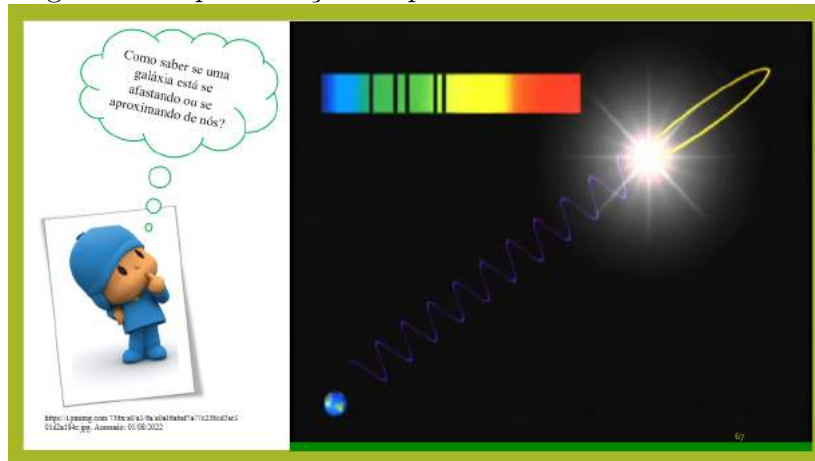
Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 66: Apresentação do produto educacional: slide 66.



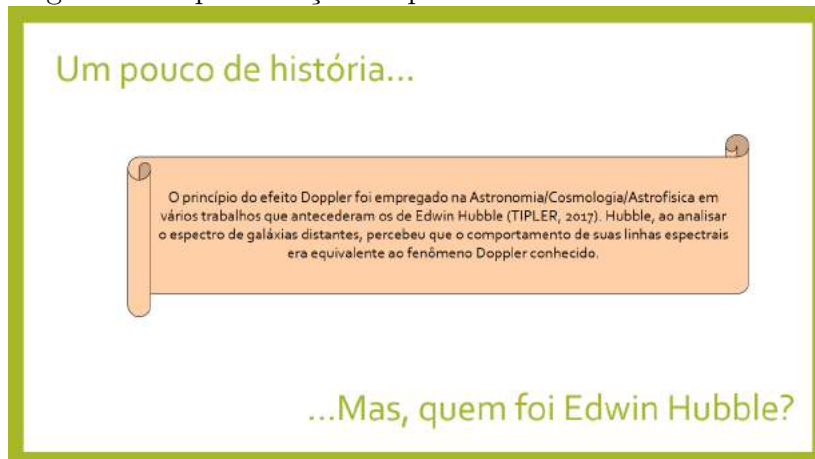
Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 67: Apresentação do produto educacional: slide 67.



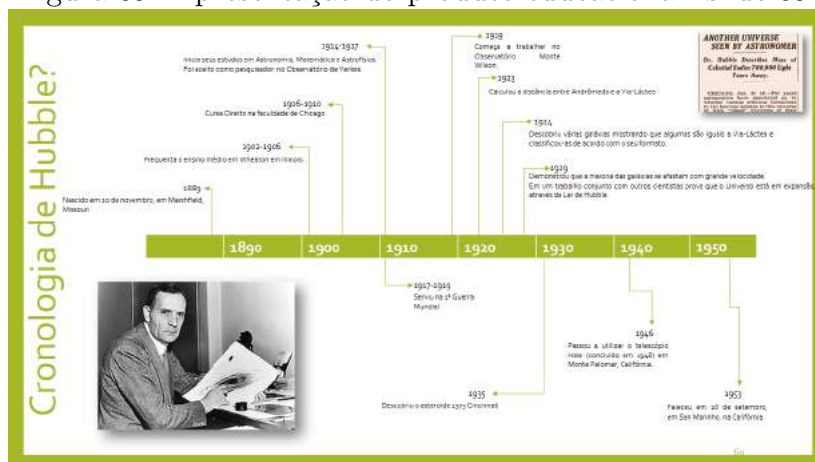
Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 68: Apresentação do produto educacional: slide 68.



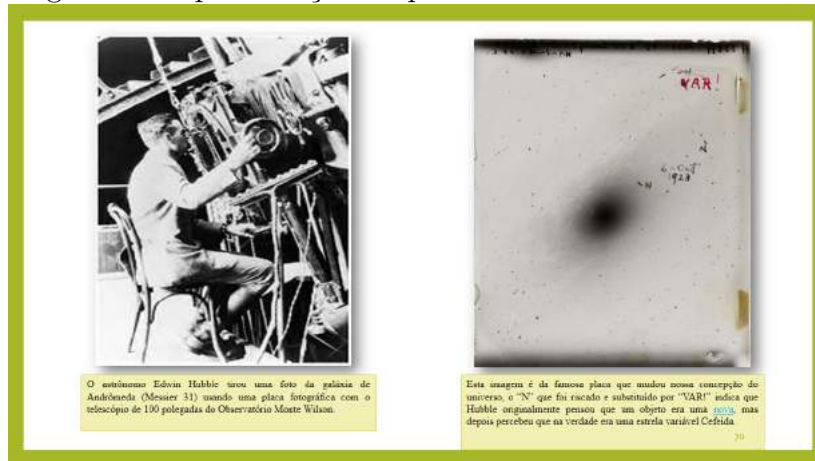
Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 69: Apresentação do produto educacional: slide 69.



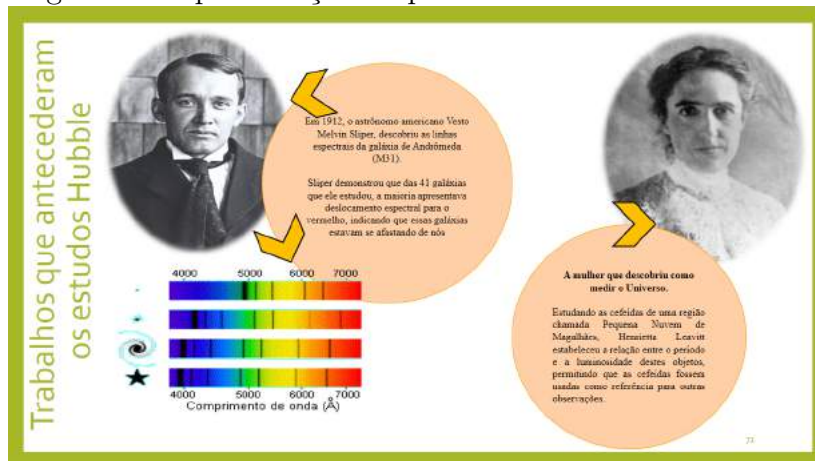
Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 70: Apresentação do produto educacional: slide 70.



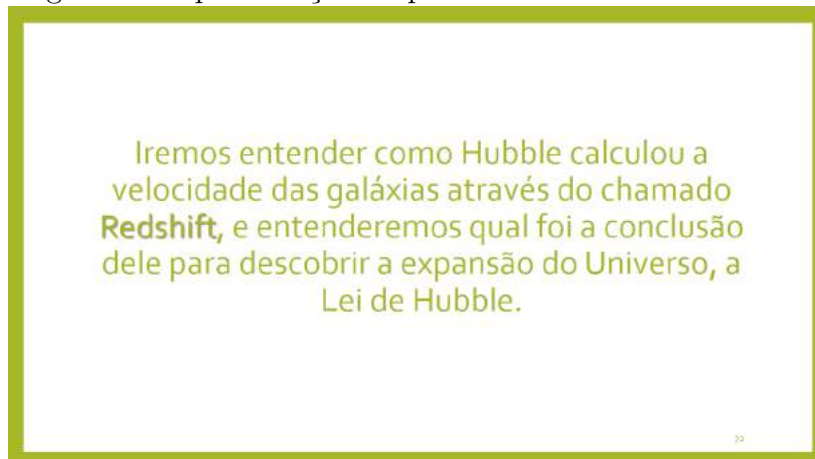
Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 71: Apresentação do produto educacional: slide 71.



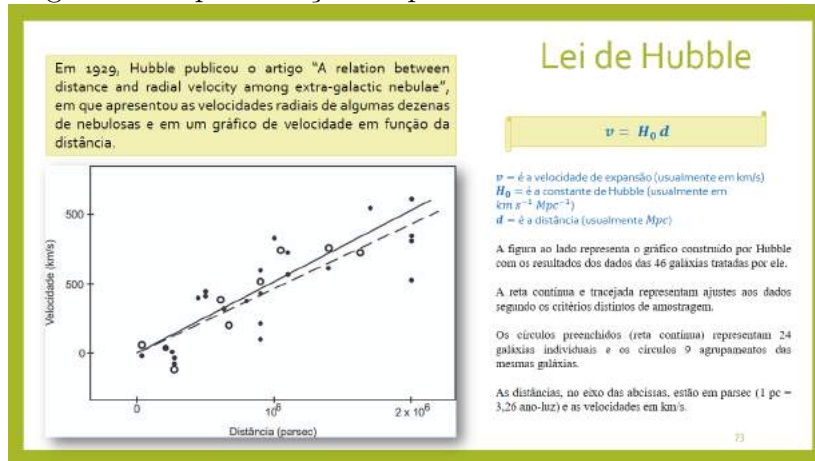
Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 72: Apresentação do produto educacional: slide 72.



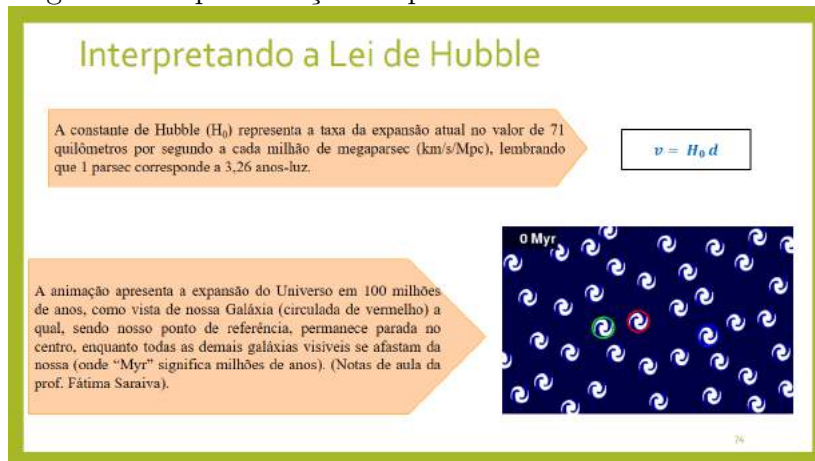
Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 73: Apresentação do produto educacional: slide 73.



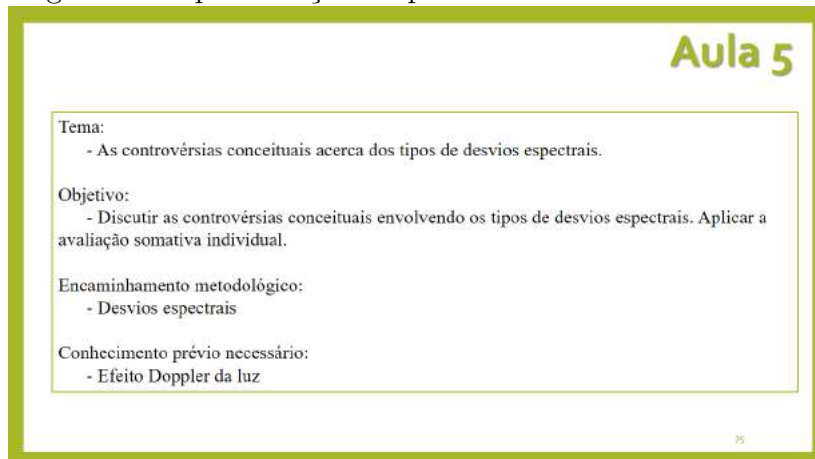
Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 74: Apresentação do produto educacional: slide 74.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 75: Apresentação do produto educacional: slide 75.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .



Figura 76: Apresentação do produto educacional: slide 76.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 77: Apresentação do produto educacional: slide 77.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 78: Apresentação do produto educacional: slide 78.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 79: Apresentação do produto educacional: slide 79.

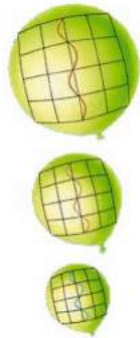
### Modelo do Universo balão - discussão

A expansão do espaço não afeta o tamanho dos objetos que estão nele: galáxias, estrelas, planetas, etc, mantêm o seu tamanho inalterado, porque a gravidade que os mantém é muito mais forte do que a expansão.

No entanto, a expansão afeta a luz que viaja imensas distâncias através do espaço. Quando uma onda de luz viaja no espaço, a expansão estica a onda, aumentando seu comprimento de onda e causando, assim, o redshift observado.

Esse redshift não é, realmente, causado por efeito Doppler, pois o efeito Doppler, por definição, aparece quando existe movimento relativo entre fonte e observador, e as galáxias não estão, na realidade, se movendo umas em relação às outras. Por isso uma maneira mais apropriada de chamar o redshift causado pela expansão do universo é de redshift cosmológico.

Mas a equação de efeito Doppler se aplica mesmo assim, de forma que, na prática, tratamos o redshift cosmológico como efeito Doppler.



79

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 80: Apresentação do produto educacional: slide 80.

### A idade do universo

Com a Lei de Hubble, é possível calcular a idade do Universo de maneira simples:

$$T = \frac{1}{H_0} (1)$$

O valor calculado mais recente da constante de Hubble é de 72 km/s/Mpc (cerca de 3 milhões de anos-luz). Mas, cada parsec equivale:  $3,086 \times 10^{13}$  km

Usando a equação (1) e fazendo as devidas substituições, temos:

$$T = \frac{1}{\frac{72 \text{ km/s}}{1 \text{ Mpc}}} = \frac{1 \text{ Mpc}}{72 \text{ km}} = \frac{3,086 \times 10^{13} \text{ km}}{72 \text{ km}} \text{ s}$$

Considerando dois números significativos após a vírgula, obtemos o resultado:

$$4,286 \times 10^{17} \text{ s}$$

Para transformar em anos esse resultado, basta usar a regra de três, sabendo que 1 ano tem 365 dias e cada dia tem 24h e cada hora tem 3600s. Assim, cada ano tem, em segundo,

$$3,15 \times 10^7 \text{ s}$$

Fazendo a regra de três, encontramos o seguinte:

$$\frac{4,27 \times 10^{17} \text{ s}}{3,15 \times 10^7 \text{ s}}$$

O resultado final é 13,7 bilhões de anos.

80

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

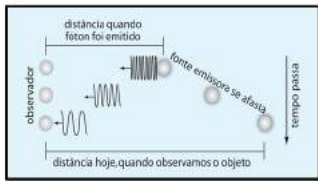
Figura 81: Apresentação do produto educacional: slide 81.

### Solução do Paradoxo de Olbers

A solução do paradoxo de Olbers, discutida anteriormente, está na teoria do Big Bang.

O céu noturno não é brilhante como o diurno porque vivemos em um universo relativamente jovem. Isso significa que somente podemos observar a luz (de forma geral a radiação eletromagnética) que teve tempo para chegar até nós.

Não podemos observar a luz dos objetos além de certas distâncias e, muito menos, uma quantidade infinita de estrelas e galáxias.



A distância de uma fonte observada hoje é muito maior do que a distância dessa mesma fonte quando ela emitiu a radiação observada por nós.

81

Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 82: Apresentação do produto educacional: slide 82.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 83: Apresentação do produto educacional: slide 83.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .

Figura 84: Apresentação do produto educacional: slide 84.



Fonte: Elaborado pela própria autora (2023) .



# Appendices

## Apêndice B

### Avaliação Diagnóstica

## Avaliação Diagnóstica

Aluno: \_\_\_\_\_

**Questão 1:** No início do século XIX, acreditava-se que a tarefa da Física tinha terminado. Você concorda ou discorda com a afirmação de que a Física é uma ciência completa e terminada, não havendo mais nada a ser descoberto? Explique.

(a) Concordo

(b) Discordo

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**Questão 2:** Qual dos cientistas abaixo está diretamente relacionado ao desenvolvimento da Teoria da Relatividade Restrita?

a) Galileu Galilei

b) Isaac Newton

c) Max Planck

d) Albert Einstein

**Questão 3:** Quais são os postulados da Teoria da Relatividade Restrita? Descreva

**Questão 4:** A Teoria da Relatividade Restrita provocou uma revolução para o século XX, e apresentou uma série de transformação no entendimento de conceitos básicos como o tempo e o espaço. Uma de suas consequências é que os corpos se contraem no sentido do movimento, você concorda ou discorda dessa afirmação? Justifique.

(a) Concordo

(b) Discordo

Justifique sua resposta \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Questão 5:** Disserte sobre o que é um referencial inercial?

**Questão 6:** Considere a seguinte situação: imagine os passageiros dentro de um ônibus que se desloca com velocidade constante de 50 m/s, em trajetória retilínea. Em relação aos seus passageiros eles estão parados ou em movimento? Justifique.

**Questão 7:** Sobre o Efeito Doppler, marque C para correta e I para incorreta:

- a) ( ) Uma estrela estará se aproximando da Terra quando a luz percebida (refletida) tiver um desvio para o violeta/azul.
- b) ( ) Quando uma fonte sonora se aproxima de um observador, este percebe as ondas mais velozes e portanto um som mais agudo.
- c) ( ) O Efeito Doppler só ocorre nas ondas sonoras.
- d) ( ) O Efeito Doppler não pode ocorrer na luz, pois a luz não é uma onda.
- e) ( ) No exame de ultrassonografia a imagem captada na tela ocorre devido a um aumento da velocidade das ondas refletidas pelo tecido do feto.
- f) ( ) Um agente da Polícia Rodoviária Federal consegue aplicar multas de excesso de velocidade através do Efeito Doppler. Se a frequência recebida for menor do que a enviada ao motorista está no limite de velocidade, caso a frequência recebida seja maior o veículo está com excesso de velocidade.

# Appendices

## Apêndice C

### Avaliação Formativa 1

## Avaliação Formativa 1

Aluno: \_\_\_\_\_

Questão 1: Comente a afirmação “Olhar à noite para um céu estrelado é como olhar para o passado”.

Questão 2: (PETTERSEN, 2017) O ano-luz é uma medida que relaciona a velocidade da luz e o tempo de um ano. Ano-luz se refere a:

- (a) aceleração.
- (b) distância.
- (c) velocidade.
- (d) luminosidade

Questão 3: A velocidade da luz é de aproximadamente 300.000 km/s, enquanto 1 parsec é uma unidade de distância de  $3,084 \cdot 10^{13}$  km. O tempo necessário, em segundos, para a luz percorrer no vácuo a distância equivalente a 1 parsec, é igual a:

- a)  $1,028 \cdot 10^8$  s
- b)  $1,028 \cdot 10^{18}$  s
- c)  $9,25 \cdot 10^{15}$  s
- d)  $1,028 \cdot 10^{-8}$  s
- e)  $925 \cdot 10^{15}$  s

Questão 4: Estima-se que o tamanho do Universo seja de, aproximadamente, 28 gigaparsecs. Calcule o tempo necessário, em segundos, para a luz percorrer essa distância. (Dados: velocidade da luz =  $3,0 \times 10^8$  m/s)

- a)  $2,8784 \cdot 10^{-11}$  s
- b)  $8,65 \cdot 10^{-12}$  s
- c)  $2,8784 \cdot 10^{15}$  s
- d)  $28,74 \cdot 10^{-10}$  s

# Appendices



## **Apêndice D**

### **Avaliação Formativa 2**

## Avaliação Formativa 2

Aluno: \_\_\_\_\_

**Questão 1:** Sobre a teoria da relatividade, marque o que for verdadeiro:

- a) O tempo é uma grandeza absoluta.
- b) Para objetos na velocidade da luz, ocorre a contração do tempo.
- c) Para objetos na velocidade da luz, ocorre a contração dos comprimentos.
- d) Para objetos na velocidade da luz, ocorre a dilatação dos comprimentos

**Questão 2:** Sobre os postulados da relatividade, marque o que for falso:

- a) As leis da Física são as mesmas em todos os referenciais que mantêm velocidade constante ou que estão parados.
- b) A velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor para qualquer referencial inercial e vale  $3 \times 10^8$  m/s.
- c) A velocidade da luz tem seu valor máximo no vácuo e tem o mesmo valor para qualquer referencial inercial, que é 300000 m/s.
- d) Os postulados da teoria da relatividade fundamentam a teoria da relatividade de Einstein.

**Questão 3:** Observando-se o espectro de luz emitida por galáxias distantes, notou-se uma variação de cores. A frequência das cores recebida está diminuindo, aproximando-se da frequência da luz vermelha, o que indica um afastamento da fonte emissora das radiações. Assim, os cientistas concluíram que as galáxias estão se afastando de nós com grande velocidade. Os cientistas chegaram a esta conclusão, baseando-se:

- a) No Efeito Doppler
- b) No Efeito Fotoelétrico
- c) Na Lei de Coulomb
- d) Na Hipótese de De Broglie.

**Questão 4:** Dois gêmeos idênticos, com 20 anos de idade, ganham um prêmio em que somente um deles poderá viajar em uma nave por 10 anos com 80% da velocidade da luz. Quando um dos gêmeos retornar à Terra, seu irmão estará mais velho ou mais novo? Quanto tempo?

(Utilize o verso da avaliação para realizar os cálculos)

**Questão 5:** Uma nave possui 10m de comprimento quando viaja a 80% da velocidade da luz. Calcule o comprimento medido por um observador parado na Terra.

(Utilize o verso da avaliação para realizar os cálculos)

# Appendices

## Apêndice E

### Avaliação Somativa Individual

### Avaliação Somativa Individual

Aluno: \_\_\_\_\_

Questão 1: (UFPRL-RS) Considere as afirmativas a seguir.

- I. O tempo transcorre da mesma maneira em qualquer referencial inercial, independente da sua velocidade.
- II. O comprimento dos corpos diminui na direção do movimento.
- III. Quando a velocidade de um corpo tende à velocidade da luz ( $c$ ), sua massa tende ao infinito.

De acordo com seus conhecimentos sobre Física Moderna e as informações dadas, está(ão) correta(s) a(s) afirmativa(s)

- a) I e III
- b) I e II
- c) II e III
- d) I, II e III
- e) II.

Questão 2: (UNIFOR-CE) Sobre a Teoria da Relatividade são feitas as afirmações abaixo.

- I. Corpos em movimento sofrem contração na direção desse movimento em relação ao tamanho que possuem quando medidos em repouso.
- II. Um relógio em movimento funciona mais lentamente que o relógio em repouso, para um observador em repouso.
- III. A velocidade de qualquer objeto em relação a qualquer referencial não pode ser maior que a velocidade da luz no vácuo.

Está correto o que se afirma em:

- a) III, somente
- b) I e II, somente
- c) I e III, somente.
- d) II e III, somente
- e) I, II e III.

Questão 3: Quando um corpo move-se a uma velocidade próxima à velocidade da luz:

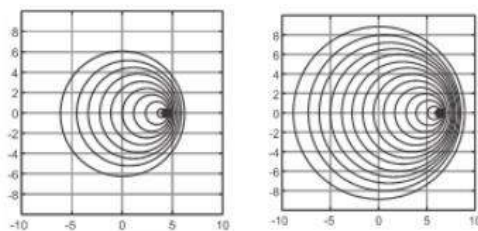
- a) A distância percorrida por ele sofre acréscimos diretamente proporcionais à sua velocidade.

- b) A distância percorrida por ele sofre diminuições diretamente proporcionais à sua velocidade.
- c) A distância percorrida por ele sofre diminuições inversamente proporcionais à sua velocidade.
- d) A distância percorrida por ele sofre acréscimos inversamente proporcionais à sua velocidade.
- e) Não é possível afirmar nada quando um corpo move-se a uma velocidade próxima à velocidade da luz.

Questão 4: Dois irmãos gêmeos idênticos com 20 anos de idade, são convidados a participar de uma experiência. Um dos gêmeos permanecerá no planeta Terra enquanto o outro será enviado a uma missão pela galáxia que consistirá em viajar até outro sistema estelar bastante distante do nosso. O gêmeo viajante alcançará a uma velocidade de  $0,6c$  nesta viagem, e o tempo transcorrido na Terra do irmão gêmeo que ficou foi de 20 anos. Qual o tempo transcorrido do irmão gêmeo na nave?

- a) 12 anos
- b) 16 anos
- c) 20 anos
- d) 45 anos
- e) 25 anos

Questão 5: (Uemg 2018) Assinale a alternativa que apresenta fenômenos que poderiam estar associados às seguintes ilustrações.



- (a) Ressonância magnética e oscilações forçadas.
- (b) Efeito Casimir e Ultrassom
- (c) Efeito Doppler e desvio para o vermelho
- (d) Ressonância acústica e interferência construtiva

5) Edwin Hubble percebeu, no final da década de 1920, que as galáxias mais distantes possuem um redshift maior. Hubble usou esses dados para afirmar um modelo onde o universo se encontra em expansão e elaborou sua lei, que procura explicar:

- a) que as cores das galáxias são diferentes quanto maior a distância delas em relação à Terra.
- b) que o brilho das galáxias é menor quanto mais afastada for a galáxia.
- c) que o tamanho de uma galáxia é maior quanto mais afastada for a galáxia da Terra.
- d) que a galáxia possui uma maior velocidade de afastamento quanto mais afastada for a galáxia da Terra
- e) que a temperatura de uma galáxia é maior quanto mais afastada for essa galáxia da Terra.

# Appendices



## Apêndice F

### Avaliação da própria UEPS

### Avaliação da UEPS

Questão 1: Avaliação das estratégias e metodologias adotadas nesta UEPS

1.1 Foi atrativo?

- (a) Sim
- (b) Não
- (c) Indiferente

Justifique sua resposta \_\_\_\_\_

1.2 Possibilitou a aprendizagem dos conteúdos?

- (a) Sim
- (b) Não
- (c) Indiferente

Justifique sua resposta \_\_\_\_\_

1.3 As atividades e avaliações estavam claras ou deveriam ser mais detalhadas?

- (a) Sim
- (b) Não
- (c) Indiferente

Justifique sua resposta \_\_\_\_\_

Questão 2: Dos conteúdos abordados nessa UEPS, cite quais você compreendeu melhor e quais teve maior dificuldade de compreensão? Justifique sua resposta.

Questão 3: O uso de animações, simuladores e trechos de vídeos, na sua opinião, auxiliam a compreensão dos conceitos abordados pelo professor? Justifique sua resposta.

Questão 4: Sobre a metodologia ativa, na sua opinião, a aplicação dela facilitou ou dificultou a aprendizagem dos conceitos estudados? Justifique sua resposta.

Questão 5: Acrescente sugestões e críticas a está UEPS, no intuito de melhorá-la e adequá-la as demandas da aprendizagem.