



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



Milena Teixeira da Rosa

**UM GUIA ILUSTRADO, COMO MATERIAL POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVO,
PARA ENSINAR A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul em parceria com a Sociedade Brasileira de Física, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Prof. Dr. Márcio Gabriel dos Santos
Orientador

Prof^a. Dr^a. Neila Seliane Pereira Witt
Coorientadora

Tramandaí
Janeiro 2020

Milena Teixeira da Rosa

**UM GUIA ILUSTRADO, COMO MATERIAL POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVO,
PARA ENSINAR A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul em parceria com a Sociedade Brasileira de Física, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em 08 de Janeiro de 2020.

Prof. Dr. Márcio Gabriel dos Santos - Presidente da Banca – MNPEF-UFRGS/CLN

Prof. Dr. Jorge Rodolfo Silva Zabadal - Membro Interno da Banca – MNPEF-UFRGS/CLN

Prof^a. Dr^a. Liane Ludwig Loder - Membro Interno da Banca – MNPEF-UFRGS/CLN

Prof. Dr. Roniere dos Santos Fenner - Membro Externo da Banca – UFRGS

CIP - Catalogação na Publicação

Rosa, Milena Teixeira da
Um Guia Ilustrado, como material potencialmente
significativo, para ensinar a Teoria da Relatividade
Restrita / Milena Teixeira da Rosa. -- 2020.
284 f.
Orientador: Márcio Gabriel dos Santos.

Coorientadora: Neila Seliane Pereira Witt.

Dissertação (Mestrado Profissional) -- Universidade
Federal do Rio Grande do Sul, Campus Litoral Norte,
Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional
Profissional em Ensino de Física, Tramandai, BR-RS,
2020.

1. Teoria da Relatividade Restrita. 2. Física
Moderna. 3. Guia Ilustrado sobre Relatividade
Restrita. 4. Aprendizagem Significativa. 5. Ensino
Médio. I. Santos, Márcio Gabriel dos, orient. II.
Witt, Neila Seliane Pereira, coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus orientadores, professores Márcio Gabriel dos Santos e Neila Seliane Pereira Witt, pelo aceite e disposição para participarem comigo desta jornada pelos caminhos da educação, compartilhando comigo preciosas experiências e ensinamentos.

A todos os professores que contribuíram para o meu desenvolvimento profissional e pessoal.

Aos colegas de estudo pela amizade, parceria e troca de conhecimentos.

Aos familiares pelo apoio e paciência.

Aos meus colegas, companheiros de trabalho, pelo incentivo e por acreditarem na minha capacidade.

À direção da escola que aceitou participar desta proposta permitindo que eu pudesse desenvolver meu trabalho.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, pela oferta deste curso no Campus do Litoral Norte de Tramandaí/RS, que proporcionou que pudesse realizar essa caminhada.

E, agradeço a todos que de uma forma ou outra estiveram envolvidos e colaboraram, mesmo que pelo oferecimento da mínima gentileza, onde dispensaram minutos de seu tempo com a minha pessoa.

Por fim, um agradecimento especial aos meus alunos das turmas 201 e 301 do ano de 2019, pelo envolvimento e apoio ao meu projeto.

RESUMO

O presente trabalho propõe-se a elaborar uma sequência didática em guia ilustrado, utilizando-os para possibilitar aprendizagens significativas no ensino da Teoria da Relatividade Restrita (TRR), de Albert Einstein – tópico da Física Contemporânea. O “Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita”, traz a abordagem da evolução da teoria relativística, enfocando a História e Filosofia da Ciência (HFC). Tal sequência didática está fundamentada na perspectiva da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, no Interacionismo Social de Lev S. Vygotsky e na relevância de Mapas Conceituais para Joseph D. Novak. Além das recomendações legais (PCNs) para inserção do ensino da Física Moderna no Ensino Médio, justifica-se o desenvolvimento desta proposta pela verificação da ausência de tópicos da Física Contemporânea no programa curricular de ensino. Tal constatação tem como base a experiência docente durante seis anos na educação básica, aonde verificou-se a ausência de abordagem dessa temática. O produto educacional foi aplicado em duas turmas do Ensino Médio, sendo uma do segundo ano e outra do terceiro ano, de uma escola pública estadual, localizada na cidade de Capão da Canoa/RS, em 2019. Verificou-se a contribuição da proposta na aprendizagem dos estudantes, promovendo conhecimentos a partir de atividades interativas, autônomas, colaborativas e integradoras de compreensões e significados. Para além, em momentos como os debates, percebeu-se um despertar do gosto pelos estudos, possibilitando o desenvolvimento de uma visão crítica e reflexiva sobre as concepções da ciência e compreensão dos fenômenos físicos. Sobre essas proposições foi possível concluir, durante o desenvolvimento do produto, que é plausível estimular o interesse dos alunos em estudar temas da Física Moderna, o reconhecimento da ideia de tempo e sua relatividade, através de reflexões sobre os conceitos de espaço e tempo newtoniano e espaço-tempo einsteiniano. Esse material de apoio, está disponibilizado nas versões impressa e digital, tornando o acesso gratuito, aos professores que desejarem introduzir a teoria relativística no planejamento de suas aulas, para a consulta dos alunos e pessoas em geral que se interessam em compreender esse tópico da Física.

Palavras-chave: Sequência Didática. Guia Ilustrado 2. Teoria da Relatividade Restrita 3. Aprendizagem Significativa 4. Física Contemporânea.

ABSTRACT

The present study aims to elaborate a didactic sequence and an illustrated guide. Together, the materials intent to make meaningful learning possible and to promote the teaching of Einstein's Special Theory of Relativity (STR) - a topic of Contemporary Physics. The "Illustrated Guide to Special Relativity", presents the evolution of the relativistic theory, focusing on the History and Philosophy of Science (HPS) and composes the classes of the didactic sequence mentioned before. The didactic sequence, as well as the guide are based on the perspective of David Ausubel's Meaningful Learning, Lev Vygotsky's Social Interactionism and on the relevance of Joseph D. Novak's Concept Maps. In addition to the legal recommendations (PCNs) to insert the teaching of Modern Physics in High School, the development of this proposal is justified, due to the verification of the absence of Contemporary Physics topics in the syllabus during a six-year teaching experience in elementary school. The educational product was applied to two high school classes, being a junior and a senior year, from a state public school, located in Capão da Canoa / RS, in 2019. A contribution to students' learning was verified, promoting the construction of knowledge from interactive, autonomous, collaborative and integrating activities of understandings and meanings. Furthermore, in moments such as the debates, there was an awakening to the appreciation of school learning, enabling the development of a critical and reflective view on the concepts of science and the understanding of physical phenomena. Its possible to conclude, regarding these propositions, during the development of the product, that it is plausible to stimulate students' interest in studying themes of Modern Physics, the recognition of the idea of time and its relativity, through reflections on the concepts of Newtonian space and time along with Einstein's space-time theory. This supporting material is made available in printed and digital versions, making the access free of charge for teachers who wish to introduce relativistic theory in the planning of their classes or students (and people in general) interested in understanding this topic of Physics.

Keywords: Didactic Sequence. Illustrated Guide 2. Special Theory of Relativity 3. Meaningful Learning 4. Contemporary Physics.

Para Mãe, Pai, Gabe e Sara

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Capa do Guia Ilustrado	27
Figura 2: Sumário do Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita.....	29
Figura 3: Albert Einstein e seu Universo Inflável (GOLDSMITH, 2008)	30
Figura 4: Guia Mangá Relatividade (NITTA, 2011)	30
Figura 5: Einstein o Reformulador do Universo (VIEIRA, 2003).....	31
Figuras 6 e 7: História em quadrinhos criada por estudantes	31
Figura 8: Ilustração 1.....	33
Figura 9: Ilustração 2.....	33
Figura 10: Capa da primeira versão do Guia Ilustrado.....	34
Figura 11: Sistema de Coordenadas.....	38
Figura 12: Esquema A.....	40
Figura 13: Esquema B.....	40
Figura 14: Referenciais S e S' movendo-se com velocidade relativa.....	42
Figura 15: Teorema de Pitágoras.....	46
Figura 16: Trem se deslocando com velocidade uniforme próxima a c	49
Figura 17: Paradoxo Hidrostático	53
Figura 18: Paradoxo dos Gêmeos na visão de Paul Langevin.....	55
Figura 19: “A Persistência da Memória”, obra de Salvador Dalí datada de 1931	59
Figura 20: Evolução da Teoria	61
Figura 21: Sugestão para ampliação do estudo	62
Figura 22: Os Postulados de Einstein	66
Figura 23: “Vamos pensar um pouco!!!”	67
Figura 24: Atividade proposta no Guia Ilustrado – Mapa Conceitual.....	69
Figura 25: Atividade no Guia Ilustrado 1	72
Figura 26: Atividade no Guia Ilustrado 2	75
Figura 27: Relatividade do Comprimento	77
Figura 28: Energia Relativística	78
Figura 29: Registro de conclusões sobre o tema Energia Relativística.....	79
Figura 30: Roleta do Desafio	80
Figura 31: “Mr. Tompkins in Wonderland” (GEORGE GAMOW).....	81
Figura 32: Aluno do 2º Ano	90
Figura 33: Aluna do 3º Ano	90

Figura 34: Questão 9 – 201	101
Figura 35: Questão 9 – 301	102
Figura 36: Colorindo o Guia – Turma 201	105
Figura 37: Atividade efetuada por uma aluna do 3º ano	106
Figura 38: As Leis de Newton – Turma 201	107
Figura 39: As Leis de Newton – Turma 301	108
Figura 40: Mapa Conceitual sobre os Postulados – Turma 201	109
Figura 41: Mapa Conceitual sobre os Postulados – Turma 301	110
Figura 42: Experiência de Pensamento da dupla 1 – 2º ano	113
Figura 43: Experiência de Pensamento da dupla 2 – 3º ano	113
Figura 44: Atividade realizada por um aluno do 2º ano	119
Figura 45: Atividade realizada por um aluno do 3º ano	119
Figura 46: “Vamos Matematizar!”	121
Figura 47: Mapa Conceitual – Turma 201	128
Figura 48: Mapa Conceitual – Turma 201	128
Figura 49: Mapa Conceitual – Turma 301	130
Figura 50: Mapa Conceitual – Turma 301	131
Figura 51: Turma 201	139
Figura 52: Turma 301	139
Figura 53: Turma 201	143
Figura 54: Turma 301	143

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Cronograma de tópicos orientadores de cada aula	58
---	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Questão 1 - 201	92
Gráfico 2: Questão 1 - 301	92
Gráfico 3: Questão 2 - 201	93
Gráfico 4: Questão 2 - 301	93
Gráfico 5: Questão 3 - 201	95
Gráfico 6: Questão 3 - 301	95
Gráfico 7: Questão 4 - 201	96
Gráfico 8: Questão 4 - 301	96
Gráfico 9: Questão 5 - 201	97
Gráfico 10: Questão 5 - 301	97
Gráfico 11: Questão 6 - 201	98
Gráfico 12: Questão 6 - 301	98
Gráfico 13: Questão 7 - 201	99
Gráfico 14: Questão 7 - 301	99
Gráfico 15: Questão 3 - 201	137
Gráfico 16: Questão 3 - 301	137
Gráfico 17: Questão 4 – a - 201	138
Gráfico 18: Questão 4 – a - 301	138
Gráfico 19: Questão 4 – b - 201	140
Gráfico 20: Questão 4 – b - 301	140
Gráfico 21: Questão 4 – c - 201	141
Gráfico 22: Questão 4 – c - 301	141
Gráfico 23: Questão 4 – d - 201	142
Gráfico 24: Questão 4 – d - 301	142

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1: Registro da Experiência de Pensamento – Turma 201	114
Fotografia 2: Registro da Experiência de Pensamento – Turma 301	115
Fotografia 3: Jogando a Roleta do Desafio - Turma 301.....	122
Fotografia 4: Jogando a Roleta do Desafio - Turma 201.....	123
Fotografia 5: Elaborando o Mapa Conceitual - Turma 201.....	127
Fotografia 6: Apresentando o Mapa Conceitual - Turma 201.....	127
Fotografia 7: Elaborando o Mapa Conceitual - Turma 301.....	129
Fotografia 8: Apresentando Mapa Conceitual - Turma 301.....	130

LISTA DE SIGLAS

AE Atendimento Especializado

AS Aprendizagem Significativa

EJA Educação para Jovens e Adultos

HFC História e Filosofia da Ciência

MEC Ministério da Educação e Cultura

MNPEF Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

PCN Parâmetros Curriculares Nacionais

PCNEM Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio

PCN+ Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio

RS Rio Grande do Sul

TRR Teoria da Relatividade Restrita

UFRGS Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	Teoria da Aprendizagem Significativa (AS)	20
2.2	Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa	22
2.3	Interacionismo Social de Vygotsky	23
2.4	História e Filosofia da Ciência (HFC)	24
2.5	Aspectos legais para o ensino de Física Moderna	25
2.6	Guia ilustrado como material potencialmente significativo	26
2.6.1	Os desafios na elaboração Guia ilustrado	32
2.7	Sequência Didática	34
3	TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA	36
3.1	Referencial Inercial	37
3.2	Os Postulados de Einstein	39
3.3	As Consequências dos Postulados de Einstein	41
3.4	As Transformadas de Lorentz	43
3.5	Dilatação Temporal	45
3.6	Contração do Comprimento	47
3.7	Sincronização de Relógios e Simultaneidade	48
3.8	Energia Relativística	50
3.9	Paradoxo do Gêmeos	52
4	METODOLOGIA	55
4.1.	Sobre a instituição de ensino e os sujeitos envolvidos na aplicação do produto educacional	56
4.2	Sequência de Ensino-Aprendizagem	57
4.2.1	Sequência de Ensino e Aprendizagem - Planos de Aula	59
4.3	Apresentação e discussão dos resultados	86
4.3.1	Aula 1	88
4.3.2	Mapeamento dos conhecimentos prévios do 2º e 3º Ano	91
4.3.3	Análise dos conhecimentos prévios das turmas 201 e 301	102
4.3.4	Aula 2	103
4.3.5	Aula 3	106
4.3.6	Aula 4	111
4.3.7	Aula 5	115

4.3.8 Aula 6	120
4.3.9 Aula 7	123
4.3.10 Aula 8	126
4.4 Análise da Avaliação Escrita - 2º e 3º Ano	132
4.5 Reflexões sobre a Avaliação e Auto Avaliação realizada pelos alunos	143
5 CONCLUSÃO	150
REFERÊNCIAS	153
APÊNDICES	158
Apêndice A – Produto Educacional	159
Apêndice B – Termo de Autorização de Imagem	252
Apêndice C – Outros Registros de Atividades e Fotografias	255

1 INTRODUÇÃO

A busca pela compreensão da existência, bem como questionamentos inerentes aos mistérios da vida e do surgimento do Universo, conduz a espécie na trajetória da sua evolução através do tempo. Para acompanhar e entender o presente, deve-se reconhecer as evoluções também no modo de pensar e fazer ciência.

Com essa concepção em mente, há a vontade de apontar aos estudantes caminhos de novas ideias, sem ignorar o pensamento de outrora, como no estudo da Física Moderna, iniciando com a introdução da Teoria da Relatividade Restrita, no contexto curricular do Ensino Médio.

Assim, o presente trabalho propõe a implementação de uma Sequência Didática para ensinar um tópico da Física Contemporânea, a Teoria da Relatividade Restrita – TRR (Einstein), fazendo uso de um *Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita*. Justifica-se tal escolha na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel (1918-2008), que sugere “uma visão cognitiva, não behaviorista, à aprendizagem e ao ensino”. (MOREIRA, 2017, p. 9)

Ao desenvolver uma sequência didática para ensinar a relatividade einsteiniana, ratifica-se que este trabalho está em conformidade com as recomendações elencadas nas linhas de pesquisa do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF, que atenta para atualização do currículo de Física no Ensino Médio, no que se refere a contemplação da Física Moderna.

A proposta foi desenvolvida no primeiro semestre de 2019, em duas turmas do Ensino Médio, sendo uma turma do segundo ano e uma turma do terceiro ano, ambas pertencentes a mesma escola pública da rede estadual, no município de Capão da Canoa, RS.

A implementação do presente produto educacional objetiva elaborar uma estratégia de ensino diferenciada para ensinar a Teoria da Relatividade Restrita, a partir do Guia Ilustrado, contribuir para a aprendizagem dos alunos e disponibilizar um material de fácil acesso, que possa servir de apoio aos professores que desejam introduzir a Física Moderna no Ensino Médio.

A inserção dos conceitos relativísticos propõe a mediação do professor para a interação cognitiva entre conhecimentos apresentados e conhecimentos prévios dos alunos, articulando ao ensino da teoria a utilização do guia ilustrado, um material potencialmente significativo e contextualizando a evolução da ciência com os fatos históricos em que a teoria foi postulada.

Considera-se importante justificar as motivações que levaram à escolha do tópico de Física. Observando as recomendações legais nas diretrizes apresentadas nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs), sobre a inserção do ensino da Física Moderna no Ensino Médio, pretende-se corroborar o ensino para o pensamento crítico, científico, tecnológico, histórico, filosófico e social, com perspectiva de mundo e compreensão do Universo.

Além disto, durante experiência de mais de seis anos como docente, verificou-se ausência de temas da Física Moderna no programa curricular do ensino de Física no Ensino Médio.

Freire, ao afirmar que “quem ensina aprende ao ensinar e quem aprende ensina ao aprender” (1996, p. 23), traz outra motivação para o ensino, no âmbito de um desafio pessoal, pois trata-se de um tópico da Física que exige um aprofundamento e certo domínio, já que seus conceitos fogem do “senso comum”.

Na realidade adversa e diversificada em que vivemos “há um conhecimento acumulado que nos permite definir algumas condições que abrem a possibilidade de pensar em *jogar outro jogo dentro da escola*” (SADOVSKY, 2010, p.11). Dessa forma, um dos objetivos da docência deve ser o desenvolvimento de aulas atrativas, utilizando materiais que podem ser potencialmente significativos, como um guia ilustrado de linguagem acessível que mantenha o rigor científico. No presente trabalho, o mesmo foi elaborado com personagens que fazem parte do nosso cotidiano, para facilitar a explicação dos fenômenos físicos em questão. Disponibiliza-se o referido material nas versões impressa e digital para que possa ser utilizado conforme o planejamento da aula e/ou realidade da escola.

As premissas da aprendizagem significativa, conversam com o enfoque vygotskyano, uma vez que a aprendizagem significativa, por definição, envolve a aquisição/construção de significados e nas reflexões de Lev Vygotsky (2007), a

interação social e a linguagem são fundamentais para a captação de significados, onde a aquisição de significados e o interacionismo social são inseparáveis na ótica de Vygotsky, pois aproxima-se da realidade em vários aspectos na prática pedagógica nas salas de aula.

Ainda, é utilizada a estratégia facilitadora dos Mapas Conceituais, proposta por Joseph Novak (1972), que contribui para a aprendizagem significativa, pois esses recursos instrucionais promovem a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa, uma vez que são processos relacionados que ocorrem à medida que a aprendizagem significativa acontece.

Sabemos que a história da Física não está limitada à história de seus protagonistas, nem a ciência moderna surgiu de um dia para o outro, muito menos de uma única proposta. A sua origem e evolução estão alicerçadas numa construção gradativa, num esforço coletivo. Desse modo, a abordagem da História e Filosofia da Ciência (HFC) é recomendada, pois contextualiza o momento histórico da evolução da teoria em estudo. “História da Ciência é o estudo da (s) forma (s) de elaboração, transformação e transmissão de conhecimentos sobre a natureza, as técnicas e as sociedades, em diferentes épocas e culturas”. (BELTRAN, 2014, p. 15)

Por conseguinte, este trabalho está organizado em 5 capítulos contendo seções e subseções com a seguinte disposição: o primeiro capítulo expõe uma introdução geral de todo o trabalho, familiarizando o leitor sobre as atividades e motivações na qual foi construída esta proposta; no capítulo 2, é descrita a fundamentação teórica em que está embasado o presente trabalho. Tendo na seção 2.1, o aprofundamento dos conceitos da teoria cognitiva de David Ausubel - Aprendizagem Significativa (AS). Na seção 2.2, a contemplação da estratégia significativa dos Mapas Conceituais de Novak. Na seção 2.3, o pensamento sócio interacionista de Vygotsky. Seguindo, na seção 2.4, é abordada a importância das reflexões da História e Filosofia da Ciência (HFC) no processo de ensino, especialmente na Teoria da Relatividade Restrita. Em prosseguimento, a seção 2.5, expõe os aspectos legais, como o que preconiza os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) para ensino da Física Moderna no Ensino Médio. Na seção 2.6 e subseção 2.6.1, a descrição e como foi desenvolvido o Guia Ilustrado. Na seção 2.7 uma reflexão a respeito das Sequências Didáticas.

No capítulo 3 e seções subsequentes (3.1 a 3.9), a sustentação teórica da Relatividade Restrita de Albert Einstein, com base em vários autores elencados nas referências, que poderão servir para estudo e aprofundamento da teoria.

O capítulo 4, apresenta a metodologia para o desenvolvimento desta proposta, onde na seção 4.1, há a descrição da localização da instituição de ensino, bem como dos sujeitos que se pretende aplicar o produto educacional. Na seção 4.2, a fundamentação da Sequência de Ensino e Aprendizagem, detalhada nas 6 aulas contidas na subseção 4.2.1 e na seção 4.3 e subseções subsequentes (4.3.1 a 4.3.10), a apresentação e discussão dos resultados da aplicação do produto educacional com base do levantamento de dados. Nas seções posteriores (4.4 e 4.5) são discutidas a análise da avaliação realizada como uma das estratégias de reconciliação integrativa e a exposição da avaliação do processo feita pelos estudantes.

No capítulo 5 (conclusão), são expostas as considerações finais referentes aos resultados obtidos, a partir da retomada das pretensões desta proposta.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo apresenta-se a argumentação teórica de ensino e aprendizagem, na qual foi fundamentada esta proposta, desde o embasamento da Teoria da Aprendizagem Significativa (seção 2.1) até as linhas teóricas que consolidam a aprendizagem com significado, como a visão de Joseph Novak e seus Mapas Conceituais (seção 2.2) e o interacionismo social de Vygotsky (seção 2.3). Também é abordado o embasamento teórico relacionado à História e Filosofia da Ciência (seção 2.4), os aspectos legais para ensino de Física vigente no país (seção 2.5) e as informações sobre a criação do Guia Ilustrado sobre Relatividade (seção 2.6), bem como reflexões sobre a importância de uma sequência didática no processo ensino-aprendizagem (2.7).

2.1 Teoria da Aprendizagem Significativa (AS)

Como já mencionado na introdução, esta proposta de trabalho está fundamentada na teoria de David Ausubel (1918 - 2008), cujo foco principal é o de aprendizagem significativa (MOREIRA, 1995), relacionando novas informações com outras já existentes, demandando para um processo de ensino e aprendizagem que realmente cause modificação na estrutura cognitiva do indivíduo.

De acordo com tal teoria, a aprendizagem é influenciada pelo o que o estudante já sabe, cabe ao educador averiguar os conhecimentos prévios dos alunos com relação ao novo conhecimento que deverá ser abordado. Observando que o que o aluno já sabe, não significa apenas a ideia de pré-requisito, mas sim de conhecimentos relevantes para o recebimento de uma nova informação. Sendo que o mapeamento que o professor realizar deve levar em consideração ideias, conceitos, relações feitas, a partir da estrutura cognitiva do aluno, para assim fazer um bom embasamento naquilo que o aprendiz já tem conhecimento (MOREIRA, 2009, 2016).

Assim, podemos afirmar que a teoria de Ausubel está diretamente voltada à aprendizagem cotidiana das salas de aula, pois o que mais “influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe”, tendo como premissas fundamentais o conhecimento prévio e a predisposição do aluno para aprender.

Conhecimentos prévios são “cognições já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz” (MOREIRA;MASSONI, 2016, p. 153), que podem ser revelados com o uso de *organizador prévio* que serve como ligação entre o que o aluno já sabe e o que ele irá conhecer. O conhecimento prévio é denominado *subsunçor*, que significa inserir-se ancorar-se. Essa ancoragem demanda de um processo de interação entre dois conhecimentos que se modificam, onde o novo ganha significados e o subsunçor torna-se mais rico e estável. Pode-se, então, dizer que “a aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação “ancora-se” em conceitos relevantes (subsunçores) preexistentes na estrutura cognitiva”. (MOREIRA, 2009, 2016, p. 7)

Os subsunçores primordiais são adquiridos por meio de formação de conceitos até a idade escolar nas crianças. Já os novos conceitos são adquiridos pelo processo de *assimilação* nas crianças mais velhas e nos adultos. E quando não houver subsunçores necessários à aprendizagem significativa, pode-se apropriar de organizadores prévios que servem como ponte entre o que o aluno já sabe e o que ele precisa saber. (MOREIRA, MASINI, 1982)

É indispensável, portanto, uma facilitação de uma aprendizagem significativa crítica que possa levar o aluno a aprender a aprender criticamente, conforme Moreira (2005). Para tal, faz-se necessário que o professor abandone a narrativa e centralize os alunos para atividades colaborativas, por exemplo, onde possam buscar respostas para as questões, através do estímulo às perguntas. Portanto, deve-se abandonar o modelo clássico da narrativa, que conforme Finkel¹ (2008) é aquele em que o professor ensina falando aquilo que pensa ser o que os estudantes devam aprender, gerando a aprendizagem mecânica, onde os alunos decoram informações para serem repetidas. (MOREIRA, 2010)

A aprendizagem mecânica é essencialmente memorística, sem significado, sem compreensão, sem capacidade de explicar, de transferir. Apenas reproduz, a curto prazo, respostas em provas quando a matéria é a mesma que “foi dada” pelo professor nas aulas. É a que predomina na escola. Moreira (1997), reforça que a aprendizagem deve ser, ao invés, significativa e crítica.

O presente trabalho debruça-se na teoria ausubeliana, propondo o entusiasmo dos estudantes quanto à aprendizagem significativa através de

1 Finkel, D. (2008). *Dar clase de boca cerrada*. Valencia: Publicaciones de la Universitat València. Tradução para o espanhol do original *Teaching with your mouth shut*, 292p.

propostas de tarefas que animem os mesmos na busca de relações entre seus conhecimentos prévios e as novas informações apresentadas.

Corroborando a ideia acima, Romero (2010), atenta para o papel dos professores como motivadores do encorajamento dos estudantes para a aprendizagem de significado, através de indicação de atividades que incentivem os mesmos a atuarem como agentes nesse processo. Para isso, Ausubel (1978, p. 41) aponta condições para a ocorrência da aprendizagem significativa, uma vez que segundo ele a “essência do processo de aprendizagem significativa é que ideias simbolicamente expressas sejam relacionadas de maneira substantiva e não-arbitrária, ao que o aprendiz já sabe”.

Uma das condições é que o material a ser estudado seja potencialmente significativo. Isso implica em um material que seja relacionável à estrutura cognitiva do aprendiz e a outra condição é que o estudante manifeste uma disposição em relacionar o material à sua estrutura cognitiva.

Dois processos podem ocorrer a medida que a aprendizagem significativa vai acontecendo que são a *diferenciação progressiva* e a *reconciliação integrativa*. Esses dois princípios organizacionais e programáticos podem ocorrer simultaneamente, onde a diferenciação progressiva propõe que ideias referente a matéria de ensino sejam abordadas no início do ensino e progressivamente diferenciadas ao longo do processo. Já a reconciliação integrativa propõe relacionar as diferenças e similaridades integrando ou trocando ideias similares. Em outras palavras ambos “são idas e voltas entre o geral e o específico, sempre passando por conceitos e proposições intermediários, procurando facilitar a progressividade da aprendizagem significativa.” (MOREIRA, 2017, p. 70)

2.2 Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa

Os Mapas Conceituais foram desenvolvidos por Joseph Donald Novak em 1972, e indicam “relações entre conceitos ou entre palavras que usamos para representar conceitos” (MOREIRA, 1997), constituindo diagramas hierárquicos de conceitos que se relacionam por linhas, a fim de estruturar sinteticamente um conteúdo de estudo. (MOREIRA, MASSONI, 2016)

Pode-se afirmar que a teoria de ausubeliana deveria ser “Teoria de Aprendizagem de Ausubel e Novak”, já que este é coautor do trabalho dele,

ampliando o escopo do mesmo ao se referir à educação como um conjunto de experiências cognitivas, afetivas e psicomotoras.

A premissa básica da teoria de Novak é que os seres humanos fazem três coisas: pensam, sentem e atuam (fazem), onde deve ocorrer troca de pensares (significados) e sentimentos entre o educando e o professor. Novak acrescenta cinco elementos para os eventos educativos: aprendiz, professor, conhecimento (matéria de ensino), contexto e avaliação. Esses elementos são construídos em um mapa conceitual.

De acordo com Romero (2010), a apresentação de conceitos utilizando um mapa conceitual, que segundo ele se configura como um organizador prévio, como uma ponte cognitiva, facilitando a aprendizagem mais específica que se inicia com um entendimento consistente dos conceitos mais inclusivos do tema considerado.

É importante salientar que mapas conceituais podem não ser entendidos no primeiro momento pelos alunos, devido a dificuldades em expressar as relações entre os conceitos. Desse modo, é preciso estar consciente de que o mais relevante é o processo de fazer um mapa conceitual, não o produto final. Portanto, não existe mapa conceitual correto. O que devem ser considerados são as evidências de que o aluno está aprendendo significativamente o conteúdo. (MOREIRA, 2010, p. 22, 23, 26)

Em suma, podemos afirmar que os mapas conceituais estão fundamentados na teoria de Ausubel, potencializando a aprendizagem significativa não somente como estratégia de análise de conteúdo curricular, mas também como instrumento de avaliação de aprendizagem. (MOREIRA, 2013)

2.3 Interacionismo Social de Vygotsky

A captação de significados dá-se a partir da interação social e da linguagem, conforme Moreira e Massoni (2016). Os autores apontam também que

o interacionismo social de Vygotsky remete que os processos ou funções mentais superiores, como o pensamento e a linguagem, originam-se por meio da socialização, ou seja, o desenvolvimento cognitivo está referenciado ao contexto social, histórico e cultural de onde o indivíduo está inserido. Portanto, na interação social, a linguagem e a fala são importantíssimas, pois a linguagem são os “signos” e a fala é fundamental no desenvolvimento da socialização (MOREIRA;MASSONI, 2016).

Assim, “Uma palavra é um microcosmo da consciência humana”. (VYGOTSKY, 1991, p. 132). Com essa frase Vygotsky ratifica a importância da palavra no desenvolvimento do pensamento e na evolução histórica da consciência. A compreensão da fala depende do entendimento do pensamento. Desse modo, um pensamento pode ser comparado a “uma nuvem descarregando uma chuva de palavras” (Idem).

Em *Pensamento e Linguagem*, afirma-se que o sujeito não é apenas ativo, pois forma seus próprios conceitos através de relações intra e interpessoais, e nas trocas com outros sujeitos e consigo próprio (Ibidem). Com isso, vão se apropriando de conhecimentos, permitindo assim a formação da própria consciência. Cabe ao educador, portanto, orientar as discussões em sala de aula, para que a aprendizagem ocorra mediante a discussão no grupo, onde cada um deles consiga formar seus próprios conceitos. Tal processo influencia a internalização das atividades cognitivas de modo a gerar um crescimento para o aluno, tanto na fala, como no uso de termos científicos durante as discussões, o que auxiliará a escrita de textos mais complexos, por exemplo, com o uso de conceitos ou ideias específicas que visem demonstrar o efetivo aprendizado. Percebemos que na aprendizagem significativa, o uso da linguagem e da escrita podem ser ferramentas de grande utilidade, desde que bem orientadas pelo professor.

2.4 História e Filosofia da Ciência (HFC)

Grande parte dos textos de física brotam de livros como um “coelho que sai de uma cartola” (ROCHA, 2015), fazendo com que leitores acreditem em gênios fantásticos, como Isaac Newton e sua maravilhosa maçã que cai em sua cabeça, evidenciando a relação de $\vec{F} = m\vec{a}$, sendo que o próprio Newton, em sua fala, quando de sua posse na Royal Society, afirmou: “*se longe enxerguei é porque estive apoiado em ombros de gigantes*”, remetendo às suas descobertas embasamento em ideias de outrem, clarificando a historicidade contida em seu pensamento.

Os livros de ciências (Idem), particularmente os de ensino de física, expõem um estudo superficial das teorias físicas deixando de lado a influência do “tempo histórico” em que ocorreram as descobertas e a evolução do pensamento científico. Com isso, muitos equívocos foram disseminados, não somente com relação aos

personagens envolvidos, mas também com relação a formulação de suas teorias. Para Lakatos (1978, p.21), “A Filosofia da Ciência sem História da Ciência é vazia; a História da Ciência sem Filosofia da Ciência é cega”. Tal reflexão leva a pensar que a história da ciência como estratégia de ensino, deve enriquecer o conhecimento possibilitando para uma visão mais ampla sobre as questões históricas que muitas vezes interferiram em resultados científicos, pois apresenta uma visão sobre a natureza de pesquisa, fazendo uma relação entre ciência, tecnologia e sociedade. (SILVA, 2006)

2.5 Aspectos legais para o ensino da Física Moderna

Os Parâmetros Curriculares Nacionais - PCNs sugerem que

[...] a Física deve apresentar-se, portanto, como um conjunto de competências específicas que permitam perceber e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos, presentes tanto no cotidiano mais imediato quanto na compreensão do universo distante, a partir de princípios, leis e modelos por ela construídos. (PCN+, 2002, p. 2)

Muitas vezes, ocorre um desencontro entre o que a escola ensina aos alunos e o que eles vivenciam em seu “mundo”, principalmente no que diz respeito ao conhecimento das ciências e suas tecnologias. (SASSERON, 2010) Ainda, a escola ensina a Física de séculos passados, onde espaço e tempo ainda são grandezas absolutas (Idem). Nesse contexto, como a escola poderá formar estudantes investigadores da realidade? Como poderão promover mudanças se não reconhecerem o próprio mundo em que vivem?

Para Moreira (2017, p. 23), diversas variáveis, como a falta de professores e/ou o despreparo dos mesmos, também as más condições de trabalho, estimulam a aprendizagem mecânica de conteúdos desatualizados e a matéria ensinada não passa do século XIX, onde “continua-se ensinando as alavancas, o plano inclinado, o MRU... e nada de Quântica, de Partículas, de Plasma, de Supercondutividade, ...”

O ensino de Física sofre alterações desde o início do século XXI com a publicação dos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM) e as Orientações de Ensino Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais do

Ensino Médio (PCN+). Portanto, o ensino de Física nas escolas deve mudar no sentido de que as novas concepções, principalmente as tecnológicas, devem ser trabalhadas em sala de aula, pois essa é a realidade da maioria dos nossos alunos. Obviamente, não é necessário que façamos um desmantelamento da história construída por séculos, mas atualizá-la estabelecendo um parâmetro entre os conceitos antigos e os atuais. A Física Moderna está inserida em todos os campos do conhecimento, conversando de forma fluida com os outros saberes, o que potencializa a interdisciplinaridade curricular.

O contexto da Física Moderna se atualiza quando traz para sala de aula o funcionamento dos aparelhos usados pela medicina, como por exemplo um tomógrafo computadorizado. Contextualizar o conteúdo que se quer aprendido significa, em primeiro lugar, assumir que todo conhecimento envolve uma relação entre sujeito e objeto. O tratamento contextualizado do conhecimento é recurso que a escola tem para retirar o aluno da condição de espectador passivo. Conclui-se, nesse ponto, que nunca é demais insistir que não se trata de se incorporar elementos da ciência contemporânea simplesmente por conta de sua importância instrumental utilitária. Trata-se, isso sim, de se “prover os alunos de condições para desenvolver uma visão de mundo atualizada, o que inclui uma compreensão mínima das técnicas e dos princípios científicos em que se baseiam”. (BRASIL, 2000, p.8)

2.6 Guia ilustrado como material potencialmente significativo

Conforme o dicionário da Língua Portuguesa (BECHARA, 2011), a palavra guia é um substantivo com vários significados, como formulário de recolhimento de impostos, documento com que se recebe mercadorias, colar de contas coloridas usado por umbandistas, pessoa que conduz outras pessoas, guia turístico, roteiro de viagens, manual de instruções e ponto de referência, no sentido figurado.

Faremos uso de um desses significados e uma reflexão, sem nenhuma preocupação, sobre o que é um guia, de acordo com nossas concepções cotidianas mais usuais.

Se pensarmos em fazer um passeio em um lugar desconhecido, talvez devamos solicitar a ajuda de um guia. Numa trilha, por exemplo, o guia deve indicar o melhor caminho, os trechos perigosos que devem ser evitados, as mais bonitas

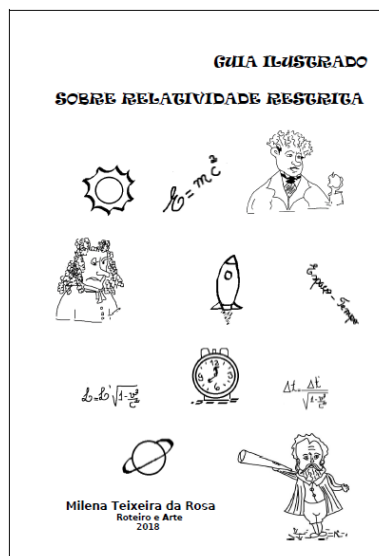
paisagens a serem apreciadas. Mas, apesar do guia ter o devido conhecimento do local, ele não expõe todos os trechos com antecedência, ele vai indicando o trajeto e os pontos a serem trilhados, deixando que seus desbravados seguidores façam sua própria escalada, sua própria aventura de descoberta e aprendizado.

Com essa simples analogia, pode-se explicar a ideia do uso de um guia ilustrado para ensinar a teoria relativística. Neste caso, vamos considerar o aluno como sendo o desbravador, na qual o ensino deve estar centrado; o professor em conjunto com o livro é o guia, é o mediador do ensino; a teoria relativística é a trilha de aprendizagem.

Como já dizia Rubem Alves, só aprendemos aquelas coisas que nos dão prazer, a elaboração do Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita, propõe o favorecimento de aulas prazerosas, onde os alunos possam participar ativamente, uma vez que o livro apresenta não somente textos, mas exercícios para serem desenvolvidos, desafios, situações-problema para discussão, sendo essas atividades para serem realizadas tanto individualmente como em grupo. Ainda é apresentado com ilustrações e personagens que são facilmente identificados no cotidiano dos alunos, como a “Professora Mila e seu gato Neno (ALVES, 1986, p. 106).

Na figura 1 temos a capa do guia com ilustrações que identificam a teoria a ser estudada:

Figura 1: Capa do Guia Ilustrado



Fonte: da própria autora.

Extraída do Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita (ROSA, 2018).

Por que um guia ilustrado? Na literatura de Vygotsky (2010), na seção sobre o *desenvolvimento do simbolismo do desenho*, há referência de que o desenho reflete o progresso da linguagem falada, confirmando a importância de trabalhar com ilustrações. Em determinadas atividades propostas no guia, há a solicitação de ilustrações em que o aluno deverá expressar sua percepção ou compreensão de determinado estudo. Ainda, segundo essa literatura foi observado como o desenho das crianças se torna linguagem escrita real. Essa verificação foi feita mediante experimentação direcionada às crianças que tiveram a tarefa de representar simbolicamente algumas frases.

[...] o desenho começa quando a linguagem falada já alcançou grande progresso e já se tornou habitual na criança. [...] a fala predomina no geral e modela a maior parte da vida interior, submetendo-a a suas leis. Isso inclui o desenho. (VYGOTSKY, 2010, p. 135)

As ilustrações foram feitas pela autora desta proposta, sendo algumas criadas e outras adaptadas, sendo que primeiramente foram desenhadas a próprio punho e depois digitalizadas.

O guia foi desenvolvido com embasamento teórico no próprio Einstein e em vários autores que abordam a teoria relativística, sendo que partes dos textos são interpretações da autora e outras citações das literaturas referidas.

O guia ilustrado pode ser um material potencialmente significativo? Em consenso com Moreira e Massoni (2016, p. 156), “o significado está nas pessoas, não nas coisas”, porém, materiais instrucionais podem de um modo geral ser potencialmente significativos, desde que apresentem uma estrutura lógica, estejam devidamente organizados, tenham uma linguagem adequada e sejam aprendíveis. Observando que, a metodologia usada pelo professor, ao fazer uso de um material de apoio em suas aulas, demandará sua potencialidade no processo de ensino.


O livro é composto de 60 páginas e está estruturado em 8 capítulos, que abordam temas da relatividade restrita, porém, tendo em vista que as sequências didáticas têm duração relativamente curta, não seria possível desenvolver todos os temas.

Portanto, foram elencados alguns desses temas para serem trabalhados e que estão em ordem sequencial no guia, que são: a evolução da teoria, os Postulados de Einstein e suas consequências, a questão da simultaneidade, a

dilatação temporal, a relatividade do comprimento e a energia relativística. Na Figura 2, apresenta-se o sumário do livro:

Figura 2 – Sumário do Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita

Sumário	
Principais conteúdos 4	
1	Você já pensou em viajar na velocidade da luz? 6
2	A evolução da teoria 7
3	Os postulados de Einstein..... 19
4	As consequências dos postulados 26
5	Sincronização de relógios e simultaneidade 28
6	Dilatação temporal 33
7	Relatividade do comprimento 42
8	Energia Relativística 47
Referências 54	

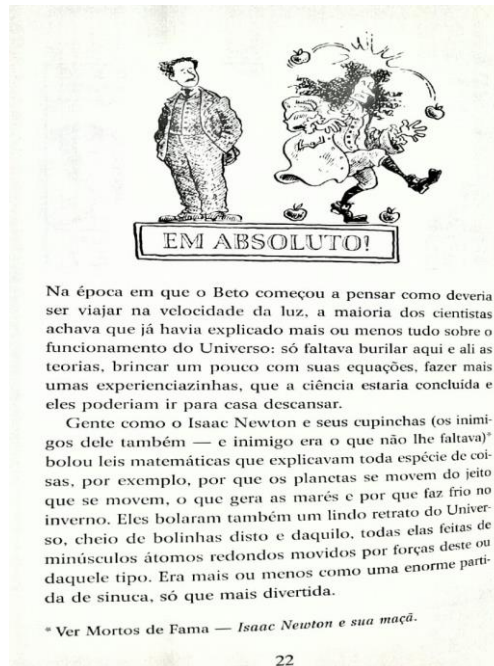
<p>Este Guia Ilustrado pertence:</p> <p>.....</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">Minha imagem</p>
--

Fonte: da própria autora.

Extraída do Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita (ROSA, 2018).

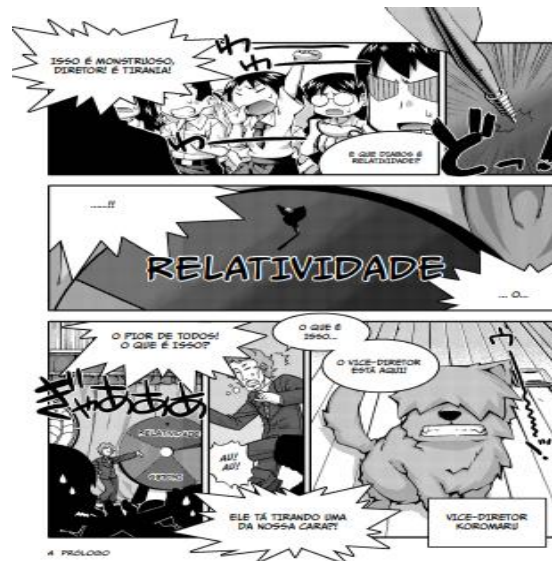
Ao realizar consulta na internet, sites e repositórios, não foi encontrado nenhum guia ilustrado sobre a teoria em questão. Há trabalhos como histórias em quadrinhos, mangás, apostilas e outras literaturas ilustradas ou não, mas nenhum deles é semelhante ao Guia Ilustrado proposto nesta dissertação. A seguir alguns materiais encontrados (Figuras 3, 4, 5, 6 e 7):

Figura 3 – Albert Einstein e seu Universo Inflável (GOLDSMITH, 2008)



Fonte: Imagem capturada pela autora.

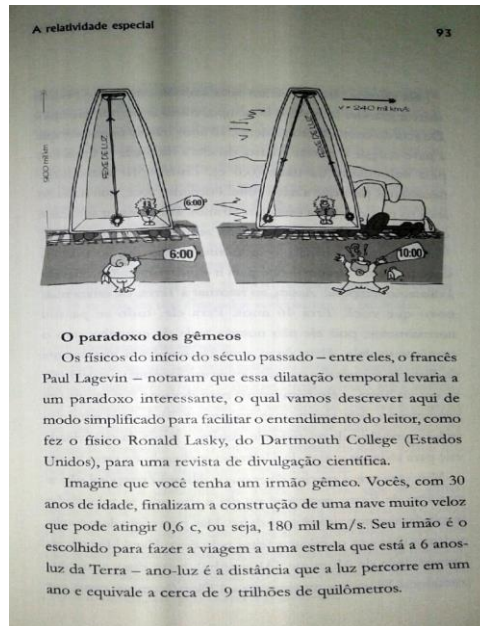
Figura 4 – Guia *Mangá*² Relatividade (NITTA, 2011)



Fonte: Imagem capturada pela autora.

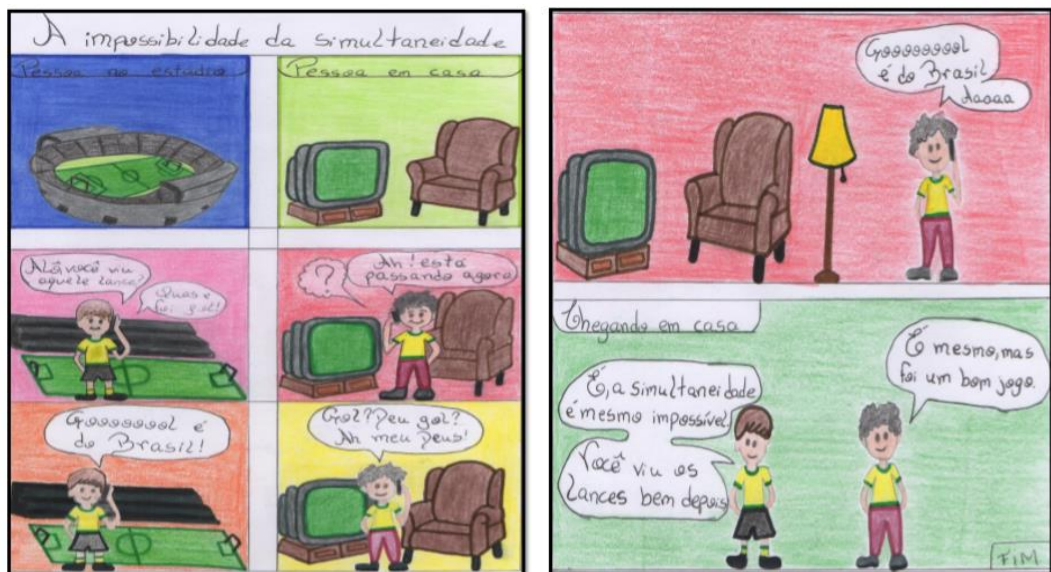
² *Mangá* é um HQ de origem japonesa datado do século XI. Em 1814, o pintor Katsushika Hokusai lançou o primeiro encadernado contendo uma coleção de 15 volumes. Mas, o HQ somente foi consolidado no ano de 1950 com obras de Osamu Tezuka (<https://mangasjbc.com.br/o-que-e-manga/>).

Figura 5 – Einstein o Reformulador do Universo (VIEIRA, 2003)



Fonte: Imagem capturada pela autora.

Figuras 6 e 7 – História em quadrinhos criada por estudantes³



Fonte: Imagem capturada pela autora.

3 História em quadrinhos criada pelas estudantes SC, RM e AA, durante a aplicação do Produto Educacional do Professor Mestre Andrios Benfica dos Santos, no MNPEF – UFRGS/CLN. (SANTOS, 2019, p. 83 e 84)

O guia ilustrado apresenta um diferencial importante que é a sua flexibilidade de trabalho a ser explorado pelo aluno, bem como, pelo professor que desejar adotá-lo como material potencialmente significativo no ensino. Para facilitar o acesso ao referido produto educacional, foi criado um blog denominado Blog da Professora Mila, disponível no seguinte endereço eletrônico: <http://milamestrejedi.blogspot.com/>. Assim, tanto o professor como os alunos poderão acessar o guia, que está no formato PDF, podendo ser impresso na sua integridade ou parcialmente.

2.6.1 Os desafios na elaboração do Guia Ilustrado

A ideia de construção de um guia ilustrado para ensinar a teoria relativística partiu do pensamento de elaborar um material próprio e original que atendesse as expectativas do aporte teórico para uma aprendizagem significativa.

No primeiro momento não se pensava que seria um guia, nem que seria ilustrado, mas sim que deveria ser um material atrativo, contendo atividades interativas com situações-problema, desenvolvimento de expressões matemáticas, mas que não fosse uma apostila, nem um livro totalmente teórico.

Reconhecendo que muitos alunos gostam de desenhar, resolveu-se fazer ilustrações, concatenando ao estudo da teoria relativística onde são apresentados nos livros esquemas ilustrativos para representar certos conceitos. Então, decidiu-se que o guia seria ilustrado.

Para ser original e atrativo deveria conter desenhos que fizessem parte do cotidiano dos alunos. Foi assim que surgiram os personagens Neno e a Professora Mila.

As ilustrações foram criadas e desenvolvidas pela própria autora, sendo que primeiramente, os desenhos foram feitos a mão livre e depois digitalizados. As figuras 8 e 9 são registros das primeiras ilustrações:

Figura 8 – Ilustração 1



Fonte: da própria autora.

Figura 9 – Ilustração 2



Fonte: da própria autora.

A primeira versão do Guia foi finalizada em outubro de 2018, representada na Figura 10:

Figura 10 – Capa da primeira versão do Guia Ilustrado



Fonte: da própria autora.

Após cinco versões o Guia Ilustrado foi finalizado e está disponível no Apêndice A desta dissertação: Produto Educacional.

2.7 Sequência Didática

Como toda prática de ensino, deve-se levar em conta uma organização metodológica para a execução de um projeto pedagógico. E a sequência didática está adequada a essa proposta, pois tem como característica principal o foco no ensino de um tópico específico de estudo. Outra característica é com relação a duração de sua implementação que deve ser relativamente curta, entre 8 a 12h. (MOREIRA, 2016)

Segundo Zabala, pode-se definir uma sequência didática como “um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos

objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos.” (ZABALA, 1998, p.18)

As sequências didáticas na sua construção devem estar fundamentadas em teorias de aprendizagem e estratégias de ensino diversificadas que facilitem a aprendizagem com significado.

As sequências didáticas são “voltadas para a aprendizagem significativa, não mecânica, que podem estimular a pesquisa aplicada em ensino, aquela voltada diretamente à sala de aula”. (MOREIRA, MASSONI, 2016, p. 140)

Reflexões a respeito de passos básicos para a elaboração de uma sequência didática são apresentadas por Oliveira (2013, p. 40), como a escolha do tema de estudo a ser trabalhado, questões problematizadoras do assunto, organização dos conteúdos, objetivos a serem alcançados no processo de ensino-aprendizagem, delimitação da sequência de atividades, material didático, cronograma, integração entre cada atividade, etapas e avaliação dos resultados.

Ainda de acordo com Zabala (1998), uma sequência didática é desenvolvida em fases devendo proporcionar atividades motivadoras relacionadas com a vivência dos alunos, explicação para as questões ou problemas apresentados, respostas intuitivas ou hipóteses, seleção e esboço das fontes de informação e planejamento da investigação, coleta, generalização das conclusões tiradas. Baseado nesses eventos o autor descreve que o objetivo da sequência didática deve ser de introduzir nas diferentes formas de intervenção aquelas atividades que possibilitem uma melhora na prática docente, como resultado de um conhecimento mais profundo das variáveis que intervêm e do papel que cada uma delas tem no processo de aprendizagem dos alunos. (ZABALA 1998, p.54)

3 TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA

Ao iniciar os apontamentos sobre a Teoria da Relatividade Restrita, é importante fazer algumas considerações sobre a Mecânica Clássica, uma vez que a teoria relativística desenvolvida por Einstein, propõe adequações/reinterpretações nos conceitos newtonianos, principalmente nas noções de espaço e tempo,

quebrando um paradigma enunciado há mais de 200 anos. O trabalho desenvolvido por Einstein revolucionou a história da ciência, elevando o conhecimento científico para além de sua época.

Partindo de uma ordem cronológica, a teoria é explorada desde a relatividade galileana até a einsteiniana, com assentamentos dos demais cientistas que deram suas contribuições para a validade da teoria.

Galileu Galilei, que viveu entre os séculos XVI e XVII, já fazia os primeiros ensaios relativísticos ao aplicar a relatividade no estudo da cinemática, onde observou a necessidade de considerar o movimento dos corpos a partir de diferentes referenciais. Com seus estudos expressou as “transformadas galileanas” para posição e velocidade. (YOUNG, FREEDMAN, 2009)

Galileu em toda a sua obra superou as ideias aristotélicas, propondo novas explicações sobre a natureza. Em relação ao movimento dos corpos, fez a seguinte interpretação: “Nenhum corpo seria mais móvel ou imóvel, mas estaria em movimento ou repouso em relação a outros corpos”. (BRAGA, 2010, p. 87 e 89) Segundo o autor, o início da ideia de inércia é creditado a Galileu.

Isaac Newton, que nasceu um ano após a morte de Galileu, baseou-se nas ideias galileanas para formular suas leis para a mecânica clássica, as famosas Leis de Newton, descrevendo os fenômenos físicos como uma sequência de eventos inseridos em três dimensões, considerando espaço e tempo como conceitos independentes. (YOUNG, FREEDMAN, 2009)

A mecânica newtoniana faz uso dos conceitos clássicos de espaço e tempo absolutos, onde o espaço absoluto sempre permanecia similar e imóvel por sua própria natureza e sem relação com qualquer corpo externo. Esse espaço era tridimensional e não variava com o tempo. Newton também afirmava que o tempo era absoluto, unidimensional e com as mesmas propriedades em todos os locais do universo. Diferentemente das definições empregadas na teoria da relatividade especial, onde espaço e tempo não são absolutos e o tempo de um determinado evento é diferente em diferentes referenciais inerciais.

Embora as leis da mecânica newtoniana sejam válidas para certos eventos, elas não conseguem descrever eventos com velocidades próximas à velocidade da

luz. Nesse contexto, três séculos depois, Albert Einstein propõe um considerável ajuste nos conceitos de espaço e tempo newtoniano, onde declara seus postulados com importantes consequências em todas as áreas da física, como a termodinâmica, o eletromagnetismo, a óptica, a física atômica, nuclear e das partículas de alta energia. (YOUNG, FREEDMAN, 2009)

Em 1905, Einstein publicou três artigos, sendo um deles sobre a Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento⁴, onde enunciou como postulado que “a luz, no espaço vazio, se propaga sempre com velocidade determinada, independente do estado de movimento da fonte luminosa.”

Em suas considerações explica que a “mecânica clássica tinha que ser modificada a fim de poder ficar em harmonia com a Teoria da Relatividade Especial. Mas, essa modificação só afeta substancialmente as leis no caso de movimentos rápidos, nos quais as velocidades v da matéria não são pequenas demais em comparação com a velocidade da luz.” (EINSTEIN, 1999, p.41)

Suas publicações movimentaram a ciência naquela época, com consequências válidas até os dias de hoje, uma vez que sua teoria apresenta correções nos conceitos clássicos com relação a noção de espaço e tempo, resolvendo também os problemas relacionados à luz e ao Eletromagnetismo.

Através de experiências de pensamento, denominadas “*Gedankenexperiment*”⁵, Einstein formulou dois postulados, que foram (e o são) testados e considerados válidos pela comunidade científica.

3.1 Referencial Inercial

4 Reproduzido de Ann. D. Phys. 17 (1905), disponível em <https://www.ime.usp.br/~rvicente/Einstein.pdf>.

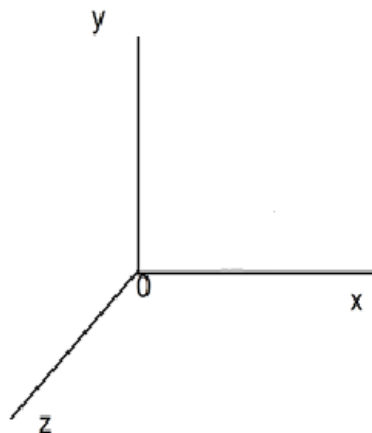
5 A expressão *Gedankenexperiment* trata-se de uma expressão de origem alemã, consolidada na língua inglesa como *thought experiment*, para denominar uma investigação científica sem uso de aparatos físicos. (WESENDONK, TERRAZAN, 2016)

Considerando o movimento de uma partícula livre, onde sobre a qual não atua qualquer força ou cuja força resultante seja nula. A 1ª Lei de Newton nos diz que é possível encontrar um referencial (ou um conjunto de referenciais) no qual uma partícula livre sempre permanece em repouso ou em M.R.U. com velocidade constante. A esses referenciais denominamos *referenciais inerciais*.

Qualquer referencial que se movimenta com velocidade constante em relação a um referencial inercial também é um referencial inercial. Qualquer referencial que se desloque com velocidade variável em relação a um referencial inercial não pode ser um referencial inercial.

A trajetória de uma partícula pode ser definida pela escolha de um sistema de referência. Esse sistema é formado por três eixos que indicam as posições da partícula. Cada posição da partícula é chamada de coordenada: x, y e z num dado instante de tempo (Figura 11):

Figura 11: Sistema de Coordenadas



Fonte: da própria autora.

Ao introduzirmos um ponto de referência, mesmo que arbitrariamente, o instante de um evento ou a sua localização podem ser medidos em relação a essa referência. Ela pode ser determinada como o instante inicial para a contagem do tempo e o ponto de origem para a medição das distâncias. Assim, como conclusão ao medirmos o tempo e o espaço necessitaremos a introdução de sistemas de referência. (MATSUURA, 2003, p. 16)

O movimento de uma dada partícula é diferente em diferentes referenciais, ou seja, a trajetória, a velocidade e a aceleração em cada posição da partícula serão diferentes em diferentes referenciais.

3.2 Os Postulados de Einstein

A teoria relativística faz uma análise das medidas relacionadas entre espaço e tempo, massa e energia, que dependem tanto do observador como do observável. Sem essa compreensão seria impossível entender o mundo microscópico e toda a Física Moderna. (BEISER, 1969)

Para o físico e filósofo francês, Michel Paty, na sua literatura “A Física do Século XX” (2009), a essência da teoria de Einstein diz respeito a uma nova “cinemática”, ou seja, uma nova concepção e formulação das propriedades do estudo do movimento dos corpos no espaço e no tempo.

“A relatividade restrita é uma teoria sutil e conceitualmente difícil” (ROVELLI, 2017, p. 46), por isso, a nossa compreensão de mundo deve ser alterada radicalmente.

Conforme Tipler e Mosca (2009), Albert Einstein, enunciou sua Teoria da Relatividade Restrita através de dois postulados:

- Postulado 1: Movimento uniforme absoluto não pode ser detectado;
- Postulado 2: A velocidade da luz é independente do movimento da fonte.

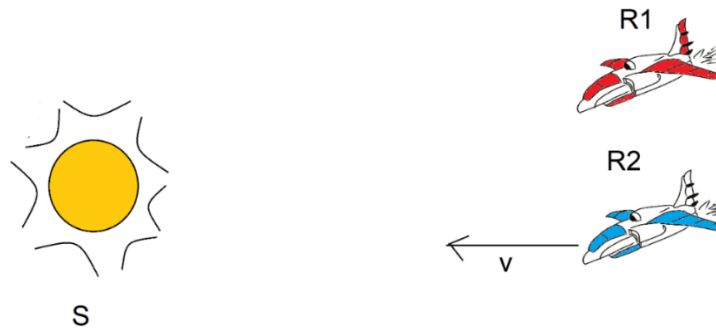
O primeiro postulado refere-se que todas as leis são as mesmas em todos os referenciais inerciais.

Para Beiser (1969), esse postulado exprime a ausência de um sistema universal de referência, pois estabelece que as leis físicas podem ser expressas através de equações que contém a mesma forma em todos os sistemas de referência inerciais nos movimentos relacionados um com outro com velocidade constante.

O segundo postulado trata sobre a propriedade comum a todas as ondas eletromagnéticas, no caso da luz implica que cada observador mede o mesmo valor

para a velocidade da luz, independentemente do movimento relativo, desde que não acelerado, entre a fonte e o observador. Analisando o esquema A (Figura 12):

Figura 12 – Esquema A

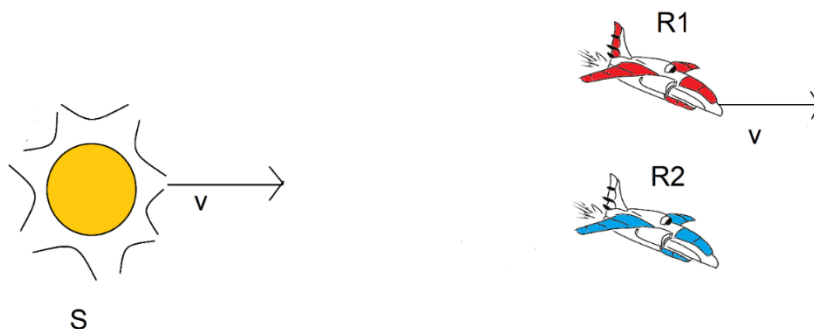


Fonte: Adaptada pela autora.

Uma fonte de luz estacionária S , um observador estacionário $R1$ e um segundo observador $R2$, se movendo em relação a fonte velocidade v .

Para $R1$, $c = 3,00 \times 10^8$ m/s e para $R2$? $c + v$? A resposta não pode ser $c + v$. Analisando o esquema B (Figura 13):

Figura 13 – Esquema B



Fonte: Adaptada pela autora.

Referencial em que $R2$ está em repouso, a fonte de luz e $R1$ se movem para a direita com velocidade v .

Conforme o postulado 1, os esquemas A e B são equivalentes, não sendo possível detectar um movimento absoluto, ou seja, não é possível dizer quem está em movimento e quem está em repouso. E, de acordo com o postulado 2, no

esquema B, temos que R2 mede a velocidade da luz c , assim como R1, formulando uma outra alternativa para esse postulado: “Qualquer observador mede sempre o mesmo valor c para a velocidade da luz”. Outra versão para os postulados einsteiniano, apontadas por Young e Freedman (2009):

1º - As leis físicas devem ser as mesmas em qualquer referencial inercial;

2º - A velocidade da luz no vácuo deve ser sempre a mesma em qualquer sistema de referência inercial.

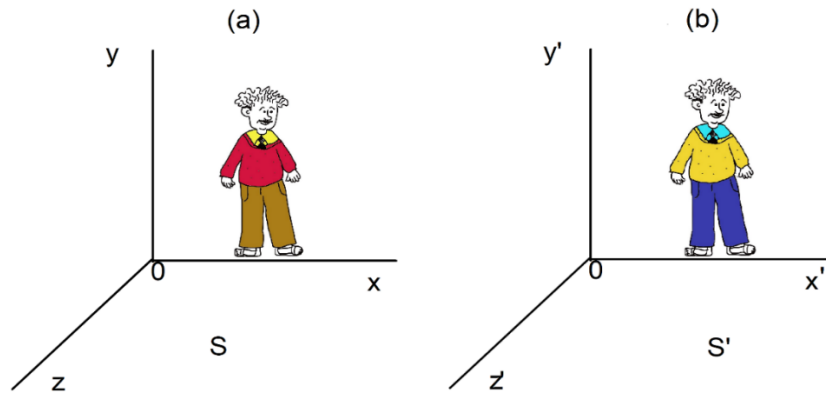
De acordo com o primeiro postulado as leis da física que expressam as relações entre os valores experimentais de duas ou mais grandezas físicas são as mesmas. Outra forma de enunciar o segundo postulado é dizer que existe na natureza uma velocidade limite c , que é a mesma em todas as direções e em todos os referenciais inerciais. Sabendo que a velocidade da luz não é infinita, demonstrada teoricamente e em muitos experimentos, como por exemplo, os realizados por W. Bertozzi, em 1964, que ao aplicar uma força a elétrons, que já estavam movendo-se em alta velocidade, a energia cinética aumentava, mas a velocidade praticamente não variava. (HALLIDAY & RESNICK, 2012)

3.3 As Consequências dos Postulados de Einstein

As consequências dos postulados têm grande importância no estudo de tempo e espaço, bem como nas medidas de velocidades relativas. (TIPLER e MOSCA, 2009)

Vamos adotar o sistema cartesiano ortogonal de coordenadas x , y e z para analisarmos os eventos a seguir (Figura 14):

Figura 14 – Referenciais S e S' movendo-se com velocidade relativa



Fonte: Adaptada pela autora.

Considerando o referencial S (a), sistema x, y, z , com origem 0 . Em relação a S'; S está se movendo com velocidade constante $-\vec{v}$.

No referencial S' (b), o sistema se apresenta x', y', z' , com origem em $0'$, movendo-se com velocidade v em relação a S.

Usando os postulados vamos encontrar uma relação entre as coordenadas e o tempo, sendo que as origens dos dois referenciais coincidem num tempo $t = t' = 0$.

A relação clássica (transformadas de Galileu) é:

$$x = x' + vt', \quad y = y', \quad z = z', \quad t = t'. \quad (1)$$

Sendo a transformação inversa:

$$x' = x - vt, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = t. \quad (2)$$

Observando que v seja muito menor que c , temos a equação para as velocidades:

$$u_x = \frac{dx}{dt}, \text{ em S}; \quad (3)$$

$$\text{em S' é: } u'_x = \frac{dx'}{dt'} = \frac{dx'}{dt} = \frac{d}{dt}(x - vt) = u_x - v. \quad (4)$$

Derivando mais uma vez, temos que a aceleração é a mesma em ambos referenciais:

$$a_x = \frac{du_x}{dt} = \frac{du'_x}{dt'} = a'_x. \quad (5)$$

Mas, as transformadas Galileanas não expressam validade quando as observações experimentais se referem a velocidades próximas da luz c , uma vez que a velocidade em S' é $u_x = c + v$ em vez de $u_x = c$. Portanto, há necessidade de obtenção de transformada relativística, válida para os postulados de Einstein.

Então, vamos admitir a mesma equação clássica, incluindo uma constante multiplicadora:

$$x = \gamma (x' + vt') \quad \text{e} \quad x' = \gamma (x - vt), \quad (6)$$

onde γ é a constante que pode depender de v e c , mas não das coordenadas.

Considerando um pulso de luz com origem de S em $t = 0$, sendo em $t = t' = 0$ e na origem de S' em $t' = 0$.

Os postulados exigem que: $x = ct$ em S e $x' = ct'$ em S' . Substituindo x por ct e x' por ct' , obtemos:

$$ct = \gamma(c + v)t' \quad \text{e} \quad ct' = \gamma(c - v)t. \quad (7)$$

Dividindo ambos os lados por t e eliminando t'/t , determinamos γ :

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v^2}{c^2}\right)}}. \quad (8)$$

3.4 As Transformadas de Lorentz

A teoria de Einstein supõe que as expressões matemáticas que descrevem qualquer fenômeno físico devem possuir a mesma forma em todos os referenciais inerciais, exigindo assim um novo conjunto de transformações para as grandezas físicas de um referencial inercial para outro. (GEF – UFSM, 2010)

Hendrik A. Lorentz, em 1890, desenvolveu e aplicou suas transformadas resolvendo o problema de forma a harmonizar as leis de Newton à Eletrodinâmica, de modo que obedecesse aos postulados de Einstein.

Primeiramente, foi identificado um problema com relação às equações da eletrodinâmica de Maxwell sob as transformadas galileanas e que a teoria relativística estivesse satisfeita. Porém, gradualmente foi verificado que as leis da eletrodinâmica estavam corretas.

Lorentz realizou as devidas substituições nas transformadas de Galileu de modo que as equações maxwelliana permaneceram da mesma forma. As equações abaixo (9) são conhecidas como *transformação de Lorentz*.

$$\begin{aligned}x' &= \frac{x-ut}{\sqrt{1-u^2/c^2}}, \\y' &= y, \\z' &= z, \\t' &= \frac{t - ux/c^2}{\sqrt{1 - u^2/c^2}}\end{aligned}\tag{9}$$

Einstein, seguindo sugestão de Poincaré, propôs que todas as leis físicas deveriam ser tais que permanecessem inalteradas sob uma transformação de Lorentz. (FEYNMAN, 2008, p. 211)

Conforme Einstein (1999, p. 33, 34) se em vez da lei de propagação da luz tivéssemos pressuposto as hipóteses tácitas da mecânica clássica sobre o caráter absoluto do tempo e das distâncias, a transformação seria dada em vez disso pelas equações:

$$\begin{aligned}x' &= x - vt \\y' &= y \\z' &= z \\t' &= t.\end{aligned}\tag{10}$$

Esse sistema é designado como *transformadas de Galileu*. As transformações de Galileu podem ser obtidas das transformações de Lorentz se nestas últimas substituirmos a velocidade da luz c por um valor infinitamente grande.

Facilmente podemos ver pelo exemplo seguinte que, de acordo com as transformações de Lorentz, a lei de propagação da luz no vácuo é satisfeita tanto para o corpo de referência k quanto para o corpo de referência k' . Suponhamos que seja emitido um sinal luminoso ao longo do eixo x positivo e que ele se propague de acordo com a equação $x = ct$, portanto, com velocidade c . De acordo com as equações das transformações de Lorentz esta simples relação determina uma

relação entre x' e t' . Efetivamente, a primeira e a quarta equações das transformações de Lorentz, se nelas subtrairmos x pelo valor ct , nos fornecem:

$$\begin{aligned} x' &= \frac{(c-v)t}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \\ t' &= \frac{\left(1-\frac{v}{c}\right)t}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}. \end{aligned} \quad (11)$$

De onde, por divisão, se obtém imediatamente: $x' = ct'$.

A propagação da luz, referida ao sistema k' , ocorre de acordo com esta equação. Assim fica demonstrado que a velocidade de propagação da luz em relação ao corpo de referência k' também é c . A situação é análoga para os raios luminosos que se propagam em qualquer outra direção. O que naturalmente, não é de admirar, pois as equações de Lorentz foram deduzidas para satisfazer esta condição.

3.5 Dilatação Temporal

A dilatação temporal corresponde a “batimentos diferentes de relógios em sistemas de movimento relativo”. (PATY, 2009, p. 39)

Para Young e Freedman (2009), em um sistema de referência, dois eventos ocorrem no mesmo ponto no espaço. Compreendendo a definição de Δt_0 e Δt :

- Δt_0 refere-se ao intervalo de tempo entre esses eventos medido pelo observador em repouso no mesmo sistema. Também identificado por *tempo próprio*, que descreve um intervalo de tempo entre dois eventos que ocorrem no mesmo ponto;
- Δt refere-se a um observador em outro sistema de referência que se move com velocidade constante u em relação ao sistema em repouso.

Com essas definições evidenciamos a equação para a dilatação temporal:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (12)$$

De acordo com a Transformada de Lorentz, temos a dilatação do tempo: (TIPLER, MOSCA, 2017)

$$\Delta t = \gamma \Delta t_p. \quad (13)$$

Δt é o intervalo de tempo medido, em qualquer outro referencial será sempre maior que o tempo próprio. Sendo Δt_p o tempo próprio entre dois eventos que acontecem no mesmo lugar num certo referencial, onde $t'_2 - t'_1$ medido num referencial S' é um tempo próprio:

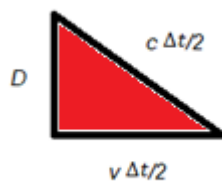
$$t_1 = \gamma \left(t'_1 + \frac{vx'_0}{c^2} \right) \quad (14)$$

$$t_2 = \gamma \left(t'_2 + \frac{vx'_0}{c^2} \right) \quad (15)$$

$$t_2 - t_1 = \gamma(t'_2 - t'_1). \quad (16)$$

Entendendo a dilatação do tempo a partir dos postulados sem usar Lorentz, resolvendo por Pitágoras (Figura 15):

Figura 15 – Teorema de Pitágoras.



Fonte: Adaptada pela autora.

- Evento 1: Um observador A' numa distância D de um espelho (ambos em uma espaçonave que está em repouso em S'). O observador dispara um clarão e mede $\Delta t'$ entre a observação do clarão original e a observação do retorno do clarão no espelho.

$$\Delta t' = \frac{2D}{c}. \quad (17)$$

- Evento 2: Agora numa situação em que a espaçonave está se movendo com velocidade v para a direita num referencial S . Neste evento observa-se que o percurso da luz é maior em S do que em S' .

$$\left(\frac{c\Delta t}{2}\right)^2 = D^2 + \left(\frac{v\Delta t}{2}\right)^2 \quad (18)$$

ou

$$\Delta t = \frac{2D}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{2D}{c} \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v^2}{c^2}\right)}}. \quad (19)$$

Usando:

$$\Delta t' = \frac{2D}{c}, \quad (20)$$

obtemos:

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}} = \gamma \Delta t'. \quad (21)$$

Observações a serem feitas:

- Quando $u \ll c$, então, u^2/c^2 é muito menor do que 1 e γ é quase igual a 1, temos aproximação com a relação newtoniana $\Delta t = \Delta t_0$;
- Quando u for grande o suficiente para que γ seja significativamente maior do que 1, diz-se que a velocidade é relativística;
- Se a diferença entre γ e 1 é desprezivelmente pequena, a velocidade é dita não-relativística, como por exemplo: $\gamma = 1,00000002$. (YOUNG, FREEDMAN, 2009)

3.6 Contração do Comprimento

A contração do comprimento está intimamente relacionada com a dilatação temporal, onde o comprimento de um objeto medido num referencial S' em repouso é chamado comprimento próprio L_p , sendo $L_p = x'_2 - x'_1$. (TIPLER, MOSCA, 2017)

O comprimento no referencial S é $L_p = x_2 - x_1$. Lembrando que x_1 e x_2 são as posições das extremidades do objeto a ser observado:

$$x'_2 = \gamma(x_2 - vt_2) \quad (22)$$

$$x'_1 = \gamma(x_1 - vt_1) \quad (23)$$

Como $t_2 = t_1$, subtraindo a segunda equação da primeira:

$$x'_2 - x'_1 = \gamma(x_2 - x_1). \quad (24)$$

Resolvendo para $x_2 - x_1$, temos:

$$x_2 - x_1 = \frac{1}{\gamma}(x'_2 - x'_1) = (x'_2 - x'_1)\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (25)$$

ou

$$L = \frac{1}{\gamma}L_p = L_p\sqrt{1 - v^2/c^2}. \quad (26)$$

3.7 Sincronização de Relógios e Simultaneidade

Conforme Tipler e Mosca (2017), Einstein fazia experiências mentais, idealizando sistemas e eventos para desenvolver sua teoria. Uma dessas experiências, enunciadas por ele, é a de um trem se movendo com velocidade v e passa pela plataforma de uma estação, quando é atingido por raios em suas extremidades.

O tempo em cada evento deve ser medido com um relógio diferente e o intervalo é dado pela subtração dos tempos medidos. Para isso os relógios devem ser sincronizados.

Relógios sincronizados - Dois eventos que são simultâneos em um referencial não são simultâneos em outro referencial que esteja em movimento em relação ao primeiro.

Eventos simultâneos - Dois eventos num referencial são simultâneos se os sinais luminosos dos eventos alcançam ao mesmo tempo um observador situado na metade do caminho entre estes eventos.

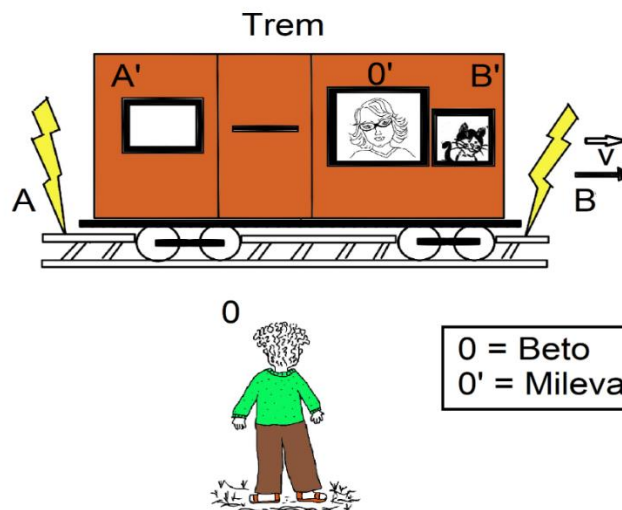
Definição de simultaneidade – Dois eventos num referencial são simultâneos se os sinais luminosos dos eventos alcançaram ao mesmo tempo um observador situado na metade do caminho entre estes eventos.

Relógio mostra tempo adiantado - Se dois relógios estiverem sincronizados no referencial no qual ambos estão em repouso, estarão fora de sincronização num referencial que se desloca ao longo da linha que liga os dois relógios, e um dos relógios estará adiantado (marca um tempo posterior) em relação ao outro por:

$$\Delta t_s = L_p \frac{v}{c^2}, \text{ onde } L_p \text{ é a distância própria entre os relógios.}$$

O conceito de simultaneidade envolve a medida de tempo e de um intervalo de tempo, onde neste último pode não ocorrer a simultaneidade entre um sistema de referência que se move em relação a outro, embora ambos sejam sistemas de referência inerciais. (YOUNG, FREEDMAN, 2009) Para exemplificarmos, vamos criar dois personagens para explicar o seguinte evento (Figura 16):

Figura 16 – Trem se deslocando com velocidade uniforme próxima de c



Fonte: adaptada pela autora.

Adotamos dois personagens para explicar os eventos. Beto (0), observador em repouso no solo e Mileva (0'), movendo-se junto com o trem com velocidade uniforme próxima de c .

Dois raios atingem as duas extremidades do trem A' e B', e o solo nos pontos A e B. Ela está no meio do vagão entre A' e B'. Beto está na metade do segmento que liga os pontos A e B.

Nossos personagens observam a luz emitida pelos raios, supondo que os raios que atingiram o solo, atinjam Beto simultaneamente no ponto 0. Mileva admite que os raios atingiram Beto no mesmo instante, porém, não concorda que a luz dos raios tenha sido emitida simultaneamente dos pontos atingidos pelos raios.

Os dois concordam que a luz dos raios não atinge Mileva no mesmo instante. Como Mileva 0' desloca-se para a direita junto com o trem, de modo que ela encontra a luz do raio proveniente de B' antes da luz do raio proveniente de A' atingi-la. Entretanto, como ela está no meio do vagão, se os dois raios atingissem simultaneamente as extremidades do vagão, a luz dos raios deveria levar o mesmo tempo para chegar até ela, porque percorreriam a mesma distância com velocidade c (2º postulado). Mas, ela conclui que um raio atingiu B' antes de o outro atingir A', ou seja, os eventos não são simultâneos para ela. Para Beto, que está em 0, observa que os dois eventos ocorrem simultaneamente.

Portanto, dois eventos podem ou não ser simultâneos, dependendo do estado de movimento do observador. A simultaneidade não é um conceito absoluto.

3.8 Energia Relativística

Como já sabemos, em 1905, Einstein divulgou que massa e energia são equivalentes, ratificando que a energia E liberada pela destruição de uma massa m é igual a velocidade da luz c ao quadrado. Sendo assim, a luz que viaja a velocidade aproximada de 3×10^8 m/s, no vácuo, libera uma enorme quantidade de energia.

A formulação da famosa equação da energia $E = mc^2$, trouxe a Einstein algumas tristezas, como a denominação equivocada, à sua pessoa, de ser o “pai” da bomba atômica. Segundo Vieira (2003), ele será sempre referenciado à teoria relativística, porém, após o lançamento das bombas de urânio e de plutônio, em agosto de 1945, durante a Segunda Guerra Mundial, que destruiu as cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki, matando mais de 200 mil pessoas (MENEZES,

2013), seu nome foi injustamente associado aquele genocídio. Um raciocínio “torto” agregado de que o princípio do funcionamento da bomba atômica é a equação $E = mc^2$.

O que de fato devemos ter em mente é que a relação de Einstein para massa e energia desempenha um papel extremamente importante na Física Nuclear, uma vez que essa relação indica a transformação de uma grandeza na outra. (MENEZES, 2013) O que a relação implica é que se um dado sistema ganha uma quantidade de energia, sua massa aumenta de uma quantidade dada por E/c^2 e inversamente se um dado sistema perder energia. (GEF – UFSM, 2010)

De acordo com Young e Freedman (2009), generalizamos a equação da energia cinética newtoniana para acordar com o princípio da relatividade, temos então:

$$K = \frac{mc^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}} - mc^2 = (\gamma - 1)mc^2 . \quad (27)$$

Sabendo que a equação para a energia cinética, a energia devida ao movimento da partícula inclui um termo de energia $\frac{mc^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ que depende do movimento e um segundo mc^2 que não depende do movimento. Logo, notamos que a energia cinética de uma partícula é a diferença entre energia total E e uma energia mc^2 que existe sempre, mesmo quando o corpo está em repouso:

$$E = K + mc^2 = \frac{mc^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}} = \gamma mc^2 . \quad (28)$$

Para uma partícula em repouso $K = 0$, vemos que $E = mc^2$.

Em outras palavras, a expressão para energia cinética consiste em dois termos: (TIPLER, MOSCA, 2017)

- O primeiro depende da velocidade da partícula;
- O segundo termo, mc^2 , é independente da velocidade.

A quantidade mc^2 é chamada de energia de repouso E_0 da partícula. A energia relativística total E é a soma da energia cinética com a energia de repouso.

- Energia cinética relativística:

$$K = \frac{mc^2}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} - mc^2. \quad (29)$$

- Energia de repouso:

$$E_0 = mc^2. \quad (30)$$

- Energia relativística total:

$$E = K + E_0 = \frac{mc^2}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}}. \quad (31)$$

Aprofundando um pouco mais, Beiser (1969) argumenta sobre a relação massa e energia, a partir da dedução da definição da energia cinética K de um corpo em movimento, através do trabalho realizado para que este corpo deixe seu estado de repouso. Isto é,

$$K = \int_0^s F ds, \quad (32)$$

onde F é a força aplicada na direção do deslocamento ds e s é a distância sobre a qual a força atua.

Usando a segunda lei de Newton, expressada pela equação do movimento: (FEYNMAN, 2017)

$$F = \frac{d(mv)}{dt}, \quad (33)$$

a equação (38) torna-se, de acordo com Beiser (1969), $K = \int_0^s \frac{d(mv)}{dt} ds =$

$\int_0^{mv} vd(mv) = \int_0^v vd\left(\frac{m_0v}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}\right)$. Integrando-se por partes ($\int xdy = xy - \int ydx$), temos:

$$K = \frac{m_0v^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - m_0 \int_0^v \frac{vdv}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m_0v^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} + m_0c^2 \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \Big|_0^v = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - m_0c^2$$

$$mc^2 - m_0c^2. \quad (34)$$

Reescrevendo a equação (40), onde a energia cinética de um corpo é igual ao aumento em sua massa devido ao seu movimento relativo multiplicado pelo quadrado da velocidade da luz, teremos:

$$mc^2 = K + m_0c^2 \quad (35)$$

$$E = E_0 + K \quad (36)$$

$$E = mc^2 \quad (37)$$

$$E_0 = m_0c^2. \quad (38)$$

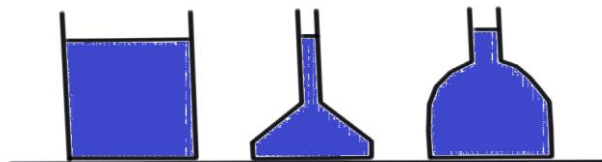
3.9 Paradoxo dos Gêmeos

O Paradoxo dos Gêmeos faz parte de uma das experiências mentais de Einstein. Conforme Tipler e Mosca (2017), este problema tem sido objeto de discussões por décadas, uma vez que foge do nosso senso comum e o motivo principal se dá em razão da simetria, pois como gêmeos podem ter diferença sem seu envelhecimento. O resultado relativístico é conflitante, baseado na crença, mas incorreta, da simultaneidade absoluta.

Abrindo um breve parêntese, podemos fazer uso dos versos de um dos maiores poetas português, Luís de Camões (1524-1580), trazia esse contrassenso na sua obra como no verso “Amor é ferida que dói e não se sente”. Como assim, doer e não sentir? Sócrates, filósofo grego (IV a.C), dizia: “Só sei que nada sei”.

Retornando à Física, no estudo dos fluidos, temos o “*Paradoxo Hidrostático*”, onde consideramos recipientes de formas distintas, porém com bases de mesma área, contendo líquido igual até a mesma altura h (Figura 17).

Figura 17 – Paradoxo Hidrostático



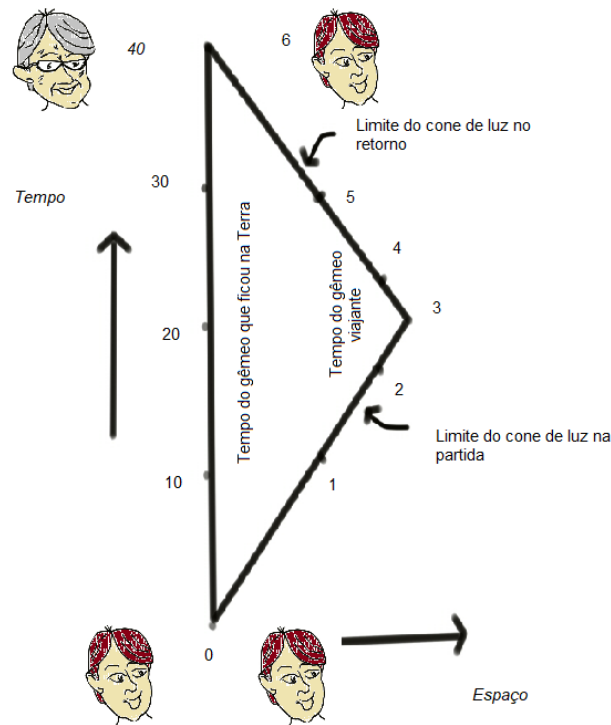
Fonte: Adaptada pela autora.

Observamos que as quantidades de líquido são diferentes, portanto, os pesos não são iguais. Entretanto, como h é igual em todos os vasos, a pressão na base dos mesmos é igual. (GEF - UFSM, 2010)

O Paradoxo dos Gêmeos, para Serway e Jewett Jr. (2014), é uma consequência intrigante da dilatação temporal, uma vez que há uma contradição por causa da simetria aparente das observações, no que se refere ao desenvolvimento de sinais excessivos de envelhecimento em um dos gêmeos. Ainda, de acordo com Serway (2014), não há problema de simetria, pois o gêmeo viajante do espaço, experimenta vários momentos de acelerações em sua viagem, portanto, sua velocidade nem sempre é uniforme, conseqüentemente, ele não está sempre num único referencial inercial, contrário do seu irmão, que na Terra pode fazer observações corretas, pois está em um único referencial. Desse modo não há paradoxo, porque apenas o gêmeo que está na Terra pode aplicar a equação de dilatação temporal.

Um dos contemporâneos de Einstein Paul Langevin (1872 – 1941) argumentou sobre as experiências mentais. No caso dos gêmeos que se reencontram com idades diferentes após uma viagem espacial realizada por um deles, onde o viajante envelheceu menos rapidamente que o irmão que ficou na Terra. (PATY, 2009) Paul resume suas reflexões através de ilustração esquemática (Figura 18):

Figura 18 – Paradoxo dos Gêmeos na visão de Paul Langevin



Fonte: Adaptada pela autora.

Na Figura 18, observamos, na visão de Paul Langevin, que o gêmeo viajante teve um tempo dilatado menor em comparação com o gêmeo que ficou na Terra, ou seja, envelheceu menos rapidamente.

4 METODOLOGIA

Neste capítulo apresentam-se os procedimentos metodológicos adotados para desenvolvimento desta proposta de ensino, ou seja, os recursos e os instrumentos utilizados, a descrição da localização da instituição e a motivação para a escolha desse educandário, bem como, uma breve descrição das características do público alvo da aplicação deste produto.

Introduziu-se os conceitos relacionados ao ensino da Teoria da Relatividade Restrita, usando um guia ilustrado e adotando procedimentos metodológicos que se complementam na construção de uma sequência didática, ambos embasados em pressupostos teóricos da Aprendizagem Significativa.

Com o propósito de contextualizar o ambiente de implementação deste produto, na seção a seguir (4.1), descreve-se a localização, a parte física da instituição de ensino em que se desenvolveu a pesquisa e os sujeitos envolvidos no processo. Aborda-se também, aspectos relacionados a motivação para essas escolhas.

Fundamentada na teoria ausubeliana, descreve-se a sequência didática, na seção 4.2, observando os procedimentos de trabalho em cada aula, desde o mapeamento dos conhecimentos prévios dos alunos até a reconciliação integrativa dos novos conhecimentos.

4.1 Sobre a instituição de ensino e os sujeitos envolvidos na aplicação do produto educacional

Inicialmente, pretendia-se aplicar o produto em uma turma do 3º ano. Porém, com a possibilidade de a sequência didática poder ser desenvolvida em qualquer ano do Ensino Médio, decidiu-se também pela aplicação em uma turma do 2º ano. Esclarecemos que a providência de desenvolver o produto nos dois anos, não se trata de fins comparativos, mas sim de verificação de o produto poder ser estendido não apenas no último ano do Ensino Médio.

As turmas trabalhadas foram a 201 (2º ano) e a 301 (3º ano), sendo a primeira composta de trinta e quatro (34) alunos e a segunda composta de vinte e cinco (25) estudantes. As duas turmas pertencentes da mesma escola pública, situada na cidade de Capão da Canoa, RS.

Essa escola se situa em zona central da cidade de Capão da Canoa, uma região litorânea do RS.

A instituição funciona nos três turnos, atendendo em torno de 900 alunos. Além do Ensino Médio, a escola atende alunos nas séries iniciais e finais do Ensino Fundamental e também de EJA (Educação para Jovens e Adultos).

A parte física da escola está estruturada em 3 andares, sendo um deles o andar térreo. Composta por 13 salas de aula, distribuídas entre o 2º e o 3º andar. No térreo estão as salas da direção, supervisão e secretaria, sala da Banda Marcial, sala dos professores, sala de áudio e vídeo, refeitório, cozinha e banheiros. O ginásio coberto de esportes, o laboratório de ciências e uma pracinha, situam-se no

pátio da escola. No 2º andar estão a biblioteca, o laboratório de informática e uma sala para atendimento especializado (AE).

É importante ressaltar que a composição do corpo discente é bem diversificada, talvez, em virtude de ser uma cidade praiana. Os estudantes não são todos moradores locais, pois vêm de várias regiões, até mesmo de outros Estados da federação. O que leva a considerar, nos planejamentos, a demanda e o compartilhando no ambiente de sala de aula, de um público bastante variado em realidades sociais, culturais, econômicas e regionais.

Partiu da relação de trabalho a decisão por esta instituição, pois já atuo como professora de Física, há mais de cinco anos nessa escola, o que facilita a inserção dessa proposta, tanto pelo fato de ter proximidade com os estudantes, quanto por ter conhecimento da dinâmica de funcionamento desse ambiente escolar, bem como por possuir o apoio dessa comunidade, que se mostrou disposta e interessada em participar do projeto. Esse apoio está documentado no Termo de Autorização de Uso de Imagem, constante no APÊNDICE B, onde expusemos nossa proposta para os pais e responsáveis pelos estudantes participantes do projeto.

4.2 Sequência de Ensino e Aprendizagem

Nesta seção está organizada a proposta de desenvolvimento de uma sequência didática, respaldada na Teoria da Aprendizagem Significativa, observando estratégias e materiais de ensino diversificados que podem ser potencialmente significativos, como uso de um guia ilustrado.

Com o intuito de realizar um trabalho organizado, para que os objetivos elencados na introdução, pudessem ser alcançados com êxito, foi elaborado um cronograma contendo tópicos orientadores do que se pretende desenvolver em cada aula. Ressalta-se que esse cronograma expressa uma previsão de trabalho, pois sua elaboração está amparada nas respostas, principalmente após a identificação dos conhecimentos prévios demonstrados pelos alunos e no acompanhamento da construção de conhecimentos ao longo do processo de implementação.

Quadro 1 – Cronograma de tópicos orientadores de cada aula

Aula	Tópico Orientador
1 ^a	<ul style="list-style-type: none"> - Identificação de conhecimentos prévios através de aplicação de questionário individual; - Abordagem introdutória do tema geral de estudo usando material potencialmente significativo – Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita.
2 ^a	<ul style="list-style-type: none"> - Proposta de discussão coletiva retomando o questionário aplicado e considerando os conhecimentos prévios; - Introdução dos postulados da teoria relativística usando o Guia Ilustrado.
3 ^a	<ul style="list-style-type: none"> - Elaboração de Mapa Conceitual sobre os postulados (atividade individual). - Abordagem introdutória das consequências dos postulados; - Resolução de situação-problema envolvendo a relatividade da simultaneidade.
4 ^a	<ul style="list-style-type: none"> - Reconhecimento da dilatação temporal, através de atividade proposta, discutida no grande grupo; - Uso do Guia Ilustrado como organizador prévio para resolução de situação-problema.
5 ^a	<ul style="list-style-type: none"> - Resolução de situação-problema sobre contração do comprimento (utilizando o Guia Ilustrado). - Abordagem do tema energia relativística e exposição da equação $E = m.c^2$, usando o Guia Ilustrado.
6 ^a	<ul style="list-style-type: none"> - Avaliação do processo de aprendizagem, através de atividade individual envolvendo todos os temas estudados (adoção do Guia Ilustrado como apoio para resolução das situações-problema propostas). - Elaboração e apresentação de Mapa Conceitual envolvendo todos os temas trabalhados: evolução da teoria relativística, os postulados de Einstein e suas consequências (reconciliação integrativa); - Avaliação e auto avaliação de todo o processo desenvolvido.

Fonte: produção da própria autora.

Na seção a seguir (4.2.1) segue o planejamento das aulas, contendo todas as atividades planejadas, com as devidas justificativas, observando as características da Sequência de Ensino proposta.

4.2.1 Sequência de Ensino e Aprendizagem - Planos de Aula

Plano de Aula 1

Tempo de duração: 2 períodos de 45 min.

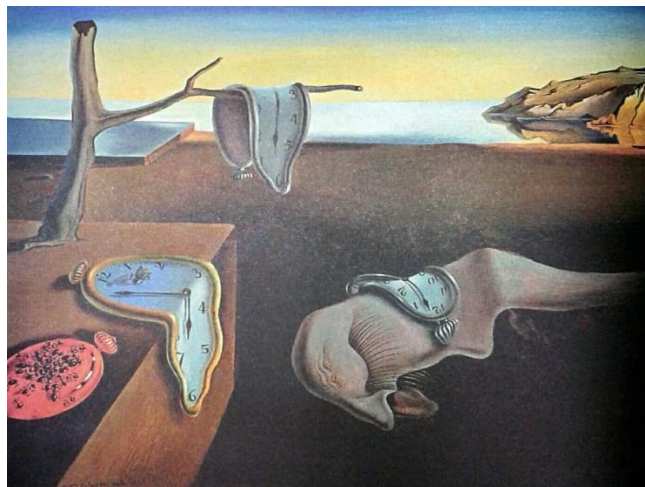
Objetivos da aula:

- Coletar os conhecimentos prévios dos alunos, através de aplicação de questionário individual, contendo perguntas que relacionem conceitos da Física Clássica com a Física Moderna.
- Introduzir a evolução da Teoria da Relatividade Restrita, enfocando a História e Filosofia da Ciência (HFC), usando o Guia Ilustrado.

1. Situação inicial da aula:

- No primeiro momento o professor fará a exposição de uma imagem (Figura 19), através de projeção no quadro, com a intenção de abordar o tema geral de estudo (Teoria da Relatividade Restrita).

Figura 19 - “A Persistência da Memória”, obra de Salvador Dalí datada de 1931



Fonte: imagem captura pela autora.

Extraída do livro Compreendendo a Física de Alberto Gaspar, 2017.

A arte e ciência são manifestações da nossa cultura com inúmeros elementos comuns. Música, pintura, fotografia, arquitetura são, frequentemente, ao mesmo tempo, arte e ciência a serviço da criatividade humana. Essa interação não se limita à parceria concreta de técnicas e materiais; ela está presente também na inspiração do artista e, quem sabe, do cientista. Esta obra, *A persistência da memória*, de 1931, do pintor surrealista espanhol Salvador Dalí, certamente expressa o grande impacto da nova concepção de tempo trazida pela teoria da **relatividade restrita**. O tempo, imutável e absoluto durante séculos, torna-se repentinamente algo tão frágil como um relógio derretido... (GASPAR, 2017, p. 210)

- Em seguida, o professor distribuirá um questionário impresso para cada aluno, onde os mesmos terão um tempo para responder. Após, recolhimento do questionário.

2. Proposta de situação introdutória:

- O professor convidará os alunos para realização de atividade, com a finalidade de fazer uma nova introdução do tema gerador desta proposta. Para isso, primeiramente pedirá aos alunos que manifestem oralmente palavras referentes aos temas que foram abordados no questionário. Essas palavras serão anotadas no quadro. Em seguida, distribuição do livro Guia Ilustrado para cada aluno, propondo a leitura das primeiras páginas (Figura 20), que tratam sobre a evolução da teoria relativística (ROSA, 2018, p. 7 até p. 14)⁶, evidenciando a História e Filosofia da ciência (HFC).

- Observando que os alunos devem colocar seu nome no guia no local indicado.

⁶ A numeração de páginas referida, é a numeração constante no Guia Ilustrado que está disposto no endereço eletrônico acessado através do Blog da Professora Mila (<http://milamestrejedi.blogspot.com/>).

Figura 20 – Evolução da Teoria



Fonte: da própria autora.

Extraída do Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita (ROSA, 2018).

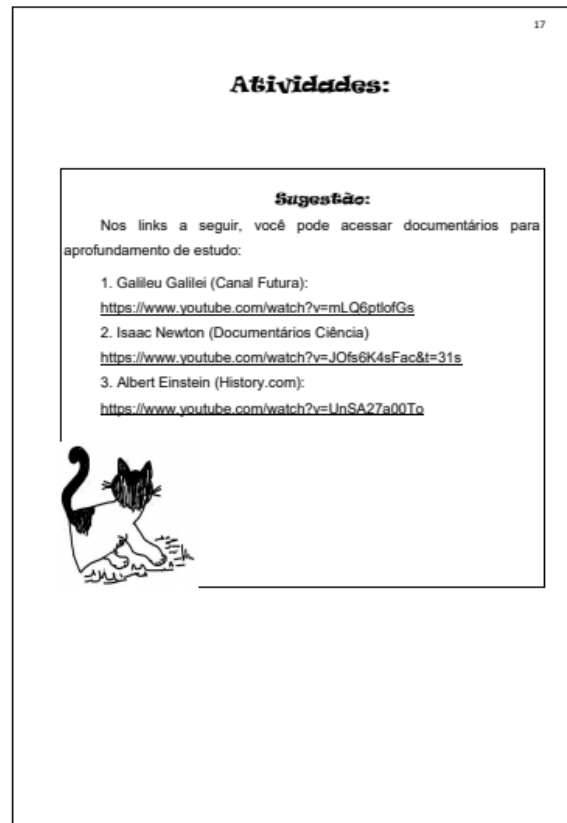
- Após a leitura, o professor deverá propor uma discussão oral e coletiva, mediando o debate e solicitando que os alunos apontem (grifem), no texto lido, as palavras que foram sugeridas e anotadas no quadro referente ao questionário.

3. Situação final da aula:

- Proposição de atividade extraclasse, que consiste em assistir um dos documentários constantes no Guia Ilustrado (ROSA, 2018, p. 17), para conversação coletiva na próxima aula (Figura 21). Para isso, a turma deverá ser dividida em 3 grandes grupos, onde cada grupo ficará responsável por um tema (Galileu Galilei, Isaac Newton e Albert Einstein).

- O Guia Ilustrado está disponível na versão digital (PDF) no Blog da Professora Mila, no endereço eletrônico: <https://milamestrejedi.blogspot.com/>.

Figura 21 – Sugestão para ampliação do estudo



Fonte: da própria autora.

Extraída do Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita (ROSA, 2018).

- Observações sobre a aula 1:

Tendo em mente que a teoria ausubeliana pressupõe a interação cognitiva entre novos conhecimentos e conhecimentos prévios especificamente relevantes (MOREIRA, 2017), na 1ª aula, o professor irá propor aos alunos o desenvolvimento individual de um questionário contendo 9 questões, sendo 8 delas com alternativas objetivas que deverão ser justificativas e 1 questão em que a resposta deve ser ilustrada.

A intenção, na situação inicial, é de conduzir os alunos a externalizar seus conhecimentos prévios, ou seja, demonstrarem o que eles já sabem sobre temas considerados importantes, para que a partir da identificação dos conceitos já existentes na sua estrutura cognitiva, o professor possa planejar as próximas aulas. (MOREIRA, 2009, 2016)

De acordo com o exposto acima, faz-se necessário apontar as situações que remetam aos conceitos científicos envolvidos neste tópico da Física, uma vez que, as questões foram elaboradas, considerando aspectos necessários para identificar nas percepções dos estudantes o que conhecem sobre a teoria relativística.

Sobre a questão 1:

Durante uma viagem de carro, uma criança observa que as árvores se movem, ficando para trás. Seu pai, que dirige o carro, diz que as árvores estão paradas e é o carro que avança. Qual dos dois tem razão?

Pretende-se verificar o conceito de movimento dos corpos (referenciais) tratado na Cinemática.

Sobre a questão 2:

No nosso cotidiano é comum as expressões filme em 2D, 3D e até 6D, relacionado ao cinema. Nos próprios filmes de ficção científica é falado a respeito de viagem para outra dimensão. Mas, o que é dimensão para você? Quantas dimensões do espaço existem?

Verificação do conceito de espaço estudado na Mecânica Clássica.

Com relação a questão 3:

Certamente você já ouviu falar ou já leu algo sobre Albert Einstein. Escreva, com breves palavras, o que você sabe sobre ele e depois, marque a alternativa referente a contribuição científica dele.

Pretende-se averiguar o que os alunos sabem sobre o cientista Albert Einstein e sua contribuição para a ciência.

Questão 4:

No estudo das Leis de Newton, a primeira lei também é denominada Lei da Inércia. O que você entende por inércia, explique:
Se um corpo está se movendo, que tipo de movimento ele tende a ter, em razão de sua inércia?

Com relação a essa questão, conceitos da Primeira Lei de Newton são abordados.

Questão 5:

(PETTERSEN, 2017, p. 116 - 117) Diversos cientistas tentaram medir a velocidade da luz. Empédocles foi o primeiro a sugerir a medida e Galileu,

por sua vez, foi o primeiro de fato a tentar medir a velocidade. O mais curioso é o fato de que todos os que obtiveram um valor para essa velocidade chegaram próximo a 300.000 km/s, como por exemplo o astrônomo dinamarquês Romer, o francês Fizeau e até Maxwell. O valor próximo da velocidade da luz, determinada por diferentes métodos, mostra que a:

- A) sua velocidade varia com o tempo.
- B) luz se comporta como partícula.
- C) sua velocidade depende do referencial.
- D) sua velocidade é uma constante universal.

Com essa questão, pretende-se averiguar o que os alunos sabem sobre o fenômeno da luz no sentido de relacionar à teoria relativística (velocidade e invariância da luz).

Questão 6:

(PETTERSEN, 2017, p. 115) A luz é uma forma de energia radiante, que pode se propagar em meio material e no vácuo. 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.

Na questão 6 são verificados conceitos relacionados à Astronomia.

Questão 7:

Suponha que seja possível lançar um astronauta para o espaço com uma velocidade próxima à da luz. Caso o astronauta permaneça um ano viajando com a mesma velocidade, ao retornar para a Terra, um referencial parado, o intervalo de tempo medido seria de sete anos. Assim, poderíamos afirmar que esse astronauta é um viajante do tempo. É possível viajar no tempo?

Objetiva-se mapear a ideia dos alunos com relação à viagem no tempo (relacionando com uma das consequências dos postulados – a dilatação temporal).

Questão 8:

(LESCHE, 2005, p. 9) Registre sua opinião sobre a seguinte frase: “relógios em movimento andam mais devagar” é bobagem!

Com essa frase tenciona-se verificar a ideia de dilatação temporal.

Questão 9:

O “tempo” é um tema muito abordado pelos compositores e artistas, sempre com a ideia de tentar retratar o significado do tempo. Várias são as canções que falam sobre o tempo, como por exemplo a música “Tempo Perdido”, da famosa Banda de Rock, que fez sucesso nos anos 80 e 90 - Legião Urbana, liderada pelo vocalista Renato Russo.

“Todos os dias quando acordo / Não tenho mais o tempo que passou / Mas tenho muito tempo / Temos todo o tempo do mundo / Todos os dias antes de dormir / Lembro e esqueço como foi o dia / Sempre em frente / Não temos tempo a perder /...”

- No diagrama abaixo, faça uma ilustração identificando o que é o tempo para você!

A situação problemática nessa questão tenciona a ideia de tempo através da linguagem ilustrativa.

Na segunda parte da aula, além da averiguação dos conhecimentos prévios, o professor fará uma abordagem introdutória da matéria de ensino utilizando material potencialmente significativo, o Guia Ilustrado. Essa abordagem refere-se à evolução histórica e filosófica da ciência, desde a ideia de movimento de Aristóteles, a relatividade de Galileu, a mecânica de Newton até as contribuições de Albert Einstein, contextualizando a trajetória da ascensão científica da humanidade, onde podemos constatar que a evolução da ciência é uma construção legada por vários cientistas.

Plano de Aula 2

Tempo de duração: 2 períodos de 45 min.

Objetivos da aula:

- Participar de atividade coletiva com a finalidade de troca de ideias, informações e questionamentos referente aos temas abordados na aula anterior, através do questionário aplicado e dos documentários sugeridos como atividade extraclasse.
- Introduzir o tema postulados da teoria relativística, usando o Guia Ilustrado.

1. Situação inicial da aula:

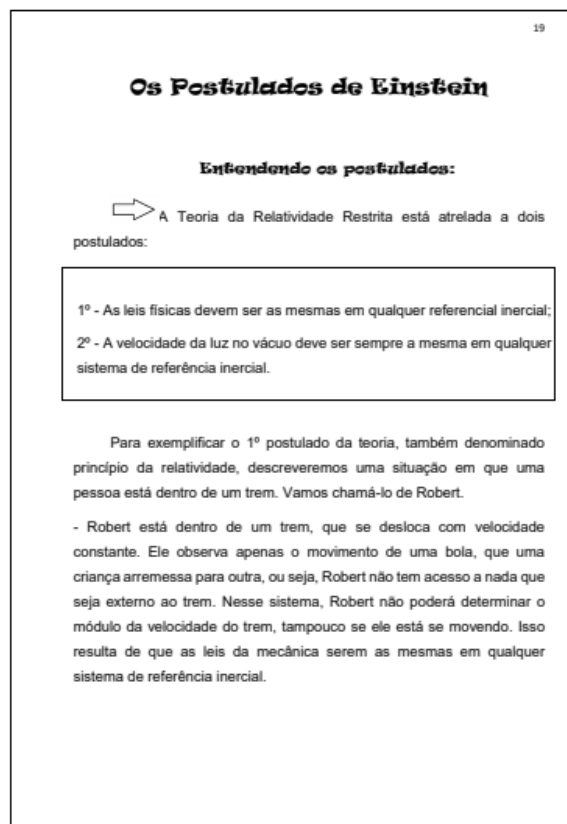
- (Organização da sala de aula, dispondo as cadeiras em um grande círculo). Inicialmente o professor convidará os alunos para participarem de atividade coletiva denominada “Roda de Conversa”, com a finalidade de discussão das questões problematizadoras constantes no questionário aplicado na aula anterior e também conversação sobre os documentários sugeridos como atividade extraclasse. Com

essa atividade pretende-se não somente discutir em grupos os conhecimentos prévios dos alunos, mas também mediar uma relação entre os conhecimentos prévios e os novos conhecimentos. As questões serão projetadas no quadro.

2. Proposta de situação introdutória:

- “Pegando o gancho” do debate na “Roda de Conversa”, o professor convidará os alunos para assistirem um trecho (1 minuto e 50 segundos), do documentário sobre Einstein com o propósito de promover a intencionalidade nos alunos de quererem aprender. BS.: O trecho do vídeo mencionado faz parte do documentário sobre Albert Einstein do canal History.com: <https://drive.google.com/open?id=1LKMBqyxhRAHGnun3V0-0CbIDadLdMUoIN>.
- Usando o Guia Ilustrado como organizador prévio, será estudado o texto denominado “Os Postulados de Einstein” (ROSA, 2018, p. 19 até p. 24), Figura 22:

Figura 22 – Os Postulados de Einstein



Fonte: da própria autora.

Extraída do Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita (ROSA, 2018).

3. Situação final da aula:

- Para finalizar a unidade de aula, proposta de atividade no Guia Ilustrado, (ROSA, 2018, p. 25), Figura 23:

Figura 23 – “Vamos pensar um pouco!!!”

25

1. Qual grandeza tem o mesmo valor quando medida por dois observadores, qualquer que seja a velocidade relativa uniforme entre eles?

2. A Mecânica Newtoniana poderia ser comprovada no interior de um vagão de um trem que se encontra em movimento retilíneo uniforme (MRU)? Justifique:

3. Imagine que você está num trem com velocidade constante, em movimento retilíneo uniforme, e com as janelas fechadas.

Pergunta que não quer calar!!!

- Seu celular toca e um amigo pergunta para você: - o trem está parado ou em movimento?

Fonte: da própria autora.

Extraída do Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita (ROSA, 2018).

- Observações sobre a aula 2:

Iniciando a segunda aula, o professor mediará uma atividade coletiva com a finalidade de retomada das questões problematizadoras do questionário aplicado, considerando que situações-problemas podem funcionar como organizadores prévios. Essa atividade consiste em debate para troca de ideias, informações e

possíveis questionamentos sobre os temas tratados na aula anterior e dos documentários sugeridos como atividade extraclasse.

Essa proposta de atividade coletiva está de acordo com os pressupostos da teoria vygotskyana de que a interação social e a linguagem são essenciais para a captação de significados, que deve ser anterior e uma condição para a aprendizagem significativa. (MOREIRA, 2012)

Na segunda parte da aula, deseja-se fazer a interação entre os conhecimentos prévios para aprofundamento de estudo usando organizadores prévios, estratégias e material potencialmente significativo, através da introdução do tema “Os Postulados de Einstein”, iniciando com a observação de um recorte de documentário, com a finalidade de motivar os alunos para o estudo que será continuado usando o Guia Ilustrado.

É importante salientar que desde a primeira aula se considera a avaliação formativa, ou seja, avalia-se o progresso do aluno ao longo de todas as aulas, uma vez que a avaliação é contínua.

Plano de Aula 3

Tempo de duração: 2 períodos de 45 min.

Objetivos da aula:

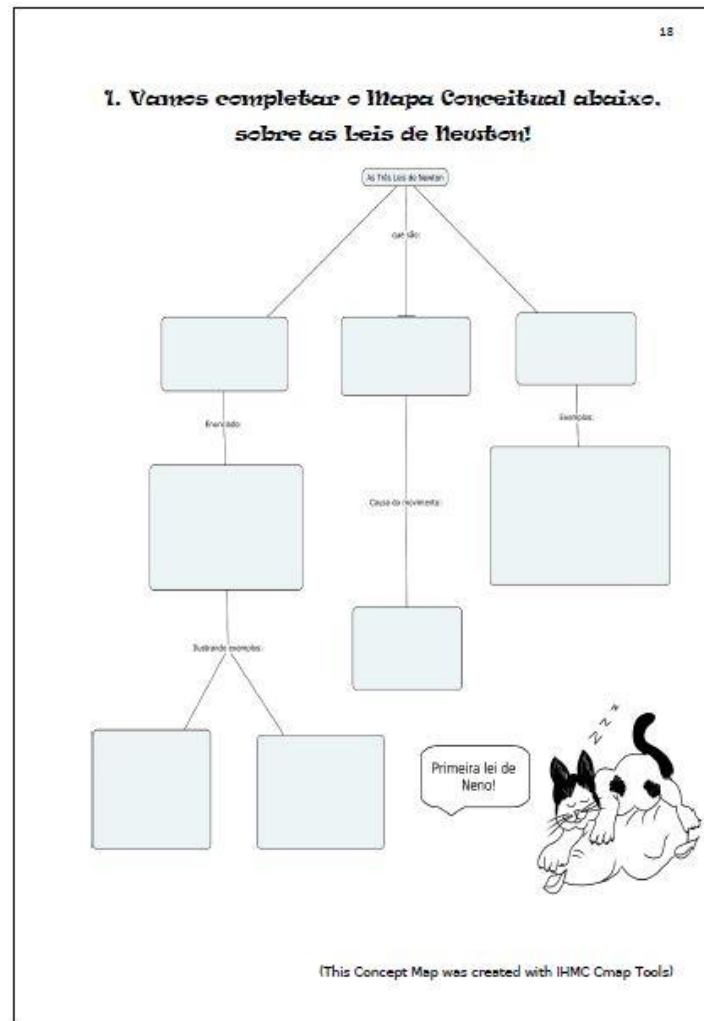
- Elaborar um Mapa Conceitual sobre o tema “Os Postulados de Einstein”.
- Introduzir as consequências dos postulados da teoria relativística.
- Reconhecer a questão da relatividade, através de proposta de situação-problema (experiência de pensamento).

1. Situação inicial da aula:

- Para começar a aula o professor fará uma breve exposição dialogada, com a finalidade de retomar o tema da aula anterior – “Os Postulados de Einstein”, e, também como motivação para a próxima atividade.
- Usando uma atividade contida no Guia Ilustrado, o professor solicitará aos alunos a construção de um Mapa Conceitual sobre os postulados estudados.

- O modelo de elaboração do mapa será explicado a partir da atividade proposta no Guia (ROSA, 2018, p. 18), Figura 24. A partir desse modelo, os alunos deverão elaborar o seu mapa, individualmente, em uma folha branca.

Figura 24 – Atividade proposta no Guia Ilustrado - Mapa Conceitual



Fonte: da própria autora.

Extraída do Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita (ROSA, 2018).

2. Proposta de situação problematizadora:

- Partindo do estudo dos postulados, o professor fará uma breve exposição dialogada sobre as consequências que decorreram esses postulados.
- Dando seguimento, introduzirá o tema “relatividade da simultaneidade”, convidando os alunos para formarem duplas com a finalidade de realizarem uma experiência de pensamento, como Einstein fazia - Gedankenexperiment.

- Nessa atividade, as duplas deverão discutir entre si o tema do texto e após fazer um relato sobre o possível resultado da experiência com base nos postulados da teoria em estudo.

PROPOSTA DE ATIVIDADE (Material impresso)

Nome da dupla:.....

Data:

Turma:.....

1. Convide um colega para discutir o experimento abaixo, e, após, elaborem um relato sobre a experiência (resultado, impressão, conclusão):

“Ao mesmo tempo?

Voltemos ao vagão de trem. Só que desta vez ele terá as paredes laterais de vidro, para que tudo o que ocorra em seu interior possa ser visto por um amigo seu que está agora na plataforma. O vagão também terá, em cada uma das extremidades, uma daquelas canetinhas a laser – que as pessoas maldosamente costumam apontar para o rosto dos artistas durante os shows. Elas estão sincronizadas – isto é, quando uma dispara, a outra dispara também – e apontadas exatamente para o centro do vagão, onde terá uma bomba (totalmente inofensiva).

Inicialmente, com o vagão parado, as canetinhas disparam pulsos de luz. Você, que está lá ao lado da bomba, vê os pulsos partindo no mesmo instante e chegando juntos à bomba, que explode. Seu amigo, na plataforma, observando atentamente, relata que viu exatamente a mesma coisa. Sem novidade, você diria.

Mas, agora, vamos fazer o vagão dar marcha à ré e voltar a se movimentar para a frente, com velocidade constante, porém muito, muito alta, próxima à da luz. Seu amigo o vê mover-se, digamos, da esquerda (dele) para a direita. Quando o vagão passa pelo o meio da plataforma, onde está seu amigo, novamente as canetinhas a laser disparam flashes de luz. Você novamente os percebe chegando à bomba no mesmo instante, com a conseqüente explosão. Mas aí algo muito, muito estranho acontece.

Seu amigo, meio embasbacado, relata o seguinte: “Vi a bomba explodindo, mas, mas... a canetinha do fundo, a que estava à minha esquerda, emitiu luz antes daquela posicionada na frente do vagão”. Você pergunta ao seu amigo se ele está

passando bem, se havia bebido algo antes de fazer a experiência. Ele nega e diz que tem absoluta certeza do que observou. E ele está certo.

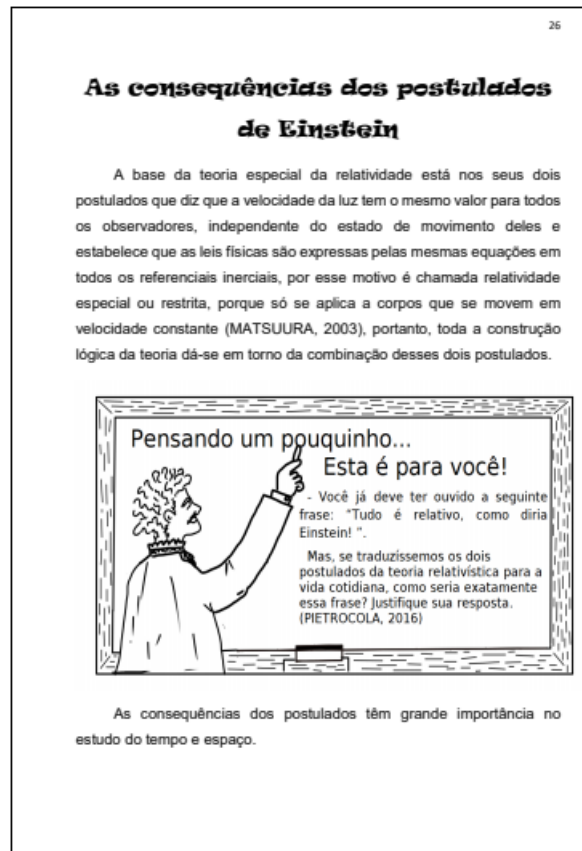
O que foi simultâneo para você (a emissão dos pulsos de luz), não foi simultâneo para seu amigo na plataforma. O que pode ter acontecido? ”

(Texto extraído do livro “Einstein - O Reformulador do Universo”, de Cássio Leite Vieira, 2003, p. 87 e 89)

3. Situação final da aula:

- Após a realização da atividade o professor pedirá para que alguns alunos (que desejarem) façam a leitura do seu relatório para promoção de uma breve discussão coletiva.
- Os relatórios devem ser entregues para o professor fazer uma avaliação qualitativa. Para finalizar a aula, o professor indicará, como atividade extraclasse, a leitura do texto contido no Guia Ilustrado (Figura 25), bem como as atividades propostas sobre o tema da aula (ROSA, 2018, p. 26 até p. 32).

Figura 25 – Atividade no Guia Ilustrado 1



Fonte: da própria autora.

Extraída do Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita (ROSA, 2018).

- Observações sobre a aula 3:

Iniciando a aula com retomada oral dos aspectos mais gerais e estruturantes do conteúdo de ensino, para em seguida elaboração de um mapa conceitual, sendo que primeiramente, os alunos deverão efetuar, com o auxílio do professor, a atividade constante no Guia Ilustrado, como forma de identificarem a construção de um mapa conceitual. A seguir, deverão fazer individualmente o seu mapa sobre os postulados estudados.

Após serão introduzidas as consequências dos postulados da teoria relativística, iniciando pelo reconhecimento da impossibilidade da simultaneidade. Para isso, propõe-se uma experiência de pensamento (atividade em duplas).

Plano de Aula 4

Tempo de duração: 2 períodos de 45 min.

Objetivos da aula:

- Introduzir outra consequência dos postulados de Einstein: a dilatação temporal, através de análise de situação-problema contendo ideias e conceitos com níveis de complexidade progressivo.
- Utilizar o Guia Ilustrado como organizador prévio para resolução de situação-problema.

1. Situação inicial da aula:

- Retomando a aula anterior o professor fará a devolução dos mapas conceituais elaborados, com os devidos apontamentos.
- O professor solicitará aos alunos que façam uma segunda versão do seu mapa. As dúvidas com relação ao tema de estudo serão sanadas nesse momento.
- Revisão das atividades que foram propostas como atividade extraclasse na aula anterior.
- Abordagem do tema da aula sobre dilatação temporal através de questionamentos para discussão coletiva (atividade projetada no quadro):

Questão 1: (SAMPAIO, CALÇADA, 2005)

- “Em 1977 foi realizado um experimento com dois relógios atômicos de grande precisão. Um deles foi colocado em um avião e o outro foi mantido no solo. Depois que o avião se moveu durante algum tempo a uma grande velocidade, os dois relógios foram comparados e observou-se que o avião estava atrasado em relação ao do solo. Por quê?”

- Com a Questão 1, pretende-se levar os alunos a discutirem o fenômeno da dilatação temporal.

Questão 2: (VIEIRA, 2003, p. 90 e 91)

- Vamos retomar o trem e a mesma plataforma trabalhados na experiência mental realizada anteriormente.

“Agora a canetinha a laser estará no chão, apontando para o teto, onde se encontra um espelho. O trem começa a se movimentar com velocidade uniforme. Quando passa diante do seu amigo na plataforma – que mais uma vez vê o vagão indo da esquerda (dele) para a direita -, um pulso de luz é lançado. Ele bate no teto e volta. Com a ajuda de um cronômetro muito preciso, você marca o tempo que a luz levou para sair da canetinha, bater no espelho e voltar ao chão. Seu amigo fará a mesma medição, com um cronômetro igual, da plataforma.

Quando a experiência termina você vai conferir seu cronômetro com o dele. Para surpresa de ambos, os tempos medidos são diferentes. [...] Como isso pode ter acontecido?” Qual cronômetro marca um tempo maior?

(OBS.: Não esqueçam que precisamos exagerar nas dimensões e velocidade do trem).

- Com a Questão 2, pretende-se conduzir os alunos para a investigação e formulação de hipóteses a partir da discussão coletiva.
- Depois o professor solicitará que os alunos façam uma ilustração da experiência.
- Após, deverão fazer o apontamento da ideia obtida a partir da investigação e hipóteses formuladas.
- Na sequência, o professor solicitará aos alunos que indiquem as grandezas envolvidas nessa experiência (altura do vagão, velocidade do trem, velocidade da luz, tempos marcados nos cronômetros).

Questão 3: (MENEZES, 2013, p. 229)

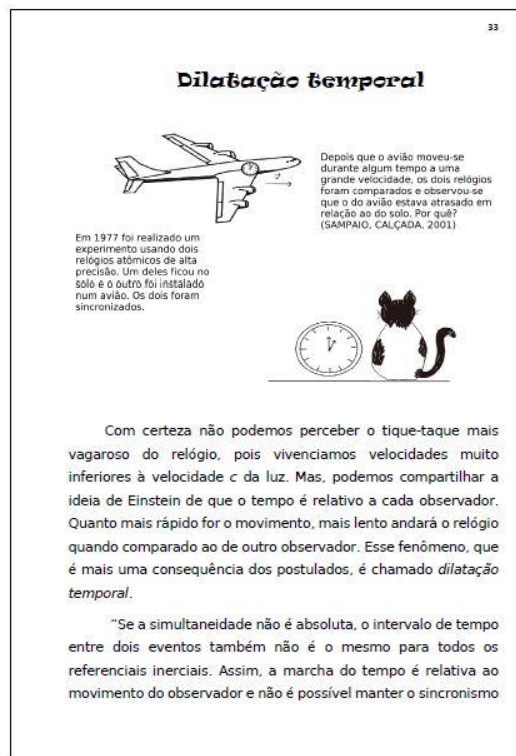
- “Um passageiro *A* se encontra dentro de um trem em movimento e mede seu relógio um intervalo de tempo de *12 min* entre dois eventos quaisquer ocorridos dentro do vagão. Supondo que a velocidade do vagão seja $v = 0,8c$ (80% da velocidade da luz no vácuo), quanto tempo o relógio de um observador *O*, fora do vagão, parado ao lado da linha, registraria entre esses mesmos dois eventos?

- Na Questão 3, há a exposição de dados matemáticos.
- O professor solicitará que os alunos ilustrem a situação-problema e anotem as grandezas envolvidas com seus respectivos valores. E de acordo com suas percepções façam um relato justificado de uma possível conclusão.

2. Proposta de situação introdutória:

- Será indicado aos alunos a leitura do texto no Guia Ilustrado (Figura 26) que trata sobre a dilatação temporal (ROSA, 2018, p. 33 até p. 41). A partir dessa leitura, com informações mais aprofundadas, os alunos poderão verificar matematicamente o resultado para a Questão 3 e comparar com sua conclusão feita anteriormente.

Figura 26 – Atividade no Guia Ilustrado 2



Fonte: da própria autora.

Extraída do Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita (ROSA, 2018).

3. Situação final da aula:

- Conversação sobre o tema abordado, troca de ideias e momento para tirar as dúvidas.

- Observações sobre a aula 4:

Os temas específicos da matéria serão trabalhados de forma construtiva e progressiva, com situações-problemas propostos em níveis crescentes de complexidade (Vergnaud), de modo que sempre seja levado em consideração a relação entre os novos conhecimentos e os conhecimentos prévios.

Propõem-se nessa aula uma atividade contendo três situações-problemas envolvendo o tema dilatação temporal. Nessa proposta a atividade é colaborativa levando os alunos a interagirem socialmente, negociando significados, com o professor como mediador. (MOREIRA, MASSONI, 2016)

Uso do Guia Ilustrado como organizador prévio para auxiliar na resolução da atividade proposta.

Plano de Aula 5

Tempo de duração: 2 períodos de 45 min.

Objetivos da aula:

- Compreender e resolver situação-problema envolvendo o tema contração do comprimento.
- Saber que a massa de um objeto pode ser interpretada como uma energia de repouso.
- Conhecer as relações entre energia total e energia de repouso e reconhecer a célebre equação para energia relativística $E = m.c^2$.

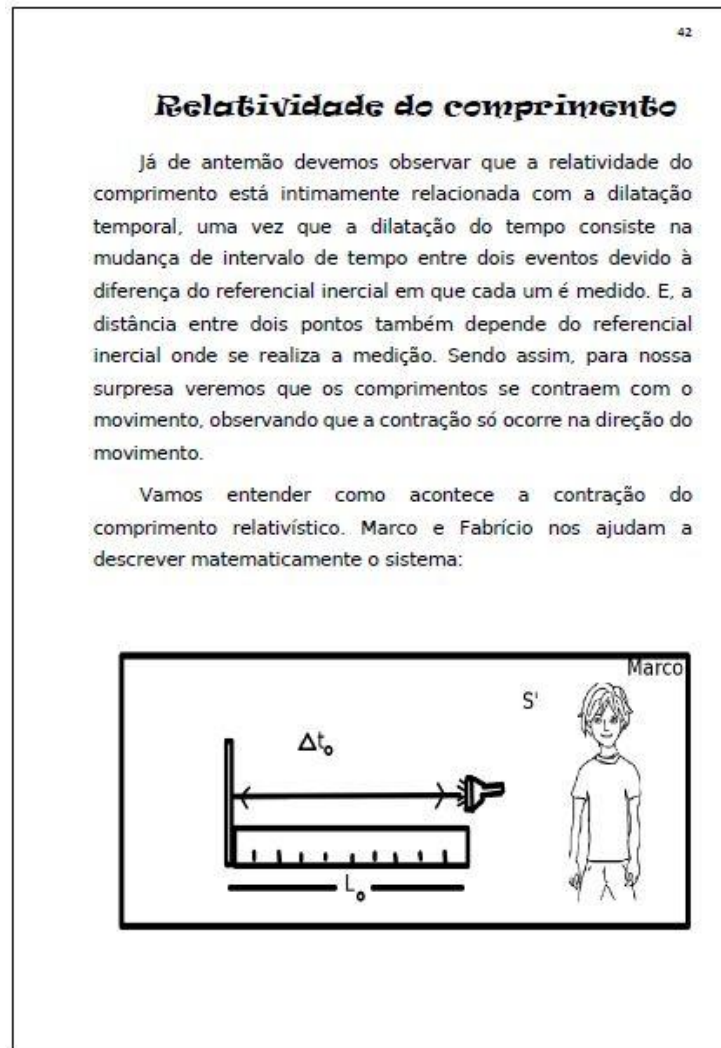
1. Situação inicial da aula:

- Retomada oral sobre aula anterior, oportunizando aos alunos um momento para comentários e questionamentos com a finalidade de sanar possíveis dúvidas sobre os temas já estudados.

2. Proposta de situação introdutória:

- Na primeira parte da aula, será introduzido o tema contração do comprimento através de leitura e realização de atividade proposta no Guia Ilustrado (ROSA, 2018, p. 42 até p. 45), Figura 27:

Figura 27 – Relatividade do comprimento



Fonte: da própria autora.

Extraída do Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita (ROSA, 2018).

- Na segunda parte da aula, abordagem do tema energia relativística através da leitura de texto no Guia Ilustrado (ROSA, 2018, p. 47 até p. 51), Figura 28:

Figura 28 – Energia Relativística

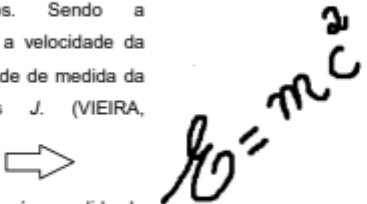
47

Energia Relativística

Não somente a dilatação do tempo e a relatividade do comprimento são afetados pelo movimento relativo entre o observador e o evento. A teoria da relatividade também manifesta outra consequência dos postulados que é a relação entre massa e energia. Em 1905, Einstein divulgou que massa e energia são equivalentes, ratificando que a energia E liberada pela destruição de uma massa m é igual a velocidade da luz c ao quadrado. Sendo assim, a luz que viaja a velocidade aproximada de 3×10^8 m/s, no vácuo, libera uma enorme quantidade de energia mesmo quando da destruição de uns poucos átomos. O Sol e as usinas nucleares produzem energia desse modo. (BAKER, 2015)

Daí a equação mais famosa da Física, se não for a mais célebre da Ciência: $E = mc^2$.

A equação implica que uma quantidade pequena de massa m contém uma grande quantidade de energia E . Onde, a massa é multiplicada pela velocidade da luz ao quadrado c^2 , que em números é 9×10^{16} , ou seja 90 quatrilhões, considerando o espaço medido em metros. Sendo a massa medida em kg e a velocidade da luz em m/s, a unidade de medida da energia será em joules J. (VIEIRA, 2003)



Sabendo que a massa é a medida da inércia de uma partícula ou corpo, Einstein com sua teoria, mostrou que se a massa de uma partícula em repouso é m_0 , a massa m dessa partícula em movimento com velocidade v é dada por:

Fonte: da própria autora.

Extraída do Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita (ROSA, 2018).

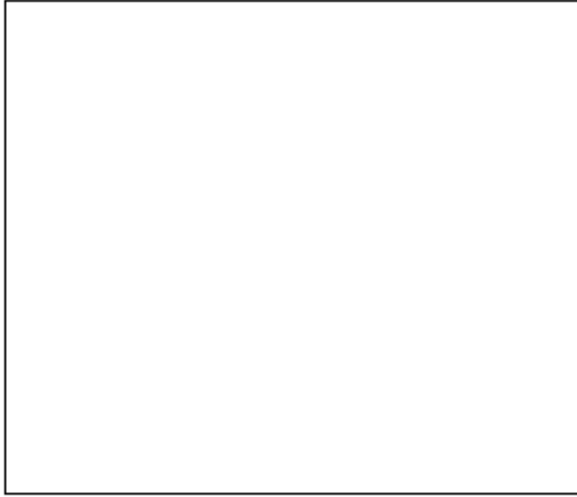
- Após a leitura das páginas, será solicitado que os alunos que façam a atividade proposta no Guia (ROSA, 2018, p. 51), Figura 29:

Figura 29 - Registro de conclusões sobre o tema Energia Relativística

51

Porém, de acordo com a equação $E = m c^2$, massa e energia são conceitos permutáveis. Assim, ao fornecermos energia para aumentar a velocidade de um corpo, também estaremos aumentando sua massa. Como consequência do aumento de massa, deveremos aumentar a força para que o corpo continue aumentando sua velocidade. Porém, esse processo tem um limite, uma vez que nenhum corpo com massa pode atingir ou ultrapassar a velocidade da luz c . (VIEIRA, 2003)

Use o espaço abaixo para anotar suas conclusões sobre o tema estudado:

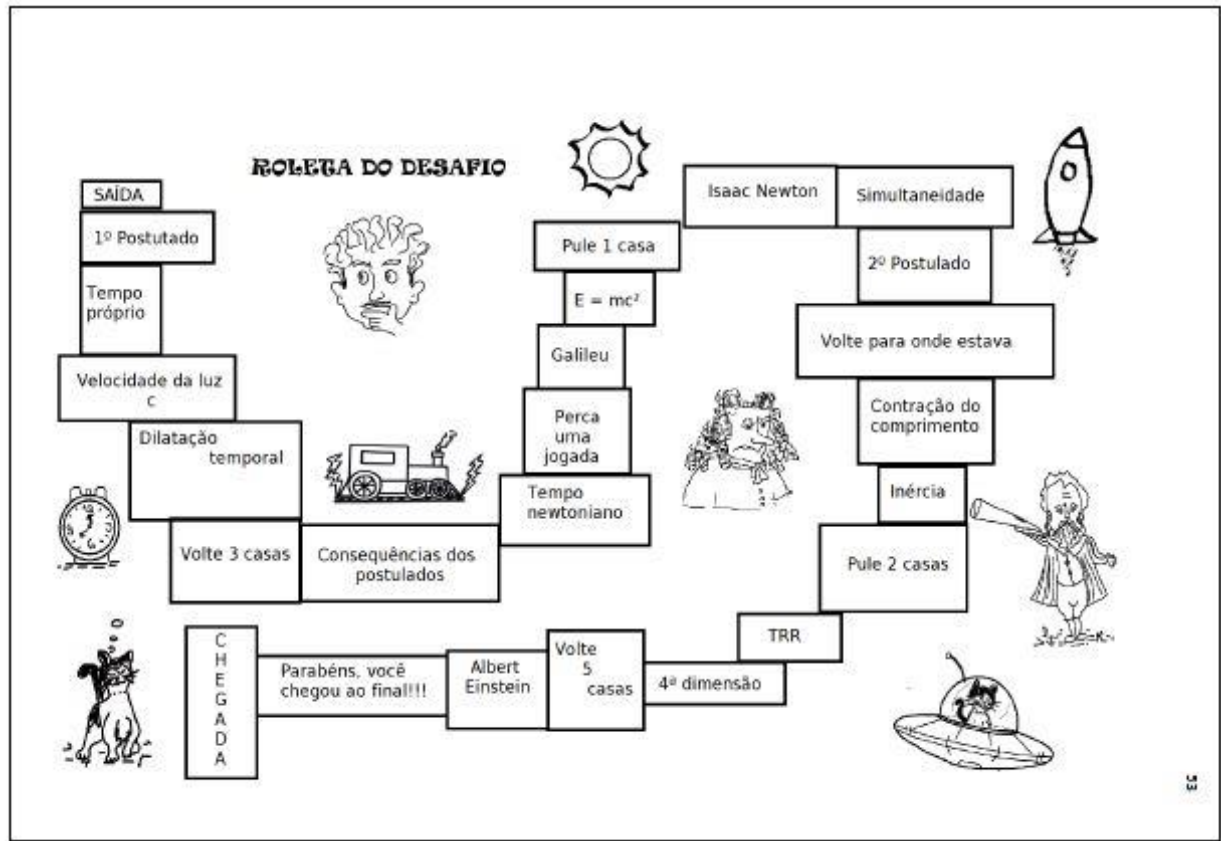


Fonte: da própria autora.

Extraída do Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita (ROSA, 2018).

- Após essa atividade será proposto a realização de um jogo, denominado “Roleta do Desafio” (constante no Guia Ilustrado, páginas 52 e 53), para ser realizado em duplas, Figura 30:

Figura 30 – Roleta do Desafio



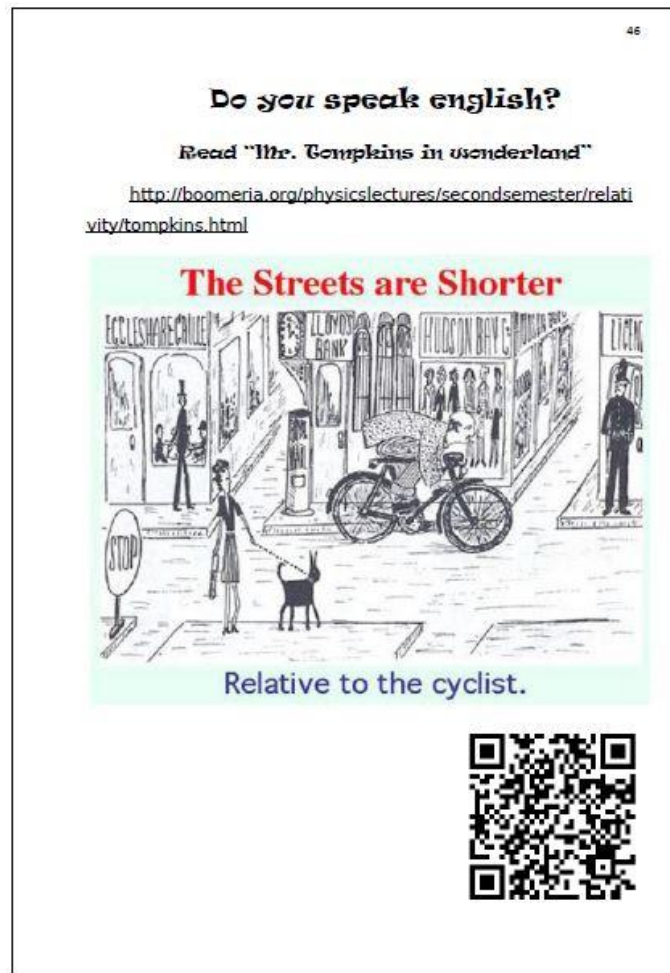
Fonte: da própria autora.

Extraída do Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita (ROSA, 2018).

3. Situação final da aula:

- Para finalizar a aula, o professor avisará os alunos que retomem os temas estudados, utilizando o Guia Ilustrado, acessando as sugestões de estudo e links indicados no mesmo, para que no próximo encontro seja realizada uma avaliação escrita.
- Sugestão de leitura (desafio na língua inglesa) indicada na página 46 do Guia (Figura 31). A sugestão trata-se do livro ilustrado do astrofísico George Gamow, que apresenta o personagem Mr. Tompkins que vivencia os efeitos relativísticos no cotidiano do seu incrível mundo.

Figura 31 - “Mr. Tompkins in Wonderland” (George Gamow)



Fonte: da própria autora.

Extraída do Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita (ROSA, 2018).

- Observações sobre a aula 5:

Na quinta aula são abordados os temas que finalizam o estudo proposto nesta sequência.

É utilizado o Guia Ilustrado com propostas de leitura e de atividades diversificadas como aplicação da equação para verificação do comprimento relativístico e de registro de conclusões referente a compreensão da equivalência de massa e energia, com a exposição da famosa equação $E = mc^2$.

Com o pensamento de que aspectos transversais devem ser considerados como materiais e estratégias diversificadas que estimulem o diálogo, o questionamento e a crítica, propõem-se, nesta aula, a realização uma atividade prática (proposta de um jogo constante no Guia para ser realizado em duplas), em

que os alunos possam expor seu pensamento, demonstrando seu conhecimento sobre a matéria de estudo e também de interagindo e trocando ideias com o colega, numa aprendizagem recíproca.

Plano de Aula 6

Tempo de duração: 2 períodos de 45 min.

Objetivos da aula:

- Realizar atividade proposta de avaliação de aprendizagem referente aos conceitos estudados sobre a Teoria da Relatividade Restrita, usando o Guia Ilustrado como material de apoio para realização de atividade avaliativa.
- Participar de elaboração de Mapa Conceitual envolvendo os conceitos estudados sobre a Teoria da Relatividade Restrita.

1. Situação inicial da aula:

- Retomada oral dos temas estudados, proporcionando espaço para questionamentos de dúvidas pertinentes.
- Conversação sobre a leitura do livro sugerido na aula anterior: “Mr. Tompkins in Wonderland”.

2. Proposta de situação introdutória:

- Na primeira parte da aula será aplicada a avaliação escrita composta de atividades envolvendo os temas estudados dentro da Teoria da Relatividade Restrita. A avaliação será individual.
- O professor permitirá o uso do Guia Ilustrado para consulta.

ATIVIDADE AVALIATIVA DE FÍSICA – Profª Milena Teixeira da Rosa

Tópico de estudo: Teoria da Relatividade Restrita

Temas: Postulados de Einstein e suas consequências (simultaneidade, dilatação temporal, contração de comprimento, energia relativística)

NOME DO (A) ESTUDANTE:.....

SÉRIE/TURMA:..... Capão da Canoa-RS,/...../.....

1. Um tópico importante da Física é a Teoria da Relatividade Restrita, que estuda onde e quando ocorrem os eventos (acontecimentos) e qual é a distância que os separa no espaço e no tempo. Nesse estudo, explique com suas palavras o que você entende por relatividade:

.....

.....

.....

2. Sabemos que com o advento da Teoria da Relatividade de Einstein alguns conceitos da Mecânica Newtoniana sofreram adequações. Escreva frases elencando as diferenças entre essas duas teorias:

--	--

3. Suponha que um observador (Leo) observa que dois eventos independentes (evento Verde e evento Amarelo) ocorreram simultaneamente. Suponha também que outro observador (Karen), que está se movendo com velocidade constante em relação a Leo, também registra os dois eventos. Os eventos também são simultâneos para Karen?

Resposta:.....

Justificativa:.....

.....

4. Uma pessoa está de pé ao lado dos trilhos de uma estrada de ferro quando é surpreendida pela passagem de um vagão relativístico. Um passageiro que está na extremidade dianteira do vagão dispara um pulso de laser em direção à extremidade traseira.

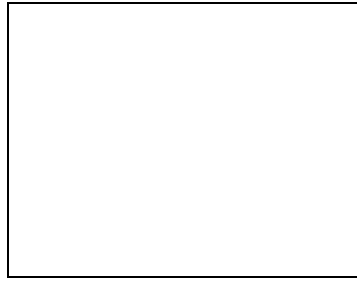
(a) Ilustre o evento:



(b) A velocidade do pulso medida pela pessoa que está do lado de fora do trem é maior, menor ou igual à velocidade medida pelo passageiro?.....

(c) O tempo que o pulso leva para chegar à extremidade traseira do vagão, medido pelo passageiro, é o tempo próprio?

(d) A relação entre o tempo medido pelo passageiro e o tempo medido pela pessoa que está do lado de fora é dada pela equação?



5. Elabore um exercício de Palavras Cruzadas, contendo no mínimo 5 discussões, envolvendo os temas estudados no tópico Relatividade Restrita:

- Na segunda parte da aula será proposta atividade em grupo, que consistirá na elaboração de um Mapa Conceitual feito em um cartaz, abordando um dos temas estudados (Evolução da Teoria Relativística, Os Postulados de Einstein, Relatividade da Simultaneidade, Dilatação Temporal, Contração do Comprimento e Energia Relativística).
- Como processo integrador de estudo, cada grupo deverá apresentar seu trabalho, explicando seu Mapa Conceitual para o grande grupo.

3. Situação final da aula:

- Para finalizar o professor solicitará para cada aluno uma avaliação escrita e/ou gravada sobre todo o trabalho desenvolvido, com opiniões, sugestões, impressões, bem como auto avaliação de sua aprendizagem.
- Para auxiliar na elaboração do texto dos alunos, sugerimos quatro reflexões que seguem abaixo:
 - Como foi o desenvolvimento das aulas;
 - O que você achou mais interessante sobre o estudo;
 - Como foi seu envolvimento e participação nesse estudo;
 - Sua avaliação sobre o Guia Ilustrado.

- Observações sobre a aula 6:

Na primeira parte da sexta aula deve ocorrer o acompanhamento da aprendizagem, através de atividade de avaliação somativa individual, observando que a verificação de aprendizagem já deve estar sendo efetuada com base nos trabalhos já realizados pelos alunos nas aulas anteriores.

Como fechamento desta sequência de ensino, o professor solicitará aos alunos uma avaliação de todo o estudo, bem como auto avaliação individual sobre sua participação em todo o processo.

4.3 Apresentação e discussão dos resultados

Nesta seção é apresentado a aplicação do produto educacional, bem como as discussões e os resultados obtidos pertinentes aos dados apanhados durante o desenvolvimento das aulas. Observando que o planejamento inicial é composto de 6 aulas, porém, devido a alguns imprevistos, que estão relatados no tópico Outros Registros de Atividades e Fotografias, que se encontra no APÊNDICE C a implementação do produto se estendeu para 8 encontros de 90 minutos, totalizando 12 horas.

É relevante salientar que todas as atividades propostas no planejamento foram desenvolvidas, concordando com o cronograma dos principais tópicos orientadores de cada aula:

- Identificação de conhecimentos prévios através de aplicação de questionário individual;
- Abordagem introdutória do tema geral de estudo usando material potencialmente significativo – Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita;
- Proposta de discussão coletiva retomando o questionário aplicado e considerando os conhecimentos prévios;
- Introdução dos postulados da teoria relativística usando o Guia Ilustrado;
- Elaboração de Mapa Conceitual sobre os postulados (atividade individual).
- Abordagem introdutória das consequências dos postulados;
- Resolução de situação-problema envolvendo a impossibilidade da simultaneidade;

- Reconhecimento da dilatação temporal, através de atividade proposta, discutida no grande grupo;
- Uso do Guia Ilustrado como organizador prévio para resolução de situação-problema;
- Resolução de situação-problema sobre contração do comprimento (utilizando o Guia Ilustrado).
- Abordagem do tema energia relativística e exposição da equação $E = m.c^2$, usando o Guia;
- Avaliação do processo de aprendizagem, através de atividade individual envolvendo todos os temas estudados (adoção do Guia Ilustrado como apoio para resolução das situações-problema propostas);
- Elaboração e apresentação de Mapa Conceitual envolvendo todos os temas trabalhados: evolução da teoria relativística, os postulados de Einstein e suas consequências (reconciliação integrativa);
- Avaliação e auto avaliação de todo o processo desenvolvido.

A primeira intenção desta proposta era de aplicar o produto em uma turma do 3º ano, porém, tendo em vista de pensarmos numa sequência didática que pudesse ser aplicada em qualquer ano do ensino médio, resolvemos desenvolver o produto também em uma turma do 2º ano. Esclarecemos que a ideia de aplicação do produto nos dois anos não se trata de fins comparativos, mas sim de verificação da possibilidade do mesmo ser desenvolvido não apenas no último ano do ensino médio.

As turmas trabalhadas foram a 201 (2º ano) e a 301 (3º ano), sendo a primeira composta de trinta e quatro (34) alunos e a segunda composta de vinte e cinco (25) estudantes. As duas turmas pertencentes da mesma escola pública da rede estadual, situada na cidade de Capão da Canoa, RS.

4.3.1 Aula 1

A aplicação da sequência didática iniciou no dia 13 de maio de 2019, para a turma 201 e no dia 23 de maio de 2019, para a turma 301, ambas no turno da manhã.

Seguindo o planejamento da Aula 1, com a exposição da figura (constante na página 62) da obra de Salvador Dalí – “A Persistência da Memória”, como uma proposta inicial diferenciada, antecedendo a aplicação do questionário de conhecimentos prévios, com a finalidade de captação de ideias, através de discussão coletiva, a partir da observação da figura, pleiteando a interação cognitiva entre o novo conhecimento e os conhecimentos já existentes, em concordância com a Teoria da Aprendizagem Significativa, onde segundo Moreira (2017, p. 9), “aprendemos a partir do já sabemos”, mas para que isso aconteça é necessário que “o aprendiz apresente uma predisposição, uma intencionalidade, para aprender”. Ainda de acordo com Moreira (2017 p. 10), para despertar a intencionalidade “é preciso, sobretudo, usar situações que façam sentido para os alunos”. Metodologias, estratégias e instrumentos que proporcionem significados para os aprendizes, como no caso o uso do Guia Ilustrado, que também serviu como organizar prévio, ou seja, como um recurso didático, auxiliando como ponte entre o que os alunos já sabem e o que deveriam saber para a aquisição de novos conhecimentos. (MOREIRA, 2017)

Sobre essa atividade os alunos do 2º ano falaram que não conheciam a pintura e a respeito de suas impressões, com relação ao significado da imagem, disseram que os relógios davam a ideia de “tempo perdido” ou de “tempo transcorrido”, “tempo que já passou”. Já a maioria dos alunos do 3º ano, comentaram que conheciam a imagem, e, também disseram que os relógios davam a ideia de “tempo perdido”, “tempo transcorrido”.

Essa proposta desencadeou nas duas turmas uma discussão coletiva com questionamentos relacionados ao novo tema a ser estudado, promovendo o interesse, a curiosidade, instigando as ideias e os pensamentos dos alunos.

Em seguida, foi aplicado o questionário individual de coleta de conhecimentos prévios. Ambas as turmas levaram um tempo médio entre 25 a 35 minutos para resolução do questionário.

Após o recolhimento da atividade, foi solicitado para falarem as palavras que apareciam com frequência no questionário, com a intenção de familiarizá-los com palavras recorrentes no novo estudo, uma vez que deveriam verificar essas mesmas palavras constantes nos textos no Guia Ilustrado. Essas palavras foram anotadas no quadro branco:

Palavras da Turma 201	Palavras da Turma 301
↓	↓
Tempo - Velocidade - Inércia - Referencial – Dimensão - Einstein – Movimento - Relatividade - Leis de Newton	Tempo - Velocidade – Inércia - Buraco Negro – Dimensão - Einstein - M.R.U. - Relatividade Especial - Viagem no Tempo - 1ª Lei de Newton - Velocidade da Luz

Observamos nas listagens acima que houve o apontamento de 5 palavras comuns às duas turmas e que os alunos do 3º ano indicaram mais palavras que os alunos do 2º. Para essa última evidência, acreditamos ser devido a turma 301 ter um ano a mais no processo escolar.

Com essa atividade, trabalhamos outra ideia da AS, que atenta que a aprendizagem com significado não é construída abruptamente, mas sim construída progressivamente. (MOREIRA 2017)

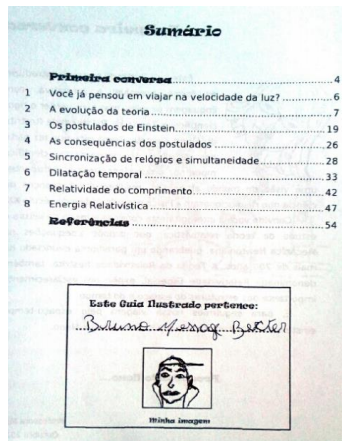
Na sequência foi distribuído o Guia Ilustrado para os alunos e sugerida a leitura das páginas iniciais e do primeiro tema: “Evolução da teoria” (p. 7 até 14) e, solicitado que apontassem, grifando, no texto lido, as palavras que foram anotadas no quadro, referente ao questionário respondido.

Ao receberem o Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita, os alunos manifestaram surpresa, alegria, motivação e satisfação. Foram aproximadamente

10 minutos de muita excitação na sala, devido as ilustrações dos personagens e dos temas a serem estudados. Muitos já queriam colorir os desenhos. Fizeram questionamentos sobre o livro, sobre como foi elaborado, sobre os temas a serem estudados.

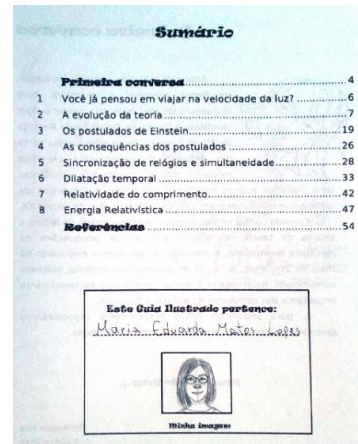
Foi solicitado que identificassem o seu livro colocando o nome e/ou desenhando sua imagem (Figuras 32 e 33). Foi feita a indicação da disponibilidade do guia no Blog da Professora Mila, onde alguns alunos fizeram acesso imediato usando a internet de seus aparelhos móveis (celular).

Figura 32 – Aluno do 2º ano



Fonte: da própria autora.

Figura 33 – Aluna do 3º Ano



Fonte: da própria autora.

Como consequência, foi proposta uma discussão oral e coletiva sobre as contribuições dos cientistas elencados no texto, como Galileu Galilei, que fez os primeiros ensaios relativísticos no estudo da Cinemática e Isaac Newton que formulou suas leis para a Mecânica Clássica, descrevendo os fenômenos físicos como uma sequência de eventos inseridos em três dimensões, considerando espaço e tempo como conceitos independentes.

Já na teoria relativística, o tempo também será um conceito relativo. Porém, espaço e tempo entrelaçam-se em um único, espaço-tempo, que é absoluto e não depende da eleição de um referencial. (LESCHE, 2005)

Foi indicado aos alunos, como atividade extraclasse os vídeos sugeridos no Guia Ilustrado na página 17, para discussão na próxima aula.

Com essa última atividade, a aula foi finalizada com o recolhimento dos livros.

4.3.2 Mapeamento dos conhecimentos prévios do 2º e 3º Ano

Neste item relatamos as observações realizadas a partir do mapeamento dos conhecimentos prévios dos alunos das turmas 201 e 301.

Enfatizamos que para o ensino de novo conhecimento é imprescindível identificar o que os alunos já sabem. No caso do ensino da teoria relativística foram elaboradas questões com situações que remetem aos conceitos científicos envolvidos nesse tópico da Física Moderna *linkando* com a Mecânica Clássica.

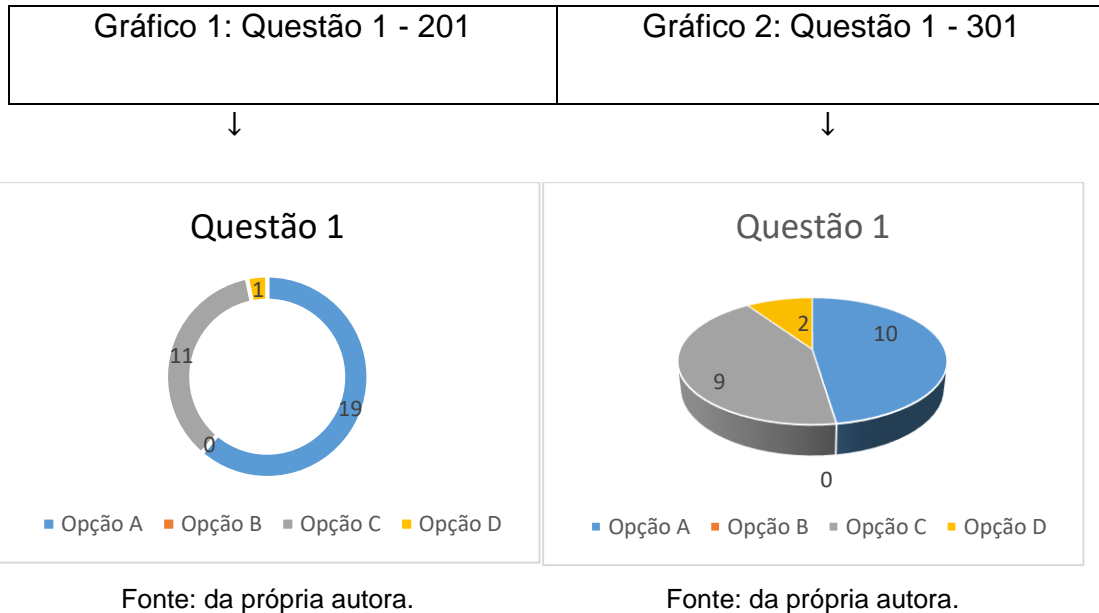
Realizaram a proposta 32 (trinta e dois) do total de 34 (trinta e quatro) alunos da turma 201 e da turma 301, 22 (vinte e dois) do total de 25 (vinte e cinco) responderam o questionário.

Sobre a questão 1, pretendemos verificar o conceito de movimento dos corpos (referenciais) tratado na Cinemática:

1. Durante uma viagem de carro, uma criança observa que as árvores se movem, ficando para trás. Seu pai, que dirige o carro, diz que as árvores estão paradas e é o carro que avança. Qual dos dois tem razão? Justifique sua resposta:

- | | |
|-----------------------|-------------------------------|
| A) O pai tem razão. | B) O filho tem razão. |
| C) Os dois têm razão. | D) Nenhum dos dois tem razão. |

As respostas das turmas 201 e 301, para a questão 1, são apresentadas nos Gráficos 1 e 2, respectivamente:



Sobre a turma 201, podemos observar que a maioria dos alunos assinalou a opção A, indicando que o pai teria a razão sobre a questão, onde 15 alunos justificaram a resposta dizendo que quem está em movimento é o carro e que as árvores estariam paradas, não mudando de posição. Apenas 1 aluno deixou de assinalar uma opção.

Dos 19 alunos, 4 não justificaram a resposta.

A segunda opção assinalada foi a C, apontando que os dois (pai e filho) têm razão, sendo essa a opção considerada a mais correta, pois está de acordo com o referencial adotado por cada um dos viajantes. Desses alunos, 9 justificaram que os dois teriam razão, uma vez que depende do “ponto de vista”, do “ponto de referência” de cada um. Dois alunos não justificaram a resposta.

Observando o outro gráfico verificamos que a turma 301 praticamente dividiu-se assinalando as opções A e C, indicando que o pai teria a razão e que os dois teriam razão, respectivamente. Interessante destacar que ninguém assinalou a opção B. Apenas 1 aluno não assinalou, nem justificou.

Dentre as justificativas para a escolha da opção A, os alunos disseram que “o carro está em movimento, não as árvores”; “as árvores estão plantadas”; “ilusão que as árvores se movimentam”.

Percebemos com esses argumentos que os alunos responderam de acordo com o seu senso comum. Verificado também, pois ninguém deu crédito ao filho.

Dentre as justificativas para a escolha da opção C, apontando que os dois (pai e filho) têm razão: “depende do referencial”; depende do ponto de vista”.

Com estes resultados, pensamos em reforçar a ideia de referencial na próxima aula, uma vez que percebemos que alguns alunos têm dúvidas com relação a esse tema. Observando que referencial é um conjunto de três eixos ortogonais, que se cruzam num ponto (0), chamado origem, que podem determinar o estado de movimento, ou seja, não podemos falar em movimento sem antes especificar o referencial e a escolha do referencial é arbitrária. (GEF – UFSM, 2010)

Sobre a questão 2, pretendemos verificar conceito de espaço na Mecânica Clássica:

2. No nosso cotidiano é comum as expressões filme em 2D, 3D e até 6D, relacionado ao cinema. Nos próprios filmes de ficção científica é falado a respeito de viagem para outra dimensão. Mas, o que é dimensão para você?

- Quantas dimensões do espaço existem?

A) 3

B) 4

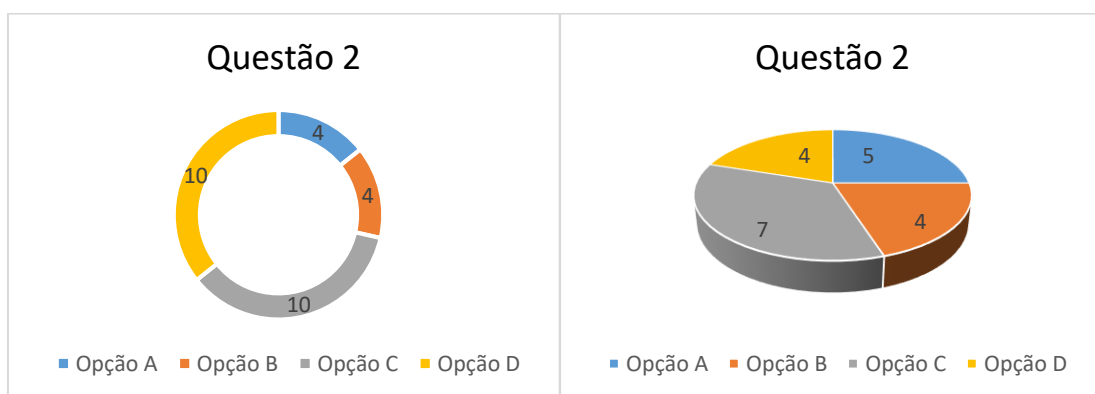
C) 1

D) 2

As respostas para a questão 2 são apresentadas nos Gráficos 3 e 4:

Gráfico 3: Questão 2 - 201

Gráfico 4: Questão 2 – 301



Fonte: da própria autora.

Fonte: da própria autora.

Sobre essa questão, percebemos que tanto os estudantes da turma 201 como da turma 301, demonstraram inconsistência a respeito da ideia de dimensão espacial, uma vez que poucos alunos marcam a opção A, apontando as três dimensões espaciais.

Do 2º ano, 2 alunos disseram que não sabiam responder e outros 2 preferiram não assinalar nenhuma das opções sugeridas.

Sobre a pergunta “o que é dimensão para você? ”, 6 alunos deixaram em branco e os demais (26 alunos), falaram várias respostas, entre elas que dimensão seria “outro planeta”; “outro lugar no universo”; “outra galáxia”; “uma realidade paralela”; “um mundo desconhecido”; “outro espaço diferente do nosso”, “é um lugar vazio e escuro”.

Do 3º ano, 2 alunos não marcaram nenhuma opção nem justificaram.

Sobre as justificativas, 3 estudantes mencionaram a ideia de dimensão referente ao espaço euclidiano relacionada à profundidade, à largura e à altura e outro estudante associou “dimensão do tamanho”. A maioria referiu a ideia de “outra galáxia”, “outro lugar diferente do nosso”, “outra realidade”, “outro mundo”. Com este resultado, entendemos ser necessário, retomar o tema da questão.

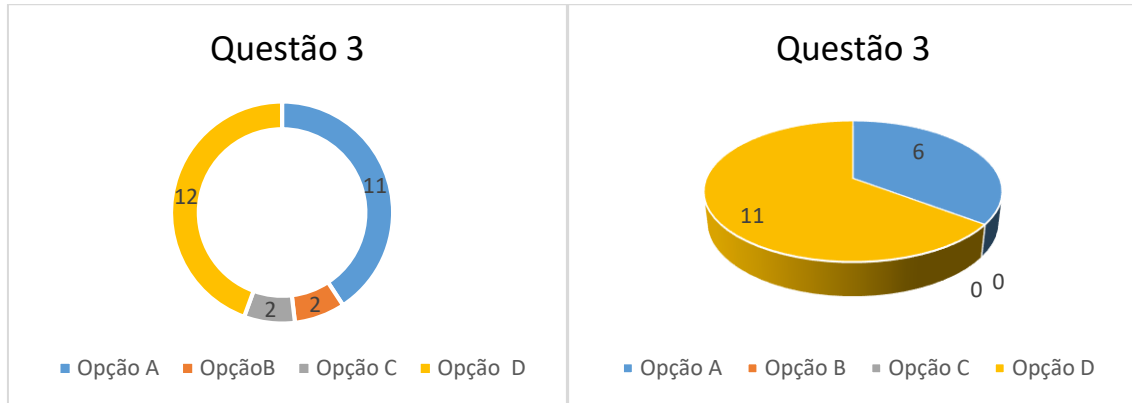
Na questão 3, queremos identificar o quanto os alunos sabem sobre o físico Albert Einstein e sua contribuição para a ciência:

3. Certamente você já ouviu falar ou já leu algo sobre Albert Einstein. Escreva, com breves palavras, o que você sabe sobre ele e depois, marque a alternativa referente a contribuição científica de Einstein que revolucionou a Física nos primórdios do século XX, promovendo avanços na Ciência.

- A) Teoria dos Buracos Negros
- B) Teoria das Cordas
- C) Lei da Inércia
- D) Teoria da Relatividade Especial

As respostas para a questão 3 são apresentadas nos Gráficos 5 e 6:

Gráfico 5: Questão 3 - 201	Gráfico 6: Questão 3 – 301
----------------------------	----------------------------



Fonte: da própria autora.

Fonte: da própria autora.

A amostragem expressou que alunos têm conhecimento sobre o cientista, embora não tenham um estudo aprofundado sobre o físico e sobre sua contribuição para a ciência. Verificamos isso, pois a maioria dos estudantes das duas turmas, escreveu que Einstein seria “um gênio” ou uma pessoa de “QI muito elevado”; “um grande cientista”; que “comprovou várias de suas teorias”; “que era muito inteligente”, “Albert Einstein revolucionou o estudo da Física Clássica”; “grande cientista que colaborou para o desenvolvimento da ciência”; “conhecido mundialmente por uma de suas teorias”; “contribuiu para diversos avanços físicos”.

Da turma 201, 5 não marcaram nenhuma resposta e 8 estudantes deixaram em branco essa atividade.

Da turma 301, 5 estudantes não assinalaram nenhuma opção e 2 não justificaram.

Sabemos do destaque valoroso desses maravilhosos homens e mulheres, que se dedicaram, principalmente no campo da ciência, deixando suas contribuições em prol da evolução humana. Mas, devemos desmistificar a ideia de serem pessoas extraordinárias e geniais.

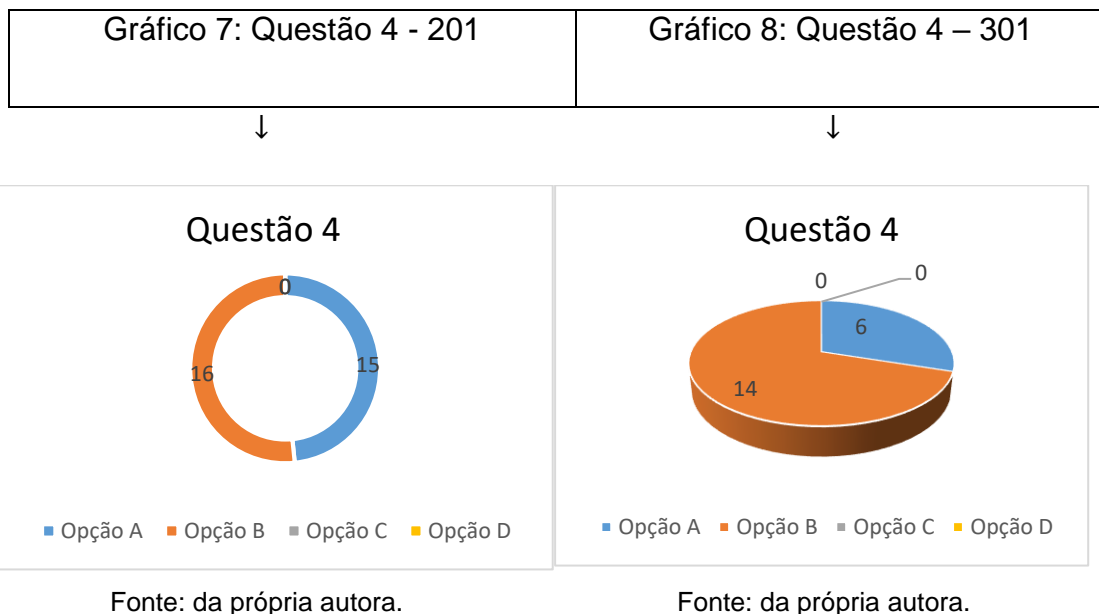
Com a atividade seguinte (questão 4), pretendemos verificar o conceito de inércia:

4. No estudo das Leis de Newton, a primeira lei também é denominada Lei da Inércia. O que você entende por inércia, explique:

- Se um corpo está se movendo, que tipo de movimento ele tende a ter, em razão de sua inércia?

- A) Movimento Retilíneo Uniformemente Variado – MRUV.
- B) Movimento Retilíneo Uniforme – MRU.
- C) Movimento Circular Uniforme – MCU.
- D) Movimento Retilíneo Acelerado – MRA.

As respostas para a questão 4 são apresentadas nos Gráficos 7 e 8.



Nessa questão, a turma 201 diferiu em quase 50% com relação ao estudo do movimento e o conceito da 1ª Lei de Newton – Lei da Inércia, tanto que a ideia de inércia não está clara para os estudantes, pois 19 deles deixaram de explicar seu entendimento sobre o que é inércia. Apenas um aluno não assinalou nenhuma opção sugerida.

Para o 3º ano, a amostragem informa que os alunos têm a ideia de inércia relacionada ao estudo da 1ª Lei de Newton, tanto que a maioria escreveu sobre o que entendia por inércia e os mesmos escrevem os conceitos dessa lei. Apenas dois estudantes associaram inércia ao estado de repouso. Dois alunos não assinalaram nenhuma opção sugerida, nem justificaram.

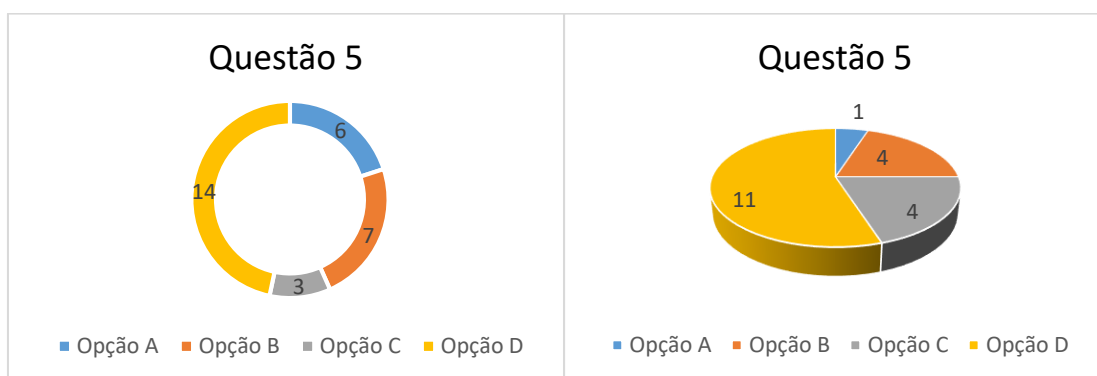
A questões 5 e 6 abordam temas relacionados à natureza e velocidade da luz e unidade de medida astronômica:

5. (PETTERSEN, 2017, p. 116 - 117) Diversos cientistas tentaram medir a velocidade da luz. Empédocles foi o primeiro a sugerir a medida e Galileu, por sua vez, foi o primeiro de fato a tentar medir a velocidade. O mais curioso é o fato de que todos os que obtiveram um valor para essa velocidade chegaram próximo a 300.000 km/s, como por exemplo o astrônomo dinamarquês Romer, o francês Fizeau e até Maxwell. O valor próximo da velocidade da luz, determinada por diferentes métodos, mostra que a:

- A) sua velocidade varia com o tempo.
- B) luz se comporta como partícula.
- C) sua velocidade depende do referencial.
- D) sua velocidade é uma constante universal.

As respostas para a questão 5 são apresentadas nos Gráficos 9 e 10.

Gráfico 9: Questão 5 – 201	Gráfico 10: Questão 5 - 301
----------------------------	-----------------------------



Fonte: da própria autora.

Fonte: da própria autora.

Observamos nesta questão a maioria dos alunos, tanto de uma turma como da outra, optaram pela opção D, os demais dividiram-se entre as outras opções.

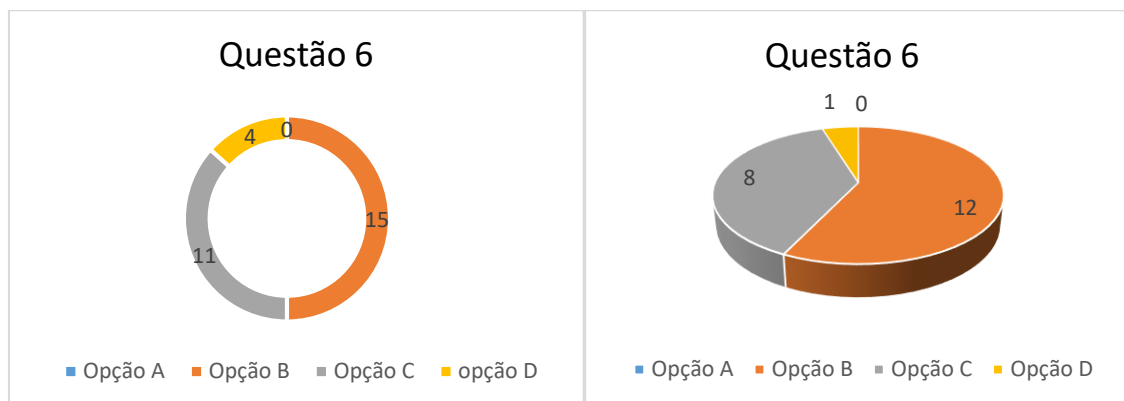
Percebemos com essa amostragem que apesar dos alunos estudarem sobre a luz com maior aprofundamento no final do 2º ano eles têm um pouco de conhecimento sobre o tema.

6. (PETTERSEN, 2017, p. 115) A luz é uma forma de energia radiante, que pode se propagar em meio material e no vácuo. 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.

As respostas para a questão 6 são apresentadas nos Gráficos 11 e 12.

Gráfico 11: Questão 6 - 201	Gráfico 12: Questão 6 – 301
-----------------------------	-----------------------------



Fonte: da própria autora.

Fonte: da própria autora.

Com relação a questão 6, observamos que a maioria marcou a opção B.

Tendo em vista que a turma 301 já havia estudado Óptica, tema este em que são tratados os estudos relacionados à luz e aos fenômenos luminosos, constatamos que a maioria dos alunos demonstrou certo conhecimento com relação ao tema.

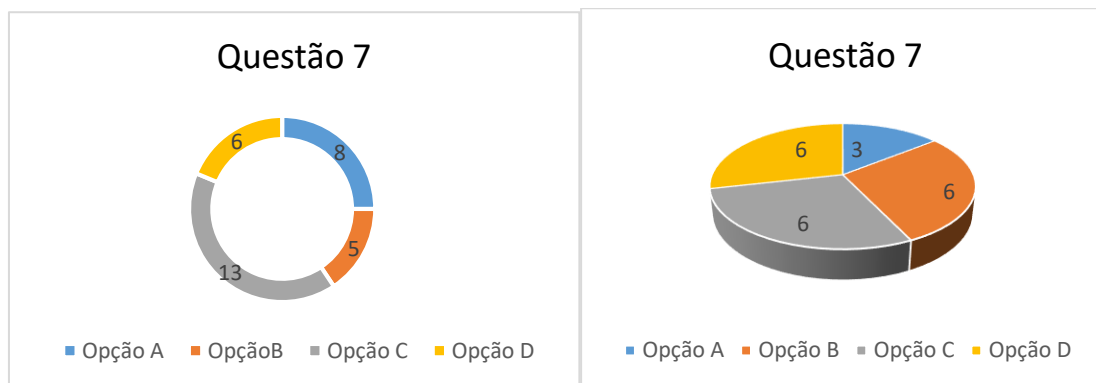
Com a questão 7 queremos identificar a ideia dos alunos com relação ao tema viagem no tempo:

7. Suponha que seja possível lançar um astronauta para o espaço com uma velocidade próxima à da luz. Caso o astronauta permaneça um ano viajando com a mesma velocidade, ao retornar para a Terra, um referencial parado, o intervalo de tempo medido seria de sete anos. Assim, poderíamos afirmar que esse astronauta é um viajante do tempo. É possível viajar no tempo? Justifique sua resposta:

- A) Sim B) Não C) Talvez D) Não sei.

As respostas para a questão 7 são apresentadas nos Gráficos 13 e 14.

Gráfico 13: Questão 7 - 201	Gráfico 14: Questão 7 – 301
-----------------------------	-----------------------------



Fonte: da própria autora.

Fonte: da própria autora.

Todos os alunos da turma 201 responderam esta questão, marcando uma alternativa, mas 6 não quiseram justificar sua resposta.

Com a amostragem verificamos que entre os 32 entrevistados, apenas 5 acreditam não ser possível a viagem no tempo, o que demanda que a maioria não tem um conhecimento correto sobre esse tema. Observa-se que os estudantes têm muitas dúvidas sobre essa questão, visto pela marcação da alternativa C (talvez) e pelas justificativas.

Dentre as justificativas destacamos: “não tenho informações concretas de que seja ou não possível viajar no tempo”; viagem no tempo “dependeria muito da

nossa tecnologia”, ‘não podemos viajar na velocidade da luz’; “acredito que um dia será possível viajar no tempo”.

Nessa atividade apenas um aluno não assinalou nenhuma opção e 3 não quiseram justificar sua resposta.

Verificamos as dúvidas e incertezas dos alunos da turma 301 com relação ao tema, visto que “viagem no tempo”, trata-se de um tema que foge muito do senso comum e gerando muitos debates. Algumas das justificativas: “o tempo passa igualmente”; “se conseguíssemos viajar na velocidade da luz”; “viagem no tempo é algo que ainda pode ser descoberto, apesar que diferente da ficção, a única que seria possível é a viagem ao futuro, pois o passado é algo que já aconteceu e não tem como alterar”; “não sei, pois até hoje ninguém comprovou”; “teoria do buraco de minhoca, onde é possível avançar no tempo, mas voltar é impossível”; “sim, mas somente para o futuro”; “se conseguíssemos viajar na velocidade da luz, talvez seja possível viajar no tempo”.

As duas últimas atividades (8 e 9) tratam sobre relógios e tempo:

8. (LESCHE, 2005, p. 9) Registre sua opinião sobre a seguinte frase: “relógios em movimento andam mais devagar” é bobagem!

Com relação a essa atividade, na turma 201, 2 alunos disseram não saber responder e 15 não expressaram nenhuma opinião sobre a frase. Devido a isso, pensamos sobre a dificuldade dos alunos de expressarem seus pensamentos, pois mais da metade não fizeram seu registro. E, dos que responderam, disseram que a frase traz o pensamento de que o tempo “anda devagar quando queremos que ele passe mais rapidamente” e outros falaram que a “frase não fazia sentido”. Mas, também houveram afirmativas de que “o tempo de acordo com a velocidade é variável”; que a frase “expressava uma contradição, pois o tempo é relativo”; “quando ficamos esperando ou olhando muito para o relógio o tempo não passa”.

Já na turma 301, 17 alunos expressaram sua opinião e apenas 5 não se manifestaram. E, dos que responderam, disseram que a frase traz o pensamento de que “quanto mais coisas fazemos no dia, o tempo passa mais rápido”; “quando não temos a noção de tempo ele passa mais rápido, mas isso varia do ponto de

vista e da situação de cada um”; “o tempo para muitos é o maior inimigo e para outros tudo é uma questão de tempo”; “quanto mais o tempo passa mais lento ele fica”; “o tempo é o mesmo o relógio estando em movimento ou parado não altera o fato do tempo estar passando”.

Questão 9:

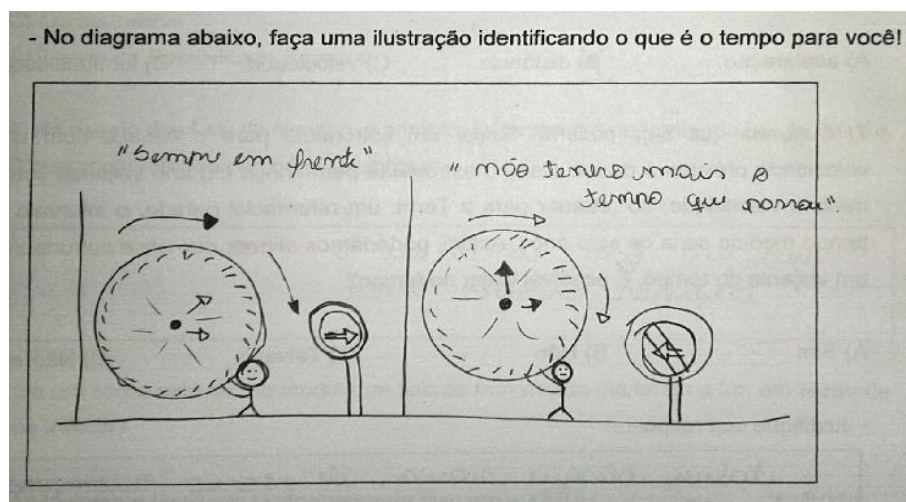
9. O “tempo” é um tema muito abordado pelos compositores e artistas, sempre com a ideia de tentar retratar o significado do tempo. Várias são as canções que falam sobre o tempo, como por exemplo a música “Tempo Perdido”, da famosa Banda de Rock, que fez sucesso nos anos 80 e 90 - Legião Urbana, liderada pelo vocalista Renato Russo.

“Todos os dias quando acordo / Não tenho mais o tempo que passou / Mas tenho muito tempo / Temos todo o tempo do mundo / Todos os dias antes de dormir / Lembro e esqueço como foi o dia / Sempre em frente / Não temos tempo a perder /...”

- No diagrama abaixo, faça uma ilustração identificando o que é o tempo para você!

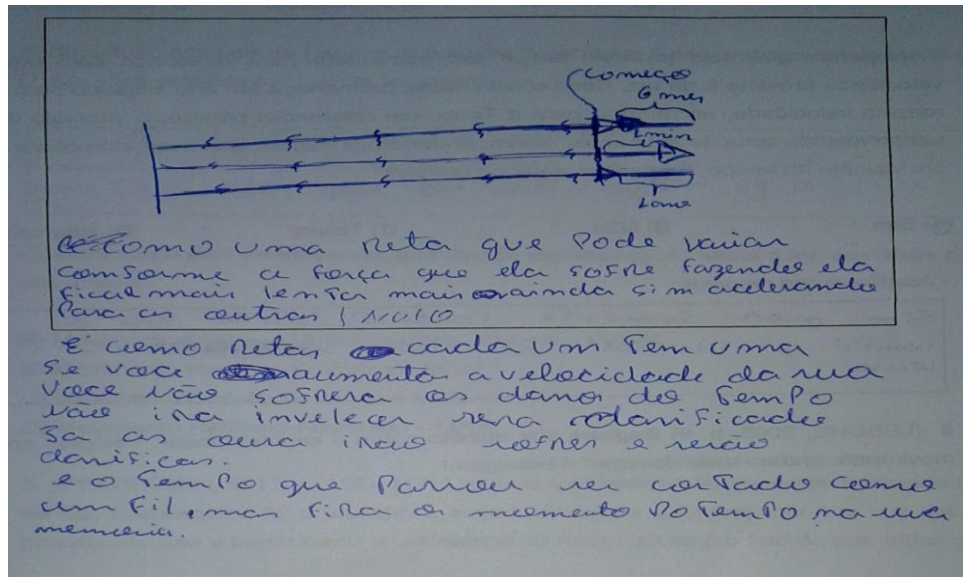
Embora muitos dos alunos de ambas as turmas tenham dito que não gostam de desenhar, poucos não fizeram a atividade. Os demais expressaram desenhos muito interessantes (Figuras 34 e 35):

Figura 34 - Questão 9 - 201



Fonte: da própria autora.

Figura 35 - Questão 9 - 301



Fonte: da própria autora.

Observando as ilustrações verificamos as diversas visões dos alunos sobre o que é o tempo: perder tempo no celular, resgate do tempo perdido, ideia de clima, velocidade, ciclo da vida, tempo senhor de tudo, pessoas tentando dominar o tempo, passagem dos dias através do calendário, tempo é dinheiro.

Na Figura 36 o estudante expressa corretamente a ideia de que não podemos voltar no tempo.

Consideramos interessante a manifestação feita por um aluno (Figura 35), que expressou seu pensamento sobre o que é o tempo de forma esquemática e escrevendo: “É como setas, cada um tem uma. Se você aumenta a velocidade da sua vida não sofrerá os danos do tempo, não irá envelhecer, será danificada. Já as outras irão sofrer e serão danificadas. E o tempo que passou é cortado como um fio, mas fica o momento do tempo na sua memória” (editada pela autora).

4.3.3 Análise dos conhecimentos prévios das turmas 201 e 301

De acordo com Moreira (2017), para a captação e internalização de significados, deve haver uma interação cognitiva entre conhecimentos novos e conhecimentos prévios, mas não é qualquer conhecimento prévio que pode viabilizar essa interação, uma vez que é necessário que sejam conhecimentos

prévios adequados. E, no caso de não haver esse requisito, devemos partir da realidade do aluno, ou seja, partir “de onde ele está”, pois ele deve ter outros conhecimentos que podem contribuir para sua aprendizagem.

Tendo em mente que a tarefa de identificar a existência ou não desses conhecimentos prévios, é bastante complexa e que devemos respeitar a diferença individual de cada aluno, que pensamos ser bem acertado nosso planejamento de retomar o questionário, aplicando-o novamente, de forma coletiva na aula subsequente. Assim, pensamos sanar as dúvidas daqueles que demonstraram algum equívoco em certos conceitos e daqueles que demonstraram não ter conhecimento sobre algum tema.

Mas, apesar de observarmos algumas dificuldades como dos alunos do 2º ano não terem estudado, por exemplo, temas relacionados ao estudo da luz, a maioria expressou certo conhecimento a respeito.

4.3.4 Aula 2

A aula 2 ocorreu nos dias 27 e 30 de maio de 2019, para a turma 201 e para a turma 301, respectivamente.

Nessa aula foi desenvolvida a dinâmica “Roda de Conversa”. Esta dinâmica teve por finalidade propiciar a discussão coletiva sobre as questões problematizadoras constantes no questionário aplicado na aula anterior, com intuito de através da contribuição dos participantes e da mediação da professora, sanar dúvidas sobre os temas enfocados e fazer a conexão entre os novos conhecimentos com os conhecimentos prévios. As questões foram projetadas uma a uma no quadro branco.

Devemos fazer um destaque importante para essa atividade, pois propiciou a troca de ideias, onde os alunos que haviam marcado as questões consideradas mais adequadas foram instigados a justificar sua resposta para os demais, tendo a intervenção da professora quando houve algum equívoco.

Com essa atividade se observa o episódio de ensino triádico de Gowin⁷, onde ocorre a relação entre aluno, professor e material educativo. É um episódio caracterizado pelo compartilhar significados.

Essa atividade de retomada coletiva do questionário propicia a educação dialógica. Para Freire (1988), “a dialogicidade - é a essência da educação como prática da liberdade” (p. 77). O ensino não pode ser um monólogo. Nesse processo o estudante deve ser questionador, onde o importante é o perguntar que leva ao conhecer. (MOREIRA, 2017) O ato de “perguntar está ligado ao ato de existir, de ser, de estudar, de investigar, de conhecer” (op.cit., p.97).

Ainda, essa atividade está em conformidade com os pressupostos da teoria vygotskyana, que afirma que a interação social e a linguagem são imprescindíveis para a captação de significados, que deve ser anterior e uma condição para a aprendizagem significativa. (MOREIRA, 2012)

Temas que foram observados durante o mapeamento como ideia de referencial, inércia, as dimensões de espaço, velocidade da luz, viagem no tempo, ideia de tempo, foram amplamente discutidas pelos alunos, despertando o interesse de todos por esses temas.

De fato, esta atividade é recomendada, pois houve um “intercâmbio de significados” entre os alunos e entre o professor e os alunos (MOREIRA, 2017, p. 13), propiciando o prosseguimento das atividades. Também com essa dinâmica a professora retomou aqueles temas apontados durante a análise do questionário dos conhecimentos prévios.

Depois foi solicitado aos alunos que comentassem sobre os documentários sugeridos na aula anterior, porém essa atividade não foi realizada, motivo os alunos de ambas as turmas não assistiram os vídeos.

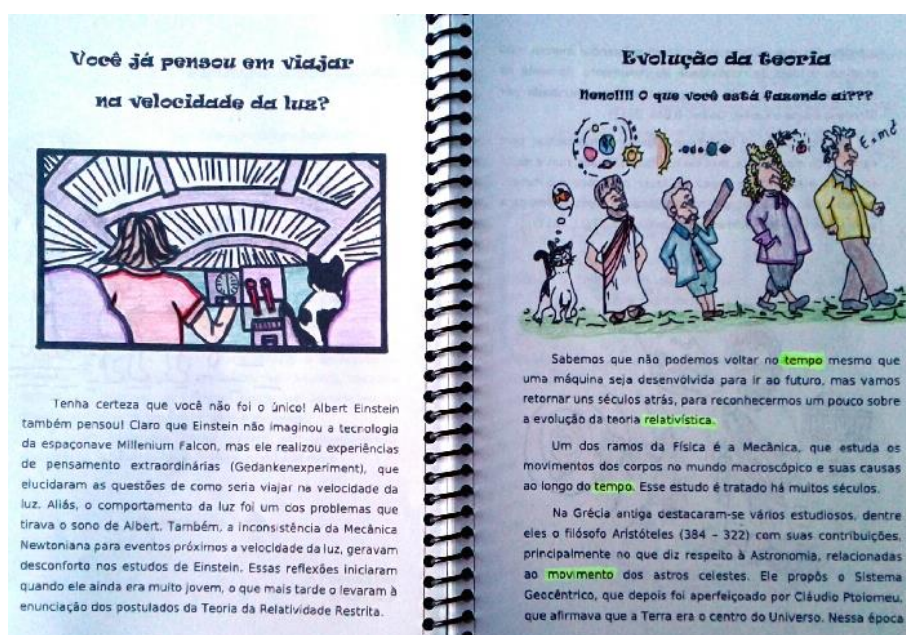
Um comentário a fazer é que com o passar dos encontros, alguns alunos comentaram que os temas estudados foram despertando a curiosidade, levando-os a assistirem os documentários.

7 D. B. Gowin – Teórico da educação que desenvolveu um instrumento heurístico chamado “Vê de Gowin” ou “Vê Epistemológico”. Em sua obra “*Educating*” (1981), apresenta sua teoria que se assemelha muito a uma abordagem vygotskyana. (MOREIRA, 2009, 2016)

Aproveitando a Roda de Conversa, foi projetado um recorte do documentário sobre Einstein para introduzir o tema “os postulados da teoria relativística” (<https://drive.google.com/file/d/1Et1avGSkXHmiEgR3y0XGe8jwnPbBbeEP/view?usp=sharing>).

Todos com o Guia Ilustrado em mãos, foi indicada a leitura dos “Postulados de Einstein” (páginas 19 a 24). Os alunos do 2º ano pediram para colorir o livro (Figura 36).

Figura 36 - Colorindo o Guia - Turma 201



Fonte: da própria autora.

Já os estudantes da turma 301, após a leitura, fizeram questionamentos a respeito dos postulados enunciados por Einstein, que propôs que “as leis da ciência deveriam parecer as mesmas para todos os observadores se movendo livremente” e que “todos deveriam calcular a mesma velocidade para a luz, não importando a rapidez com que se movessem.” (HAWKING, 2016, p. 17)

Percebemos um pouco de dificuldade dos alunos em assimilarem no primeiro momento os postulados, mas depois com os exemplos apresentados no Guia Ilustrado e com a resolução da atividade indicada na página 25, demonstraram um melhor entendimento (Figura 37):

Figura 37 - Atividade efetuada por uma aluna do 3º ano

Vamos pensar um pouco!!!

1. Qual grandeza tem o mesmo valor quando medida por dois observadores, qualquer que seja a velocidade relativa entre eles? *Velocidade da luz.*

2. A Mecânica Newtoniana poderia ser comprovada no interior de um vagão de um trem que se encontra em movimento retilíneo uniforme (MRU)? Justifique: *Sim, porque o trem é um referencial inercial.*

3. Imagine que você está num trem com velocidade constante, em movimento retilíneo uniforme, e com as janelas fechadas.

Pergunta que não quer calar!!!

- Seu celular toca e um amigo pergunta para você: - o trem está parado ou em movimento? *Ele não sabe, pois as leis da física de acordo com o primeiro postulada são as mesmas em qualquer referencial.*

Fonte: própria autora.

4.3.5 Aula 3

A Aula 3 foi desenvolvida dia 05 de junho de 2019 para ambas as turmas.

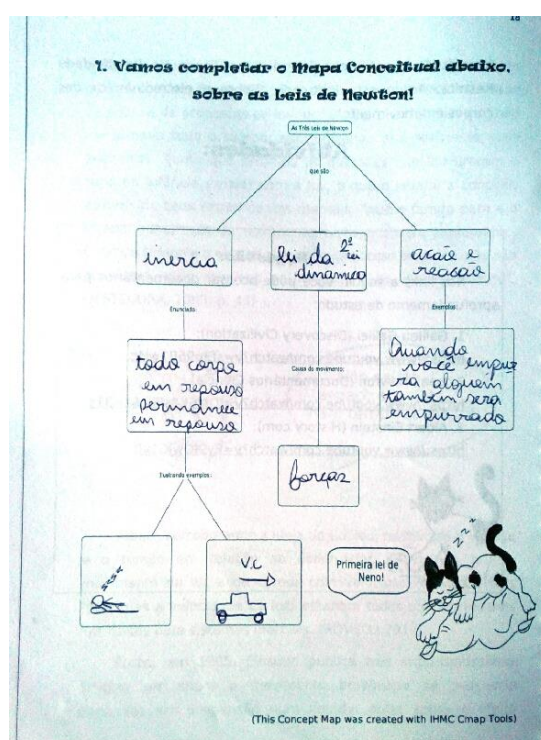
Para iniciar a aula, foi retomada a leitura das páginas no Guia Ilustrado, referente ao tema “Postulados de Einstein” e após foi revisada a atividade extraclasse que havia sido solicitada na aula anterior (atividade constante na página 25 do livro). Discussões, questionamentos e dúvidas foram sanados nesse momento.

Dando seguimento ao planejamento, a proposta de atividade para esta aula foi a construção de um Mapa Conceitual enfocando as ideias dos postulados estudados.

Nessa aula fazemos o uso da estratégia do mapa conceitual, desenvolvida por Joseph Novak, com a intenção de facilitar uma aprendizagem que possa ser potencialmente significativa. Com essa atividade, onde pensamos que os alunos já possuem *subsunçores*⁸ que podem dar significado aos novos conhecimentos, ocorrendo uma interação cognitiva.

Tendo em vista que os alunos não tinham experiência com esse instrumento pedagógico, foi elaborado primeiramente, o mapa constante no Guia Ilustrado, onde com a explicação da professora os alunos puderam usar como modelo. Abaixo as Figuras 38 e 39 mostram a atividade realizada pelos alunos (modelo no Guia, p. 18).

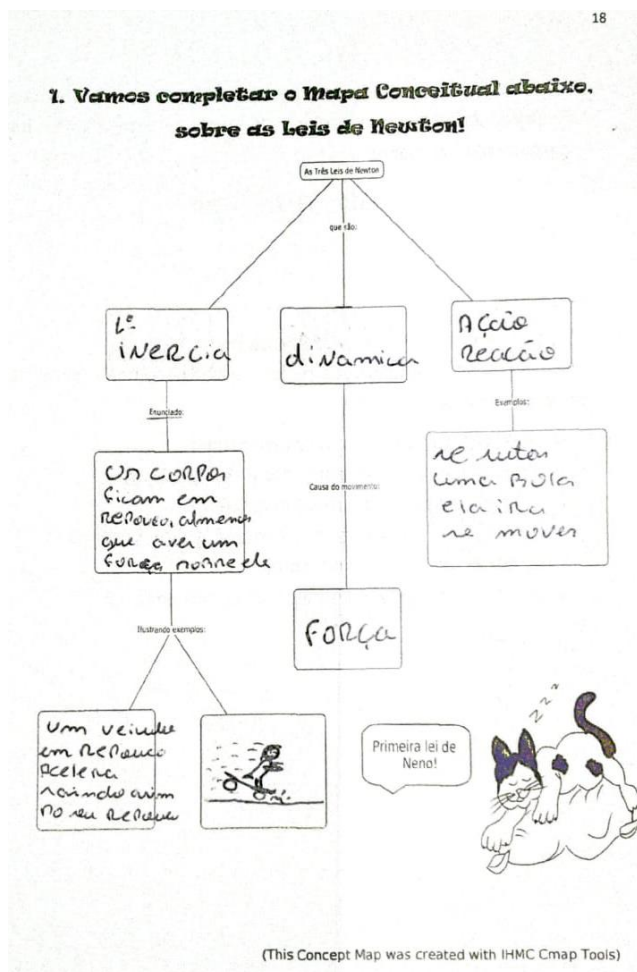
Figura 38 - As Leis de Newton – Turma 201



Fonte: da própria autora

⁸ “Conceitos subsunçores são conhecimentos prévios, com significado e estabilidade, que podem servir de ancoradouro cognitivo em um processo interativo.” (MOREIRA, 2017, p. 67)

Figura 39 - As Leis de Newton – Turma 301



Fonte: da própria autora.

Partindo, então dessa atividade, os alunos foram sugestionados a construir individualmente o seu Mapa Conceitual sobre os Postulados de Einstein, usando o Guia Ilustrado como organizador prévio. Para a atividade foi distribuída uma folha branca A4 para cada aluno.

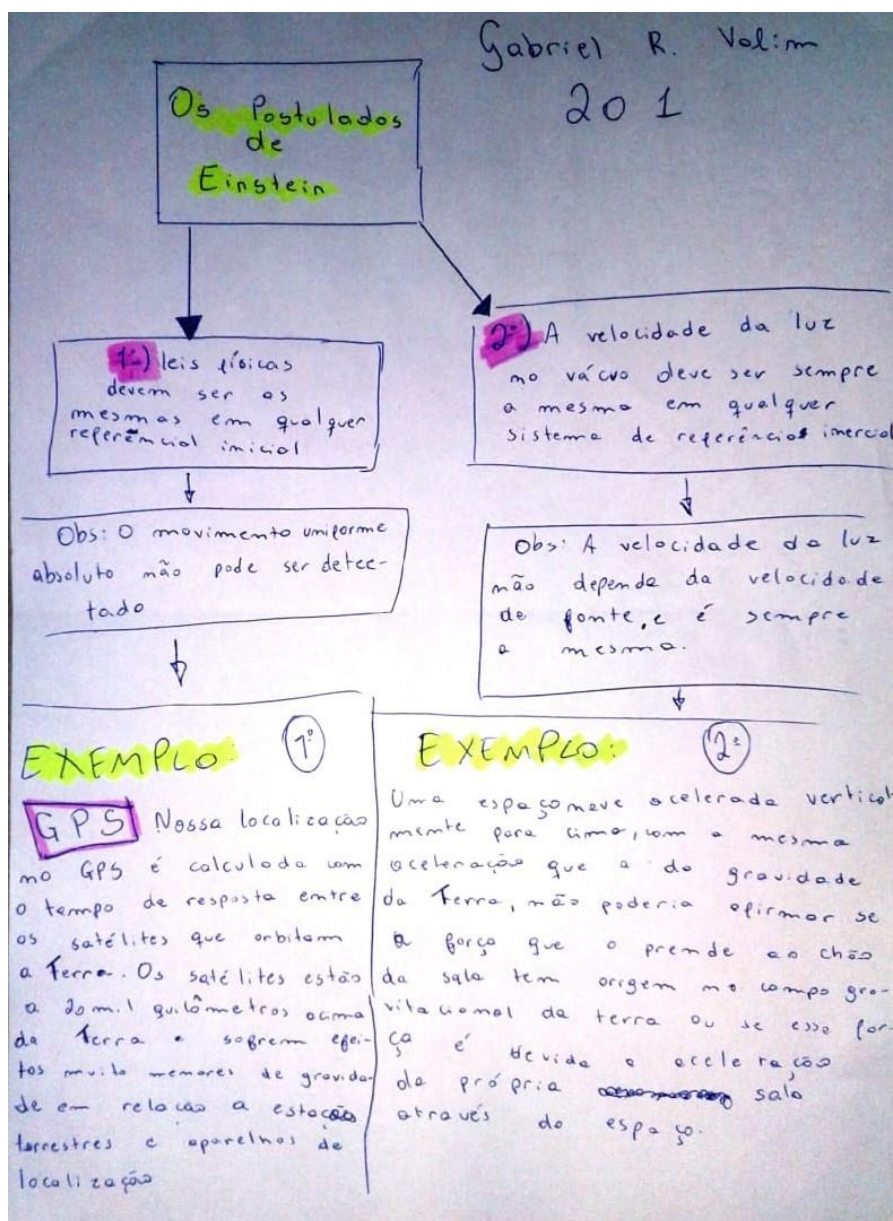
Após o término da atividade, foram recolhidos os mapas para uma avaliação qualitativa.

Alguns alunos do 2º ano, pediram para entregar seu mapa na aula seguinte. Apenas 10 alunos entregaram o seu mapa para avaliação.

Dos alunos do 3º ano, apenas 1 aluno não realizou a tarefa.

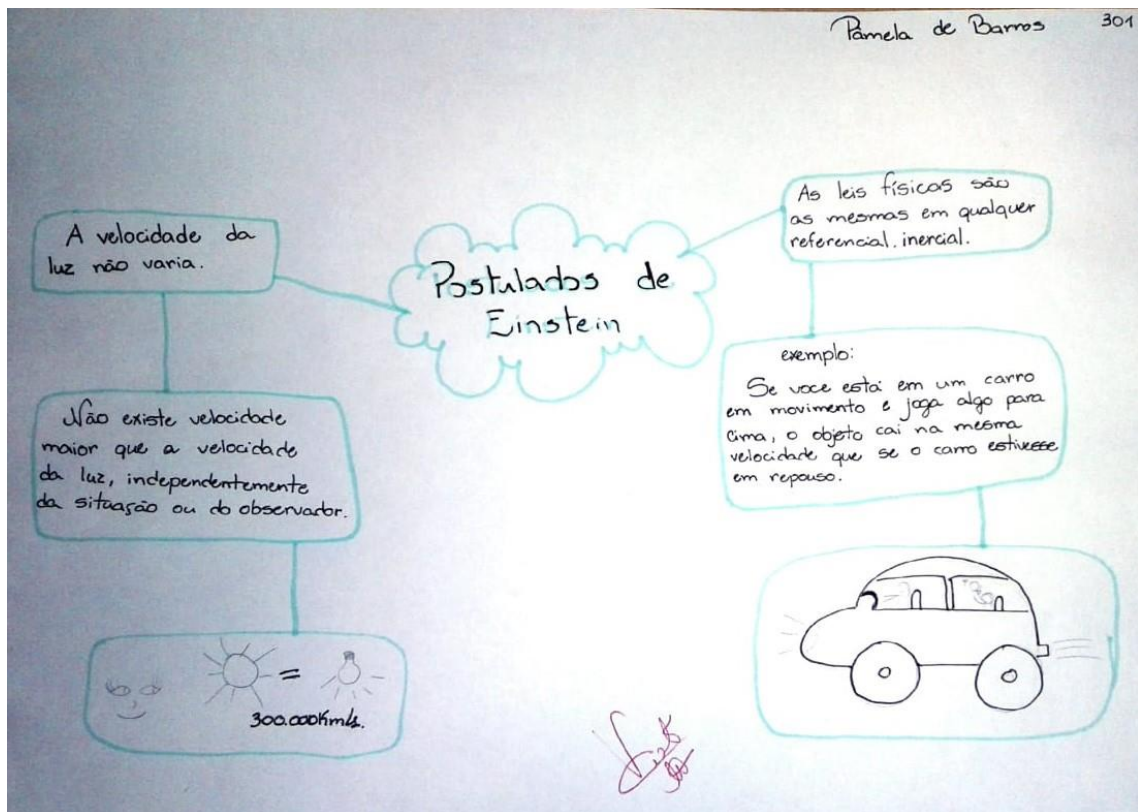
Os alunos demoraram bastante tempo para realizar essa atividade. Os mesmos demonstraram um pouco de insegurança para realizar a tarefa. Fizeram muitos questionamentos e trocaram ideias entre eles. Por causa disso não foi desenvolvida a segunda parte do planejamento que seria a introdução de uma das consequências dos postulados. As Figuras 40 e 41 apresentam os mapas construídos pelos alunos:

Figura 40 - Mapa Conceitual sobre os postulados – Turma 201



Fonte: da própria autora.

Figura 41 - Mapa Conceitual sobre os postulados – Turma 301



Fonte: da própria autora.

No geral todos as construções assemelharam-se aos mapas aqui exemplificados. E, como essa foi a primeira atividade usando esse instrumento, todos foram avaliados de modo que havendo algum equívoco, o mapa foi devolvido na aula seguinte, para a devida correção, para uma segunda versão.

Segundo Moreira (2017, p. 115), mapas conceituais devem ser avaliados de forma predominantemente qualitativa, formativa e recursiva, onde o processo de construção deve ser mais importante que o produto final.

Os alunos do 2º ano seguiram o modelo e procuraram copiar os conceitos sobre o tema constante no Guia. Mas, observamos que 5 mapas tiveram equívocos de exemplos ou conceitual. Pensamos que os alunos devem ter feito pesquisa na internet, uma vez que os exemplos que foram usados são exemplos da Teoria da Relatividade Geral, pois tratam-se de exemplos com aceleração, conforme o mapa na Figura 40.

Ao analisarmos os mapas construídos pelo 3º ano, verificamos que a maioria foi elaborado de forma diferente em sua estrutura, ratificando o que nos diz Moreira (2017, p.179), que não existe um mapa conceitual correto, cada mapa é a expressão de quem o fez. “Usar o mapa do professor ou o mapa do livro como o mapa correto e induzir o aluno a aproximar-se dele é um mau uso do mapeamento conceitual”.

4.3.6 Aula 4

O desenvolvimento da 4ª aula para as duas turmas deu-se em 12 de junho de 2019.

A situação inicial dessa aula foi com a devolução dos mapas conceituais já avaliados pelo professor. O professor solicitou aos alunos que apresentassem posteriormente, uma segunda versão dos mapas que estivessem com alguma sugestão apontada.

Nossa prática na avaliação dos mapas elaborados, seguiu o embasamento da Aprendizagem Significativa que demanda para uma *avaliação formativa recursiva* que proporciona aos estudantes refazerem as atividades aproveitando o erro para aprender, uma vez que a aprendizagem significativa é progressiva.

Dando continuidade à aula, partindo dos postulados que foram evidenciados no mapa conceitual, foi introduzida a primeira consequência a ser estudada que é a “impossibilidade da simultaneidade”. E, para essa introdução, foi realizada uma atividade em duplas denominada “experiência de pensamento”, onde os alunos deveriam ler, discutir entre si a situação-problema e após elaborar um relato sobre a experiência apontando suas ideias e conclusões com base nos postulados da teoria em estudo. Cada dupla recebeu a atividade impressa.

Considerando que sequências de ensino pressupõem que a resolução de problemas científicos não é mera aplicação de fórmulas, mas sim de habilidade conceitual que oportuniza o progresso e a evolução mental do aluno, a partir de conhecimentos prévios que servem como base, ancoradouro (ideia de permanência, continuidade) para a aprendizagem do conhecimento científico. (MOREIRA, MASSONI, 2016)

PROPOSTA DE ATIVIDADE

1. Convide um colega para discutir o experimento abaixo, e após elaborem um relato sobre a experiência (resultado, impressão, conclusão):

“Ao mesmo tempo?

Voltemos ao vagão de trem. Só que desta vez ele terá as paredes laterais de vidro, para que tudo o que ocorra em seu interior possa ser visto por um amigo seu que está agora na plataforma. O vagão também terá, em cada uma das extremidades, uma daquelas canetinhas a laser – que as pessoas maldosamente costumam apontar para o rosto dos artistas durante os shows. Elas estão sincronizadas – isto é, quando uma dispara, a outra dispara também – e apontadas exatamente para o centro do vagão, onde terá uma bomba (totalmente inofensiva).

Inicialmente, com o vagão parado, as canetinhas disparam pulsos de luz. Você, que está lá ao lado da bomba, vê os pulsos partindo no mesmo instante e chegando juntos à bomba, que explode. Seu amigo, na plataforma, observando atentamente, relata que viu exatamente a mesma coisa. Sem novidade, você diria.

Mas, agora, vamos fazer o vagão dar marcha à ré e voltar a se movimentar para a frente, com velocidade constante, porém muito, muito alta, próxima à da luz. Seu amigo o vê mover-se, digamos, da esquerda (dele) para a direita. Quando o vagão passa pelo o meio da plataforma, onde está seu amigo, novamente as canetinhas a laser disparam flashes de luz. Você novamente os percebe chegando à bomba no mesmo instante, com a conseqüente explosão. Mas aí algo muito, muito estranho acontece.

Seu amigo, meio embasbacado, relata o seguinte: “Vi a bomba explodindo, mas, mas... a canetinha do fundo, a que estava à minha esquerda, emitiu luz antes daquela posicionada na frente do vagão”. Você pergunta ao seu amigo se ele está passando bem, se havia bebido algo antes de fazer a experiência. Ele nega e diz que tem absoluta certeza do que observou. E ele está certo.

O que foi simultâneo para você (a emissão dos pulsos de luz), não foi simultâneo para seu amigo na plataforma. O que pode ter acontecido? ”

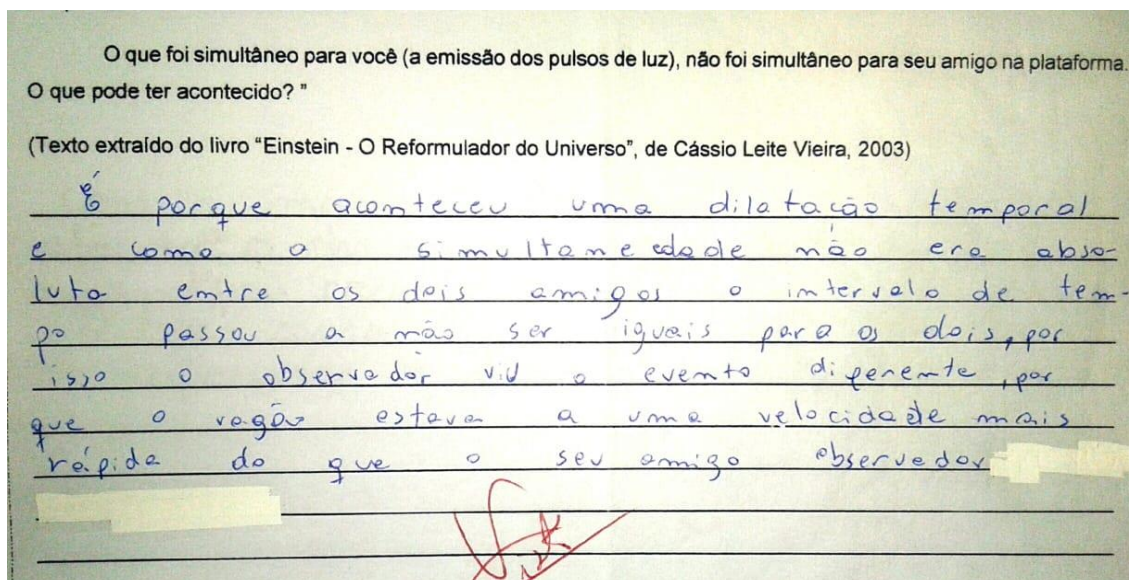
(Texto extraído do livro “Einstein - O Reformulador do Universo”, de Cássio Leite Vieira, 2003)

Com essa proposta, sugerimos aos alunos a atividade de pensar como Einstein fazia – “*Gedankenexperiment*”.

Essa atividade gerou bastante conversa não somente entre a dupla, mas também entre as duplas, bem como questionamentos à professora ao ponto de ser solicitado a ilustração da experiência no quadro branco.

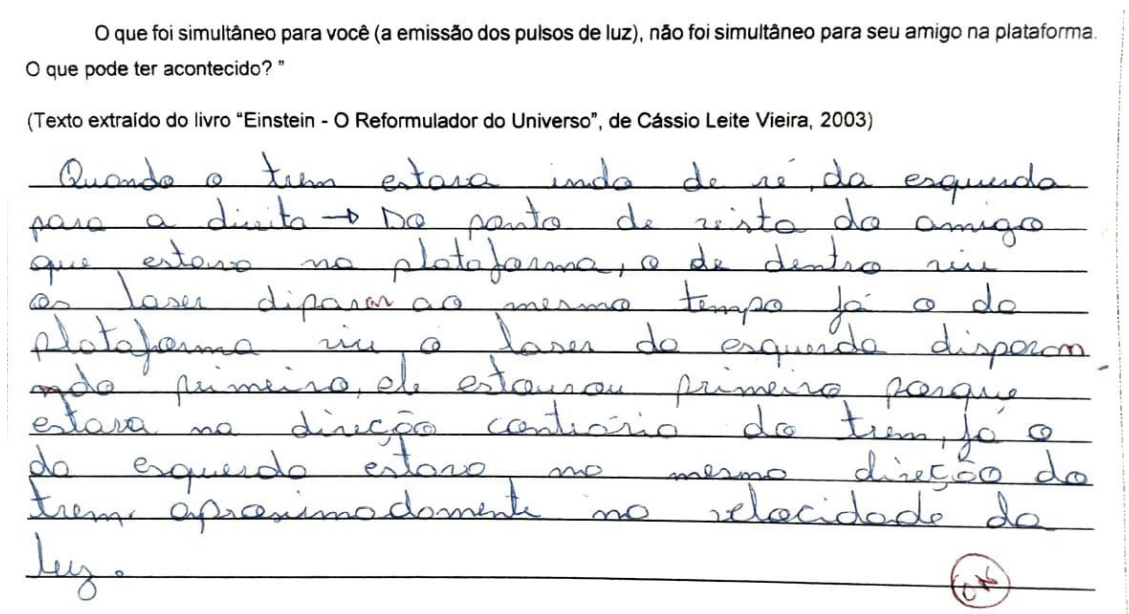
A seguir o registro dos alunos sobre a atividade proposta (Figuras 42 e 43):

Figura 42 - Experiência de Pensamento da dupla 1 – 2º ano



Fonte: da própria autora.

Figura 43 - Experiência de Pensamento da dupla 2 – 3º ano



Fonte: da própria autora.

Na Experiência de Pensamento da dupla 1 (Figura 42), observamos a relação feita entre duas consequências dos postulados – a inexistência da simultaneidade e a dilatação temporal, pois a marcha do tempo é relativa ao movimento do observador e não é possível manter o sincronismo entre dois sistemas inerciais em movimento relativo.

Na Experiência de Pensamento 2 (Figura 43), verificamos o entendimento dos alunos com relação aos postulados e a inexistência da simultaneidade.

Após o término, os trabalhos foram recolhidos para uma avaliação qualitativa. E, em seguida foi indicada, como situação final da aula, a leitura das páginas 26 até 32, do Guia Ilustrado, que apresenta outro exemplo para a questão da simultaneidade e também traz uma atividade para ser realizada.

Abaixo registro fotográfico dos alunos realizando a atividade Experiência de Pensamento (Fotografias 1 e 2).

Fotografia 1 – Registro da Experiência de Pensamento – Turma 201



Fonte: da própria autora.

Fotografia 2 – Registro da Experiência de Pensamento – Turma 301



Fonte: da própria autora.

4.3.7 Aula 5

Esta aula foi dada no dia 19 de junho de 2019 para as duas turmas.

Primeiramente, foi feita uma correção oral da atividade constante no Guia Ilustrado, páginas 31 e 32, envolvendo tema simultaneidade. Nesse momento, foi aberta a oportunidade para questionamentos e comentários com a finalidade de sanar possíveis dúvidas sobre os temas já abordados.

Depois, foi realizada a abordagem do tema “dilatação temporal” que é outra consequência dos postulados da teoria relativística. Essa abordagem favoreceu uma discussão coletiva.

A referida abordagem foi feita através de situações-problemas, onde cada aluno recebeu três questões (impressas), com a finalidade de discussão sobre a dilatação temporal. A atividade foi mediada pela professora.

Questão 1: (SAMPAIO, CALÇADA, 2005)

- “Em 1977 foi realizado um experimento com dois relógios atômicos de grande precisão. Um deles foi colocado em um avião e o outro foi mantido no solo. Depois que o avião se moveu durante algum tempo a uma grande velocidade, os dois relógios foram comparados e observou-se que o avião estava atrasado em relação ao do solo. Por quê?”

Essa questão introduziu o novo conhecimento, de modo que foi conduzida à discussão do fenômeno da dilatação temporal. Nesta atividade nenhuma resposta deveria ser dada, apenas ideias e reflexões sobre a questão.

Questão 2: (VIEIRA, 2003, p. 90 e 91)

- Vamos retomar o trem e a mesma plataforma trabalhados na experiência mental realizada anteriormente.

“Agora a canetinha a laser estará no chão, apontando para o teto, onde se encontra um espelho. O trem começa a se movimentar com velocidade uniforme. Quando passa diante do seu amigo na plataforma – que mais uma vez vê o vagão indo da esquerda (dele) para a direita -, um pulso de luz é lançado. Ele bate no teto e volta. Com a ajuda de um cronômetro muito preciso, você marca o tempo que a luz levou para sair da canetinha, bater no espelho e voltar ao chão. Seu amigo fará a mesma medição, com um cronômetro igual, da plataforma.

Quando a experiência termina você vai conferir seu cronômetro com o dele. Para surpresa de ambos, os tempos medidos são diferentes. [...] Como isso pode ter acontecido?” Qual cronômetro marca um tempo maior?

(OBS.: Não esqueçam que precisamos exagerar nas dimensões e velocidade do trem).

Para a questão 2, foi orientado que os alunos deveriam investigar a situação-problema e formular hipóteses sobre os questionamentos (atividade oral coletiva). Após foi sugerida a ilustração dessa experiência no caderno.

Na sequência foi pedido aos alunos que indicassem as grandezas envolvidas nessa experiência (altura do vagão, velocidade do trem, velocidade da luz, tempos marcados nos cronômetros).

Questão 3: (MENEZES, 2013, p. 229)

- “Um passageiro A se encontra dentro de um trem em movimento e mede seu relógio um intervalo de tempo de 12 min entre dois eventos quaisquer ocorridos dentro do vagão. Supondo que a velocidade do vagão seja $v = 0,8 c$ (80% da velocidade da luz no vácuo), quanto tempo o relógio de um observador O, fora do vagão, parado ao lado da linha, registraria entre esses mesmos dois eventos?”

Para a Questão 3, foi sugerida a ilustração da situação-problema e anotação das grandezas envolvidas com seus respectivos valores. E de acordo com suas percepções elaboração de uma possível conclusão. Sobre o relato sugerido para a Questão 3, os alunos da turma 201 não conseguiram chegar a uma conclusão, pois iniciaram uma discussão onde queriam que a professora desse uma resposta, ou seja, ficaram inquietos a ponto de não conseguirem parar para pensar. Perguntas e exclamações dos alunos: “- Como assim, professora?; - Eu não sei fazer essa conta!; - Qual é a resposta?; - Aí vêm as contas!; - Eu não entendi nada!”

Os alunos do 3º ano, também se comportaram com interesse imediatista em querer a solução para as questões, ou seja, queriam que fosse dada a resposta pronta e com urgência. Foi necessário acalmá-los e solicitado que respeitassem as etapas da atividade.

O que podemos perceber com essa atividade, é a relutância de alguns alunos em realizar exercícios que exijam o uso do pensamento, tanto que uma aluna do 2º ano falou: “ – Professora, minha cabeça dói de tanto pensar! ”

Após essas discussões, foi indicada a leitura e a realização das atividades constantes no Guia Ilustrado (páginas 33 até 41), explorando com abordagem consistente, o tema da dilatação temporal.

Dúvidas e incompreensões relativas ao fenômeno temporal foram amenizadas quando trabalhadas as linguagens ilustrativa e matemática (páginas 36 até 41). Com a explicação passo a passo, no quadro branco, aplicando o Teorema de Pitágoras e chegando na equação para o cálculo da dilatação temporal. E, dando continuidade, a resolução, juntamente com os alunos, da “Questão 3”, onde foi possível identificar uma conclusão mais concreta sobre o tema de estudo.

Resolução matemática da Questão 3:

Retirando dados da questão:

- * Passageiro A → Tempo próprio $\Delta t_0 = 12$ minutos;
- * Velocidade do vagão → $v = 0,8 c$ (80% da velocidade da luz no vácuo);
- * Observador O, fora do vagão → $\Delta t' = ?$

Aplicando a equação para a dilatação temporal: $\Delta t' = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$, temos:

$$\Delta t' = \frac{12min.}{\sqrt{1-\frac{(0,8c)^2}{c^2}}} \rightarrow \Delta t' = \frac{12min.}{\sqrt{1-\frac{0,64c^2}{c^2}}} \rightarrow \Delta t' = \frac{12min.}{\sqrt{1-0,64}} \rightarrow \Delta t' = \frac{12min.}{\sqrt{0,36}} \rightarrow \Delta t' = \frac{12min.}{0,6} = 20min.$$

Para finalizar a aula foi indicado aos alunos a resolução da situação-problema constante no Guia Ilustrado (página 41) – “Aplicando a linguagem matemática!” Nas Figuras 44 e 45 temos a resolução da situação-problema realizada pelos alunos:

Figura 44: Atividade realizada por um aluno do 2º ano

$c = \text{velocidade da luz}$

Com essas definições evidenciamos a equação para a dilatação temporal:

$$\Delta t' = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Aplicando a linguagem matemática!

- Vamos supor que uma espaçonave é enviada para uma estação espacial com velocidade constante de 80% da velocidade da luz c , em relação à Terra, transportando um astronauta. Em relação à espaçonave, o tempo transcorrido entre o lançamento e a chegada na estação espacial foi de 3 anos. Qual é o tempo transcorrido considerando o referencial na Terra?

$V = 80\% \rightarrow 0,8c$ $\Delta t_0 = 3 \text{ anos}$ $\Delta t' = ?$

Handwritten calculations on the left side of the page:

$$\begin{array}{r} 1,00 \\ 0,64 \\ \hline 0,36 \\ \times 0,8 \\ \hline 0,288 \\ \times 0,8 \\ \hline 0,2304 \\ \times 0,8 \\ \hline 0,18432 \end{array}$$

Handwritten calculations on the right side of the page:

$$\Delta t' = \frac{3}{\sqrt{1 - 0,64}} = \frac{3}{\sqrt{0,36}} = \frac{3}{0,6} = 5$$

Handwritten note at the bottom: "o tempo dilata para quem ficou em repouso"

Fonte: da própria autora.

Figura 45: Atividade realizada por um aluno do 3º ano

tempo próprio de um observador parado"; (MATSUURA, 2003, p. 50)

- Δt_0 refere-se ao intervalo de tempo próprio - é intervalo de duração de determinado evento medido por um relógio em repouso em relação a um referencial;
- $\Delta t'$ refere-se a um observador em outro sistema de referência que se move com velocidade constante v em relação ao sistema em repouso. Este será maior do que o intervalo de tempo próprio.

Sendo assim:

$$\Delta t' = \Delta t_0 \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Handwritten notes on the left side of the page:


$\Delta t_0 = \text{tempo próprio}$
 $\Delta t' = \Delta t_0$
 $\Delta t' = \Delta t_0$

Handwritten calculations on the right side of the page:

$V = 0,8c$
 $\Delta t_0 = 3 \text{ anos}$
 $\Delta t' = ?$

$$\Delta t' = \frac{3}{\sqrt{1 - 0,64}} = \frac{3}{\sqrt{0,36}} = \frac{3}{0,6} = 5$$

Handwritten note: "Arrepiei!!!! Miaaaaauuuu!!!!"



Fonte: da própria autora.

Sem dúvida nenhuma, esse tema foi o mais intrigante e o mais discutido, pois a compreensão do tempo ser relativo ao movimento do observador, foge do senso comum. Tanto que uns alunos disseram não acreditar em isso ser possível. Outros falaram que a dilatação do tempo é tão genial, que estavam maravilhados com a possibilidade de alguém ter conseguido descobrir e explicar tal fenômeno.

Certamente, no nosso cotidiano não percebemos esse fenômeno, uma vez que vivenciamos velocidades muito inferiores à velocidade da luz. Mas, compartilhamos os estudos de Einstein de que o tempo é relativo a cada observador. Quanto mais rápido for o movimento, mais lento “andar” o relógio quando comparado ao de outro observador. E, ainda, se a simultaneidade não é absoluta, o intervalo de tempo entre dois eventos também não é o mesmo para todos os referenciais inerciais. (MATSUURA, 2003)

4.3.8 Aula 6

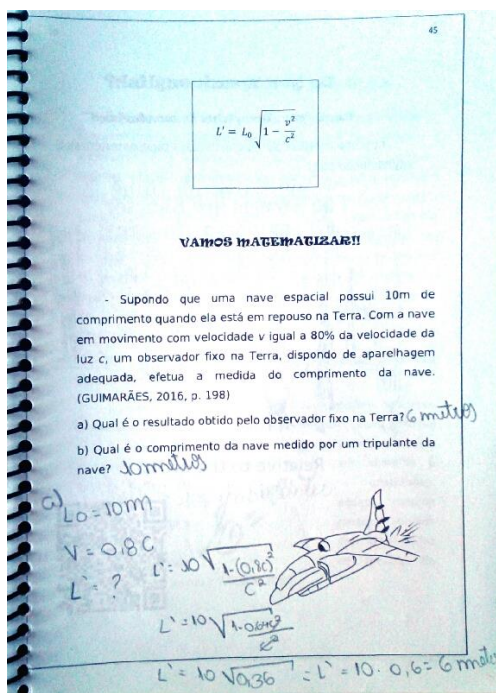
O planejamento da Aula 6 foi desenvolvido no dia 26 de junho de 2019 para a turma 201. Já para a turma 301 foi aplicado na data de 03 de julho, em razão de no dia 26/06, estarem presentes apenas 3 alunos na aula.

Como situação inicial da aula, foi retomado oral e coletivamente o tema estudado no encontro anterior, bem como correção da atividade constante no Guia com o desenvolvimento da equação para a dilatação temporal. E, a partir dessa retomada já foi introduzida a ideia da dilatação do comprimento, através de questionamentos, onde os alunos puderam verificar a relação entre a dilatação do tempo e a relatividade do comprimento.

Após essa introdução, foi indicada a leitura e realização de atividade proposta no Guia Ilustrado (páginas 42 até 45).

Atividade denominada “Vamos Matematizar!”, realizada por um aluno do 2º ano, conforme Figura 46.

Figura 46 – “Vamos Matematar!”



Fonte: da própria autora.

Os alunos das duas turmas tiveram mais facilidade para entender o tema e realizar a atividade, pois já tem uma bagagem de conhecimento sobre o novo estudo, ratificando o enfoque principal da Teoria da Aprendizagem Significativa.

Os alunos do 3º ano manifestaram que as equações da teoria eram simples em vista de outras equações da Física.

Para a turma 201 a aula foi finalizada com a sugestão do “Desafio em Língua Inglesa” - leitura do livro ilustrado do astrofísico George Gamow – “Mr. Tompkins in wonderland”, que aborda os efeitos relativísticos vivenciados pelo personagem no cotidiano do seu incrível mundo. Os alunos poderão ler o livro acessando o link <http://boomeria.org/physicslectures/secondsemester/relativity/tompkins.html> ou através do QR code, constantes na página 46 do Guia Ilustrado. Também foi comunicado aos alunos a aplicação de avaliação escrita no próximo encontro.

Para os alunos do 3º ano a aula teve continuidade com o uso do Guia Ilustrado, onde foi indicada a leitura e discussão do tema “energia relativística” (página 47 até 51).

Depois das devidas reflexões sobre a leitura com exposição da famosa equação $E = m \cdot c^2$, foi proposto a realização de um jogo denominado “Roleta do Desafio”. As regras do jogo estão na página 52 do Guia.

A atividade prática proporcionou diálogo entre os estudantes, a troca de ideias, o questionamento e a crítica, bem como a revisão de todos os temas estudados.

Nesta etapa da sequência, conceitos foram desenvolvidos, elaborados e diferenciados a partir de seguidas interações. De acordo com a teoria ausubeliana, processos que se relacionam no decorrer da aprendizagem significativa são definidos como a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora. (SANTOS, 2019)

A proposta foi muito bem aceita, deixou os alunos a vontade e nas dúvidas quanto a resposta dos jogadores, consultaram o Guia ou a professora.

Sobre a inserção jogo, é importante ressaltar que alguns alunos mencionaram a atividade de forma positiva como uma ferramenta para auxiliar nos estudos. Abaixo o registro fotográfico do jogo (Fotografia 3):

Fotografia 3 – Jogando a Roleta do Desafio – Turma 301



Fonte: da própria autora.

4.3.9 Aula 7

No dia 03 de julho de 2019 foi desenvolvida a 7ª aula para a turma 201. Inicialmente conversamos sobre as atividades tratadas na aula anterior: a dilatação temporal e espacial.

Dando seguimento, na primeira parte da aula foi realizada a introdução da última consequência de estudo referente aos postulados da teoria: a “energia relativística”. Utilizando o Guia Ilustrado, foi indicada a leitura e discussão do referido tema (página 47 até 51).

Depois das devidas reflexões sobre a leitura com exposição da famosa equação $E = m \cdot c^2$, foi proposto a realização de um jogo denominado “Roleta do Desafio”. Sendo o jogo realizado em duplas, prestou-se muito bem como atividade motivadora e preparatória para a avaliação escrita a ser aplicada na segunda parte da aula.

Abaixo o registro fotográfico de alguns alunos jogando (Fotografia 4):

Fotografia 4 – Jogando a Roleta do Desafio – Turma 201



Fonte: da própria autora.

Assim como para a turma 301, a proposta foi bem aceita pelos alunos do 2º ano, pois os mesmos tiveram a oportunidade de relembrar todos os temas estudados, desde a evolução da teoria relativística até o tema estudado na aula do dia.

Na segunda parte da aula, foi solicitado aos alunos para organizarem-se individualmente para realização da avaliação escrita. Para essa atividade foi permitido o uso do Guia Ilustrado como apoio.

A atividade avaliativa está composta de duas páginas contendo cinco exercícios, com respostas subjetivas, sendo uma com ilustração e outra com elaboração de palavras cruzadas.

A seguir a atividade avaliativa:

ATIVIDADE AVALIATIVA DE FÍSICA – Profª Milena Teixeira da Rosa

Tópico de estudo: Teoria da Relatividade Restrita

Temas: Postulados de Einstein e suas consequências (simultaneidade, dilatação temporal, contração de comprimento, energia relativística).

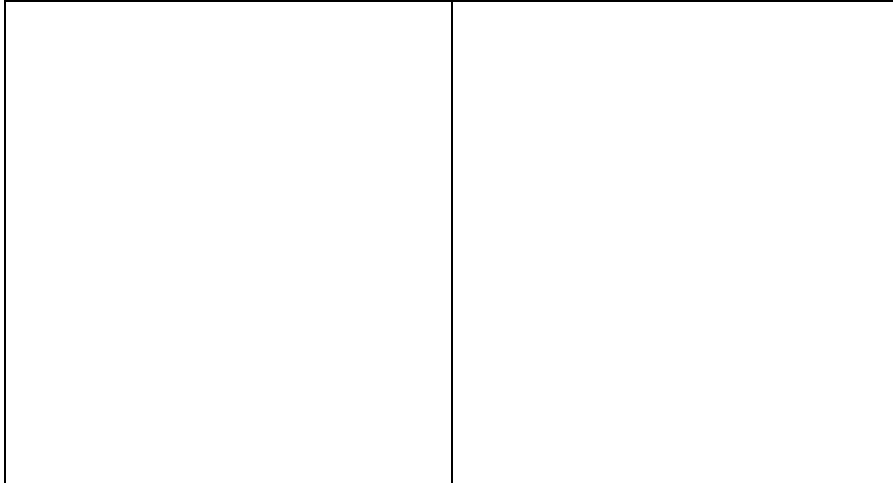
NOME DO (A) ESTUDANTE:.....

SÉRIE/TURMA:.....Capão da Canoa-RS,/...../.....

1. Um tópico importante da Física é a Teoria da Relatividade Restrita, que estuda onde e quando ocorrem os eventos (acontecimentos) e qual é a distância que os separa no espaço e no tempo. Nesse estudo, explique com suas palavras o que você entende por relatividade:

.....

2. Sabemos que com o advento da Teoria da Relatividade de Einstein alguns conceitos da Mecânica Newtoniana sofreram adequações. Escreva frases elencando as diferenças entre essas duas teorias:



3. Suponha que um observador (Leo) observa que dois eventos independentes (evento Verde e evento Amarelo) ocorreram simultaneamente. Suponha também que outro observador (Karen), que está se movendo com velocidade constante em relação a Leo, também registra os dois eventos. Os eventos também são simultâneos para Karen?

Resposta:.....

Justificativa:.....

.....

4. Uma pessoa está de pé ao lado dos trilhos de uma estrada de ferro quando é surpreendida pela passagem de um vagão relativístico. Um passageiro que está na extremidade dianteira do vagão dispara um pulso de laser em direção à extremidade traseira.

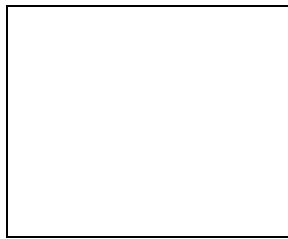
(a) Ilustre o evento:



(b) A velocidade do pulso medida pela pessoa que está do lado de fora do trem é maior, menor ou igual à velocidade medida pelo passageiro?.....

(c) O tempo que o pulso leva para chegar à extremidade traseira do vagão, medido pelo passageiro, é o tempo próprio?

(d) A relação entre o tempo medido pelo passageiro e o tempo medido pela pessoa que está do lado de fora é dada pela equação?



5. Elabore um exercício de Palavras Cruzadas, contendo no mínimo 5 discussões, envolvendo os temas estudados no tópico Relatividade Restrita (use o verso da folha):

Os estudantes utilizaram todo o período realizando a avaliação. Ao sinal de término da aula, todos entregaram a avaliação.

4.3.10 Aula 8

A 8ª e última aula aconteceu na data de 10 de julho de 2019 para ambas as turmas.

A proposta desse encontro para a turma 201 foi de realização de atividade colaborativa em grupo, favorecendo uma reconciliação integrativa através da elaboração de Mapa Conceitual (em uma cartolina) elencando um dos temas estudados, onde os grupos puderam escolher qual tema de trabalho. Após a elaboração dos cartazes, os grupos fizeram a apresentação das ideias para o grande grupo.

Como lembrança de nosso projeto foi oferecido a cada aluno um lápis com a imagem de Albert Einstein. Abaixo o registro das atividades (Fotografias 5 e 6 – Figuras 47 e 48):

Fotografia 5 – Elaborando o Mapa Conceitual – Turma 201



Fonte: da própria autora.

Fotografia 6 – Apresentando o Mapa Conceitual - Turma 201



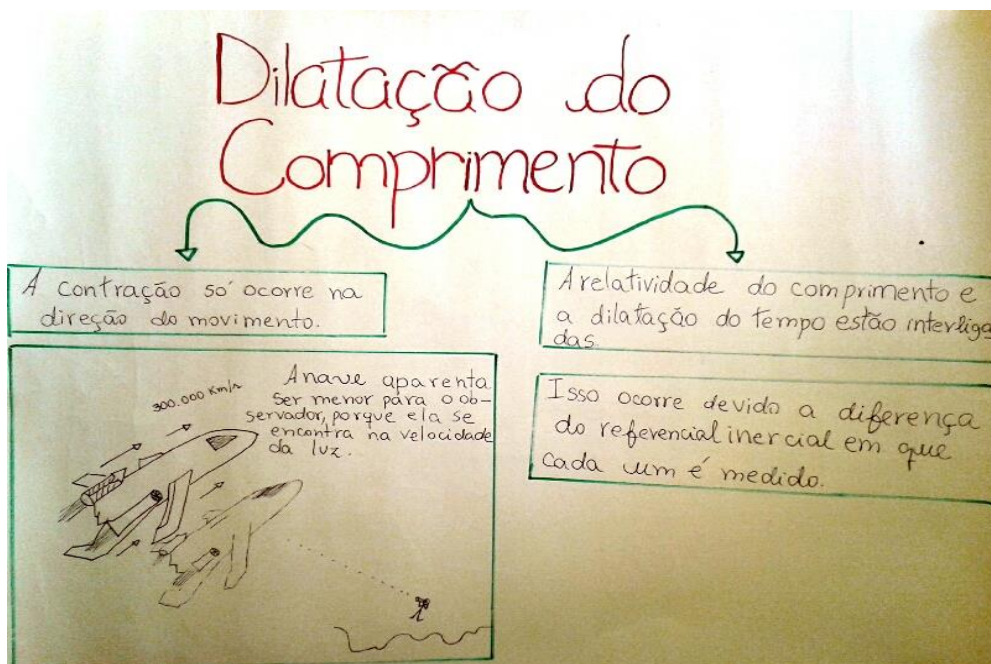
Fonte: da própria autora.

Figura 47 – Mapa Conceitual – Turma 201



Fonte: da própria autora.

Figura 48 – Mapa Conceitual - Turma 201



Fonte: da própria autora.

Como já mencionado no início deste tópico, esta foi a última aula para o 3º ano também.

No primeiro momento da aula, ou seja, antes da aplicação da atividade avaliativa, foi aberto um espaço para uma breve retomada e discussão sobre todos os temas de estudo. Os estudantes utilizaram a primeira parte da aula para realização da referida avaliação.

Na segunda parte da aula os alunos elaboraram, em grupos, um Mapa Conceitual (em um cartaz) elencando um dos temas estudados e após os grupos fizeram a apresentação das ideias para o grande grupo. Abaixo o registro das atividades (Fotografias 7 e 8 – Figuras 49 e 50):

Fotografia 7 – Elaborando o Mapa Conceitual – Turma 301



Fonte: da própria autora.

Fotografia 8 – Apresentando o Mapa Conceitual - Turma 301



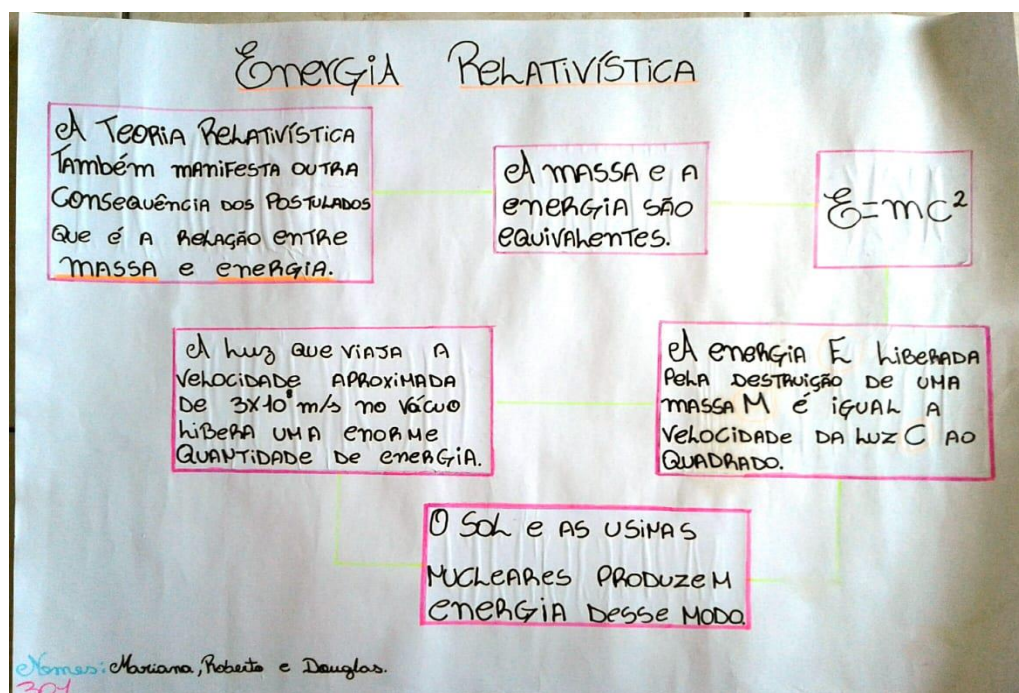
Fonte: da própria autora.

Figura 49 – Mapa Conceitual – Turma 301



Fonte: da própria autora

Figura 50 – Mapa Conceitual – Turma 301



Fonte: da própria autora

Sobre a construção dos Mapas Conceituais realizada pelos alunos, é interessante comentar que no princípio estávamos preocupados com o entendimento sobre a elaboração desse instrumento, uma vez que na primeira construção os alunos praticamente reproduziram o modelo dado. Mas, observando os mapas construídos sobre todos os temas estudados, parece que houve uma evolução dos estudantes, pois externalizaram de modo mais objetivo os conceitos estudados.

Ao analisarmos as figuras 47 e 50, que tratam sobre o mesmo tema – Energia Relativística, podemos observar que os mapas estão parecidos. Tanto o grupo da 201 como da 301 preocupou-se em evidenciar um conceito importante dessa consequência que é a relação de equivalência entre as grandezas massa m e energia E .

Para finalizar a aula e o projeto, foi solicitado aos alunos das duas turmas, uma avaliação individual de todo o processo. Para realizar essa atividade foi escrito no quadro branco questões norteadoras para os alunos escreverem suas reflexões:

“Agora que chegamos ao final dos nossos estudos sobre a Teoria da Relatividade Especial, faça um relato avaliativo enfocando os seguintes tópicos:

- Como foi o desenvolvimento das aulas?;
- O que você achou mais interessante sobre o estudo?;
- Como foi seu envolvimento e participação nesse estudo?;
- Sua avaliação sobre o Guia Ilustrado: ”.

Em conformidade com o aporte teórico oferecemos atividades avaliativas favorecendo desenvolvimento de resolução de situações problemáticas abertas, propiciando o raciocínio lógico, investigativo, com formulação de hipóteses, deixando os cálculos para o segundo passo. (GIL, 1992)

Com a elaboração de mapa conceitual, em grupo, abordando os temas de estudo, verificamos a ocorrência da *reconciliação integrativa* com a exploração de ideias, conceitos, reorganização e recombinação dos novos conhecimentos com os previamente existentes na estrutura cognitiva dos alunos. (MOREIRA, 2012)

Essa integração de pensamentos, sentimentos e ações estão integrados no ser que aprende, e essa integração é positiva, construtiva, quando a aprendizagem é significativa. (NOVAK, MOREIRA, MASSONI, 2016)

4.4 Análise da Avaliação Escrita - 2º e 3º Ano

Neste tópico, expomos uma análise do processo de aprendizagem relativa aos temas estudados, a partir das respostas dadas pelos alunos das turmas 201 e 301, por ocasião da aplicação de atividade avaliativa escrita, usando como apoio o Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita.

Esclarecemos que a referida atividade foi composta de 5 questões subjetivas, o que demanda de uma avaliação qualitativa, de acordo com o entendimento do estudante sobre determinado tema, portanto, a atividade não foi corrigida de forma tradicional, apontando erros e acertos, mas sim de modo que se identificasse se os alunos adquiriram conceitos adequados e coerentes ou detêm conceitos equivocados com relação aos temas de estudo.

Na Questão 1, é solicitado ao aluno que informe seu entendimento com relação a ideia de relatividade dentro do contexto de estudo da teoria relativística:

1. Um tópico importante da Física é a Teoria da Relatividade Restrita, que estuda onde e quando ocorrem os eventos (acontecimentos) e qual é a distância que os separa no espaço e no tempo. Nesse estudo, explique com suas palavras o que você entende por relatividade:

Para esta questão, 1 aluno da turma 201 e 3 alunos da turma 301 não responderam, deixando a questão em branco.

Constatamos, pelas respostas dos estudantes, que de certa forma, a maioria associou a ideia de relatividade ao estudo da teoria, uma vez que apontaram a ideia de relatividade do tempo, afirmando que o tempo é relativo e também com relação aos conceitos das consequências da simultaneidade e da dilatação temporal.

Abaixo listamos algumas das explicações dos estudantes das duas turmas:

Estudante 1 - 201: “Por exemplo, vou assistir na TV um jogo de futebol e um jogador faz um gol; esse gol não é simultâneo na TV, ou seja, não é o mesmo tempo se eu estivesse lá no estádio na hora do gol”.

Estudante 2 - 301: “Relatividade quer dizer que algo que acontece pode ser diferente para duas pessoas (ou mais) mesmo que, teoricamente, esteja acontecendo no “mesmo tempo”.

Estudante 3 - 201: “Entendo que está diretamente ligado com a dilatação temporal e que está relacionado ao tempo de acontecimentos “x” ou “y”.

Estudante 4 - 301: “Que cada acontecimento por mais simultâneo que seja, tudo depende do ponto de vista da pessoa e de onde ela esteja”.

Estudante 5 - 201: “Relatividade está relacionada à dilatação temporal, a distância entre dois pontos depende muito do referencial inercial onde se realiza a medição”.

Estudante 6 - 301: “Por exemplo o tempo é relativo, para mim pode passar mais rápido e para meu colega mais devagar”.

Estudante 7 - 201: “Relatividade significa que pode ser várias respostas para uma pergunta, por exemplo, quando temos mais de uma pessoa observando um fato de posições diferentes esse fato será relativo. Tudo pode ser relativo até o tempo, segundo Einstein na Teoria relativística”.

Estudante 8 - 301: “Tudo depende do tempo, o tempo pode não ser o mesmo para todas as pessoas, tempo é relativo”.

Para a Questão 2, nossa intenção é verificar se o aluno compreendeu os conceitos relacionados às diferenças entre a Mecânica de Newton e a Teoria Relativística de Einstein:

2. Sabemos que com o advento da Teoria da Relatividade de Einstein alguns conceitos da Mecânica Newtoniana sofreram adequações. Escreva frases elencando as diferenças entre essas duas teorias:

Na segunda questão, 3 alunos da turma 201 e 1 aluno da turma 301 não responderam, deixando a questão em branco.

De acordo com as respostas dos alunos do 2º ano, verificamos que 22 responderam acertadamente à questão e 7 equivocaram-se com suas respostas. Na turma do 3º ano, 20 alunos responderam adequadamente à questão e 4 estudantes não atenderam a questão, pois enunciaram as leis de Newton ou a teoria de Einstein.

Abaixo exemplificamos algumas das respostas dos estudantes das duas turmas:

Estudante 9 - 201:



Estudante 10 - 301:



<p>“Para Einstein o tempo é diferente para cada um”.</p>	<p>“Einstein: Conceito relativo que depende da escolha de um referencial”.</p>
--	--

<p>“Para Newton existe apenas um tempo”.</p>	<p>“Newton: conceito absoluto independente da escolha do referencial”.</p>
--	--

Estudante 11 - 201:



Estudante 12 - 301:



<p>Einstein:</p> <ul style="list-style-type: none"> - “A velocidade da luz no vácuo é sempre a mesma em qualquer sistema referencial”. - “Tudo é relativo dependendo do referencial”. <p>Newton:</p> <ul style="list-style-type: none"> - “Dimensão e tempo são conceitos independentes.” - “Não consegue descrever eventos próximos a velocidade da luz”. 	<p>Einstein:</p> <p>“Tempo relativo, 4 dimensões (largura, comprimento, volume e tempo), física relativística onde tudo é relativo, espaço-tempo como um só”.</p> <p>Newton:</p> <p>“Tempo absoluto, 3 dimensões (largura, comprimento e volume), espaço conceito relativo que depende de um referencial e tempo absoluto”.</p>
--	---

Através da questão 3, queremos identificar o entendimento dos estudantes com relação ao conceito de simultaneidade:

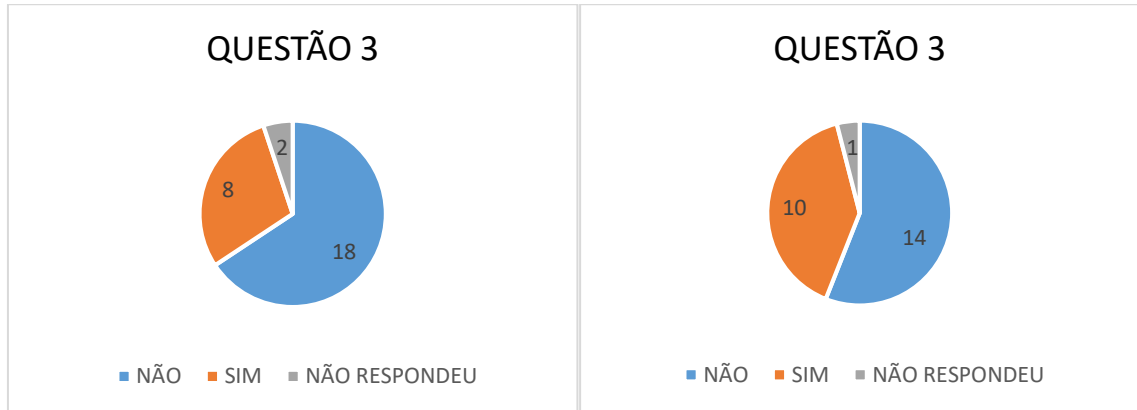
3. Suponha que um observador (Leo) observa que dois eventos independentes (evento Verde e evento Amarelo) ocorreram simultaneamente. Suponha também que outro observador (Karen), que está se movendo com velocidade constante em relação a Leo, também registra os dois eventos. Os eventos também são simultâneos para Karen? Resposta: Justificativa:

Na terceira questão, 2 alunos da turma 201 e 1 aluno da turma 301 deixaram a questão em branco.

De acordo com os Gráficos 15 e 16, podemos observar e constatar que a maioria dos alunos, tanto de uma turma como da outra, apontou a impossibilidade dessa consequência relativística, onde em geral a resposta é negativa. Mas, não podemos dizer que um observador está certo e o outro está errado; as observações de ambos são igualmente válidas e não há motivo para dar razão a um deles. O fato de que duas afirmações estarem em desacordo a respeito do mesmo evento podem estar corretas é uma das conclusões aparentemente ilógicas da teoria de Einstein. Dois observadores em movimento relativo não concordam, em geral, quanto à simultaneidade de dois eventos. Se um dos observadores os considera simultâneos, o outro, em geral, conclui que não são simultâneos.

Essa verificação é comprovada nas justificativas dos alunos.

Gráfico 15: Questão 3 - 201	Gráfico 16: Questão 3 - 301
-----------------------------	-----------------------------



Fonte: da própria autora.

Fonte: da própria autora.

Estudante 9 - 201: “O fato da Karen estar em movimento faz que ela veja primeiro o evento do lado para onde o vagão está indo”.

Estudante 10 - 301: “Pois Karen vai ver um de cada vez por causa da velocidade e Leo como está vendo de fora vê os dois simultaneamente”.

Estudante 11 - 201: “Pois a Karen está em velocidade constante, está no seu tempo próprio”.

Estudante 12 - 301: “Por estar em movimento Karen não presenciara a simultaneidade dos eventos, ela observará primeiro o evento em que ela está indo em direção para logo depois observar o outro”.

A questão 4 explora uma situação, através de quatro atividades abordando os temas da simultaneidade e da dilatação temporal.

A primeira atividade é de ilustração do evento. Para essa atividade a grande parte dos alunos realizou a proposta, como pode ser verificado nos Gráficos 17 e 18.

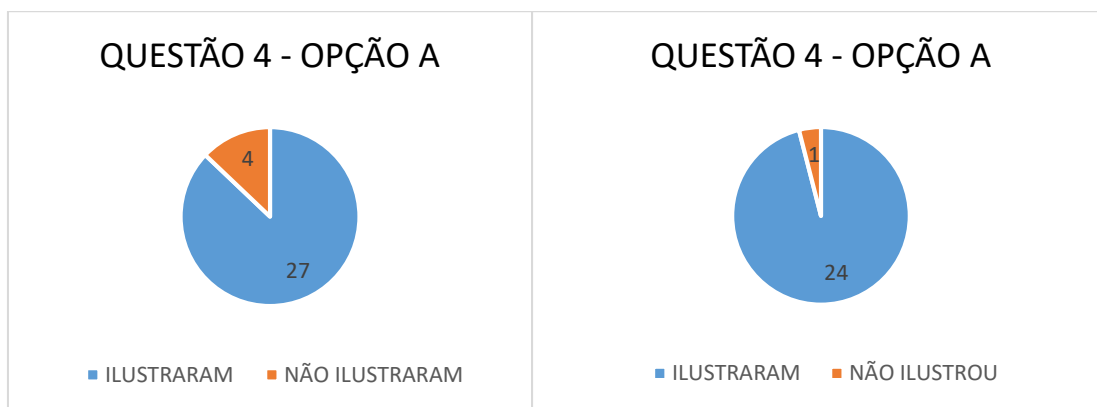
4. Uma pessoa está de pé ao lado dos trilhos de uma estrada de ferro quando é surpreendida pela passagem de um vagão relativístico. Um passageiro que está na

extremidade dianteira do vagão dispara um pulso de laser em direção à extremidade traseira.

a) Ilustre o evento:

Gráfico 17: Questão 4 – a - 201

Gráfico 18: Questão 4 – a - 301

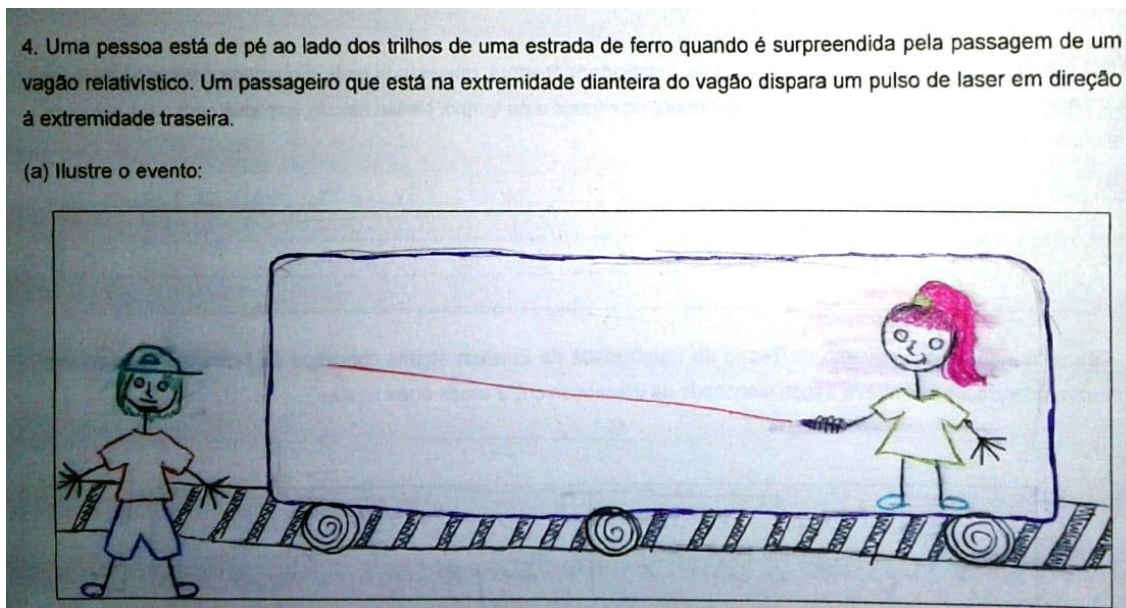


Fonte: da própria autora.

Fonte: da própria autora.

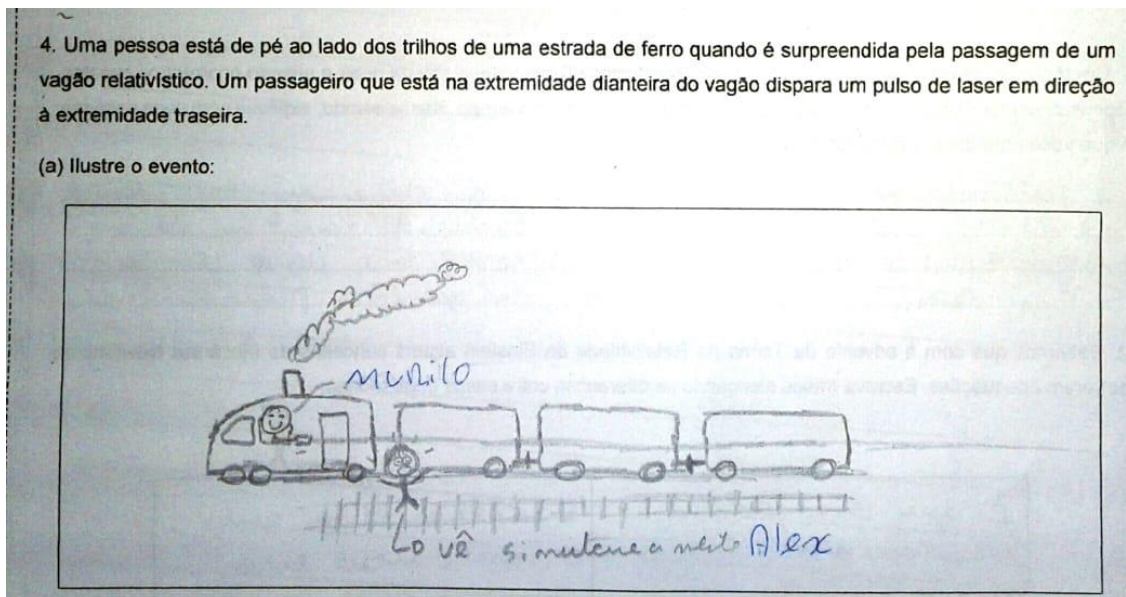
Sobre as ilustrações, todos os alunos souberam fazer a interpretação adequada à situação proposta, conforme os exemplos nas Figuras 51 e 52:

Figura 51 – Turma 201



Fonte: da própria autora.

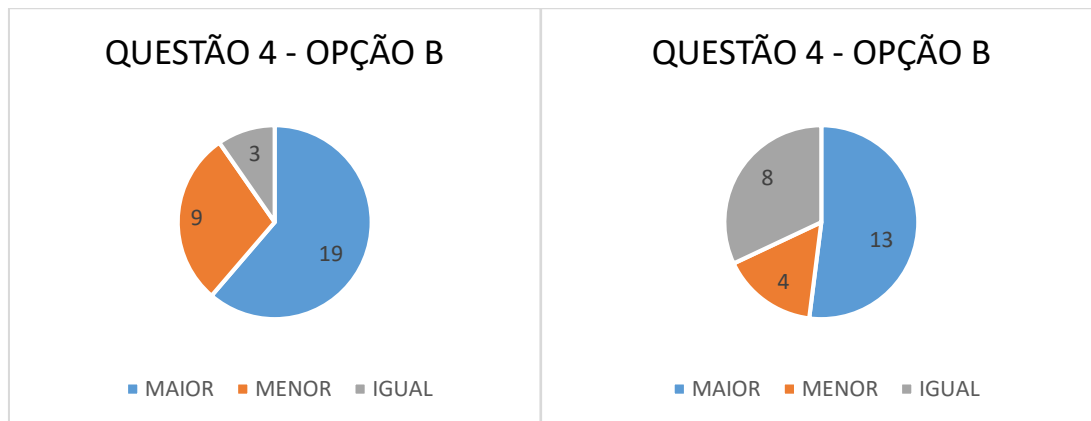
Figura 52 – Turma 301



Fonte: da própria autora.

(b) A velocidade do pulso medida pela pessoa que está do lado de fora do trem é maior, menor ou igual à velocidade medida pelo passageiro?

Gráfico 19: Questão 4 - b - 201	Gráfico 20: Questão 4 - b - 301
---------------------------------	---------------------------------



. Fonte: da própria autora.

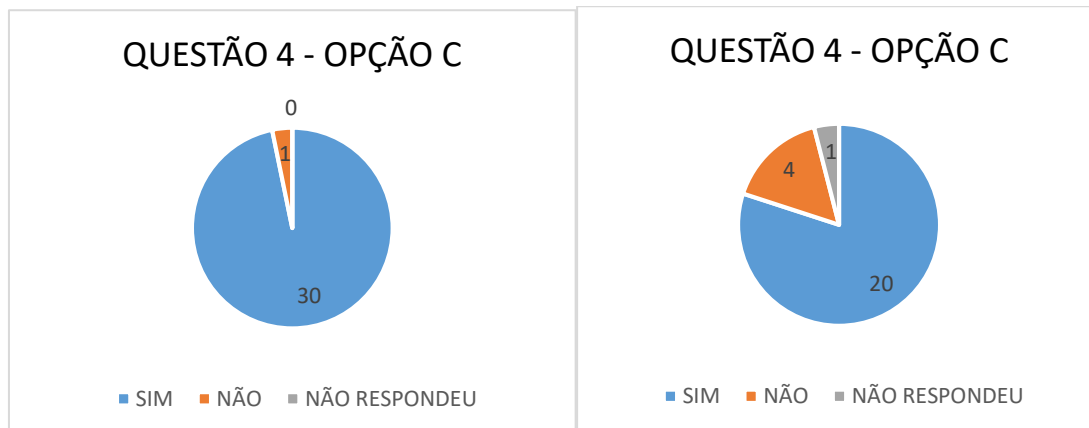
Fonte: da própria autora.

Pela amostragem podemos verificar que nas duas turmas a maioria dos alunos responderam que a velocidade do pulso medida pela pessoa que está do lado de fora do trem é maior à velocidade medida pelo passageiro.

Consideramos um entendimento equivocado da maioria dos estudantes, pois de acordo com o 2º postulado a velocidade da luz é igual para todos os observadores. Talvez os alunos não tenham interpretado corretamente a questão e confundiram velocidade do pulso de luz com intervalo de tempo medido.

(c) O tempo que o pulso leva para chegar à extremidade traseira do vagão, medido pelo passageiro, é o tempo próprio?

Gráfico 21: Questão 4 - c - 201	Gráfico 22: Questão 4 - c – 301
---------------------------------	---------------------------------



Fonte: da própria autora.

Fonte: da própria autora.

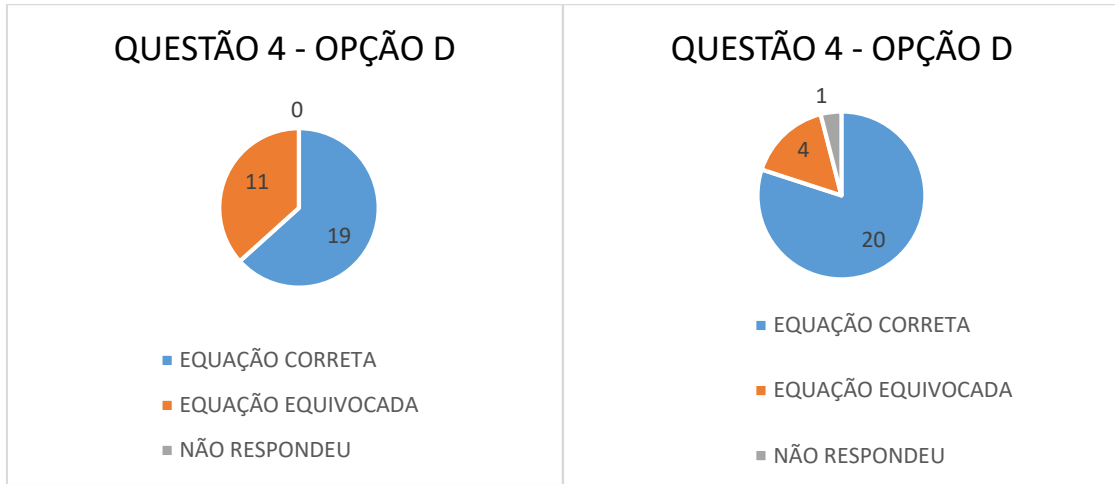
Para essa questão a resposta satisfatória é NÃO, uma vez que o ponto inicial e o ponto final da medida são coincidem.

Pelos gráficos observamos que há uma necessidade muito grande de interpretação das questões relacionadas a esse tema, por conta da complexidade, mas mesmo assim alguns alunos, embora uma minoria chegou a um entendimento.

É importante ressaltar que na teoria relativística, a observação e a medida efetuada pelo passageiro são chamadas de próprias, pois foram feitas em relação ao referencial dele.

(d) A relação entre o tempo medido pelo passageiro e o tempo medido pela pessoa que está do lado de fora é dada pela equação?

Gráfico 23: Questão 4 - d - 201	Gráfico 24: Questão 4 - d - 301
---------------------------------	---------------------------------



Fonte: da própria autora.

Fonte: da própria autora.

Para essa questão a maioria dos alunos evidenciou a equação para a dilatação temporal adequadamente. Os estudantes que se equivocaram apontaram a equação para a Mecânica Clássica.

5. Elabore um exercício de Palavras Cruzadas, contendo no mínimo 5 discussões, envolvendo os temas estudados no tópico Relatividade Restrita (use o verso da folha):

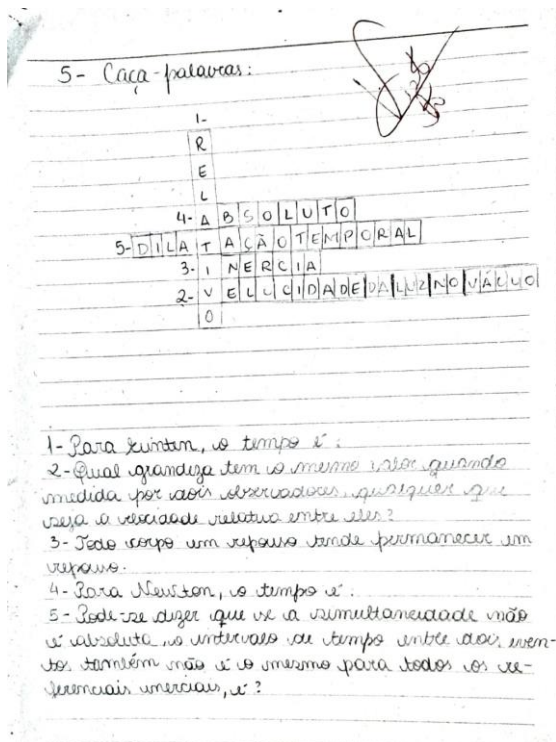
Para essa atividade todos os alunos do 3º ano realizaram a proposta. Do 2º ano 8 estudantes deixaram de fazer.

As Figuras (53 e 54) abaixo escolhidas representam a maioria das atividades realizadas pelos alunos das duas turmas.

Em geral os estudantes elaboraram a atividade Palavras Cruzadas evidenciando diversos temas estudados, desde a evolução da teoria até a relatividade da energia.

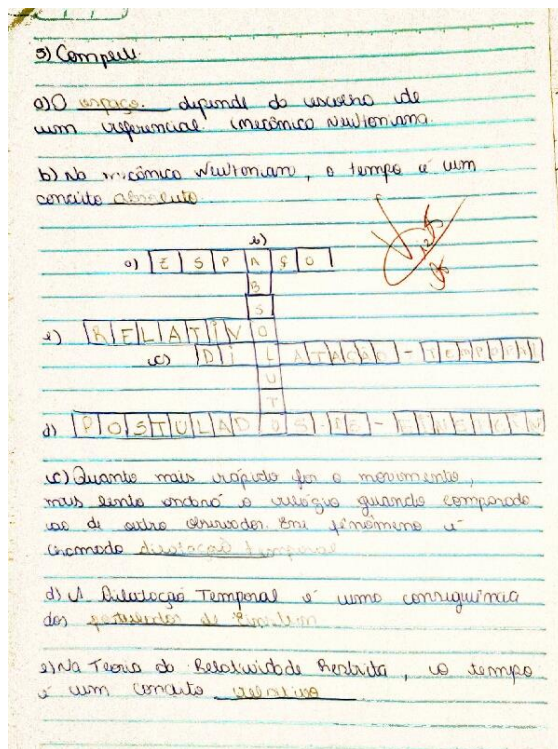
Observamos que alguns alunos construíram o exercício em forma de Caça Palavras.

Figura 53 – Turma 201



Fonte: da própria autora.

Figura 54 – Turma 301



Fonte: da própria autora.

4.5 Reflexões sobre a Avaliação e Auto Avaliação realizada pelos alunos

Neste tópico, apresentamos as reflexões sobre a avaliação dos alunos sobre o desenvolvimento do projeto. Para auxiliar na elaboração do texto dos alunos, sugerimos quatro reflexões que seguem abaixo. Para melhor identificar os alunos e para indicar que se trata do mesmo estudante, utilizamos a ordem numérica.

- Como foi o desenvolvimento das aulas:

Aluna 1 - 201: “O desenvolvimento das aulas foi maravilhoso com a organização da professora. Aprendemos coisas em meses que nunca, ou seja, anos não compreendemos. Foi uma experiência diferente e agradável, uma oportunidade ótima”!

Aluno 2 - 301: “As aulas foram muito boas, pois saíram um pouco da rotina e foram mais descontraídas e acho que isso fez com que a turma prestasse mais atenção. Eu aprendi algumas coisas com essa forma de aula muito mais facilmente do que de outras aulas “comuns”.

Aluna 3 – 201: “O desenvolvimento da aula ocorreu conforme os alunos iam aprendendo. A forma na qual foi estudada foi bem dinâmica. Achei ótimo, pois conseguimos debater muito sobre o assunto”.

Aluno 4 - 301: “O desenvolvimento das aulas foi ótimo com muito conteúdo, teoria, leis...”

Aluna 5 – 201: “Foi bom, tudo bem explicado! Só faltou eu prestar mais atenção. “Eu gostei mais do jogo, onde eu tive um melhor conhecimento sobre a matéria”.

Aluno 6 - 301: “Sobre as aulas de Física com a Prof. Milena foram realmente muito divertidas. Talvez meu desenvolvimento tenha sido meio baixo referente as aulas pelo fato de eu aprender muito devagar, mas as aulas em si foram ótimas”.

Aluna 7 – 201: “Desde o início alguns se interessavam e outros nem tanto. Sempre havendo atividades diferentes e divertidas sobre os assuntos do livro ilustrado. Assuntos muito bem explicados e aplicados pela professora para que conseguíssemos compreender os temas a serem desenvolvidos”.

Aluna 8 - 301: “As aulas foram bastante produtivas e práticas, facilitando o aprendizado”.

Aluna 9 – 201: “Foi incrível, aulas muito aplicadas e dedicadas. Adorei conhecer mais as teorias malucas de Einstein e seus artigos de forma divertida. Todo o trabalho que foi feito para nós desde os desenhos, o material, até as aulas muito boas e bem desenvolvidas para melhor entendimento dos alunos. Simplesmente sensacional! Parabéns pela iniciativa de nos surpreender nos trazendo coisas novas e interessantes que irão nos agregar muito na vida. Trouxe-me uma outra forma de pensar das coisas. Todo carinho, tudo muito especial. Muito grata por tudo”!

Aluna 10 - 301: “Eu gostei da prática, pois a forma de aprendizado é diferente do que geralmente é apresentado. As aulas foram produtivas e de longe muito interessante, muito pelo conteúdo de dilatação temporal, que de longe foi o melhor conteúdo que desenvolvemos”.

Aluna 11 - 301: “Eu, particularmente gostei das aulas. Foram aulas não tão teóricas. Teve atividades e exercícios de fácil compreensão e um jogo na última aula onde deu para estudar de uma forma mais descontraída. Eu mesma não sendo uma

grande fã da física e às vezes não entendendo muito bem achei as aulas muito legais”.

Aluna 12 - 301: “Aulas com bastante exemplos sobre as teorias e aberta a opiniões”.

- O que você achou mais interessante sobre o estudo:

Aluna 1 - 201: “A prática com certeza. Estudar e aprofundar as histórias dos físicos e imaginar cada postulado foi um estudo agradável”.

Aluno 3 – 201: “Achei incrível o fato de uma pessoa “comum” ter tanto potencial para desenvolver postulados, teorias sobre a velocidade da luz. Prendeu-me bastante da relatividade restrita a dilatação do tempo”.

Aluno 4 - 301: “O estudo da relatividade é bem complexo. As dimensões do espaço tempo, os postulados, os cálculos, fórmulas”.

Aluno 6 - 301: “Realmente, sobre esses assuntos tudo se torna interessante quando se tem uma professora dedicada e que põe amor em tudo aquilo que faz. Como já disse, talvez meu desenvolvimento não tenha sido tão bom, mas certamente se tivesse mais tempo seria diferente... Afinal, o tempo é relativo”.

Aluna 7 – 201: “Levando em conta todos os assuntos abordados, achei mais interessante e legal de fazer as atividades sobre dilatação temporal, simultaneidade, contração do comprimento, por ser algo que nos cerca e convivemos, mas não reparamos”.

Aluna 8 - 301: “Achei muito interessante também toda a relação de espaço e tempo, relatividade, postulados e suas consequências, visto que Albert Einstein foi grande físico que revolucionou o que até então todos chamavam de física clássica”.

Aluna 12 - 301: “Muito interessante estudar a física moderna ao invés da nossa física clássica estudada em todo período escolar. A física moderna nos permite entender eventos atuais e passados”.

- Como foi seu envolvimento e participação nesse estudo:

Aluna 1 - 201: “Em uma escala de 100% eu prestei atenção 98% nada mais, se fosse 100% estaria doida! KKK E eu me apaixonei por Albert Einstein, encantada com sua história e loucamente apaixonada por seu cérebro”.

Aluno 3 – 201: “Procurei realmente entender sobre o que estava estudando, me envolver e tirar todas as dúvidas na aula”.

Aluno 4 - 301: “Foi um esclarecimento por algumas coisas que eu já havia visto, mas confundia bastante, mas isso já não acontece. Foi muito bem explicado”.

Aluna 5 – 201: “Foi mais ou menos, acredito que poderia ter um melhor desenvolvimento”.

Aluno 6 - 301: “Tentei ao máximo me engatilhar nas aulas, me envolver no assunto, mas sinto que isso não é para mim, embora o assunto seja de extrema importância. E por fim, queria parabenizar a professora Milena Teixeira da Rosa, pela sua criatividade, seu conhecimento e principalmente sua força de vontade! Você merece tudo de melhor deste mundo, professora. Obrigada pela oportunidade de ser seu aluno”!

Aluna 7 – 201: “Sempre fiz as atividades por ter gostado de alguns temas e do modo em que eram passados para nós, simplificados e com exemplos do dia a dia”.

Aluna 8 - 301: “Tive um bom desenvolvimento nas aulas sobre esse estudo, tive vontade em aprendê-lo, pois considero um assunto muito interessante no qual acabamos não estudando normalmente na escola. Particpei de todas as aulas e obtive bastante resultado, tanto que até me aprofundei nele em casa assistindo vídeo aulas de Newton, Einstein e até de Galileu”.

Aluna 10 - 301: “Por vezes fiquei dispersa em meio as explicações, mas, sempre procurei fazer os exercícios proposto em aula. Fico até com remorso de falar isso.

Aluna 12 - 301: “Gostaria de ter participado mais”.

- Sua avaliação sobre o Guia Ilustrado:

Aluna 1 - 201: “O guia foi uma ideia muito criativa, os desenhos foram muito importantes, ajudam a gente a pensar e a aprender a utilizar nossos cérebros. Obrigada prof. por dar atenção ao nosso conhecimento em geral”.

Aluno 2 - 301: “Acho que o guia ilustrado ajuda muito na questão de prestar mais atenção, porque torna mais divertido e ajuda na explicação”.

Aluno 3 – 201: “Primeiramente é uma fofura, fácil de compreender e o fato de ter ilustrações me ajuda a entender conceito e exercícios, facilitando o meu entendimento”.

Aluno 4 - 301: “O guia além de ser bem escrito com muitas ilustrações. O guia não é somente um livro e sim há uma grande quantidade de maneira de visualizar pelo blog, PDF e o livro em si. 10 de 10 para o guia”.

Aluna 5 – 201: “Gostei bastante, foi uma aula diferente, criativa e aprendi melhor do que se fosse no caderno”.

Aluna 7 – 201: “Um livro muito bem feito pela professora com certeza nos assuntos abordados. Os desenhos muito bem feitos e uma ótima ferramenta de estudos sobre a Relatividade Restrita”.

Aluna 8 - 301: “O guia ilustrado foi uma grande ferramenta para a base de estudo, muito completo e eficaz”.

Aluna 10 - 301: “Bem, o livro em si maravilhoso, bem explicadinho e de fácil entendimento (mesmo que a física não seja tão fácil assim). Adorei o trabalho. Está de parabéns”.

Aluna 11 - 301: “Eu achei o guia incrível, com desenhos e textos de fácil entendimento”.

Aluna 12 - 301: “O guia é incrível, linguagem fácil e ilustrações engraçadas com o Neno, muito bem colocadas. Parabéns e obrigada pelo desempenho e carinho conosco”.

Sobre o desenvolvimento das aulas, a maioria dos discentes fez questão de declarar o quanto as mesmas foram diferenciadas, práticas e dinâmicas, fomentando a vontade de aprender, tirando-os da rotina de formas “diferentes e divertidas”, contrárias ao “que geralmente é apresentado”, fazendo com que a turma preste mais atenção e esteja motivada. Aulas com discussões e debates, onde os alunos são construtores do seu saber, tendo o professor como mediador, favorecem

a produtividade facilitando o aprendizado, oportunizando o diálogo, opiniões com ampla participação de todos, de acordo com os estudantes 3, 8 e 12.

Outra manifestação bastante importante foi com relação ao jogo desenvolvido em sala de aula, conforme os alunos 5 e 11, que defenderam essa estratégia como forma de ter “um melhor conhecimento sobre a matéria” e realizar um “estudo mais descontraído”.

Há vários estudos que favorecem o jogo na sala de aula, como o de Fortuna (2011), que em sua tese traz à tona as relações entre brincar e aprender, a aula lúdica e o professor que brinca e dentro dessa ludicidade aparece o jogo com a proposta de favorecer os alunos como sujeitos efetivos de sua aprendizagem. A aula lúdica com jogos é em amplo sentido educativa quando submetido ao propósito do ensino, pois desenvolve habilidades, conhecimento e socializa. Também na defesa da didática lúdica, Santos (2010) propõe que os jogos podem favorecer os conteúdos de ensino de modo a dar mais sentido e significado a prática escolar. Ou seja,

O jogo não é somente um conteúdo – aquilo com o que se joga – mas também remete a uma ação - o jogar. Nessa condição, é uma forma de comunicação que abrange tanto a expressão de conteúdos inconscientes, quanto a apreensão da realidade, de onde provém sua condição de linguagem. A um só tempo, o jogo é uma linguagem em sentido próprio e também engendra a linguagem, já que, sem ser uma linguagem verbal, é condição para que esta venha a desenvolver-se beneficiando-se dela, após contribuir para sua construção. (FORTUNA, 2011, p. 56)

Sobre qual tema estudado os alunos tiveram mais interesse. Quase todos os assuntos abordados foram mencionados, mas a maioria elegeu o estudo da contração temporal como o mais interessante, como expressou o Aluno 3: “Prendeu-me bastante da relatividade restrita a dilatação do tempo”.

Ao serem questionados sobre seu envolvimento e participação no estudo, quase todos falaram que procuraram se dedicar ao estudo, por terem gostado dos temas, por terem vontade em aprender, que gostariam de ter participado mais.

E, finalmente, sobre o Guia Ilustrado, apontaram que foi uma ideia criativa, que proporciona um aprendizado diferente facilitando o entendimento dos

conceitos. Que as ilustrações divertidas ajudam na explicação e na questão de prender a atenção.

5 CONCLUSÃO

Percorremos um longo caminho desde as reflexões iniciais que fomentaram este projeto, como a escolha do tópico da Física a ser trabalhado, o desafio pessoal como educador no aprofundamento do referencial teórico, a vontade de contribuição efetiva para o ensino de Física considerando as recomendações legais, a apropriação da fundamentação teórica da Aprendizagem Significativa, a criação do Guia Ilustrado, o desenvolvimento da Sequência de Ensino adequada ao público escolhido e a aplicação do produto educacional até o final do processo com os devidos resultados.

Foi um percurso difícil, mas alentador no sentido de acreditarmos que nossa proposta buscou apresentar uma estratégia de ensino diferenciada para ensinar a Teoria da Relatividade Restrita, a partir da inserção do Guia Ilustrado, numa Sequência Didática com o propósito de facilitar aos estudantes a aquisição de um conhecimento com significado, através da interação cognitiva entre os novos conhecimentos e os conhecimentos prévios. Tal sequência, contemplou uma previsão de trabalho amparado nas respostas dos alunos, a partir da identificação dos conhecimentos prévios demonstrados no desenvolvimento das atividades e da construção de conhecimentos ocorrida ao longo do processo de implementação do produto.

Assim, esta pesquisa possibilitou aos nossos alunos uma integração ao mundo contemporâneo para as perspectivas de cidadania, uma vez que a construção de conhecimentos, por meio de atividades coletivas, interativas, autônomas, colaborativas e integradoras, remete ao pensamento crítico e reflexivo sobre as concepções da ciência.

Sabemos que a teoria de estudo não é uma teoria de fácil entendimento, pois foge um pouco do nosso senso comum, demandando de domínio de um bom aparato matemático da física teórica, mas procuramos lançar a ideia mais exata possível dos conceitos relativísticos, de modo a familiarizar nossos estudantes, fazendo um contraponto da Mecânica Clássica com a Mecânica Contemporânea.

Seguindo as palavras de Einstein, no prefácio de seu livro (1999, p. 7), procuramos em nosso planejamento conduzir nossos alunos a “horas de estímulo intelectual”, e não fazendo como “aquele caminhante que, de tantas árvores, não conseguiu enxergar a floresta.”

Ainda, com a metodologia aplicada cursamos para a verificação diária da avaliação qualitativa sobre a quantitativa, oportunizando aos alunos atividades diversificadas como: discussões e debates coletivos (interacionismo social de Vygotsky), elaboração de mapa conceitual (relevância dos Mapas de NovaK), resolução de situações-problema, experiências de pensamento como Einstein fazia, jogos, leituras e ilustrações.

Pelas manifestações dos estudantes constatamos a importância das aulas diferenciadas e da presença do professor mediador, bem como da utilização de materiais de ensino que possam ser potencialmente significativos, como o Guia Ilustrado. Foi observado, as relações que eles estabeleceram com outros importantes conceitos como a questão da desmistificação da genialidade, por isso, a pertinência do respaldo científico da História e Filosofia da Ciência – HFC, que favorece a compreensão da construção da ciência humana ao longo do tempo. As reflexões contrapostas sobre os conceitos de espaço e tempo newtoniano e *espaço-tempo* einsteiniano. A ideia de tempo, a sua relatividade e dilatação e a averiguação da inexistência de eventos simultâneos. Com as experiências de pensamento discutidas em grande grupo facilitando a captação e internalização de significados, onde segundo Moreira (2016, p. 138), “o significado é sempre atribuído pelas pessoas, negociado e compartilhado pelas pessoas”.

Quero salientar que o desenvolvimento deste trabalho provocou minha percepção quanto às minhas práticas de ensino, que deveriam ser repensadas no contexto de sala de aula. Essa percepção veio à tona durante o planejamento de atividades diferenciadas forjadas pela apropriação de embasamento teórico, no caso da Aprendizagem Significativa, que direcionou todo o meu trabalho. Observei com esse estudo o quanto minha prática docente era centrada na narrativa, onde eu acreditava que os alunos quietos ouvindo meu “monólogo” estavam aprendendo, mas nos resultados avaliativos demonstravam que estavam eram fadados a uma aprendizagem mecânica, bancária. Também nesses dois anos de mestrado tive a oportunidade de aprofundar meus conhecimentos relacionados ao estudo da Física,

tanto que foi no curso de Física Contemporânea que descobri o tema para desenvolver meu produto educacional. Assim desenvolvi o Guia Ilustrado, aprimorando uma vertente que não dominava - a ilustração, onde comecei usando o lápis até sentir a necessidade de utilizar instrumentos tecnológicos como a mesa digitalizadora, que eu não conhecia.

Destaco minha intenção em publicar o Guia Ilustrado complementando os conceitos da TRR que não estão contemplados nessa edição e inserir a discussão da relatividade geral para que outras pessoas possam compartilhar a teoria einsteiniana. E, ainda, tendo constatado a relevância da exploração do estudo da Física Moderna, pretendo continuar aprofundando meus conhecimentos, com a finalidade de desenvolver, na mesma linha do guia ilustrado, outros temas como os fenômenos da Física Quântica.

Com certeza, apesar de me dispor ao desafio de estudar a teoria relativística, tive a satisfação de contar com o interesse dos meus alunos sobre o tema. Tanto que já propus a inserção do mesmo no programa curricular da minha escola para ano seguinte.

Este estudo, além de modificar minha forma de pensar o ensino e a aprendizagem, despertou em mim a vontade de disseminar o que vivenciei para meus colegas professores, como as teorias de aprendizagem, as estratégias de ensino, as ferramentas tecnológicas, uma vez que acredito que o contexto educacional não está apenas dentro da minha sala de aula, mas também na sala de aula dos meus colegas.

Por fim, pensamos ter contribuído de forma efetiva no processo da educação básica, através da introdução da Física Moderna, possibilitando aos alunos a compreensão dos tópicos da Teoria da Relatividade Restrita. Além de disponibilizarmos um material de fácil acesso que possa servir de apoio aos professores e demais pessoas que se interessam por esse tema de estudo.

REFERÊNCIAS

- ALVES, R. A. **Estórias de quem gosta de ensinar**. 8. ed. São Paulo: Cortez Editora, 1986.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. *Educational Psychology: a cognitive view*. 2nd. ed. New York, Holt Rinehart and Winston, 1978.
- BACHELARD, G. **A filosofia do não; O novo espírito científico; A poética do espaço**. São Paulo: Abril Cultural, 1978.
- BAKER, J. **50 ideias de Física Quântica que você precisa conhecer**. 1. ed. São Paulo: Editora Planeta do Brasil Ltda, 2015.
- BECHARA, E. **Dicionário Escolar da Academia Brasileira de Letras: Língua Portuguesa**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2011. 1312p.: 21 cm.
- BEISER, A. **Conceitos de Física Moderna**. São Paulo: Polígono e Editora da Universidade de São Paulo, 1969. 460 p.
- BELTRAN, M. H. R. SAITO, F. TRINDADE, L. S. P. **História da ciência para formação de professores**. 1. Ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.
- BEN-DOV, Y. **Convite à Física**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 1996.
- BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Brasília: MEC/Semtec, 1999.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM)**. Brasília: MEC, Secretaria de Educação Básica, 2000.
- BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio**. Brasília: MEC, Secretaria de Educação Básica, 2002.
- CAPELARI, D. **Uma sequência didática para ensinar Relatividade Restrita no Ensino Médio com uso de TIC**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física – Polo Campo Mourão, 2016.
- CARUSO, F. OGURI, V. **Física Moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- EINSTEIN, A. **A Teoria da relatividade Especial e Geral**. Tradução do Original Alemão Carlos Almeida Pereira. 1. ed. Rio de Janeiro: Contraponto, 1999. 136 p.
- EINSTEIN, A. **A Teoria da Relatividade Especial e Geral**. Tradução de Carlos Almeida Pereira. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Contraponto, 1999. 136 p.

FEYNMAN, R. P. **Física em 12 Lições: fáceis e não tão fáceis**. 2. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2017.

FEYNMAN, R. P. **Lições de Física de Feynman**. Vol I. Edição definitiva, - Porto Alegre: Bookman, 2008.

FORTUNA, T. R. **A Formação Lúdica Docente na Universidade**. Contribuições da Ludobiografia e da Hermenêutica Filosófica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

FREIRE, P. **Pedagogia da Autonomia: saberes necessários à prática educativa**. Coleção Leitura. 39. Ed. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

GASPAR, A. **Compreendendo a Física**. Vol 3. 3. ed. São Paulo: Ática, 2016.

GEF – UFSM. **Fluidos Reais & Ideais**. Cadernos de Física. Grupo de Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Maria, 2010.

GEF – UFSM. **Física Moderna**. Cadernos de Física. Grupo de Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Maria, 2010.

GLEISER, M. **A Dança do Universo: dos mitos de criação ao Big Bang**. 2. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 1997.

GOLDSMITH, M. **Albert Einstein e seu universo inflável**. Coleção Mortos de Fama. 10. Reimpressão. São Paulo: Companhia da Letras, 2008. 192 p.;

HALLIDAY, D. RESNICK, R. WALKER, J. **Fundamentos de Física**. Volume 4: Óptica e Física Moderna. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

HAMBURGER, E. W. **O que é Física**. Coleção Primeiros Passos. São Paulo: Editora Brasiliense S.A., 1984.

HAWKING, S. **O universo numa casca de noz**. Tradução Cássio de Arantes Leite. 1. ed. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2016.

LAKATOS, I. **História da ciência e suas reconstruções racionais**. Lisboa: Edições 70, 1998.

LANDAU, L. RUMER, Y. **O que é a Teoria da Relatividade**. São Paulo: Hemus Editora Ltda.

LESCHE, B. **Teoria da Relatividade**. 1. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005.

MATSUURA, O. T. **Teoria da Relatividade**. Super Interessante - Coleção para saber mais. São Paulo: Editora Abril, 2003

MENEZES, L. C.... [et al.]. **Coleção Quanta: Física 3ª série Ensino Médio**. 2. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

MORAIS, A. M. A. **Gravitação e Cosmologia: uma introdução**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2009.

MOREIRA, M. A. **A teoria da aprendizagem significativa de Ausubel**. Monografia nº 10 da Série Enfoques Teóricos. Porto Alegre. Instituto de Física da UFRGS.1995.

MOREIRA, M. A. **A teoria da mediação de Vygotsky**. Monografia nº 7 da Série Enfoques Teóricos – Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 1995.

MOREIRA, M. A. **A teoria de educação de Novak e o modelo de ensino-aprendizagem de Gowin**. Monografia nº 11 da Série Enfoques Teóricos. Porto Alegre. Instituto de Física da UFRGS,1995.

MOREIRA, M. A. **Ensino e Aprendizagem Significativa**. 39. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2017.

MOREIRA, M. A. MASSONI, N. T. **Noções básicas de Epistemologias e Teorias de Aprendizagem como subsídios para a organização de Sequências de Ensino-Aprendizagem em Ciências/Física**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

MOREIRA, M. A. **Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa**. 1997. Disponível em:<<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf>>. Acesso em: 28/10/2018.

MOREIRA, M. A. **Subsídios teóricos para o professor pesquisador em ensino de ciências: a Teoria da Aprendizagem Significativa**. 1. e 2. ed. revisada. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 2009, 2016.

MOSQUERA, J. J. M....[et al.]. **Psicologia Social do Ensino**. Porto Alegre: Sulina,1973.

NITTA, H.... [et al.]. **Guia Mangá Relatividade**. São Paulo: Novatec, 2011.

NUSSENVEIG, H. M. **Curso de Física Básica**. Vol 4: Ótica, Relatividade e Física Quântica. 1. ed. São Paulo: Blucher, 1998.

OLIVEIRA, Maria Marly. **Sequência didática interativa no processo de formação de professores**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2013.

PATY, M. **A Física do Século XX**. Aparecida, SP: Ideias & Letras, 2009.

PETTERSEN, J. A. M. **A Arte como elemento facilitador na Aprendizagem da Relatividade**. Dissertação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. Sociedade Brasileira de Física. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense. Rio de Janeiro, 2017.

PIETROCOLA, M....[et al.]. **Física em contextos, 3: ensino médio**. 1. ed. São Paulo: Editora do Brasil,2016.

POLITO, A. M. M. **A construção da estrutura conceitual da Física Clássica.** Série Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física; vol. 2. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

ROCHA, J. F. M. **Origens e Evolução das Ideias da Física.** 2. ed. Salvador: EDUFBA, 2015. 374 p.; il.

ROVELLI, C. **A realidade não é o que parece: a estrutura elementar das coisas.** Tradução Silvana Cobuci Leite. 1. ed. Editora Objetiva, 2017. Lelivros. Pdf.

SADOVSKY, P. **O Ensino de Matemática Hoje. Enfoques, Sentidos e Desafios.** 1. ed. São Paulo: Ática, 2010. 111 p.

SAGAN, C. **Cosmos.** 1. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2017.

SAMPAIO, J. L. CALÇADA, C. S. **Universo da Física 3.** 1. ed. São Paulo: Atual Editora, 2001.

SANTOS, A. B. **A Teoria da Relatividade Restrita em uma sequência de ensino potencialmente significativa com o uso de histórias em quadrinhos.** Dissertação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. Sociedade Brasileira de Física. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS/CLN. Tramandaí, 2019.

SASSERON, L. H...[et al.]. **Ensino de Física.** Coleção Ideias em Ação. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

SCHIRMER, B. S. SAUERWEIN, I. P. S. **Recursos Didáticos e História e Filosofia da Ciência em sala de aula: uma análise em periódicos de ensino nacionais.** Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências. Vol. 14, Nº 3, 2014. Pdf.

SCHLICK, M. **Espaço e Tempo na Física Contemporânea – Uma Introdução à Teoria da Relatividade e da Gravitação.** São Paulo: Mundaréu, 2016.

SERWAY, R. A. JEWETT, JR., J. W. **Princípios de Física: Mecânica Clássica e Relatividade.** Vol I. 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

TAVARES, R. **Aprendizagem significativa, codificação dual e objetos de aprendizagem.** Revista Brasileira de Informática na Educação. Vol 18, Número 2, 2010.

TIPLER, P. A. MOSCA, G. **Física para Cientistas e Engenheiros.** Vol 3: Física Moderna: Mecânica Quântica, Relatividade e a Estrutura da Matéria. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

TORRES, C. M. A...[et al.]. **Física: ciência e tecnologia.** 4. ed. São Paulo: Moderna, 2016.

VIEIRA, C. L. **Einstein o Reformulador do Universo.** Série Imortais da Ciência. São Paulo: Odysseus Editora, 2003.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores**. 7. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e Linguagem**. 3. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1991.

WESENDONK, F. S. TERRAZZAN, E. A. **Caracterização dos focos de estudo da produção acadêmico-científica brasileira sobre experimentação no Ensino de Física**. 2016. Pdf. Disponível em: DOI: <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n3p779>. Acesso em: 31 de março de 2019.

WILGES, Angela Maria. **A Matemática e a Teoria Quântica – Um mundo de possibilidades para as Engenharias**. 1. ed. Campinas: JKCS Editora, 2013.

WOLFF, J. F. S. **O Ensino da Teoria da Relatividade Especial no Nível Médio: Uma Abordagem Histórica e Conceitual**. Porto Alegre, 2017. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/7235/000497145.pdf?sequence=1>

Acessado em: 05/06/2018.

YOUNG, H. D. FREEDMAN, R. A. **Física IV: Ótica e Física Moderna**. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2009.

ZABALA, Antoni. **A prática educativa: como ensinar**. Porto Alegre: Artmed, 1998.

APÊNDICES

Apêndice A – Produto Educacional.....	159
Apêndice B – Termo Autorização de Uso de Imagem.....	252
Apêndice C – Outros Registros de Atividades e Fotografias.....	255

APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



PRODUTO EDUCACIONAL

**UM GUIA ILUSTRADO, COMO MATERIAL POTENCIALMENTE
SIGNIFICATIVO, PARA ENSINAR A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA**

Milena Teixeira da Rosa

Prof. Dr. Márcio Gabriel dos Santos
Orientador

Prof^a. Dr^a. Neila Seliane Pereira Witt
Coorientadora

Tramandaí
Janeiro 2020

UM GUIA ILUSTRADO, COMO MATERIAL POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVO, PARA ENSINAR A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA⁹

Prof.^a Milena Teixeira da Rosa¹⁰

Prof. Dr. Marcio Gabriel dos Santos¹¹

Prof.^a Dra. Neila Seliane Pereira Witt¹²

1 INTRODUÇÃO

A busca pela compreensão da existência, bem como, questionamentos inerentes aos mistérios da vida e do surgimento do Universo, conduzem a espécie na trajetória da sua evolução através do tempo. Para acompanhar e entender o presente, deve-se reconhecer as evoluções também no modo de pensar e fazer ciência.

Com essa concepção em mente, há a vontade de apontar aos estudantes caminhos de novas ideias, sem ignorar o pensamento de outrora, como no estudo da Física Moderna, iniciando com a introdução da Teoria da Relatividade Restrita, no contexto curricular do Ensino Médio.

Assim, o presente trabalho propõe a implementação de uma Sequência Didática para ensinar um tópico da Física Contemporânea, a Teoria da Relatividade Restrita – TRR (Einstein), fazendo uso de um *Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita*. Justifica-se tal escolha na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel (1918-2008), que sugere “uma visão cognitiva, não behaviorista, à aprendizagem e ao ensino”. (MOREIRA, 2017, p. 9)

A potencialização dos conceitos relativísticos, através de uma Sequência de Ensino e do Guia Ilustrado, propõe aos alunos para uma interação cognitiva entre novos conhecimentos e conhecimentos prévios, fazendo um contraponto entre a Mecânica Clássica e a Contemporânea, contextualizando a evolução da ciência com os fatos históricos em que a teoria foi postulada.

⁹ Desenvolvido no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF – UFRGS/CLN.

¹⁰ Professora Licenciada em Física pela UFSM, desempenhando atividades em escola da rede pública estadual, no município de Capão da Canoa/RS.

¹¹ Professor da UFRGS; Doutor em Física e Mestre em Matemática Aplicada pela UFRGS.

¹² Professora da UFRGS; Doutora e Mestre em Educação em Ciências pelo PPG Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde, UFRGS.

Considera-se importante justificar as motivações que levaram à escolha do tópico de Física. Observando as recomendações legais nas diretrizes apresentadas nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs), sobre a inserção do ensino da Física Moderna no Ensino Médio, pretende-se corroborar o ensino para o pensamento crítico, científico, tecnológico, histórico, filosófico e social, com perspectiva de mundo e compreensão do Universo.

Além disto, durante experiência de mais de seis anos como docente, verificou-se ausência de temas da Física Moderna no programa curricular do ensino de Física no Ensino Médio.

As premissas da Aprendizagem Significativa, conversam com o enfoque vygotskyano, uma vez que a aprendizagem significativa, por definição, envolve a aquisição/construção de significados e nas reflexões de Lev Vygotsky (2007), a interação social e a linguagem são fundamentais para a captação de significados, onde a aquisição de significados e o interacionismo social são inseparáveis na ótica do autor, aproximando-se da realidade em vários aspectos na prática pedagógica nas salas de aula.

Ainda, faz-se uso de Mapas Conceituais a partir de Joseph Novak (1972), que contribui para a aprendizagem significativa ao promover a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa, uma vez que são processos relacionados que ocorrem à medida que a aprendizagem significativa acontece.

Metodologicamente, implementamos o referido produto educacional em duas turmas do Ensino Médio (2º e 3º ano). Porém, esta proposta pode ser aplicada em qualquer ano da referida modalidade escolar, por apresentar uma estratégia de ensino diferenciada para a TRR, a partir da inserção do Guia Ilustrado. Pretende facilitar aos estudantes conhecimentos prévios, contemplando uma previsão de trabalho amparado nas respostas dos alunos, a partir da identificação dos conhecimentos prévios demonstrados no desenvolvimento das atividades e construção de conhecimentos ocorridos ao longo do processo.

SUGESTÃO DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA ENSINAR A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA USANDO UM GUIA ILUSTRADO

Plano de Aula 1

Tempo de duração: 2 períodos de 45 min.

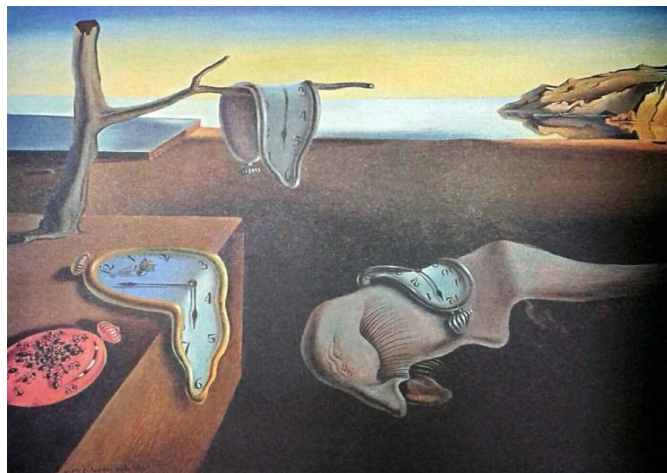
Objetivos da aula:

- Coletar os conhecimentos prévios dos alunos, através de aplicação de questionário individual, relacionando conceitos da Física Clássica com a Física Moderna.
- Introduzir a evolução da Teoria da Relatividade Restrita, enfocando a História e Filosofia da Ciência (HFC), usando o Guia Ilustrado.

1. Situação inicial da aula:

- No primeiro momento o professor fará a exposição de uma imagem (Figura 2), através de projeção no quadro, com a intenção de abordar o tema geral de estudo (Teoria da Relatividade Restrita).

Figura 2 - “A Persistência da Memória”, obra de Salvador Dalí datada de 1931



Fonte: imagem captura pela autora.

Extraída do livro Compreendendo a Física de Alberto Gaspar, 2017.

A arte e ciência são manifestações da nossa cultura com inúmeros elementos comuns.

Música, pintura, fotografia, arquitetura são, frequentemente, ao mesmo tempo, arte e ciência a serviço da criatividade humana. Essa interação não se limita à parceria concreta de técnicas e materiais; ela

está presente também na inspiração do artista e, quem sabe, do cientista. Esta obra, *A persistência da memória*, de 1931, do pintor surrealista espanhol Salvador Dalí, certamente expressa o grande impacto da nova concepção de tempo trazida pela teoria da **relatividade restrita**. O tempo, imutável e absoluto durante séculos, torna-se repentinamente algo tão frágil como um relógio derretido... (GASPAR, 2017, p. 210)

- Em seguida, o professor distribuirá um questionário impresso para cada aluno, sendo que os mesmos terão um tempo para responder. Após, será efetuado o recolhimento do questionário.

2. Proposta de situação introdutória:

- O professor convida os alunos para realizar a atividade, para novamente introduzir o tema gerador desta proposta. Para tal, primeiramente pedirá aos alunos que manifestem oralmente palavras referentes aos temas que foram abordados no questionário, anotando-as no quadro.
- Em seguida, distribuição do livro Guia Ilustrado para cada aluno, propondo a leitura das primeiras páginas (Figura 3), que tratam sobre a evolução da teoria relativística (ROSA, 2018, p. 7 até p. 14)¹³, evidenciando a História e Filosofia da ciência (HFC).
- Observando que os alunos devem colocar seu nome no guia no local indicado.

¹³ A numeração de páginas referida, é a numeração constante no Guia Ilustrado que está disposto no endereço eletrônico acessado através do Blog da Professora Mila (<http://milamestrejedi.blogspot.com/>).

Figura 3 – Evolução da Teoria



Fonte: da própria autora.

Extraída do Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita (ROSA, 2018).

- Após a leitura, será proposta uma discussão oral e coletiva, mediando o debate e solicitando que os alunos apontem (grifem), no texto lido, as palavras que foram sugeridas e anotadas no quadro referente ao questionário.

3. Situação final da aula:

- Proposição de atividade extraclasse, que consiste em assistir um dos documentários constantes no Guia Ilustrado (ROSA, 2018, p. 17), para conversação coletiva na próxima aula (Figura 4). Para isso, a turma deverá ser dividida em 3 grandes grupos, onde cada grupo ficará responsável por um tema (Galileu Galilei, Isaac Newton e Albert Einstein).

- O Guia Ilustrado está disponível na versão digital (PDF) no Blog da Professora Mila, no endereço eletrônico: <https://milamestrejedi.blogspot.com/>.

Figura 4 – Sugestão para ampliação do estudo


17

Atividades:

Sugestão:

Nos links a seguir, você pode acessar documentários para aprofundamento de estudo:

1. Galileu Galilei (Canal Futura):
<https://www.youtube.com/watch?v=mLQ6ptlofGs>
2. Isaac Newton (Documentários Ciência)
<https://www.youtube.com/watch?v=JOfs6K4sFac&t=31s>
3. Albert Einstein (History.com):
<https://www.youtube.com/watch?v=UnSA27a00To>



Fonte: da própria autora.

Extraída do Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita (ROSA, 2018).

- Observações sobre a aula 1:

Tendo em mente que a teoria ausubeliana pressupõe a interação cognitiva entre novos conhecimentos e conhecimentos prévios especificamente relevantes (MOREIRA, 2017), na 1ª aula, o professor irá propor aos alunos o desenvolvimento individual de um questionário contendo 9 questões, sendo 8 delas com alternativas objetivas que deverão ser justificativas e 1 questão em que a resposta deve ser ilustrada.

A intenção, na situação inicial, é de conduzir os alunos a externalizar seus conhecimentos prévios, ou seja, demonstrarem o que eles já sabem sobre temas considerados importantes, para que a partir da identificação dos conceitos já existentes na sua estrutura cognitiva, o professor possa planejar as próximas aulas. (MOREIRA, 2009, 2016)

De acordo com o exposto acima, faz-se necessário apontar as situações que remetem aos conceitos científicos envolvidos neste tópico da Física, uma vez que, as questões foram elaboradas, considerando aspectos necessários para identificar nas percepções dos estudantes o que conhecem sobre a teoria relativística.

Sobre a questão 1:

Durante uma viagem de carro, uma criança observa que as árvores se movem, ficando para trás. Seu pai, que dirige o carro, diz que as árvores estão paradas e é o carro que avança. Qual dos dois tem razão?

Pretende-se verificar o conceito de movimento relativo dos corpos (referenciais) tratado na Cinemática.

Sobre a questão 2:

No nosso cotidiano é comum as expressões filme em 2D, 3D e até 6D, relacionado ao cinema. Nos próprios filmes de ficção científica é falado a respeito de viagem para outra dimensão. Mas, o que é dimensão para você? Quantas dimensões do espaço existem?

Verificação do conceito de espaço e tempo estudado na Mecânica Clássica.

Com relação a questão 3:

Certamente você já ouviu falar ou já leu algo sobre Albert Einstein. Escreva, com breves palavras, o que você sabe sobre ele e depois, marque a alternativa referente a contribuição científica dele.

Pretende-se averiguar o que os alunos sabem sobre o cientista Albert Einstein e sua contribuição para a ciência.

Questão 4:

No estudo das Leis de Newton, a primeira lei também é denominada Lei da Inércia. O que você entende por inércia, explique:
Se um corpo está se movendo, que tipo de movimento ele tende a ter, em razão de sua inércia?

Com relação a essa questão, conceitos da Primeira Lei de Newton são abordados.

Questão 5:

(PETTERSEN, 2017, p. 116 - 117) Diversos cientistas tentaram medir a velocidade da luz. Empédocles foi o primeiro a sugerir a medida e Galileu, por sua vez, foi o primeiro de fato a tentar medir a velocidade. O mais curioso é o fato de que todos os que obtiveram um valor para essa velocidade chegaram próximo a 300.000 km/s, como por exemplo o astrônomo dinamarquês Romer, o francês Fizeau e até Maxwell. O valor próximo da velocidade da luz, determinada por diferentes métodos, mostra que a:

- A) sua velocidade varia com o tempo.
- B) luz se comporta como partícula.
- C) sua velocidade depende do referencial.
- D) sua velocidade é uma constante universal.

Com essa questão, pretende-se averiguar o que os alunos sabem sobre o fenômeno da luz no sentido de relacionar à teoria relativística (velocidade e invariância da luz).

Questão 6:

(PETTERSEN, 2017, p. 115) A luz é uma forma de energia radiante, que pode se propagar em meio material e no vácuo. 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.

Na questão 6 são verificados conceitos relacionados à Astronomia.

Questão 7:

Suponha que seja possível lançar um astronauta para o espaço com uma velocidade próxima à da luz. Caso o astronauta permaneça um ano viajando com a mesma velocidade, ao retornar para a Terra, um referencial parado, o intervalo de tempo medido seria de sete anos. Assim, poderíamos afirmar que esse astronauta é um viajante do tempo. É possível viajar no tempo?

Objetiva-se mapear a ideia dos alunos com relação à viagem no tempo (relacionando com uma das consequências dos postulados – a dilatação temporal).

Questão 8:

(LESCHE, 2005, p. 9) Registre sua opinião sobre a seguinte frase: “relógios em movimento andam mais devagar” é bobagem!

Com essa frase tenciona-se verificar a ideia de dilatação temporal.

Questão 9:

O “tempo” é um tema muito abordado pelos compositores e artistas, sempre com a ideia de tentar retratar o significado do tempo. Várias são as canções que falam sobre o tempo, como por exemplo a música “Tempo Perdido”, da famosa Banda de Rock, que fez sucesso nos anos 80 e 90 - Legião Urbana, liderada pelo vocalista Renato Russo.

“Todos os dias quando acordo / Não tenho mais o tempo que passou / Mas tenho muito tempo / Temos todo o tempo do mundo / Todos os dias antes de dormir / Lembro e esqueço como foi o dia / Sempre em frente / Não temos tempo a perder /...”

- No diagrama abaixo, faça uma ilustração identificando o que é o tempo para você!

A situação problemática nessa questão tenciona a ideia de tempo através da linguagem ilustrativa.

Na segunda parte da aula, além da averiguação dos conhecimentos prévios, o professor fará uma abordagem introdutória da matéria de ensino utilizando o Guia Ilustrado. Esta abordagem refere-se à evolução histórica e filosófica da ciência, desde a ideia de movimento de Aristóteles, passando pela relatividade de Galileu, a

mecânica de Newton até as contribuições de Einstein, contextualizando a trajetória da ascensão científica da humanidade, onde podemos constatar que a evolução da ciência é uma construção legada por vários cientistas.

Plano de Aula 2

Tempo de duração: 2 períodos de 45 min.

Objetivos da aula:

- Atividade coletiva para troca de ideias, informações e questionamentos referentes aos temas abordados na aula anterior, através do questionário aplicado e dos documentários sugeridos como atividade extraclasse.
- Introduzir o tema “postulados da teoria relativística”, a partir do Guia Ilustrado.

1. Situação inicial da aula:

- (Organização da sala de aula, dispondo as cadeiras em um grande círculo).
- Inicialmente o professor convida os alunos a participar de uma “Roda de Conversa”, para discussão das questões problematizadoras constantes no questionário aplicado na aula anterior e também conversação sobre os documentários sugeridos como atividade extraclasse. Com essa atividade pretende-se não somente discutir em grupos os conhecimentos prévios dos alunos, mas também mediar uma relação entre os conhecimentos prévios e os novos conhecimentos.
- As questões serão projetadas no quadro.

2. Proposta de situação introdutória:

- “Pegando o gancho” do debate na “Roda de Conversa”, o professor convidará os alunos para assistirem um trecho (1 minuto e 50 segundos), do documentário sobre Einstein com o propósito de promover a intencionalidade nos alunos de quererem aprender.

OBS.: O trecho do vídeo mencionado faz parte do documentário sobre Albert Einstein do canal History.com:

<https://drive.google.com/open?id=1LKMBqxxRAHGnun3V0-0CbIDadLdMUoIN>

- Usando o Guia Ilustrado como organizador prévio, será estudado o texto denominado “Os Postulados de Einstein” (ROSA, 2018, p. 19 até p. 24), Figura 5:

Figura 5 – Os Postulados de Einstein

19

Os Postulados de Einstein

Entendendo os postulados:

⇒ A Teoria da Relatividade Restrita está atrelada a dois postulados:

1º - As leis físicas devem ser as mesmas em qualquer referencial inercial;
 2º - A velocidade da luz no vácuo deve ser sempre a mesma em qualquer sistema de referência inercial.

Para exemplificar o 1º postulado da teoria, também denominado princípio da relatividade, descreveremos uma situação em que uma pessoa está dentro de um trem. Vamos chamá-lo de Robert.

- Robert está dentro de um trem, que se desloca com velocidade constante. Ele observa apenas o movimento de uma bola, que uma criança arremessa para outra, ou seja, Robert não tem acesso a nada que seja externo ao trem. Nesse sistema, Robert não poderá determinar o módulo da velocidade do trem, tampouco se ele está se movendo. Isso resulta de que as leis da mecânica serem as mesmas em qualquer sistema de referência inercial.

Fonte: da própria autora.


Extraída do Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita (ROSA, 2018).

3. Situação final da aula:

- Para finalizar a unidade de aula, proposta de atividade no Guia Ilustrado, (ROSA, 2018, p. 25), Figura 6:

Figura 6 – “Vamos pensar um pouco!!!”

25



1. Qual grandeza tem o mesmo valor quando medida por dois observadores, qualquer que seja a velocidade relativa uniforme entre eles?

2. A Mecânica Newtoniana poderia ser comprovada no interior de um vagão de um trem que se encontra em movimento retilíneo uniforme (MRU)? Justifique:

3. Imagine que você está num trem com velocidade constante, em movimento retilíneo uniforme, e com as janelas fechadas.

Pergunta que não quer calar!!!

- Seu celular toca e um amigo pergunta para você: - o trem está parado ou em movimento?

Fonte: da própria autora.

Extraída do Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita (ROSA, 2018).

- Observações sobre a aula 2:

Iniciando a segunda aula, o professor mediará uma atividade coletiva visando retomar as questões problematizadoras do questionário aplicado, considerando que situações-problemas podem funcionar como organizadores prévios. Essa atividade consiste em debate para troca de ideias, informações e possíveis questionamentos sobre os temas tratados na aula anterior e dos documentários sugeridos como atividade extraclasse.

Essa proposta de atividade coletiva está de acordo com os pressupostos da teoria vygotskyana de que a interação social e a linguagem são essenciais para a

captação de significados, que deve ser anterior e uma condição para a aprendizagem significativa. (MOREIRA, 2012)

Neste ponto, deseja-se fazer a interação entre os conhecimentos prévios para aprofundamento de estudo usando organizadores prévios, estratégias e material potencialmente significativo, através da introdução do tema “Os Postulados de Einstein”, iniciando com a observação de um recorte de documentário, com a finalidade de motivar os alunos para o estudo que será continuado usando o Guia Ilustrado.

É importante salientar que desde a primeira aula se considera a avaliação formativa, ou seja, avalia-se o progresso do aluno ao longo de todas as aulas, numa avaliação contínua.

Plano de Aula 3

Tempo de duração: 2 períodos de 45 min.

Objetivos da aula:

- Elaborar um Mapa Conceitual sobre o tema “Os Postulados de Einstein”.
- Introduzir as consequências dos postulados da teoria relativística.
- Reconhecer a impossibilidade da simultaneidade, através de proposta de situação-problema (experiência de pensamento).

1. Situação inicial da aula:

- O professor fará uma breve exposição dialogada, com a finalidade de retomar o tema da aula anterior – “Os Postulados de Einstein”, e, também como motivação para a próxima atividade.
- Usando uma atividade contida no Guia Ilustrado, o professor solicitará aos alunos a construção de um Mapa Conceitual sobre os postulados estudados.
- O modelo de elaboração do mapa será explicado a partir da atividade proposta no Guia (ROSA, 2018, p. 18), Figura 7. A partir desse modelo, os alunos deverão elaborar o seu mapa, individualmente, em uma folha branca.

PROPOSTA DE ATIVIDADE (Material impresso)

Nome da dupla:.....

Data:

Turma:.....

1. Convide um colega para discutir o experimento abaixo, e, após, elaborem um relato sobre a experiência (resultado, impressão, conclusão):

“Ao mesmo tempo?

Voltemos ao vagão de trem. Só que desta vez ele terá as paredes laterais de vidro, para que tudo o que ocorra em seu interior possa ser visto por um amigo seu que está agora na plataforma. O vagão também terá, em cada uma das extremidades, uma daquelas canetinhas a laser – que as pessoas maldosamente costumam apontar para o rosto dos artistas durante os shows. Elas estão sincronizadas – isto é, quando uma dispara, a outra dispara também – e apontadas exatamente para o centro do vagão, onde terá uma bomba (totalmente inofensiva).

Inicialmente, com o vagão parado, as canetinhas disparam pulsos de luz. Você, que está lá ao lado da bomba, vê os pulsos partindo no mesmo instante e chegando juntos à bomba, que explode. Seu amigo, na plataforma, observando atentamente, relata que viu exatamente a mesma coisa. Sem novidade, você diria.

Mas, agora, vamos fazer o vagão dar marcha à ré e voltar a se movimentar para a frente, com velocidade constante, porém muito, muito alta, próxima à da luz. Seu amigo o vê mover-se, digamos, da esquerda (dele) para a direita. Quando o vagão passa pelo o meio da plataforma, onde está seu amigo, novamente as canetinhas a laser disparam flashes de luz. Você novamente os percebe chegando à bomba no mesmo instante, com a conseqüente explosão. Mas aí algo muito, muito estranho acontece.

Seu amigo, meio embasbacado, relata o seguinte: “Vi a bomba explodindo, mas, mas... a canetinha do fundo, a que estava à minha esquerda, emitiu luz antes daquela posicionada na frente do vagão”. Você pergunta ao seu amigo se ele está passando bem, se havia bebido algo antes de fazer a experiência. Ele nega e diz que tem absoluta certeza do que observou. E ele está certo.

O que foi simultâneo para você (a emissão dos pulsos de luz), não foi simultâneo para seu amigo na plataforma. O que pode ter acontecido? ”

(Texto extraído do livro “Einstein - O Reformulador do Universo”, de Cássio Leite Vieira, 2003, p. 87 e 89)

3. Situação final da aula:

- Após a realização da atividade o professor pedirá para que alguns alunos (que desejarem) façam a leitura do seu relatório para promoção de uma breve discussão coletiva.
- Os relatórios devem ser entregues para o professor fazer uma avaliação qualitativa.
- Para finalizar a aula, o professor indicará, como atividade extraclasse, a leitura do texto contido no Guia Ilustrado (Figura 8), bem como as atividades propostas sobre o tema da aula (ROSA, 2018, p. 26 até p. 32).

Figura 8 – Atividade no Guia Ilustrado 1

26

As consequências dos postulados de Einstein

A base da teoria especial da relatividade está nos seus dois postulados que diz que a velocidade da luz tem o mesmo valor para todos os observadores, independente do estado de movimento deles e estabelece que as leis físicas são expressas pelas mesmas equações em todos os referenciais inerciais, por esse motivo é chamada relatividade especial ou restrita, porque só se aplica a corpos que se movem em velocidade constante (MATSUURA, 2003), portanto, toda a construção lógica da teoria dá-se em torno da combinação desses dois postulados.

**Pensando um pouquinho...
Esta é para você!**

- Você já deve ter ouvido a seguinte frase: "Tudo é relativo, como diria Einstein! "

Mas, se traduzíssemos os dois postulados da teoria relativística para a vida cotidiana, como seria exatamente essa frase? Justifique sua resposta.
(PIETROCOLA, 2016)

As consequências dos postulados têm grande importância no estudo do tempo e espaço.

Fonte: da própria autora.

Extraída do Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita (ROSA, 2018).

- Observações sobre a aula 3:

Iniciando a aula com retomada oral dos aspectos mais gerais e estruturantes do conteúdo de ensino, para em seguida elaboração de um mapa conceitual, sendo que primeiramente, os alunos deverão efetuar, com o auxílio do professor, a atividade constante no Guia Ilustrado, como forma de identificarem a construção de um mapa conceitual. A seguir, deverão fazer individualmente o seu mapa sobre os postulados estudados.

Após isso, serão introduzidas as consequências dos postulados da teoria relativística, iniciando pelo reconhecimento da impossibilidade da simultaneidade. Para isso, propõe-se uma experiência de pensamento (atividade em duplas).

Plano de Aula 4

Tempo de duração: 2 períodos de 45 min.

Objetivos da aula:

- Introduzir outra consequência dos postulados de Einstein: a dilatação temporal, através de análise de situação-problema contendo ideias e conceitos com níveis de complexidade progressivo.
- Utilizar o Guia Ilustrado como organizador prévio para resolução de situação-problema.

1. Situação inicial da aula:

- Retomando a aula anterior o professor fará a devolução dos mapas conceituais elaborados, com os devidos apontamentos.
- O professor solicitará aos alunos que façam uma segunda versão do seu mapa. As dúvidas com relação ao tema de estudo serão sanadas nesse momento.
- Revisão das atividades que foram propostas como atividade extraclasse na aula anterior.
- Abordagem do tema da aula sobre dilatação temporal através de questionamentos para discussão coletiva (atividade projetada no quadro):

Questão 1: (SAMPAIO, CALÇADA, 2005)

- “Em 1977 foi realizado um experimento com dois relógios atômicos de grande precisão. Um deles foi colocado em um avião e o outro foi mantido no solo. Depois que o avião se moveu durante algum tempo a uma grande velocidade, os dois relógios foram comparados e observou-se que o avião estava atrasado em relação ao do solo. Por quê?”

- Com a Questão 1, pretende-se levar os alunos a discutirem o fenômeno da dilatação temporal.

Questão 2: (VIEIRA, 2003, p. 90 e 91)

- Vamos retomar o trem e a mesma plataforma trabalhados na experiência mental realizada anteriormente.

“Agora a canetinha a laser estará no chão, apontando para o teto, onde se encontra um espelho. O trem começa a se movimentar com velocidade uniforme. Quando passa diante do seu amigo na plataforma – que mais uma vez vê o vagão indo da esquerda (dele) para a direita -, um pulso de luz é lançado. Ele bate no teto e volta. Com a ajuda de um cronômetro muito preciso, você marca o tempo que a luz levou para sair da canetinha, bater no espelho e voltar ao chão. Seu amigo fará a mesma medição, com um cronômetro igual, da plataforma.

Quando a experiência termina você vai conferir seu cronômetro com o dele. Para surpresa de ambos, os tempos medidos são diferentes. [...] Como isso pode ter acontecido?” Qual cronômetro marca um tempo maior?

(OBS.: Não esqueçam que precisamos exagerar nas dimensões e velocidade do trem).

- Com a Questão 2, pretende-se conduzir os alunos para a investigação e formulação de hipóteses a partir da discussão coletiva.
- Depois o professor solicitará que os alunos façam uma ilustração da experiência.
- Após, deverão fazer o apontamento da ideia obtida a partir da investigação e hipóteses formuladas.
- Na sequência, o professor solicitará aos alunos que indiquem as grandezas envolvidas nessa experiência (altura do vagão, velocidade do trem, velocidade da luz, tempos marcados nos cronômetros).

Questão 3: (MENEZES, 2013, p. 229)

- “Um passageiro *A* se encontra dentro de um trem em movimento e mede seu relógio um intervalo de tempo de *12 min* entre dois eventos quaisquer ocorridos dentro do vagão. Supondo que a velocidade do vagão seja $v = 0,8 c$ (80% da velocidade da luz no vácuo), quanto tempo o relógio de um observador *O*, fora do vagão, parado ao lado da linha, registraria entre esses mesmos dois eventos?

- Na Questão 3, há a exposição de dados matemáticos.
- O professor solicitará que os alunos ilustrem a situação-problema e anotem as grandezas envolvidas com seus respectivos valores. E de acordo com suas percepções façam um relato justificado de uma possível conclusão.

2. Proposta de situação introdutória:

- Será indicado aos alunos a leitura do texto no Guia Ilustrado (Figura 9) que trata sobre a dilatação temporal (ROSA, 2018, p. 33 até p. 41).
- A partir dessa leitura, com informações mais aprofundadas, os alunos poderão verificar matematicamente o resultado para a Questão 3 e comparar com sua conclusão feita anteriormente.

Figura 9 – Atividade no Guia Ilustrado 2



Fonte: da própria autora.

Extraída do Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita (ROSA, 2018).

3. Situação final da aula:

- Conversação sobre o tema abordado, troca de ideias e momento para tirar as dúvidas.

- Observações sobre a aula 4:

Os temas específicos da matéria serão trabalhados de forma construtiva e progressiva, com situações-problema propostos em níveis crescentes de complexidade (Vergnaud), de modo que sempre seja levado em consideração a relação entre os novos conhecimentos e os conhecimentos prévios.

Propõem-se nessa aula uma atividade contendo três situações-problema envolvendo o tema dilatação temporal. Nessa proposta a atividade é colaborativa levando os alunos a interagirem socialmente, negociando significados, com o professor como mediador. (MOREIRA, MASSONI, 2016)

Uso do Guia Ilustrado como organizador prévio para auxiliar na resolução da atividade proposta.

Plano de Aula 5

Tempo de duração: 2 períodos de 45 min.

Objetivos da aula:

- Compreender e resolver situação-problema envolvendo o tema contração do comprimento.
- Saber que a massa de um objeto pode ser interpretada como uma energia de repouso.
- Conhecer as relações entre energia total e energia de repouso e reconhecer a célebre equação para energia relativística $E = m.c^2$.

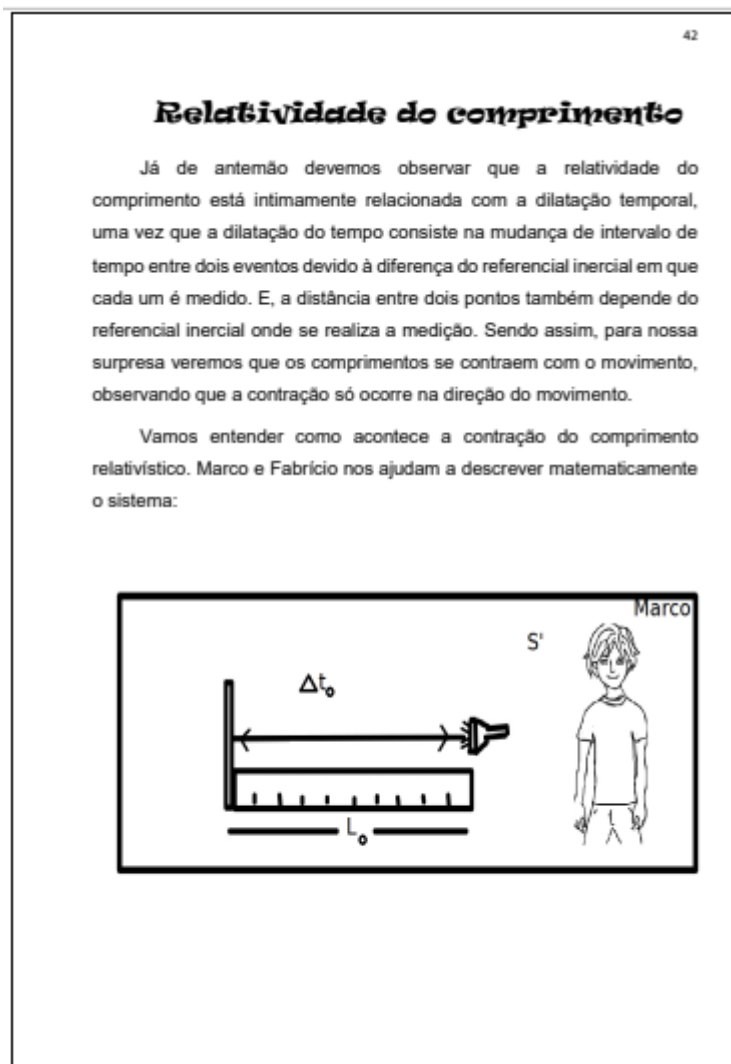
1. Situação inicial da aula:

- Retomada oral sobre aula anterior, oportunizando aos alunos um momento para comentários e questionamentos com a finalidade de sanar possíveis dúvidas sobre os temas já estudados.

2. Proposta de situação introdutória:

- Na primeira parte da aula, será introduzido o tema contração do comprimento através de leitura e realização de atividade proposta no Guia Ilustrado (ROSA, 2018, p. 42 até p. 45), Figura 10:

Figura 10 – Relatividade do comprimento



Fonte: da própria autora.

Extraída do Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita (ROSA, 2018).

- Na segunda parte da aula, abordagem do tema energia relativística através da leitura de texto no Guia Ilustrado (ROSA, 2018, p. 47 até p. 51), Figura 11:

Figura 11 – Energia Relativística

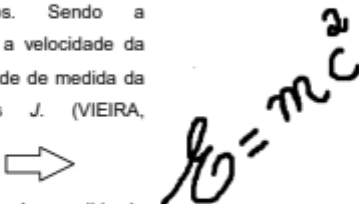
47

Energia Relativística

Não somente a dilatação do tempo e a relatividade do comprimento são afetados pelo movimento relativo entre o observador e o evento. A teoria da relatividade também manifesta outra consequência dos postulados que é a relação entre massa e energia. Em 1905, Einstein divulgou que massa e energia são equivalentes, ratificando que a energia E liberada pela destruição de uma massa m é igual a velocidade da luz c ao quadrado. Sendo assim, a luz que viaja a velocidade aproximada de 3×10^8 m/s, no vácuo, libera uma enorme quantidade de energia mesmo quando da destruição de uns poucos átomos. O Sol e as usinas nucleares produzem energia desse modo. (BAKER, 2015)

Daí a equação mais famosa da Física, se não for a mais célebre da Ciência: $E = mc^2$.

A equação implica que uma quantidade pequena de massa m contém uma grande quantidade de energia E . Onde, a massa é multiplicada pela velocidade da luz ao quadrado c^2 , que em números é 9×10^{16} , ou seja 90 quatrilhões, considerando o espaço medido em metros. Sendo a massa medida em kg e a velocidade da luz em m/s , a unidade de medida da energia será em joules J . (VIEIRA, 2003)



Sabendo que a massa é a medida da inércia de uma partícula ou corpo, Einstein com sua teoria, mostrou que se a massa de uma partícula em repouso é m_0 , a massa m dessa partícula em movimento com velocidade v é dada por:

Fonte: da própria autora.

Extraída do Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita (ROSA, 2018).

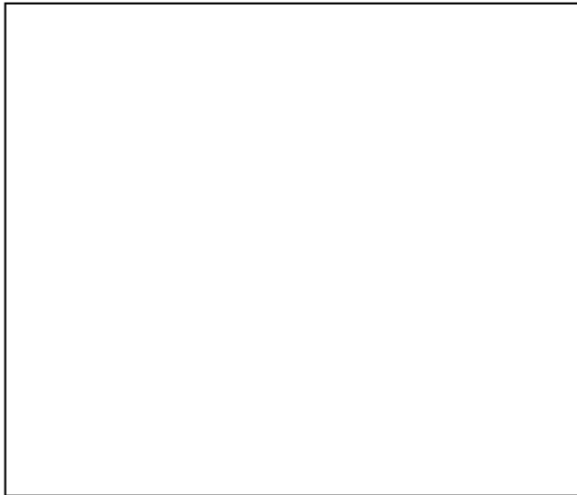
- Após a leitura das páginas, será solicitado que os alunos que façam a atividade proposta no Guia (ROSA, 2018, p. 51), Figura 12:

Figura 12 - Registro de conclusões sobre o tema Energia Relativística

51

Porém, de acordo com a equação $E = m c^2$, massa e energia são conceitos permutáveis. Assim, ao fornecermos energia para aumentar a velocidade de um corpo, também estaremos aumentando sua massa. Como consequência do aumento de massa, deveremos aumentar a força para que o corpo continue aumentando sua velocidade. Porém, esse processo tem um limite, uma vez que nenhum corpo com massa pode atingir ou ultrapassar a velocidade da luz c . (VIEIRA, 2003)

Use o espaço abaixo para anotar suas conclusões sobre o tema estudado:

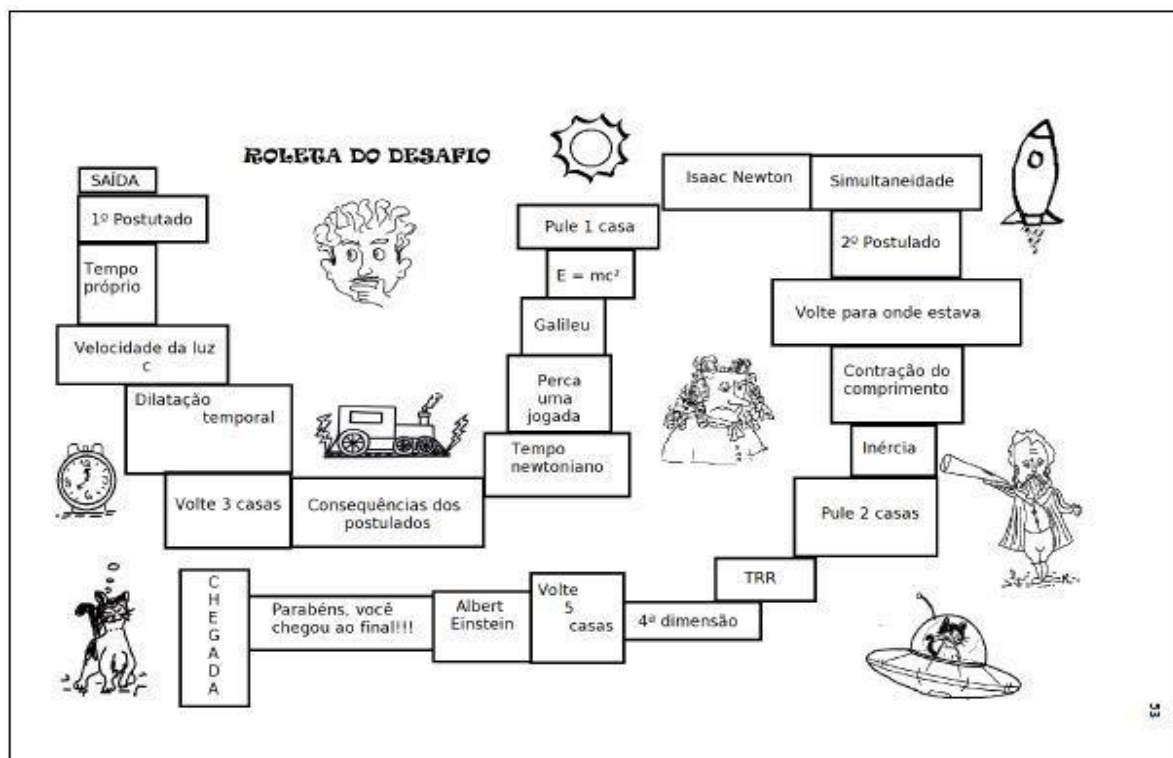


Fonte: da própria autora.

Extraída do Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita (ROSA, 2018).

- Após essa atividade será proposto a realização de um jogo, denominado “Roleta do Desafio” (constante no Guia Ilustrado, páginas 52 e 53), para ser realizado em duplas, Figura 13:

Figura 13 – Roleta do Desafio



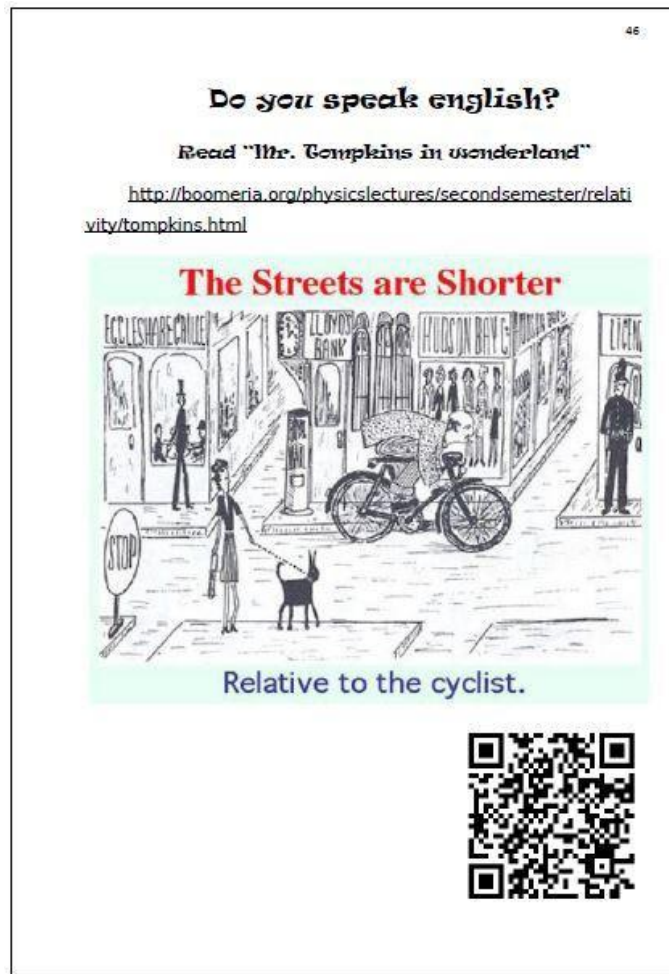
Fonte: da própria autora.

Extraída do Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita (ROSA, 2018).

3. Situação final da aula:

- Para finalizar a aula, o professor avisará os alunos que retomem os temas estudados, utilizando o Guia Ilustrado, acessando as sugestões de estudo e links indicados no mesmo, para que no próximo encontro seja realizada uma avaliação escrita.
- Sugestão de leitura (desafio na língua inglesa) indicada na página 46 do Guia (Figura 14). A sugestão trata-se do livro ilustrado do astrofísico George Gamow, que apresenta o personagem Mr. Tompkins que vivencia os efeitos relativísticos no cotidiano do seu incrível mundo.

Figura 14 - “Mr. Tompkins in Wonderland” (George Gamow)



Fonte: da própria autora.

Extraída do Guia Ilustrado sobre Relatividade Restrita (ROSA, 2018).

- Observações sobre a aula 5:

Na quinta aula são abordados os temas que finalizam o estudo proposto nesta sequência.

É utilizado o Guia Ilustrado com propostas de leitura e de atividades diversificadas como desenvolvimento da equação para verificação do comprimento relativístico e de registro de conclusões referente a compreensão da equivalência de massa e energia, com a exposição da famosa equação $E = mc^2$.

Com o pensamento de que aspectos transversais devem ser considerados como materiais e estratégias diversificadas que estimulem o diálogo, o questionamento e a crítica, propõem-se, nesta aula, a realização uma atividade prática (proposta de um jogo constante no Guia para ser realizado em duplas), em que os alunos possam expor seu pensamento, demonstrando seu conhecimento sobre a

materia de estudo e tambem interagindo e trocando ideias com o colega, numa aprendizagem reciproca.

Plano de Aula 6

Tempo de duracao: 2 periodos de 45 min.

Objetivos da aula:

- Realizar atividade proposta de avaliacao de aprendizagem referente aos conceitos estudados sobre a Teoria da Relatividade Restrita, usando o Guia Ilustrado como material de apoio para realizacao de atividade avaliativa.
- Participar de elaboracao de Mapa Conceitual envolvendo os conceitos estudados sobre a Teoria da Relatividade Restrita.

1. Situacao inicial da aula:

- Retomada oral dos temas estudados, proporcionando espaco para questionamentos de duvidas pertinentes.
- Conversacao sobre a leitura do livro sugerido na aula anterior: "Mr. Tompkins in Wonderland".

2. Proposta de situacao introdutoria:

- Na primeira parte da aula sera aplicada a avaliacao escrita composta de atividades envolvendo os temas estudados dentro da Teoria da Relatividade Restrita. A avaliacao sera individual.
- O professor permitira o uso do Guia Ilustrado para consulta.

ATIVIDADE AVALIATIVA DE FISICA – Profª Milena Teixeira da Rosa

Tópico de estudo: Teoria da Relatividade Restrita

Temas: Postulados de Einstein e suas consequencias (simultaneidade, dilatacao temporal, contraçao de comprimento, energia relativistica)

NOME DO (A) ESTUDANTE:.....

ANO/TURMA:..... Capão da Canoa-RS,/...../.....

1. Um t3pico importante da F3sica 3 a Teoria da Relatividade Restrita, que estuda onde e quando ocorrem os eventos (acontecimentos) e qual 3 a dist3ncia que os separa no espaço e no tempo. Nesse estudo, explique com suas palavras o que voc3 entende por relatividade:

.....
.....
.....

2. Sabemos que com o advento da Teoria da Relatividade de Einstein alguns conceitos da Mec3nica Newtoniana sofreram adequa33es. Escreva frases elencando as diferenças entre essas duas teorias:

--	--

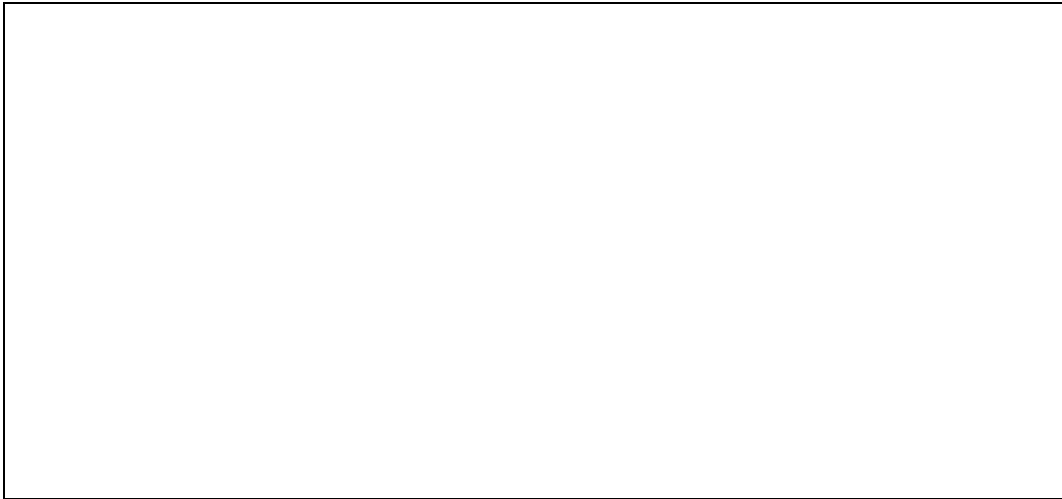
3. Suponha que um observador (Leo) observa que dois eventos independentes (evento Verde e evento Amarelo) ocorreram simultaneamente. Suponha tamb3m que outro observador (Karen), que est3 se movendo com velocidade constante em rela33o a Leo, tamb3m registra os dois eventos. Os eventos tamb3m s3o simult3neos para Karen?

Resposta:.....

Justificativa:.....
.....

4. Uma pessoa está de pé ao lado dos trilhos de uma estrada de ferro quando é surpreendida pela passagem de um vagão relativístico. Um passageiro que está na extremidade dianteira do vagão dispara um pulso de laser em direção à extremidade traseira.

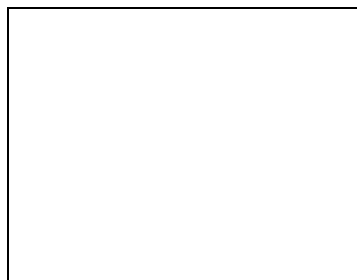
(a) Ilustre o evento:



(b) A velocidade do pulso medida pela pessoa que está do lado de fora do trem é maior, menor ou igual à velocidade medida pelo passageiro?.....

(c) O tempo que o pulso leva para chegar à extremidade traseira do vagão, medido pelo passageiro, é o tempo próprio?

(d) A relação entre o tempo medido pelo passageiro e o tempo medido pela pessoa que está do lado de fora é dada pela equação?



5. Elabore um exercício de Palavras Cruzadas, contendo no mínimo 5 discussões, envolvendo os temas estudados no tópico Relatividade Restrita:

- Na segunda parte da aula será proposta atividade em grupo, que consistirá na elaboração de um Mapa Conceitual feito em um cartaz, abordando um dos temas estudados (Evolução da Teoria Relativística, Os Postulados de Einstein, Relatividade

da Simultaneidade, Dilatação Temporal, Contração do Comprimento e Energia Relativística).

- Como processo integrador de estudo, cada grupo deverá apresentar seu trabalho, explicando seu Mapa Conceitual para o grande grupo.

3. Situação final da aula:

- Para finalizar o professor solicitará para cada aluno uma avaliação escrita e/ou gravada sobre todo o trabalho desenvolvido, com opiniões, sugestões, impressões, bem como auto avaliação de sua aprendizagem.

- Para auxiliar na elaboração do texto dos alunos, sugerimos quatro reflexões que seguem abaixo:

- Como foi o desenvolvimento das aulas;
- O que você achou mais interessante sobre o estudo;
- Como foi seu envolvimento e participação nesse estudo;
- Sua avaliação sobre o Guia Ilustrado.

- Observações sobre a aula 6:

Na primeira parte da sexta aula deve ocorrer o acompanhamento da aprendizagem, através de atividade de avaliação somativa individual, observando que a verificação de aprendizagem já deve estar sendo efetuada com base nos trabalhos já realizados pelos alunos nas aulas anteriores.

Como fechamento desta sequência de ensino, o professor solicitará aos alunos uma avaliação de todo o estudo, bem como auto avaliação individual sobre sua participação em todo o processo.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Brasília: MEC/Semtec, 1999.

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM)**. Brasília: MEC, Secretaria de Educação Básica, 2000.

BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio**. Brasília: MEC, Secretaria de Educação Básica, 2002.

GASPAR, A. **Compreendendo a Física**. Vol 3. 3. ed. São Paulo: Ática, 2016.

LESCHE, B. **Teoria da Relatividade**. 1. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005.

MENEZES, L. C.... [et al.]. **Coleção Quanta: Física 3ª série Ensino Médio**. 2. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

MOREIRA, M. A. **Ensino e Aprendizagem Significativa**. 39. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2017.

MOREIRA, M. A. MASSONI, N. T. **Noções básicas de Epistemologias e Teorias de Aprendizagem como subsídios para a organização de Sequências de Ensino-Aprendizagem em Ciências/Física**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

MOREIRA, M. A. **Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa**. 1997. Disponível em:<<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf>>. Acesso em: 28/10/2018.

MOREIRA, M. A. **Subsídios teóricos para o professor pesquisador em ensino de ciências: a Teoria da Aprendizagem Significativa**. 1. e 2. ed. revisada. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 2009, 2016.

PETTERSEN, J. A. M. **A Arte como elemento facilitador na Aprendizagem da Relatividade**. Dissertação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. Sociedade Brasileira de Física. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense. Rio de Janeiro, 2017.

PIETROCOLA, M...[et al.]. **Física em contextos, 3: ensino médio**. 1. ed. São Paulo: Editora do Brasil, 2016.

SAMPAIO, J. L. CALÇADA, C. S. **Universo da Física 3**. 1. ed. São Paulo: Atual Editora, 2001.

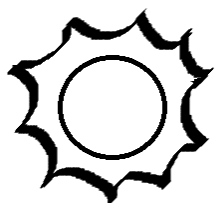
VIEIRA, C. L. **Einstein o Reformulador do Universo**. Série Imortais da Ciência. São Paulo: Odysseus Editora, 2003.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores**. 7. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e Linguagem**. 3. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1991.

GUIA ILUSTRADO

SOBRE RELATIVIDADE RESTRIÇA



$$E_0 = mc^2$$



o espaço - tempo

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



$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$



Milena Teixeira da Rosa
Roteiro e Arte
2018

CIP - Catalogação na Publicação

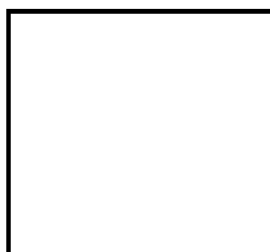
Rosa, Milena Teixeira da
Guia ilustrado sobre Relatividade Restrita / Milena Teixeira da Rosa. -- 2018.
30 f.
Orientador: Márcio Gabriel dos Santos.
Coorientadora: Neila Seliane Pereira Witt.
Dissertação (Mestrado Profissional) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Campus
Litoral Norte, Programa de Pós-Graduação do Mestrado
Nacional Profissional em Ensino de Física, Tramandaí, BR-RS, 2018.
1. Física Moderna. 2. Teoria da Relatividade Restrita. 3. Einstein, Albert. 4. Ensino Médio. I.
Santos, Márcio Gabriel dos, orient. II. Witt, Neila Seliane Pereira, coorient. III. Título.

Sumário

	Primeira conversa	4
1	Você já pensou em viajar na velocidade da luz?	6
2	A evolução da teoria	7
3	Os postulados de Einstein	19
4	As consequências dos postulados	26
5	Sincronização de relógios e simultaneidade	28
6	Dilatação temporal	33
7	Relatividade do comprimento	42
8	Energia Relativística	47
	Referências	54

Este Guia Ilustrado pertence:

.....



Minha imagem

Primeira conversa



Este guia ilustrado pretende introduzir, de forma acessível e interativa, com linguagem simples, mas sem perder o rigor científico, a Teoria da Relatividade Restrita de Albert Einstein. Tema este que faz parte dos estudos do pensamento científico moderno, proporcionando aos estudantes uma visão de mundo atualizada, resultante dos avanços da ciência que revolucionaram a Física nos primórdios do século XX.

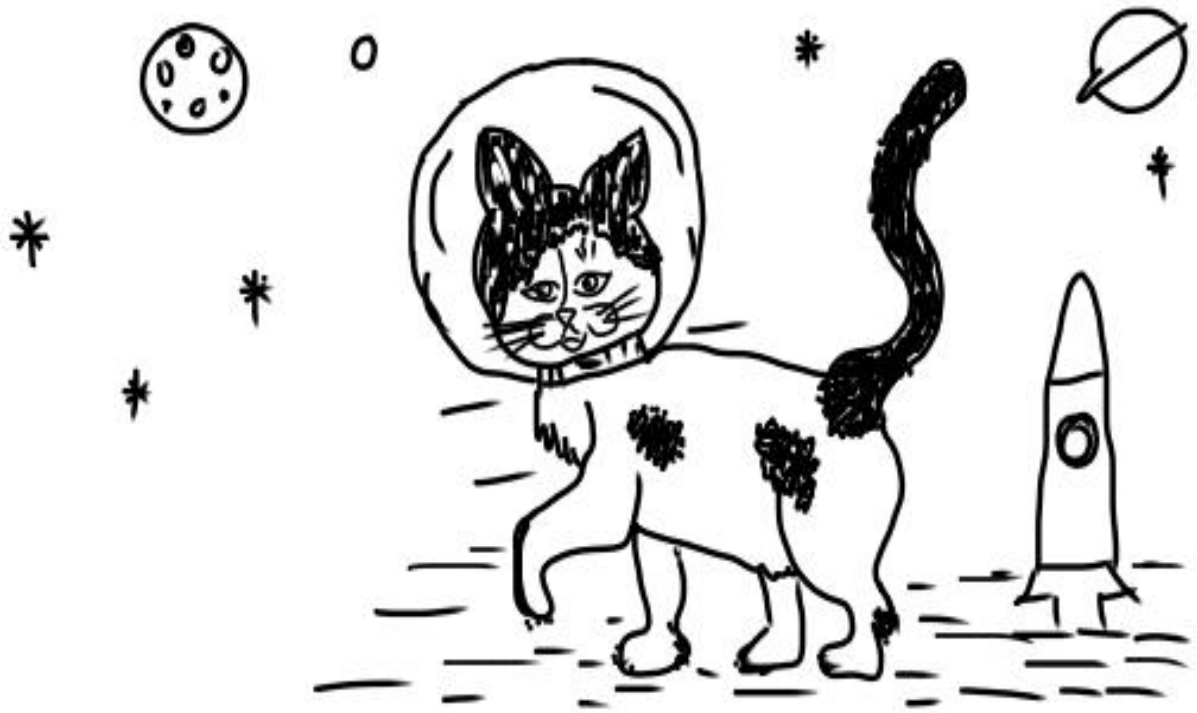
Convido você a interagir nesta corajosa jornada de leitura e estudo da teoria relativística, que propõe adequações na Mecânica Newtoniana, quebrando um paradigma enunciado há mais de 200 anos. A Teoria da Relatividade Restrita, também denominada Relatividade Especial, expõe um esclarecimento importante das estruturas do espaço e do tempo.

E, para seguirmos nossa viagem pelo espaço-tempo einsteiniano, apresento meu copiloto de estudo: Neno.

Procurando Neno...

Professora Mila

Outubro 2018



Você já pensou em viajar na velocidade da luz?



Tenha certeza que você não foi o único! Albert Einstein também pensou! Claro que Einstein não imaginou a tecnologia da espaçonave Millenium Falcon, mas ele realizou experiências de pensamento extraordinárias (Gedankenexperiment), que elucidaram as questões de como seria viajar na velocidade da luz. Aliás, o comportamento da luz foi um dos problemas que tirava o sono de Albert. Também, a inconsistência da Mecânica Newtoniana para eventos próximos a velocidade da luz, geravam desconforto nos estudos de Einstein. Essas reflexões iniciaram quando ele ainda era muito jovem, o que mais tarde o levaram à enunciação dos postulados da Teoria da Relatividade Restrita.

Evolução da Teoria

Neno!!!! O que você está fazendo aí???



Sabemos que não podemos voltar no tempo, mas vamos retornar uns séculos atrás, para reconhecermos um pouco sobre a evolução da teoria relativística.

Um dos ramos da Física é a Mecânica, que estuda os movimentos dos corpos no mundo macroscópico ao longo do tempo e suas causas. Esse estudo é tratado há muitos séculos.

Na Grécia antiga destacaram-se vários estudiosos, dentre eles o filósofo Aristóteles (384 – 322) com suas contribuições, principalmente no que diz respeito à Astronomia, relacionadas ao movimento dos astros celestes. Ele propôs o Sistema Geocêntrico, que depois foi aperfeiçoado por Cláudio Ptolomeu, que afirmava que a Terra era o centro do Universo. Nessa época acreditavam que a Terra era o único referencial inercial, não existindo a ideia de relatividade do

movimento. Somente na Idade Média, o conceito de relatividade foi enunciado por Giordano Bruno e Galileu Galilei. (LIMA, 2013)

A contribuição de Aristóteles é bastante rudimentar, com carência da matemática, pois ele não fazia cálculos. Também sua atividade experimental, em muitos casos, não conciliava com seus argumentos. Mas, por muitos séculos foi um modelo para a compreensão do movimento no mundo. (ROVELLI, 2017)



⇒ **Sugestão de Leitura:**

<http://lelivros.love/book/baixar-livro-a-realidade-nao-e-o-que-parece-carlo-rovelli-em-pdf-epub-e-mobi-ou-ler-online/>

<http://lelivros.love/book/download-como-eu-vejo-o-mundo-albert-einstein-em-e-pub-mobi-e-pdf/>



DICA DO NENO!!

Você pode acessar o seu guia virtual no Blog da Professora Mila, no seguinte endereço eletrônico:

<https://milamestrejedi.blogspot.com/>



“A condição natural dos corpos não é o repouso, mas o movimento”. (GALILEU)

Galileu Galilei, que viveu entre os séculos XVI e XVII, já fazia os primeiros ensaios relativísticos ao aplicar o princípio da relatividade no estudo da Cinemática, onde observou a necessidade de considerar o movimento dos corpos a partir de diferentes referenciais. Com seus estudos expressou as “transformadas galileanas” para posição e velocidade.

Galileu com sua luneta viu coisas que os demais ainda não imaginavam, como os anéis em torno de Saturno, as montanhas na Lua, as fases de Vênus, os satélites ao redor de Júpiter...



Ele em toda a sua obra propôs novas explicações sobre a natureza. Em relação ao movimento dos corpos, Galilei fez a seguinte interpretação: “Nenhum corpo seria mais móvel ou imóvel, mas estaria em movimento ou repouso em relação a outros corpos” (BRAGA, 2010, p. 87 e 89).

Credita-se a ele o início da ideia de inércia. E, é ele quem define pela primeira vez o significado de referencial inercial.

Isaac Newton (1643 – 1727), que nasceu um ano após a morte de Galileu (1564 - 1642), baseou-se naquele princípio para formular suas leis para a Mecânica Clássica, as famosas Leis de Newton, descrevendo os fenômenos físicos como uma sequência de eventos inseridos em três dimensões, considerando espaço e tempo como conceitos independentes. Embora as leis da Mecânica Newtoniana sejam válidas para a maioria dos eventos que observamos, ela não consegue descrever eventos com velocidades próximas a velocidade da luz.



Para Newton todo corpo permanece em seu estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme (MRU), a menos que forças modifiquem esses estados, ou seja, um corpo permanecerá em repouso ou em velocidade constante inicial. No caso de dois referenciais inerciais se movendo com velocidade constante, um em relação ao outro, não existe experiência mecânica que possa apontar qual está em repouso e qual está em movimento, ou ainda, se ambos se movem.



Será que Newton está chateado com Einstein porque ele comeu sua maçã? Certamente que não! E nem Isaac deve estar zangado, pois seu legado é revolucionário, e ele sabia que não estava completo. Deveriam haver outras forças, além das descritas por ele.

E de fato, surgiu a compreensão da força eletromagnética verificada por Michael Faraday e James Clerk Maxwell. Eles abriram o caminho para a Física Moderna.

Faraday era um visionário da física, um pesquisador experimental. Através de seus experimentos com bobinas, agulhas, bússolas, ímãs e gaiolas de ferro, observava a atração e a repulsão entre coisas elétricas e magnéticas. A partir de suas atividades introduziu a ideia de “*campo*”.

Maxwell foi um dos maiores matemáticos do século XIX. Através de suas equações descreveu o comportamento dos campos elétrico e magnético e a explicação para a natureza da luz. Maxwell previu as ondas eletromagnéticas.

Então, a partir de Faraday e Maxwell, o mundo newtoniano já não era feito apenas de partículas que se movem no espaço enquanto o tempo passa. (ROVELLI, 2017)

Três séculos depois, Albert Einstein propõe uma considerável adequação nos conceitos de espaço e tempo newtoniano, onde declara seus postulados com importantes consequências em todas as áreas da Física.



Uma nova teoria com a finalidade de resolver de forma simples e consistente modelos para corpos a qualquer velocidade, desde o repouso até movimentos com velocidades próximas a da luz. (SERWAY, JEWETT JR., 2014)

Ele, então, propôs a teoria da relatividade restrita, também denominada teoria da relatividade especial, em 1905, quando tinha apenas 26 anos. A palavra

restrita indica que a teoria se aplica somente a referenciais inerciais. (HALLIDAY & RESNICK, 2012)

A teoria de Einstein provocou uma revolução nos conceitos de espaço e tempo, mas sua origem certamente está relacionada ao desenvolvimento do eletromagnetismo (ROCHA, 2015), que compreende o fenômeno da luz, como uma onda eletromagnética, uma vez que não lhe parecia satisfatória quando aplicada a corpos em movimento. Daí um dos seus artigos publicado em 1905 - “Sobre a Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento”. (HAMBURGER, 1984)

Einstein (1999, p. 41) em suas considerações explica que a “mecânica clássica tinha que ser modificada a fim de poder ficar em harmonia com a Teoria da Relatividade Especial. Mas, essa modificação só afeta substancialmente as leis no caso de movimentos rápidos, nos quais as velocidades v da matéria não são pequenas demais em comparação com a velocidade da luz. ”

No próximo capítulo deste guia, você entenderá melhor a teoria relativística, fazendo a leitura dos Postulados de Einstein.

Mas, antes de passarmos para o próximo capítulo, vamos ver um resumo da biografia de Albert!

Albert Einstein nasceu em 14 de março de 1879, em Ulm, na Alemanha.

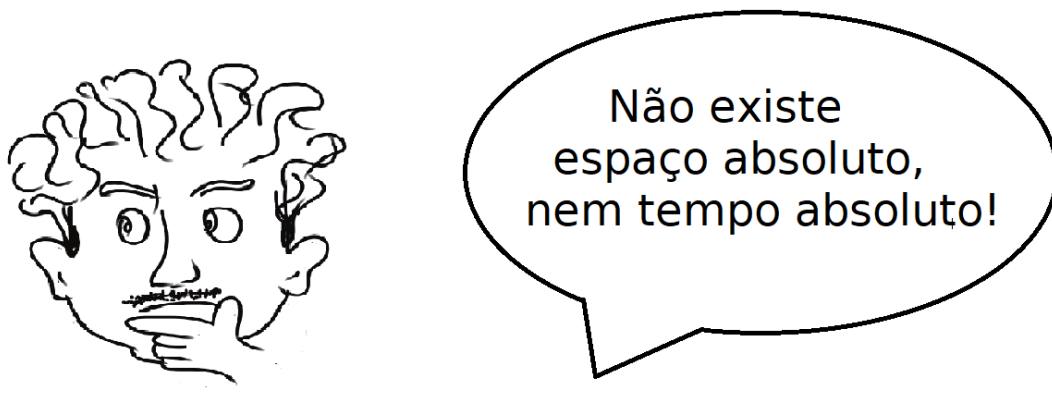
Aos cinco anos, ele ganhou de seu pai uma bússola, fato esse que marcaria sua vida, pois passou dias a fio observando a agulha que sempre apontava para a mesma direção. Isso causou-lhe um grande deslumbramento (VIEIRA, 2003), levando-o a questionamentos de como o magnetismo terrestre atravessava o espaço.

Ainda muito jovem, enquanto passeava de bicicleta, Einstein via-se viajando pelo espaço, cavalgando um raio de luz.



Passou sua infância em Munique e por gostar de imaginar coisas, desde cedo aprendeu a ser autodidata. Em 1900, forma-se professor de Matemática e Física pela Escola Politécnica de Zurique. Isso, não lhe rendeu sucesso na carreira, pois, sua trajetória intelectualmente produtiva deu-se no Departamento de Patentes em Berna (Suíça). Nesse emprego exercia atividade de análise de

propostas de invenções. Era um trabalho que não lhe tomava todo o tempo, oportunizando que realizasse suas pesquisas. Tanto que retomou as questões que lhe tiraram o sono na infância - viajar com a luz, o que o levaria a concluir, através de seus experimentos mentais, “que o tempo para e o espaço, na direção do movimento, se contrai até o anulamento. Enfim, o tempo e o espaço a que temos acesso empírico, não são absolutos, mas relativos ao nosso estado de movimento”. (MATSUURA, 2003, p. 43)



Albert, corroborando a ideia de Galileu, relativizou o espaço e o tempo em relação ao observador, concluindo que o movimento da luz e de corpos com velocidades relativísticas (próximas a velocidade da luz) estariam todos sob as mesmas leis físicas para sistemas inerciais. (ROVELLI,2017)

Então, em 1905, Einstein publica três importantíssimos artigos: um sobre o movimento browniano de pequenas partículas em suspensão num líquido; outro sobre o efeito fotoelétrico e o terceiro introduzia a Teoria da Relatividade Restrita.

Atividades:

Sugestão:

Nos links a seguir, você pode acessar documentários para aprofundamento de estudo:

1. Galileu Galilei (Canal Futura):

<https://www.youtube.com/watch?v=mLQ6ptlofGs>

2. Isaac Newton (Documentários Ciência)

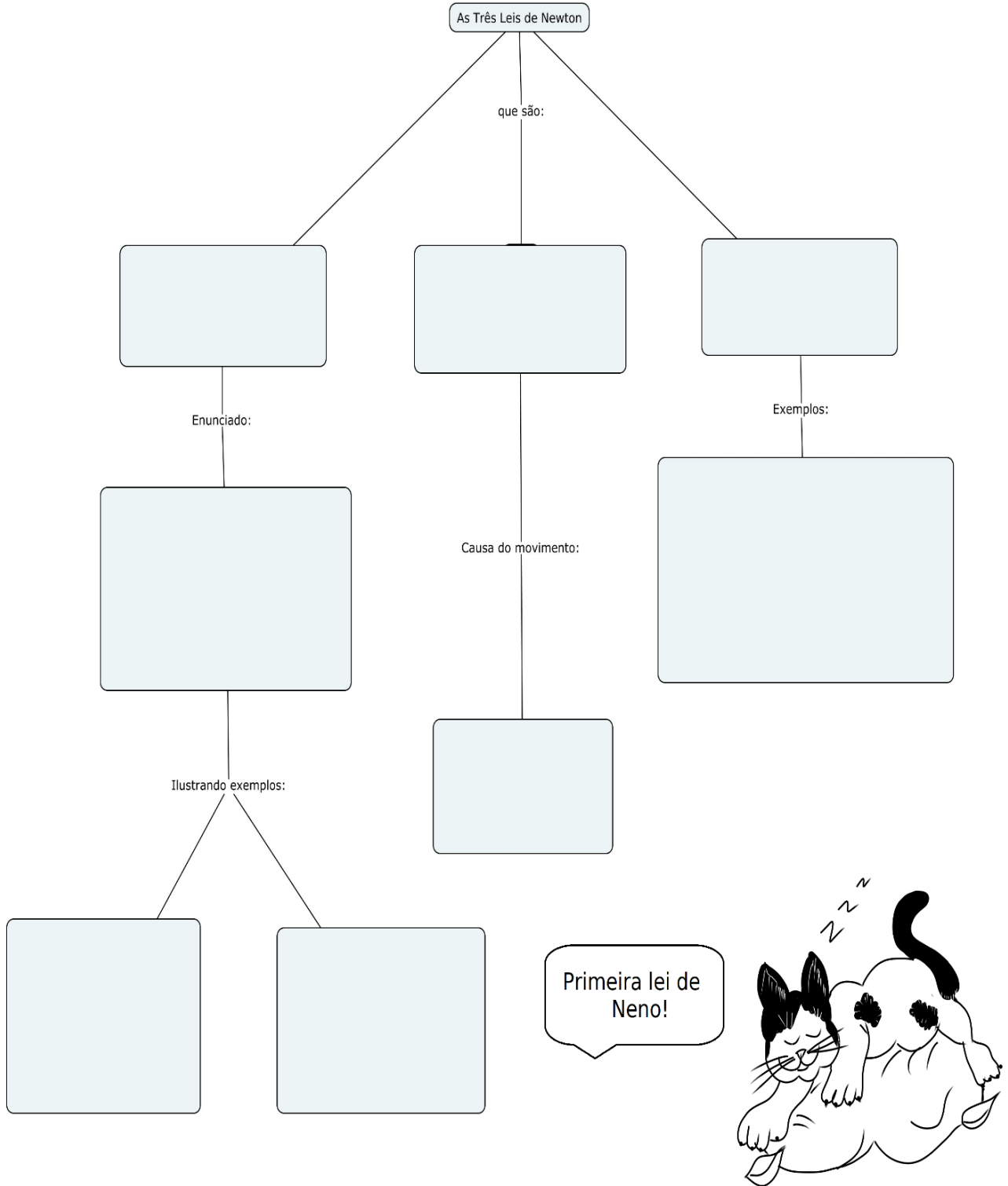
<https://www.youtube.com/watch?v=JOfs6K4sFac&t=31s>

3. Albert Einstein (History.com):

<https://www.youtube.com/watch?v=UnSA27a00To>

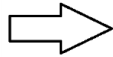


1. Vamos completar o Mapa Conceitual abaixo, sobre as Leis de Newton!



Os Postulados de Einstein

Entendendo os postulados:



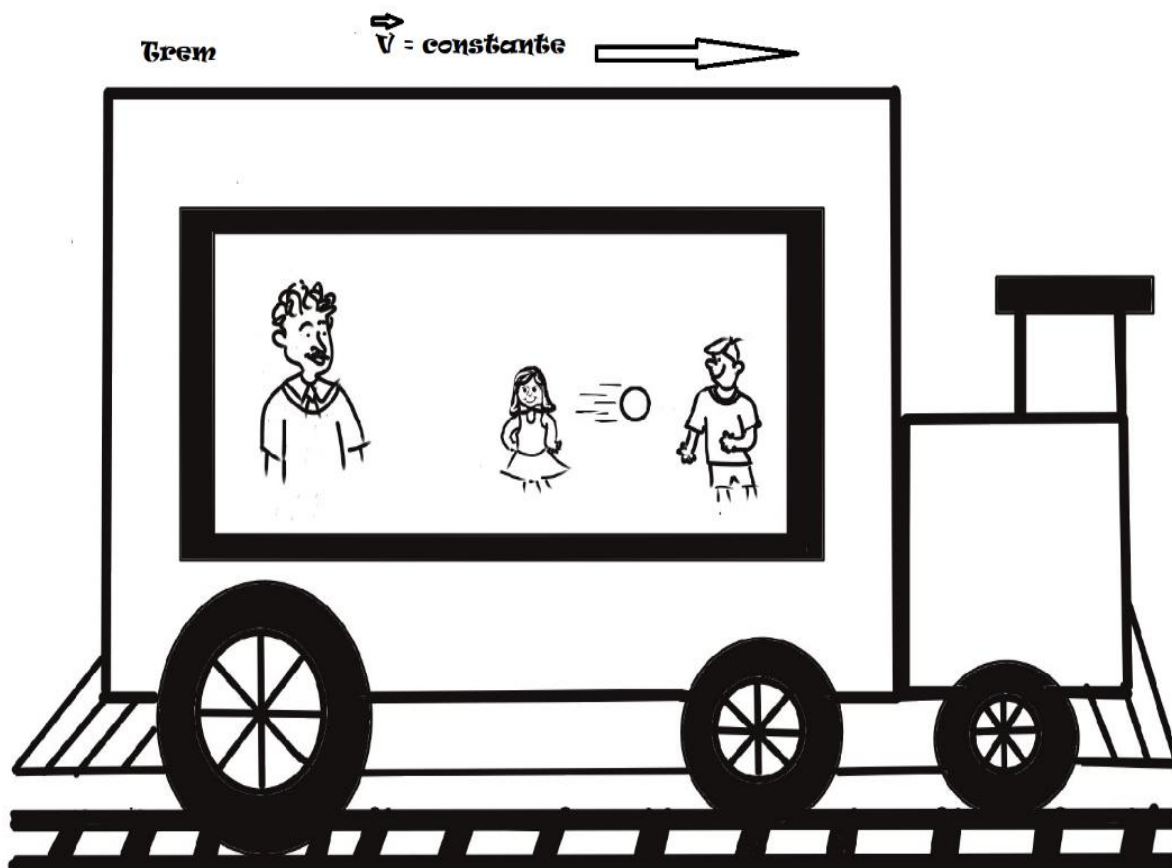
A Teoria da Relatividade Restrita está atrelada a dois postulados:

1° - As leis físicas devem ser as mesmas em qualquer referencial inercial;

2° - A velocidade da luz no vácuo deve ser sempre a mesma em qualquer sistema de referência inercial.

Para exemplificar o 1° postulado da teoria, também denominado princípio da relatividade, descreveremos uma situação em que uma pessoa está dentro de um trem. Vamos chamá-lo de Robert.

- Robert está dentro de um trem, que se desloca com velocidade constante. Ele observa apenas o movimento de uma bola, que uma criança arremessa para outra, ou seja, Robert não tem acesso a nada que seja externo ao trem. Nesse sistema, Robert não poderá determinar o módulo da velocidade do trem, tampouco se ele está se movendo. Isso resulta de que as leis da mecânica serem as mesmas em qualquer sistema de referência inercial.



Em outras palavras, o postulado 1 nos diz que o movimento uniforme absoluto não pode ser detectado e que todas as leis são as mesmas em todos os referenciais inerciais, isso tanto para os fenômenos da Eletrodinâmica como para os da Mecânica.

O 2º postulado trata sobre a propriedade comum a todas as ondas eletromagnéticas, no caso da luz implica que cada observador mede o mesmo valor para a velocidade da luz, independentemente do movimento relativo entre a fonte e o observador.

Esse postulado refere-se à constância da velocidade da luz no vácuo, ou seja, a velocidade da luz no vácuo é sempre a mesma em qualquer sistema de referência inercial, e não depende da velocidade da fonte.

Vejamos uma espaçonave, que vamos identificar por S' , movendo-se com velocidade ($V_{S'/S}$) em relação a um observador (S) na Terra. É disparado dessa espaçonave um míssil (Figura 1).

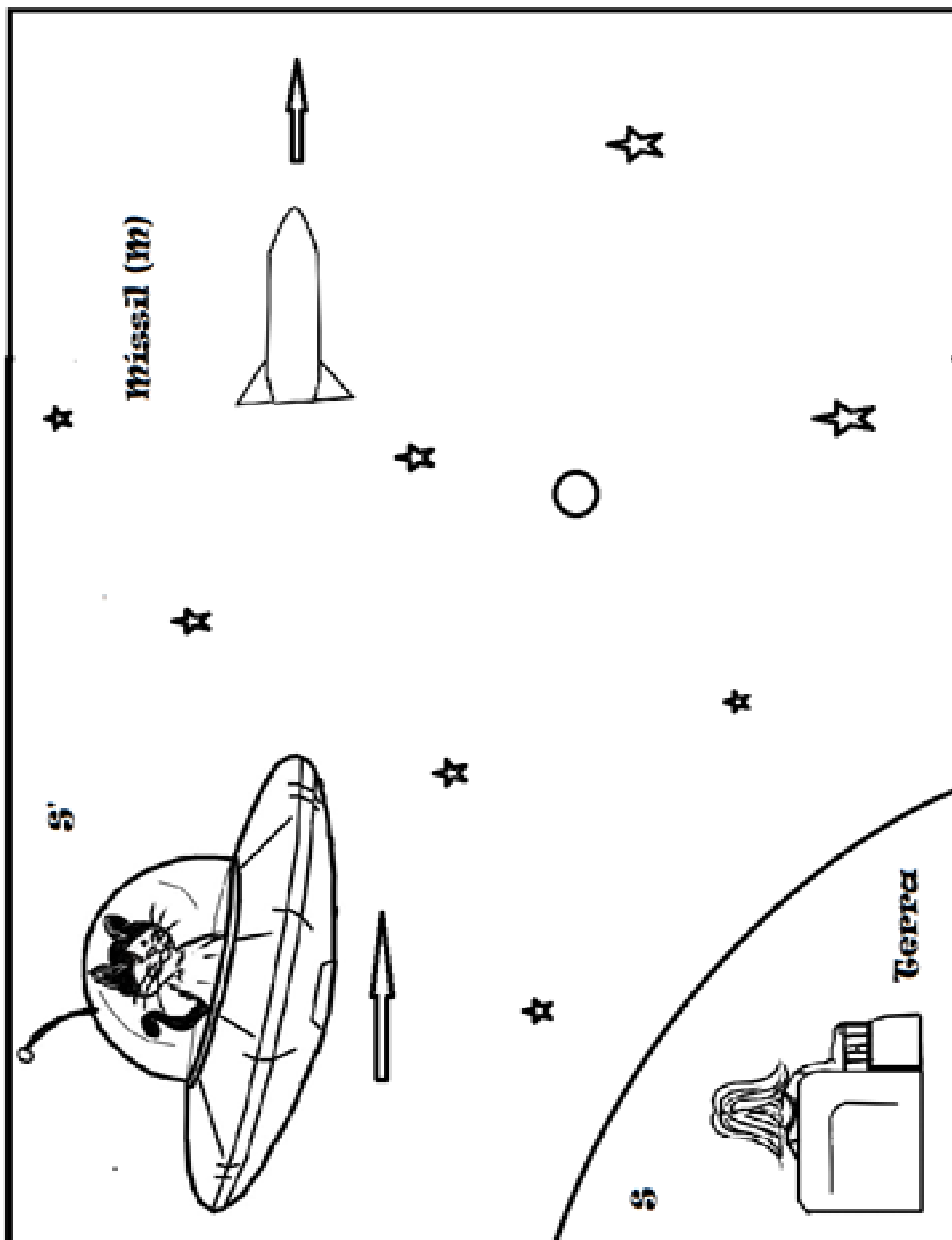


Figura 1

Agora, vejamos uma espaçonave S' movendo-se com velocidade ($V_{S'/S}$) em relação a um observador (S) na Terra. Dessa espaçonave é disparado um feixe de luz (Figura 2).

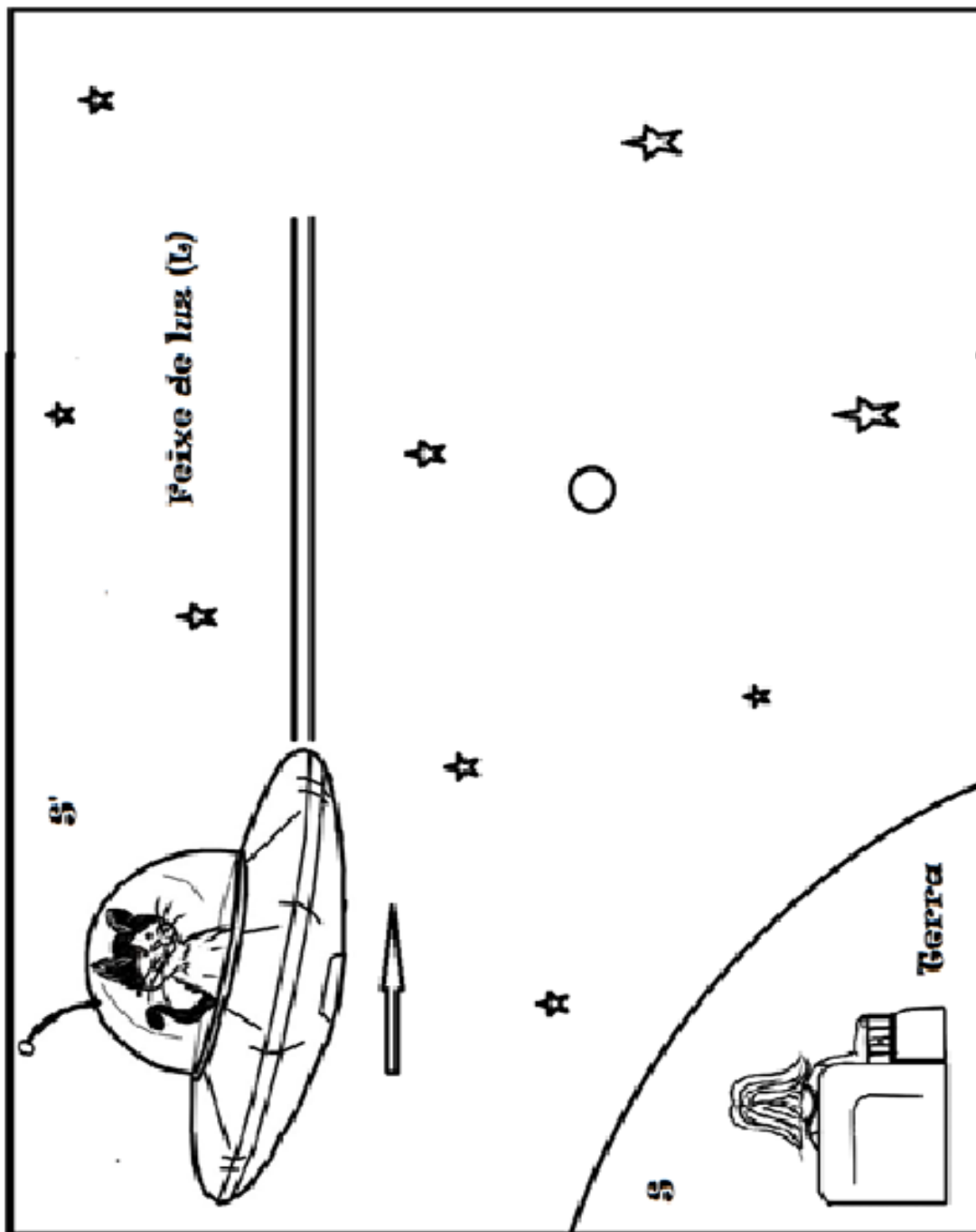
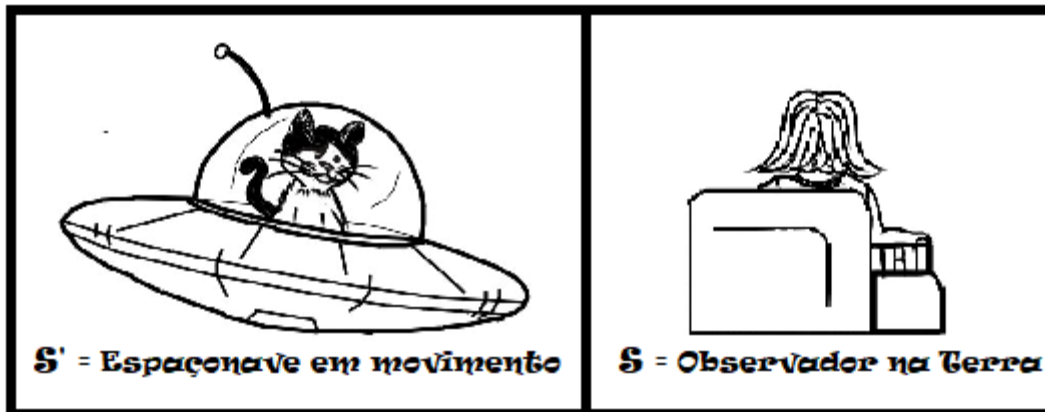


Figura 2

Fornecendo alguns dados para esses dois sistemas apresentados (Figuras 1 e 2), fazemos uma análise em linguagem matemática!

Não esquecendo que:



- Anotamos para o movimento da espaçonave (S') uma velocidade de 1000 m/s com relação ao observador (S) que está na Terra (Fig. 1):

$$v_{S'/S} = 1000\text{ m/s}.$$

- Apontamos para o movimento do míssil (M) uma velocidade 2000 m/s com relação a espaçonave (S'):

$$v_{M/S'} = 2000\text{ m/s}.$$

- Conforme a mecânica newtoniana, o observador na Terra verifica a velocidade do movimento do míssil:

$$v_{M/S} = 2000\frac{m}{s} + 1000\frac{m}{s} = 3000\frac{m}{s}.$$

- Na Figura 2 temos o disparo de um feixe de luz (L). Nesta situação a equação referente a velocidade do feixe de luz com relação a espaçonave é:

$$v_{L/S'} = c.$$

- Seguindo a ideia da situação da Figura 1, a velocidade do feixe de luz com relação ao observador:

$$v_{L/S} = c + 1000 \frac{m}{s} = ?$$

Já de antemão podemos afirmar que um observador inercial não pode se deslocar com a velocidade da luz c no vácuo. O que nos leva a conclusão de que a mecânica newtoniana consegue descrever movimentos cotidianos, mas se equivoca quando tenta descrever fenômenos com velocidades próximas da velocidade da luz c . Portanto, o sinal de interrogação na Figura 2, expressa uma contradição da mecânica newtoniana com relação ao 2º postulado. (YOUNG, FREEDMAN, 2009)



1. Qual grandeza tem o mesmo valor quando medida por dois observadores, qualquer que seja a velocidade relativa uniforme entre eles?

2. A Mecânica Newtoniana poderia ser comprovada no interior de um vagão de um trem que se encontra em movimento retilíneo uniforme (MRU)? Justifique:

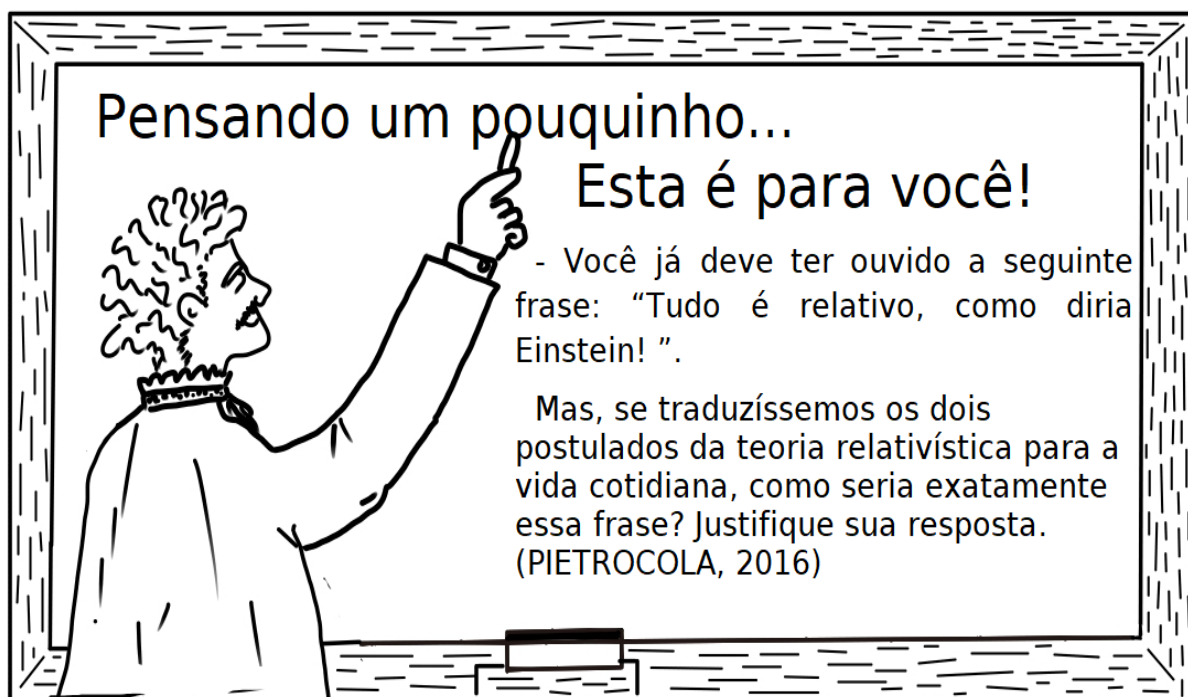
3. Imagine que você está num trem com velocidade constante, em movimento retilíneo uniforme, e com as janelas fechadas.

Pergunta que não quer calar!!!

- Seu celular toca e um amigo pergunta para você: - o trem está parado ou em movimento?

As consequências dos postulados de Einstein

A base da teoria especial da relatividade está nos seus dois postulados que diz que a velocidade da luz tem o mesmo valor para todos os observadores, independente do estado de movimento deles e estabelece que as leis físicas são expressas pelas mesmas equações em todos os referenciais inerciais, por esse motivo é chamada relatividade especial ou restrita, porque só se aplica a corpos que se movem em velocidade constante (MATSUURA, 2003), portanto, toda a construção lógica da teoria dá-se em torno da combinação desses dois postulados.



As consequências dos postulados têm grande importância no estudo do tempo e espaço.

A partir do próximo tópico vamos discutir algumas dessas consequências, entre elas: a ideia da simultaneidade, a dilatação do tempo, a relatividade do comprimento e a energia relativística.



Sugestões para saber mais:

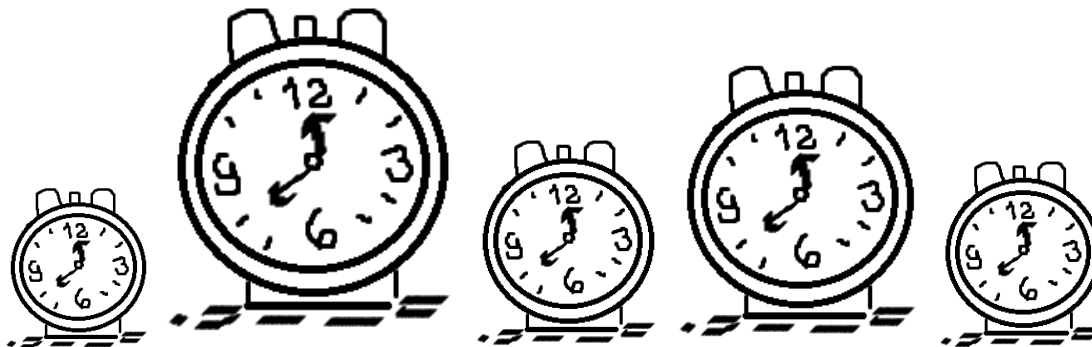
“O Tempo”

<https://www.youtube.com/watch?v=0M7z1t4kdPM>

“Velocidade da luz”

<https://www.youtube.com/watch?v=AOw8BNVQVuw>

Sincronização de relógios e simultaneidade



“Quando dizemos que algum evento acontece num determinado instante, estamos dizendo que aquele evento acontece quando o relógio indica tal instante. Por isso, a medição do tempo envolve simultaneidade entre o evento observado e a indicação de um horário específico por um relógio, que também é um evento”. (MATSUURA, 2003)

O tempo em cada evento deve ser medido com um relógio diferente e o intervalo é dado pela subtração dos tempos medidos. Para isso os relógios devem ser sincronizados. (TIPLER, MOSCA, 2017)

Dois eventos são simultâneos quando ocorrem ao mesmo instante de tempo. Mas, o que significa “ocorrer ao mesmo tempo”?

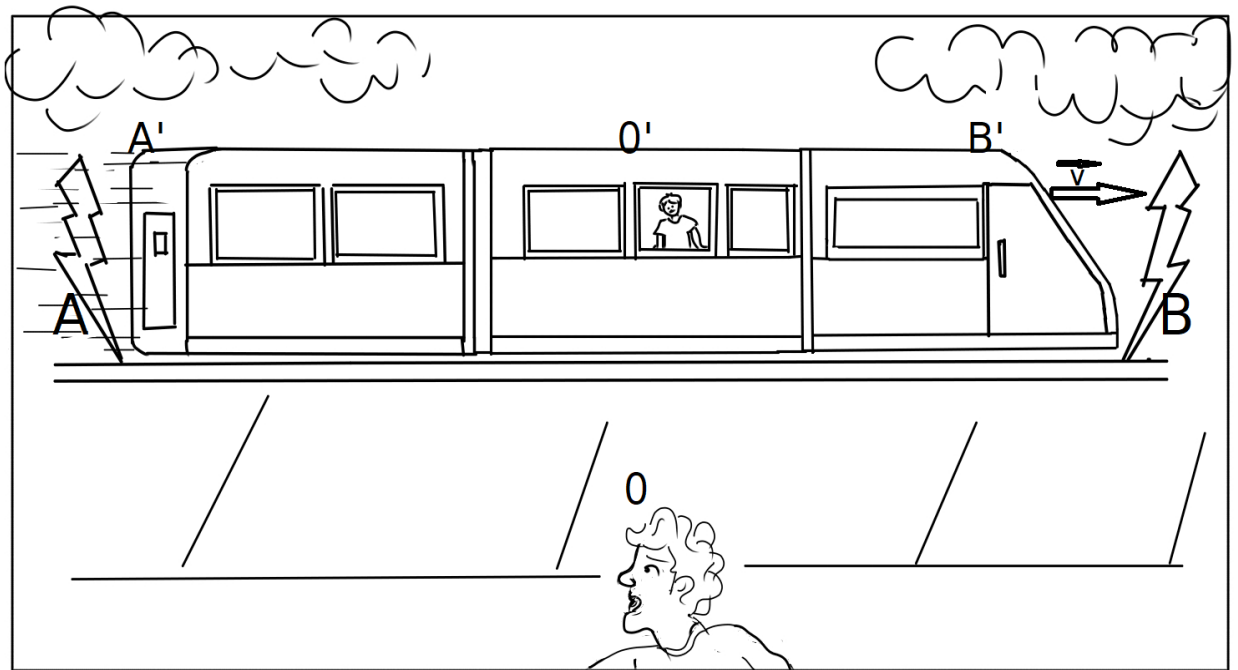
Vejamos um evento bem cotidiano, como quando muitas pessoas veem um gol num estádio de futebol e outras pela televisão, não há simultaneidade. E, você já deve ter percebido a relatividade da simultaneidade em transmissões de TV quando o mesmo programa se realiza em locais diferentes e a comunicação ocorre via satélite. Mas, essa relatividade da simultaneidade não se limita somente a esses eventos. (GASPAR, 2016)

- Dois eventos podem ocorrer simultaneamente para um observador, mas não para outro?

Como já foi dito anteriormente, Einstein fazia experiências de pensamento, idealizando sistemas e eventos para desenvolver sua teoria. Uma dessas experiências, proferidas por ele, é a de um trem se movendo com velocidade \vec{v} e passa pela plataforma de uma estação, quando é atingido por raios em suas extremidades.

“Uma pessoa parada em uma estação, diz ter visto dois raios caírem ao mesmo tempo, sendo um em cada extremidade do trem que passava pela estação. Já outra pessoa, dentro do trem, tem a certeza de que um raio caiu na parte da frente do trem e, posteriormente, o outro raio caiu na parte traseira. As duas pessoas estão convictas de suas observações.

- Qual delas tem razão em relação à queda dos raios?



Analisando a ilustração temos dois raios que atingem as duas extremidades do trem A' e B' , e o solo nos pontos A e B . Dentro do trem está uma pessoa que se move com o trem. Ela está na metade da distância entre A' e B' . Outra pessoa está na metade do segmento que liga os pontos A e B .

Ambos observam a luz emitida pelos raios, supondo que os raios que atingiram o solo, atinjam simultaneamente a pessoa que está no ponto O . A pessoa que está no trem admite que os raios atingiram a pessoa (O) que está na estação no mesmo instante, porém, não concorda que a luz dos raios tenha sido emitida simultaneamente dos pontos atingidos pelos raios.

Os dois concordam que a luz dos raios não atinge a pessoa (O') que está dentro do trem no mesmo instante. Como O' desloca-se para a direita junto com o trem, de modo que ela encontra a luz do raio proveniente de B' antes da luz do raio proveniente de A' atingi-la. Entretanto, como ela está no meio do vagão, se os dois raios atingissem simultaneamente as extremidades do vagão, a luz dos raios deveria levar o mesmo tempo para chegar até ela, porque percorreriam a mesma distância com velocidade c (2º postulado). Mas, ela conclui que um raio

atingiu B' antes de o outro atingir A', ou seja, os eventos não são simultâneos para ela. Para a pessoa que está em 0, observa que os dois eventos ocorrem simultaneamente.

Portanto, dois eventos podem ou não ser simultâneos, dependendo do estado de movimento do observador. A simultaneidade não é um conceito absoluto.

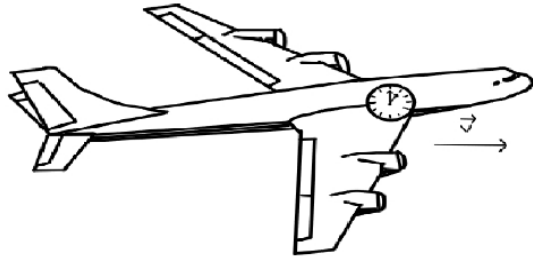


1. (Adaptação TORRES, 2016, p. 189) Uma árvore e um poste estão distantes 3 km entre si. Cada um deles é atingido por um raio, e os eventos “um raio atinge uma árvore” (R_a) e “um raio atinge um poste” (R_p) são vistos por dois observadores. Alexandre, parado em um ponto do solo equidistante da árvore e do poste, vê os dois eventos no exato instante em que Murilo passa à sua frente. Murilo está em movimento uniforme ao longo da reta definida pela árvore e pelo poste e no sentido da árvore para o poste. Pergunta-se:

- a) Os eventos (R_a) e (R_p) foram gerados simultaneamente? Justifique:
- b) Murilo vê o evento (R_a) ocorrer antes de (R_p) , depois de (R_p) ou vê os dois simultaneamente? Justifique:

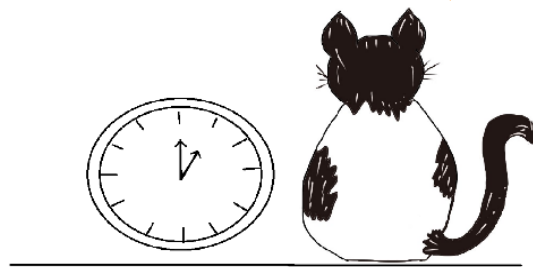
2. (Adaptação GASPAR, 2016, p. 221) Uma das consequências dos postulados de Einstein, trata sobre a relatividade da simultaneidade. Mas agora, no momento em que você está lendo esta questão, outras pessoas certamente estão fazendo outras coisas. Você e elas estão fazendo uma porção de coisas simultaneamente? Explique:

Dilatação Temporal



Depois que o avião moveu-se durante algum tempo a uma grande velocidade, os dois relógios foram comparados e observou-se que o do avião estava atrasado em relação ao do solo. Por quê? (SAMPAIO, CALÇADA, 2001)

Em 1977 foi realizado um experimento usando dois relógios atômicos de alta precisão. Um deles ficou no solo e o outro foi instalado num avião. Os dois foram sincronizados.



Com certeza não podemos perceber o tique-taque mais vagaroso do relógio, pois vivenciamos velocidades muito inferiores à velocidade c da luz. Mas, podemos compartilhar a ideia de Einstein de que o tempo é relativo a cada observador. Quanto mais rápido for o movimento, mais lento andar o relógio quando comparado ao de outro observador. Esse fenômeno, que é mais uma consequência dos postulados, é chamado *dilatação temporal*.

“Se a simultaneidade não é absoluta, o intervalo de tempo entre dois eventos também não é o mesmo para todos os referenciais inerciais. Assim, a marcha do tempo é relativa ao movimento do observador e não é possível manter o sincronismo entre relógios de dois sistemas inerciais em movimento relativo”. (MATSUURA, 2003, p. 48)

Vamos viajar no trem de Einstein!

1ª situação: Durante uma viagem de trem, com uma lanterna no chão do vagão, uma passageira emite um breve lampejo de luz verticalmente para o teto onde está um espelho. O espelho reflete o lampejo de volta para a lanterna.

Esse experimento é observado ao mesmo tempo pela passageira, que vamos chamar de Janaína, que está no trem e pela sua amiga Ana, que está fora dele, parada na plataforma de uma estação.

Para Janaína, o tempo transcorrido para a luz retornar é igual a duas vezes a altura do teto dividida pela velocidade da luz c .

Mas, para Ana, o raio de luz descreveu um triângulo isósceles para atingir o espelho e retornar para a lanterna. A trajetória, neste caso, é mais longa. Sendo a velocidade da luz constante, a luz percorrerá o trajeto num tempo maior, tanto maior quanto maior for a velocidade do trem. Portanto, a duração de um mesmo evento não é absoluta. A duração de um evento que ocorre num sistema em movimento, medida nesse sistema, sofre dilatação quando é medida por um observador parado.

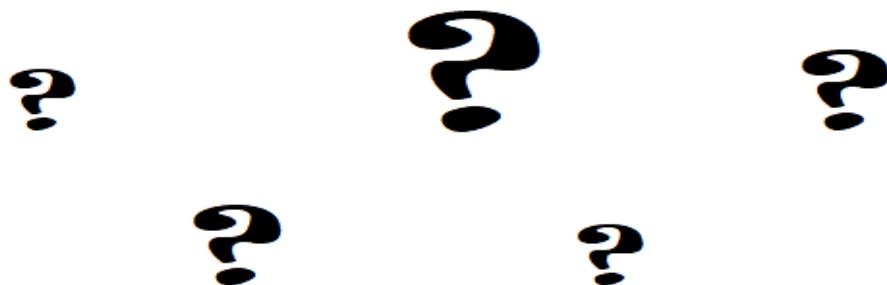
2ª situação: Imaginemos agora que o trem acima viaja a uma velocidade \vec{v} de $240 \times 10^3 \text{ km/s}$. Janaína, embarcou em sua cidade quando o relógio da estação marcava 9h. Por esse relógio ela acertou seu relógio de pulso. Seu destino é para outra cidade distante $864 \times 10^6 \text{ km}$.

Verificando o tempo de viagem, usando equações da
Mecânica Clássica:

- Então, com essas informações, qual a duração prevista dessa viagem?

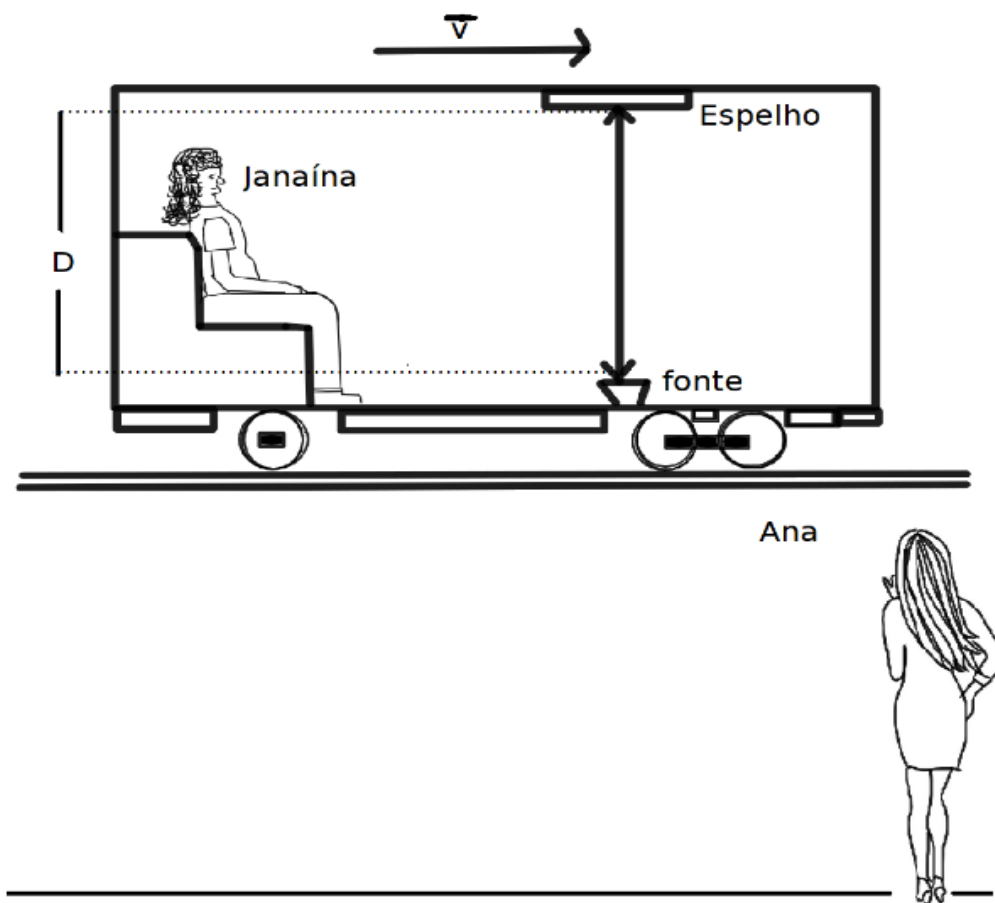
Suponhamos que as duas cidades sigam o mesmo fuso horário. Desse modo, Janaína deverá chegar ao seu destino (senão houver nenhum imprevisto), quando o relógio da estação estiver marcando 10h. Porém, para sua surpresa, a moça perceberá, ao chegar no seu destino, que seu relógio de pulso está atrasado em relação ao relógio da estação, ou seja, ainda não estará marcando 10h.

- Se a velocidade do trem fosse a da luz c , que horas o relógio de pulso estaria marcando?.....



Concluimos, portanto, que nas duas situações ocorre a dilatação do tempo.

**Vamos entender a 1ª situação nas linguagens
ilustrativa e matemática!**

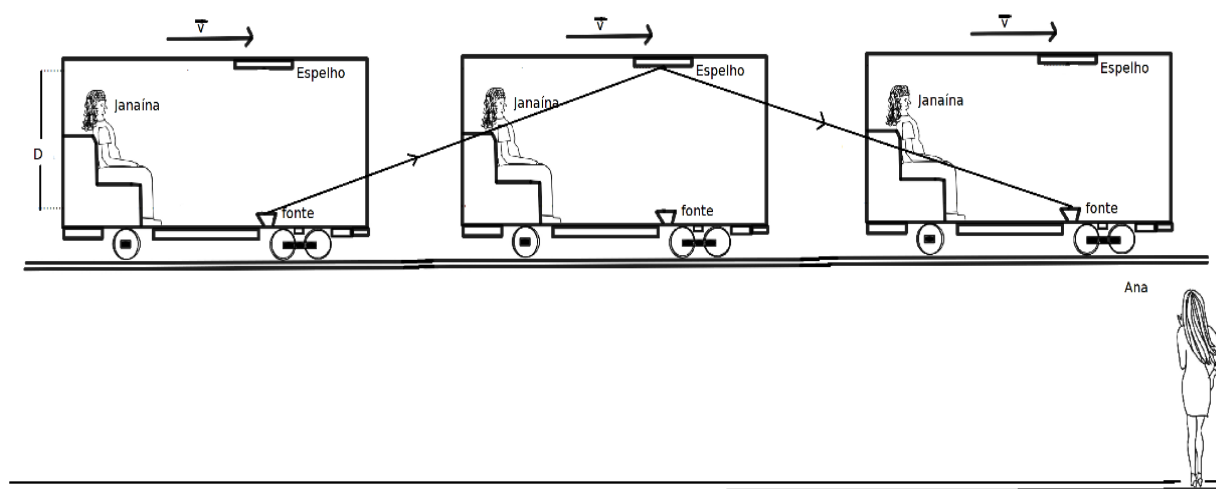


Na teoria relativística, as observações efetuadas pela por Janaína são chamadas de *próprias*, pois foram feitas em relação ao referencial dela. Podemos perceber que nesta situação o *tempo próprio* do viajante anda mais devagar do que de alguém que está em repouso.

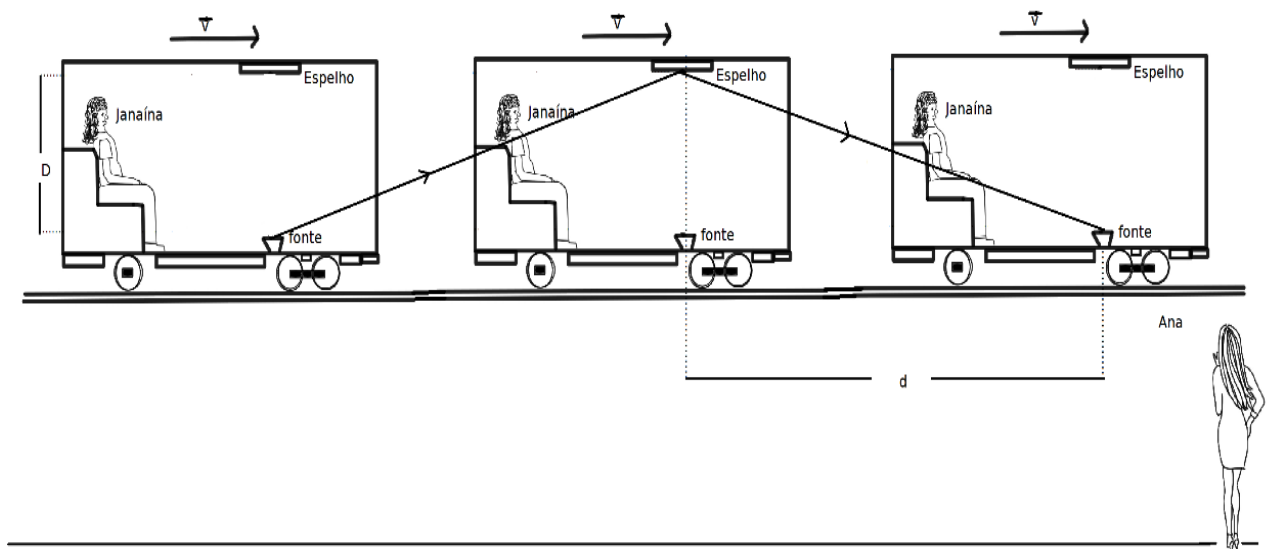
Com um cálculo simples podemos medir o intervalo de tempo Δt em que a luz emitida pela lanterna (fonte f_L) vai até o espelho E e volta até a lanterna f_L . Não esquecendo que “ c ” é a velocidade da luz, temos:

- A partir da equação para a distância d :

$$d = v \cdot t \quad \Rightarrow \quad t = \frac{d}{v} \quad \Rightarrow \quad \Delta t = \frac{2 \cdot D}{c}$$



Já para Ana, que está parada na plataforma da estação, o caminho descrito pela luz é maior. Neste caso a medição do intervalo de tempo Δt é diferente para o lampejo de luz no trem com velocidade \vec{v} . Sendo assim, o intervalo de tempo para a luz sair da fonte, refletir-se no espelho e voltar ao ponto de partida também será maior.



Pela teoria da relatividade, a velocidade da luz é constante, por isso, não podemos compô-la com a velocidade do trem. Para Ana verificar a distância percorrida pela luz deverá aplicar o Teorema de Pitágoras:

$$h^2 = d^2 + D^2 \quad (1)$$

As distâncias descritas no triângulo da figura acima podem ser relacionadas com a velocidade da luz c , e a velocidade do trem \vec{v} com o intervalo de tempo decorrido. Seguindo a ideia anterior:

$$d = \vec{v} \cdot t \quad \Rightarrow \quad t = \frac{d}{v} \quad \Rightarrow \quad \Delta t = \frac{2 \cdot h}{c} \quad \Rightarrow \quad h = \frac{c \cdot \Delta t}{2}$$

$$d = \vec{v} \cdot t \quad \Rightarrow \quad t = \frac{d}{v} \quad \Rightarrow \quad \Delta t = \frac{2 \cdot d}{v} \quad \Rightarrow \quad d = \frac{v \cdot \Delta t}{2}$$

Substituindo essas relações na expressão (1), temos:

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

$$\frac{c^2 \cdot \Delta t^2}{4} = \frac{v^2 \cdot \Delta t^2}{4} + D^2$$

$$\frac{\Delta t^2}{4} \cdot (c^2 - v^2) = D^2$$

$$\Delta t^2 = \frac{4 \cdot D^2}{(c^2 - v^2)} \Rightarrow \sqrt{\Delta t^2} = \sqrt{\frac{4 \cdot D^2}{(c^2 - v^2)}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta t = \frac{2 \cdot D}{\sqrt{c^2(1 - \frac{v^2}{c^2})}} \Rightarrow \Delta t = \frac{2 \cdot D}{c \cdot \sqrt{(1 - \frac{v^2}{c^2})}} \Rightarrow \Delta t =$$

$$\frac{2 \cdot D}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \text{ (PIETROCOLA, 2016)}$$

Lembrando que $\Delta t = \frac{2 \cdot D}{c}$ é o intervalo de tempo medido por Janaína.

Podemos, então, escrever a expressão que fornece a relação entre os dois períodos:

$$\Delta t_{Ana} = \Delta t_{Janaína} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Vamos fazer algumas considerações importantes:

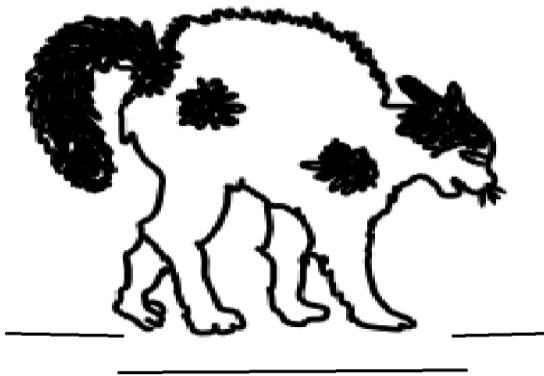
- “A expressão para a dilatação temporal significa a duração maior de um evento que ocorre num sistema em movimento, quando medida não no tempo próprio desse sistema, mas no tempo próprio de um observador parado”. (MATSUURA, 2003, p. 50)

- Δt_0 refere-se ao intervalo de *tempo próprio* - é intervalo de duração de determinado evento medido por um relógio em repouso em relação a um referencial;

- $\Delta t'$ refere-se a um observador em outro sistema de referência que se move com velocidade constante v em relação ao sistema em repouso. Este será maior do que o intervalo de tempo próprio.

Sendo assim:

$$\Delta t' = \Delta t_0 \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$



Arrepiei !!!!

Miaaauuuuu!!!!

Com essas definições evidenciamos a equação para a dilatação temporal:

$$\Delta t' = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

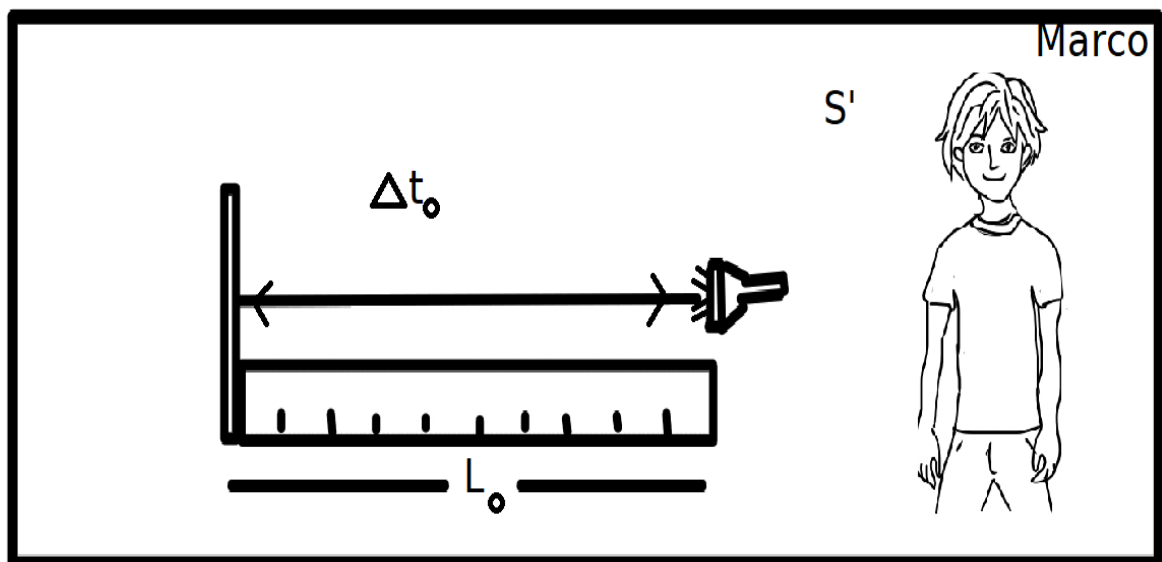
Aplicando a linguagem matemática!

- Vamos supor que uma espaçonave é enviada para uma estação espacial com velocidade constante de 80% da velocidade da luz c , em relação à Terra, transportando um astronauta. Em relação à espaçonave, o tempo transcorrido entre o lançamento e a chegada na estação espacial foi de 3 anos. Qual é o tempo transcorrido considerando o referencial na Terra?

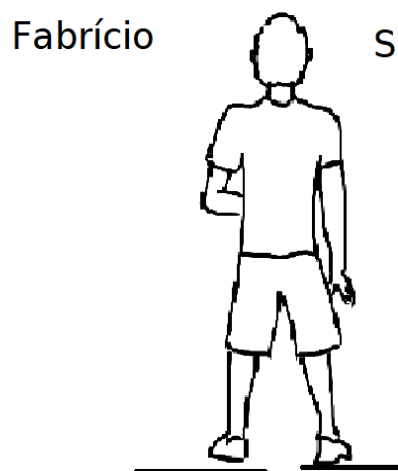
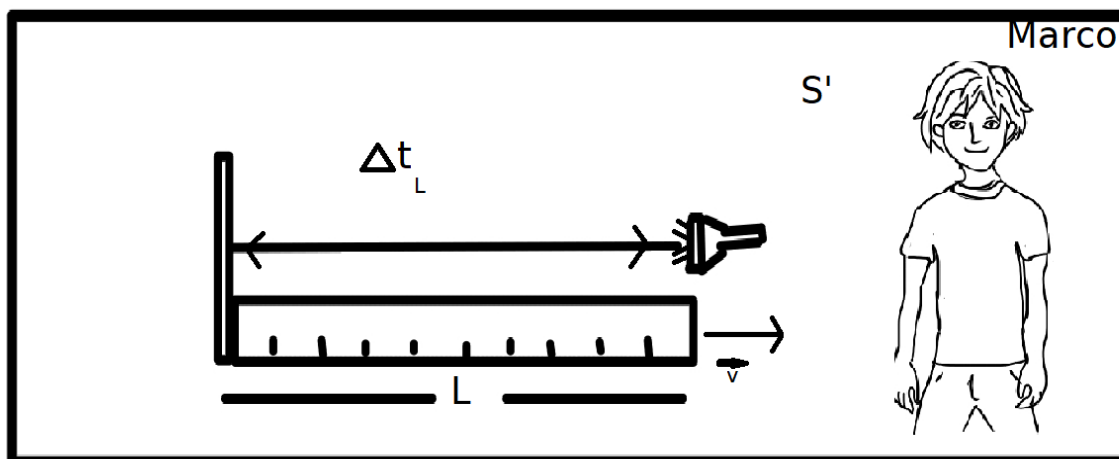
Relatividade do comprimento

Já de antemão devemos observar que a relatividade do comprimento está intimamente relacionada com a dilatação temporal, uma vez que a dilatação do tempo consiste na mudança de intervalo de tempo entre dois eventos devido à diferença do referencial inercial em que cada um é medido. E, a distância entre dois pontos também depende do referencial inercial onde se realiza a medição. Sendo assim, para nossa surpresa veremos que os comprimentos se contraem com o movimento, observando que a contração só ocorre na direção do movimento.

Vamos entender como acontece a contração do comprimento relativístico. Marco e Fabrício nos ajudam a descrever matematicamente o sistema:



Temos uma régua que está em repouso no sistema de referência S' de Marco. Um pulso de luz é emitido por uma fonte que percorre uma distância L_0 da fonte de luz até um espelho.



A régua se desloca com velocidade \vec{v} no sistema de referência S de Fabrício. O pulso de luz percorre uma distância L (o comprimento da régua medido em S) mais uma distância adicional $v\Delta t_L$ desde a fonte de luz até o espelho.

$$\text{Tempo próprio} \rightarrow \Delta t_0 = \frac{2L_0}{c}$$

$$v\Delta t_L$$

$$d = L + v\Delta t_L$$

$$d = c + \Delta t_L$$

↓

$$c\Delta t_L = L + v\Delta t_L$$

Ou

$$\Delta t_L = \frac{L}{c - v}$$

Analogamente:

$\Delta t_2 = \frac{L}{c+v}$ → Intervalo de tempo Δt_2 que a luz leva para ir da fonte até o espelho e voltar ao ponto inicial.

Intervalo de tempo total → $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2$

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

Sendo que Δt e Δt_0 estão relacionados:

$$\Delta t' = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \rightarrow (\text{dilatação temporal})$$

Então:

$$\Delta t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{2L_0}{c} \rightarrow \text{combinando com } \Delta t = \frac{2L}{c(1 - \frac{v^2}{c^2})} \rightarrow \text{eliminando } \Delta t \text{ e}$$

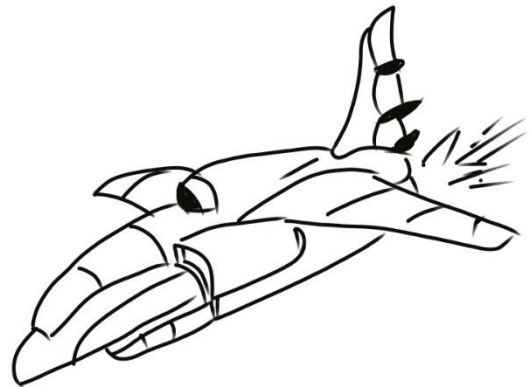
simplificando, sendo L_0 comprimento próprio medido em S' , temos a *equação para a relatividade do comprimento*:

$$L' = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

VAMOS MATEMATIZAR!!

- Supondo que uma nave espacial possui 10m de comprimento quando ela está em repouso na Terra. Com a nave em movimento com velocidade v igual a 80% da velocidade da luz c , um observador fixo na Terra, dispendo de aparelhagem adequada, efetua a medida do comprimento da nave. (GUIMARÃES, 2016, p. 198)

- Qual é o resultado obtido pelo observador fixo na Terra?
- Qual é o comprimento da nave medido por um tripulante da nave?

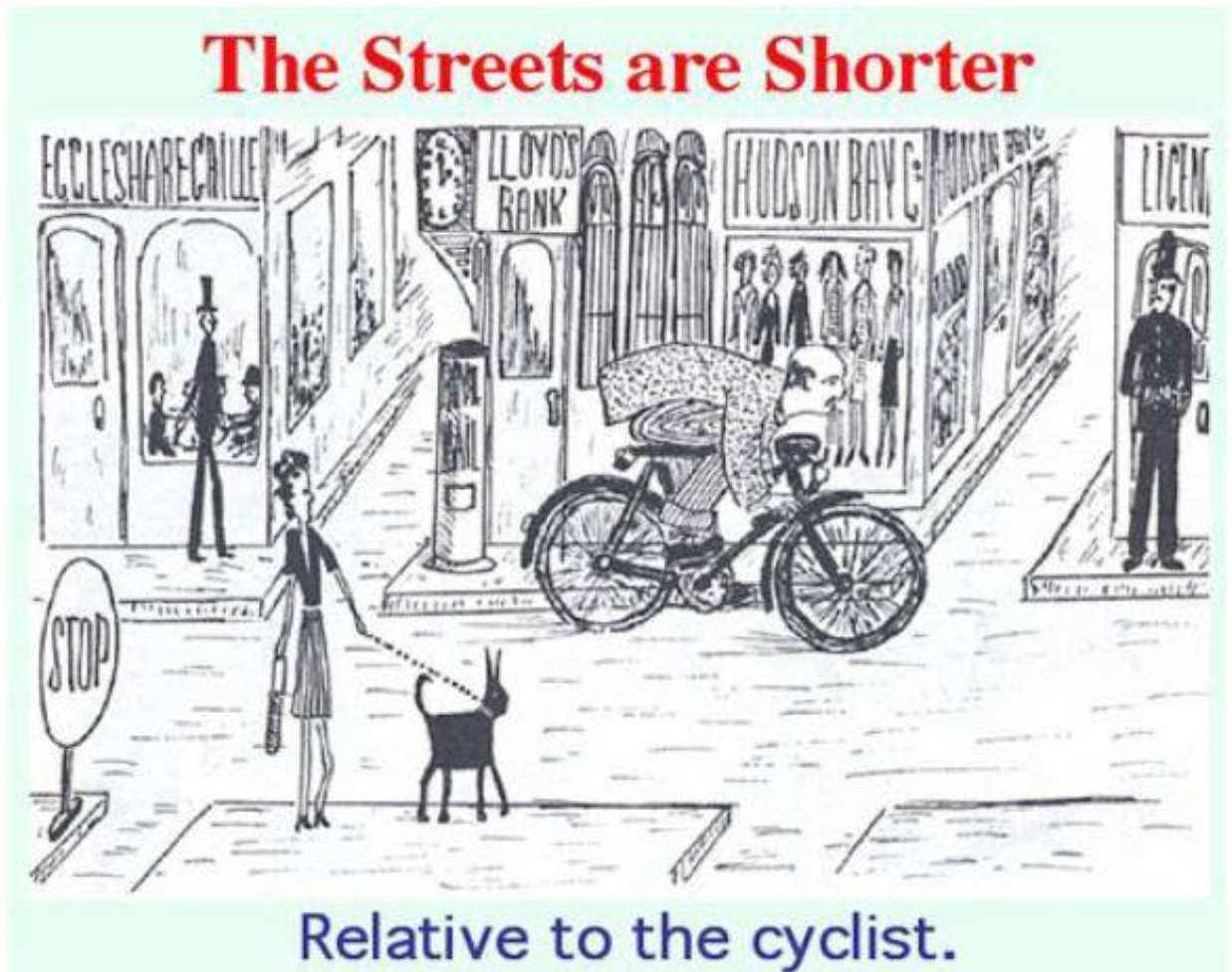


Do you speak english?

Read "Mr. Tompkins in wonderland"

<http://boomeria.org/physicslectures/secondsemester/relativity/tompkins.ht>

[ml](#)



Energia Relativística

Não somente a dilatação do tempo e a relatividade do comprimento são afetados pelo movimento relativo entre o observador e o evento. A teoria da relatividade também manifesta outra consequência dos postulados que é a relação entre massa e energia. Em 1905, Einstein divulgou que massa e energia são equivalentes, ratificando que a energia E liberada pela destruição de uma massa m é igual a velocidade da luz c ao quadrado. Sendo assim, a luz que viaja a velocidade aproximada de 3×10^8 m/s, no vácuo, libera uma enorme quantidade de energia mesmo quando da destruição de uns poucos átomos. O Sol e as usinas nucleares produzem energia desse modo. (BAKER, 2015)

Daí a equação mais famosa da Física, se não for a mais célebre da Ciência:
 $E = mc^2$.

A equação implica que uma quantidade pequena de massa m contém uma grande quantidade de energia E . Onde, a massa é multiplicada pela velocidade da luz ao quadrado c^2 , que em números é 9×10^{16} , ou seja 90 quatrilhões, considerando o espaço medido em metros. Sendo a massa medida em kg e a velocidade da luz em m/s, a unidade de medida da energia será em joules J . (VIEIRA, 2003)

→
 é a medida da inércia de
 corpo, Einstein com sua teoria, mostrou que se a massa de uma partícula em repouso é m_0 , a massa m dessa partícula em movimento com velocidade v é dada por:

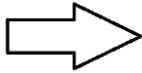
$$E_0 = mc^2$$

Sabendo que a massa
 uma partícula ou

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Com as adequações relativísticas temos que:

- se $v \ll c$, a massa em movimento é praticamente igual à sua massa em repouso (m_0);
 - quanto maior for a velocidade v da partícula, maior será o valor de sua massa m .
- (GUIMARÃES, 2013, p. 210)



E com relação à energia, estabeleceu que uma partícula em repouso possui uma energia de repouso E_0 :

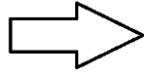
$$E_0 = m_0 c^2 .$$

Da mesma forma, uma partícula de massa m em movimento possui uma energia total E :

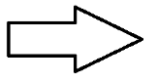
$$E = m c^2 = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot c^2 .$$

Essa expressão constitui a chave para a compreensão da energia nuclear, que explica a origem nuclear das estrelas. (Idem)

E para o cálculo da diferença entre a energia total e a de repouso, temos a energia cinética do corpo: $E_c = E - E_0 = (m - m_0) c^2$.



A formulação da famosa equação da energia $E = mc^2$, trouxe a Einstein algumas tristezas, como a denominação equivocada, à sua pessoa, de ser o “pai” da bomba atômica. Segundo Vieira (2003), ele será sempre referenciado à teoria relativística, porém, após o lançamento das bombas de urânio e de plutônio, em agosto de 1945, durante a Segunda Guerra Mundial, que destruiu as cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki, matando mais de 200 mil pessoas, seu nome foi injustamente associado aquele genocídio. Um raciocínio “torto” agregado de que o princípio do funcionamento da bomba atômica é a equação $E = mc^2$. O que de fato devemos ter em mente é que a relação de Einstein para massa e energia desempenha um papel extremamente importante na Física Nuclear, uma vez que essa relação indica a transformação de uma grandeza na outra. (MENEZES, 2013)



Saiba mais sobre o Holocausto de Hiroshima e Nagasaki:

<https://www.portalsaofrancisco.com.br/historia-geral/hiroshima-e-nagasaki>



Uma reflexão a fazer...

É importante considerar o que diz a teoria relativística, referente a massa de um corpo aumentar com sua velocidade. Esclarecendo que, esse fenômeno só seria verificado por um observador em outro referencial inercial. Portanto, numa viagem a velocidade próxima à da luz c , a massa da pessoa, da nave e de tudo que estivesse dentro dela, aumentariam extraordinariamente. Mas, seria imperceptível para quem estivesse dentro da nave.

Sabendo que para que um corpo saia do seu estado de inércia e entre em movimento, é necessário a aplicação de uma força, que originará energia cinética proporcional à massa e à velocidade do corpo.

Porém, de acordo com a equação $E = m c^2$, massa e energia são conceitos permutáveis. Assim, ao fornecermos energia para aumentar a velocidade de um corpo, também estaremos aumentando sua massa. Como consequência do aumento de massa, deveremos aumentar a força para que o corpo continue aumentando sua velocidade. Porém, esse processo tem um limite, uma vez que nenhum corpo com massa pode atingir ou ultrapassar a velocidade da luz c . (VIEIRA, 2003)

Use o espaço abaixo para anotar suas conclusões sobre o tema estudado:



Vamos relaxar um pouco? Que tal um joguinho?

ROLETA DO DESAFIO

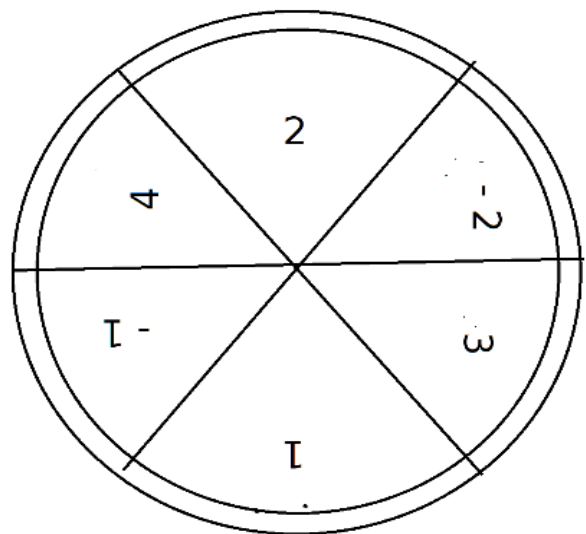
Instruções do jogo (para uma dupla ou mais jogadores):

- O jogo consiste no jogador dar uma explicação oral sobre o tema indicado, por exemplo, se parar na casa “Postulado 2”, o jogador deverá enunciar o referido postulado.

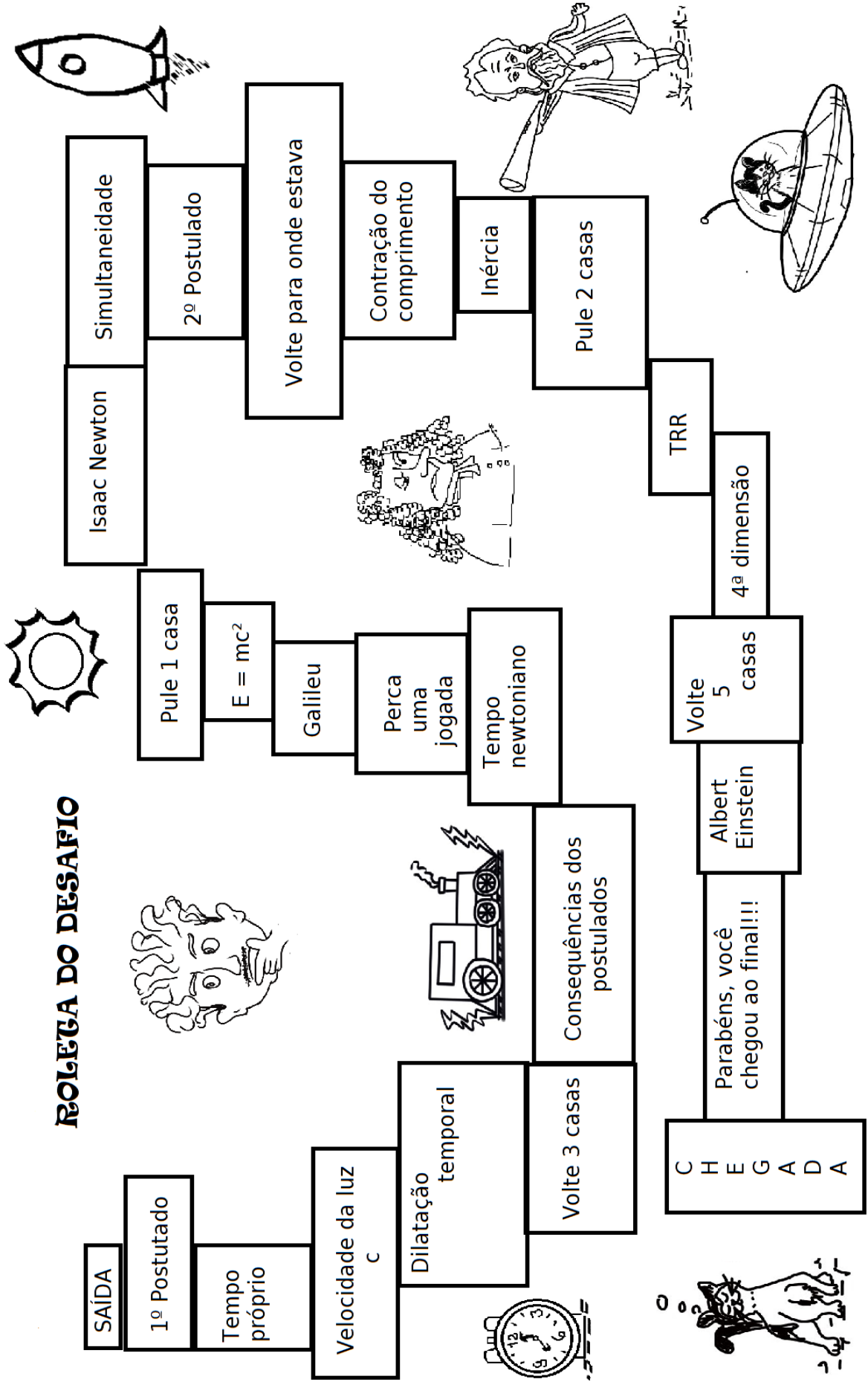
Material: Lápis, clipe e tampas de caneta ou outro material para servir de marcador.

Modo de jogar:

- Segurar o clipe com a ponta do lápis, rodar o clipe com um impulso do dedo;
- O numeral que o clipe estiver mostrando indicará quantas casas o jogador deverá andar;
- O aluno deverá falar corretamente sobre o tema escrito na casa. Se errar, volta para onde estava. Vence quem chegar primeiro.



ROLEGA DO DESAFIO



Referências

BAKER, J. **50 ideias de Física Quântica que você precisa conhecer**. 1. ed. São Paulo: Editora Planeta do Brasil Ltda, 2015.

BEISER, A. **Conceitos de Física Moderna**. – São Paulo: Polígono e Editora da Universidade de São Paulo, 1969. 460 p.

BRAGA, M. GUERRA, A. REIS, J. C. **Breve História da Ciência Moderna: das máquinas do mundo ao universo-máquina**, vol 2. 3. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2010.

EINSTEIN, A. **Como vejo o mundo**. Tradução H. P. de Andrade. 11. ed. Editora Nova Fronteira, 1981. Lelivros. Pdf

EINSTEIN, A. **A Teoria da Relatividade Especial e Geral**. Tradução de Carlos Almeida Pereira. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Contraponto, 1999. 136 p.

GAMOW, G. **Mr. Tompkins in Wonderland**. The Macmillan Company, 1946.Pdf. Disponível em: <http://boomeria.org/physicslectures/secondsemester/relativity/tompkins.html>.

GASPAR, A. **Compreendendo a Física**. Vol 3. 3. ed. São Paulo: Ática, 2016.

GUIMARÃES, O. PIQUEIRA, J. R. CARRON, W. **Física 3**. 1. ed. São Paulo: Ática, 2013.

HALLIDAY, D. RESNICK, R. WALKER, J. **Fundamentos de Física**. Vol 4: Óptica e Física Moderna. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

HAMBURGER, E. W. **O que é Física**. Coleção Primeiros Passos. São Paulo: Editora Brasiliense S.A., 1984.

LIMA, M. S. **Einstein e a Teoria da Relatividade Especial: uma abordagem histórica e introdutória.** – Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2013. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/v24_n2_melina.pdf> Acesso em: 26/10/18.

MATSUURA, O. T. **Teoria da Relatividade.** Coleção para saber mais 8. Super Interessante. Editora Abril, 2003.

MENEZES, L. C.... [et al.]. **Coleção Quanta: Física 3ª série Ensino Médio.** 2. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

PIETROCOLA, M...[et al.]. **Física em contextos, 3: ensino médio.** 1. ed. São Paulo: Editora do Brasil, 2016.

ROCHA, J. F. M. **Origens e Evolução das Ideias da Física.** 2. ed. Salvador: EDUFBA, 2015. 374 p.; il.

ROVELLI, C. **A realidade não é o que parece: a estrutura elementar das coisas.** Tradução Silvana Cobuci Leite. 1. ed. Editora Objetiva, 2017. Lelivros. Pdf

SAMPAIO, J. L. CALÇADA, C. S. **Universo da Física 3.** 1. ed. São Paulo: Atual Editora, 2001.

SERWAY, R. A. JEWETT, JR., J. W. **Princípios de Física: Mecânica Clássica e Relatividade.** Vol I – 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

TIPLER, P. A. MOSCA, G. **Física para Cientistas e Engenheiros, Vol 3: Física Moderna: Mecânica Quântica, Relatividade e a Estrutura da Matéria.** 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

TORRES, C. M. A....[et al.]. **Física: ciência e tecnologia.** 4. ed. São Paulo: Moderna, 2016.

VIEIRA, C. L. **Einstein o Reformulador do Universo**. Série Imortais da Ciência. – São Paulo: Odysseus Editora, 2003.

YOUNG, H. D. FREEDMAN, R. A. **Física IV: Ótica e Física Moderna**. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2009.

WESENDONK, F. S. TERRAZZAN, E. A. **Caracterização dos focos de estudo da produção acadêmico-científica brasileira sobre experimentação no Ensino de Física**. 2016. Pdf. Disponível em: DOI: <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n3p779>. Acesso em: 31 de março de 2019.

Sobre a autora

Milena Teixeira da Rosa é professora licenciada em Física pela Universidade Federal de Santa Maria - UFSM e mestranda pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, no programa Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF.

Natural de Quaraí, RS, vivendo atualmente na cidade de Capão da Canoa, RS, onde leciona Física no Ensino Médio em uma escola pública estadual.

Por gostar demais de seus animais de estimação, principalmente dos gatos, incluiu um dos mais participativos durante seus estudos e trabalhos em casa - o gatinho Neno.





APÊNDICE B – TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE USO DE IMAGEM

TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE USO DE IMAGEM

Senhores Pais ou Responsáveis:

Meu nome é Milena Teixeira da Rosa e sou professora na Escola Luiz Moschetti. No momento estou cursando Mestrado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. E, para obtenção da referida pós-graduação, necessito aplicar em turmas do Ensino Médio, minha proposta de produto educacional, com a finalidade de contribuir para a melhoria do ensino de Física. Diante disso, informo que, a partir da data de 13 de maio de 2019, com a devida autorização da direção da escola, estarei desenvolvendo atividades pedagógicas na turma de seu filho (a), pelo período de 6 aulas. Para isso, como forma de comprovação e de registro de algumas atividades, solicito sua autorização para que eu possa utilizar a imagem de seu filho (a) através de fotos na dissertação do trabalho. Desde já agradeço, sua colaboração.

Capão da Canoa, 13 de maio de 2019.

Prof^a Milena Teixeira da Rosa

TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE USO DE IMAGEM

Eu, _____ (nome),
 _____ (nacionalidade), _____
 (profissão), portador da Cédula de Identidade RG nº _____,
 _____, inscrito no CPF sob nº _____,
 _____, residente à Rua
 _____, nº _____, na cidade de
 _____, AUTORIZO o uso da imagem do (a) menor
 _____, para ser utilizada
 pela Mestranda Professora Milena Teixeira da Rosa, RG 3043017254, CPF 770332800-68, por ocasião de aplicação de produto educacional, referente ao Curso Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF – UFRGS, seja essa destinada à divulgação ao público em geral e/ou apenas para uso interno de seu curso de mestrado, desde que não haja desvirtuamento da sua finalidade. A presente autorização é concedida a título gratuito, abrangendo o uso da imagem acima mencionada em todo território nacional e no exterior, em sua Home Page. Por esta

ser a expressão da minha vontade, declaro que autorizo o uso acima descrito sem que nada haja a ser reclamado a título de direitos conexos à imagem.

Capão da Canoa, _____ de _____, de 2019.

Assinatura do responsável.

APÊNDICE C – OUTROS REGISTROS DE ATIVIDADES E FOTOGRAFIAS

OUTROS REGISTROS DE ATIVIDADES E FOTOGRAFIAS

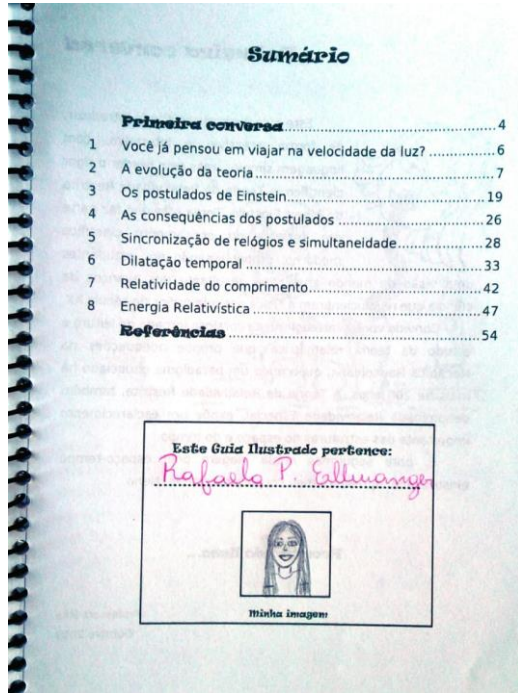
Neste espaço que fazer uma breve exposição de acontecimentos e/ou registros fotográficos das atividades realizadas que não constam na seção dos resultados da aplicação do produto. Também manifestações verbais, reflexões e até mesmo as emoções dos estudantes, por ocasião do desenvolvimento das aulas.

Aula 1

Na primeira aula o “show” foi a reação dos alunos com relação ao Guia Ilustrado. Tanto de uma turma como da outra, os estudantes manifestaram surpresa, alegria e motivação. Foi uns minutos de muita excitação na sala, devido as ilustrações dos personagens e dos temas a serem estudados. Muitos já queriam colorir os desenhos. Fizeram questionamentos sobre o livro, sobre como foi elaborado, sobre os temas a serem estudados. Particularmente foi uma enorme satisfação para a autora do livro ao ver os olhos dos estudantes brilhando ao perguntar: - Professora você fez esse livro para nós?

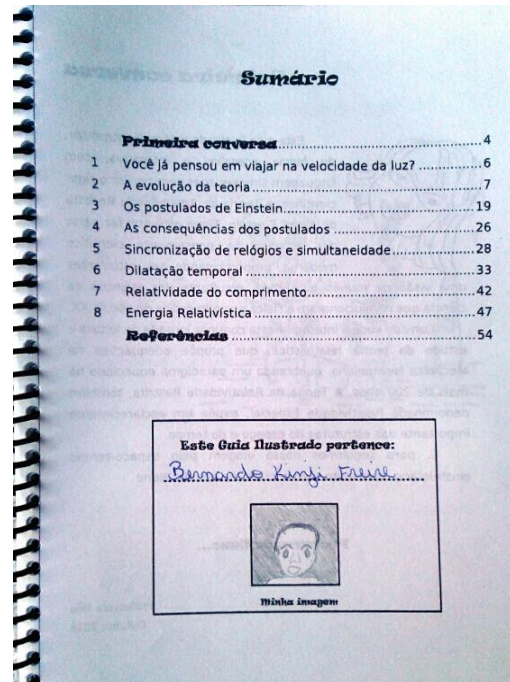
Foi solicitado que identificassem o seu livro colocando o nome e/ou desenhando sua imagem (Figuras 1, 2, 3 e 4). Foi feita a indicação da disponibilidade do guia no Blog da Professora Mila, onde também gerou euforia, tendo alguns realizando o acesso usando a internet de seus aparelhos móveis (celular).

Figura 1 – Aluna do 2º ano



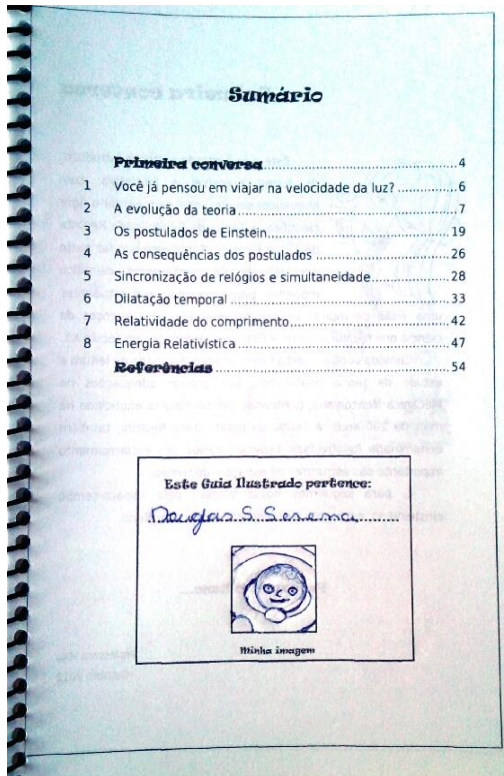
Fonte: da própria autora.

Figura 2 – Aluno do 2º ano



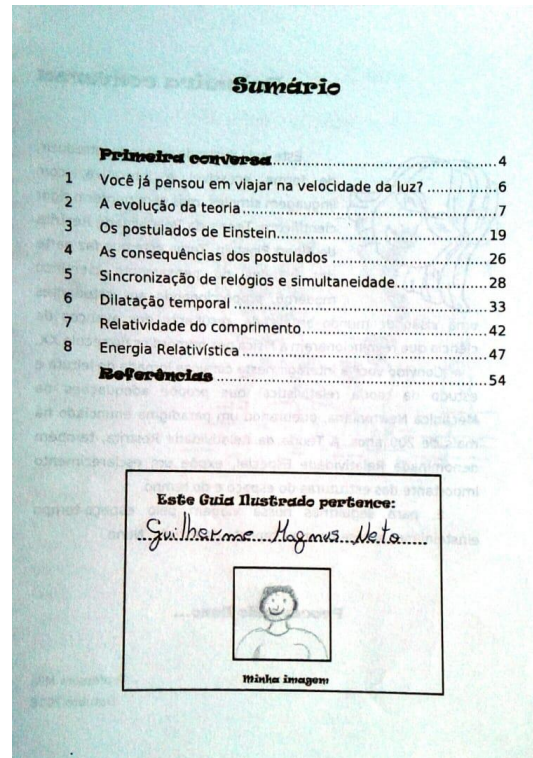
Fonte: da própria autora.

Figura 3 – Aluno do 3º ano



Fonte: da própria autora.

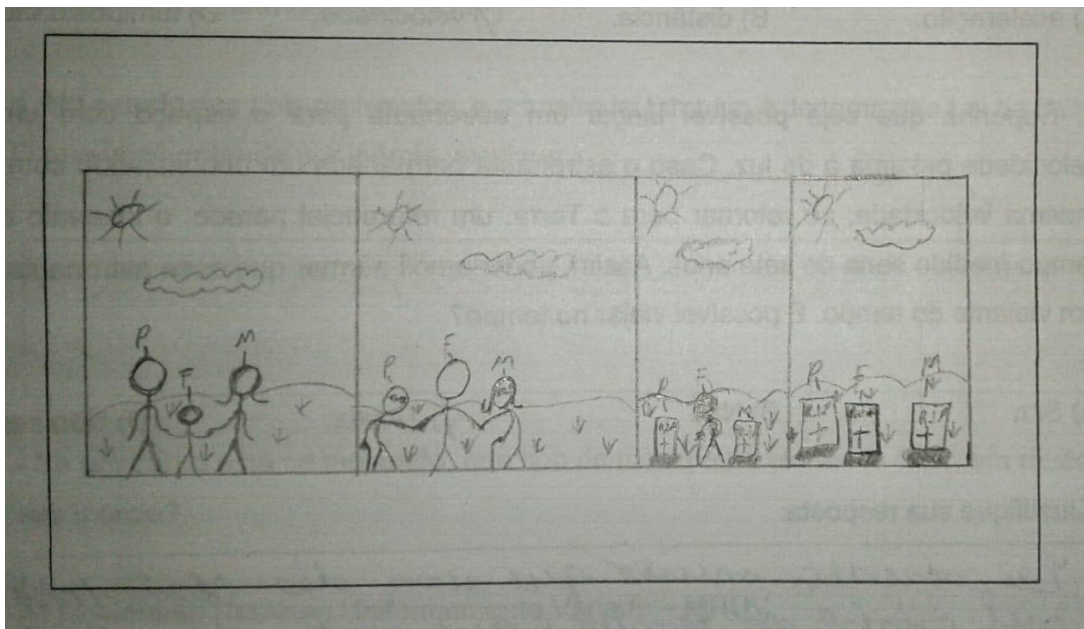
Figura 4 – Aluno do 3º ano



Fonte: da própria autora.

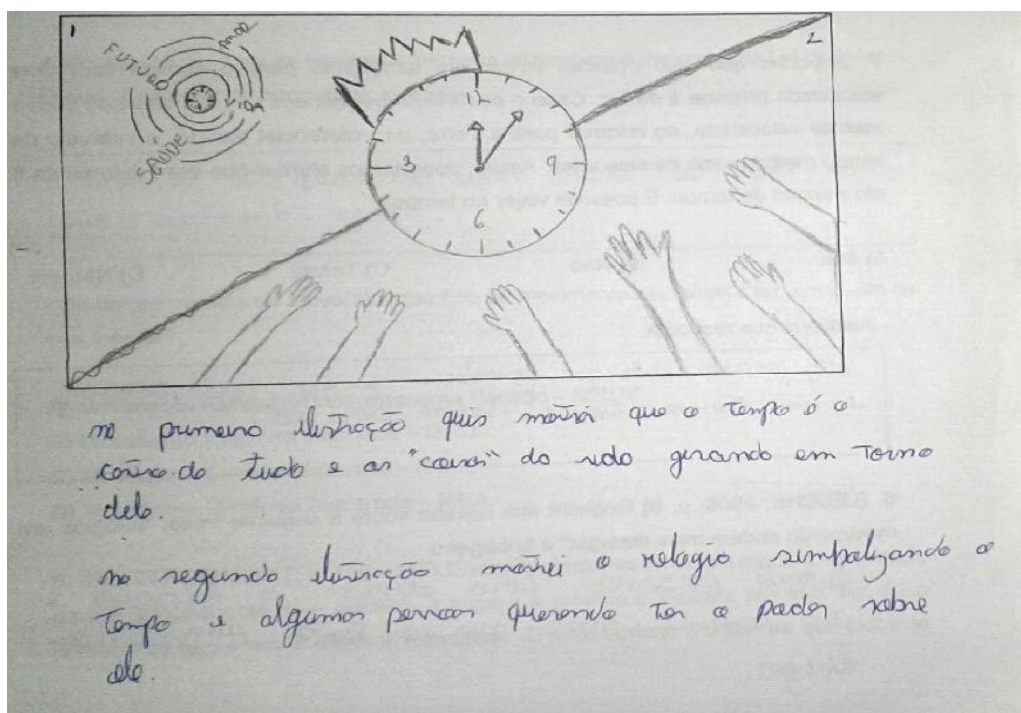
Nessa mesma aula foi aplicado o Questionário de Conhecimentos Prévios, onde a questão 9, solicita uma ilustração do entendimento dos alunos sobre o que é o tempo. A seguir outros desenhos capturados (Figuras 5, 6, 7, 8, 9 e 10)

Figura 5 - Ilustração da Questão 9 – 2º ano



Fonte: da própria autora

Figura 6 - Ilustração da Questão 9 – 2º ano



Fonte: da própria autora.

Figura 7 - Ilustração da Questão 9 – 2º ano

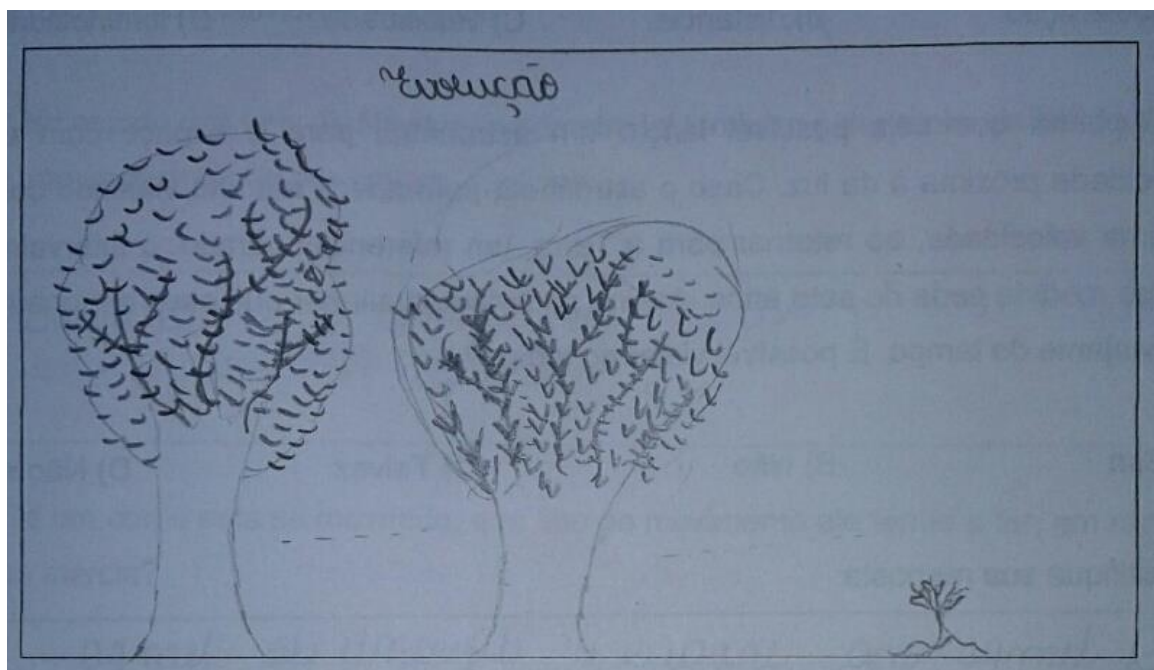
“Todos os dias quando acordo / Não tenho mais o tempo que passou / Mas tenho muito tempo / Temos todo o tempo do mundo / Todos os dias antes de dormir / Lembro e esqueço como foi o dia / Sempre em frente / Não temos tempo a perder /...”

- No diagrama abaixo, faça uma ilustração identificando o que é o tempo para você!

The illustration shows a butterfly with purple wings and a pink body, drawn with fine lines. To the left, there is a green caterpillar with four segments and a striped egg hanging from a branch. The background is filled with light blue and green scribbles.

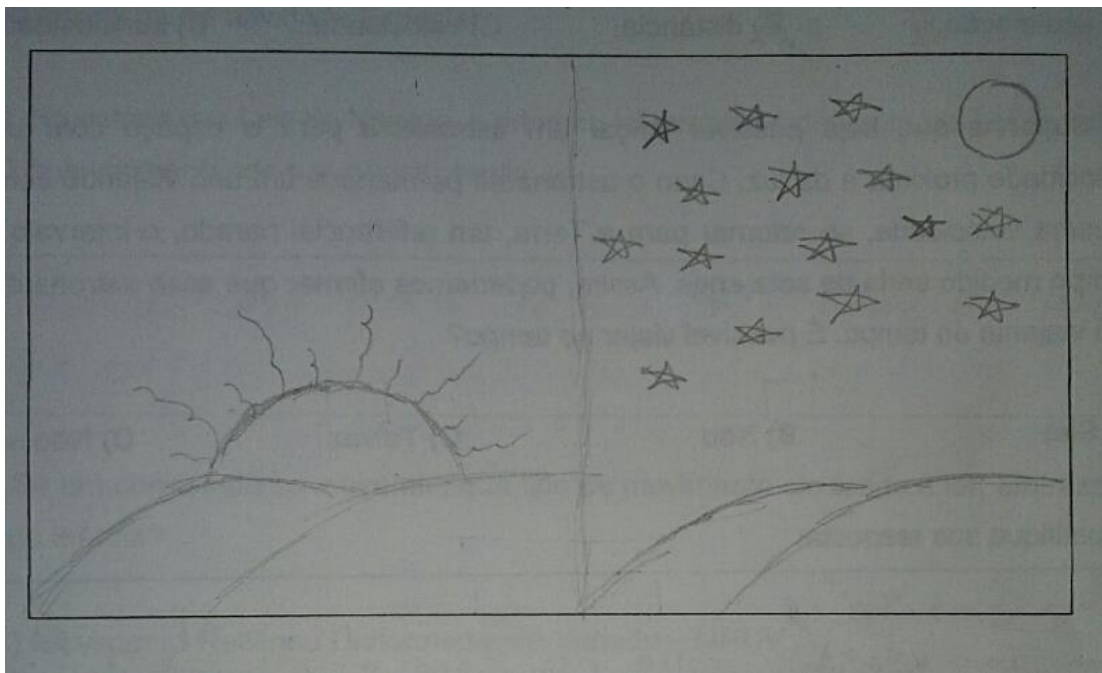
Fonte: da própria autora.

Figura 8 - Ilustração da Questão 9 – 3º ano



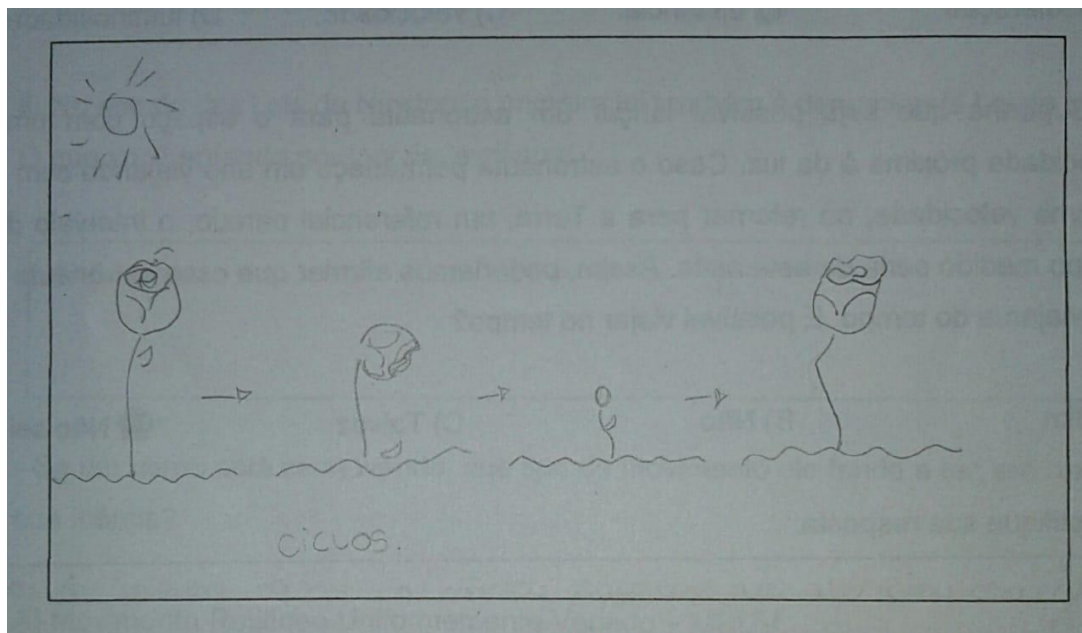
Fonte: da própria autora.

Figura 9 - Ilustração da Questão 9 – 3º ano



Fonte: da própria autora.

Figura 10 - Ilustração da Questão 9 – 3º ano

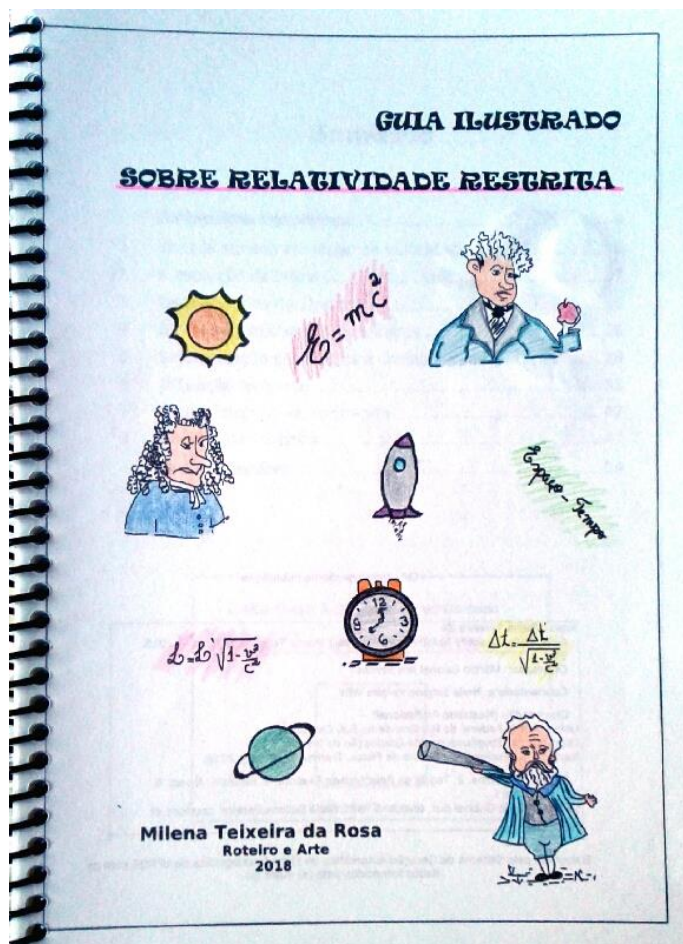


Fonte: da própria autora.

Aula 2

Para que os alunos não esquecessem o guia em casa, a professora recolhia o livro e guardava-os em uma caixa na escola. Por esse motivo os alunos da turma 201 pediram para colorir o guia em sala de aula, conforme a figura 11:

Figura 11 - Colorindo o Guia – 2º ano



Fonte: da própria autora.

Aula 3

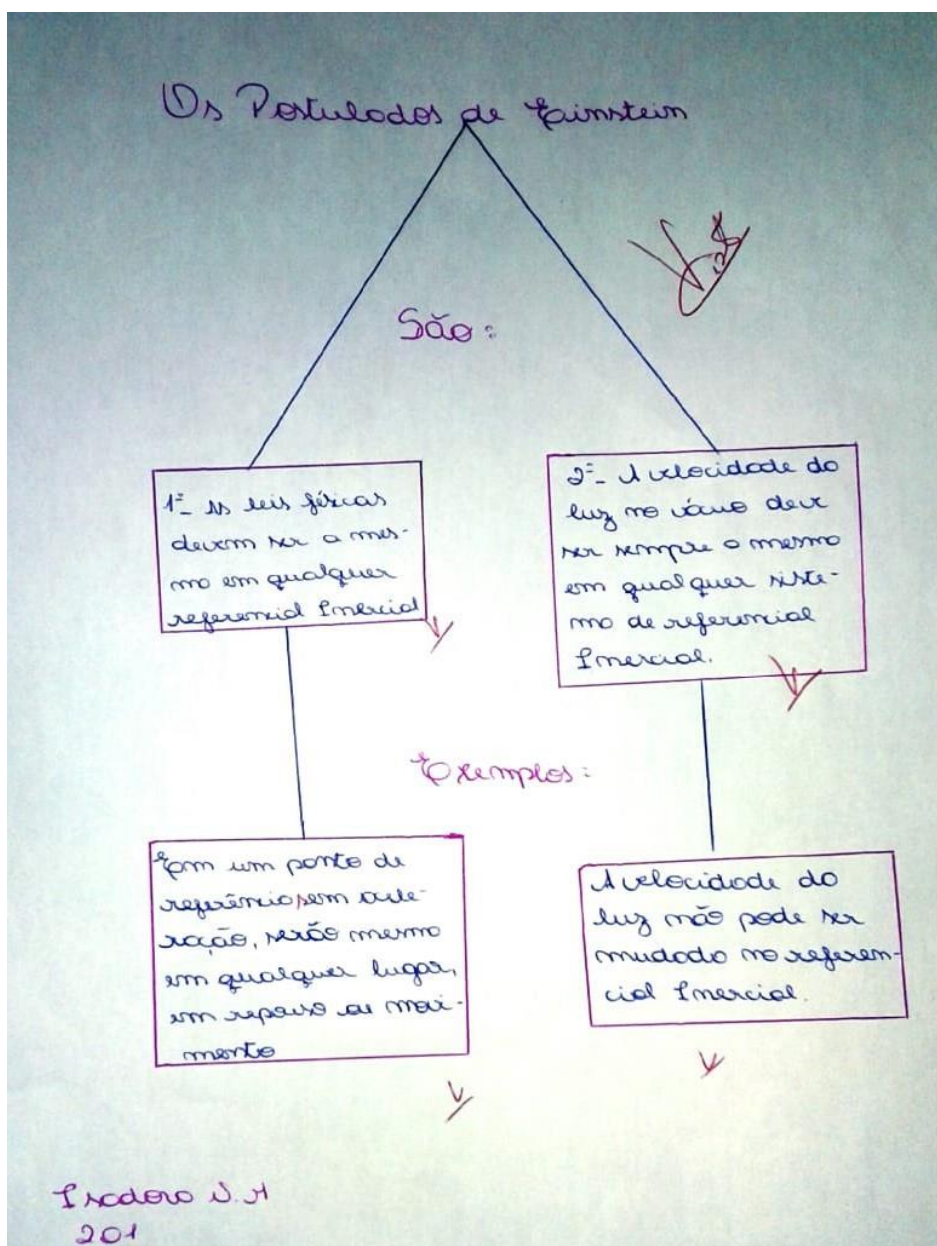
Para iniciar a foi retomada a leitura das páginas no Guia Ilustrado, referente ao tema "Postulados de Einstein" e após foi revisada a atividade extraclasse que havia sido solicitada na aula anterior (atividade constante na página 25 do livro). Discussões, questionamentos e dúvidas foram sanadas nesse momento.

Observação importante:

Verificamos que os alunos têm dificuldades em realizar as atividades extraclasse, por isso, decidimos retomar ou realizar essas atividades no início de cada aula.

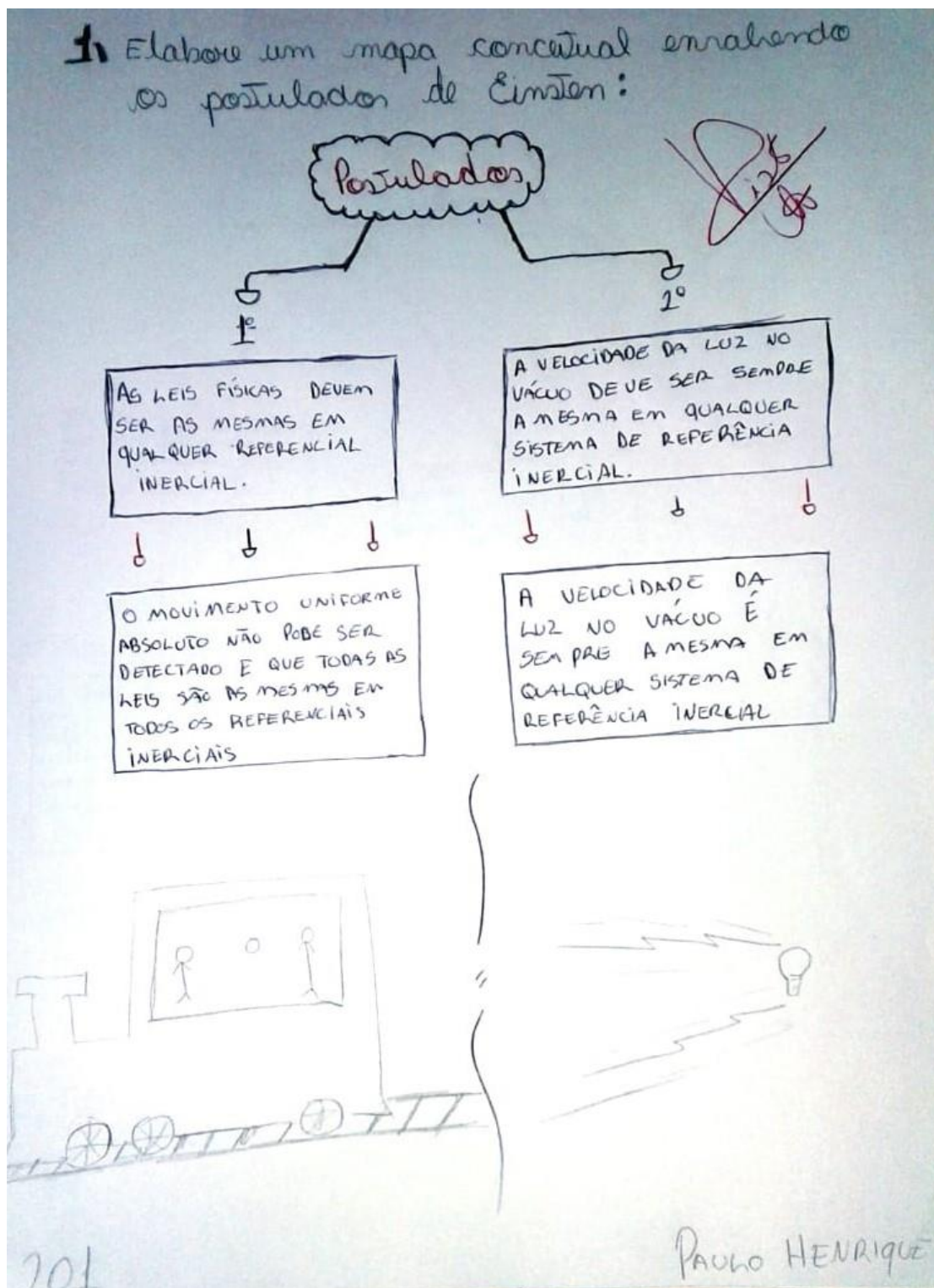
Na sequência da aula os alunos participaram da construção do seu mapa conceitual sobre os Postulados de Einstein (Figura 11, 12 e 13):

Figura 11 - Mapa Conceitual – 2º ano



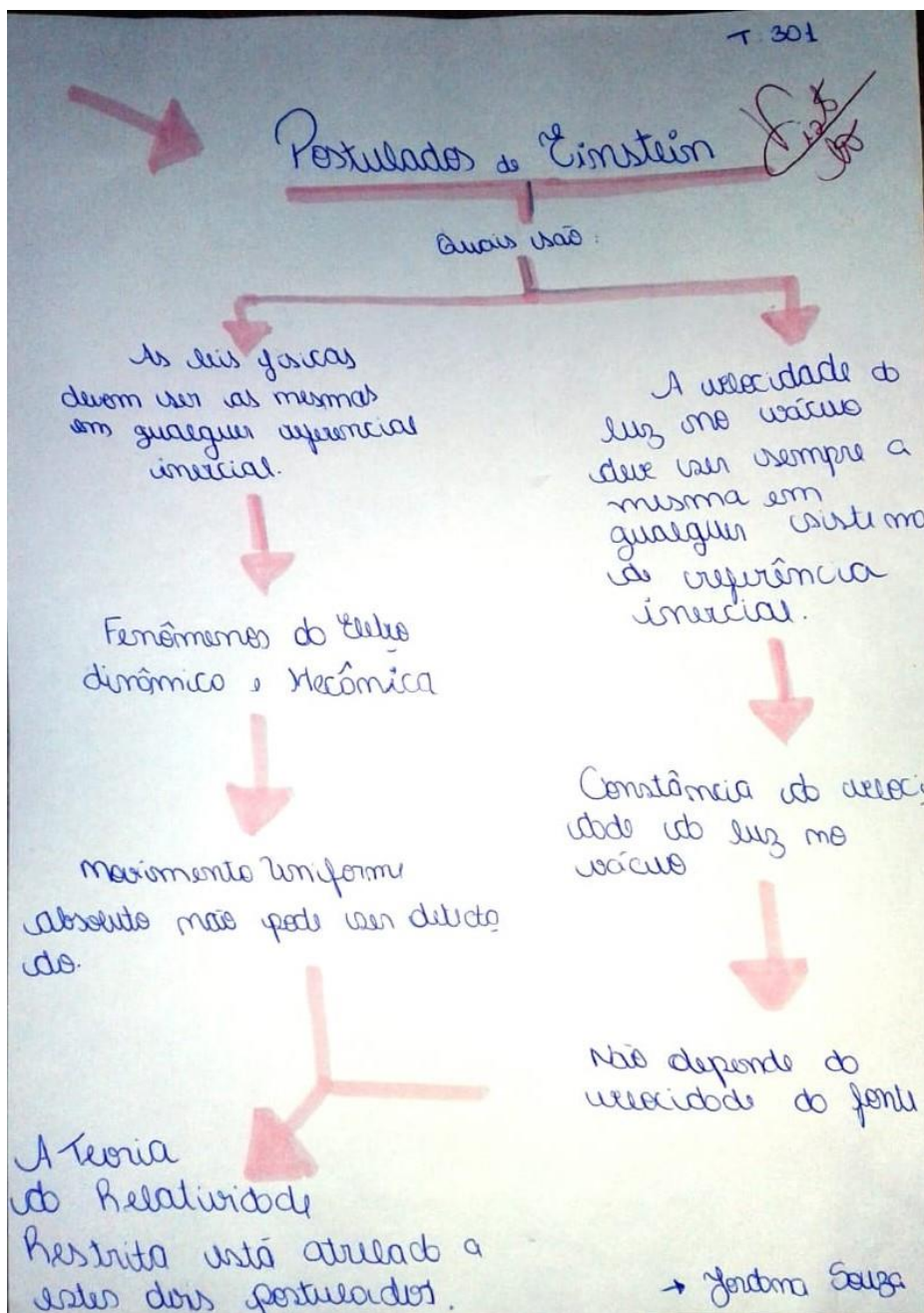
Fonte: da própria autora.

Figura 12 - Mapa Conceitual – 2º ano



Fonte: da própria autora.

Figura 13 - Mapa Conceitual – 3º ano



Fonte: da própria autora.

Aula 4

No 4º encontro fizemos “experiência de pensamento”, como Einstein fazia.

Os alunos das duas turmas focados na atividade em duplas (Fotografias 1, 2, 3, 4 e 5):

Fotografia 1 – Experiência de Pensamento - 2º ano



Fonte: da própria autora.

Fotografia 2 – Experiência de Pensamento – 2º ano



Fonte: da própria autora.

Fotografia 3 – Experiência de Pensamento – 3º ano



Fonte: da própria autora.

Fotografia 4 – Experiência de Pensamento – 3º ano



Fonte: da própria autora.

Fotografia 5 – Experiência de Pensamento – 3º ano



Fonte: da própria autora.

Aula 5

Esta aula foi a aula que mais chamou a atenção dos alunos – Dilatação Temporal.

Nesta aula a linguagem matemática da teoria foi evidenciada:

Nos remetemos a frase de Einstein que “A Matemática pura é, à sua maneira, a poesia das ideias lógicas”¹⁴.

Sem dúvida nenhuma, esse tema foi o mais intrigante e o mais discutido, pois a compreensão do tempo ser relativo ao movimento do observador, foge do senso comum. Tanto que uns alunos disseram não acreditar em isso ser possível. Outros falaram que a dilatação do tempo é tão genial, que estavam maravilhados com a

¹⁴ Frase retirada do livro A Matemática e a Teoria Quântica – Um mundo de possibilidades para as Engenharias, de Angela Maria Wilges (2013, p. 69).

possibilidade de alguém ter conseguido descobrir e explicar tal fenômeno. Discutimos nesse momento a desmitificação do gênio com palavras do próprio Einstein: “Não é que eu sou tão esperto, é que apenas eu fico com os problemas por mais tempo¹⁵.”

Neste encontro, que ocorreu no dia 19 de junho de 2019, tivemos a visita da Coorientadora, Prof^a Dr^a Neila Seliane Pereira Witt, que assistiu a aula e fez registros fotográficos da turma 301 (Fotografias 6 e 7):

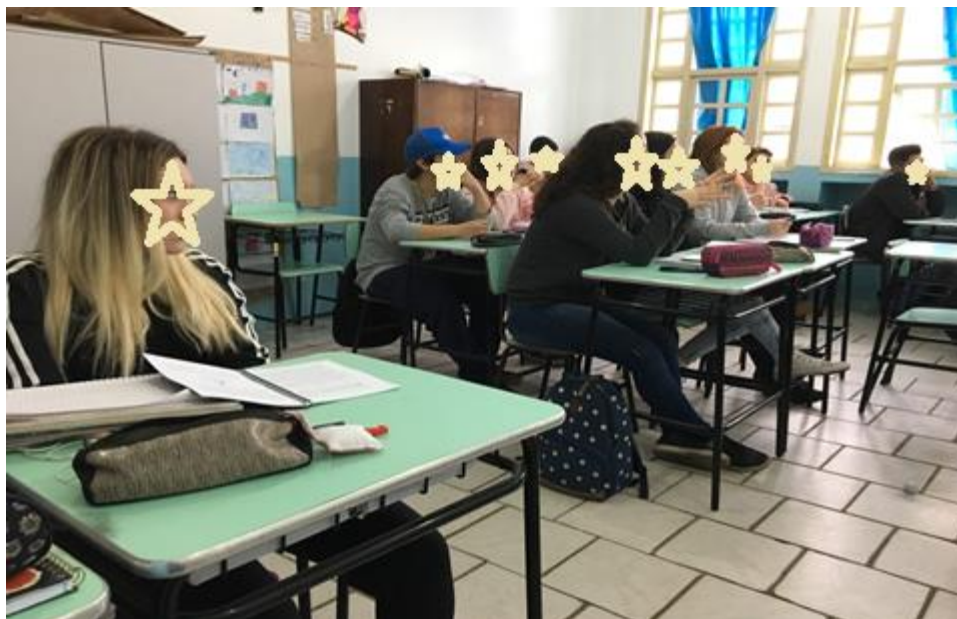
Fotografia 6 – Professora Milena



Fonte: Professora Milena fotografada pela Professora Neila Seliane P. Witt.

15 Frase retirada do livro A Matemática e a Teoria Quântica – Um mundo de possibilidades para as Engenharias, de Angela Maria Wilges (2013, p. 28).

Fotografia 7 - Turma 301 durante a abordagem do tema Dilatação Temporal



Fonte: Fotografia tirada pela Professora Neila Seliane P. Witt.

Aula 6

Na data de 26 de junho de 2019, foi desenvolvido parcialmente o planejamento para essa aula para o 2º ano, em razão de nesse dia os alunos serem dispensados às 10h, motivo entrega de boletins a partir desse horário. Então, estiveram presentes apenas 15 alunos (19 faltaram). Essa situação é frequente na escola, assim como em dias de chuva, poucos alunos vão à escola em razão dos alagamentos (isso é compreensível) ou simplesmente porque inicia a chuva no horário de entrada. Também se os alunos sabem que haverá alguma atividade na escola, que não seja aula em sala de aula, como por exemplo, palestras, gincanas, comemorações, visitas pedagógicas, etc., eles combinam entre si e a maioria não vem nesses dias. Já há alguns anos num esforço da direção e dos professores, estão sendo tomadas providências para mudar essa “cultura” dos alunos e de suas famílias que são permissíveis quanto a isso.

Já para o 3º ano o planejamento não foi desenvolvido motivo presença de apenas 3 alunos. Os demais estudantes, no total de 22, não vieram à escola, em razão de serem dispensados às 10h, motivo entrega de boletins a partir desse horário. Como

já foi mencionado os alunos costumam não comparecer na aula se a mesma não tiver a duração integral da manhã. E, também como o tempo da aula seria de apenas 45 minutos, então, foi feito uma retomada, com esses 3 alunos, envolvendo todos os temas já estudados usando o Guia Ilustrado. Portanto, não avançando no conteúdo nesse dia.

Aula 7

- “Vamos jogar? ” Jogando a gente também aprende! A seguir registro fotográfico do jogo (Fotografias 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15):

Observando que nessa aula a turma 201 após o jogo realizou a avaliação escrita.

Fotografia 8 – Jogando a Roleta do Desafio - 2º ano



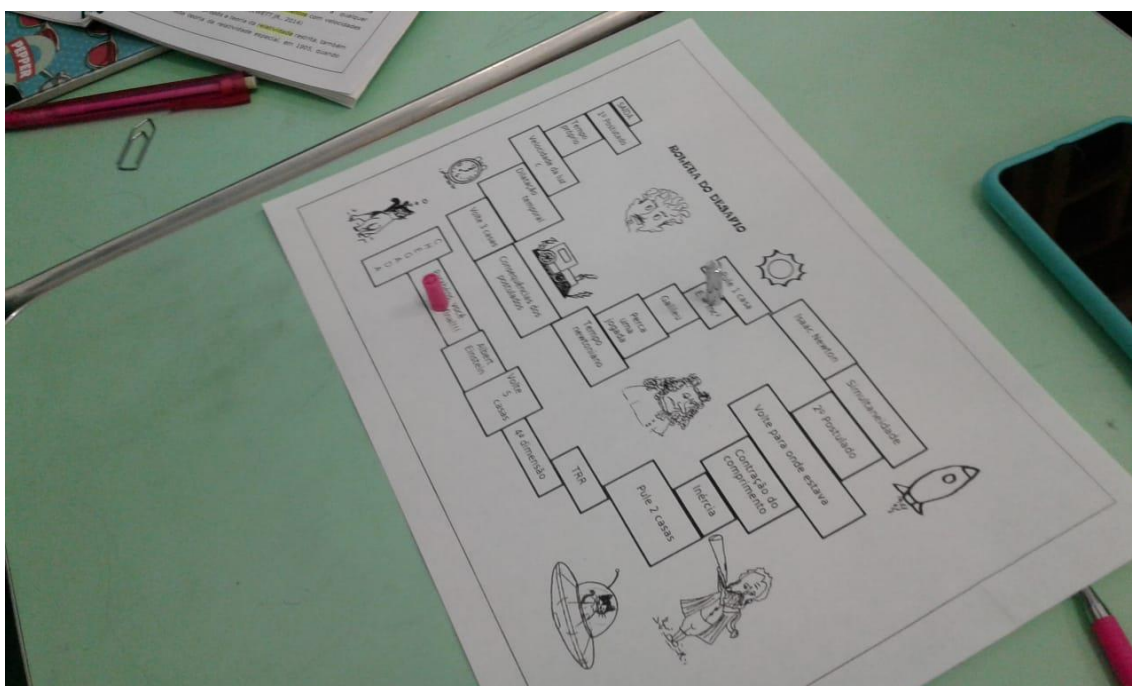
Fonte: da própria autora.

Fotografia 9 – Jogando a Roleta do Desafio – 2º ano



Fonte: da própria autora.

Fotografia 10 – Jogando a Roleta do Desafio – 2º ano



Fonte: da própria autora.

Fotografia 11 – Jogando a Roleta do Desafio – 3º ano



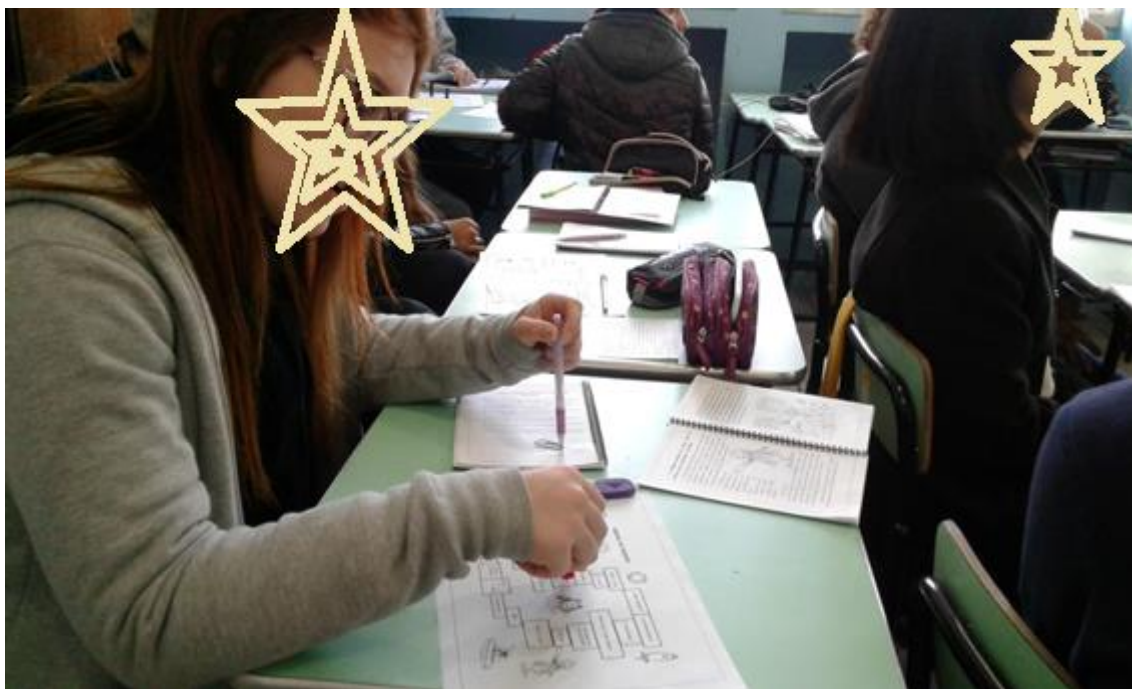
Fonte: da própria autora.

Fotografia 12 – Jogando a Roleta do Desafio – 3º ano



Fonte: da própria autora.

Fotografia 13 – Jogando a Roleta do Desafio – 3º ano



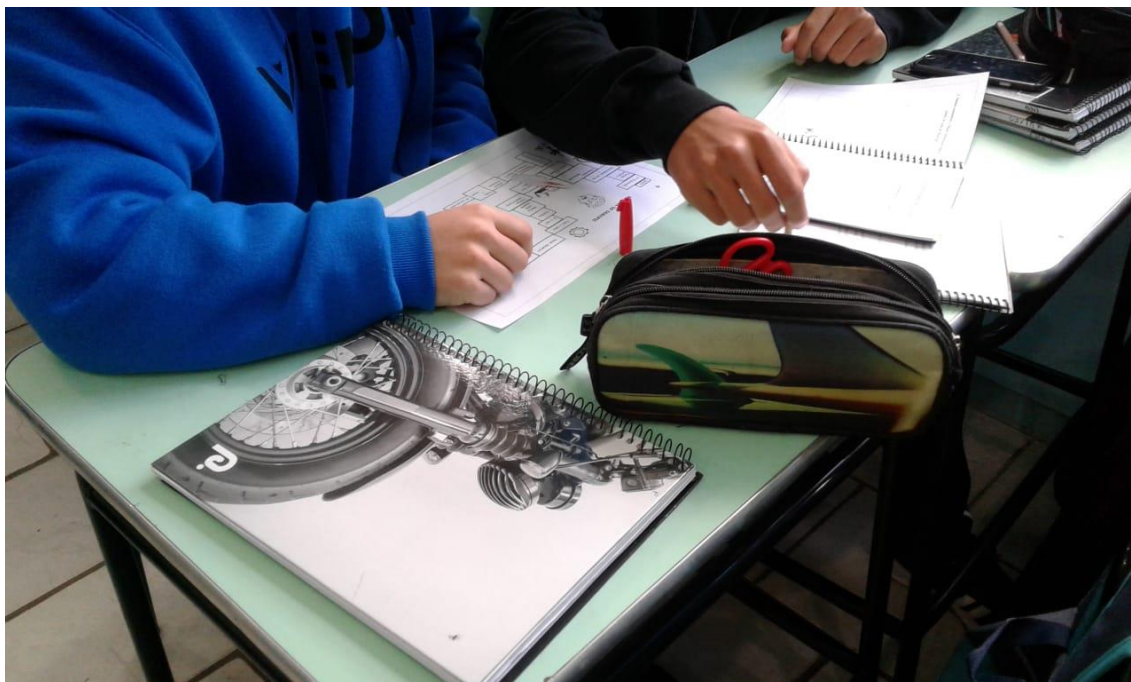
Fonte: da própria autora.

Fotografia 14 – Jogando a Roleta do Desafio – 3º ano



Fonte: da própria autora.

Fotografia 15 – Jogando a Roleta do Desafio – 3º ano



Fonte: da própria autora.

Um aluno do 3º ano ao perceber que essa atividade era a última no Guia Ilustrado, manifestou-se: - “ Professora, já acabou o Guia? ... Aaaaaah, eu queria mais!!!”

Aula 8

A proposta desse encontro para a turma 201 foi de realização de atividade colaborativa em grupo, favorecendo uma reconciliação integrativa através da elaboração de mapa conceitual (em um cartaz) elencando um dos temas estudados, onde os grupos puderam escolher qual tema de trabalho. Após a elaboração dos cartazes, os grupos fizeram a apresentação das ideias para o grande grupo.

Como lembrança de nosso projeto foi oferecido a cada aluno um lápis com a imagem de Albert Einstein.

Abaixo o registro das atividades (Fotografias 16, 17, 18, 19, 20, 21 e 22 – Figuras 13, 14, 15 e 16):

Fotografia 16 – Elaborando o Mapa Conceitual - 201



Fonte: da própria autora.

Fotografia 17 – Elaborando o Mapa Conceitual - 201



Fonte: da própria autora.

Fotografia 18 – Elaborando o Mapa Conceitual - 201



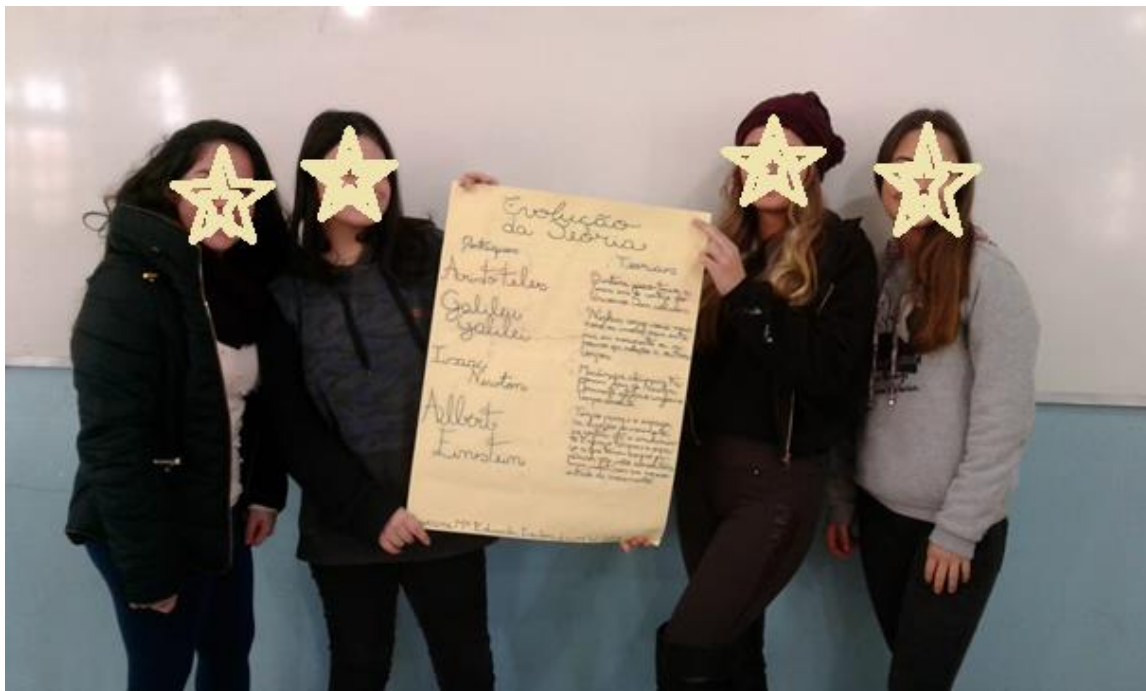
Fonte: da própria autora.

Fotografia 19 – Elaborando o Mapa Conceitual - 201



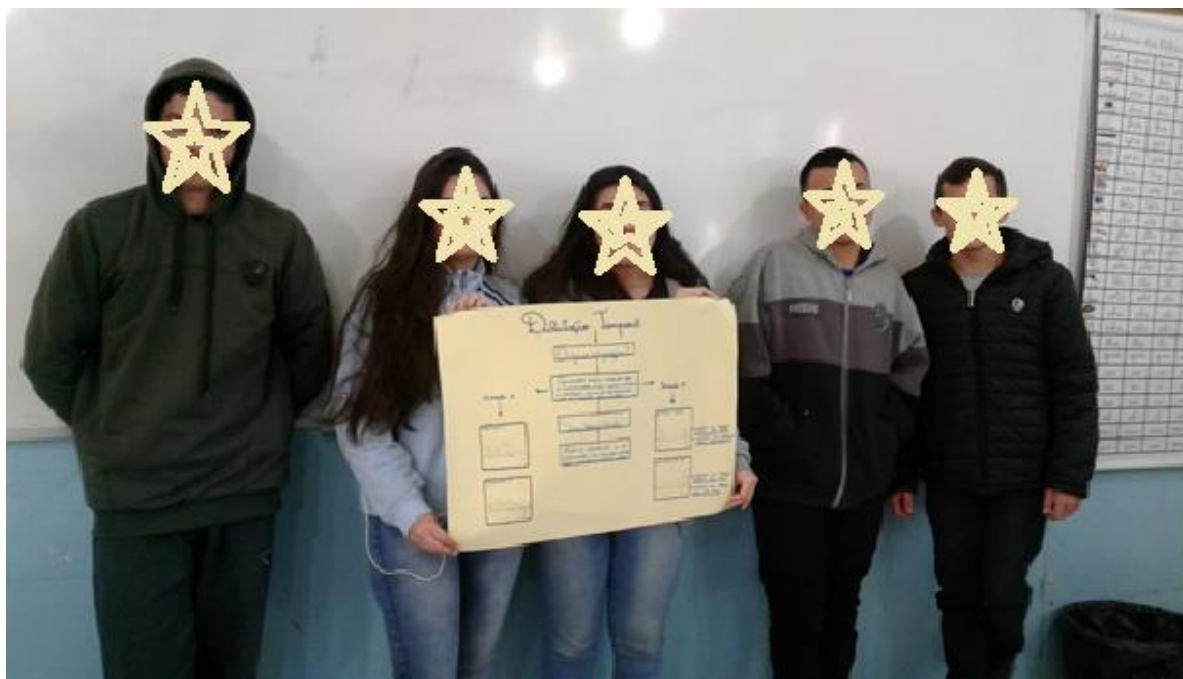
Fonte: da própria autora.

Fotografia 20 – Apresentando o Mapa Conceitual - 201



Fonte: da própria autora.

Fotografia 21 – Apresentando o Mapa Conceitual - 201



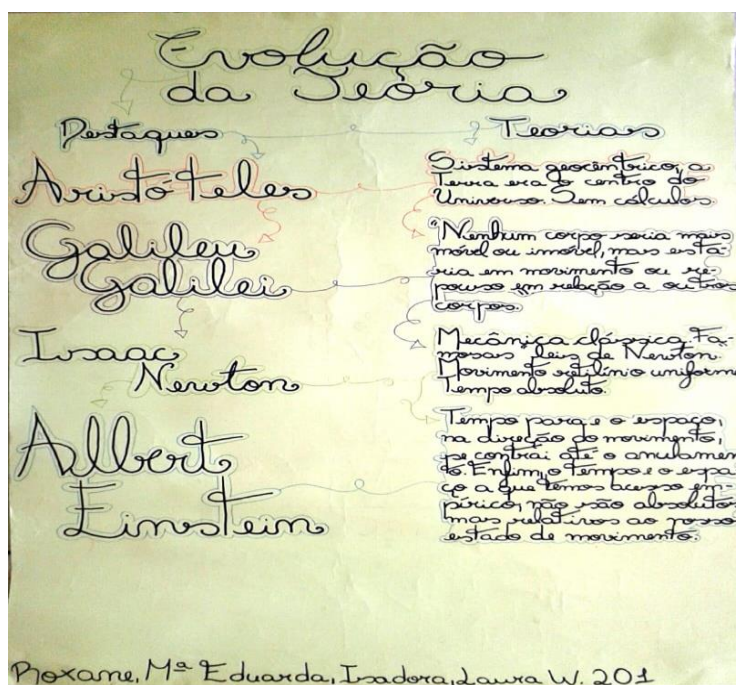
Fonte: da própria autora.

Fotografia 22 – Apresentando o Mapa Conceitual - 201



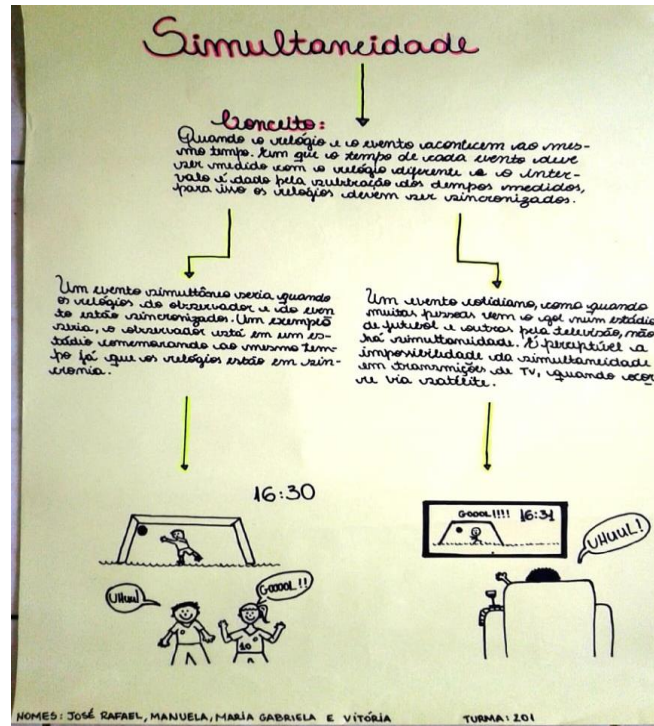
Fonte: da própria autora.

Figura 13 – Mapa Conceitual - Evolução da Teoria - 201



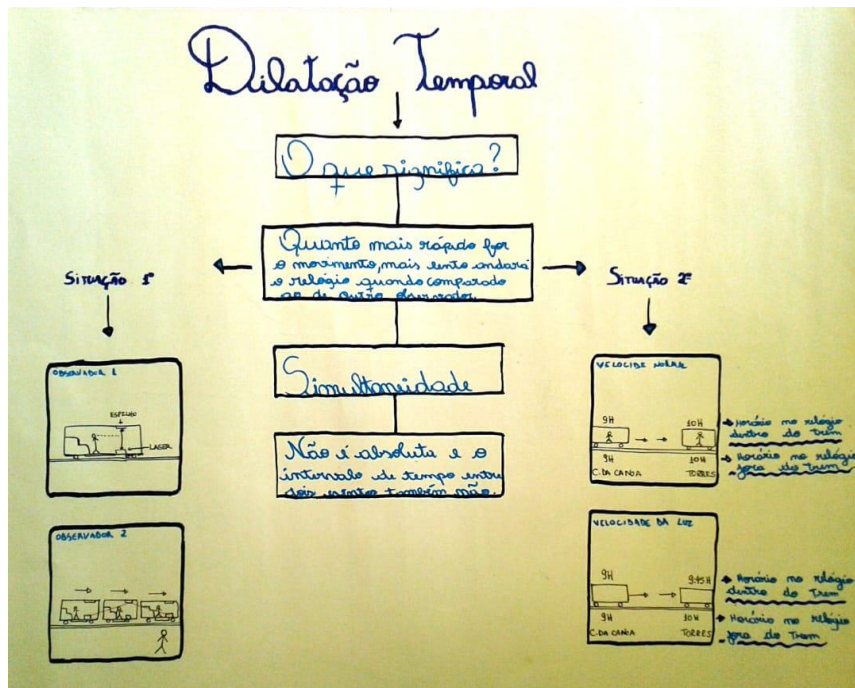
Fonte: da própria autora.

Figura 14 – Mapa Conceitual – Simultaneidade - 201



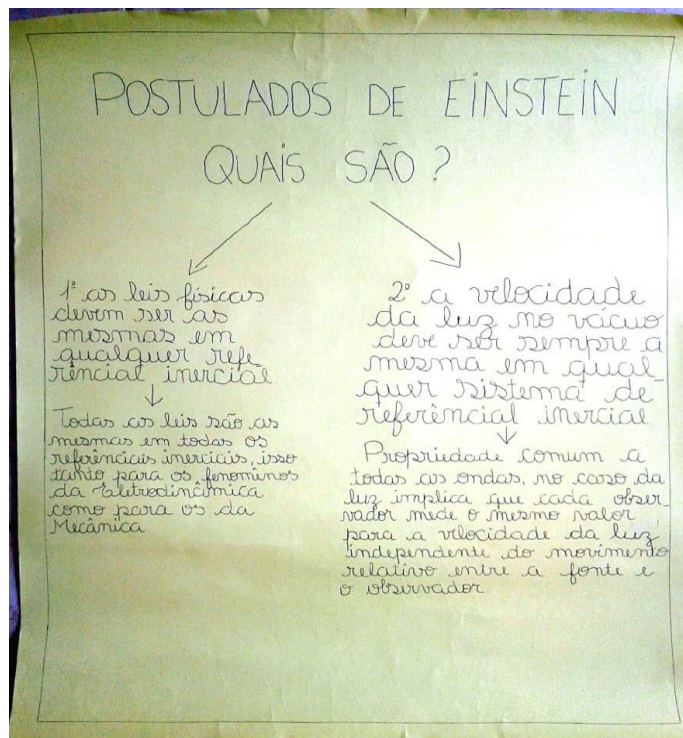
Fonte: da própria autora.

Figura 15 – Mapa Conceitual – Dilatação Temporal - 201



Fonte: da própria autora.

Figura 16 – Mapa Conceitual – Postulados - 201



Fonte: da própria autora.

Abaixo o registro das atividades realizadas pela turma 301 (Fotografias 23, 24, 25, 26, 27, 28 e 29 – Figuras 17 e 18):

Fotografia 23 – Realizando a Atividade Avaliativa - 301



Fonte: da própria autora.

Fotografia 24 – Realizando a Atividade Avaliativa - 301



Fonte: da própria autora.

Fotografia 25 – Elaborando o Mapa Conceitual - 301



Fonte: da própria autora.

Fotografia 26 – Elaborando o Mapa Conceitual - 301



Fonte: da própria autora.

Fotografia 27 – Elaborando o Mapa Conceitual - 301



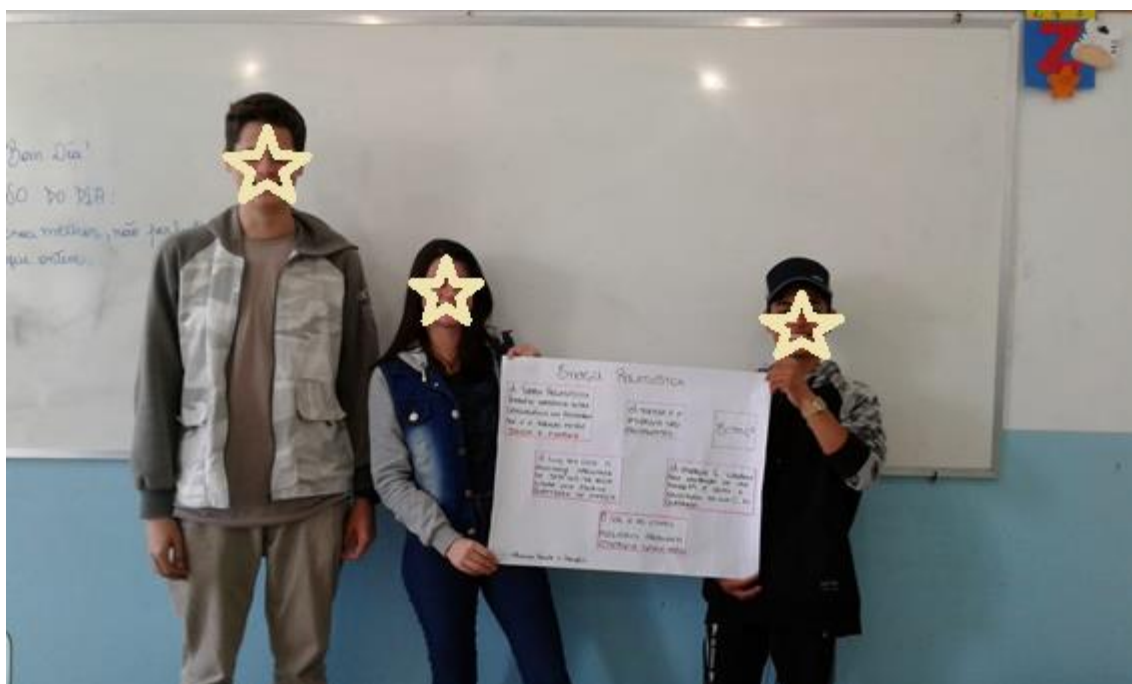
Fonte: da própria autora.

Fotografia 28 – Apresentando o Mapa Conceitual - 301



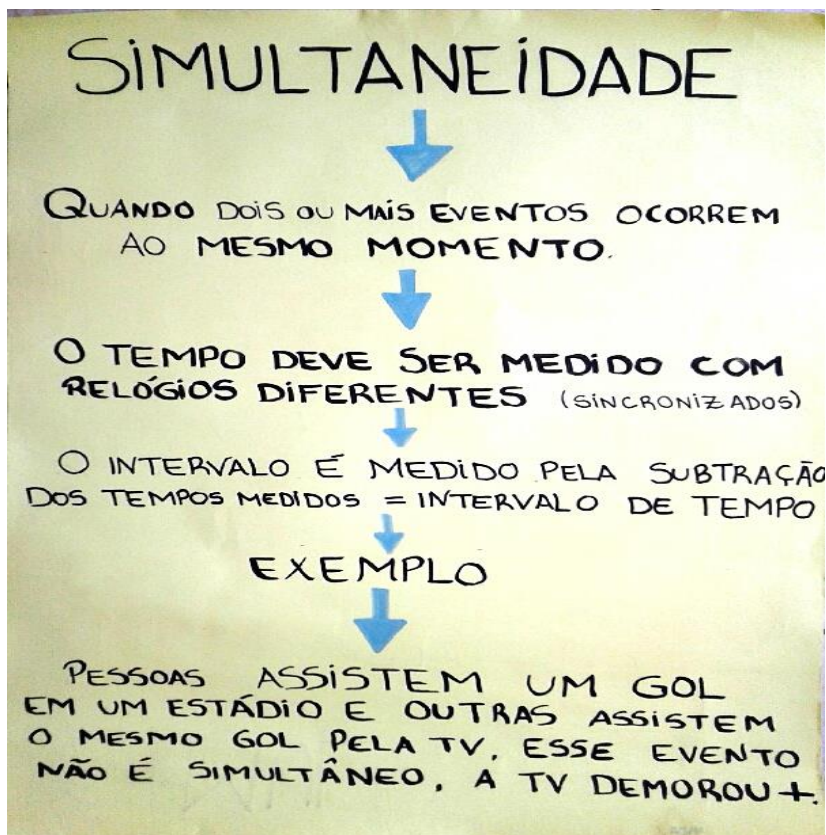
Fonte: da própria autora.

Fotografia 29 – Apresentando o Mapa Conceitual - 301



Fonte: da própria autora.

Figura 17 – Mapa Conceitual – Simultaneidade – 301



Fonte: da própria autora

Figura 18 – Mapa Conceitual – Postulados da Teoria - 301



Fonte: da própria autora