



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



Andrios Bemfica dos Santos

**A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA EM UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO
POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA COM O USO DE HISTÓRIAS EM
QUADRINHOS**

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.

Profa. Dra. Neila Seliane Pereira Witt

Orientadora

Prof. Dr. Marcio Gabriel dos Santos

Coorientador

Tramandaí

Março de 2019

Andrios Bemfica dos Santos

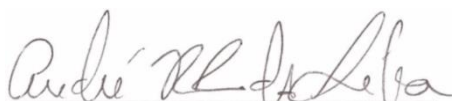
**A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA EM UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO
POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA COM O USO DE HISTÓRIAS EM
QUADRINHOS**

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 29 de março de 2019 por:



Profa. Dra. Neila Seliane Pereira Witt – Presidente da Banca – MNPEF-UFRGS/CLN



Prof. Dr. André Ricardo Rocha da Silva – IMEF-FURG



Profa. Dra. Karen Cavalcanti Tauceda – MNPEF-UFRGS/CLN



Profa. Dra. Liane Ludwig Loder – MNPEF-UFRGS/CLN

FICHA CATALOGRÁFICA

CIP - Catalogação na Publicação

Santos, Andrios Bemfica dos
A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA EM UMA SEQUÊNCIA
DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA COM O USO DE
HISTÓRIAS EM QUADRINHOS / Andrios Bemfica dos Santos.
-- 2019.
195 f.
Orientadora: Neila Seliane Pereira Witt.

Coorientador: Marcio Gabriel dos Santos.

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,
2019.

1. TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA . 2. TEORIA DA
APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA. 3. ENSINO DE FÍSICA. 4.
HISTÓRIAS EM QUADRINHOS. 5. FÍSICA MODERNA E
CONTEMPORÂNEA. I. Witt, Neila Seliane Pereira, orient.
II. Santos, Marcio Gabriel dos, coorient. III.

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

Dedico esta dissertação a todos os meus alunos,
de ontem, de hoje e de amanhã.
Este trabalho só tem sentido de existir por vocês.

AGRADECIMENTOS

À minha querida Profa. Dra. Neila Seliane Pereira Witt, por dedicar parte de seu tempo na orientação deste trabalho, por ter confiado em mim desde o início, enquanto pessoa e professor estudante, contribuindo para o meu crescimento pessoal e profissional.

Ao coordenador do programa e coorientador deste trabalho, Prof. Dr. Marcio Gabriel dos Santos, pela confiança e importantes contribuições.

Aos professores do MNPEF – UFRGS, pelo que cada um, à sua maneira, contribuiu para minha formação, a partir de seus conhecimentos científicos e vivências.

Aos professores membros da banca de qualificação da dissertação, Profa. Dra. Karen Cavalcanti Tauceda, Prof. Dr. Rafael Aislan Amaral e Prof. Dr. Jorge Rodolfo Silva Zabadal e da banca examinadora da defesa da dissertação Profa. Dra. Karen Cavalcanti Tauceda, Profa. Dra. Liane Ludwig Loder e Prof. Dr. André Ricardo Rocha da Silva, pela disponibilidade em conhecer e avaliar este trabalho e pelas ricas contribuições.

À UFRGS e SBF, pela oportunidade de crescimento e aprimoramento na profissão.

À CAPES, pelo incentivo financeiro por meio de bolsa de mestrado concedida.

Aos amigos ilustradores Camila Ceroni, Maristela Gemerasca e Lucas Gemerasca, que com seu talento, abrilhantaram este trabalho.

À minha família: meus pais, Vera Bemfica e Celso Barrufi, padrasto Romalino, meus irmãos Greice Bemfica e Celso Barrufi Junior, meus cunhados Ezequiel Antoni e Michele Mantovani, minhas sobrinhas Giselly Rita e Laura Rita, e sogros Lauro Gayer e Nair Rost. A vocês minha eterna gratidão pelo amor, incentivo e pelos ensinamentos preciosos de vida que me dão.

Aos amigos, pelo amor, por vibrarem com minhas conquistas e pela paciência ao compreenderem meus momentos de ausência por conta deste trabalho.

À secretária de educação e cultura de Tramandaí, Alvanira Ferri Gamba e todos os queridos colegas da equipe da SMEC, pelo incentivo que sempre me deram nesta caminhada.

E ao amor da minha vida, meu amigo, meu companheiro, meu marido, Ivan Gayer, por estar em todos os momentos ao meu lado, pelo incentivo, pela paciência, por existir na minha vida.

A todos vocês minha gratidão!

RESUMO

Este trabalho resulta do desenvolvimento e aplicação de um produto educacional vinculado ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, UFRGS. O ensino da física moderna e contemporânea vem ganhando espaço nas aulas do ensino médio, em parte, devido a necessidade dos estudantes acompanharem os avanços tecnológicos e científicos que estão presentes em nossas vidas e na sociedade. Muitos dos conhecimentos tecnológicos e científicos fundamentam-se em temas da física, entre eles, a teoria da relatividade restrita proposta por Einstein. É na esteira desta tendência no ensino de física que este estudo se insere. Propõe-se, portanto, como estratégia de ensino facilitadora e potencialmente significativa, uma sequência didática com atividade de criação de histórias em quadrinhos para abordagem da teoria da relatividade. Esta sequência didática e as atividades de construção de histórias em quadrinhos foram realizadas com estudantes do primeiro ano do ensino médio, de uma escola estadual do município de Tramandaí, RS. Em consonância com a teoria da aprendizagem significativa proposta por Ausubel, as histórias em quadrinhos ao serem construídas pelos estudantes durante uma sequência didática, favorecem o processo de reconciliação integradora, visto que possibilitam que a aprendizagem aconteça na relação de conceitos, a partir de suas compreensões e significados sobre a teoria da relatividade restrita. Neste sentido, o presente trabalho sugere uma estratégia que objetiva possibilitar uma interação entre os conceitos estudados, na medida em que proporciona meios para que o estudante possa mobilizar suas aprendizagens e compreensões sobre os fenômenos físicos estudados. Também apresenta uma forma alternativa para a abordagem deste tópico da física moderna e contemporânea, de modo que os estudantes possam compreender a construção do conhecimento físico como um processo histórico, e parte integrante da cultura atual, possibilitando o entendimento das formas pelas quais a física nos leva a interpretar fenômenos naturais que são objetos de estudo desta teoria.

Palavras-chave: Teoria da Relatividade Restrita. Teoria da aprendizagem significativa. Histórias em quadrinhos.

ABSTRACT

This work results from the development and application of an educational product linked to the National Professional Master's Degree in Physics Teaching, UFRGS. The teaching of modern and contemporary physics has been gaining ground in high school classes in part because of the need for students to keep up with the technological and scientific advances that are present in our lives and in society. Many of the scientific and technological knowledges are based on physics topics, among them, the restricted theory of relativity proposed by Einstein. It is in the wake of this tendency in the teaching of physics that this study is inserted. It is proposed, therefore, as a facilitating and potentially significant teaching strategy, a didactic sequence with the activity of creating comics to approach the theory of relativity. This didactic sequence and comic book construction activities were carried out with students of the first year of high school, from a state school in the municipality of Tramandaí, RS. In line with the theory of meaningful learning proposed by Ausubel, the comic books to be constructed by the students during a sequence didactic, favor the process of integrative reconciliation, since they allow learning to happen in the relation of concepts, from their understandings and meanings about the theory of restricted relativity. In this sense, the present work suggests a strategy that aims to allow an interaction between the concepts studied, in that it provides means for the student to mobilize their learning and understandings about the physical phenomena studied. It also presents an alternative way to approach this topic of modern and contemporary physics, so that students can understand the construction of physical knowledge as a historical process, and an integral part of the current culture, making possible the understanding of the ways in which physics leads to the interpretation of natural phenomena that are objects of study of this theory.

Keywords: Theory of Restricted Relativity. Theory of meaningful learning. Comic books.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Dois sistemas de referenciais inerciais S e S', com S' movendo-se com velocidade \vec{v} em relação a S.....	24
Figura 2: Dois sistemas de referenciais inerciais S e S', com S' movendo-se com velocidade \vec{v} em relação a S. As extremidades de uma régua situada paralelamente aos eixos X e X' possuem coordenadas x_1 e x_2 em S e x'_1 e x'_2 em S'.....	28
Figura 3: Dois relógios idênticos A e B, separados por uma distância L_0	30
Figura 4: Representação do estudante AR para a questão 3 B.....	53
Figura 5: Representação do estudante ET para a questão 3 B.....	53
Figura 6: Representação do estudante EB para a questão 3 B.....	54
Figura 7: Representação do estudante VX para a questão 3 B.....	55
Figura 8: Representação do estudante AC para a questão 3 B.....	56
Figura 9: Representação do estudante FB para a questão 3 B.....	56
Figura 10: Representação do estudante GJ para a questão 3 B.....	57
Figura 11: Representação do estudante RL para a questão 3 B.....	57
Figura 12: Resolução do estudante JS, para a quinta questão.....	69
Figura 13: Resolução do estudante EA, para a quinta questão.....	69
Figura 14: Resolução do estudante AC, para a quinta questão.....	69
Figura 15: Resolução do estudante VE, para a sexta questão.....	70
Figura 16: Resolução do estudante MB, para a sexta questão.....	70
Figura 17: Resolução do estudante MB, para a sexta questão.....	71
Figura 18: História em quadrinhos criada pelos estudantes NG, MG e AC.....	75
Figura 19: História em quadrinhos criada pelos estudantes NG, MG e AC.....	76
Figura 20: História em quadrinhos criada pelos estudantes ES, EV e FG.....	77
Figura 21: História em quadrinhos criada pelos estudantes ES, EV e FG.....	78
Figura 22: História em quadrinhos criada pelos estudantes ES, EV e FG.....	79
Figura 23: História em quadrinhos criada pelos estudantes ES, EV e FG.....	80
Figura 24: História em quadrinhos criada pelos estudantes PH, JP e MB.....	82
Figura 25: História em quadrinhos criada pelas estudantes SC, RM e AA.....	83
Figura 26: História em quadrinhos criada pelas estudantes SC, RM e AA.....	84
Figura 27: Raio de luz sendo observado por dois observadores em referenciais inerciais.....	130

Figura 28: Situação envolvendo a dilatação temporal.....	132
Figura 29: Raio de luz sendo observado por dois observadores em referenciais inerciais distintos.....	133
Figura 30: Detalhe da trajetória da luz para o observador A.....	134
Figura 31: Situação envolvendo o paradoxo dos gêmeos.....	136
Figura 32: Continuação da situação exposta na Figura 31.....	137
Figura 33: Situação envolvendo a relatividade do comprimento.....	138
Figura 34: Tela do simulador “O suspeito é o tempo”.....	140
Figura 35: Caricaturas de Aristóteles, Galileu, Newton e Einstein.....	142
Figura 36: Situação para análise da velocidade da luz.....	144
Figura 37: Balões de fala.....	147
Figura 38: Balões de pensamento.....	147
Figura 39: Balões cochicho.....	148
Figura 40: Balões berro.....	148
Figura 41: Balões trêmulo.....	149
Figura 42: Balões de linhas quebradas.....	149
Figura 43: Balões glacial.....	149
Figura 44: Balões uníssono.....	150
Figura 45: Balões intercalados.....	150
Figura 46: Balões duplos.....	151
Figura 47: Exemplo de diagramação.....	152
Figura 48: Exemplo de onomatopeias.....	153
Figura 49: Professor dando abertura ao seminário de apresentação das histórias em quadrinhos.....	157
Figura 50: Estudantes apresentando suas histórias em quadrinhos.....	158
Figura 51: Estudantes apresentando suas histórias em quadrinhos.	158
Figura 52: Estudante apresentando sua história em quadrinhos.	159
Figura 53: Estudantes respondendo ao questionário sobre a proposta.	160
Figura 54: Estudantes respondendo ao questionário sobre a proposta.	160
Figura 55: História em quadrinhos criada pelos estudantes VX, EA e EF.....	161
Figura 56: História em quadrinhos criada pelos estudantes VX, EA e EF.....	162
Figura 57: História em quadrinhos criada pelos estudantes VX, EA e EF.....	163
Figura 58: História em quadrinhos criada pelos estudantes VX, EA e EF.....	164
Figura 59: História em quadrinhos criada pelos estudantes VX, EA e EF.....	165

Figura 60: História em quadrinhos criada pelos estudantes VX, EA e EF.....	166
Figura 61: História em quadrinhos criada pelos estudantes AM, TM e YL.....	167
Figura 62: História em quadrinhos criada pelos estudantes KM, MS E BG.....	168
Figura 63: História em quadrinhos criada pelos estudantes KM, MS E BG.....	169
Figura 64: História em quadrinhos criada pelos estudantes JS, RL e RP.....	170
Figura 65: História em quadrinhos criada pelos estudantes JS, RL e RP.....	171
Figura 66: História em quadrinhos criada pelos estudantes MM, MB e NM.....	172
Figura 67: História em quadrinhos criada pelos estudantes EA, DR e GS.....	173
Figura 68: História em quadrinhos criada pelos estudantes EA, DR e GS.....	174
Figura 69: História em quadrinhos criada pelos estudantes EA, DR e GS.....	175
Figura 70: História em quadrinhos criada pelos estudantes AB, FD e AR.....	176
Figura 71: História em quadrinhos criada pelos estudantes AB, FD e AR.....	176
Figura 72: História em quadrinhos criada pelos estudantes IS, AR e KS	177
Figura 73: História em quadrinhos criada pelos estudantes IS, AR e KS.....	178

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Etapas de implementação do produto educacional.....	36
Tabela 2 – Etapas de implementação do produto educacional.....	108

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Respostas dos estudantes para a questão 1.....	45
Gráfico 2: Respostas dos estudantes para a questão 2, afirmativa A.....	47
Gráfico 3: Respostas dos estudantes para a questão 2, afirmativa B.....	48
Gráfico 4: Respostas dos estudantes para a questão 2, afirmativa C.....	48
Gráfico 5: Respostas dos estudantes para a questão 2, afirmativa D.....	49
Gráfico 6: Respostas dos estudantes para a questão 2, afirmativa E.....	49
Gráfico 7: Respostas dos estudantes para a questão 2, afirmativa F.....	50
Gráfico 8: Respostas dos estudantes para a questão 3 A.....	51
Gráfico 9: Respostas dos estudantes para a questão 3 B.....	52
Gráfico 10: Respostas dos estudantes para a questão 4.....	58
Gráfico 11: Respostas dos estudantes para a questão 6.....	60
Gráfico 12: Respostas dos estudantes para a questão 7.....	61
Gráfico 13: Respostas dos estudantes para a questão 8.....	62
Gráfico 14: Classificação das respostas dos estudantes para as questões dos assuntos abordados na etapa de sistematização e aprofundamento de conceitos da TRR.....	65
Gráfico 15: Quantidade de estudantes por percentual de acertos no questionário de identificação na aprendizagem dos assuntos abordados na etapa de sistematização e aprofundamento de conceitos da TRR.....	65
Gráfico 16: Quantidade de histórias em quadrinhos por assunto.	85
Gráfico 17: Considerações dos estudantes sobre a proposta desenvolvida.	86

LISTA DE SIGLAS

HQ	História em Quadrinhos
IES	Instituição de Ensino Superior
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
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
SBF	Sociedade Brasileira de Física
TRR	Teoria da Relatividade Restrita
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REFERENCIAL TEÓRICO	4
2.1	Teoria da Aprendizagem Significativa	4
2.2	Teoria da Relatividade Restrita como tópico da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio	8
2.2.1	A Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio	8
2.2.2	Aspectos legais na inserção da Teoria da Relatividade Restrita no Ensino Médio.....	11
2.3	O uso das histórias em quadrinhos no ensino	13
2.3.1	A história das histórias em quadrinhos no contexto educacional.....	14
2.3.2	As histórias em quadrinhos como espaço e ferramentas de aprendizagens.....	17
3	A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA	21
3.1	Os Postulados da Relatividade	22
3.2	As Transformações de Lorentz	23
3.3	A Dilatação do Tempo	26
3.4	A Contração do Comprimento	28
3.5	A Relatividade da Simultaneidade	30
4	METODOLOGIA	32
4.1	A proposta metodológica do MNPEF	33
4.2	A instituição de ensino da aplicação do produto educacional	34
4.3	A organização da aplicação do produto educacional	35
5	APLICAÇÃO DO PRODUTO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	37
5.1	Descrição da aplicação da sequência didática	37
5.2	Análise dos conhecimentos prévios dos estudantes	43
5.3	Análise das aprendizagens a partir da sequência didática	63
5.4	Análise das histórias em quadrinhos construídas pelos estudantes	73
5.5	Reflexão dos estudantes sobre a proposta	86
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
	REFERÊNCIAS	96
	APÊNDICES E ANEXOS	97
	REFERÊNCIAS DOS APÊNDICES	186

1 INTRODUÇÃO

Na área da educação a busca por novas estratégias facilitadoras para o desenvolvimento das aprendizagens e que também despertem o interesse dos estudantes da educação básica, tem exigido dos professores um cuidado especial sobre as propostas de intervenção em sala de aula. Propostas de atividades preponderantemente baseadas em métodos tradicionais de ensino, que não contemplem uma interação maior entre o professor e o estudante, e entre o estudante e o objeto de estudo, não os engajam no processo de aprendizagem. Nesse sentido, convidar os estudantes a uma proposta diferente, fazendo uso de estratégias relacionadas ao cotidiano, ao contexto evolutivo e histórico, às artes e a diferentes formas de comunicação e expressão de ideias, às atividades de experimentação e uso de objetos virtuais, possivelmente tornará diferenciado e significativo o processo de aprendizagem para o estudante.

Na esteira desta busca por estratégias facilitadoras de ensino, que apresentem inovação na prática e engajamento dos estudantes, que este estudo se insere. Este trabalho resulta do desenvolvimento e aplicação de um produto educacional vinculado ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), UFRGS. Tal produto propõe o desenvolvimento de uma sequência didática com atividade de criação de histórias em quadrinhos para abordagem da Teoria da Relatividade Restrita de Einstein. Essa sequência didática foi aplicada com estudantes do primeiro ano do ensino médio de uma escola pública da rede estadual, no município de Tramandaí, RS.

A presente pesquisa objetiva apresentar um produto educacional, que tem como elemento principal a construção de histórias em quadrinhos no ensino de física como estratégia facilitadora da aprendizagem de conceitos da Teoria da Relatividade Restrita.

A abordagem de tópicos da física moderna e contemporânea no ensino médio, como é o caso da Teoria da Relatividade Restrita, está assegurada pelo arcabouço das estruturas legais que dispõe sobre os direitos de aprendizagem dos estudantes. Documentos oficiais como a legislação educacional vigente no país (LDB) e os parâmetros curriculares (PCNEM e PCN+) incluem o ensino de tópicos da física moderna e contemporânea no ensino médio, assegurando aos estudantes condições

para que compreendam melhor os princípios científicos e tecnológicos resultantes desses assuntos.

Para realizar a inclusão da Teoria da Relatividade Restrita junto a uma turma de primeiro ano do ensino médio, propôs-se o estudo paralelo entre os conceitos estudados pela mecânica clássica e mecânica relativística, destacando as evoluções históricas na construção do conhecimento físico. Nessa direção, esse trabalho sugere uma forma alternativa para a abordagem da Teoria da Relatividade Restrita, de modo que os estudantes possam compreender a construção do conhecimento físico como um processo histórico, e parte integrante da cultura contemporânea.

Para fundamentar essa proposta, a saber: o planejamento da sequência didática, intervenção, observação, coleta de dados e avaliação, bem como o uso de diferentes recursos didáticos, adotou-se como base de justificativa teórica a Teoria da Aprendizagem Significativa, proposta por Ausubel. A escolha por tal teoria se justifica pelo fato de a mesma considerar para o desenvolvimento da aprendizagem significativa, que os conhecimentos prévios que os estudantes possuem sobre um determinado assunto, serão a base para que novos conceitos sejam aprendidos (MOREIRA e MASINI, 1982). Para que ocorra a aprendizagem significativa é necessário que as novas informações se relacionem aos conhecimentos prévios do estudante, ou seja, é preciso que existam conceitos pré-estabelecidos que promovam conexões com os novos. Segundo Moreira (1999), a organização de uma sequência didática deve promover uma diferenciação progressiva de conceitos de modo que ideias mais gerais sejam apresentadas primeiro, e em seguida sejam diferenciadas progressivamente, com a inclusão de conceitos mais detalhados e ampliados. Após esse processo de diferenciação de conceitos, faz-se necessário recombina, explorar e relacionar os conceitos estudados promovendo uma reconciliação integradora.

Tomando por base a reflexão sobre esta teoria de aprendizagem, analisaremos a seguinte questão: Em que medida, a organização de uma sequência didática, que contemple uma estratégia de ensino utilizando histórias em quadrinhos construídas pelos estudantes em sala de aula, à luz da Teoria da Aprendizagem Significativa, pode melhorar as compreensões dos estudantes e, assim, contribuir para a constituição de aprendizagens significativas relacionadas a Teoria da Relatividade Restrita?

A aplicação do produto educacional foi realizada em uma turma de quarenta e um estudantes do primeiro ano do ensino médio de uma escola pública da rede estadual, no município de Tramandaí, localizado no litoral norte gaúcho. A aprendizagem dos estudantes foi acompanhada através de questionário de conhecimentos prévios, questionário de identificação da aprendizagem após a aplicação da sequência didática, construção e apresentação de histórias em quadrinhos sobre os conceitos estudados durante a sequência didática, observações do professor e análise das considerações dos estudantes sobre a implementação do produto educacional.

O presente trabalho encontra-se estruturado em seis capítulos, constando como primeira esta parte introdutória, onde expõe-se o objetivo deste trabalho. No segundo capítulo tem-se uma contextualização teórica dos temas abordados neste trabalho, como a Teoria da Aprendizagem Significativa, a abordagem da Teoria da Relatividade Restrita como tópico da física moderna e contemporânea no ensino médio, os aspectos legais dessa abordagem, o uso das histórias em quadrinhos no ensino, sua história de aplicação no contexto educacional e as possibilidades de uso como espaço e ferramentas de aprendizagens. O terceiro capítulo é dedicado a apresentar algumas proposições importantes sobre a Teoria da Relatividade Restrita, dada sua importância como tópico da Física abordada no desenvolvimento e implementação do produto educacional, a fim de dar embasamento teórico para o planejamento didático e metodológico na sequência de ensino. O quarto capítulo trata dos aspectos metodológicos sob os quais se aplicou o produto educacional, considerando a proposta do MNPEF, e observando a instituição e os estudantes analisados. O quinto capítulo apresenta a aplicação do produto educacional e a análise dos resultados desta aplicação, descrevendo-os com base no levantamento de dados. No sexto e último capítulo são apresentadas as considerações finais que emergiram da aplicação da proposta, onde são retomados os objetivos da pesquisa, e a utilização deste produto educacional como um material potencialmente significativo para a aprendizagem dos estudantes, que foram observadas a partir de sua implementação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo detalharemos os referenciais teóricos que nortearam esta pesquisa. Na seção 2.1 – intitulada “Teoria da Aprendizagem Significativa”, será feita uma explanação sobre a Teoria da Aprendizagem Significativa, proposta por Ausubel, na qual esse trabalho é fundamentado. Já na seção 2.2 – “Teoria da Relatividade Restrita como tópico da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”, serão discutidos em três subseções sobre a importância pedagógica de modificações no currículo de física no ensino médio de modo que tópicos da física moderna e contemporânea sejam apresentados aos estudantes, e os aspectos legais da inserção da Teoria da Relatividade Restrita no ensino médio com enfoque na abordagem evolutiva e histórica. Na seção 2.3 – “O uso de histórias em quadrinhos no ensino”, serão apresentadas em duas subseções a história das histórias em quadrinhos no contexto educacional com enfoque na produção humana e artística que representam, como forma de comunicação, e as possibilidades delas como formas diferenciadas de espaço e ferramentas de aprendizagens.

2.1 Teoria da Aprendizagem Significativa

A teoria proposta por Ausubel está baseada em uma aprendizagem alicerçada naquilo que o indivíduo já conhece sobre determinado assunto. Essa aprendizagem é denominada significativa quando uma nova informação se integra a estrutura cognitiva do indivíduo. Para Moreira e Masini (1982), a aprendizagem significativa só ocorre quando um novo assunto, que possui uma estrutura lógica, interage com conceitos relevantes e inclusivos, claros e disponíveis na estrutura de conhecimento do indivíduo. Desta forma:

A aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação ancora-se em conceitos relevantes preexistentes na estrutura cognitiva de quem aprende. Ausubel vê o armazenamento de informações no cérebro humano como sendo altamente organizado, formando uma hierarquia conceitual na qual elementos mais

específicos de conhecimento são ligados (e assimilados) a conceitos mais gerais, mais inclusivos. (MOREIRA E MASINI, 1982, p.7)

Dessa noção, a Teoria da Aprendizagem Significativa é centrada na interação entre uma nova informação e àquelas que o estudante já traz consigo, ou seja, a estrutura de conhecimento específica, ao qual Ausubel define como conceito subsunçor, ou simplesmente subsunçor, existente na estrutura cognitiva do indivíduo. Assim, a aprendizagem de novos conceitos fica mais fácil se o estudante consegue relacionar o novo com os conceitos que ele já conhece, de maneira não arbitrária e não literal à estrutura cognitiva do estudante. De acordo com a teoria desse autor, a aprendizagem significativa ocorre quando novos conhecimentos se ancoram em conceitos, elementos e temas relevantes, que já existem na estrutura cognitiva do indivíduo (MOREIRA, 1999).

No entanto, podem acontecer situações em que novos conhecimentos não estabeleçam relação com os conhecimentos prévios do estudante. Ausubel recomenda para estes casos, o uso de organizadores prévios, considerados “ancoradouros provisórios”, para dar sustentação à nova aprendizagem e, por conseguinte, o desenvolvimento de conceitos subsunçores que favoreçam a aprendizagem posterior.

Os organizadores prévios são materiais introdutórios que antecedem o material a ser aprendido. São mais gerais, abstratos e mais inclusivos do que o material de aprendizagem subsequente, e promovem a superação do limite entre o que o indivíduo já sabe e o que ele precisa saber, antes de poder aprender um novo conceito. São o que chamamos de “pontes cognitivas” (MOREIRA, 2008). Nesta perspectiva

Os organizadores prévios podem tanto fornecer “ideias âncora” relevantes para a aprendizagem significativa do novo material, quanto estabelecer relações entre ideias, proposições e conceitos já existentes na estrutura cognitiva e aqueles contidos no material de aprendizagem, ou seja, para explicitar a relacionabilidade entre os novos conhecimentos e aqueles que o aprendiz já tem mas não percebe que são relacionáveis aos novos. (MOREIRA, 2008, p.2)

No entanto, em algumas situações de abordagem de determinado assunto o material apresentado pode ser totalmente desconhecido. Nesses casos, a teoria de Ausubel propõe a utilização de um organizador “expositivo”, formulado a partir de

termos familiares daquilo que o indivíduo já sabe de outras áreas de conhecimento, objetivando suprir desta forma, a falta de conceitos relevantes à aprendizagem do material não familiar. Para a abordagem de material relativamente familiar, pode ser utilizado um organizador “comparativo”, a fim de integrar e diferenciar os novos conceitos similares já existentes na estrutura cognitiva do indivíduo. Acerca dessa forma de utilização de organizadores prévios Moreira (1982), com base em Ausubel, explica que esta é uma estratégia proposta para facilitar a aprendizagem significativa.

Para que ocorra a aprendizagem significativa é necessário que as novas informações se relacionem aos conhecimentos prévios do estudante, ou seja, é preciso que existam conceitos pré-estabelecidos que promovam conexões. Essa interação com novos elementos vai modificar e ampliar os conhecimentos de modo a ressignificar as concepções sobre determinado conhecimento. Essa modificação nos conceitos prévios dando significado aos novos elementos apresentados diz respeito a uma aprendizagem significativa que se dá a partir da construção de um conceito.

A construção de conceitos pressupõe para a formulação de um plano de aula, que o professor identifique de antemão as concepções prévias, as dificuldades e facilidades dos estudantes. Nessa teoria, “o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe” (AUSUBEL, 1978, apud MOREIRA, 2016, p.06).

Os conhecimentos prévios ou o desconhecimento (ausência de subsunçores) devem ser considerados os pontos de partida para a escolha das atividades de ensino do professor, pois definem a utilização dos organizadores prévios (para criar os subsunçores) ou dos conhecimentos prévios em relação com os conceitos apresentados.

Ao passo que a aprendizagem significativa ocorre, tomando por base os conhecimentos prévios do indivíduo, conceitos são desenvolvidos, elaborados e diferenciados a partir de seguidas interações. Assim sendo, a teoria ausubeliana define dois processos que se relacionam no decorrer da aprendizagem significativa: a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora.

Segundo Moreira e Masini (1982) quando se submete uma nova informação a um determinado conceito ou proposição, esses conceitos e proposições sofrem modificações e a nova informação é aprendida. Este processo de inclusão de uma

nova informação a conceitos ou proposições denomina-se diferenciação progressiva. Para a teoria ausubeliana, a organização de uma proposta de aprendizagem deve ser programada de modo que as ideias mais gerais e inclusivas de um determinado assunto sejam apresentadas antes, e diferenciadas progressivamente, com a inclusão de outros aspectos mais detalhados. Porém, a organização de uma sequência de assuntos deve não apenas promover a diferenciação progressiva, mas também recombinar e explorar os elementos já presentes na estrutura cognitiva do indivíduo, destacando suas diferenças e semelhanças. Ausubel denomina esta etapa exploratória das relações entre os conceitos e proposições, de reconciliação integradora. Assim sendo, a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora são etapas que se verificam no decorrer da aquisição de significados.

Considerando a Teoria da Aprendizagem Significativa proposta por Ausubel, o professor precisa, ao introduzir novos conceitos em sala de aula, estar atento aos conhecimentos prévios dos estudantes sobre os assuntos abordados, visto que é com base neles que a sequência de atividades, como organizadores prévios e/ou expositivos, o material instrucional e avaliação da aprendizagem, deve ser planejada.

O planejamento de uma sequência de atividades bem como a utilização de recursos em sala de aula promove a aprendizagem significativa quando facilita as relações entre os conceitos e possibilita a integração com elementos da estrutura cognitiva dos estudantes.

A proposta deste produto se diferencia da aprendizagem mecânica, definida por Ausubel como aquela em que promove, muitas vezes, a passividade dos estudantes em receber conteúdos “prontos”, sem interação cognitiva com os conhecimentos prévios, baseada apenas na memorização de informações específicas e reproduzidas de forma repetida em exames escolares e extraescolares (MOREIRA, 2010).

Diferente desse tipo de aprendizagem, essa proposta coloca os estudantes no centro do processo de ensino, por meio de atividades colaborativas e individuais, que provocam a externalização do entendimento deles, a partir dos significados compreendidos por eles. Uma aprendizagem com compreensão, com capacidade de transferência e de utilização e emprego em outros contextos.

É na esteira desta teoria de aprendizagem que este trabalho se insere. Nele é proposto uma abordagem da Teoria da Relatividade Restrita para estudantes do ensino médio que promova uma aprendizagem significativa. A escolha desse tema considerou as dificuldades que os docentes apresentam em desenvolver tal tópico do ensino de física na educação básica, devido a seu grau de complexidade e aparente falta de conhecimentos prévios dos estudantes.

2.2 Teoria da Relatividade Restrita como tópico da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio

A inserção da física moderna e contemporânea no ensino médio tem sido discutida por professores e pesquisadores no ensino de física. Diversas justificativas para essa inclusão no currículo do ensino médio são apresentadas em pesquisas, bem como nos documentos curriculares nacionais. Conforme será descrito ao longo das subseções subsequentes, essas justificativas para a abordagem de tópicos da física moderna e contemporânea no ensino médio contribuem para que o ensino de física se torne mais atual, contextualizado, através de um enfoque nos aspectos evolutivos e históricos da construção destes conhecimentos pela humanidade.

2.2.1. A Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio

No contexto de sala de aula, os conteúdos da física moderna e contemporânea historicamente têm sido abordados ao final do 3º ano do ensino médio, seguindo uma ordem cronológica apresentada nos livros didáticos. Em numerosos casos, os assuntos referentes à física do século XX, acabam por serem pouco debatidos ou até mesmo suprimidos no decorrer da educação básica. Alguns fatores que podem implicar nessa pouca discussão ou até mesmo ausência de conteúdos da física moderna e contemporânea no currículo do ensino médio, são: a formação dos professores em física, o curso não contempla tais tópicos em seu currículo da graduação, a ausência ou superficialidade de discussões metodológicas sobre esses assuntos no contexto da sala de aula; professores que não tem formação em física ministrando aulas deste componente, mesmo desconhecendo o conteúdo; e até mesmo o fato de que os tópicos da física moderna e contemporânea são considerados

mais complexos se comparados aos da física clássica (TERRAZZAN, 1992). Quando esses tópicos são incluídos, na maioria das vezes ficam reduzidos a uma abordagem superficial, tendo em vista que é dada uma maior importância aos conteúdos da física clássica e, também, em virtude do tempo que é limitado (somente duas-horas semanais na rede pública).

No entanto, é importante salientar que a inclusão de tópicos da física moderna e contemporânea vem sendo defendida entre professores e pesquisadores do ensino de física. Segundo Moreira (2007),

não tem sentido que, em pleno século XXI, a física que se ensina nas escolas se restrinja à física (clássica) que vai apenas até o século XIX. É urgente que o currículo de física na educação básica seja atualizado de modo a incluir tópicos de física moderna e contemporânea, como a física dos quarks abordada neste trabalho. O argumento de que tais tópicos requerem habilidades e/ou capacidades que os estudantes de ensino fundamental e médio ainda não tem é insustentável, pois outros tópicos que são ensinados, como a cinemática, por exemplo, requerem tantas ou mais capacidades/habilidades cognitivas do que partículas elementares. (MOREIRA, 2007, p.172)

Os assuntos relativos à física moderna e contemporânea despertam o interesse dos estudantes pela ciência, pois possibilita a compreensão de que esta foi historicamente construída e se encontra em constante desenvolvimento. No entanto, o ensino de tópicos da física, desenvolvida a partir do século XX, não vem sendo incluído no currículo do ensino médio. Para Terrazzan (1992)

a prática escolar usual exclui tanto o nascimento da ciência, como a entendemos, a partir da Grécia Antiga, como as grandes mudanças no pensamento científico ocorridas na virada deste século e as teorias daí decorrentes. A grande concentração de tópicos se dá na física desenvolvida aproximadamente entre 1600 e 1850. (TERRAZZAN, 1992, p.209)

Com base nessa realidade, muitos pesquisadores e professores vêm dedicando seus estudos e atuação para a ruptura dessas práticas, buscando caminhos para a inserção de assuntos da física moderna e contemporânea no ensino médio. Nesse sentido, e atendendo a essa demanda, a atualização curricular da física no ensino médio vem sendo realizada, com o objetivo de dar maior atenção à inclusão de assuntos de física moderna e contemporânea nesta etapa de ensino (RODRIGUES, 2001). Para Terrazzan

A influência crescente dos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea para o entendimento do mundo criado pelo homem

atual, bem como a inserção consciente, participativa e modificadora do cidadão neste mesmo mundo, define, por si só, a necessidade de debatermos e estabelecermos as formas de abordar tais conteúdos na escola de 2º grau. (TERRAZZAN, 1992, p.210)

Para muitos estudantes que concluem o ensino médio, este será o último contato na escolarização formal, com a ciência física, e, portanto, não podem ser privados desses assuntos, tendo em vista que fazem cada vez mais parte da cultura humana contemporânea (TERRAZZAN, 1992). Além disso, podem ser apontados outros motivos para introdução de tópicos da física moderna e contemporânea no ensino médio. Ostermann e Moreira (2000) indicam algumas alegações para essa inserção, destacando entre elas:

(I) despertar a curiosidade dos estudantes e ajuda-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles; (II) os estudantes não têm contato com o excitante mundo da pesquisa atual em Física, pois não veem nenhuma Física além de 1900. Esta situação é inaceitável em um século no qual ideias revolucionárias mudaram a ciência totalmente; (III) é do maior interesse atrair jovens para a carreira científica. Serão eles os futuros pesquisadores e professores de Física; (IV) é mais divertido para o professor ensinar tópicos que são novos. O entusiasmo pelo ensino deriva do entusiasmo que se tem em relação ao material didático utilizado e de mudanças estimulantes no conteúdo do curso. É importante não desprezar os efeitos que o entusiasmo tem sobre o bom ensino; (V) Física Moderna é considerada conceitualmente difícil e abstrata; mas, resultados de pesquisa em ensino de Física têm mostrado que, além da Física Clássica ser também abstrata, os estudantes apresentam sérias dificuldades conceituais para compreendê-la. (OSTERMANN E MOREIRA, 2000, p.24)

Nesse sentido, o ensino de tópicos de física moderna e contemporânea aos estudantes do ensino médio é importante, posto que a inserção de tópicos contemporâneos de física pode favorecer e ampliar a visão de ciência e da própria evolução científica (OSTERMANN E MOREIRA, 2000). A partir dessa perspectiva, o ensino da ciência física passa a ter uma natureza mais ampla e contextualizada, passando a abordar na escola não apenas a física dos séculos XVI a XIX, mas também o que foi proposto a partir do século XX (TERRAZZAN, 1994).

Para Terrazzan (1994), a física ensinada na escola de ensino médio deve oferecer condições, através de ferramentas conceituais de natureza prática para a vida cotidiana. Além disso, o autor defende que a física também deve oportunizar aos

estudantes o conhecimento de fundamentos gerais que alicerçam as causas dos fenômenos da natureza e do avanço das tecnologias.

Portanto, é necessário que haja uma abordagem em sala de aula que se preocupe em mostrar aos estudantes que a física é uma construção humana, e que está em constante evolução. Esse reconhecimento da física como construção humana ajuda a desmistificar a noção de que ela foi produzida por “gênios”, de “mentes brilhantes”, que construíram todo o conhecimento científico, em detrimento de uma visão de que ela não continua em constante evolução, sendo produzida colaborativamente, trazendo soluções para problemas da humanidade.

2.2.2. Aspectos legais na inserção da Teoria da Relatividade Restrita no Ensino Médio

Na perspectiva da introdução da física moderna e contemporânea no ensino médio, alguns documentos oficiais como a legislação educacional vigente no país (LDB) e os parâmetros curriculares (PCNEM e PCN+), passaram a apontar nesse sentido. Foi no fim do século XX e início do século XXI que surgiram orientações curriculares que incluíam o ensino de tópicos de física moderna e contemporânea no contexto da educação básica, 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+). Tomando por base a Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996, que estabelece as Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), que sugere uma reforma curricular para o ensino médio no país, dentro do qual se incentiva a introdução da física moderna e contemporânea.

Baseado nas diretrizes definidas pela LDB, o Ministério da Educação juntamente com pesquisadores e educadores do país inteiro, somaram esforços para a estruturação de um novo currículo do ensino médio do Brasil. Objetivava-se com isso, modificar a característica do ensino que, era calcado apenas no acúmulo de informações descontextualizadas, para um ensino preocupado com a aprendizagem significativa dos estudantes. É interessante destacar os artigos 35 e 36 da LDB, que dispõem respectivamente das finalidades do ensino médio como etapa final da

educação básica e o currículo desta etapa definido por algumas diretrizes que deveriam ser seguidas.

Art. 35. O ensino médio, etapa final da educação básica, com duração mínima de três anos, terá como finalidade:

[...]

IV – a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina.

[...]

Art. 36. O currículo do ensino médio observará o disposto na Seção I deste Capítulo e as seguintes diretrizes:

I – destacará a educação tecnológica básica, a compreensão do significado da ciência, das letras e das artes; o processo histórico de transformação da sociedade e da cultura; a língua portuguesa como o instrumento de comunicação, acesso ao conhecimento e exercício da cidadania;

[...]

§ 1º Os conteúdos, as metodologias e as formas de avaliação serão organizados de tal forma que ao final do ensino médio o educando demonstre:

I – domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna;

[...] (BRASIL, 1996)

Assim sendo, o ensino médio, que até então era voltado à preparação para a continuidade dos estudos e à habilitação para atuação em uma atividade técnica, passa a ser visto como a etapa final de educação de caráter geral, com um ensino interdisciplinar, conferindo ao educando competências básicas que lhe dão condições de produzir conhecimento, com capacidade de raciocinar e aprender, participando do mundo do trabalho e vivenciando plenamente a cidadania. Sob esta ótica, foram publicados os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM), em 2000, e as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCN+), em 2002.

Fundamentado no que dispõe a LDB, é possível inferir que uma introdução de temas da física moderna e contemporânea no ensino médio, como é o caso da Mecânica Quântica e a Teoria da Relatividade, traria condições para que os estudantes que concluem a educação básica compreendam melhor os princípios científicos e tecnológicos decorrentes destes assuntos. Nesse sentido, os PCNEM definem que o ensino da ciência física deve dar condições para que os estudantes tenham um melhor entendimento de mundo.

Para o Ensino Médio meramente propedêutico atual, disciplinas científicas, como a Física, têm omitido os desenvolvimentos realizados durante o século XX e tratam de maneira enciclopédica e excessivamente dedutiva os conteúdos tradicionais. Para uma educação com o sentido que se deseja imprimir, só uma permanente revisão do que será tratado nas disciplinas garantirá atualização com o avanço do conhecimento científico e, em parte, com sua incorporação tecnológica. Como cada ciência, que dá nome a cada disciplina, deve também tratar das dimensões tecnológicas a ela correlatas, isso exigirá uma atualização de conteúdos ainda mais ágil, pois as aplicações práticas têm um ritmo de transformação ainda maior que o da produção científica. 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)

Com base nas proposições dos PCNEM, para reorganização curricular do ensino médio, é possível verificar que a inserção de tópicos da física moderna e contemporânea torna-se fundamental para a formação das competências desejadas nesta etapa final da educação básica. Contudo, é notável que para que haja uma verdadeira reestruturação do currículo, faz-se necessário o engajamento do professor, com a inclusão em seu planejamento de novas metodologias e estratégias que possibilitem uma aprendizagem significativa, levando em consideração o nível de desenvolvimento cognitivo dos estudantes, os conhecimentos prévios que eles possuem sobre os assuntos abordados.

2.3. O uso das histórias em quadrinhos no ensino

Para avaliarmos as vantagens na utilização das histórias em quadrinhos como ferramenta para o ensino, é necessário compreendê-la como uma forma de arte e linguagem. Por muito tempo, esta forma de comunicação e arte foi marginalizada e subestimada no contexto educacional. No entanto, atualmente os quadrinhos estão sendo inseridos em propostas de ensino, e defendidos por muitos pesquisadores que destacam vantagens em sua utilização, o que vem facilitando a compreensão dos conceitos estudados.

Conforme será exposto durante este trabalho, os argumentos para o uso das histórias em quadrinhos no ensino serão apresentados de modo a identificar as

possibilidades delas como formas diferenciadas de espaço e ferramentas de aprendizagens.

2.3.1 A história das histórias em quadrinhos no contexto educacional

As histórias em quadrinhos, conhecidas como HQs, são parte da produção artística humana, e compõem as relações do homem com a sociedade e sua cultura. São uma categoria particular de arte, que engloba algumas formas de expressões artísticas, mas que, dada sua configuração, se distingue das demais. As histórias em quadrinhos são consideradas como uma linguagem, uma forma de comunicação e também um meio de entretenimento. Conforme o conceito apresentado por Guimarães (1999) a

História em Quadrinhos é a forma de expressão artística que tenta representar um movimento através do registro de imagens estáticas. Assim, é História em Quadrinhos toda produção humana, ao longo de toda sua História, que tenha tentado narrar um evento através do registro de imagens, não importando se esta tentativa foi feita numa parede de caverna há milhares de anos, numa tapeçaria, ou mesmo numa única tela pintada. Não se restringe, nesta caracterização, o tipo de superfície empregado, o material usado para o registro, nem o grau de tecnologia disponível. Engloba manifestações na área da Pintura, Fotografia, Desenho de Humor como a charge e o cartum, e até algumas manifestações da Escrita. (GUIMARÃES, 1999, p.6)

É notável a grande popularidade que as histórias em quadrinhos possui na sociedade como expressão artística, como forma de comunicação e entretenimento. Esse gênero possui grande circulação, em especial, no público jovem, que encontra uma grande diversidade nos elementos que o compõe. Atualmente, as histórias em quadrinhos são compreendidas como a 9ª arte, com sua linguagem própria, gráfica e sequencial. Segundo Vergueiro e Ramos (p.7, 2009) não se têm mais dúvidas: “História em quadrinhos é Arte”.

Em meio a quadros, balões de comunicação, onomatopeias e imagens, a narrativa visual das HQs fascina e envolve os leitores desde sua criação há mais de um século. O aspecto visual das HQs é destacado por Vergueiro e Rama (2014):

De certa forma, pode-se dizer que as histórias em quadrinhos vão ao encontro das necessidades do ser humano, na medida em que utilizam fartamente um elemento de comunicação que esteve presente na história da humanidade desde os primórdios: a imagem gráfica. (VERGUEIRO E RAMA, 2014, p.8)

Desde o período paleolítico, o homem primitivo já utilizava as pinturas rupestres nas paredes de cavernas para se comunicar, muito antes dos sistemas de escrita terem sido estruturados. As representações iconográficas utilizadas desde as origens das culturas humanas, demonstram como os homens pré-históricos se comunicavam e se relacionavam em comunidade. Os registros nas paredes apresentavam situações, práticas, vivências e tradições culturais cotidianas do povo desse período, como caçadas exitosas, relatos em imagens de ações mostrando como ocorria a organização da sociedade da época. Em muitos casos, sucessões de imagens narravam um fato ocorrido, o que para Vergueiro e Rama (2014) poderiam ser consideradas as primeiras formas de histórias em quadrinhos.

As representações por meio de imagens são utilizadas por crianças desde muito cedo, como forma de comunicar suas sensações na interação com o mundo e com as pessoas com as quais elas convivem. As imagens assim, são historicamente utilizadas como forma de comunicação do ser humano. Apesar disso, com o desenvolvimento humano e a necessidade cada vez maior de comunicação, ocorreram a formulação dos sistemas de escrita e alfabetos fonéticos, ampliando o repertório e as possibilidades de transmissão de informações. No entanto, mesmo com o surgimento dos alfabetos fonéticos e os sistemas de escrita, as imagens continuaram a exercer um papel importante na comunicação humana. De acordo com Vergueiro e Rama (2014), foi com o surgimento da imprensa que a utilização da representação iconográfica associada a palavra escrita ganhou espaço e constituiu as condições necessárias para que as histórias em quadrinhos despontassem como meio de comunicação em massa.

Das páginas dos jornais às revistas especializadas, as histórias em quadrinhos ganharam espaço e grande popularidade ao longo do século XX, retratando histórias familiares, situações da sociedade expostas com teor cômico, sagas e histórias de super-heróis. As HQs, em toda sua evolução histórica, atingiram públicos de diversas idades e culturas, com temas relacionados à ficção científica, terror, suspense, aventura, romance e infantil, mas mantendo os recursos estilísticos próprios do

gênero. Ao passo que as HQs ganhavam espaço e popularidade na sociedade desse período, surgiram discussões que questionavam sobre os efeitos que a leitura de tal gênero poderiam ocasionar aos jovens leitores. Conforme explicam Vergueiro e Rama (2014)

Por representarem um meio de comunicação de vasto consumo e com conteúdo, até os dias de hoje, majoritariamente direcionado às crianças e jovens, as HQs cedo se tornaram objeto de restrição, condenados por muitos pais e professores no mundo inteiro. De uma maneira geral, os adultos tinham dificuldade para acreditar que, por possuírem objetivos essencialmente comerciais, os quadrinhos pudessem também contribuir para o aprimoramento cultural e moral de seus jovens leitores. Pais e mestres desconfiavam das aventuras fantasiosas e das páginas multicoloridas das HQs, supondo que elas poderiam afastar crianças e jovens de leituras “mais profundas”, desviando-os assim de um amadurecimento “sadio e responsável”. (VERGUEIRO E RAMA, 2014, p.8)

Ainda que as histórias em quadrinhos tivessem uma grande popularidade, em especial entre crianças e jovens, e de serem publicadas em larga escala com grande número de exemplares publicados, a leitura de HQs foi classificada como prejudicial a formação das crianças e jovens em meados do século XX. Para os críticos, alguns motivos do repúdio a leitura de HQs estavam no fato de que essa prática não incentivaria leituras mais densas e complexas de livros, e que tal leitura poderia acarretar em baixo desempenho escolar. Nesta perspectiva, inserir as histórias em quadrinhos no contexto escolar com objetivo didático seria algo inaceitável.

Depois das histórias em quadrinhos serem marginalizadas praticamente em todo o século XX, e seu uso no ambiente escolar ser discriminado por professores, foi na década de 90 que as HQs começaram a conquistar seu espaço como recurso didático, levando em consideração que elas permitem expressar questões científicas, filosóficas e artísticas, mas também, por serem uma linguagem que não encontra resistências por parte dos estudantes (CALAZANS, 2008).

Foi na década de 90 que elas passaram a ser mais utilizadas em publicações como livros didáticos, bem como serem vistas como material de incentivo à leitura, e a formação de criticidade e a reflexão sobre temas diversos. Vergueiro e Rama (2014) destacam que

No Brasil, principalmente após a avaliação realizada pelo Ministério da Educação a partir de meados dos anos de 1990, muitos autores de

livros didáticos passaram a diversificar a linguagem no que diz respeito aos textos informativos e às atividades apresentadas como complementares para os alunos, incorporando a linguagem dos quadrinhos em suas produções. A partir daí, estava talvez indicado o caminho para que as barreiras contra a utilização das histórias em quadrinhos em ambiente didático pudessem ser derrubadas e as HQs pudessem ser utilizadas livremente por professores e alunos no processo de ensino e aprendizagem. Felizmente, as últimas décadas do século passado presenciaram, cada vez mais, a utilização de história em quadrinhos pelos professores das diversas disciplinas, que nelas buscaram não apenas elementos para tornar suas aulas mais agradáveis, mas, também, conteúdos que pudessem utilizar para transmissão e discussão de temas específicos nas salas de aula. (VERGUEIRO E RAMA, 2014, p.20)

Atualmente, a utilização das histórias em quadrinhos no contexto de sala de aula é aceita, e essa relação entre educação e quadrinhos é bem mais harmoniosa. Segundo Ramos (2016) o tempo em que o uso das histórias em quadrinhos no contexto educacional era algo inaceitável, já passou. Segundo o autor, hoje os quadrinhos são bem acolhidos nas escolas, através de propostas de ensino. A inclusão dos quadrinhos nos PCNs (1998) trouxe a necessidade da inclusão deste tipo de linguagem para a sala de aula.

De acordo com Vergueiro e Ramos (2009) a inclusão das histórias em quadrinhos para o ensino em sala de aula deixou de ser considerada uma heresia. Contrariamente a essa ideia, abordar as histórias em quadrinhos com caráter científico possibilita demonstrar o quanto esta arte pode indicar sobre a realidade e entendimento de quem a produz e consome.

2.3.2 As histórias em quadrinhos como espaço e ferramentas de aprendizagens

Progressivamente, no meio educacional, passou a se identificar vantagens na utilização das HQs no ensino para o desenvolvimento da aprendizagem dos estudantes da educação básica. Um dos fatores que apontam para esta inferência, está relacionado ao fato de que os estudantes do ensino fundamental e médio, já tiveram contato em algum momento com revistas de histórias em quadrinhos.

Tomando por base estes fatores, alguns estudos começaram a ser desenvolvidos para identificar as potencialidades que o emprego das histórias em quadrinhos traz como recurso didático na escola. Para Calazans (2008)

As HQs são um divertimento com o qual os jovens e adolescentes estão familiarizados e que prendem sua atenção pelo prazer, sendo o seu primeiro contato com linguagens plásticas desenhadas e com narrativas, iniciando seu contato com a linguagem cinematográfica e a literatura; podem ser empregadas como estímulo de aprendizagem trazendo o conteúdo programático à realidade palpável do aluno. (CALAZANS, p.33, 2008)

A utilização das histórias em quadrinhos como recurso didático permite ao professor diversas abordagens. Desde a utilização de quadrinhos prontos para aproximar teorias científicas de temas como radioatividade, mutações genéticas, emprego de tecnologias avançadas, estrutura atômica e anatomia, até temas que envolvem contextos históricos, políticos e artísticos.

Porém, Calazans (2008) aponta também, para a possibilidade do uso das histórias em quadrinhos como forma de expressão da opinião dos estudantes sobre determinado assunto. Com base nessa proposta, o professor pode motivar os estudantes a produzirem os seus próprios quadrinhos, fazendo com que eles deixem de ser apenas consumidores da indústria cultural, e possibilitando que sejam autores de suas próprias histórias.

Há uma certa empatia dos estudantes ao utilizá-las no contexto da sala de aula pela forte relação com os elementos de cultura de massa. Outro aspecto notável que se pode destacar das HQs é a interdependência entre o texto e a imagem, visto que expande a possibilidade de compreensão e interpretação do fato narrado. Vergueiro e Rama (2014) elencam nove motivos que levam as histórias em quadrinhos a terem um bom desempenho nas escolas, possibilitando resultados muito melhores do que aqueles que se obteria sem elas:

I) Os estudantes querem ler os quadrinhos; II) Palavras e imagens, juntos, ensinam de forma mais eficiente; III) Existe um alto nível de informação nos quadrinhos; IV) As possibilidades de comunicação são enriquecidas pela familiaridade com as histórias em quadrinhos; V) Os quadrinhos auxiliam no desenvolvimento do hábito de leitura; VI) Os quadrinhos enriquecem o vocabulário dos estudantes; VII) O caráter elíptico da linguagem quadrinhística obriga o leitor a pensar e imaginar; VIII) Os quadrinhos têm um caráter globalizador; IX) Os

quadriños podem ser utilizados em qualquer nível escolar e com qualquer tema (VERGUEIRO E RAMA, 2014, p. 21)

Pode-se destacar o fato de que as HQs têm o potencial de ativar a imaginação dos estudantes em um caráter lógico, ao estimularem a idealização do andamento e o decorrer da narrativa. Além disso, a inserção das histórias em quadriños nos diferentes componentes curriculares, acarretam em um aspecto fundamental no processo de escolarização, que é o incentivo à leitura. É o que pontua Calazans (2004, p.10), ao dispor que “o manuseio e o contato constante com esse tipo de suporte cria um hábito e uma intimidade que podem ser gradualmente transmitidos para os livros”.

Após um longo período em que foram marginalizadas e rotuladas como material empobrecedor na formação das crianças, as histórias em quadriños foram conquistando aceitabilidade e atualmente tem sido atribuído a estas uma posição de arte, o que possibilitou que fossem inseridas no contexto da sala de aula. Outra vantagem no uso das HQs no ensino, além dos que já foram elencados anteriormente, se deve a possibilidade de elas serem utilizadas por qualquer componente curricular, além das que são indicadas nos PCNs (1998) como Língua Portuguesa, Língua Estrangeira e Arte, tomando por base a facilidade que se tem em tematizá-las. Desta forma, amplia-se as possibilidades de uso das histórias em quadriños como espaço e ferramenta de aprendizagens. Para Vergueiro e Rama (2014) no uso das HQs no contexto do ensino

Não existem regras. No caso dos quadriños, pode-se dizer que o único limite para seu bom aproveitamento em qualquer sala de aula é a criatividade do professor e sua capacidade de bem utilizá-las para atingir seus objetivos de ensino. Eles tanto podem ser utilizados para introduzir um tema que será desenvolvido por outros meios, para aprofundar um conceito já apresentado, para gerar uma discussão a respeito de um assunto, para ilustrar uma ideia, como forma lúdica para o tratamento de um tema árido ou como contraposição ao enfoque dado por outro meio de comunicação. (VERGUEIRO E RAMA, 2014, p. 26)

De acordo com o que esses autores afirmam, as HQs podem servir de material complementar ou paradidático, contribuindo com os materiais utilizados usualmente, bem como podem proporcionar a abordagem de conceitos ou temas, viabilizando uma melhor compreensão por parte dos estudantes.

As alternativas na utilização das histórias em quadrinhos no ensino são muitas e podem ser exploradas por professores em diferentes áreas de conhecimento, à vista disso, Calazans (2004, p.17) diz que “os limites do emprego de HQs na sala de aula são os limites da criatividade do professor”.

Considera-se, portanto, que essa ferramenta possibilite que o aprendizado ocorra a partir da interação com os modos de criação dos colegas, suas experiências e vivências com imagens e falas relativas ao compartilhamento de compreensões e significados. Autores como Ramos (2016), Vergueiro e Rama (2014) apontam a necessidade de novos estudos sobre a produtividade e as possibilidades de inserção desse recurso didático em práticas de sala de aula, como estratégia para a construção de conhecimentos, percepções e interpretações, neste caso, sobre os fenômenos ensinados em física.

Parto dessas discussões, sobre a relevância da utilização das HQs em sala de aula como ferramenta para potencializar aprendizagens, para propor a análise da implementação de um produto educacional que fez uso das histórias em quadrinhos, tanto em sua leitura, quanto em sua elaboração por parte dos estudantes. A temática escolhida para trabalhar com esta ferramenta no ensino de física foi a Teoria da Relatividade Restrita de Albert Einstein.

3. A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA

Dada a importância que a Teoria da Relatividade Restrita tem para a realização deste trabalho, por ser o tópico da Física abordado no desenvolvimento e implementação do produto educacional, dedicamos este capítulo para apresentar algumas proposições importantes sobre este tema, buscando fundamentação teórica para os desdobramentos didáticos e metodológicos na sequência de ensino.

A ideia de relatividade no estudo do movimento dos corpos foi proposta pelo italiano Galileu Galilei, ao perceber que para analisar o movimento de uma partícula se faz necessário estabelecer um sistema de referência e que este movimento retrata peculiaridades em diferentes referenciais. Em seguida, o inglês Isaac Newton, apoiou-se nas ideias de Galileu para elaborar as teorias que explicam os movimentos na Física Clássica – as Leis de Newton. Tais teorias científicas propostas nos séculos XVII e XVIII predominaram durante aproximados 200 anos. A Física dessa época ficou denominada como Física Newtoniana, devido as importantes contribuições do inglês Isaac Newton. A Física Clássica, fundamentou teorias de diferentes domínios como a Astronomia, o Eletromagnetismo, e as teorias sobre o Calor, que partilhavam das concepções newtonianas, em especial com os referenciais inerciais que estavam relacionados a ideia de espaço e tempo absolutos. Tanto para Newton, quanto para Galileu, o espaço (três dimensões) e o tempo eram considerados conceitos independentes.

Ao propor a Teoria da Relatividade, no início do século XX, o alemão Albert Einstein apresentou outras interpretações, ao examinar os conceitos até então aceitos como absolutos de espaço e tempo.

A Teoria da Relatividade é integrada por duas teorias: a Teoria Restrita e a Teoria Geral. A Teoria da Relatividade Restrita, proposta por Einstein em 1905, refere-se a medidas praticadas em referenciais inerciais diferentes, que se deslocam com velocidade constante uns em relação a outros, ou seja, se aplica a movimentos relativos que ocorrem na ausência de campos gravitacionais. Já a Teoria da Relatividade Geral, desenvolvida no ano de 1915, descreve referenciais acelerados e a gravidade (TIPLER e MOSCA, 2006). Ao propor tais teorias, Einstein provocou uma grande revisão conceitual nas ideias newtonianas de espaço e tempo.

Apesar de promover modificações significativas no entendimento da natureza, a Teoria da Relatividade Restrita de Einstein se fundamentou em dois postulados

bastante simples. Um destes postulados dispõe que as leis da Física devem ser as mesmas para todos os observadores situados em referenciais inerciais, não havendo um referencial absoluto. E o outro afirma que a velocidade da luz no vácuo deve ser sempre a mesma em qualquer sistema de referência inercial (YOUNG e FREEDMAN, 2009). No entanto, essas premissas supostamente simples nos apresentam decorrências muito importantes. Podemos destacar as seguintes:

- Um evento que ocorre simultaneamente em relação a um observador pode não ocorrer simultaneamente em relação a outro observador.
- Quando há movimento relativo entre dois observadores e eles realizam medidas de intervalos de tempo e de distância, os resultados obtidos podem ser diferentes.
- As leis da conservação da energia e da conservação do momento linear em qualquer sistema de referência inercial, podem ser reestruturadas a segunda lei de Newton e as equações para a energia cinética e o momento linear.

Apesar dos resultados da Teoria da Relatividade Restrita serem em muitos casos contrários à intuição, ela corresponde consistentemente com as considerações experimentais.

3.1. Os Postulados da Relatividade

Em 1905, Albert Einstein publicou um artigo sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento, onde postulou que o movimento absoluto não podia ser detectado por nenhuma experiência.

O primeiro postulado de Einstein, também chamado de Princípio da Relatividade, dispõe que as leis da física são as mesmas para todos os observadores situados em referenciais inerciais (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2003). Assim sendo, não existe um referencial absoluto. Em relação ao que propôs Galileu, que acreditava que as leis da mecânica eram as mesmas em todos os referenciais inerciais, Einstein expandiu a concepção para inferir que todas as leis da física poderiam ser incluídas, compreendendo também as leis do eletromagnetismo e da ótica. Segundo esse postulado proposto, não podemos afirmar que as medidas experimentais das grandezas físicas são as mesmas para todos os observadores inerciais, não existindo um referencial privilegiado entre todos os referenciais inerciais. No entanto, as leis físicas, que estabelecem relações entre essas medidas

experimentais são as mesmas. Como consequência desse postulado temos que o espaço não é absoluto, posto que todos os referenciais inerciais são equivalentes, não existindo um referencial privilegiado.

Ao longo do século XIX, muitos físicos consideravam que a luz se deslocasse através de um meio hipotético chamado éter luminífero, da mesma forma que o som se propagava no ar. Nessas condições, a velocidade da luz em relação a observadores diferentes dependeria da velocidade relativa entre os observadores. Logo, teria valores diferentes para cada situação. Ao identificar que as equações de Maxwell eram válidas em qualquer sistema de referência inercial, e por consequência, que a velocidade da luz deveria ser a mesma em todos os sistemas de referência e em todas as direções, Einstein deu um importante passo para que se abandonasse o conceito do éter, postulando sobre a constância da velocidade da luz no vácuo.

O segundo postulado da relatividade, também chamado de postulado da constância da luz afirma que na natureza existe uma velocidade limite c , e que esta é a mesma em todas as direções e em todos os referenciais inerciais, e que a luz se propaga nesta velocidade limite (YOUNG e FREEDMAN, 2009). Esse postulado dispõe que o módulo da velocidade da luz no vácuo independe do movimento da fonte que o está emitindo, descrevendo assim uma propriedade comum de todas as ondas. As afirmações decorrentes desse postulado são contrárias as concepções intuitivas sobre velocidade relativa, e implicam que um observador inercial não pode se deslocar com a velocidade da luz no vácuo c .

Por conseguinte, os dois postulados da relatividade têm consequências significativas nos valores de tempo e espaço, bem como nas medidas de velocidades relativas.

3.2. As Transformações de Lorentz

O princípio da relatividade de Einstein conjectura que as expressões matemáticas que traduzem qualquer fenômeno físico precisam apresentar a mesma forma em todos os referenciais inerciais, e para tanto, exigem um novo conjunto de transformações para as grandezas físicas de um referencial inercial para outro. Desta forma, as transformações de Lorentz foram desenvolvidas, onde tanto as equações de Maxwell, quanto as equações que descrevem as leis da mecânica são covariantes, com exceção da segunda Lei de Newton (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2003).

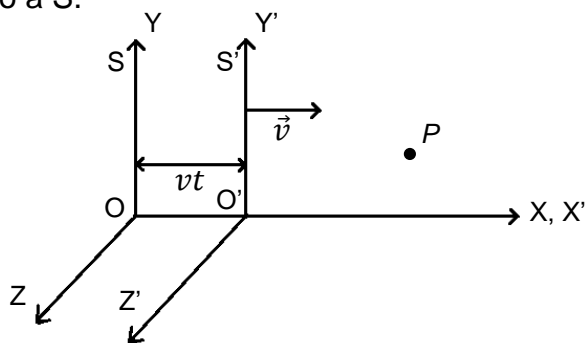
As transformações de Lorentz consideram o fato de que a velocidade da luz no vácuo possui o mesmo módulo c em todos os referenciais inerciais.

Em conformidade com os postulados de Einstein, as transformações de Lorentz explicitam como as posições e tempos mudam de um referencial inercial para outro, atendendo a condições importantes:

- As equações matemáticas que expressam as leis físicas precisam apresentar a mesma forma em todos os referenciais inerciais;
- Subscrever com as transformações de Galileu no limite para baixas velocidades, visto que as equações matemáticas que expressam as leis da mecânica newtoniana são covariantes face as transformações de Galileu;
- Para todos os referenciais inerciais, o módulo da velocidade da luz no vácuo dever ser o mesmo;
- Transformar a coordenada do tempo, além das coordenadas do espaço, em consequência de que as noções de tempo e espaço absolutos, na teoria da relatividade restrita de Einstein foram abandonados.

Para apresentar as transformações que atendem a tais condições, vamos considerar dois sistemas de referenciais inerciais, como mostra a ilustração da Figura 1. Nesta figura, temos dois sistemas de referências S e S' , em que S' se move com velocidade \vec{v} em relação a S . Esses sistemas de referência representam o caso particular, com eixos paralelos, em que X e X' e suas origens são coincidentes quando $t = t' = 0$.

Figura 1: Dois sistemas de referenciais inerciais S e S' , com S' movendo-se com velocidade \vec{v} em relação a S .



Fonte: Young e Freedman (2009) com adaptações feitas pelo autor.
Ilustração: do autor.

Para definir um evento físico, para além da posição no espaço, se faz necessário descrever o momento em que ele aconteceu. Exemplificando, um evento

físico que aconteceu no ponto P, é definido pelas coordenadas (x, y, z, t) no referencial S e (x', y', z', t') em S'. Para as transformações de Galileu, temos que:

$$\begin{cases} x' = x - vt \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = t \end{cases} \quad (1)$$

Para baixas velocidades, ou seja, velocidades muito menores que a velocidade da luz no vácuo ($v \ll c$), as transformações de Galileu são suficientes, aplicando-se no contexto da mecânica pré-relativística. Conseguimos estender as transformadas de posição para a coordenada x para qualquer valor de v menor que c . Assim temos que:

$$x' = \gamma(x - vt), \quad (2)$$

com o chamado fator de Lorentz $\gamma \rightarrow 1$ para $v \ll c$. A transformação inversa é

$$x = \gamma(x' + vt'). \quad (3)$$

Considerando o fato experimental de o módulo da velocidade da luz ser o mesmo em qualquer que seja o sistema de referência inercial para averiguar como a coordenada do tempo se altera do referencial S para o referencial S', analisaremos a emissão por uma fonte localizada na origem, isto é, em $x = x' = 0$, de um raio de luz em $t = t' = 0$. Sendo c o módulo da velocidade da luz, tanto para S quanto para S', temos como consequência que a luz percorre uma distância $x = ct$ em S e $x' = ct'$ em S'. Assim, substituindo x e x' nas equações (2) e (3), temos que:

$$ct' = \gamma(c - v)t \quad (4)$$

e

$$ct = \gamma(c + v)t'. \quad (5)$$

Escrevendo t' de forma isolada na primeira equação, obtemos:

$$t' = \frac{\gamma(c-v)t}{c} \quad (6)$$

Substituindo t' na equação (5) temos que:

$$c^2 = \gamma^2(c + v)(c - v) = \gamma^2(c^2 - v^2)$$

e ao isolar γ , temos:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad (7)$$

em que $\beta = \frac{v}{c}$. Para quando $v \ll c$ ($\beta \approx 0$), $\gamma \rightarrow 1$, tal qual se conjecturava a partir das equações (2) e (3). De outra forma, quando $v \rightarrow c$, $\gamma \rightarrow \infty$.

Assim sendo, substituindo $t = \frac{x}{c}$ na equação (6) teremos então:

$$t' = \gamma \left(t - \frac{vx}{c^2} \right) \quad (8)$$

A expressão (8) apresenta a transformação temporal do sistema de referência S para o sistema S'. Na análise das expressões, é possível observar que o ritmo do tempo passa de forma diferente nos dois referenciais. Desta forma, a concepção de tempo absoluto é descartada nessa transformação. Na ocasião em que $v \ll c$, $\gamma \rightarrow 1$ e $t' = t$ como propõe a transformação de Galileu.

Ao associarmos as transformações espaciais com a transformação do tempo, temos que:

$$\begin{cases} x' = \gamma(x + vt) \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \gamma \left(t + \frac{vx}{c^2} \right) \end{cases} \quad (9)$$

Tais expressões associam as coordenadas espaço-tempo de um mesmo evento físico em dois referenciais inerciais quaisquer. As equações $y' = y$ e $z' = z$ ocorrem tem em vista à escolha de uma situação particular de movimento de S' em relação a S, onde as componentes y e z da velocidade de S' em relação a S são nulas. As transformações inversas são expressas por:

$$\begin{cases} x = \gamma(x' - vt') \\ y = y' \\ z = z' \\ t = \gamma \left(t' - \frac{vx'}{c^2} \right) \end{cases} \quad (10)$$

As transformações de Galileu são válidas como aproximação, no limite de $v \ll c$, e, no entanto, se $v > c$ o fator γ se torna um número complexo, que por consequência, torna x' e t' também complexos. Isto implica na impossibilidade da existência de corpos que se movimentem com módulos de velocidades superiores à da velocidade da luz no vácuo.

Tais transformações são chamadas de Transformações de Lorentz, devido as grandes contribuições que o físico Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928) deu, sendo o primeiro pesquisador a obter tais funções.

3.3. A Dilatação do Tempo

Com base na transformação temporal, proposta por Lorentz, o intervalo de tempo é diferente para diferentes sistemas de referenciais inerciais. Considerando os sistemas de referenciais inerciais da figura 1, com S' se movimentando com velocidade de módulo v na direção e sentido de X e X', analisa-se dois eventos físicos, tomados como exemplo, o acender e apagar de uma lanterna, que acontecem no mesmo local no espaço $(x', 0, 0)$ no sistema referencial S' nos instantes de tempo t'_1 (a lanterna é acesa) e t'_2 (a lanterna é apagada) (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2003; YOUNG e FREEDMAN, 2009). O intervalo de tempo que passou entre os dois eventos é $\Delta t' = t'_2 - t'_1$ no referencial S'.

Com base na transformação de Lorentz para o tempo, expressa na equação (10), é possível determinar o intervalo de tempo que transcorreu no referencial S

$$\Delta t = t_2 - t_1:$$

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

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

logo

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \gamma \left(t'_2 + \frac{vx'_2}{c^2} \right) - \gamma \left(t'_1 + \frac{vx'_1}{c^2} \right) = \gamma(t'_2 - t'_1)$$

relacionando a $\Delta t' = t'_2 - t'_1$, temos que:

$$\Delta t = \gamma \Delta t' \tag{11}$$

O fator de Lorentz (γ) expresso na equação (7) tem seu valor sempre superior ou igual a unidade, o que faz com que $\Delta t > \Delta t'$. A igualdade ocorre apenas na situação específica em que a velocidade relativa entre os dois referenciais é nula. Assim sendo, o intervalo de tempo observado por relógios iguais em dois sistemas referenciais inerciais é diferente, onde o intervalo de tempo menor é medido por um relógio em repouso no referencial onde o evento ocorreu. Usa-se também a notação Δt_0 para indicar o intervalo referente a um fenômeno que ocorre na mesma posição espacial, também chamado de intervalo de tempo próprio. Desta forma, podemos reformular a expressão, ficando:

$$\Delta t = \gamma \Delta t_0 \tag{12}$$

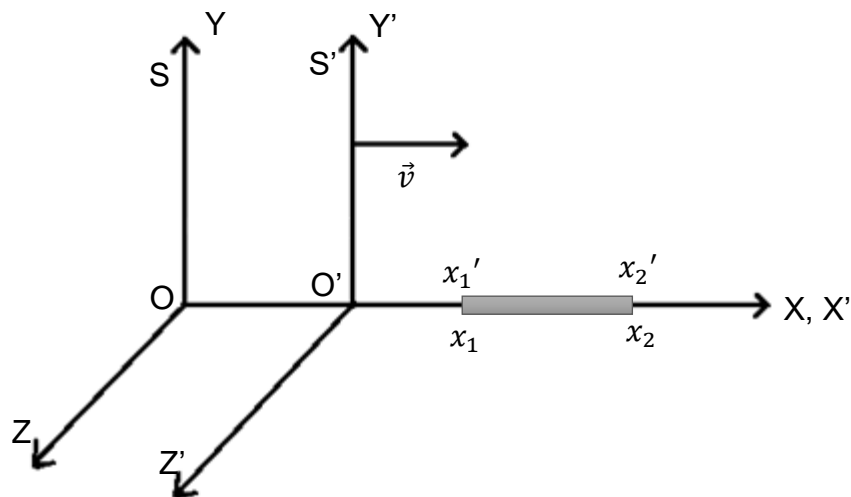
Ao analisar esta expressão, observa-se que o intervalo de tempo próprio entre dois eventos físicos é menor do que o intervalo de tempo observado entre os mesmos dois eventos medido em qualquer outro referencial inercial. Assim sendo, o intervalo

de tempo Δt medido em qualquer outro referencial será sempre maior que o tempo próprio. Este fenômeno de expansão do tempo é chamado de dilatação temporal.

3.4. A Contração do Comprimento

A contração do comprimento é um fenômeno que está diretamente associado ao fenômeno da dilatação temporal. Consideraremos os sistemas referenciais S e S', mostrados na figura 2, onde S e S' possuem eixos paralelos e S' movimenta-se com uma velocidade de módulo v na direção e sentido de X e X' (TIPLER e MOSCA, 2006). Consideraremos uma régua, disposta paralelamente aos eixos X e X', como ilustrado na figura 2. A régua está em repouso em relação a S' e suas extremidades possuem coordenadas espaciais x'_1 e x'_2 . Em relação ao referencial S a régua tem velocidade \vec{v} e coordenadas x_1 e x_2 .

Figura 2: Dois sistemas de referenciais inerciais S e S', com S' movendo-se com velocidade \vec{v} em relação a S. As extremidades de uma régua situada paralelamente aos eixos X e X' possuem coordenadas x_1 e x_2 em S e x'_1 e x'_2 em S'.



Fonte: Tipler e Mosca (2006) com adaptações feitas pelo autor.
Ilustração: do autor.

Conforme as transformações de Lorentz, observamos:

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

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

O comprimento da régua pode ser expresso por $L = x_2 - x_1$ no referencial S e $L' = x_2' - x_1'$ no referencial S', com as posições das extremidades da régua mensuradas no mesmo instante de tempo t , isto é, $t = t_1 = t_2$. Assim sendo, temos:

$$L' = x_2' - x_1' = \gamma(x_2 - vt) - \gamma(x_1 - vt) = \gamma(x_2 - vt - x_1 + vt) = \gamma(x_2 - x_1)$$

Fazendo a substituição de $L = x_2 - x_1$, temos que:

$$L' = \gamma L \quad (13)$$

De acordo com a equação (7) na qual explicita que $\gamma \geq 1$, a equação (13) implica em $L' > L$. Somente ocorre igualdade em uma situação específica em que a velocidade relativa entre os dois referenciais é nula. Usualmente o comprimento medido no referencial em que o objeto se encontra em repouso é representado por L_0 e é denominado como comprimento próprio. Neste caso, a régua encontra-se com velocidade \vec{v} em relação ao sistema referencial S e em repouso em relação ao sistema referencial S'. Ao substituírmos $L' = L_0$ na expressão (13), temos que:

$$L_0 = \gamma L \quad (14)$$

Esse efeito da contração do comprimento, que gera estranhamento pelo fato de se contrapor a intuição, está concatenado a escolha do referencial em relação ao qual as posições das extremidades da régua são determinadas.

Na situação analisada, em que a direção da velocidade do sistema de referencia S' em relação a S era coincidente com a direção de X e X'. Assim sendo, a largura e a espessura da régua não se alteram quando medidas em S ou em S', isto é, $(y_2' - y_1') = (y_2 - y_1)$ e $(z_2' - z_1') = (z_2 - z_1)$, visto que conforme as transformações de Lorentz $y' = y$ e $z' = z$. Generalizando, onde a velocidade de S' em relação a S pode ter qualquer direção e sentido, é possível observar que objetos bidimensionais e tridimensionais constituem formas diferentes em diferentes referenciais inerciais.

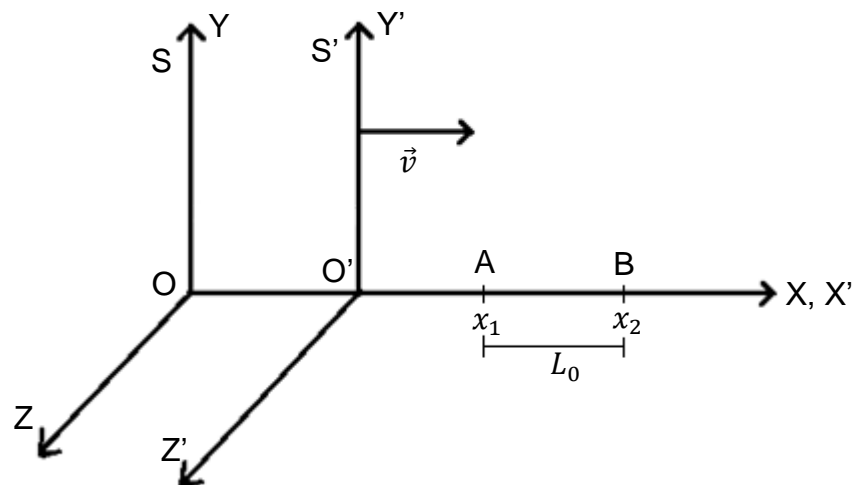
O conceito relativístico da aferição de uma medida é definido quando se explicita que as posições das extremidades da régua devem ser medidas no mesmo instante de tempo. Logo, esta definição é distinta ao fato de fotografar a régua em um determinado instante de tempo, em virtude de o módulo da velocidade da luz ser finito, e por conseguinte o tempo que os raios de luz de uma extremidade da régua demoram a chegar a câmera fotográfica é diferente do que o tempo que os raios da outra extremidade demoram para atingir o detector. Assim sendo, o ato de fotografar resulta em um comprimento diferente para a régua do que o efeito obtido por uma medida no âmbito da relatividade restrita.

3.5. A Relatividade da Simultaneidade

O conceito de simultaneidade está relacionado com a medida do tempo e o intervalo de tempo de eventos. Dois eventos simultâneos em um dado referencial inercial, ocorrem no mesmo intervalo de tempo (mensurado em relação a este referencial), entretanto, como consequência da transformação de Lorentz para o tempo, em um outro referencial inercial estes eventos podem não ser simultâneos. Esse fato é observado uma vez que a coordenada temporal em um sistema de referência inercial S' que se movimenta com velocidade constante em relação a outro referencial S , além de depender da velocidade relativa dos dois referenciais, também depende da posição espacial onde o evento ocorreu no referencial S . Dessa forma, dizemos que dois relógios sincronizados em um dado sistema de referência inercial, podem não estar sincronizados em outros referenciais inerciais (YOUNG e FREEDMAN, 2009).

Para problematizar a simultaneidade de eventos e a diferença na sincronicidade de relógios em sistemas referenciais inerciais distintos, iremos considerar os dois referenciais inerciais de eixos paralelos, ilustrados na figura 3, onde os relógios A e B, estão em repouso em relação ao referencial S , distantes por $L_0 = x_2 - x_1$, onde x_1 e x_2 correspondem as posições dos relógios.

Figura 3: Dois relógios idênticos A e B, separados por uma distância L_0 .



Fonte: Tipler e Mosca (2006) com adaptações feitas pelo autor.
Ilustração: do autor.

Considerando dois eventos simultâneos, que acontecem nas posições x_1 e x_2 no referencial S , e dois relógios A e B em repouso em relação a S , suas marcações

de tempo serão as mesmas, isto é, $t = t_1 = t_2$. Segundo propõe a transformação de Lorentz para o tempo, no referencial S' os dois eventos ocorrem nos instantes t_1' e t_2' , expressos por:

$$t_1' = \gamma \left(t_1 - \frac{vx_1}{c^2} \right) \quad (15)$$

e

$$t_2' = \gamma \left(t_2 - \frac{vx_2}{c^2} \right) \quad (16)$$

Logo, o intervalo de tempo transcorrido entre os dois eventos no sistema de referência inercial S' será:

$$\Delta t' = t_2' - t_1' = \gamma \left(t_2 - \frac{vx_2}{c^2} \right) - \gamma \left(t_1 - \frac{vx_1}{c^2} \right) = \gamma \left(t - \frac{vx_2}{c^2} - t + \frac{vx_1}{c^2} \right) = -\gamma \frac{v}{c^2} (x_2 - x_1),$$

considerando que $t = t_1 = t_2$. Ao substituir $L_0 = x_2 - x_1$, teremos que:

$$\Delta t' = -\gamma \frac{v}{c^2} L_0.$$

Ao fazer a interpretação desta expressão, pode-se inferir que dois eventos serão simultâneos em dois sistemas de referência exclusivamente quando $v \rightarrow 0$, visto que $\gamma \geq 1$, $L_0 > 0$ e c é o módulo da velocidade da luz, onde c é uma constante não nula.

Em conformidade com o fenômeno da dilatação do tempo, o intervalo de tempo em S' sofre dilatação pelo fator γ em relação ao intervalo de tempo em S ($\Delta t' = \gamma \Delta t$), assim:

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\gamma} = -\frac{v}{c^2} L_0 \quad (17)$$

Esta expressão indica que $\Delta t = t_2 - t_1 < 0$. Porém, ao admitir que os dois eventos aconteceram simultaneamente em S , e por isso, esperava-se encontrar $\Delta t = 0$, visto que $\Delta t = t_2 - t_1$ e $t = t_1 = t_2$. Portanto, esta equação (17) mostra, além da diferença de sincronidade dos relógios em S para uma medida feita em S' , que para um observador em S' , o evento ocorre depois no relógio localizado em x_1 , isto é, este relógio está atrasado em relação ao relógio localizado em x_2 .

Assim, conforme explicam Young e Freedman (2009), dois eventos simultâneos em um certo sistema de referência inercial, não podem ocorrer de maneira simultânea em qualquer outro sistema de referência inercial.

4. METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados os procedimentos metodológicos adotados nesse trabalho, desde a descrição do local de intervenção onde foi implementado o produto educacional (Apêndice A), os sujeitos envolvidos, a descrição do processo de aplicação da sequência didática desenvolvida, bem como os recursos didáticos utilizados. Também são descritos os instrumentos adotados para a coleta de dados, que foram utilizados para avaliar os efeitos da aplicação da sequência didática e seus recursos.

A proposta de intervenção através da sequência didática teve sua fundamentação na Teoria da Aprendizagem Significativa, sendo observadas durante cada etapa de implementação, os conceitos dessa teoria, desde a identificação dos conhecimentos prévios dos estudantes, até a reconciliação integradora dos novos conceitos.

Este trabalho tem como principal objetivo apresentar uma abordagem da Teoria da Relatividade Restrita no Ensino Médio, fazendo um paralelo com a física newtoniana, tendo como principal estratégia o uso da construção de histórias em quadrinhos como elemento facilitador da aprendizagem significativa.

Em consonância com a Teoria da Aprendizagem Significativa, as histórias em quadrinhos atuam como ferramenta de reconciliação integradora, por possibilitarem que a aprendizagem aconteça na interação entre os conceitos, em suas experiências e vivências com imagens e falas relativas ao compartilhamento de compreensões e significados sobre a teoria da relatividade restrita.

Nas seções a seguir serão apresentados os contextos em que este estudo foi desenvolvido. Na seção 4.1, será apresentada de forma breve a proposta metodológica do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. Na seção 4.2, será exposta uma descrição da instituição de ensino em que o produto foi aplicado. Na seção 4.3, será descrita de forma concisa a turma de aplicação do produto educacional, trazendo informações sobre os sujeitos deste estudo. Na seção 4.4, estará discriminada a organização deste trabalho, com as etapas de implementação do produto educacional.

4.1 A proposta metodológica do MNPEF

O Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), proposto pela Sociedade Brasileira de Física (SBF) ofertado em parceria com diversas Instituições de Ensino Superior (IES) do país, é um programa em nível de pós-graduação, de caráter profissional, voltado a professores de física da educação básica.

O MNPEF objetiva capacitar, em nível de mestrado, os professores de física que atuam no ensino fundamental e médio do país, quanto ao domínio de tópicos da física clássica e moderna, bem como promover espaço de discussão sobre as teorias de aprendizagem e metodologias de ensino desta ciência, e estratégias que façam uso de recursos de mídia eletrônica, tecnológicos e/ou computacionais para a motivação, experimentação e aplicação em sala de aula.

Conforme o regimento do MNPEF, o programa visa qualificar o ensino de física no país, tanto para o desempenho do trabalho docente quanto para o desenvolvimento de técnicas e produtos educacionais factíveis no contexto da educação básica do país. Sendo assim, a proposta do programa não é focada na pesquisa em ensino de física, e sim no desenvolvimento de estratégias de ensino e produtos educacionais que possam ser implantados em sala de aula a partir do relato de experiência de sua aplicação em uma dissertação. Pode ser considerado um produto educacional um texto de apoio ao professor, uma sequência didática, um aplicativo, o uso de um software, entre tantas outras formas e possibilidades de ensinar física.

Considerando a proposta metodológica do MNPEF, desenvolvemos um produto educacional que oferece ao professor uma forma alternativa para abordar um dos tópicos da física moderna e contemporânea no ensino médio: a Teoria da Relatividade Restrita. Tal produto consiste em uma sequência didática potencialmente significativa que tem como recurso de reconciliação de conceitos a construção de histórias em quadrinhos por parte dos estudantes. A proposta didática metodológica para a abordagem dos conceitos da teoria da relatividade restrita no primeiro ano do ensino médio, consistiu na construção de uma narrativa que contextualizasse historicamente esse tópico da física, estabelecendo relações com a mecânica clássica, tradicionalmente desenvolvida neste ano escolar da educação básica.

A ideia de inserir a Teoria da Relatividade Restrita paralelamente ao ensino da física clássica, surge ao considerar que os estudantes estão tendo contato com a área da mecânica, o que possibilita as relações entre conceitos. Mas sobretudo, este trabalho tem a intencionalidade de garantir que esse tópico seja abordado no ensino médio, tendo em vista que o mesmo, tradicionalmente, é elencado no rol de objetos de conhecimento a serem desenvolvidos no terceiro ano, o que por vezes devido a carga horária, acaba não se concretizando.

A partir de buscas em trabalhos propostos por outros professores pesquisadores e revisão na literatura do ensino de física, foi possível constatar que existe atualmente um interesse na inserção de tópicos da física moderna e contemporânea ao longo do ensino médio. No entanto, este trabalho se diferencia das demais propostas ao apresentar uma sequência didática potencialmente significativa que traz como estratégia facilitadora da aprendizagem a construção de histórias em quadrinhos, com o intuito de que os estudantes possam explicitar através de representações e contextos, as suas compreensões sobre o tema estudado.

Com base nessas considerações e na revisão da literatura, destaca-se a originalidade da proposta, que apresenta uma estratégia de ensino fundamentada na construção da aprendizagem dos conceitos da teoria da relatividade restrita, com uso de um material potencialmente significativo.

4.2 A instituição de ensino da aplicabilidade do produto educacional

O produto educacional foi aplicado no Instituto Estadual de Educação Barão de Tramandaí. Tal instituição pertence a rede pública estadual de ensino, localizada na Avenida Rubem Berta, 1565, no centro do município de Tramandaí, no litoral norte gaúcho, distante aproximadamente 120 km da capital do Estado.

A escolha para a implementação do produto educacional nessa instituição de ensino ocorreu pelo fato de trabalhar nela há cinco anos. Essa experiência profissional propiciou o conhecimento da realidade da comunidade escolar, dos indivíduos que ali se encontram, seja para exercer suas atividades laborais, seja para obter ali formação básica, profissional e técnica. Tal conhecimento da realidade favoreceu o planejamento das ações de aplicação do produto, tanto no que diz respeito aos

aspectos protocolares, administrativos e organizacionais, quanto ao perfil dos estudantes que ingressam no ensino médio.

Essa instituição de ensino atende atualmente mais de mil e duzentos estudantes regularmente matriculados, e oferece formação em nível fundamental, médio, educação de jovens e adultos, curso normal concomitante com ensino médio, curso normal subsequente, curso técnico em transações imobiliárias e técnico em contabilidade. O regime de funcionamento das atividades na instituição é nos três turnos.

A escola possui dezesseis salas de aula, dois laboratórios de informática, laboratório de ciências, sala de professores, biblioteca, secretaria, refeitório, auditório, e amplo espaço aberto para convivência dos estudantes. Devido ao fato de que a instituição possui cursos em nível técnico e formação de professores para atuarem com a educação infantil e os anos iniciais do ensino fundamental, a escola recebe estudantes de diversas cidades do litoral norte gaúcho.

O quadro de recursos humanos da instituição conta com mais oitenta servidores, entre funcionários de escola e professores. O quadro docente é formado por profissionais que, em sua expressiva maioria, possuem graduação e pós-graduação em nível de especialização.

A aplicação do produto educacional foi realizada em uma turma de primeiro ano do ensino médio, do turno da manhã. A turma possui quarenta e um estudantes matriculados, com faixa etária entre catorze e dezessete anos, porém, desses, apenas trinta e seis alunos são frequentes; A turma se destaca na escola por serem muito participativos e interessados nas propostas pedagógicas. Boa parcela dos estudantes da turma são envolvidos em projetos esportivos e do grêmio estudantil da escola, e alguns se destacam pelas habilidades artísticas como dança, música e desenho.

4.3 A organização da aplicação do produto educacional

O produto educacional foi aplicado no primeiro semestre do ano letivo de 2018, entre os meses de abril e junho, e para tanto foram utilizadas oito semanas de aula que totalizaram dezesseis horas-aula.

A proposta de intervenção consistiu nas seguintes etapas apresentadas na Tabela 1, seguindo a proposta de Ausubel discutida ao longo do capítulo 2, na seção 2.1, para promover uma aprendizagem significativa:

Tabela 1 – Etapas de implementação do produto educacional.

Etapa	Atividade	Semanas								
1ª etapa	Questionário para identificar os conhecimentos prévios	■								
2ª etapa	Introdução de organizadores prévios		■							
3ª etapa	Sistematização e aprofundamento dos assuntos			■	■					
4ª etapa	Questionário para identificar as aprendizagens					■				
5ª etapa	Proposta de construção de HQs						■	■		
6ª etapa	Seminário de socialização das HQs								■	

Fonte: do autor.

A descrição das aulas e de cada etapa de implementação da sequência didática, bem como a análise das aprendizagens dos estudantes com base nas interações nas aulas e nos dados levantados a partir da aplicação dos questionários, serão apresentados no capítulo subsequente.

5 APLICAÇÃO DO PRODUTO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados os resultados da implementação do produto educacional, com discussões pertinentes aos dados coletados. Os resultados apresentados e as análises serão embasadas nas produções dos estudantes, que se deram nas seguintes etapas:

- Questionário de identificação dos conhecimentos prévios dos estudantes;
- Questionário para identificar as aprendizagens a partir da sistematização e aprofundamento dos assuntos;
- Histórias em quadrinhos construídas pelos estudantes;
- Questionário para reflexão dos estudantes sobre a proposta.

As discussões dos questionários foram realizadas levando em consideração o caráter quantitativo e qualitativo, enquanto que as discussões sobre as histórias em quadrinhos produzidas pelos estudantes foram de uma conjuntura qualitativa.

Mas para além dos momentos de aplicação dos questionários, este capítulo também apresentará uma descrição e análise de cada aula, destacando as etapas de aplicação da sequência didática e o envolvimento dos estudantes nas atividades propostas.

5.1 Descrição da aplicação da sequência didática

A primeira etapa de implementação do produto educacional objetivou identificar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre conceitos da mecânica clássica e relativística, bem como motivar e despertar o interesse dos mesmos a partir de questões problematizadoras. Para tanto foi aplicado com a turma o questionário para identificação de conhecimentos prévios (Apêndice B).

Para a aplicação dessa etapa foi utilizada uma aula de duas horas de duração, a qual os estudantes tiveram aproximadamente uma hora e vinte minutos para responder o questionário de conhecimentos prévios. No início da aula, foi distribuído uma cópia do questionário para cada estudante, sem haver explicação prévia sobre os assuntos abordados no mesmo, bem como sobre o que se tratar. Os estudantes foram apenas instruídos a responderem de acordo com o que acreditavam ser a

explicação correta de acordo com as suas concepções. Após todos os estudantes responderem ao questionário, foi realizada uma conversa explicando o objetivo daquele momento da aula, e o que seria desenvolvido nas próximas etapas da sequência didática. Nesse momento, também foi exposto a partir de uma conversa breve, a temática que seria abordada junto a turma nas próximas aulas. Alguns estudantes se mostraram bastante interessados pelo tópico de física que seria estudado, manifestando curiosidade pelos assuntos, inclusive relacionando este interesse com base em algumas perguntas do questionário que havia sido respondido anteriormente.

Tomando por base os conhecimentos prévios dos estudantes identificados nesse primeiro questionário, iniciou-se a segunda etapa, na qual foram introduzidos organizadores prévios, que serviram de suporte às novas aprendizagens, promovendo o desenvolvimento dos subsunçores necessários. Para isto, foi utilizado o texto de apoio “Aspectos históricos da mecânica: da filosofia natural de Aristóteles à teoria da relatividade de Albert Einstein” (Apêndice C). O texto foi escrito tomando por base os conhecimentos prévios dos estudantes, identificados na etapa anterior, com o objetivo de superar algumas dificuldades ou conceitos inadequados que os estudantes tinham sobre os assuntos relativos ao estudo da mecânica.

A segunda etapa da sequência didática foi aplicada em uma aula de duas horas de duração, onde foram apresentadas aos estudantes a partir do texto de apoio, as principais ideias da filosofia natural de Aristóteles e sua interpretação para o movimento dos corpos. Também se apresentou uma visão geral sobre a evolução da mecânica, destacando as principais contribuições de Galileu Galilei, Isaac Newton e Albert Einstein, possibilitando uma contextualização histórica dos conceitos. Nessa etapa, além de discutir momentos importantes sobre a evolução da mecânica, procurou-se evidenciar que a ciência física foi construída coletivamente ao longo da história.

Para facilitar a aplicação da aula, foi entregue uma cópia do texto de apoio para cada estudante, e a sua leitura foi realizada de forma coletiva pela turma. O texto foi lido de forma pausada, havendo momentos de parada para discussão e reflexão sobre o que era exposto. A medida em que surgiam no texto assuntos que explicitavam algum esclarecimento para os fenômenos apresentados no questionário da aula anterior, era realizada uma explicação para tais fenômenos de forma dialogada com

a participação dos estudantes. Em alguns momentos, foram realizadas explicações no quadro da sala de aula, para a demonstração de fenômenos relativos ao que havia sido exposto no texto. Foi possível identificar ao longo da leitura do texto e dos próprios questionamentos feitos pelos estudantes, que apesar de terem contato com alguns conceitos da cinemática, muitos possuíam algumas incertezas ao analisar os conceitos aplicados em outros contextos. Apesar disso, uma grande parcela da turma participou ativamente quando as questões tratavam da relatividade clássica, demonstrando um bom entendimento.

A terceira etapa objetivou a sistematização e o aprofundamento dos assuntos referentes a teoria da relatividade restrita. Tomando por base as discussões levantadas nas etapas anteriores, foram apresentados novos e importantes elementos para o desenvolvimento da teoria, que por sua vez trouxeram desdobramentos na interpretação da mecânica. Para a sistematização e aprofundamento dos conceitos da teoria da relatividade restrita foram utilizados slides e um simulador (Apêndice D). Os conceitos discutidos na terceira etapa foram:

- O que é relativo e absoluto;
- A velocidade da luz;
- Postulados da relatividade restrita;
- A dilatação do tempo;
- A contração do comprimento;
- A impossibilidade da simultaneidade.

Apoiado nestes recursos (slides e um simulador), foram explorados esses conceitos a fim de proporcionar uma diferenciação progressiva, conforme propõe a teoria ausubeliana. Nessa etapa, foram levados em consideração os conhecimentos prévios apresentados pelos estudantes, com vistas aos aspectos históricos evolutivos da mecânica.

Para a aplicação da terceira etapa foram utilizadas duas aulas, totalizando quatro horas. As duas aulas foram bastante expositivas, com muitos momentos de diálogo e questionamentos. Para favorecer um melhor aproveitamento do tempo, as aulas foram entregues aos estudantes em cópias. Para expor os assuntos foi feito uso de apresentação de slides e momentos de explicação no quadro quando havia a necessidade de desenvolvimento de processos de matematização.

Nessas duas aulas em que foram tratados assuntos da relatividade restrita, os estudantes participaram ativamente, demonstrando-se muito interessados nas explicações. Dentre os assuntos que foram discutidos, os que mais geraram inquietação nos estudantes foram os postulados da teoria da relatividade. Logo no início da terceira aula da sequência didática, foram propostas algumas situações para provocar os estudantes a pensarem sobre a relatividade da velocidade e análise da velocidade da luz em diferentes contextos. A partir destas situações propostas sobre a ideia de relatividade da velocidade e constância da velocidade da luz, e com base nos conhecimentos prévios dos estudantes, foi possível tratar sobre as consequências dos postulados de Einstein.

Interessante destacar também, que os estudantes de forma satisfatória, conseguiram acompanhar o desenvolvimento dos processos de matematização que levaram as expressões que explicitam a dilatação do tempo e a contração do comprimento, tendo em vista que tais processos exigiam conhecimentos básicos de aritmética, álgebra e geometria, bem como, conhecimentos de cinemática básica como cálculo de velocidade, distância e intervalo de tempo de um corpo que se move uniformemente em uma trajetória retilínea.

A abordagem das consequências dos postulados da relatividade restrita despertou nos estudantes muita curiosidade e interesse. Nas duas aulas de aprofundamento da TRR, os estudantes mencionaram em alguns momentos sobre filmes e seriados de ficção científica que fazem uso em suas narrativas dessas consequências. Tais menções foram tomadas como exemplos de aplicação em outros contextos, onde se buscou estabelecer relações comparativas com o que estava sendo abordado em sala de aula.

Aprofundar os temas da relatividade restrita, somente foi possível de ser realizado com base nos conhecimentos prévios dos estudantes sobre referencial inercial, entendimento sobre movimento dos corpos, e no entendimento da relatividade das grandezas a partir da constância da velocidade da luz. Tais conceitos foram sendo revisados e discutidos ao longo das aulas a medida em que se fazia necessário. A partir dessas interações, os conceitos eram abordados e diferenciados, e novas situações eram propostas, colocando os estudantes frente a novos contextos de aplicação. Além da utilização do texto de apoio com os assuntos da relatividade restrita, e da exposição no quadro, também foi feito o uso de um simulador que

explorava a simultaneidade de eventos. Em um primeiro momento o professor explicou o funcionamento do simulador, e em seguida alguns estudantes foram convidados a manipularem, identificando a partir das variações dos parâmetros, alguns padrões da relatividade da simultaneidade.

As situações propostas nesta etapa da sequência didática foram discutidas em sala de aula a partir de diálogos entre professor e estudante, objetivando a uma resolução coletiva para os problemas. Alguns estudantes se mostravam bastante inseguros para expor suas dúvidas, demonstrando certo receio em errar ou empregar de forma incorreta os conceitos e terminologias. Apesar disso, os estudantes se mostraram muito participativos e interessados pelo que estava sendo proposto.

Na quarta etapa foi aplicado com a turma um questionário para identificar as aprendizagens considerando as etapas anteriores (Apêndice E). Esse questionário trouxe aos estudantes situações em que os conceitos diferenciados anteriormente, com base nas exposições, demonstrações, diálogos, exercícios e as correções conjuntas com o grande grupo, estavam envolvidos. Com isto, buscou-se identificar as aprendizagens de cada estudante sobre a temática, conhecendo as suas percepções e identificando como os mesmos compreenderam os assuntos, e até mesmo identificando o que não ficou claro. Após a aplicação do questionário, as respostas foram analisadas junto aos estudantes, com a finalidade de retomar os acertos, bem como, identificar as razões para os erros dos estudantes.

Para a aplicação dessa etapa da sequência didática, foi utilizada uma aula de duas horas de duração. No início dessa aula foi realizada a entrega de uma cópia do questionário para cada estudante, onde os mesmos foram instruídos a responderem as situações de acordo com as abordagens nas aulas anteriores, utilizando uma linguagem clara e objetiva. Durante a aplicação do questionário, houve um grande envolvimento dos estudantes na resolução das situações, onde uma considerável parcela da turma utilizou para respondê-lo, mais de uma hora e trinta minutos. Os estudantes responderam as questões de forma autônoma, sem haver qualquer tipo de interferência do professor, o que acaba conferindo aos resultados obtidos uma fidelidade ao que foi compreendido por eles.

O questionário foi entregue no início da aula seguinte, para que pudesse ser realizada uma discussão com base nas respostas dadas pelos estudantes. Este

momento foi de extrema importância para a retomada dos assuntos que foram diferenciados ao longo da sequência didática, onde objetivou-se identificar e minimizar as dúvidas e incertezas sobre os conceitos abordados, com base nas situações exploradas no questionário.

Considerando a abordagem dos conceitos da teoria da relatividade restrita nas etapas anteriores, desde aspectos históricos na evolução do estudo da mecânica, até algumas das principais consequências dos postulados propostos por Einstein, na quinta etapa, foi proposto a construção de histórias em quadrinhos sobre tais conceitos, em grupos de até três estudantes. Esse recurso foi utilizado a fim de facilitar a aprendizagem, objetivando a assimilação dos conceitos estudados nas etapas anteriores. Esta estratégia facilitadora, objetivou reconciliar os conceitos da teoria que foram sendo diferenciados ao longo das aulas, possibilitando ao professor reavaliar a aprendizagem dos estudantes, a partir das construções de suas histórias em quadrinhos e da aplicação dos conceitos em outros contextos e situações. Para essa etapa de construção de histórias em quadrinhos foi utilizado um material orientador para os estudantes, contendo algumas instruções sobre o estilo desta forma de expressão e arte (Apêndice F).

Para a referida etapa foram utilizadas duas aulas, totalizando quatro horas de duração. No início da primeira aula dessa etapa, foi apresentado em slides um material orientador sobre a arte e a linguagem quadrinística, a fim de dar suporte para as criações dos estudantes. Nesse processo de criação, os estudantes foram instruídos a construírem em trios, uma HQ que em seu roteiro, fizesse relação entre os conceitos que foram estudados nas aulas anteriores, podendo serem construídas durante o período das duas aulas destinadas para esta etapa, e, se necessário, fora do período escolar. Durante essas duas aulas os estudantes participaram intensamente, tanto interagindo entre eles, quanto com o professor. Houve grande interesse na proposta de construção de histórias em quadrinhos, principalmente no processo de roteirização das histórias, no qual os estudantes empregaram os conceitos da teoria da relatividade restrita em diferentes contextos, ocorrendo em muitos momentos a pesquisa no material de apoio utilizado nas aulas.

No encerramento da segunda aula de construção das histórias em quadrinhos, foi entregue um termo de consentimento livre e esclarecido (Apêndice G), para que os

estudantes pudessem juntamente com seus responsáveis manifestar o interesse em colaborar de forma anônima e voluntária com a realização deste trabalho.

Com o intuito de consolidar a avaliação da aprendizagem dos estudantes, bem como a própria proposta da sequência didática, na sexta etapa foi proposto aos estudantes um seminário para a apresentação das histórias em quadrinhos criadas por eles. Com base na apresentação de cada HQ foi possível identificar as aprendizagens dos estudantes, considerando suas formas de comunicar suas ideias, expressar suas compreensões dos conceitos da teoria da relatividade restrita, através de situações por eles criadas, e também ao empregarem os conceitos da teoria da relatividade restrita em outros contextos considerando seus conhecimentos prévios.

No momento de socialização das histórias em quadrinhos, foi possível identificar a partir das apresentações, que os estudantes haviam se apropriado da proposta. A utilização das histórias em quadrinhos como uma das estratégias da sequência didática merece destaque, apesar de não ter sido uma construção individual, é importante salientar a dedicação e interesse dos estudantes que foram protagonistas e as aprendizagens obtidas sobre a relatividade restrita.

Também foi proposto aos estudantes nesta etapa final de implementação do produto educacional, um momento de reflexão sobre esse trabalho, no qual os estudantes puderam fazer suas considerações referente as etapas de implementação, a metodologia utilizada, os recursos didáticos escolhidos, dentre eles, a construção de histórias em quadrinhos. O questionário que os estudantes responderam, trazendo suas reflexões sobre a proposta (Apêndice H).

5.2 Análise de conhecimentos prévios dos estudantes

No momento inicial da implementação do produto educacional, se buscou identificar quais eram os conhecimentos prévios dos estudantes sobre a mecânica clássica, bem como sobre a mecânica relativística. A análise dos conhecimentos prévios dos estudantes evidenciou uma diversidade nos níveis de entendimento sobre o movimento dos corpos: parte dos estudantes tem uma visão aristotélica, outros apresentam uma interpretação à luz da mecânica clássica, e poucos à luz da mecânica relativística.

A partir de um texto de apoio para introduzir organizadores prévios e de uma sequência didática de sistematização e aprofundamento da teoria da relatividade restrita em paralelo com a mecânica clássica, foi solicitado aos estudantes a criação de histórias em quadrinhos como estratégia de integrar os assuntos abordados e de reconciliar os conceitos que foram sendo diferenciados na sequência didática. Tais criações serão analisadas posteriormente a fim de identificar de que forma os estudantes articularam a linguagem e estilística das histórias em quadrinhos com os conhecimentos da Teoria da Relatividade Restrita.

Tomando por base a teoria da aprendizagem significativa proposta por Ausubel, no primeiro momento da implementação do produto educacional, se buscou identificar quais eram os conhecimentos prévios dos estudantes sobre a Teoria da Relatividade Restrita. Para Moreira (1999), a aprendizagem significativa tem condições de ocorrer quando os novos conceitos a serem apresentados ao estudante conseguirem se ancorar com os seus conhecimentos prévios, podendo assim esses novos conceitos se integrarem com a sua estrutura cognitiva. Para esta teoria, quando uma nova informação se ancora em conceitos que já existem na estrutura cognitiva do estudante, acarretando em uma modificação e nova organização dela, ocorre uma aprendizagem significativa.

Partindo destes pressupostos, foi aplicado um questionário (Apêndice B) para detectar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre o assunto que seria desenvolvido durante a aplicação do produto. Para além dos conceitos dessa teoria, também objetivou-se reconhecer os conhecimentos prévios dos estudantes sobre outros conceitos relacionados ao estudo da Física de 1º ano (Mecânica Clássica), a fim de subsidiar a construção da sequência didática a partir do que os estudantes já sabiam.

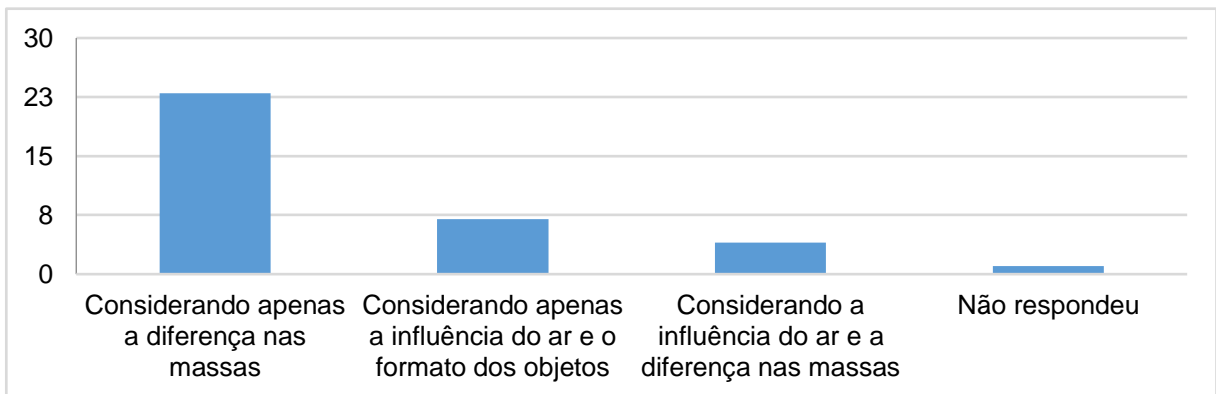
O questionário continha oito perguntas com situações que possibilitavam a identificação da forma com que os estudantes analisam o movimento dos corpos, suas ideias sobre grandezas absolutas e relativas e a forma com que eles descrevem a trajetória de corpos sobre diferentes referenciais.

A primeira questão trouxe aos estudantes uma clássica reflexão sobre a queda dos corpos: “O que cai primeiro?”. Foi proposto aos estudantes a seguinte questão: Uma

pedra e uma folha de papel aberta na horizontal, são soltas da mesma altura e no mesmo instante. O que chega primeiro ao solo? Justifique sua resposta.

Nessa questão, objetivou-se identificar como os estudantes veem o movimento de queda dos corpos, e o que consideram como fator que influencia esse movimento. As respostas para esta questão são apresentadas no gráfico 1.

Gráfico 1: Respostas dos estudantes para a questão 1.



Fonte: Dados da pesquisa.

A maioria¹ dos estudantes justificou que o fator que influencia esta situação é a diferença de massas entre os corpos. Para vinte e três estudantes, o fato de a pedra ser mais pesada que a folha de papel justifica o fato dela cair primeiro, seguindo uma visão aristotélica para o movimento de queda dos corpos. Para os estudantes ² EB e AC:

- A pedra, pois ela é mais pesada do que a folha.

- Chegará primeiro a pedra, pois ela é mais pesada, o que resulta no aumento da velocidade da pedra.

Para alguns estudantes, apenas a existência do ar e o formato dos objetos são fatores relevantes para responder esta situação, o que nos remete a uma visão galileana para a explicação da queda dos corpos. Nesse caso, temos que os corpos de diferentes massas abandonados de uma mesma altura se deslocam verticalmente para baixo devido ao campo gravitacional terrestre, ambos com a mesma velocidade

¹ Para a análise dos resultados, algumas respostas foram escolhidas para serem incorporadas no texto deste trabalho, dentro do conjunto de respostas que foram categorizadas, sem haver narrativas discrepantes.

² A identidade do estudante será preservada, por isso, optamos pelo uso de siglas.

e chegam ao solo no mesmo instante, quando tais corpos se deslocam no vácuo ou quando desconsideramos a resistência do ar. O que fica evidenciado na resposta do estudante MG:

- As duas chegariam ao mesmo tempo, caso estivéssemos desprezando a resistência do ar. Como estão sendo soltas de uma mesma altura e do mesmo lugar na Terra, a pedra cairá primeiro.

Outros estudantes elencaram a influência do ar na queda do papel, porém citaram também o fato da pedra ser mais pesada. Segundo o estudante MN:

- A pedra. A massa faz com que ela tenha menos problemas em ser influenciada pelo vento, pois a folha pode simplesmente ser jogada para longe ou cair mais lentamente por conta do vento.

Percebe-se que a concepção intuitiva de boa parte dos estudantes, está alinhada ao pensamento aristotélico, quando se trata da interpretação do movimento de queda dos corpos. Ideias estas que prevaleceram por mais de dois mil anos como justificativa para o movimento dos corpos. Portanto, sem desprezar as ideias aristotélicas, faz-se necessário discutir e introduzir outras formas de explicar esses fenômenos, mostrando aos estudantes novas concepções sobre os movimentos, que foram apresentados por Galileu.

A segunda questão apresentou seis afirmativas aos estudantes, onde os mesmos deveriam julgá-las como corretas ou incorretas. As afirmativas eram as seguintes envolvendo alguns assuntos como geocentrismo e o heliocentrismo, o conceito de referencial inercial, e a contração do comprimento:

Assinale C para afirmativas corretas e I para afirmativas incorretas:

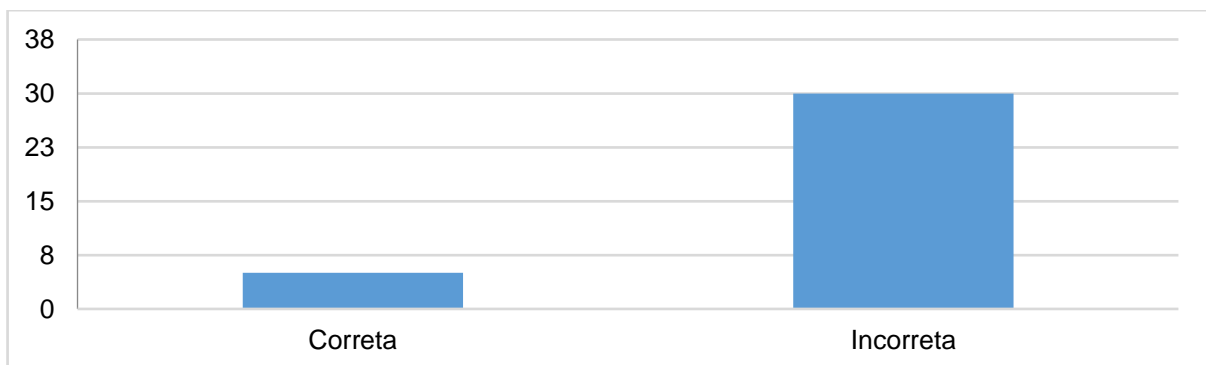
- a) () A Terra está parada no centro do universo.
- b) () Quando estamos dentro de um ônibus em movimento retilíneo uniforme e arremessamos um objeto para o alto, este se desloca para trás por causa da velocidade do veículo.
- c) () Os passageiros que estão sentados dentro de um ônibus que está se movimentando à velocidade constante de 40km/h, em uma trajetória retilínea, estão parados em relação ao ônibus.

- d) () Se dois automóveis se deslocam por uma estrada retilínea com velocidades iguais, e no mesmo sentido, um está em repouso em relação ao outro.
- e) () Tomando como referência uma pessoa na superfície da Terra, é possível afirmar que o Sol e a Lua giram em torno da Terra.
- f) () Um ônibus terá sempre o mesmo comprimento, independente da sua velocidade, pois velocidade e comprimento são grandezas físicas independentes.

A seguir, passaremos a analisar as respostas dos estudantes para cada uma das seis afirmativas.

Nesta questão, a expressiva maioria dos estudantes demonstrou discordância com relação a esta frase, que é baseada na ideia de que a Terra estaria fixa no centro do Universo, e os demais corpos celestes orbitando ao seu redor, como propôs o filósofo Aristóteles e o astrônomo Ptolomeu, conforme nos mostra o gráfico 2.

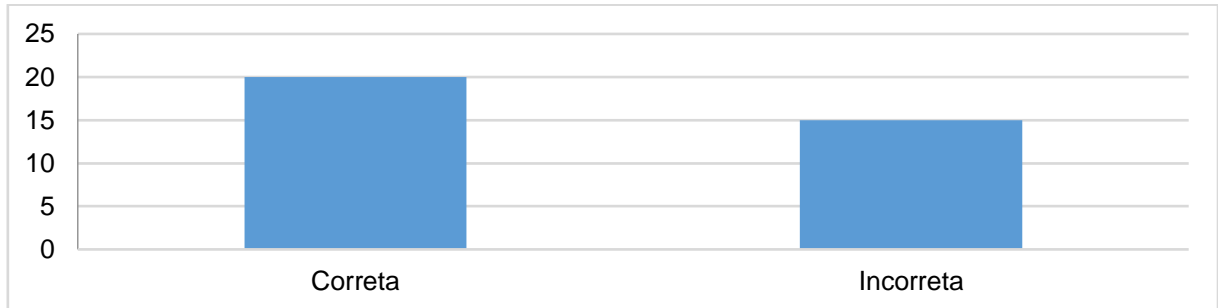
Gráfico 2: Respostas dos estudantes para a questão 2, afirmativa A.



Fonte: Dados da pesquisa.

Na segunda afirmativa, a maior parte da turma considerou que devido ao fato do ônibus ter uma velocidade constante, quando é arremessado um objeto para o alto, o mesmo deve se deslocar no sentido contrário ao movimento do veículo, conforme nos mostra o gráfico 3. Porém uma parcela dos estudantes considerou a afirmativa incorreta, tendo em vista que por inércia, o objeto arremessado tem a mesma velocidade do ônibus, fazendo com que o mesmo retorne as mãos de quem o arremessou.

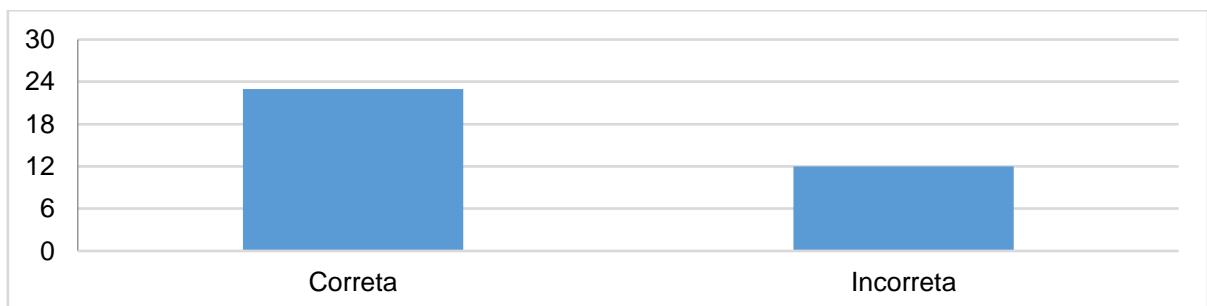
Gráfico 3: Respostas dos estudantes para a questão 2, afirmativa B.



Fonte: Dados da pesquisa.

Para vinte e três estudantes, quando estamos sentados em um veículo que se desloca com velocidade constante e em trajetória retilínea, estamos parados em relação a esse veículo, conforme apresenta o gráfico 4. Sendo assim, é possível perceber que para analisar esta situação, a maior parte dos estudantes, adotando o referencial expresso na afirmativa, soube determinar que os corpos que estavam dentro do veículo estavam em repouso. O que de certa forma contradiz o que a maioria dos estudantes respondeu na afirmativa anterior.

Gráfico 4: Respostas dos estudantes para a questão 2, afirmativa C.

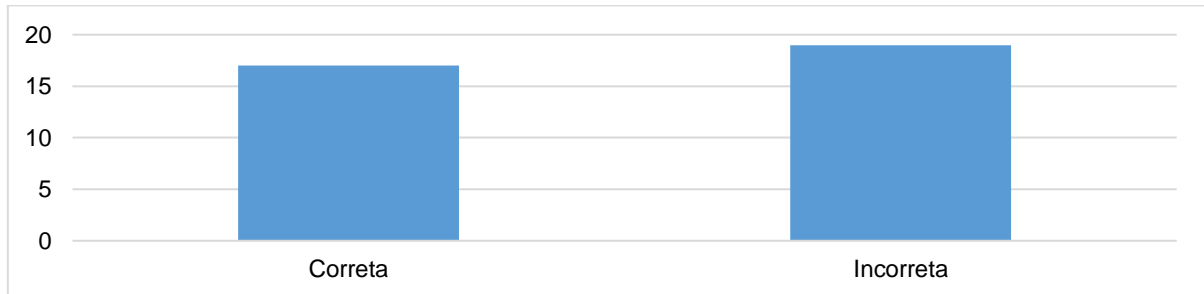


Fonte: Dados da pesquisa.

A quarta afirmativa da segunda questão, conforme os resultados apresentados no gráfico 5, também abordava a análise de movimento e repouso com relação a um referencial. Pode-se verificar nas respostas dos estudantes, que ainda existe certa dificuldade para realizar essa análise. Dos trinta e cinco estudantes, dezoito

responderam que quando dois móveis se deslocam em movimento retilíneo uniforme e no mesmo sentido, eles estão em movimento em relação ao outro, e para dezessete estudantes um está em repouso em relação ao outro. Portanto, percebe-se que a análise do estado de movimento ou repouso dos corpos, relativos a um referencial inercial ainda não está bem consolidado.

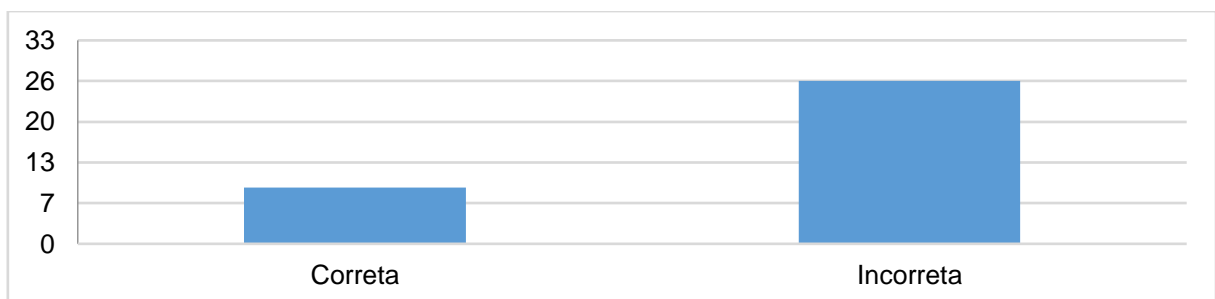
Gráfico 5: Respostas dos estudantes para a questão 2, afirmativa D.



Fonte: Dados da pesquisa.

A quinta afirmativa, se referia a análise do estado de movimento ou repouso da Lua e do Sol ao redor da Terra, quando adota-se um referencial fixo na superfície terrestre. Para a maioria dos estudantes, não podemos afirmar que isso ocorre quando tomamos como referencial, uma pessoa na superfície da Terra. Pode-se identificar prováveis justificativas para o pensamento dos estudantes com relação a esta afirmativa. Uma delas é que apesar do movimento aparente do Sol e da Lua com referência a um ponto fixo na Terra, os estudantes veem na componente curricular geografia, tanto no ensino fundamental quanto no ensino médio, o movimento orbital da Terra ao redor do Sol, bem como o movimento de rotação da Terra em torno de um eixo próprio. Desta forma, identifica-se que os estudantes ainda não dominam o conceito de referencial inercial plenamente, conforme dados obtidos na pesquisa e apresentados no gráfico 6.

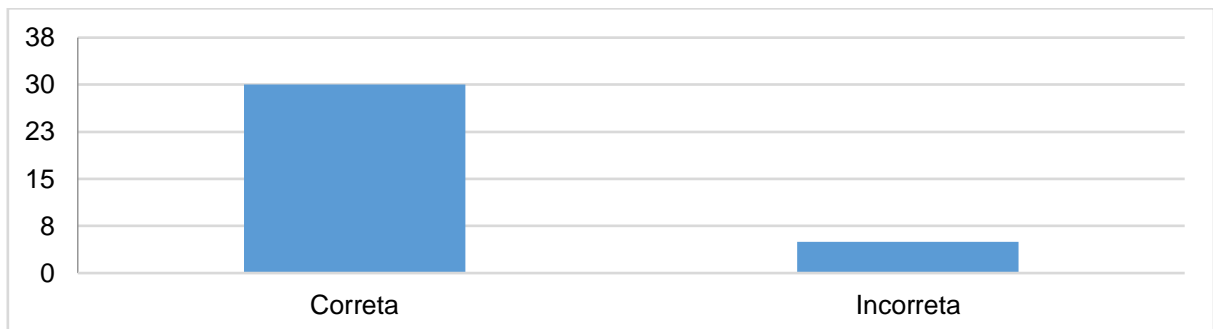
Gráfico 6: Respostas dos estudantes para a questão 2, afirmativa E.



Fonte: Dados da pesquisa.

A última afirmativa trouxe um questionamento relativo a contração do comprimento, um dos tópicos da Teoria da Relatividade Restrita e que será estudado ao longo da implementação do produto. Tomando por base os resultados deste questionamento, apresentados no gráfico 7, foi possível constatar que a expressiva maioria dos estudantes não imagina que o comprimento de um objeto, possa sofrer uma variação negativa como decorrência de sua velocidade. É certo que a contração do comprimento de um corpo ocorre de forma significativa quando o mesmo se encontra com uma velocidade alta, na ordem da velocidade da luz, o que não acontece no movimento de um ônibus. No entanto, a frase afirma que comprimento não é uma grandeza dependente da velocidade, o que acaba mostrando em um primeiro momento, uma visão cética dos estudantes que algum objeto possa sofrer uma variação em seu comprimento.

Gráfico 7: Respostas dos estudantes para a questão 2, afirmativa F.



Fonte: Dados da pesquisa.

A terceira questão apresentada aos estudantes, novamente propõe uma análise relacionada ao movimento e repouso relativo de um corpo a partir de diferentes referenciais inerciais: Carlos está parado em relação ao solo e observa um trem que se desloca em movimento retilíneo e uniforme em relação a ele. No interior desse trem, sentado em uma poltrona, se encontra Augusto. Suponha que o trem seja totalmente transparente, de tal forma que Carlos consiga ver tudo o que acontece em seu interior.

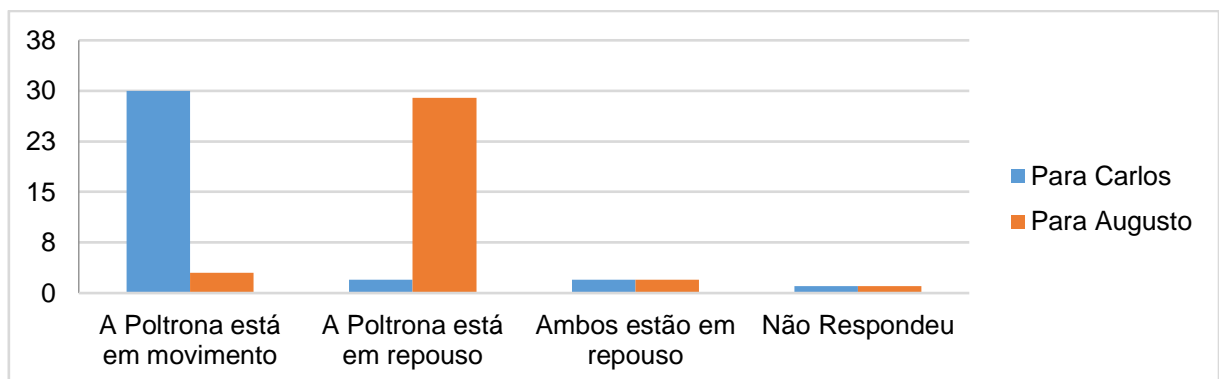
- a) Os dois amigos observam uma determinada poltrona do trem. Para Carlos esta poltrona está em movimento ou em repouso? E para Augusto? Justifique sua resposta.

- b) Uma lâmpada se desprende do teto do trem em direção ao chão. Qual é a forma da trajetória descrita pela lâmpada durante a sua queda vista por Augusto? E por Carlos? Justifique sua resposta fazendo um desenho que representa a trajetória da lâmpada vista por Augusto e por Carlos. Considere desprezível a resistência do ar.

No entanto, esta questão não se limita apenas a essa análise de repouso e movimento, mas também ao tipo de trajetória descrita por um corpo em movimento, com base em diferentes referenciais inerciais.

Nessa situação de análise de movimento e repouso a partir de um referencial fixo no solo, e de um referencial dentro de um veículo em movimento em relação ao solo, pode-se observar que a maioria dos estudantes fez a análise correta da situação, conforme mostra o gráfico 8.

Gráfico 8: Respostas dos estudantes para a questão 3 A.



Fonte: Dados da pesquisa.

Para os estudantes EA e KS, respectivamente:

- Para Carlos a poltrona está em movimento, pois ele está vendo que o trem se desloca, então automaticamente as poltronas também estão em movimento.

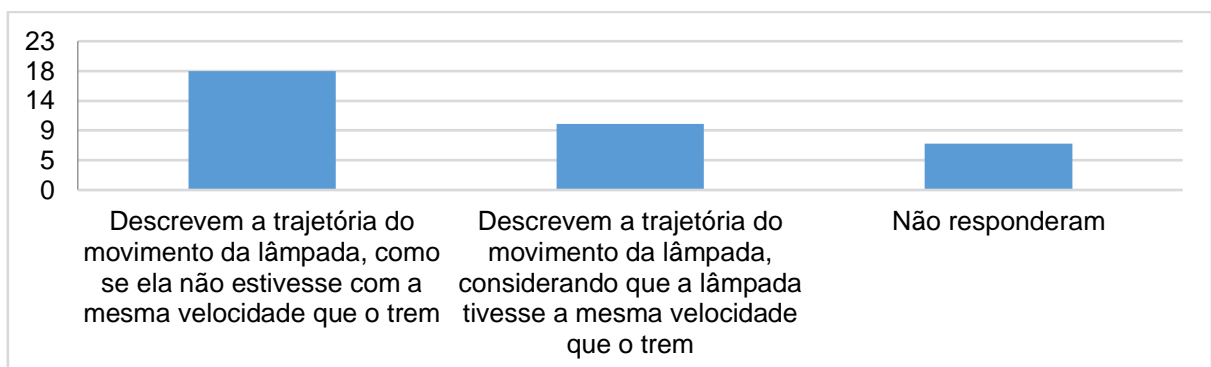
- Para Augusto as poltronas estão em repouso, pois ele está dentro do trem, então as poltronas para ele estão paradas.

Uma análise fundamentada na ideia de variação de posição para determinar o movimento de um corpo foi dada pelo estudante EA:

- Para Augusto, aparentemente a poltrona não se move, pois ela não se distancia dele.

Nesta mesma questão, foi proposto para os estudantes que descrevessem através de uma ilustração como seria a trajetória de uma lâmpada que se desprende do teto em direção ao chão de um trem em movimento retilíneo uniforme, tomando por base os referenciais inerciais, fixo no chão, fora do trem (Carlos) e dentro do trem (Augusto). Para Ramos (2016), quando um indivíduo representa uma situação através de uma ilustração, ele está fazendo um “recorte da realidade”, registrando em um espaço, um fragmento do momento observado de acordo com sua interpretação. A ilustração reúne um conjunto de informações que dão ao observador da ilustração, ferramentas para sua análise, como cenário, objetos, personagens, e ideias de tempo, espaço e movimento. Assim, entende-se que as ilustrações são formas de expressão do conhecimento do indivíduo, que faz em um determinado espaço, uma síntese representativa da realidade a partir da sua forma de interpretá-la.

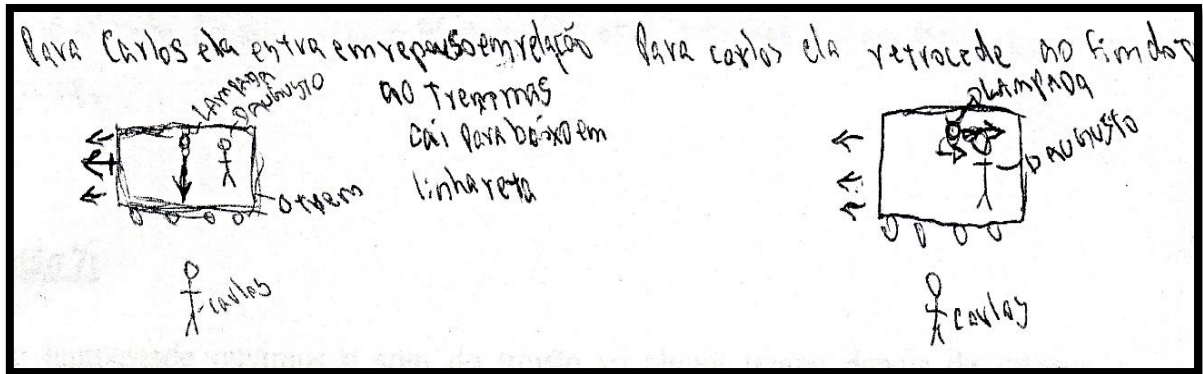
Gráfico 9: Respostas dos estudantes para a questão 3 B.



Fonte: Dados da pesquisa.

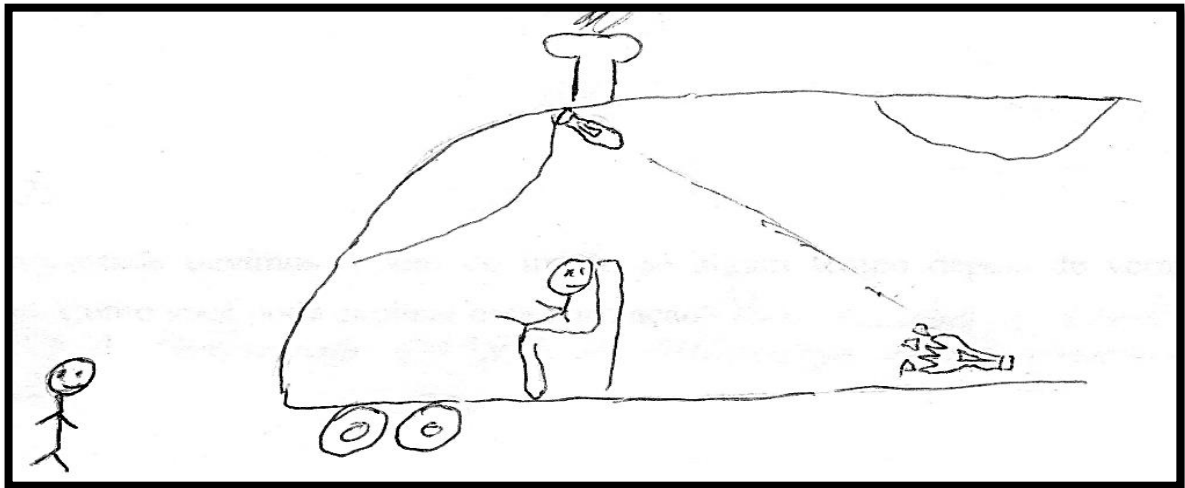
Tomando por base as ilustrações feitas pelos estudantes para a trajetória do movimento de queda de um corpo que se encontra no interior de um veículo em movimento retilíneo uniforme, identificou-se que uma parte da turma ainda não tem o entendimento de que o corpo que estará em queda terá duas componentes (uma vertical e outra horizontal) de deslocamento quando vistas por um observador externo fixo no solo, como se pode observar nas ilustrações da figura 4, 5, 6 e 7.

Figura 4: Representação do estudante AR para a questão 3 B.



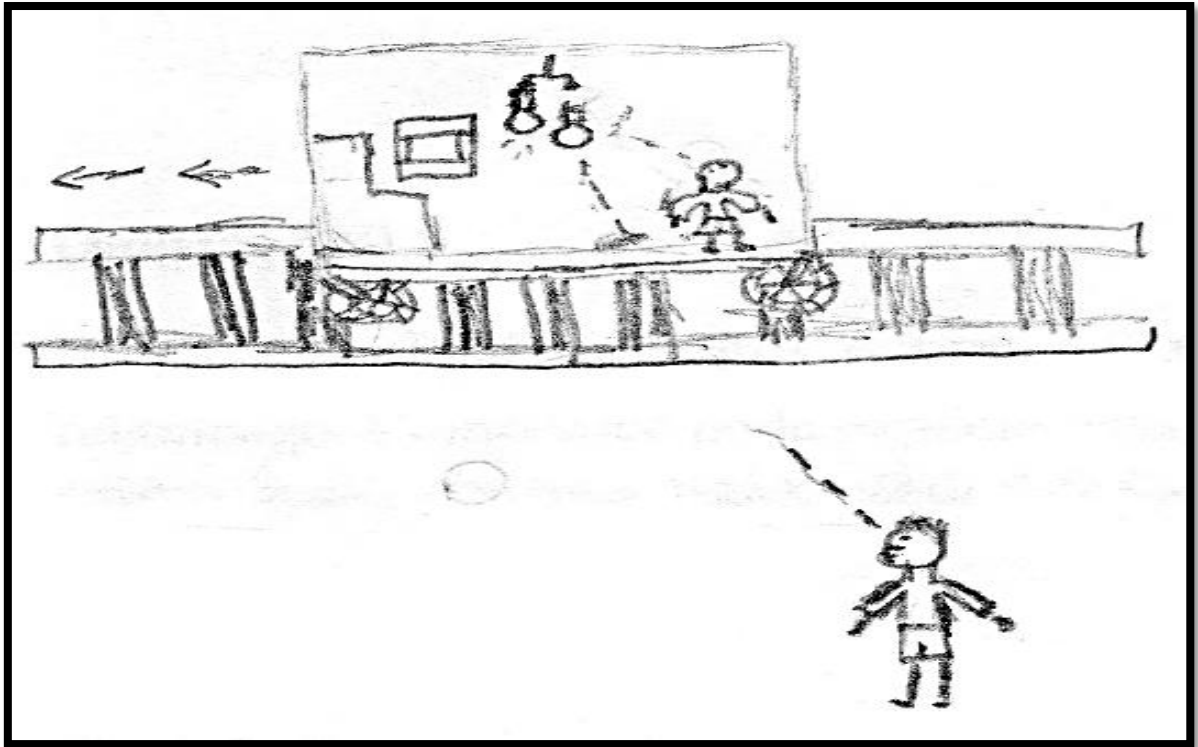
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 5: Representação do estudante ET para a questão 3 B.



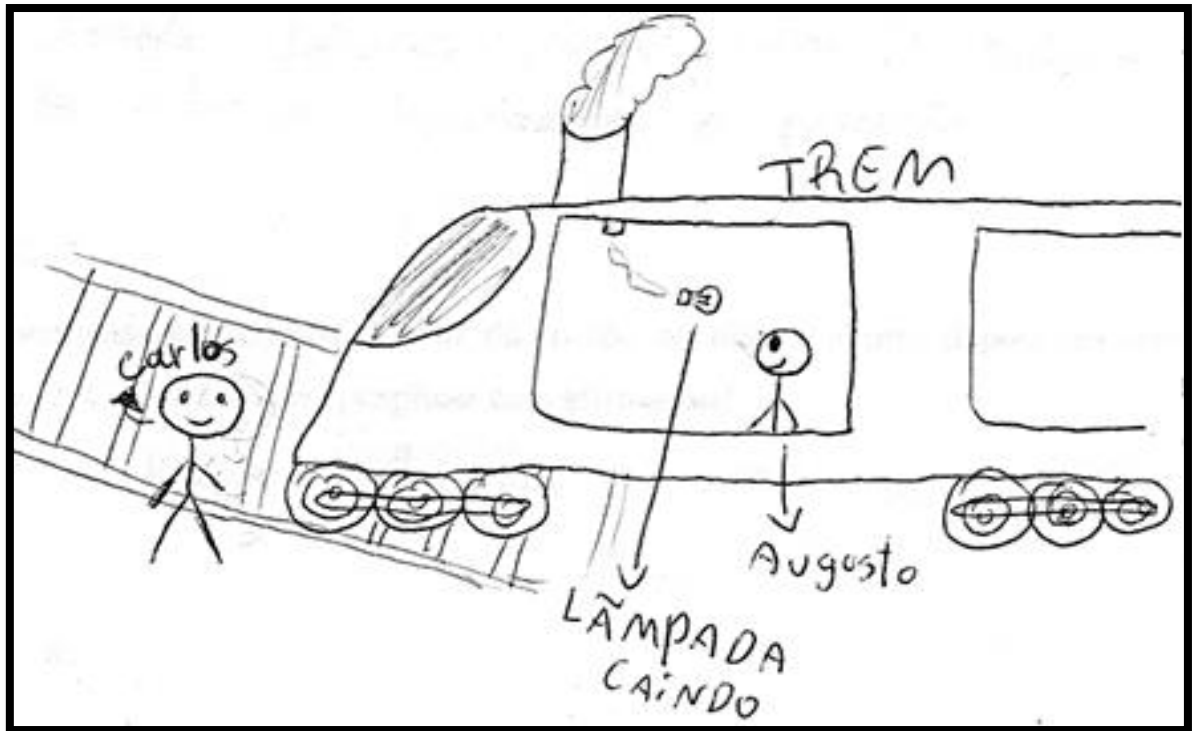
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 6: Representação do estudante EB para a questão 3 B.



Fonte: Dados da pesquisa.

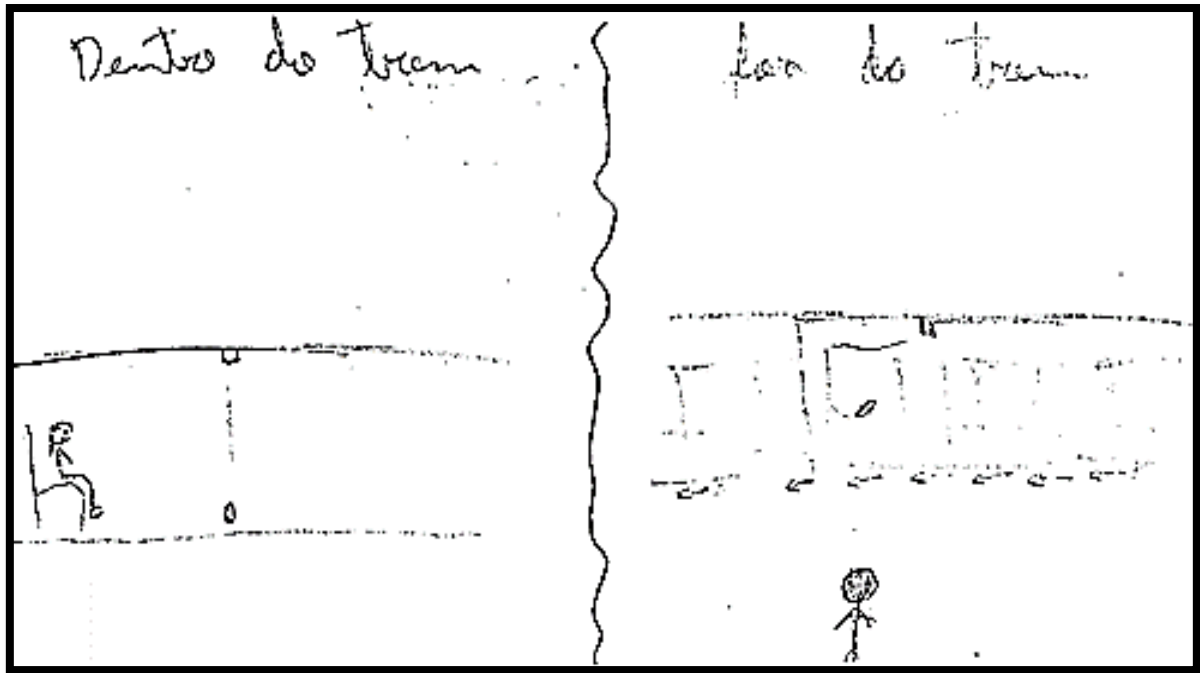
Figura 7: Representação do estudante VX para a questão 3 B.



Fonte: Dados da pesquisa.

No entanto, alguns estudantes descreveram a trajetória de movimento da lâmpada considerando que ela teria um deslocamento na horizontal devido a velocidade do veículo, conforme mostram as figuras 8, 9, 10 e 11.

Figura 8: Representação do estudante AC para a questão 3 B.



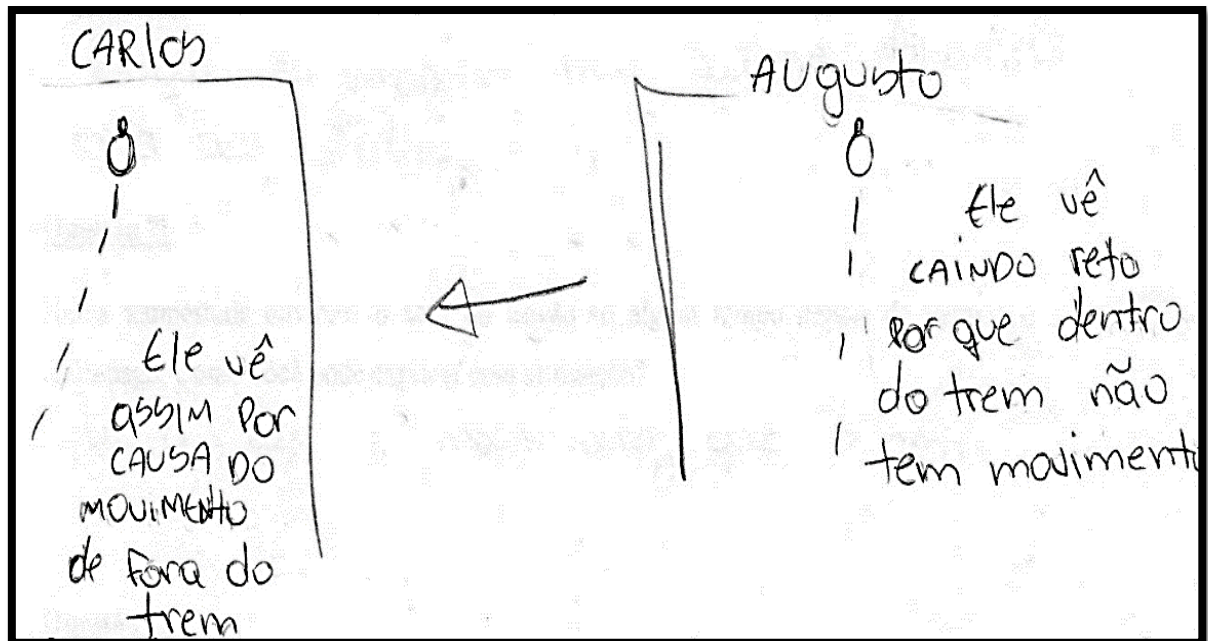
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 9: Representação do estudante FB para a questão 3 B.



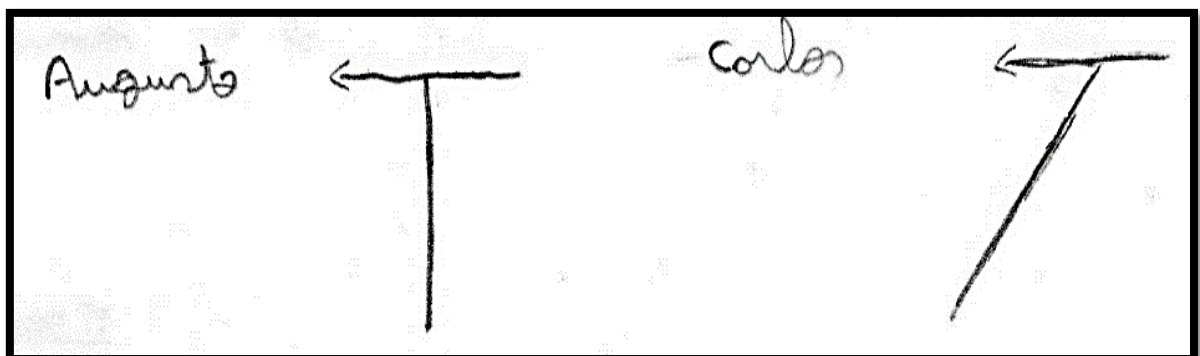
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 10: Representação do estudante GJ para a questão 3 B.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 11: Representação do estudante RL para a questão 3 B.



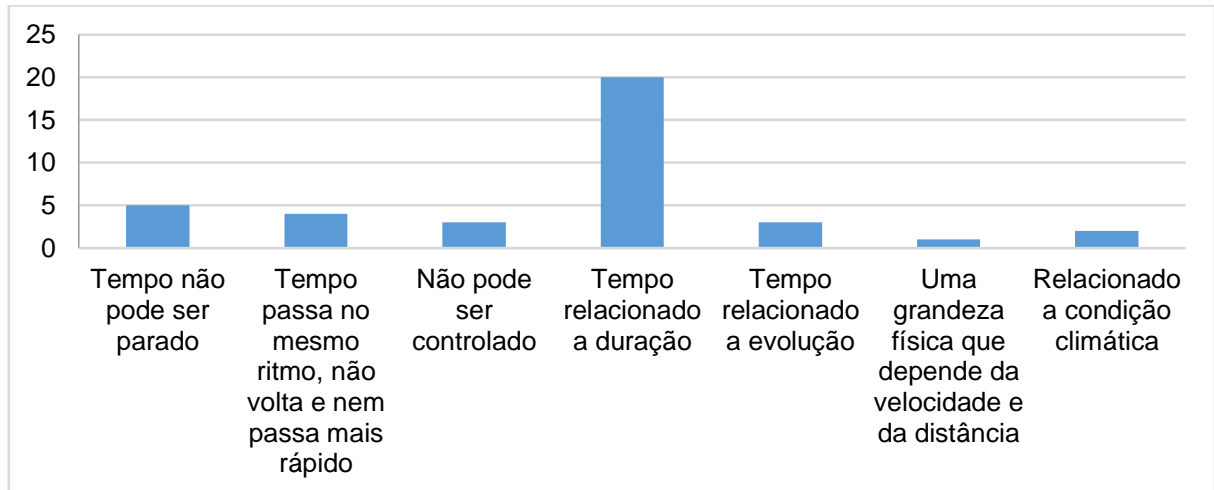
Fonte: Dados da pesquisa.

As representações das figuras feitas pelos estudantes, levam a pensar que alguns apresentam dificuldade no entendimento dos conceitos de referencial inercial, movimento relativo dos corpos, trajetória sob diferentes referenciais inerciais, composição e decomposição de movimentos.

Também foi proposto aos estudantes em uma das perguntas do questionário, fazerem uma reflexão sobre o significado da grandeza física tempo. A quarta questão apresentou a seguinte situação: Escreva com suas próprias palavras o que é tempo para você?

Nesta questão, o objetivo era identificar se os estudantes tinham o entendimento do tempo como uma grandeza física absoluta ou relativa, tendo em vista que esta discussão surgiu como consequência dos dois postulados propostos por Albert Einstein em 1905, para a Teoria da Relatividade Restrita. E o que se verificou foi exatamente isto: uma visão do tempo como uma grandeza absoluta.

Gráfico 10: Respostas dos estudantes para a questão 4.



Fonte: Dados da pesquisa.

Como apresenta o gráfico 10, mais da metade dos estudantes presentes no primeiro encontro, associou o tempo a duração de um fenômeno ou acontecimento. Alguns, associaram tempo a condições climáticas, a processo de evolução e até mesmo a outras grandezas físicas, expressando que o tempo é uma grandeza dependente da velocidade e da distância. Uma possível justificativa para esse fato, diz respeito a forma com que os conhecimentos da Física são abordados no Ensino Fundamental, muitas vezes calcado em processos mecânicos de matematização em detrimento de uma abordagem mais conceitual. Outra parcela dos estudantes associou o tempo como sendo uma grandeza absoluta, como podemos observar nas frases dos estudantes VX e RA:

- *Tempo é uma coisa que não pode mudar, e ninguém pode controlar, é segundo, minuto, horas, o passar do dia, tempo é tempo.*
- *Tempo é o que vivemos agora, não volta e nem acelera.*

Na esteira da discussão acerca do tempo, foi apresentada aos estudantes uma frase de Isaac Newton, que foi publicada em 1687 em sua obra “Os Princípios Matemáticos da Filosofia Natural”, que expõe a sua visão sobre o tempo:

O tempo absoluto, verdadeiro e matemático, por si só e por sua própria natureza, flui uniformemente, sem relação com nenhuma coisa externa, e é também chamado de duração.

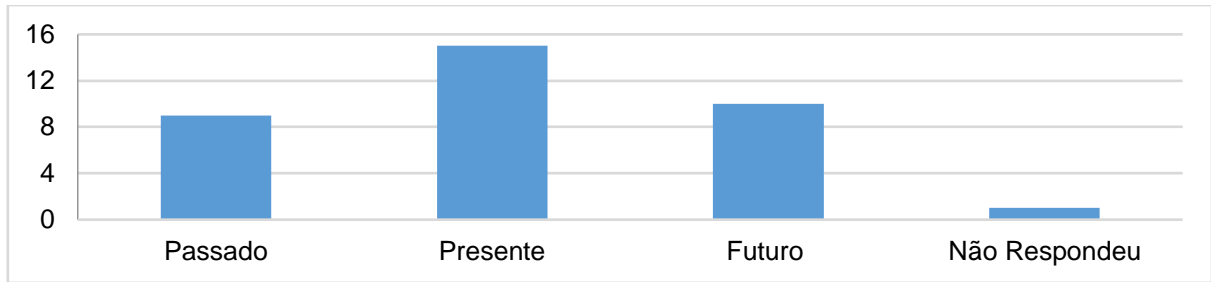
Esse trecho apresenta a forma com que Newton entendia o tempo. Uma grandeza física absoluta e independente de outras. Ao analisar as respostas dos estudantes ao questionamento feito a partir da afirmação de Newton, foi possível perceber que todos concordaram com tal afirmação de que o tempo é algo absoluto e uniforme, conforme podemos identificar nas justificativas dos estudantes EB, JP e MF:

- *Eu concordo com ele porque o tempo é absoluto, não pode ser parado por algo e nem ninguém e não poderá ser mudado.*
- *Está certo, porque ele está falando que ninguém pode interferir no tempo, e ele sempre vai fluir do mesmo jeito.*
- *Eu acho que está certo, pois é uma duração e não tem nenhuma relação com coisas externas.*

Estas justificativas demonstram a visão da mecânica newtoniana para o tempo, como sendo absoluto e uniforme. Absoluto pelo fato de existir independentemente da matéria e do espaço, e uniforme porque em qualquer circunstância, ele transcorreria da mesma forma, não evoluindo “mais depressa” ou “mais devagar” em função de alguma condição. É bem verdade que, em algumas condições, para fenômenos que são estudados, levando em consideração baixas velocidades, a forma com que a mecânica newtoniana descreve o tempo é suficiente. No entanto, faz-se necessário apresentar situações em que a mecânica newtoniana já não é mais capaz de explicar certos fenômenos, e que se torna importante a inserção de novas teorias que fundamentam estes casos.

Um outro questionamento interessante que foi feito aos estudantes para identificação de conhecimentos prévios, estava relacionado a velocidade da luz. Os estudantes deveriam responder se quando olhamos para o céu estamos observando o passado, o presente ou o futuro, e, em seguida, justificar sua resposta.

Gráfico 11: Respostas dos estudantes para a questão 6.



Fonte: Dados da pesquisa.

Para muitos estudantes o que se vê é o presente, e as justificativas se baseiam principalmente no fato de que se vê “no agora”. Para os estudantes VX, TA e ME:

- *Na verdade podemos pensar sobre o futuro ou passado, mas estamos observando o presente.*
- *Porque estamos olhando na hora.*
- *Estamos vivendo o momento, então seria o presente.*

Conforme mostra o gráfico 11, outros estudantes responderam que o que se vê é o futuro. Em alguns casos as justificativas não eram embasadas em um “conhecimento científico”, e sim, eram carregadas de saberes populares sobre condições climáticas, como explicitaram os estudantes GA e AS:

- *Porque meus pais dizem que se a gente olhar para o céu e ele estiver estrelado, não chove no outro dia*
- *Porque sabemos se o céu estiver estrelado, o dia seguinte vai ser lindo. Olhamos para o céu com a intenção de saber o amanhã.*

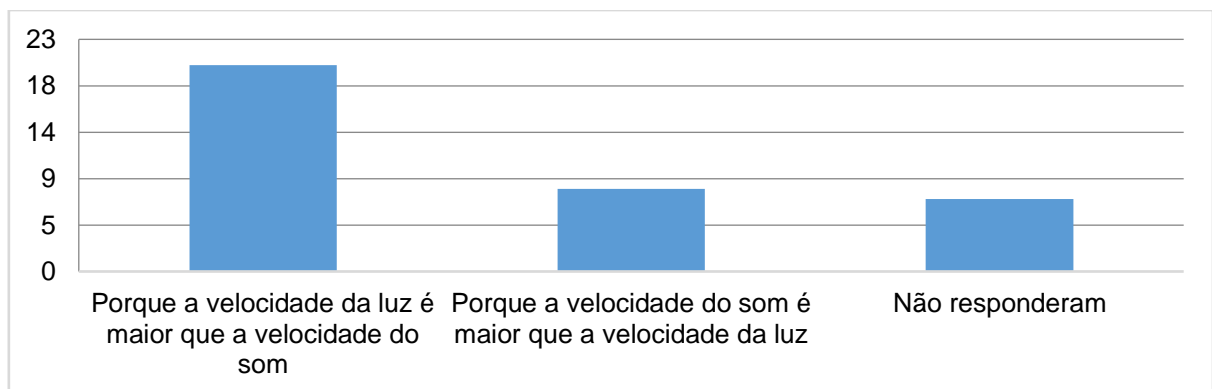
E uma outra parcela da turma, justificou que o que se vê ao olhar para um céu estrelado, é o passado. Alguns estudantes apontaram as justificativas corretas para este fato, como podemos observar nas frases de KM, EV e MG:

- *Pois demora um tempo para a luz das estrelas chegarem a Terra.*
- *Muitas estrelas já morreram, mas estamos ainda vendo o brilho delas.*
- *Pois a luz das estrelas demora algum tempo para chegar a Terra.*

Portanto, se observou a necessidade de discussão sobre a viagem da luz no espaço, de modo a explicitar que mesmo tendo um alto valor de velocidade, a luz precisa percorrer longas distâncias, possibilitando o entendimento de que não há simultaneidade quando observamos corpos distantes no espaço.

Outro questionamento feito aos estudantes, objetivava identificar de que forma eles comparam as velocidades da luz e do som, a partir da análise de uma situação real. A sétima questão apresentou a seguinte situação: Numa tempestade ouvimos o som do trovão só algum tempo depois de vermos o relâmpago. Como você pode explicar essa afirmação?

Gráfico 12: Respostas dos estudantes para a questão 7.



Fonte: Dados da pesquisa.

Com base nas respostas dos estudantes, apresentadas no gráfico 12, é possível verificar que a maior parcela da turma fez a comparação correta entre as velocidades da luz e do som. Para os estudantes RF, EV e AR:

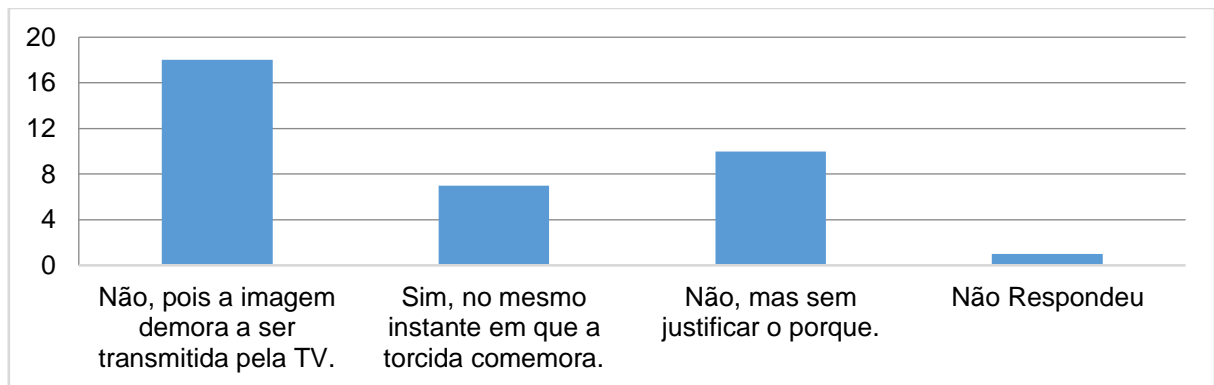
- *Isso ocorre porque o som leva mais tempo para chegar aonde você está, comparado a luz.*
- *A velocidade do relâmpago é absurdamente grande.*
- *O som possui uma velocidade menor que a luz, e até chegar a nós, o som demora uma certa quantidade de tempo que é maior que o tempo da luz.*

A última pergunta do questionário aplicado com a turma propôs a reflexão sobre a simultaneidade de eventos, conceito importante e adjacente dos postulados da Teoria da Relatividade Restrita: Imagine que você esteja assistindo, em sua casa, à

final do Brasileirão. Um jogador de seu time cobra um pênalti com extrema precisão e coloca a bola “no ângulo”. Podemos dizer que você começa a comemorar o gol no mesmo instante que a torcida que está presente no estádio? Justifique.

Esta questão traz ao estudante uma situação que envolve o conceito de evento simultâneo, que é o acontecimento observado por uma ou mais pessoas e que dura certo intervalo de tempo, igual para todas elas.

Gráfico 13: Respostas dos estudantes para a questão 8.



Fonte: Dados da pesquisa.

Como observamos no gráfico 13, para a maioria dos estudantes quem assistiu a cobrança do pênalti pela televisão, não comemorou o gol no mesmo instante que os torcedores que assistiram o jogo no estádio. Dos estudantes que afirmaram que o evento não seria simultâneo para diferentes observadores, a maior parcela justificou sua resposta, como explicitaram os estudantes MO, AR e DF:

- *A TV tem um delay.*
- *Não, pois mesmo em uma transmissão ao vivo a imagem demora um pouco a sair da câmera até a televisão.*
- *Não, porque a transmissão das gravações no estádio demoram um tempo porque as ondas que transmitem o programa tem um certa distância a percorrer.*

No entanto, nem todos afirmaram que simultaneidade não ocorreria, como mostra o gráfico 13. Alguns estudantes responderam que tanto o observador no estádio, quanto quem estivesse assistindo pela televisão iriam ver o lance o gol no mesmo instante, simultaneamente. Para o estudante EV:

- Sim, no mesmo instante que a bola entra no gol todos sabemos o que significa. Mas também depende da pessoa que está assistindo, pode ter um tempo de reação da pessoa, de cada um é diferente.

Para este estudante, a simultaneidade de eventos existe para diferentes observadores. No entanto, ele aponta que o tempo de reação dos diferentes observadores pode interferir na análise do evento.

Este momento de identificação de conhecimentos prévios dos estudantes foi muito importante para o planejamento da sequência didática do produto educacional, pois possibilitou além de verificar o que os estudantes já sabem, perceber que se faz necessária a utilização de organizadores prévios a fim de facilitar a aprendizagem significativa, servindo como pontes entre os novos conhecimentos e aquilo que eles já sabem. Alguns tópicos como a evolução histórica da mecânica clássica, conceitos da mecânica newtoniana até as ideias principais sobre a Teoria da Relatividade Restrita.

5.3 Análise das aprendizagens a partir da sistematização e aprofundamento dos assuntos

A quarta etapa de implementação do produto educacional buscou identificar as aprendizagens dos estudantes sobre os conceitos que foram diferenciados na etapa de sistematização e aprofundamento dos assuntos. É importante salientar que, embora separadas em etapas diferentes, as atividades referentes às etapas terceira e quarta se entrecruzam.

Após a sequência didática proposta nas três etapas iniciais da intervenção, foi aplicado um questionário (Apêndice E) para identificação das aprendizagens dos estudantes, composto por questões fundamentadas nos assuntos desenvolvidos. O objetivo na aplicação deste questionário foi identificar as aprendizagens, ou seja, identificar a relação entre os conhecimentos prévios e os novos conceitos.

O questionário que foi aplicado com os estudantes da turma, foi composto de sete questões, com abordagem similar ao questionário de identificação de

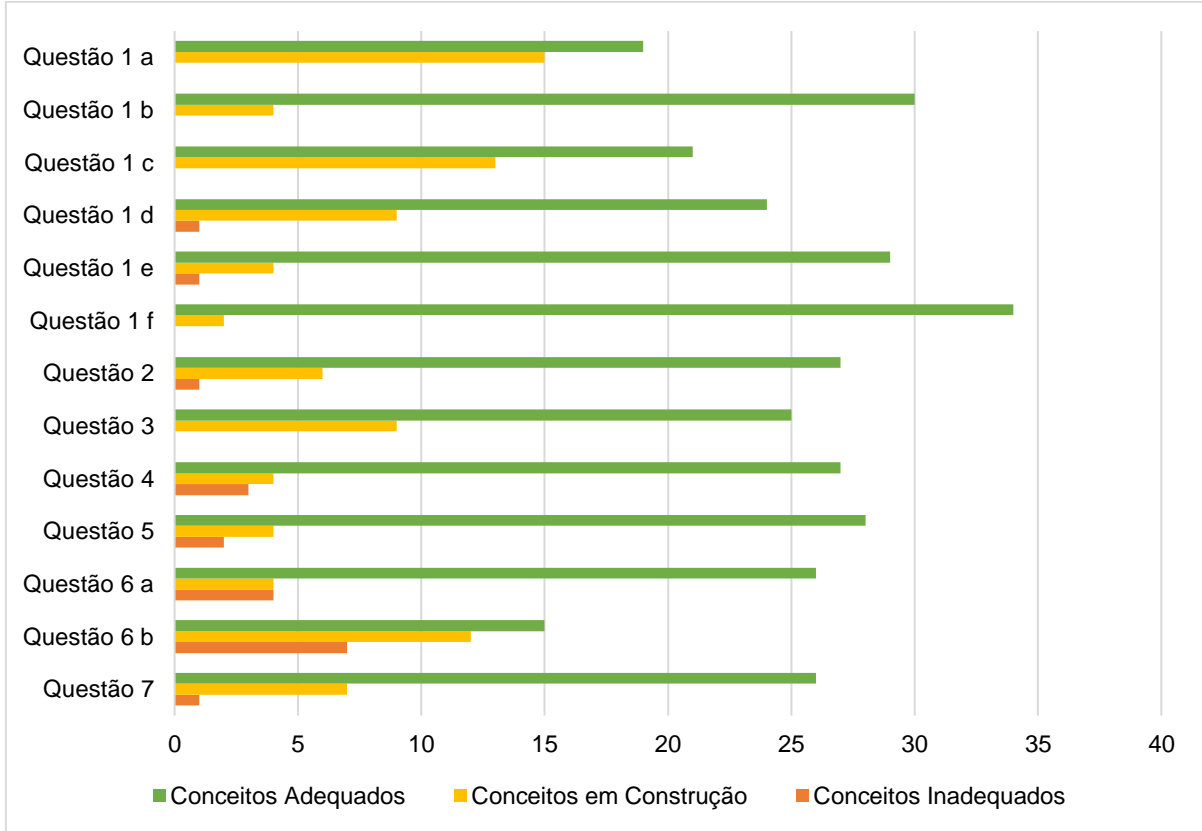
conhecimentos prévios, porém em contextos diferentes e com abordagem mais aprofundada dos conceitos.

Para a análise dos resultados, as respostas dos estudantes foram agrupadas por semelhança nas categorias definidas neste estudo da seguinte forma (MOREIRA, 2010; MOREIRA, 2013):

- Conceitos Adequados: para os estudantes que responderam coerentemente, considerando os conceitos científicos escolares ensinados.
- Conceitos em Construção: para os estudantes que responderam parcialmente de maneira coerente, considerando os conceitos científicos escolares ensinados.
- Conceitos Inadequados: para os estudantes que não explicitaram nas respostas, conhecimentos coerentes, considerando os conceitos científicos ensinados.

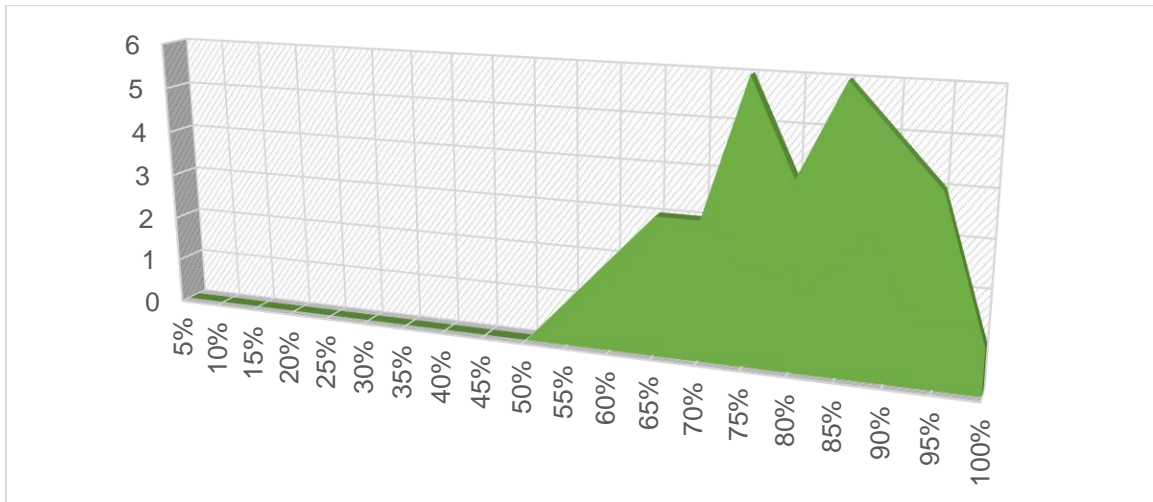
Com base nas respostas dos estudantes, foi realizada uma análise das aprendizagens, a fim de verificar conceitos que nesta etapa da implementação do produto educacional ainda não haviam se consolidado.

Gráfico 14: Classificação das respostas dos estudantes para as questões dos assuntos abordados na etapa de sistematização e aprofundamento de conceitos da TRR.



Fonte: Dados da pesquisa.

Gráfico 15: Quantidade de estudantes por percentual de acertos no questionário de identificação na aprendizagem dos assuntos abordados na etapa de sistematização e aprofundamento de conceitos da TRR.



Fonte: Dados da pesquisa.

Tomando por base apenas os aspectos quantitativos, é possível identificar, analisando o gráfico 14, que uma maior parcela dos estudantes da turma respondeu coerentemente as questões considerando os conceitos científicos escolares ensinados. Também é possível inferir, com base no gráfico 15, que os estudantes tiveram bom desempenho ao responder o questionário. No entanto, apenas esta análise quantitativa não traz detalhes para discussões mais aprofundadas. Torna-se necessário, portanto, explicitar as concepções dos estudantes sobre os assuntos abordados.

Ao observar as respostas dos estudantes para a primeira questão, é possível perceber que a maioria percebe que a física é uma ciência construída coletivamente, e que ao longo da história, muitos foram os que contribuíram para o desenvolvimento desta ciência.

Os estudantes também conseguiram relacionar de forma satisfatória os conceitos de movimento e repouso relativos a um referencial inercial, conforme podemos identificar nas respostas dos estudantes, JP, MN, VX, FB, RL e GK, respectivamente:

- *Exemplo: um carro em repouso na Terra para mim está parado, mas para alguém no espaço ele está em movimento.*
- *Depende de quem está observando, é relativo, como exemplo uma pessoa dentro do carro em movimento está parada pois está andando junto com o carro, já para alguém que está de fora está vendo a pessoa em movimento.*
- *Nós nos movimentamos, ou estamos em repouso em relação a alguma coisa, exemplo a porta pode estar parada em relação a parede, mas ao mesmo tempo está em movimento, porque a Terra está girando, depende da relação de quem assiste.*
- *Tudo depende da visão e da localização, por exemplo, se estamos em um trem, em relação a nós ele está parado, porém em relação a alguém que está olhando de fora, ele está em movimento.*
- *Quer dizer que eles podem mudar de acordo com a situação, não sendo absolutas.*

- Estados de repouso e movimento são relativos, pois podem estar em movimento ou repouso dependendo do observador, parado, ou girando se movendo em relação a alguma coisa, objeto ou pessoas.

É possível perceber que os estudantes explicitaram a necessidade de se adotar um referencial inercial para determinar se um corpo está em movimento ou em repouso.

A terceira questão objetivou identificar se os estudantes conseguiam identificar relação entre os limites da mecânica clássica e a necessidade do desenvolvimento da teoria da relatividade restrita. A maioria dos estudantes conseguiu expor esse limite entre a mecânica clássica e mecânica relativista, conforme podemos observar nas respostas dos estudantes ED, EA, KM, MN, JP e AS

- A teoria da relatividade restrita é indicada para velocidades altas perto da velocidade da luz o que não causa a invalidação das leis da mecânica clássica porque é usada para velocidades baixas.

- A teoria da relatividade foi desenvolvida pois a mecânica clássica não era mais suficiente para medir alguma coisa no espaço, universo, e não é que as leis da mecânica clássica estavam erradas, não estão erradas, só não servem para outros casos.

- A clássica se mantém útil para baixa velocidade e tais, mas quando a física é avançada com velocidade perto da luz a teoria da relatividade é mais precisa e a clássica desconsiderada.

- Não estavam erradas, mas para velocidades baixas elas eram adequadas, mas para velocidades mais altas precisou se pensar em mais leis.

- Não está errado porque ela é utilizada para velocidades menores como a de um carro, por exemplo.

- A teoria da relatividade é usada para conseguir resultados precisos quando se calcula velocidades altas como a da luz a mecânica clássica é utilizada para calcular em velocidades baixas assim não sendo própria para certos cálculos pois tem um limite e acaba falhando em cálculos de velocidades altas.

Na quarta questão, cujo objetivo era reconhecer a velocidade luz como uma constante fundamental da natureza, que independe do estado de movimento relativo dos observadores, uma grande parcela da turma identificou de forma clara esta relação, assim como os seguintes estudantes:

- *A velocidade da luz não muda, pois é constante e não depende da velocidade do carro, então ela é igual para os dois casos. (RM)*
- *São iguais, pois a velocidade da luz seria a mesma, o carro em movimento não altera ela. (RP)*
- *Elas têm a mesma velocidade, porque o movimento do carro não altera a velocidade da luz. (ET)*
- *A velocidade da luz independe da fonte, ela sempre será constante independentemente se estiver em repouso ou movimento. (MB)*
- *A velocidade da luz do carro em movimento será a mesma pois de acordo com a teoria de Einstein ela é constante e não depende de outros fatores como o movimento da fonte. (FB)*
- *A velocidade seria a mesma, pois a velocidade da luz é constante e não depende do movimento do carro (MB)*

A quinta questão apresentava aos estudantes a seguinte situação, se referindo a relatividade da medida do comprimento, que se contrai devido a constância da velocidade da luz e ao princípio da relatividade que diz que as leis físicas são as mesmas para todos os observadores, em quaisquer sistemas de referenciais inerciais: Joana está em uma nave que se desloca com velocidade igual a 75% da velocidade da luz no vácuo. Em determinado instante sua nave passa beirando uma plataforma espacial onde se encontra Jonas, parado. Para Jonas, o comprimento da plataforma é de 200m. Qual deve ser o comprimento da plataforma para Joana?

Os estudantes conseguiram identificar na questão as informações relevantes para inferir qual seria a contração espacial da situação problema, conforme podemos identificar na solução dos estudantes JS, EA e AC:

Figura 12: Resolução do estudante JS, para a quinta questão.

$v = 75\% \text{ da luz}$
 $0,75c$
 $L_B = L_A \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$
 $L_B = 200 \cdot \sqrt{1 - (0,75c)^2/c^2}$
 $L_B = 200 \cdot \sqrt{1 - 0,5625}$
 $L_B = 200 \cdot \sqrt{0,4375}$
 $L_B = 200 \cdot \sqrt{0,4375}$
 $L_B = 132,28756 \text{ metros}$
 $L_B \text{ JONAS} = ?$
 $L_A \text{ JONAS} = 200$

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 13: Resolução do estudante EA, para a quinta questão.

$L_B = L_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$
 $L_0 = 200 \cdot \sqrt{1 - (0,75)^2}$
 $L_B = 200 \cdot \sqrt{1 - 0,5625} = \sqrt{0,4375} = 0,661437827 \cdot 200 \approx 132 \text{ M}$

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 14: Resolução do estudante AC, para a quinta questão.

$v = 75\% \text{ da luz}$
 $0,75c$
 $L_B = L_A \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$
 $L_B = 200 \cdot \sqrt{1 - (0,75c)^2/c^2}$
 $L_B = 200 \cdot \sqrt{1 - 0,5625}$
 $L_B = 200 \cdot \sqrt{0,4375}$
 $L_B = 200 \cdot 0,661437827$
 $L_B = 132,2875656 \text{ m}$
 $L_B = \text{Jonas} = ?$
 $L_A = \text{Jonas} = 200 \text{ m}$

Fonte: Dados da pesquisa.

A sexta questão proposta, novamente se referia a consequências dos dois postulados da teoria da relatividade restrita: Vamos supor que tenhamos tecnologia capaz de possibilitar viagens interplanetárias com naves que atinjam 80% da velocidade da luz no vácuo. Considere dois irmãos gêmeos univitelinos, Paulo e André. Um dos irmãos, Paulo, faz uma viagem de “bate e volta” para conhecer um planeta X que fica a uma distância de 10 anos-luz da Terra. Com base nestas informações, responda:

- a) Para André, que ficou na Terra, quanto tempo durou essa viagem de “bate e volta” de Paulo?
- b) Quanto tempo durará a viagem para Paulo?

O objetivo era reconhecer a relatividade da medida do tempo devido à invariância da velocidade da luz. E para tanto foi utilizado o “paradoxo dos gêmeos”. Uma maior parcela dos estudantes conseguiu solucionar a situação, aplicando os conceitos que foram diferenciados ao longo da sequência didática em outro contexto, conforme podemos observar nas respostas dos estudantes VE, MB e AC:

Figura 15: Resolução do estudante VE, para a sexta questão.

Handwritten solution for student VE:

$$\Delta t_A = \frac{20}{0,8} = 25 \text{ anos}$$

$$25 \cdot \sqrt{1 - (0,8)^2} \rightarrow 25 \cdot \sqrt{1 - 0,64} \rightarrow 25 \cdot \sqrt{0,36}$$

$$25 \cdot 0,6 = 15 \text{ anos}$$

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 16: Resolução do estudante MB, para a sexta questão.

Handwritten solution for student MB:

$$v = 0,8c$$

$$\Delta t_A = \frac{\Delta s_A}{v}$$

$$\Delta t_A = \frac{20c}{0,8c} = 25$$

$$\Delta t_p = \Delta t_a \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\Delta t_p = 25 \cdot \sqrt{1 - \frac{0,8^2}{1}}$$

$$\Delta t_p = 25 \cdot \sqrt{1 - 0,64}$$

$$\Delta t_p = 25 \cdot 0,6$$

$$\Delta t_p = 15$$

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 17: Resolução do estudante AC, para a sexta questão.

$$A+A = \frac{20}{0,8}$$

$$25, \sqrt{1 - (0,8/c)^2}$$

$$25, \sqrt{1 - 0,64}$$

$$25, \sqrt{0,36}$$

$$25, 06 = 15$$

Fonte: Dados da pesquisa.

A última questão, propôs aos estudantes uma reflexão sobre um dos mais importantes conceitos da teoria da relatividade restrita: a impossibilidade da simultaneidade. A questão apresentou a seguinte situação: Uma das consequências da teoria da relatividade restrita é a impossibilidade da simultaneidade. Mas nesse exato momento, que você lê esta questão, certamente outras pessoas estão fazendo outras coisas. Você e elas estão fazendo uma porção de coisas simultaneamente? Justifique sua resposta.

A maior parte dos estudantes respondeu à situação apresentada de forma correta, elencando justificativas coerentes com a teoria. Dentre as respostas dos estudantes, se destacam as que seguem:

- *Sim. Mas para física não a como ter provas porque não tem como ver no tempo exato. (ED)*
- *A simultaneidade é relativa, podemos fazer as coisas no mesmo instante, mas sempre terá um atraso mesmo que mínimo entre mim e as outras pessoas quando for pra ver a mesma coisa. (KM)*
- *Não, pois muitas vezes os observadores estão em locais diferentes e não pode ser chamado de simultaneidade (MB)*
- *Mais ou menos, podemos até fazer a mesma coisa que alguém, mas para a física, a simultaneidade acontece quando a pessoa pode ver as duas coisas acontecendo. (MN)*

- *Sim, nós sabemos que eles estão fazendo algo, mas para a física não existe, porque não conseguimos ver ao mesmo tempo por causa da velocidade da luz que não é infinita. (VX)*

- *Se nós não conseguimos ver não é simultâneo, como um fato em que não vemos, algo pela TV. (AC)*

- *Não, pois para observadores de um mesmo lugar, é simultâneo o fato ocorrido, mas para observadores não presentes no lugar que ocorreu o fato, ficam sabendo depois. (MM)*

- *Então, se tu não puder provar, não vai acontecer a simultaneidade. Se não conseguir ver não é simultaneidade. (JS)*

Essa questão apresentada sobre o conceito da relatividade da simultaneidade, colocou os estudantes frente a uma situação onde o seu significado foi ampliado no contexto em que foi empregado. Considerando os resultados obtidos na questão, pode-se observar que a maior parcela dos estudantes relacionaram os conceitos diferenciados ao longo da sequência didática, aplicando em outros contextos de forma não-literal e não arbitrária.

Após esse momento de identificação das aprendizagens dos estudantes, suas dúvidas e incertezas sobre os conceitos abordados, se verificou a necessidade de retomada dos assuntos. Para tanto, na aula seguinte, foram retomados os assuntos apoiados nas próprias situações presentes no questionário.

Ao analisar os conhecimentos prévios expostos no primeiro questionário pode-se identificar subsunçores inadequados ou subsunçores mal definidos (MOREIRA, 2010; MOREIRA, 2013). Com exceção de conceitos como a impossibilidade da simultaneidade, onde os estudantes relacionaram com situações cotidianas, outras consequências dos postulados propostos por Einstein, não foram bem definidos por eles. Relacionando e comparando os resultados do questionário aplicado após a sistematização e aprofundamento dos assuntos com o questionário de identificação de conhecimentos prévios, é possível observar uma evolução significativa na relação entre os conceitos que foram progressivamente diferenciados ao longo da sequência didática, associando os seus conhecimentos prévios com os novos conceitos da Teoria da Relatividade Restrita em outros contextos.

5.4 Análise das histórias em quadrinhos construídas pelos estudantes

Para concluir a sequência didática, se escolheu como estratégia facilitadora e reconciliadora para aprendizagem dos estudantes, a construção de histórias em quadrinhos. Nesta quinta etapa de implementação do produto educacional, foi proposto que os estudantes construíssem em grupos de até três estudantes, histórias em quadrinhos de no mínimo uma folha e oito quadrinhos, histórias que envolvessem um ou mais conceitos diferenciados ao longo das aulas anteriores.

Essa proposta foi realizada seguida de um material orientador sobre a construção de histórias em quadrinhos, explorando esta linguagem autônoma (RAMOS, 2016), seus diferentes gêneros, a representação da fala e do pensamento, tanto do personagem quanto do autor, os recursos expressivos, sua oralidade, os personagens e a ação narrativa e o espaço e o tempo nos quadrinhos. De acordo com Calazans (2008):

Com posse do material iconográfico e já com a experiência de análise de HQs quanto ao roteiro, desenho, linguagem cinematográfica, ritmo visual, diagramação e colorização, o professor poderá motivar a classe para a produção de quadrinhos. Dessa forma, os alunos não atuariam como meros consumidores da indústria cultural, norte-americana e japonesa -, mas sim como autores de suas próprias histórias de vida, relatando seus problemas e os de sua comunidade. Se a escola tiver abertura política e pedagógica, esse exercício pode servir para detectar problemas e propor soluções, como um esboço da opinião pública e como uma pesquisa exploratória, possibilitando ao professor conhecer o universo cotidiano dos alunos. (CALAZANS, 2008, p.30)

A fim de instigar os estudantes, a criatividade de cada um, atraí-los em uma atividade de produção na aula de física, além é claro de mobilizar os conceitos diferenciados ao longo das aulas, a construção das histórias em quadrinhos possibilitou envolver a socialização e a troca de ideias sobre a Teoria da Relatividade Restrita, abordando e expressando suas ideias na forma de ilustrações e falas. De acordo com Barbosa (2009), quem constrói uma história em quadrinho está se comunicando com o leitor, trocando ideias e percepções da realidade e do cotidiano. Segundo ele

esse motivo nos leva a concluir que o artista dos quadrinhos não é apenas um informante, como também um formador de conceitos e

opiniões bem como fomentador de percepções e interpretações do pensamento subjetivo. (BARBOSA, 2009, p.112)

Baseado nas construções dos estudantes, foi realizada uma análise das histórias em quadrinhos por eles produzidas, com o objetivo de identificar de que forma eles comunicaram, expressaram seus entendimentos e relacionaram conceitos sobre a Teoria da Relatividade Restrita.

Para realizar a análise das histórias em quadrinhos produzidas pelos estudantes, objetivando identificar se houve ou não uma aprendizagem significativa, serão levados em consideração fatores definidos por Ausubel como condições para ocorrência da aprendizagem significativa (MOREIRA, 2016):

- Relações estabelecidas entre os conceitos que foram diferenciados ao longo da sequência didática, e que foram abordados nas histórias em quadrinhos;
- Aplicação dos conceitos diferenciados ao longo da sequência didática e que foram empregados em outros contextos.

A seguir, serão apresentadas algumas histórias em quadrinhos produzidas pelos estudantes e realizadas algumas discussões tomando por base tais fatores.

A história em quadrinhos apresentada nas figuras 18 e 19, expõe um roteiro sobre a análise de movimento e repouso de corpos. Os estudantes criaram uma situação para explorar a relatividade dos conceitos de movimento e repouso, destacando a necessidade do estabelecimento de um referencial inercial para determinar estes estados.

Figuras 18 e 19: História em quadrinhos criada pelos estudantes NG, MG e AC.





Fonte: Dados da pesquisa.

Ao analisar esta HQ é possível observar que a partir dos conhecimentos prévios de movimento e repouso, os estudantes estabeleceram uma relação de tais conceitos com a ideia de relatividade. Ao destacarem no roteiro da história que há necessidade de estabelecer um referencial inercial para analisar se um corpo está em repouso ou movimento, os estudantes exitosamente relacionaram os conceitos de repouso e movimento que já conheciam com a proposição nova, de modo que a nova ideia foi aprendida, e aplicada em um outro contexto.

As histórias em quadrinhos apresentadas nas figuras 20, 21, 22, 23 e 24, trazem algumas consequências dos postulados da teoria da relatividade restrita: a dilatação do tempo e o paradoxo dos gêmeos. A história em quadrinhos das figuras 20, 21, 22 e 23, apresenta um drama que foi fundamentado no paradoxo dos gêmeos, um exemplo da dilatação do tempo.

Figuras 20, 21, 22 e 23: História em quadrinhos criada pelos estudantes ES, EV e FG.





Oii! CHEGUEI

EM A ESPERA

FINALMENTE VOCÊ VOLTOU

TAVA COM MUITA SAUDADE

OK! OK! HAHHAHA MAS EU TE NHO UMA COISA IMPORTANTE PARA FALAR

O COMANDANTE FALOU QUE EU FUI CONVOCADO PARA UMA MISSÃO ESPECIAL

MAS ESTAS MISSÕES NÃO SÃO PERIGOSAS?

SIM, PORÉM OS MOSTRAM QUE BLES ESTÃO RECONHECENDO MEU TRABALHO

MAS, VOCÊ NÃO ACHA MELHOR CONTAR PARA O SEU IRMÃO SOBRE ISSO

SIM, PORÉM, FAR TEMPO QUE NÃO NOS FALAMOS, MAS ACHO QUE NÃO VA: DOE A MADA FALAR UM POUCO COM ELE

ALÔ, ROBSON! LÊTA AÍ, BOM SE VOCÊ RECEBER ESSA MENSAGEM QUERO QUE SAIBA QUE EU EVOLUI MUITO NO TRABALHO, HEHE, BEM, ATÉ MAIS!

PRONTO PALEI

OK MAS AGORA JÁ É TARDE ENTÃO VAMOS DORMIR.

1 DIA DEPOIS



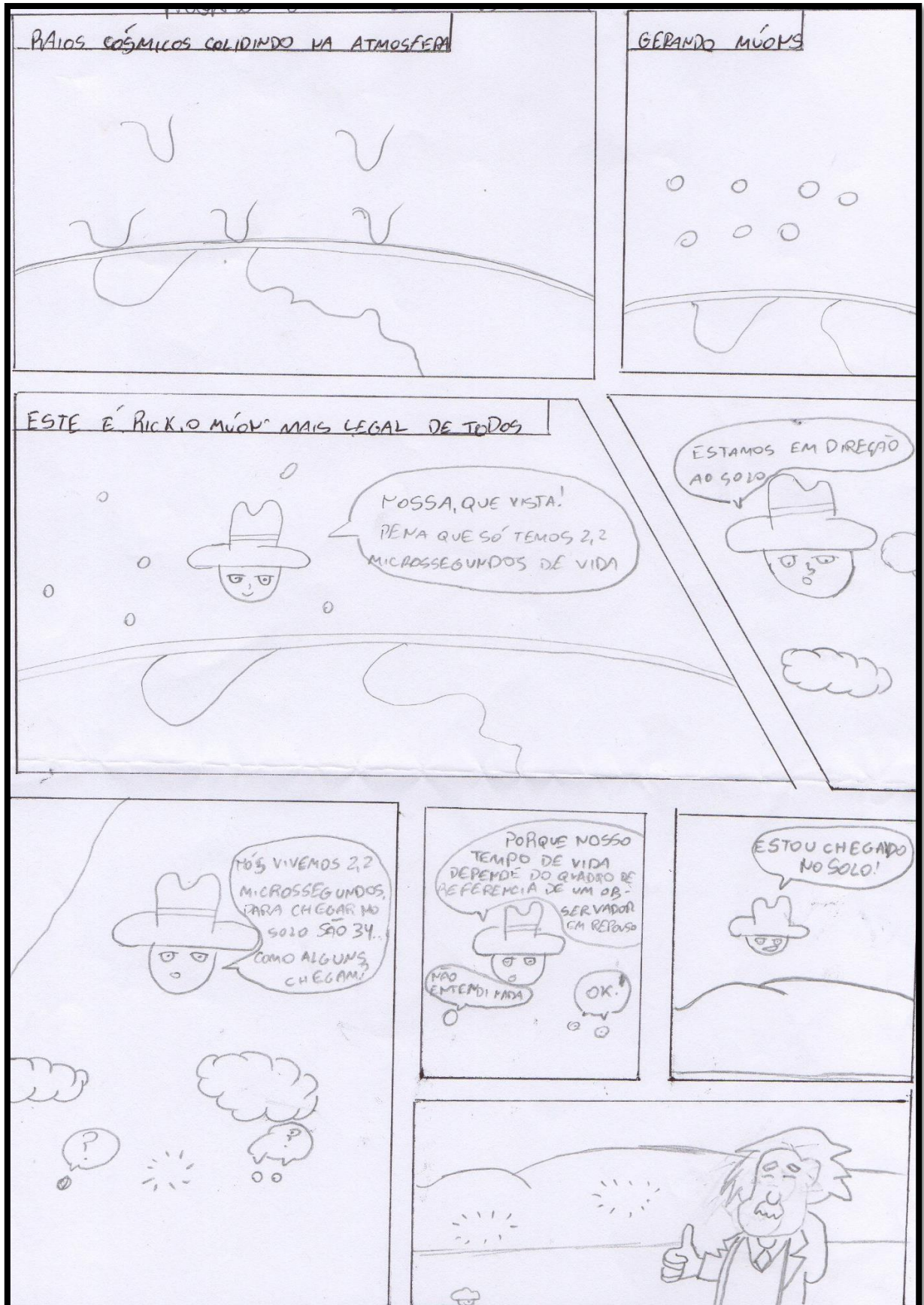


Explorando a história em quadrinhos das figuras 20, 21, 22 e 23, podemos observar que os estudantes que, em sua totalidade não tinham subsunções adequados para o conceito de tempo, conforme observado no gráfico 10, apresentaram uma nova conceituação, com base nas relações entre seus conhecimentos prévios, os materiais introdutórios apresentados no texto de apoio como organizadores prévios e as novas informações acrescidas ao longo do processo de sistematização e aprofundamento dos assuntos. Ao relacionarem os conceitos de forma exitosa, aplicando-os em diferentes contextos, evidencia-se que a qualidade do material aprendido foi potencialmente significativa para os estudantes. Dessa forma, destaca-se que o planejamento da sequência de atividades proporcionou a integração entre os conhecimentos e elementos da estrutura cognitiva, com as novas proposições.

Já na história apresentada na figura 24, os estudantes criaram uma situação para relatar o decaimento do múon, partícula que se forma no topo da atmosfera quando atingidas por raios cósmicos, e que apresentam velocidade muito próxima à da luz. Nesse caso, é possível perceber que além de ocorrer uma evolução na conceituação para a grandeza tempo, com novas ideias assimiladas a partir do material potencialmente significativo, os estudantes empregaram os novos conceitos em uma situação não explorada pela sequência didática, como o caso do decaimento do múon.

Segundo explica Moreira (2016), o processo de assimilação acontece quando um novo conceito ou ideia, que seja potencialmente significativo, se relaciona com um conhecimento prévio do estudante. Assim, tanto o novo conceito como o conhecimento prévio do estudante mudam com essa interação, implicando em um repertório maior de conceitos adjacentes dessa interação. Relacionando a teoria com a produção dos estudantes, percebe-se que inicialmente a conceituação para o tempo era de uma grandeza absoluta. Em seguida, com a introdução de organizadores prévios que apresentaram novos elementos para o entendimento e superação do limite da ideia de tempo absoluto para tempo relativo, nos casos de altas velocidades. E culminando com novas proposições a partir da diferenciação progressiva da sequência didática, onde foram apresentados os postulados da TRR, bem como suas consequências. Essas interações entre o que os estudantes já sabiam com os novos conceitos, proporcionaram a assimilação e novas possibilidades de aplicação.

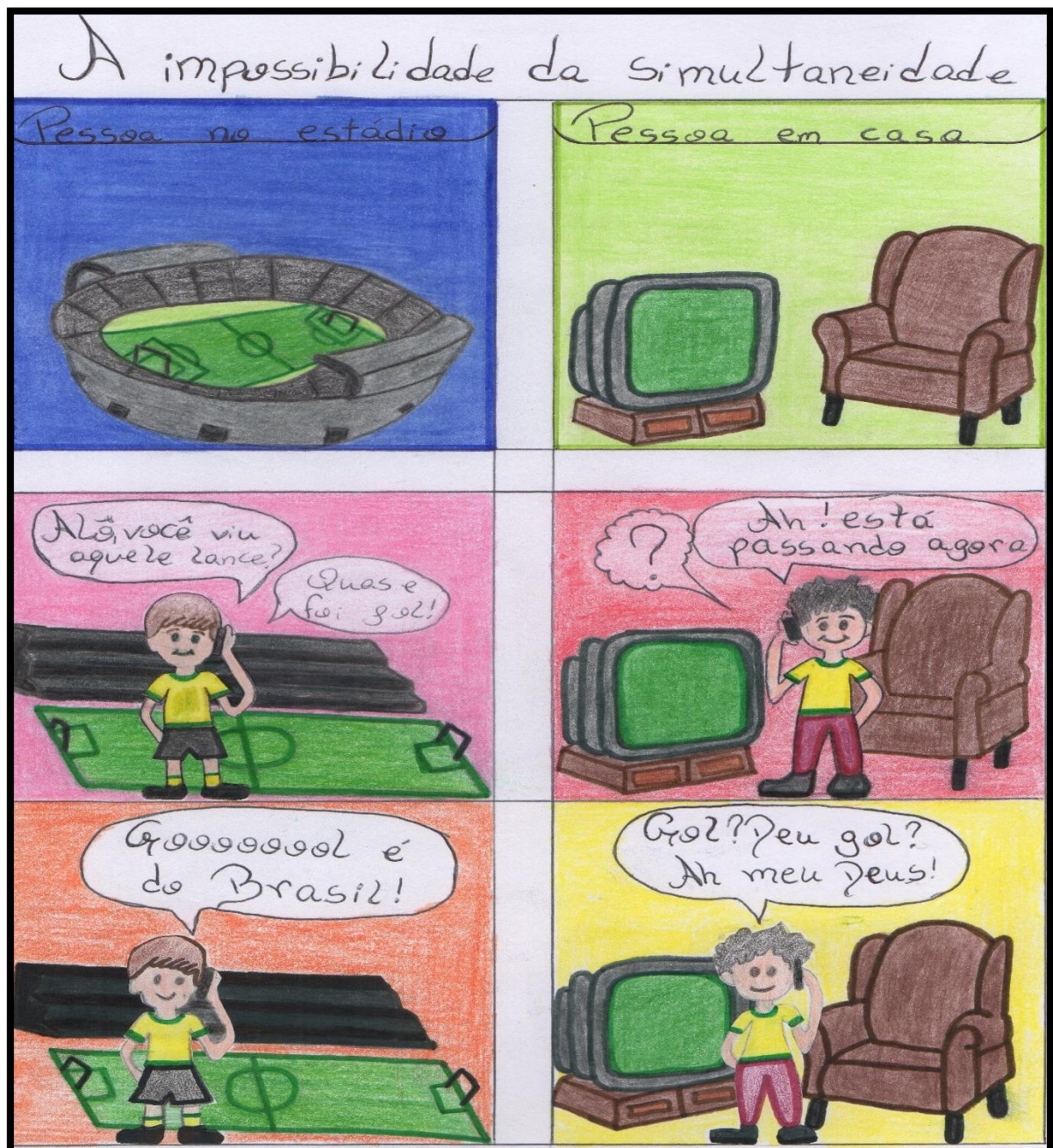
Figura 24: História em quadrinhos criada pelos estudantes PH, JP e MB.



Fonte: Dados da pesquisa.

A história em quadrinhos apresentada nas figuras 25 e 26, explicita uma das consequências da teoria da relatividade restrita: a impossibilidade da simultaneidade. Devido a velocidade da luz não ser infinita, diferentes observadores percebem o mesmo fenômeno em momentos diferentes, situação essa que é totalmente contraditória em relação ao senso comum, que por sua vez, mostra a relatividade da simultaneidade e, portanto, a relatividade do próprio tempo.

Figuras 25 e 26: História em quadrinhos criada pelas estudantes SC, RM e AA.





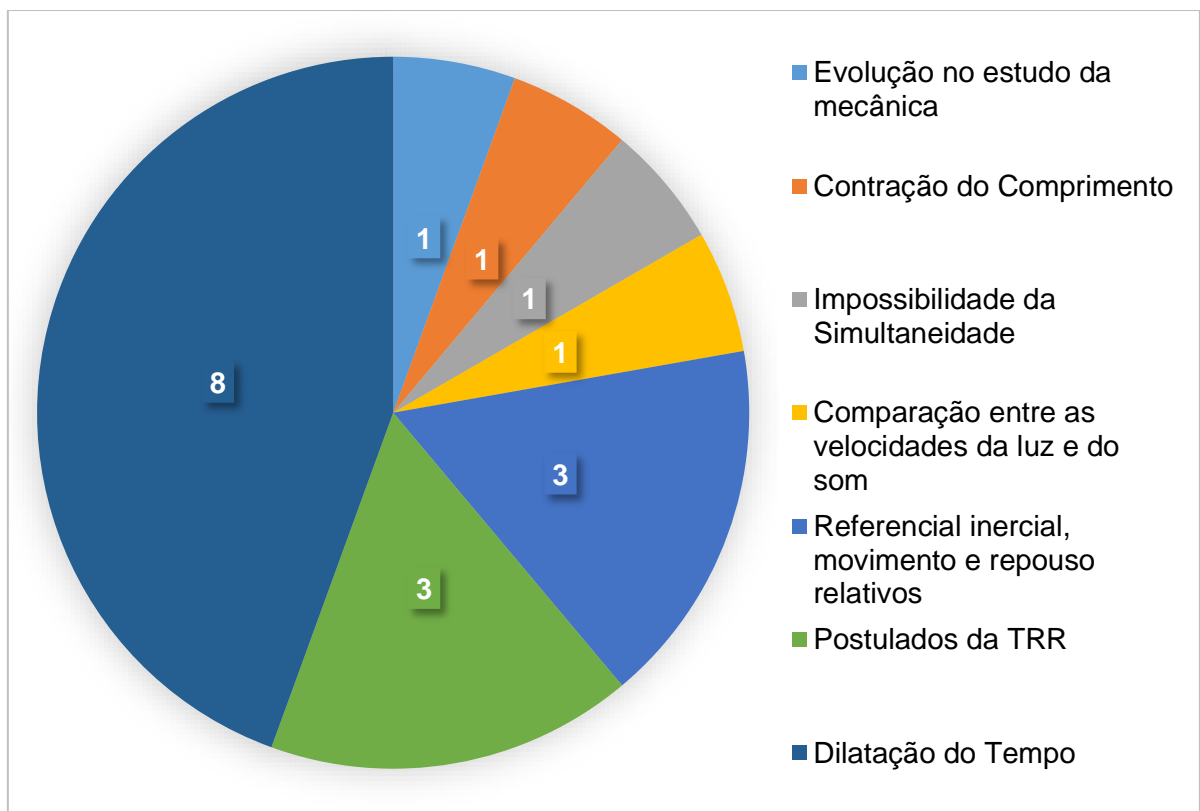
Fonte: Dados da pesquisa.

Assim como essas histórias em quadrinhos apresentadas neste capítulo, outras produções foram realizadas pelos estudantes e seguem disponíveis em anexo nesse trabalho. Essas produções atenderam aos indicadores apontados como fatores que evidenciam a ocorrência da aprendizagem significativa, considerando as relações feitas pelos estudantes entre as suas concepções prévias de conceitos da mecânica clássica e relativística com as novas informações apresentadas na sequência didática. Os conhecimentos prévios dos estudantes, identificados no início da implementação

deste produto, e que em muitos casos eram inadequados do ponto de vista científico, passaram por interações com novas informações que viabilizaram a construção de novos conceitos, promovendo assim conexões entre o que se sabia e o que se objetivava que fosse aprendido.

De modo geral, foi possível observar, durante a aplicação desse produto educacional através da sequência didática proposta, o interesse dos estudantes pelos assuntos abordados. Isso gerou um consequente envolvimento nas atividades apresentadas, ficando evidenciado no gráfico 16, no qual é possível identificar como os diversos tópicos desenvolvidos, despertaram a curiosidade e o entusiasmo dos estudantes.

Gráfico 16: Quantidade de histórias em quadrinhos por assunto.



Fonte: Dados da pesquisa.

Nota: Algumas histórias em quadrinhos trataram de mais de um assunto.

Para oportunizar que todos os estudantes pudessem conhecer as histórias em quadrinhos construídas pelos seus colegas, foi realizado, na última etapa da sequência didática, um momento de socialização dos trabalhos da turma. Na ocasião, cada grupo apresentou sua história, destacando no roteiro o conceito ou os conceitos nela abordada. Segundo Barbosa (2009)

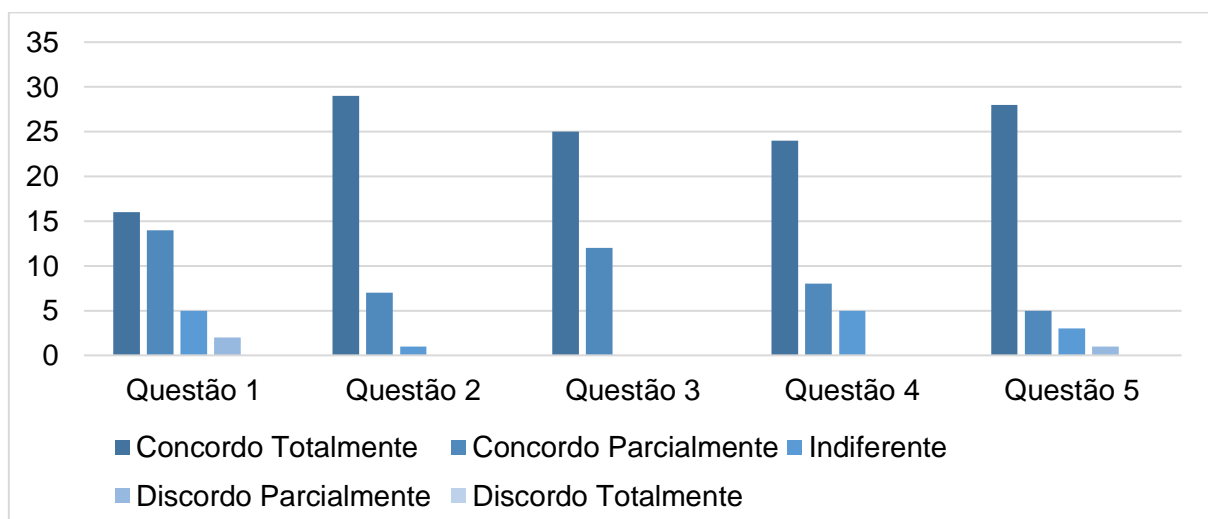
para que haja uma troca de informações entre o autor e o leitor, é necessária uma enciclopédia, ou seja, uma bagagem de conhecimento suficiente para o entendimento da narrativa. Assim, temos o autor-modelo e o leitor-modelo, surgindo um diálogo, uma troca de informação. Nessa troca, novas realidades vão sendo construídas e o leitor-modelo acaba por criar parâmetros de entendimento do mundo que o cerca. (BARBOSA, 2009, p.104)

Dessa forma, consolidar a análise da aprendizagem dos estudantes, tomando por base as interações entre as diversas compreensões sobre os temas abordados se tornou relevante. A apresentação de cada história em quadrinho, além de possibilitar que os estudantes/autores pudessem expressar suas ideias e entendimentos acerca dos assuntos e situações por eles criados, proporcionou que os estudantes/leitores pudessem reconciliar os conceitos, a partir da interação de suas compreensões com as de seus colegas/autores.

5.5 Análise das reflexões dos estudantes sobre a proposta

Com o intuito de trazer as considerações dos sujeitos da pesquisa, foi colocado, após o seminário de apresentação das histórias em quadrinhos, que os estudantes fizessem reflexões sobre a proposta desenvolvida. Através de um questionário (Apêndice H) contendo cinco perguntas objetivas e uma aberta. Os estudantes puderam expressar suas opiniões sobre as etapas da sequência didática, bem como ponderações sobre a metodologia e os recursos utilizados.

Gráfico 17: Considerações dos estudantes sobre a proposta desenvolvida.



Fonte: Dados da pesquisa.

Ao fazer uma análise quantitativa das considerações dos estudantes é possível perceber que os mesmos avaliaram positivamente a proposta, observando que os recursos utilizados favoreceram a compreensão dos assuntos abordados. Dentre eles, o mais apreciado foi a construção das histórias em quadrinhos. Segundo os alunos, o uso das histórias em quadrinhos tornou as aulas de física mais interessantes, contribuindo para um melhor entendimento dos conceitos estudados. Também foi possível perceber que, para os sujeitos da pesquisa, esse recurso poderia ser utilizado em outros momentos, para o desenvolvimento de outros tópicos da física.

Na questão aberta, os estudantes puderam destacar os pontos positivos e negativos da proposta. Seguem algumas ponderações dos estudantes.

- Todos os pontos são completamente positivos, os elementos usados para chamar a nossa atenção, todos eles facilitaram o meu aprendizado, professor muito dedicado, obrigado por nos dar aula. (A1)

- Os pontos positivos foram diversos, o método proposto pelo professor melhorou e muito a minha compreensão sobre a física. E o único ponto negativo é que infelizmente durou apenas 2 meses. (A2)

- Eu achei que não teve nenhum ponto negativo, eu aprendi mais do que na minha outra escola. (A3)

- O professor é muito legal, ele deixa a aula de física muito mais interessante. (A4)

- O ponto positivo foi que ele trouxe novos métodos de ensino. (A5)

- Pela questão de termos pouco tempo de aula com o professor, foi uma matéria um pouco corrida. Mas em questão a conduta dele e das aulas que nos proporcionou foi bem legal, ele tem uma didática diferenciada, com essa realização das histórias em quadrinhos tive um olhar mais aberto, pois a conduta, o jeito, até mesmo a organização dele com as aulas e com os alunos foi perfeita. Foi muito bom ter este projeto, pois faz os alunos criarem vergonha na cara e irmos estudar para criar as histórias em quadrinhos. (A6)

- *As aulas me fizeram pensar mais sobre a teoria da relatividade, que é um assunto que me interessa muito. Poderíamos seguir estudando esta teoria por mais tempo, vendo outras questões. (A7)*
- *Foi legal aprender assim, mais fácil. Muitos assuntos interessantes. Foi leve, melhor que as aulas formais. (A8)*
- *Achei interessante a proposta das histórias em quadrinhos, aprendemos mais assuntos curiosos. (A9)*
- *O ponto positivo foi que eu consegui entender bem com todos os recursos utilizados, principalmente as histórias em quadrinhos. (A10)*
- *A diversidade de atividades foi algo bem positivo. (A11)*
- *As histórias em quadrinhos ajudaram a compreender a matéria com mais facilidade, pois tive que ler a matéria e revisar. (A12)*
- *As aulas foram super interessantes e diferentes. Adorei cada aula, os slides, as folhas e as histórias em quadrinhos. Em minha parte, não gosto muito de física, porém nessas as aulas, eu aprendi a matéria. (A13)*
- *O modo do professor explicar, didático é diferenciado, de fácil compreensão, aulas divertidas que facilitam o entendimento de física. (A14)*
- *As aulas foram super bem explicadas, os quadrinhos foram superinteressantes de se fazer e as aulas foram impressionantes, muitas coisas que nunca havia pensado como e porque acontecem. Muito incrível. (A15)*

A intenção desse estudo é sugerir uma forma alternativa para a abordagem da teoria da relatividade restrita no ensino médio, de modo que os estudantes possam compreender a construção do conhecimento físico como um processo histórico, e parte integrante da cultura contemporânea, possibilitando o entendimento das formas pelas quais a física nos leva a interpretar fenômenos naturais que são objetos de estudo dessa teoria.

A construção de histórias em quadrinhos, utilizada como estratégia facilitadora da aprendizagem durante a implementação do produto educacional, foi precedida por

uma abordagem histórica evolutiva, da mecânica clássica à mecânica relativística. Tal abordagem além de situar os estudantes no contexto histórico do estudo da mecânica, criou pontos de ancoragem para as novas aprendizagens.

Como já exposto, esta proposta foi fundamentada na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, onde se buscou identificar e, em seguida, explorar os conhecimentos prévios dos estudantes progressivamente, de modo a apresentar novos conceitos a fim de promover uma aprendizagem significativa. O questionário de identificação de conhecimentos prévios permitiu verificar os conceitos que os estudantes já conheciam, e os conceitos que eles ainda não conheciam ou não estavam bem definidos, e a partir destas informações foi possível fazer algumas adequações a proposta.

Em consonância com a teoria da aprendizagem significativa, os tópicos da teoria da relatividade restrita foram sendo diferenciados ao longo da proposta. O processo de construção de histórias em quadrinhos foi utilizado como ferramenta de reconciliação integradora, por possibilitar que a aprendizagem acontecesse na relação do estudante com os conceitos estudados, relacionando através de suas experiências e vivências, por meio de imagens e falas, e compartilhando através de suas compreensões os significados da teoria da relatividade restrita. Portanto, se optou pelo uso e construção por parte dos estudantes, de histórias em quadrinhos, como estratégia de aproximação entre os conceitos estudados, de modo a facilitar a aprendizagem, através de um recurso pouco usual no contexto do ensino de física.

De modo geral, durante a aplicação da sequência didática e suas atividades, foi possível observar o interesse dos estudantes. Tal envolvimento com a proposta é atribuído, com base na análise inicial dos resultados, a curiosidade que os tópicos da teoria da relatividade restrita geraram nos estudantes, bem como, o uso de um recurso de comunicação e expressão através da arte, que foram as histórias em quadrinhos.

Nas etapas finais da implementação do produto educacional, foi possível constatar a aceitação quanto a utilização dos quadrinhos, devido ao contato que os alunos já têm com esta ferramenta de comunicação (VERGUEIRO E RAMA, 2014). As falas, ilustrações e roteiros criados por eles, demonstraram seus entendimentos sobre os conceitos, além de romper com os formalismos tradicionais do ensino desta ciência. A construção das histórias em quadrinhos, a partir de uma expressão

dinâmica e visual, associando os textos dos balões e as ilustrações dos personagens em diferentes situações, mobilizaram os estudantes a comunicarem suas aprendizagens.

O recurso utilizado nesta sequência didática como estratégia facilitadora para a aprendizagem significativa, possibilitou que os participantes expressassem suas compreensões sobre os conceitos da teoria da relatividade restrita (CALAZANS, 2008). Isso fica evidenciado no alto nível de informações relativas ao tópico da física estudado que as histórias apresentaram.

Ao analisar os resultados deste trabalho, e através das estratégias adotadas e descritas anteriormente, é possível inferir que, à luz dos resultados e da qualidade da aprendizagem, a abordagem da teoria da relatividade restrita no primeiro ano do ensino médio, paralelamente ao estudo da mecânica clássica é factível. Conjuntamente, essa inserção da teoria da relatividade restrita se apresentou muito exitosa na perspectiva da motivação e envolvimento dos estudantes, através do desenvolvimento e promoção de uma visão da ciência como sendo construída histórica e coletivamente.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho inclui-se no rol de estudos e pesquisas que buscam apontar caminhos e alternativas para a inclusão de tópicos da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, particularmente temas da Teoria da Relatividade. Considerando pesquisas já realizadas, algumas apresentadas neste trabalho (TERRAZZAN, 1992; MOREIRA, 2007; RODRIGUES, 2001; OSTERMANN; MOREIRA, 2000), bem como os aspectos legais (LDB; PCNEM; PCN+), é possível mensurar o progresso na inserção destes assuntos nos currículos escolares da educação básica. Entretanto, destacou-se também as dificuldades no fomento de propostas pedagógicas que de fato sejam adequadas ao contexto da educação básica.

Assim, o presente trabalho buscou analisar a possibilidade da abordagem da Teoria da Relatividade Restrita no Ensino de Física no primeiro ano do Ensino Médio, paralelamente ao estudo da Física Clássica, através de uma sequência didática fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa (AUSUBEL, 1978, apud MOREIRA, 2016; MOREIRA; MASINI, 1982; MOREIRA, 1999; MOREIRA, 2008; MOREIRA, 2010), e com a construção de histórias em quadrinhos (GUIMARÃES, 1999; VERGUEIRO; RAMA, 2014; VERGUEIRO; RAMOS, 2009; CALAZANS, 2008; RAMOS, 2016; PCN).

A concepção de que os estudantes já possuem convivência mesmo que informal com a Teoria da Relatividade Restrita, através de filmes e seriados de ficção científica, histórias em quadrinhos, entre outros, antes mesmo do contato formal na escola, atrelado à estudos de pesquisadores que apontam para a necessidade da abordagem deste tema no Ensino Médio, corroboram com essa proposta. Fortalece também esse trabalho, o fato de que os estudantes têm interesse por lerem e comunicarem suas ideias através das Histórias em Quadrinhos.

Isto posto, foi elaborado um produto educacional com o intuito de viabilizar a inserção de assuntos relacionados a Teoria da Relatividade Restrita no currículo do ensino médio, tendo por base os princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa a fim de dar fundamentação ao material de apoio nele contido.

Dessa forma, o produto educacional foi constituído por um questionário de identificação de conhecimentos prévios, que permitiu ao professor fazer o

planejamento subsequente tomando por base os saberes dos estudantes sobre a Teoria da Relatividade Restrita; um texto de apoio para introdução de organizadores prévios voltado a questões conceituais e evolutivas, da Mecânica Newtoniana à Mecânica Relativística, servindo de ponte entre o que os estudantes já sabiam e o que se desejava que eles soubessem; planos de aulas com material de apoio para a sistematização e aprofundamento dos assuntos desta teoria; questionário para identificação das aprendizagens a partir da diferenciação progressiva dos assuntos; material de apoio para os estudantes para o processo de construção de histórias em quadrinhos; e um questionário para que os estudantes fizessem suas considerações sobre a proposta.

O planejamento das aulas, incluiu a abordagem dos postulados da relatividade restrita, a dilatação do tempo, a contração do comprimento, a relatividade da simultaneidade, bem como discussões sobre o que é absoluto e o que é relativo, e algumas consequências dos postulados da teoria como o paradoxo dos gêmeos. A sequência didática proposta no produto, pautada na Teoria da Aprendizagem Significativa, buscou identificar e explorar os conhecimentos prévios dos estudantes, e progressivamente expor novos conceitos, permitindo a reorganização do conhecimento na estrutura cognitiva dos estudantes.

Para a aplicação do produto educacional, dividido em 6 etapas, foram utilizadas 8 semanas de aula. Destaca-se que este planejamento pode ser adaptado a uma carga horária menor, com o intuito de flexibilizar a sua implementação, possibilitando que outros professores de física em suas diferentes realidades, possam fazer uso dessa abordagem.

A análise dos resultados da aplicação do produto educacional, desde a observação dos conhecimentos prévios dos estudantes, das aprendizagens a partir da diferenciação progressiva dos conceitos, até as construções das histórias em quadrinhos, permitiu a avaliação da qualidade da sequência didática, contemplando os textos de apoio e recursos utilizados, bem como as influências do professor na mediação das discussões durante a implementação do produto.

Com base nos resultados observados na aplicação do produto, considerando as aprendizagens identificadas, infere-se que há viabilidade na abordagem da Teoria da Relatividade Restrita em paralelo com a Mecânica Clássica. Também pode-se inferir que tal proposta se mostrou bastante exitosa no que diz respeito ao envolvimento e participação dos estudantes, bem como o fomento de uma perspectiva

de ciência construída histórica e coletivamente. De modo geral, a aprendizagem dos conceitos da Teoria da Relatividade Restrita, demonstrado nos questionários e nas construções das histórias em quadrinhos, atingiu níveis muito satisfatórios.

A utilização das histórias em quadrinhos em uma sequência de ensino problematizadora, que contextualiza historicamente a evolução dos conhecimentos da mecânica newtoniana à teoria da relatividade restrita, faz emergir uma discussão sobre de que modo e a que ponto esse meio de comunicação e arte pode favorecer o processo de aprendizagem dos estudantes, sendo considerado um material potencialmente significativo.

De acordo com Moreira (2016), existem duas condições necessárias para a ocorrência da aprendizagem significativa. Uma delas, diz respeito à potencialidade dos materiais de ensino, devendo ser logicamente significativo e relacionável a outras ideias pertinentes. A outra condição imposta para que uma proposta seja considerada potencialmente significativa está associada com aquilo que o estudante já sabe, de modo que os novos conceitos se relacionem com a sua estrutura cognitiva.

Nesse contexto, com a finalidade de colaborar com o processo de aprendizagem, este trabalho apresentou uma proposta de produto educacional que buscou incluir o processo de construção de histórias em quadrinhos por parte dos estudantes. Essa estratégia possibilitou uma interligação entre os conceitos estudados, na medida em que proporcionou meios para que o estudante pudesse mobilizar suas aprendizagens e compreensões sobre os fenômenos físicos.

Baseado nas histórias em quadrinhos construídas pelos estudantes, foi possível observar que além de relacionarem os conceitos que foram sendo diferenciados ao longo da sequência didática, os estudantes aplicaram tais conceitos em outros contextos e situações. Assim, em suas construções, os estudantes conseguiram relacionar as novas ideias ao que já sabiam, com significados ampliados em seus contextos de aplicação. Além disso, ao longo das etapas de implementação do produto educacional foi possível identificar nos estudantes um interesse em estender seus próprios conhecimentos na direção científica, onde os mesmos expuseram suas ideias, dialogando com seus pares e desenvolvendo as atividades propostas com mais liberdade do que numa proposta de ensino fundamentada em uma aprendizagem restritamente mecânica.

Infere-se, a partir dos resultados obtidos, que este trabalho pode contribuir para a inserção da Teoria da Relatividade Restrita como tópico de Física Moderna e

Contemporânea no Ensino Médio, a partir de uma sequência didática com o uso de histórias em quadrinhos. Igualmente, acredita-se que tal recurso pode ser utilizado em outros assuntos da Física, tendo em vista suas potencialidades no que se refere a aprendizagem e versatilidade nas possibilidades de aplicação.

Ser um estudante deste mestrado profissional em ensino de física e ter realizado este trabalho, proporcionou também significativas aprendizagens enquanto professor desta área. No processo de planejamento e implementação desse produto educacional, foram mobilizados os fazeres pedagógicos resultantes da relação entre as práticas anteriores a participação neste programa, com as novas concepções sobre ensino e aprendizagem adquiridas ao longo dos dois últimos anos. Esse trabalho, portanto, possibilitou importantes reflexões acerca da prática pedagógica em sala de aula, modificando a forma com que se pensa o planejamento e os seus desdobramentos em cada ação docente, desde saber o que o estudante já sabe sobre determinado assunto até o ato de buscar caminhos eficientes para levá-lo à novas e mais abrangentes compreensões.

Nessa direção, enquanto professor de física, acredito que o planejamento das ações em sala de aula se torna mais real e contextualizado, conferindo ao trabalho do professor um amparo teórico importante, mas sobretudo, amplia as possibilidades de que ocorra de fato uma aprendizagem com significado. Sendo assim, penso que esse programa provocou em minha vida profissional, transformações consideráveis na forma de pensar as práticas no contexto da educação.

Tais provocações que emergiram da aplicação deste produto e das vivências no programa, me colocam a pensar sobre a importância de constantemente estar buscando aperfeiçoamento. Por conseguinte, penso em continuar estudando sobre metodologias diferenciadas de ensino, com fundamentação em teorias de aprendizagem, que favoreçam a aprendizagem dos estudantes. Também tenho interesse em seguir pesquisando sobre estratégias factíveis para a inserção de tópicos da física moderna e contemporânea no contexto da educação básica.

Por fim, vale lembrar que um dos objetivos principais deste programa de mestrado profissional em ensino de física é desenvolver, aplicar e disponibilizar um produto educacional para que outros professores de física possam aplicá-lo em sala de aula. Diante disso, destaco que tenho a pretensão de editar e lançar um livro com as histórias em quadrinhos produzidas pelos estudantes, bem como disponibilizar toda

a sequência didática para que outros professores de física possam utilizá-la em seus planejamentos.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, A. História e quadrinhos: a coexistência da ficção e da realidade. In: RAMOS, P., VERGUEIRO, W. (Org.). **Muito além dos quadrinhos: análise e reflexões sobre a 9ª arte**. São Paulo: Devir, 2009. p. 103-112.
- BRASIL, **Secretaria de Educação Fundamental. Parâmetros Curriculares Nacionais: terceiro e quarto ciclos do Ensino Fundamental**. Brasília. MEC/SEF. 1998.
- BRASIL. Lei nº 9.394, 20 de dezembro de 1996. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB). Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, 23 de dezembro de 1996.
- 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.
- CALAZANS, F.M.A. **História em quadrinhos na escola**. São Paulo: Paulus, 2008.
- GUIMARÃES, E. **Uma Caracterização Ampla para a História em Quadrinhos e seus Limites com Outras Formas de Expressão**. Intercom, Rio de Janeiro, 1999. Disponível em: <<http://www.portcom.intercom.org.br/pdfs/1836635ef083f30606fba7842cbcfabb.PDF>>. Acesso em: 19 de dezembro de 2017.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física – Volume 4**. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.
- MOREIRA, M. A. A física dos quarks e a epistemologia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 2, p. 161-173, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v29n2/a01v29n2.pdf>>. Acesso em: 9 de janeiro de 2018.
- MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem Significativa: A teoria de David Ausubel**. São Paulo: Editora Moraes, 1982.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária. 1999.

MOREIRA, M. A. **Organizadores prévios e aprendizagem significativa**. Revista Chilena de Educación Científica, ISSN 0717-9618, Vol. 7, Nº. 2, 2008 , pp. 23-30. Revisado em 2012. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/ORGANIZADORESport.pdf>>. Acesso em: 27 de dezembro de 2017.

MOREIRA, M. A. **Subsídios teóricos para o professor pesquisador em ensino de Ciências: a teoria da aprendizagem significativa**. Porto Alegre: UFRGS, 2016. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/Subsidios5.pdf>>. Acesso em: 27 de dezembro de 2017.

MOREIRA, M. A. **Abandono da narrativa, ensino centrado no aluno e aprender a aprender criticamente**. Conferência proferida no II Encontro Nacional de Ensino de Ciências da Saúde e do Ambiente, Niterói, RJ, 12 a 15 de maio de 2010 e no VI Encontro Internacional e III Encontro Nacional de Aprendizagem Significativa, São Paulo, SP, 26 a 30 de julho de 2010. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/Abandonoport.pdf>>. Acesso em: 5 de janeiro de 2018.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa em mapas conceituais**. Porto Alegre, UFRGS, Instituto de Física, 2013. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/tapf/v24_n6_moreira_.pdf>. Acesso em: 27 de dezembro de 2017.

OSTERMANN, F; MOREIRA, M.A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 1, p. 23-48, mar. 2000. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol5/n1/v5_n1_a2.htm> . Acesso em: 9 de janeiro de 2018.

RAMOS, P. **A leitura dos quadrinhos**. São Paulo: Contexto, 2016.

RODRIGUES, C.D.O. **Inserção da Teoria da Relatividade Restrita no ensino médio: uma nova proposta**. DISSERTAÇÃO, Mestre em Educação, Orientador: Maurício Pietrocola, UFSC, Florianópolis, 2001. Disponível em: <

<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/128529/328984.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 9 de janeiro de 2018.

TERRAZZAN, E. A. **A inserção da Física moderna e contemporânea no ensino de Física na escola de 2º grau**, Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 9, n. 3, p. 209-214, 1992. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/viewFile/7392/6785>>. Acesso em: 9 de janeiro de 2018.

TERRAZZAN, E. A. **Perspectivas para a inserção de física moderna na escola média**. Tese (Doutorado em Educação). Instituto de Física e Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física para Cientistas e Engenheiros - Vol. 3**. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

VERGUEIRO, W; RAMOS, P. (Org.). **Muito além dos quadrinhos: análises e reflexões sobre a 9ª Arte**. São Paulo: Devir, 2009.

VERGUEIRO, W; RAMA, A. **Como Usar as Histórias em Quadrinhos na Sala de Aula**. São Paulo: Editora Contexto, 2014.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física IV - Ótica e Física Moderna**. 12ª ed. São Paulo: Addison Wesley, 2009.

APÊNDICES E ANEXOS

Apêndice A – Produto Educacional	100
Apêndice B – Questionário para identificação de conhecimentos prévios.....	119
Apêndice C – Texto de apoio para introdução de organizadores prévios.....	122
Apêndice D – Material de apoio para a sistematização e aprofundamento dos assuntos da TRR	128
Apêndice E – Questionário para identificação das aprendizagens a partir da sistematização e aprofundamento dos assuntos da TRR.....	142
Apêndice F – Material orientador para a construção de histórias em quadrinhos.....	146
Apêndice G – Termo de consentimento livre e esclarecido.....	154
Apêndice H - Questionário para considerações dos estudantes sobre a proposta.....	155
Anexo A – Registros fotográficos do seminário de apresentação das histórias em quadrinhos.....	157
Anexo B – Histórias em quadrinhos construídas pelos estudantes.....	161

APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL

SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA A INSERÇÃO DA TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA NO ENSINO MÉDIO COM O USO DAS HISTÓRIAS EM QUADRINHOS³

Prof. Andrios Bemfica dos Santos⁴
Prof.^a Dra. Neila Seliane Pereira Witt⁵
Prof. Dr. Marcio Gabriel dos Santos⁶

INTRODUÇÃO

Na área da educação a busca por novas estratégias facilitadoras para o desenvolvimento das aprendizagens e que também despertem o interesse dos estudantes da educação básica, tem exigido dos professores um cuidado especial sobre as propostas de intervenção em sala de aula. Propostas de atividades preponderantemente baseadas em métodos tradicionais de ensino, que não contemplem uma interação maior entre o professor e o estudante, e entre o estudante e o objeto de estudo, não dão a eles estímulo e motivação. Neste sentido, convidar os estudantes a uma proposta diferente, fazendo uso de estratégias relacionadas ao cotidiano, ao contexto evolutivo e histórico, às artes e a diferentes formas de comunicação e expressão de ideias, à atividades de experimentação e uso de objetos virtuais, possivelmente tornará diferenciado o processo de aprendizagem do estudante.

Na esteira desta busca por estratégias facilitadoras de ensino, que apresentem inovação na prática e estímulo aos estudantes, que esta proposta se insere. Este produto educacional propõe uma sequência didática com atividade de criação de histórias em quadrinhos para abordagem da teoria da relatividade restrita de Einstein no primeiro ano do ensino médio. Essa proposta, apresenta como elemento principal a construção de histórias em quadrinhos no ensino de física como estratégia facilitadora da aprendizagem de conceitos da teoria da relatividade restrita.

³ Desenvolvido no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF-UFRGS/CLN.

⁴ Professor das Redes Municipais de Tramandaí e Xangri-Lá - RS.

^{5,6} Professores do Departamento Interdisciplinar – UFRGS/CLN.

A abordagem de tópicos da física moderna e contemporânea no ensino médio, como é o caso da teoria da relatividade restrita, está assegurada pelo arcabouço das estruturas legais que dispõe sobre os direitos de aprendizagem dos estudantes. Documentos oficiais como a legislação educacional vigente no país (LDB) e os parâmetros curriculares (PCNEM e PCN+) incluem o ensino de tópicos da física moderna e contemporânea no ensino médio, assegurando aos estudantes condições para que compreendam melhor os princípios científicos e tecnológicos resultantes destes assuntos.

Para realizar a inclusão da teoria da relatividade restrita junto a uma turma de primeiro ano do ensino médio, propõe-se o estudo paralelo entre os conceitos estudados pela mecânica clássica e mecânica relativística, destacando as evoluções históricas na construção do conhecimento físico. Desta forma, se sugere uma forma alternativa para a abordagem da teoria da relatividade restrita, de modo que os estudantes possam compreender a construção do conhecimento físico como um processo histórico, e parte integrante da cultura contemporânea.

Para fundamentar essa proposta, o planejamento da sequência didática, intervenção, observação, coleta de dados e avaliação, bem como o uso de diferentes recursos didáticos, adotou-se a teoria da aprendizagem significativa proposta por Ausubel. A escolha por tal teoria se justifica pelo fato de a mesma considerar para o desenvolvimento da aprendizagem significativa, que os conhecimentos prévios que os estudantes possuem sobre um determinado assunto, serão a base para que novos conceitos sejam aprendidos (MOREIRA e MASINI, 1982). Para que ocorra a aprendizagem significativa é necessário que as novas informações se relacionem aos conhecimentos prévios do estudante, ou seja, é preciso que existam conceitos pré-estabelecidos que promovam conexões. Segundo Moreira (1999), a organização de uma sequência didática deve promover uma diferenciação progressiva de conceitos de modo que ideias mais gerais sejam apresentadas primeiro, e em seguida sejam diferenciadas progressivamente, com a inclusão de conceitos mais detalhados. Após este processo de diferenciação de conceitos, faz-se necessário recombina, explorar e relacionar os conceitos estudados promovendo uma reconciliação integradora.

Considerando a teoria da aprendizagem significativa proposta por Ausubel, o professor precisa, ao introduzir novos conceitos em sala de aula, estar atento aos conhecimentos prévios dos estudantes sobre os assuntos abordados, visto que é com

base neles que a sequência de atividades, como organizadores prévios e/ou expositivos, o material instrucional e avaliação da aprendizagem, deve ser planejada.

O planejamento de uma sequência de atividades bem como a utilização de recursos em sala de aula promove a aprendizagem significativa quando facilita as relações entre os conceitos e possibilita a integração com elementos da estrutura cognitiva dos estudantes.

Esta sequência didática se diferencia da aprendizagem mecânica, definida por Ausubel como aquela em que promove, muitas vezes, a passividade dos estudantes em receber conteúdos “prontos”, sem interação cognitiva com os conhecimentos prévios, baseada apenas na memorização de informações específicas e reproduzidas de forma repetida em exames escolares e extraescolares (MOREIRA, 2010). Diferente deste tipo de aprendizagem, a proposta coloca os estudantes no centro do processo de ensino, através de atividades colaborativas e individuais, que provocam a externalização do entendimento deles, a partir dos significados compreendidos por eles. Uma aprendizagem com compreensão, com capacidade de transferência e de utilização e emprego em outros contextos.

POR QUE INSERIR A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA NO ENSINO MÉDIO?

No contexto de sala de aula, os conteúdos da física moderna e contemporânea historicamente têm sido abordados ao final do 3º ano do ensino médio, seguindo uma ordem cronológica apresentada nos livros didáticos. Em numerosos casos, os assuntos referentes à física do século XX, acabam por serem pouco debatidos ou até mesmo suprimidos no decorrer da educação básica. Alguns fatores que podem implicar nessa pouca discussão ou até mesmo ausência de conteúdos da física moderna e contemporânea no currículo do ensino médio, são: a formação dos professores em física, o curso não contempla tais tópicos em seu currículo da graduação, a ausência ou superficialidade de discussões metodológicas sobre esses assuntos no contexto da sala de aula; professores que não tem formação em física ministrando aulas deste componente, mesmo desconhecendo o conteúdo; e até mesmo o fato de que os tópicos da física moderna e contemporânea são considerados mais complexos se comparados aos da física clássica (TERRAZZAN, 1992). Quando

esses tópicos são incluídos, na maioria das vezes ficam reduzidos a uma abordagem superficial, tendo em vista que é dada uma maior importância aos conteúdos da física clássica e, também, em virtude do tempo que é limitado (somente duas-horas semanais na rede pública).

No entanto, é importante salientar que a inclusão de tópicos da física moderna e contemporânea vem sendo defendida entre professores e pesquisadores do ensino de física. Segundo Moreira (2007),

não tem sentido que, em pleno século XXI, a física que se ensina nas escolas se restrinja à física (clássica) que vai apenas até o século XIX. É urgente que o currículo de física na educação básica seja atualizado de modo a incluir tópicos de física moderna e contemporânea, como a física dos quarks abordada neste trabalho. O argumento de que tais tópicos requerem habilidades e/ou capacidades que os estudantes de ensino fundamental e médio ainda não tem é insustentável, pois outros tópicos que são ensinados, como a cinemática, por exemplo, requerem tantas ou mais capacidades/habilidades cognitivas do que partículas elementares. (MOREIRA, 2007, p.172)

Os assuntos relativos à física moderna e contemporânea despertam o interesse dos estudantes pela ciência, pois possibilita a compreensão de que essa foi historicamente construída e se encontra em constante desenvolvimento. Com base nessa realidade, muitos pesquisadores e professores vem dedicando seus estudos e atuação para a ruptura destas práticas, buscando caminhos para a inserção de assuntos da física moderna e contemporânea no ensino médio.

Portanto, é necessário que haja uma abordagem em sala de aula que se preocupe em mostrar aos estudantes que a física é uma construção humana, e que está em constante evolução. Esse reconhecimento da física como construção humana ajuda a desmistificar a noção de que ela foi produzida por “gênios”, de “mentes brilhantes”, que construíram todo o conhecimento científico, em detrimento de uma visão de que ela não continua em constante evolução, sendo produzida colaborativamente, trazendo soluções para problemas da humanidade.

HISTÓRIAS EM QUADRINHOS COMO FERRAMENTA FACILITADORA PARA A APRENDIZAGEM

As histórias em quadrinhos, conhecidas como HQs, são parte da produção artística humana, e compõem as relações do homem com a sociedade e sua cultura.

São uma categoria particular de arte, que engloba algumas formas de expressões artísticas, mas que, dada sua configuração, se distingue das demais. As histórias em quadrinhos são consideradas como uma linguagem, uma forma de comunicação e também um meio de entretenimento.

É notável a grande popularidade que as histórias em quadrinhos possui na sociedade como expressão artística, como forma de comunicação e entretenimento. Este gênero possui grande circulação, em especial, no público jovem, que encontra uma grande diversidade nos elementos que o compõe. Atualmente, as histórias em quadrinhos são compreendidas como a 9ª arte, com sua linguagem própria, gráfica e sequencial. Segundo Vergueiro e Ramos (p.7, 2009) não se têm mais dúvidas: “História em quadrinhos é Arte”.

Em meio a quadros, balões de comunicação, onomatopeias e imagens, a narrativa visual das HQs fascina e envolve os leitores desde sua criação há mais de um século. O aspecto visual das HQs é destacado por Vergueiro e Rama (2014):

De certa forma, pode-se dizer que as histórias em quadrinhos vão ao encontro das necessidades do ser humano, na medida em que utilizam fartamente um elemento de comunicação que esteve presente na história da humanidade desde os primórdios: a imagem gráfica. (VERGUEIRO E RAMA, 2014, p.8)

As representações por meio de imagens são utilizadas por crianças desde muito cedo, como forma de comunicar suas sensações na interação com o mundo e com as pessoas com as quais elas convivem. As imagens assim, são historicamente utilizadas como forma de comunicação do ser humano. Apesar disso, com o desenvolvimento humano e a necessidade cada vez maior de comunicação, ocorreram a formulação dos sistemas de escrita e alfabetos fonéticos, ampliando o repertório e as possibilidades de transmissão de informações. No entanto, mesmo com o surgimento dos alfabetos fonéticos e os sistemas de escrita, as imagens continuaram a exercer um papel importante na comunicação humana. De acordo com Vergueiro e Rama (2014), foi com o surgimento da imprensa que a utilização da representação iconográfica associada a palavra escrita ganhou espaço e constituiu as condições necessárias para que as histórias em quadrinhos despontassem como meio de comunicação em massa.

Atualmente, a utilização das histórias em quadrinhos no contexto de sala de aula é aceita, e essa relação entre educação e quadrinhos é bem mais harmoniosa. Segundo Ramos (2016) o tempo em que o uso das histórias em quadrinhos no contexto educacional era algo inaceitável, já passou. Segundo o autor, hoje os quadrinhos são bem acolhidos nas escolas, através de propostas de ensino. A inclusão dos quadrinhos nos PCNs (1998) trouxe a necessidade da inclusão deste tipo de linguagem para a sala de aula.

De acordo com Vergueiro e Ramos (2009) a inclusão das histórias em quadrinhos para o ensino em sala de aula deixou de ser considerada uma heresia. Contrariamente a esta ideia, abordar as histórias em quadrinhos com caráter científico possibilita demonstrar o quanto esta arte pode indicar sobre a realidade e entendimento de quem a produz e consome.

Progressivamente, no meio educacional, passou a se identificar vantagens na utilização das HQs no ensino para o desenvolvimento da aprendizagem dos estudantes da educação básica. Um dos fatores que apontam para essa inferência, está relacionado ao fato de que os estudantes desta faixa etária, já tiveram contato em algum momento com revistas de histórias em quadrinhos.

Tomando por base esses fatores, alguns estudos começaram a ser desenvolvidos para identificar as potencialidades que o emprego das histórias em quadrinhos traz como recurso didático na escola. Para Calazans (2008)

As HQs são um divertimento com o qual os jovens e adolescentes estão familiarizados e que prendem sua atenção pelo prazer, sendo o seu primeiro contato com linguagens plásticas desenhadas e com narrativas, iniciando seu contato com a linguagem cinematográfica e a literatura; podem ser empregadas como estímulo de aprendizagem trazendo o conteúdo programático à realidade palpável do aluno. (CALAZANS, p.33, 2008)

A utilização das histórias em quadrinhos como recurso didático permite ao professor diversas abordagens. Desde a utilização de quadrinhos prontos para aproximar teorias científicas de temas como radioatividade, mutações genéticas, emprego de tecnologias avançadas, estrutura atômica e anatomia, até temas que envolvem contextos históricos, políticos e artísticos.

Porém, Calazans (2008) aponta também, para a possibilidade do uso das histórias em quadrinhos como forma de expressão da opinião dos estudantes sobre determinado assunto. Com base nessa proposta, o professor pode motivar os estudantes a produzirem os seus próprios quadrinhos, fazendo com que eles deixem de ser apenas consumidores da indústria cultural, e possibilitando que sejam autores de suas próprias histórias.

Há uma certa empatia dos estudantes ao utilizá-las no contexto da sala de aula pela forte relação com os elementos de cultura de massa. Outro aspecto notável que se pode destacar das HQs é a interdependência entre o texto e a imagem, visto que expande a possibilidade de compreensão e interpretação do fato narrado. Vergueiro e Rama (2014) elencam nove motivos que levam as histórias em quadrinhos a terem um bom desempenho nas escolas, possibilitando resultados muito melhores do que aqueles que se obteria sem elas:

I) Os estudantes querem ler os quadrinhos; II) Palavras e imagens, juntos, ensinam de forma mais eficiente; III) Existe um alto nível de informação nos quadrinhos; IV) As possibilidades de comunicação são enriquecidas pela familiaridade com as histórias em quadrinhos; V) Os quadrinhos auxiliam no desenvolvimento do hábito de leitura; VI) Os quadrinhos enriquecem o vocabulário dos estudantes; VII) O caráter elíptico da linguagem quadrinhística obriga o leitor a pensar e imaginar; VIII) Os quadrinhos têm um caráter globalizador; IX) Os quadrinhos podem ser utilizados em qualquer nível escolar e com qualquer tema (VERGUEIRO E RAMA, 2014, p. 21)

Pode-se destacar o fato de que as HQs têm o potencial de ativar a imaginação dos estudantes em um caráter lógico, ao estimularem a idealização do andamento e o decorrer da narrativa. Além disso, a inserção das histórias em quadrinhos nos diferentes componentes curriculares, acarretam em um aspecto fundamental no processo de escolarização, que é o incentivo à leitura. É o que pontua Calazans (2004, p.10), ao dispor que “o manuseio e o contato constante com esse tipo de suporte cria um hábito e uma intimidade que podem ser gradualmente transmitidos para os livros”.

As alternativas na utilização das histórias em quadrinhos no ensino são muitas e podem ser exploradas por professores em diferentes áreas de conhecimento, à vista disso, Calazans (2004, p.17) diz que “os limites do emprego de HQs na sala de aula são os limites da criatividade do professor”.

Considera-se, portanto, que essa ferramenta possibilite que o aprendizado ocorra a partir da interação com os modos de criação dos colegas, suas experiências e vivências com imagens e falas relativas ao compartilhamento de compreensões e significados. Autores como Ramos (2016), Vergueiro e Rama (2014) apontam a necessidade de novos estudos sobre a produtividade e as possibilidades de inserção desse recurso didático em práticas de sala de aula, como estratégia para a construção de conhecimentos, percepções e interpretações, neste caso, sobre os fenômenos ensinados em física.

Partindo dessas discussões, sobre a relevância da utilização das HQs em sala de aula como ferramenta para potencializar aprendizagens, será proposta uma sequência didática que faz uso das histórias em quadrinhos, tanto em sua leitura, quanto em sua elaboração por parte dos estudantes. A temática desta proposta para trabalhar com o uso das histórias em quadrinhos é a Teoria da Relatividade Restrita de Albert Einstein.

SUGESTÃO DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA ENSINO DA TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA COM O USO DAS HISTÓRIAS EM QUADRINHOS

A proposta de intervenção consiste nas seguintes etapas apresentadas na Tabela 2, seguindo os fundamentos da teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel:

Tabela 2 – Etapas de implementação do produto educacional

Etapa	Atividade	Semanas								
1ª etapa	Questionário para identificar os conhecimentos prévios	■								
2ª etapa	Introdução de organizadores prévios		■							
3ª etapa	Sistematização e aprofundamento dos assuntos.			■	■					
4ª etapa	Questionário para identificar a aprendizagem					■				
5ª etapa	Proposta de construção de HQs						■	■		
6ª etapa	Seminário de socialização das HQs									■

Fonte: do autor.

A primeira etapa objetiva identificar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre conceitos da mecânica clássica e relativística, bem como motivar e despertar o interesse dos mesmos a partir de questões problematizadoras. Para tanto, indica-se a aplicação com a turma, de um questionário para identificação de conhecimentos prévios (Apêndice B).

Na segunda etapa serão introduzidos organizadores prévios, que servem para dar suporte às novas aprendizagens, promovendo o desenvolvimento dos subsunçores necessários. Para isto, será utilizado o texto de apoio “Aspectos históricos da mecânica: da filosofia natural de Aristóteles à teoria da relatividade de Albert Einstein” (Apêndice C). O texto apresenta as principais ideias da filosofia natural de Aristóteles e sua interpretação para o movimento dos corpos. Também apresenta uma visão geral sobre a evolução da mecânica, destacando as principais contribuições de Galileu Galilei, Isaac Newton e Albert Einstein, possibilitando uma contextualização histórica dos conceitos. Nesta etapa, além de discutir momentos importantes sobre a evolução da mecânica, se procura evidenciar que a ciência física foi construída coletivamente ao longo da história.

A terceira etapa objetiva a sistematização e o aprofundamento dos assuntos referentes a teoria da relatividade restrita. Tomando por base as discussões levantadas nas etapas anteriores, são apresentados novos e importantes elementos para o desenvolvimento da teoria, que por sua vez trazem desdobramentos na interpretação da mecânica. Para a sistematização e aprofundamento dos conceitos da teoria da relatividade restrita são utilizados slides e um simulador (Apêndice D). Os conceitos discutidos nesta terceira etapa são:

- O que é relativo e absoluto;
- A velocidade da luz;
- Postulados da relatividade restrita;
- A dilatação do tempo;
- A contração do comprimento;
- A impossibilidade da simultaneidade.

Apoiado nestes recursos (slides e um simulador), são explorados esses conceitos a fim de proporcionar uma diferenciação progressiva, conforme propõe a teoria ausubeliana. Nessa etapa, são levados em consideração os conhecimentos

prévios apresentados pelos estudantes, com vistas aos aspectos históricos evolutivos da mecânica.

Na quarta etapa é aplicado com a turma um questionário para identificar a aprendizagem a partir das etapas anteriores (Apêndice E). Este questionário traz aos estudantes situações em que os conceitos diferenciados anteriormente, com base nas exposições, demonstrações, diálogos, exercícios e as correções conjuntas com o grande grupo, estão envolvidos. Com isto, busca-se identificar as aprendizagens de cada estudante sobre a temática, conhecendo as suas percepções e identificando como os mesmos compreendem os assuntos, e até mesmo identificando o que talvez não fique claro. Após a aplicação do questionário, as respostas devem ser analisadas junto aos estudantes, com a finalidade de retomar os acertos, bem como, identificar as razões para os erros dos estudantes.

Considerando a abordagem dos conceitos da teoria da relatividade restrita nas etapas anteriores, desde aspectos históricos na evolução do estudo da mecânica, até algumas das principais consequências dos postulados propostos por Einstein, na quinta etapa, será proposto a construção de histórias em quadrinhos sobre tais conceitos, em grupos de até três estudantes. Esse recurso será utilizado a fim de facilitar a aprendizagem, objetivando a assimilação dos conceitos estudados nas etapas anteriores. Esta estratégia facilitadora, visa reconciliar os conceitos da teoria que foram sendo diferenciados ao longo das aulas, possibilitando ao professor reavaliar a aprendizagem dos estudantes, a partir das construções de suas histórias em quadrinhos. Para essa etapa de construção de histórias em quadrinhos é recomendada a utilização de um material orientador para os estudantes, contendo algumas instruções sobre o estilo desta forma de expressão e arte (Apêndice F).

Com o intuito de consolidar a avaliação da aprendizagem dos estudantes, bem como a própria proposta da sequência didática, na sexta etapa será proposto aos alunos um seminário para a apresentação das histórias em quadrinhos criadas por eles. Com base na apresentação de cada HQ será possível identificar a aprendizagem dos estudantes, considerando suas formas de comunicar suas ideias, expressar suas compreensões dos conceitos da teoria da relatividade restrita, através de situações por eles criadas. Também é interessante propor aos estudantes nessa etapa final, um momento de reflexão sobre esta sequência didática, onde os estudantes poderão fazer suas considerações referente as etapas de implementação, a metodologia

utilizada, os recursos didáticos escolhidos, dentre eles, a construção de histórias em quadrinhos. O questionário que os estudantes responderão, trazendo suas reflexões sobre a proposta, segue no Apêndice F.

PLANOS PARA CADA ETAPA DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

1ª Etapa: Identificação de Conhecimentos Prévios

Carga horária: 2 horas-aula

Objetivo:

- Nesta etapa o objetivo é identificar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre os seguintes tópicos: o movimento dos corpos de acordo com a visão aristotélica; o rompimento das ideias aristotélicas através de Galileu; a mecânica proposta por Isaac Newton; a Teoria da Relatividade de Albert Einstein; a velocidade da luz; a impossibilidade da simultaneidade; a dilatação do tempo; a contração do comprimento.

Recursos Didáticos:

- Questionário para identificação de conhecimentos prévios (Apêndice B).

Metodologia:

O professor fará a distribuição de questionários para identificação de conhecimentos prévios dos estudantes sobre assuntos relacionados a mecânica, da clássica à relativística. Os estudantes serão orientados a responderem o questionário de forma clara e objetiva, explicitando os seus conhecimentos sobre os assuntos abordados, buscando uma melhor explicação para os fenômenos, com base em suas vivências, leituras, ou até mesmo, por informações adquiridas através dos meios de comunicação e de mídias.

2ª Etapa: Introdução de Organizadores Prévios

Carga horária: 2 horas-aula

Objetivos:

- Apresentar aos estudantes as principais ideias da filosofia natural de Aristóteles: os quatro elementos e o éter; movimento natural, violento e perfeito; a queda dos corpos segundo a visão aristotélica; um primeiro modelo de dinâmica.
- Apresentar uma visão geral sobre a evolução da Mecânica, destacando as contribuições de Galileu Galilei, Isaac Newton e Albert Einstein, possibilitando uma contextualização histórica dos conceitos que serão desenvolvidos ao longo do ensino médio.
- Evidenciar que a Física é uma ciência histórica e que foi construída coletivamente.
- Introduzir uma discussão sobre o aparecimento da Teoria da Relatividade e até onde a Mecânica Clássica é válida.

Recursos Didáticos

- Texto de apoio;
- Notebook;
- Projetor multimídia.

Metodologia

O professor distribuirá a cada estudante o texto de apoio “Aspectos históricos da Mecânica: da filosofia natural de Aristóteles à Teoria da Relatividade de Albert Einstein” (Apêndice C), para a discussão em sala de aula com os alunos. O texto será lido em sala de aula e debatido com os participantes, destacando os conceitos abordados, e explorando as possíveis divergências com os conhecimentos prévios dos estudantes, apresentados em suas respostas ao questionário aplicado na primeira aula de implementação do produto. Com base no texto serão explicitados alguns

pontos importantes da evolução da mecânica, destacando o caráter histórico e de construção coletiva dos conhecimentos da Física. Fazendo o uso da projeção do texto de apoio, o professor dialogará com os estudantes acerca dos conceitos nele contidos.

3ª Etapa: Sistematização e Aprofundamento dos Assuntos da Teoria da Relatividade Restrita de Einstein

Carga horária: 4 horas-aula

Objetivos:

- O foco desta etapa de implementação do produto educacional, será o de possibilitar momentos de discussão que facilitem a aprendizagem sobre as consequências dos postulados da teoria da relatividade restrita de Einstein. Os estudantes a partir de tal compreensão, poderão concluir que a dilatação temporal e a contração e a contração espacial ocorrem devido ao fato de a velocidade da luz no vácuo ser uma constante universal e da alteração na noção de simultaneidade que a relatividade espacial introduziu.
- Identificar que a propagação da luz independe do movimento da fonte, ou seja, perceber que a velocidade da luz é constante.
- Compreender que a constância da velocidade da luz provoca a mudança no ritmo de passagem do tempo para observadores em movimento uniforme relativo entre si.
- Perceber que o movimento uniforme relativo entre observadores modifica o comprimento de um objeto na direção desse movimento.
- Reconhecer que a diferença significativa entre os resultados da Física Clássica e da teoria da Relatividade acontece apenas para velocidades que são frações significativas da velocidade da luz.

Recursos didáticos:

- Texto de apoio;
- Notebook;

- Projetor multimídia;
- Apresentação em slides.

Metodologia:

Ao iniciar a aula, será comentado com os estudantes, através de uma apresentação em slides (Apêndice D), que a Relatividade Restrita, como tópico da Física Moderna e Contemporânea, e seus conceitos, que serão apresentados nas duas aulas, vão contra o nosso senso comum de ver e explicar o mundo que nos cerca. Porém, dentro de certas condições, são efeitos e situações que ocorrem numa determinada escala de espaço e tempo muito diferente das que vivenciamos no cotidiano. Diversos fenômenos relativísticos somente podem ser observados em situações de altíssimas velocidades e energias, pouco comuns no nosso dia a dia. É exatamente por esses motivos, que as previsões da Teoria da Relatividade Restrita foram tão contestadas por muitos cientistas da época. Apesar de toda esta resistência na aceitação da Teoria da Relatividade assim que ela foi proposta, o tempo fez justiça, e atualmente, ela é válida e explica diversas situações cotidianas, como por exemplo, o *delay* nas transmissões televisivas ao vivo. Portanto, nessa aula, um dos objetivos será mediar o conflito entre o senso comum e os fatos científicos, tomando para as discussões, questões problematizadoras da época em que a teoria foi proposta.

Será comentado a partir de um diálogo com os estudantes, que a Teoria da Relatividade foi formulada por Albert Einstein em duas etapas: primeiramente, em 1905, ele propôs a Teoria Especial da Relatividade ou Relatividade Restrita, tendo como alicerce a constância da velocidade da luz para qualquer observador inercial. Uma década depois, ele propôs a Teoria Geral da Relatividade, expressando uma revolucionária e inovadora interpretação geométrica das ações gravitacionais, apresentando a curvatura do contínuo espaço-tempo para explicar seus efeitos, inclusive sobre a luz. Dessas proposições apresentadas por Einstein, muitas só foram comprovadas anos mais tarde, como é o caso do efeito da gravidade sobre a luz. Devido ao fato de que a Teoria da Relatividade Geral se aplica a situação mais complexa na qual os referenciais sofrem uma aceleração gravitacional, será abordado junto aos estudantes apenas situações de referenciais inerciais, objetos de estudo da Teoria Restrita da Relatividade.

A respeito da Teoria da Relatividade Restrita serão expostos, através de questões problematizadoras, os dois postulados de Einstein, que de certa forma surpreenderam a ciência da época, ao revelar que ideias anteriores a respeito da relatividade estavam equivocadas. Esses equívocos sobre a relatividade, se dão principalmente porque estamos acostumados a observar movimentos de corpos com velocidades baixas. Para a Teoria da Relatividade de Einstein, que fornece resultados capazes de explicar o movimento dos corpos em todas as velocidades, sejam elas baixas (incluindo a mecânica newtoniana) e altas (próximas a velocidade da luz), ela previa consequências, que em um primeiro momento podem parecer estranhas ou até mesmo impossíveis, pelo fato de nunca ninguém ter observado. Será demonstrado que o espaço e o tempo estão intimamente ligados, ou seja, o intervalo de tempo entre dois acontecimentos depende da distância que os separa e vice-versa. Como consequência ao fato de que a relação entre espaço e tempo são diferentes para observadores que estão em movimento um em relação ao outro, temos que o tempo não transcorre a uma da mesma forma. Assim sendo, temos que o passar do tempo é ajustável, e o movimento relativo modifica a rapidez com que o tempo flui.

Nessas aulas, será debatido também sobre um mito que paira na sociedade, a respeito do uso do termo “relativo”, empregado muitas vezes erroneamente, em alusão a Teoria da Relatividade de Einstein. Será exposto aos estudantes que dizer que “tudo é relativo” ou “tudo depende do referencial” é incorreto. Para Einstein, que nunca fez essas afirmações, as leis físicas são sempre as mesmas mesmo quando se modifica o ponto de vista ou o referencial.

4ª Etapa: Questionário para identificar a aprendizagem a partir da sistematização e aprofundamento dos assuntos

Carga horária: 2 horas-aula

Objetivo:

Após os quatro encontros em que foram realizadas exposições, demonstrações, diálogos, exercícios e as correções conjuntas, com o grande grupo, consideramos que cada estudante tenha construído as suas aprendizagens sobre a

temática. Nessa etapa, o objetivo é conhecer as suas percepções, ou seja, identificar como eles estão compreendendo, e também, aquilo que não ficou claro, seus questionamentos sobre: a Teoria da Relatividade Restrita; os postulados; a dilatação do tempo; a contração do comprimento; paradoxo dos gêmeos; a impossibilidade da simultaneidade.

Recursos Didáticos:

- Questionário (Apêndice E). Este material foi pensado para retomar os conceitos e para conhecer as concepções dos estudantes sobre: a Teoria da Relatividade Restrita; os postulados; a dilatação do tempo; a contração do comprimento; paradoxo dos gêmeos; a relatividade da simultaneidade.

Metodologia:

O professor fará a distribuição do questionário para identificação da aprendizagem dos estudantes sobre os conceitos da Teoria da Relatividade Restrita, abordados nas aulas anteriores. Os participantes serão estimulados a responderem o questionário de forma clara e objetiva, explicitando os seus conhecimentos construídos no processo de ensino ao longo das aulas.

Em um segundo momento da aula, será exposto aos alunos a proposta para as próximas duas aulas. Eles serão convidados a participar de uma atividade que envolverá a construção de histórias em quadrinhos sobre os conceitos da Teoria da Relatividade Restrita estudados nas aulas anteriores.

5ª Etapa: Construção de Histórias em Quadrinhos sobre a Teoria da Relatividade Restrita

Carga horária: 4 horas-aula

Objetivo:

Considerando a abordagem de conceitos da Teoria da Relatividade Restrita nas cinco aulas anteriores, desde aspectos históricos na evolução do estudo da

mecânica, até algumas das principais consequências dos postulados propostos por Einstein, nesta etapa, será proposto aos estudantes a construção de histórias em quadrinhos sobre tais conceitos. Esse recurso será utilizado a fim de facilitar a aprendizagem, objetivando a assimilação dos conceitos estudados nas etapas anteriores. Essa estratégia facilitadora, visa reconciliar os conceitos da teoria que foram sendo diferenciados ao longo das aulas, possibilitando ao professor reavaliar a aprendizagem dos estudantes, a partir das construções de suas histórias em quadrinhos.

Recursos Didáticos:

Para essa etapa de construção de histórias em quadrinhos será utilizado um material orientador para os estudantes, contendo algumas instruções sobre o estilo desta forma de expressão e arte (Apêndice F). Ao término dessa etapa, será aplicado com a turma um questionário para que os alunos façam uma reflexão sobre a proposta (Apêndice G).

Metodologia:

No primeiro momento desta etapa, serão analisadas as questões da aula anterior. Serão revisitados os conceitos abordados nas aulas anteriores com a finalidade de retomar os acertos, bem como, identificar as possíveis razões para os erros dos estudantes.

Em um segundo momento dessa etapa os participantes serão estimulados a construir histórias em quadrinhos, sobre os tópicos da relatividade restrita desenvolvidos em sala de aula. No primeiro momento, será exibido aos estudantes, através de apresentação de slides, um material com orientações sobre essa forma de comunicação. Segundo Ramos (2016)

Quadrinhos são quadrinhos. E, como tais, gozam de uma linguagem autônoma, que usa mecanismos próprios para representar elementos narrativos. Há muitos pontos em comuns com a literatura, evidentemente. Assim como há também com o cinema, o teatro e tantas outras formas de linguagens. (Ramos, 2016, p.17)

Entende-se, portanto, que as histórias em quadrinhos são uma forma de expressão com um estilo próprio de comunicação. Por esse motivo, se faz necessário

que os estudantes, para que possam realizar suas construções, conheçam os recursos dos quadrinhos. Será comentado em aula sobre os diferentes gêneros das histórias em quadrinhos, as formas de representações da fala e do pensamento dos personagens, os diferentes recursos para a oralidade nos quadrinhos e o espaço e o tempo na linguagem quadrinística.

Será evidenciado, através dessa abordagem, que se pode expressar através dos quadrinhos diferentes conceitos e situações, fazendo o uso da arte e da comunicação. A produção das histórias em quadrinhos através de um roteiro e de desenhos, fornece uma infinidade de possibilidades, que está muito vinculada ao processo criativo, mas sobretudo, ao conhecimento do autor sobre o tema a ser abordado (VERGUEIRO e RAMOS, 2009).

Os estudantes serão motivados para a construção das histórias em quadrinhos, tomando por base o material iconográfico exposto como exemplo, bem como as etapas para a construção, como a elaboração do roteiro, os desenhos, a linguagem cinematográfica, o ritmo visual e a diagramação dos quadrinhos (CALAZANS, 2008).

Nestas aulas, será solicitado aos estudantes que, em grupos de até três integrantes, façam a construção de uma história em quadrinho em no mínimo uma lauda, contendo no mínimo oito quadrinhos, sobre os conceitos da Teoria da Relatividade Restrita estudada nas cinco aulas anteriores. Considerando essa proposta, os estudantes serão autores das suas histórias em quadrinhos, o que possibilitará que a aprendizagem aconteça na interação com os seus colegas, em suas experiências e vivências com imagens e falas relativas ao compartilhamento de compreensões e significados sobre a Teoria da Relatividade Restrita.

Para oportunizar que todos os estudantes possam conhecer as histórias em quadrinhos construídas pelos seus colegas, será proposto que nesta última etapa da sequência didática ocorra um momento de socialização dos trabalhos da turma. Na ocasião, cada grupo apresentará sua história, destacando o roteiro criado, e os conceitos abordados.

A apresentação de cada história em quadrinho, além de possibilitar que os estudantes/autores pudessem expressar suas ideias e entendimentos acerca dos assuntos e situações por eles criados, proporcionou que os estudantes/leitores

pudessem reconciliar os conceitos, a partir da interação de suas compreensões com as de seus colegas/autores.

Com o intuito de trazer as considerações dos estudantes, será proposto a eles, após o seminário de apresentação das histórias em quadrinhos, que façam reflexões sobre esta sequência didática desenvolvida. Através de um questionário (Apêndice G) contendo cinco perguntas objetivas e uma aberta, os estudantes poderão expressar suas opiniões sobre as etapas da sequência didática, bem como ponderações sobre a metodologia e os recursos utilizados.

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO PARA IDENTIFICAÇÃO DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS

QUESTIONÁRIO PARA IDENTIFICAÇÃO DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS

Nome: _____ **Data:** _____

Responda as questões com atenção, explicitando de forma clara seu pensamento sobre os assuntos abordados.

Questão 1:

Uma pedra e uma folha de papel aberta na horizontal, são soltas da mesma altura e no mesmo instante. O que chega primeiro ao solo? Justifique sua resposta.

Questão 2:

Assinale C para afirmativas corretas e I para afirmativas incorretas. Em seguida explique o porquê de sua resposta:

- a) () A Terra está parada no centro do universo.
- b) () Quando estamos dentro de um ônibus em movimento retilíneo uniforme e arremessamos um objeto para o alto, este se desloca para trás por causa da velocidade do veículo.
- c) () Os passageiros que estão sentados dentro de um ônibus que está se movimentando à velocidade constante de 40km/h, em uma trajetória retilínea, estão parados em relação ao ônibus.
- d) () Se dois móveis se deslocam por uma estrada retilínea com velocidades iguais, e no mesmo sentido, um está em repouso em relação ao outro.
- e) () Tomando como referência uma pessoa na superfície da Terra, é possível afirmar que o Sol e a Lua giram em torno da Terra.
- f) () Um ônibus terá sempre o mesmo comprimento, independente da sua velocidade, pois velocidade e comprimento são grandezas físicas independentes.

Questão 3:

Carlos está parado em relação ao solo e observa um trem que se desloca em movimento retilíneo e uniforme em relação a ele. No interior desse trem, sentado em uma poltrona, se encontra Augusto. Suponha que o trem seja totalmente transparente, de tal forma que Carlos consiga ver tudo o que acontece em seu interior.

- a) Os dois amigos observam uma determinada poltrona do trem. Para Carlos essa poltrona está em movimento ou em repouso? E para Augusto? Justifique sua resposta.
- b) Uma lâmpada se desprende do teto do trem em direção ao chão. Qual é a forma da trajetória descrita pela lâmpada durante a sua queda vista por Augusto? E por Carlos? Justifique sua resposta fazendo um desenho que representa a trajetória da lâmpada vista por Augusto e por Carlos. Considere desprezível a resistência do ar.

Questão 4:

Escreva com suas próprias palavras o que é tempo para você?

Questão 5:

Isaac Newton, um famoso físico inglês, escreveu em seu grande tratado “Os Princípios Matemáticos da Filosofia Natural”, publicado em 1687, que:

“O tempo absoluto, verdadeiro e matemático, por si só e por sua própria natureza, flui uniformemente, sem relação com nenhuma coisa externa, e é também chamado de duração”.

Qual a sua opinião sobre esta concepção de Newton sobre tempo? Explique.

Questão 6:

Quando olhamos para o céu, durante uma noite estrelada, estamos observando o:

() Passado () Presente () Futuro

Por quê?

Questão 7:

Numa tempestade ouvimos o som do trovão só algum tempo depois de vermos o relâmpago. Como você pode explicar essa afirmação?

Questão 8:

Imagine que você esteja assistindo, em sua casa, à final do Brasileirão. Um jogador de seu time cobra um pênalti com extrema precisão e coloca a bola “no ângulo”. Podemos dizer que você começa a comemorar o gol no mesmo instante que a torcida que está presente no estádio? Justifique.

APÊNDICE C – TEXTO DE APOIO PARA INTRODUÇÃO DE ORGANIZADORES PRÉVIOS**ASPECTOS HISTÓRICOS DA MECÂNICA: DA FILOSOFIA NATURAL DE ARISTÓTELES À TEORIA DA RELATIVIDADE DE ALBERT EINSTEIN**

O homem sempre buscou compreender o mundo que o cerca, procurando entender e explicar os fenômenos que ocorrem na natureza. E esta procura não pára, ela continua! Muitas pessoas ao longo da história contribuíram para explicar os fenômenos da natureza. Poderíamos citar muitos: Aristóteles (384 a.C – 332 a.C), Arquimedes (287 a.C – 212 a.C), Nicolau Copérnico (1473-1543), Galileu Galilei (1564-1642), René Descartes (1596-1650), Isaac Newton (1643-1727), Hans C. Oersted (1777-1851), Michael Faraday (1791-1867), James C. Maxwell (1831-1879), Hendrik Lorentz (1853-1928), Max Planck (1858-1947), Pierre (1859-1906) e Marie Curie (1867-1934), Albert Einstein (1879-1955), Louis de Broglie (1892-1987) entre tantos outros. Cada um deles contribuiu para o desenvolvimento do conhecimento humano. No entanto, suas teorias não foram formuladas de maneira completamente independente. Cada nova descoberta não aconteceu sem considerar o que já se havia sido produzido. Os conhecimentos acerca dos fenômenos da natureza continuam constantemente evoluindo, e sempre que uma nova teoria é apresentada, ela toma por base o que já havia sido desenvolvido até então. A seguir, veremos uma breve

descrição, com alguns dos principais aspectos na evolução do estudo da mecânica, desde a clássica até a relativística.

A filosofia natural de Aristóteles

Aristóteles (384 a.C – 332 a.C) foi um grande filósofo grego, que propôs explicações para o movimento dos corpos. Estas explicações influenciaram o pensamento do homem sobre o movimento dos corpos e suas causas até meados do século XVI. Para Aristóteles, o movimento dos corpos era dividido em três tipos e se baseavam em sua concepção de Universo: os movimentos naturais, os violentos e os perfeitos. Aristóteles também acreditava que o mundo terrestre era formado por basicamente quatro elementos: a terra, a água, o ar e o fogo, sendo que todos tinham um lugar natural. Destes quatro elementos, a terra seria o mais pesado, e por este motivo sempre buscava o centro da Terra, onde seria o seu lugar natural. A água, um pouco mais leve, ficava espalhada sobre a terra. O ar, ainda mais leve que a água, ficava sobre a terra e a água. E o fogo, por ser o elemento mais leve de todos, brilhava acima da camada atmosférica - exemplo: o sol (PIETROCOLLA, 2013).

Segundo o pensamento aristotélico, o movimento natural seria aquele em que os elementos buscariam o seu lugar natural. Para ele, quando uma pedra fosse abandonada de uma determinada altura, ela iria cair por ser o seu lugar natural, o solo da Terra, assim como quando um líquido entrasse em ebulição, o vapor subiria buscando o seu lugar natural. Na esteira deste pensamento, se abondássemos uma melancia e uma pera de uma mesma altura, poderíamos justificar que a melancia chegaria primeiro ao solo pelo fato de ter mais água que a pera, logo passaria pelo ar primeiro. Muitos poderiam ainda justificar que a melancia chegaria primeiro no solo por ser mais pesada que a pera.

Quando lançamos um objeto - uma bala ou uma flecha por exemplo - este estaria animado de um movimento violento, forçado, que estaria sendo causado por alguma força externa. De modo geral, essa força era explicada como a ação do meio sobre o corpo, logo após esta força inicial ter parado de atuar diretamente sobre ele (MÁXIMO e ALVARENGA, 2012).

Aristóteles classificava o movimento descrito pelos astros celestes como sendo movimentos perfeitos. Estes astros não eram formados pelos quatro elementos

naturais, e sim, por um quinto elemento, o éter. Para ele, os corpos celestes que eram formados pelo éter, não eram regidos pelos movimentos naturais, e realizavam um movimento circular perfeito.

Apesar do pensamento sobre a Física proposta por Aristóteles parecer simplório atualmente, ele explicava naquela época alguns fenômenos observados pelo homem, e talvez por isso, este pensamento permaneceu por cerca de dois mil anos sendo utilizado para descrevê-los.

O rompimento das ideias aristotélicas através de Galileu

A ruptura ao pensamento aristotélico que dominou a ciência por dois milênios ocorreu a partir dos escritos do cientista italiano Galileu Galilei (1564-1642), no início do século XVII. Galileu fez história na ciência ao questionar as ideias aristotélicas. Porém encontrou alguns percalços no caminho, como dificuldades técnicas e experimentais para provar suas propostas sobre o estudo da queda dos corpos. Ele buscou em seus estudos mostrar que Aristóteles estava errado quando afirmava que a velocidade de corpos em queda se mantinha constante durante a trajetória. Para ele, a velocidade dos corpos em queda aumenta regularmente, com velocidade crescente e aumento constante em iguais intervalos de tempo (PIETROCOLLA, 2013).

Em seus estudos Galileu averiguou o movimento de queda de esferas de bronze que, ao serem soltas do repouso, desciam ao longo de uma rampa inclinada. Assim, ele pode monitorar a variação da velocidade da esfera em movimento com maior precisão, tendo em vista que, na rampa inclinada, o movimento é mais lento do que numa queda vertical. Devido a falta de instrumentos para aferir o tempo, Galileu chegou a utilizar seus próprios batimentos cardíacos. Porém, por serem oscilantes, e complicado medir as frações de batimentos cardíacos, ele acabou deixando de lado este método. Foi então que ele começou a fazer aferições de tempo com uma clepsidra, ou relógio de água, que consistia em um recipiente com um orifício na base por onde a água podia escorrer. Para aferir o tempo, Galileu encheu completamente o recipiente e fez a água escorrer pelo orifício, e simultaneamente soltou a esfera sobre a rampa. Após o objeto percorrer certa distância, ele obstruiu o orifício, interrompendo o fluir da água, e em seguida, mediu o volume restante de líquido no

recipiente. Assim, Galileu estimou o tempo gasto para cada descida da esfera na rampa, a partir da comparação da diferença entre os “pesos” dos volumes de água.

Tomando por base as aferições realizadas, Galileu observou que a relação entre a distância percorrida pela esfera e o quadrado do tempo gasto, permaneceu constante. Ou seja, ele observou uma regularidade, um padrão na natureza, que poderia ser expresso em linguagem matemática, diferentemente do método aristotélico, que só se baseava no pressuposto de que a razão humana é que deduz, não havendo a necessidade de experimentação.

Galileu rompeu com diversas ideias aristotélicas, para além da velocidade variável na queda dos corpos. Ele mostrou que, diferente do pensamento de Aristóteles, a queda dos corpos não ocorria em busca de seu lugar natural, e não dependia do “peso” do corpo, mas sim que todos os corpos caem da mesma forma, independentemente de sua massa, demonstrando isso experimentalmente. Também rebateu a ideia de que o céu era perfeito, o que acabava por traduzir uma imutabilidade e pelas formas perfeitas das órbitas circulares dos corpos esféricos, ao observar a lua com uma luneta e perceber a existência de montanhas, vales e crateras. Colocou em xeque a ideia de que todos os corpos no céu descreviam círculos perfeitos ao redor da Terra, e de que ela estaria no centro do Universo, ao novamente utilizar uma luneta e perceber que existiam luas girando em torno de Júpiter. Propôs que a ideia de Aristóteles de que a Terra estaria parada no centro do Universo, por ser seu lugar natural, com os demais corpos celestes se movendo ao seu redor, estava equivocada, ao defender que a Terra se move em torno do Sol, ao mostrar fenômenos astronômicos como as fases de Vênus como evidência desse fato.

Galileu também propôs uma outra forma de analisar repouso e movimento de um corpo. Diferente de Aristóteles que defendia que, quando uma pessoa saltasse para o alto dentro de uma embarcação em movimento, não deveria cair no mesmo lugar por causa do movimento da Terra, Galileu afirmava que a pessoa cairia no mesmo lugar estando o barco em movimento ou não, por possuir a mesma velocidade do barco. Seus estudos apontaram que a trajetória de um corpo em movimento depende de um referencial. Isso é enfatizado, por exemplo, nas situações em que dois observadores diferentes veem duas trajetórias diferentes para um mesmo móvel.

Assim, destaca-se que a principal contribuição de Galileu Galilei foi apontar caminhos para a elaboração de uma Física Moderna, que seria desenvolvida mais tarde por Isaac Newton, apresentando argumentos para ruptura das ideias de Aristóteles.

Uma síntese da mecânica proposta por Isaac Newton

O cientista inglês Isaac Newton apresentou uma grande síntese da mecânica, no seu livro “Princípios Matemáticos da Filosofia Natural”, publicado em 1686. A sua proposta constituiu a base da chamada mecânica clássica ou também conhecida como mecânica newtoniana, que dominou a ciência até o final do século XIX. Atualmente, existem outras teorias como a Teoria da Relatividade de Albert Einstein e a Mecânica Quântica, que ultrapassam os limites do estudo da mecânica newtoniana.

Antes de Galileu, pensava-se que quando não incidiam forças sobre um corpo, ele obrigatoriamente deveria permanecer em repouso. Muitas pessoas têm essa concepção intuitiva. Durante muitos séculos, pensou-se que os movimentos só poderiam existir e ser conservados por uma interação que fosse exercida sobre os corpos. O que fez com que muitos cientistas como Galileu Galilei, René Descartes e Isaac Newton, pensasse de uma forma diferente, é que os movimentos não acabam imediatamente com o cessar da atuação das forças, e essa observação abriu ideia a outros caminhos (MÁXIMO e ALVARENGA, 2012).

Sua obra publicada em 1686 tem como essência o que hoje são denominadas as três Leis de Newton: a primeira, a Lei da Inércia, segundo a qual sem a ação de forças, os corpos permanecem como estão, em repouso ou em movimento retilíneo uniforme; a segunda, que estabelece que a variação do movimento de um corpo é proporcional à ação de forças aplicadas, e se dá na mesma direção da força resultante; e a terceira que é conhecida pelo princípio da ação e reação, que diz que toda força aplicada em um corpo tem uma correspondente com a mesma intensidade e direção, porém em sentido contrário (GASPAR, 2002).

Outra importante contribuição de Newton foi seu estudo a respeito da gravitação universal. Antes das ideias de Newton, muitos outros cientistas já tinham percebido a necessidade da existência de uma força atrativa no Sol para garantir a

órbita dos planetas. Essa força ou poder atrativo deveria existir, em menor escala, também na Terra, para garantir a órbita da Lua. Tomando por base seus predecessores, Isaac Newton deu um grande salto conceitual no conhecimento da Física. Ele propôs que a massa do Sol atrai a massa da Terra, fazendo com que ela orbite em torno do Sol. Da mesma forma, a massa da Terra atrai a massa da Lua, sendo este o motivo pelo qual a Lua gira em torno da Terra (MÁXIMO e ALVARENGA, 2012).

A mecânica além de Newton

Os fundamentos da teoria especial da relatividade se assentam em duas suposições básicas. A primeira é o princípio de que “todo o movimento é relativo”, ilustrado com a situação do passageiro que está *parado* em um trem em alta velocidade e que, se não olhar para fora, pode ter a impressão de que o trem também está parado. Ou, numa escala maior, o movimento da Terra, que não seria percebido se não houvesse corpos celestes para comparação.

A segunda grande hipótese de Einstein é a de que a velocidade da luz é independente do movimento de sua fonte, isto é, essa velocidade, 300.000 km/s, é sempre a mesma em qualquer lugar do Universo, sem distinção de lugar, tempo ou direção. Além disso, nada pode superar essa velocidade, embora a velocidade dos elétrons se aproxime muito dela. A luz é, assim, o único fator constante e invariável em toda a natureza (YOUNG e FREEDMAN, 2009).

Dizer que tudo é relativo, menos a luz, implica admitir que o *tempo* é relativo. Esse é um dos conceitos einsteinianos mais complexos, pois transtorna nossas crenças tradicionais. Segundo Einstein, acontecimentos ocorridos em diferentes locais, simultâneos para um observador, não os são para outro observador que se desloque em relação ao primeiro. Dois fatos considerados simultâneos por um observador que estiver parado no solo não ocorrem ao mesmo tempo para outro observador que estiver viajando em um trem ou avião. O tempo é relativo quanto a posição e à velocidade do observador, e não absoluto (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2003).

APÊNDICE D – MATERIAL DE APOIO PARA A SISTEMATIZAÇÃO E APROFUNDAMENTO DOS ASSUNTOS DA TRR

MATERIAL DE APOIO PARA A SISTEMATIZAÇÃO E APROFUNDAMENTO DOS ASSUNTOS DA TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA

Se fosse possível, como iríamos perceber um raio de luz que sai de uma lanterna, acompanhando-o na mesma velocidade?

Quem se fez essa pergunta, ainda muito jovem, foi Albert Einstein, sendo que só conseguiu respondê-la aos 26 anos. A resposta a esse questionamento foi mais tarde publicada em um artigo intitulado “Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento”, em uma famosa e prestigiada revista científica alemã, em 1905. O artigo trazia os alicerces da teoria que abalaria as bases até então firmes e incontestáveis da consolidada mecânica clássica ou newtoniana. Após estas propostas de Einstein, o tempo e o espaço passaram a ser interpretados de outra forma. Ele investigou e percebeu que quando diferentes observadores estão em movimento uniforme uns em relação aos outros, ambos percebem de forma diferente a passagem do tempo e também o espaço. Isso acaba por contradizer a mecânica clássica, onde o tempo é um conceito absoluto, ou seja, é visto da mesma forma por diferentes observadores que apresentam movimento relativo entre si (YOUNG e FREEDMAN, 2009).

De certa forma, essa mudança na forma de interpretar o movimento dos corpos, influenciou outras grandezas, como massa e energia, e passou a ser chamada de Teoria da Relatividade Restrita, tendo em vista que, embora passasse a considerar grandezas antes absolutas em grandezas relativas, ela se aplica apenas a observadores que estivessem em movimento uniforme em relação ao outro. Uma segunda mudança na forma de interpretar o movimento dos corpos, também provocada pelas ideias de Einstein, passou a ser chamada Teoria da Relatividade Geral, que foi proposta uma década depois. Foi considerada uma teoria geral para a relatividade, pois passou a incluir também observadores em movimento relativo

acelerado. No entanto, não nos deteremos ao estudo desta parte da Teoria da Relatividade proposta por Einstein (HEWITT, 2002).

Mas voltando ao questionamento inicial: Se fosse possível, como iríamos perceber um raio de luz que sai de uma lanterna, acompanhando-o na mesma velocidade?

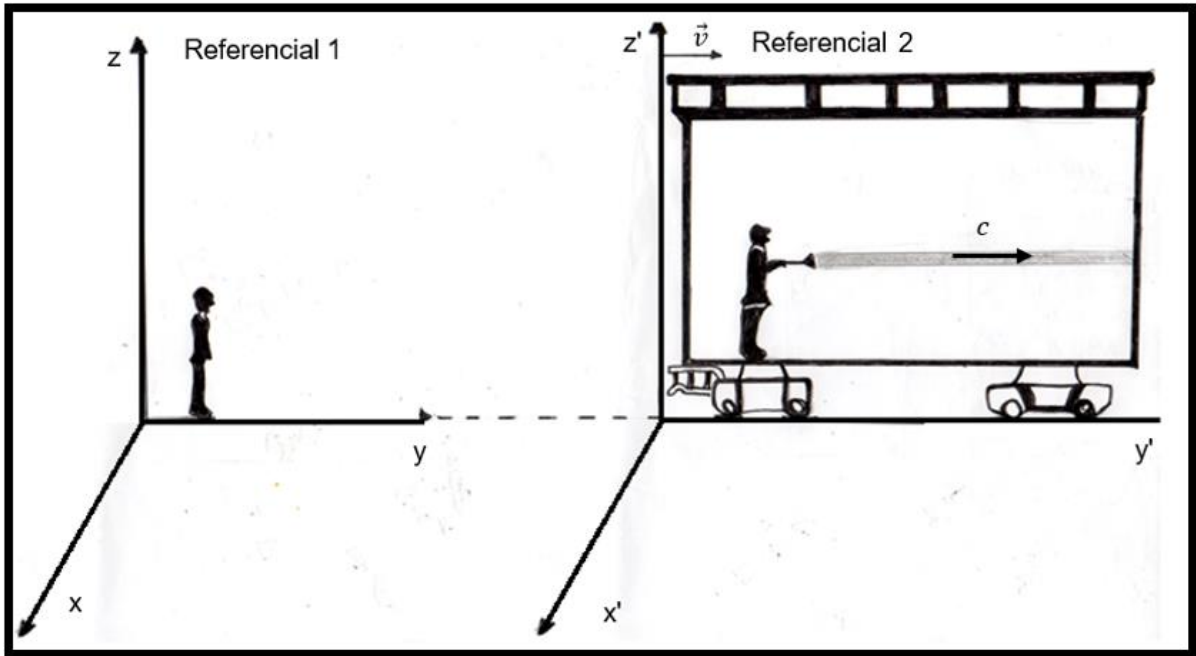
Para a mecânica newtoniana, o raio de luz estaria em repouso em relação a quem o observa, da mesma forma que duas pessoas andando de bicicleta movimentando-se lado a lado com a mesma velocidade em uma estrada estariam parados um em relação ao outro. Einstein, entretanto, considerou que, se a luz é uma onda eletromagnética, e como onda eletromagnética tem por característica ter variações de campos elétricos e magnéticos, não poderia existir um pulso de luz em repouso, já que esses campos estariam sempre variando, se movimentando.

A dedução de Einstein foi inusitada sob a ótica da mecânica newtoniana: um raio de luz nunca pode estar em repouso em relação a um objeto, mesmo que este objeto esteja se movendo com a velocidade da luz. Assim, se alguém tentasse atingir um raio de luz, por mais alta que fosse sua velocidade (porém não atingindo a velocidade da luz), ele ainda estaria se afastando desse alguém - e, o que é mais interessante: estaria ainda assim, se afastando com a velocidade da luz (SANT'ANNA, 2010).

As implicações em decorrência das teorias de Einstein são totalmente contrárias ao que imaginamos, aquilo que pensamos com base em nossas vivências do dia a dia. Vamos pensar a seguinte situação:

Um raio de luz é emitido por uma lanterna, pelo observador 2, que está dentro de um trem que se move com velocidade v em relação a um outro observador 1, parado no solo. Tendo em vista que o raio de luz se move com velocidade c em relação ao observador 2 fixo no trem, qual será a velocidade da luz c_1 em relação ao referencial do observador 1?

Figura 27: Raio de luz sendo observado por dois observadores em referenciais inerciais.



Fonte: do autor.
 Ilustração: Lucas Gemerasca.
 Nota: Imagem sem escala.

Pela mecânica clássica, a velocidade da luz para o observador 1 em repouso no solo, c_1 , deve ser a soma da velocidade do trem em relação a 1 com a da luz no referencial 2:

$$c_1 = c + v \quad (1)$$

Porém, segundo Einstein, é constante a velocidade da luz, seja para um observador parado, fixo em um referencial externo, seja para um que esteja em movimento uniforme em relação a ela. Portanto, a soma de c e v deverá ser igual a c :

$$c + v = c \quad (2)$$

Então, isso significa que o movimento da fonte não altera a velocidade da luz. Ao concluir isso, Einstein propôs um dos dois postulados sobre os quais se sustenta a teoria da relatividade restrita:

“A velocidade da luz no vácuo é uma constante universal para qualquer observador.”

Esse postulado, também conhecido como postulado da constância da velocidade da luz, fez cair por terra o conceito da mecânica newtoniana de referencial absoluto ou referencial privilegiado. Sempre que queremos falar sobre a grandeza

velocidade, devemos declarar o referencial em relação ao qual estamos fazendo as medidas. Se estivermos dentro de um ônibus em movimento e dissermos que nossa velocidade é de 80km/h, fica compreendido que essa é a velocidade entre o carro e os objetos que estão em repouso em relação à estrada (casas, postes, vegetação, etc).

A partir disso, podemos considerar a Terra como esse referencial em repouso. No entanto, a Terra desloca-se ao redor do Sol, e o Sol através do espaço... Podemos considerar as estrelas distantes como um referencial em repouso. Mas elas também se deslocam pelo Universo. Então, será que existe algum referencial em repouso absoluto? Novamente podemos nos perguntar: em repouso absoluto em relação a quê?

Segundo propôs Einstein, a ideia de que o movimento de uma fonte luminosa não afeta a velocidade da luz é conflitante com a existência de um referencial absoluto. Vamos pensar a seguinte situação: Um raio de luz é emitido dentro de um trem. Como seria capaz a velocidade da luz ter valor c no referencial do trem e o mesmo valor no suposto referencial absoluto?

Se aceitarmos a existência deste referencial, logo o movimento da fonte deveria alterar a velocidade da luz, e, com isso, estaria em contradição com o postulado da relatividade sobre a constância da velocidade da luz. Devemos então abandonar um dos dois: ou o postulado sobre a constância da velocidade da luz, proposto pela relatividade, ou o referencial absoluto, proposto pela mecânica clássica. Einstein em seu famoso artigo, explicou que o caminho para explicar de modo correto os fenômenos físicos passava pela segunda opção. (TIPLER e MOSCA, 2006)

Assim, a partir deste outro conflito com a mecânica clássica, Einstein propôs o segundo postulado da teoria da relatividade, que diz que:

“As leis da física são as mesmas para todos os observadores situados em referenciais inerciais. Não existe um referencial absoluto.”

Veremos na sequência algumas das consequências desses dois postulados da Teoria da Relatividade Restrita, que foram muito expressivas e mudaram profundamente o panorama do estudo da Física que decorreu após tal teoria. Serão destacadas algumas das mais importantes implicações dos dois postulados, tais

como: o efeito da dilatação do tempo; a contração do comprimento; a impossibilidade da simultaneidade; e o paradoxo dos gêmeos.

A dilatação do tempo

Figura 28: Situação envolvendo a dilatação temporal.



Fonte: do autor.

Ilustração: Camila Ceroni.

Nota: Imagem sem escala.

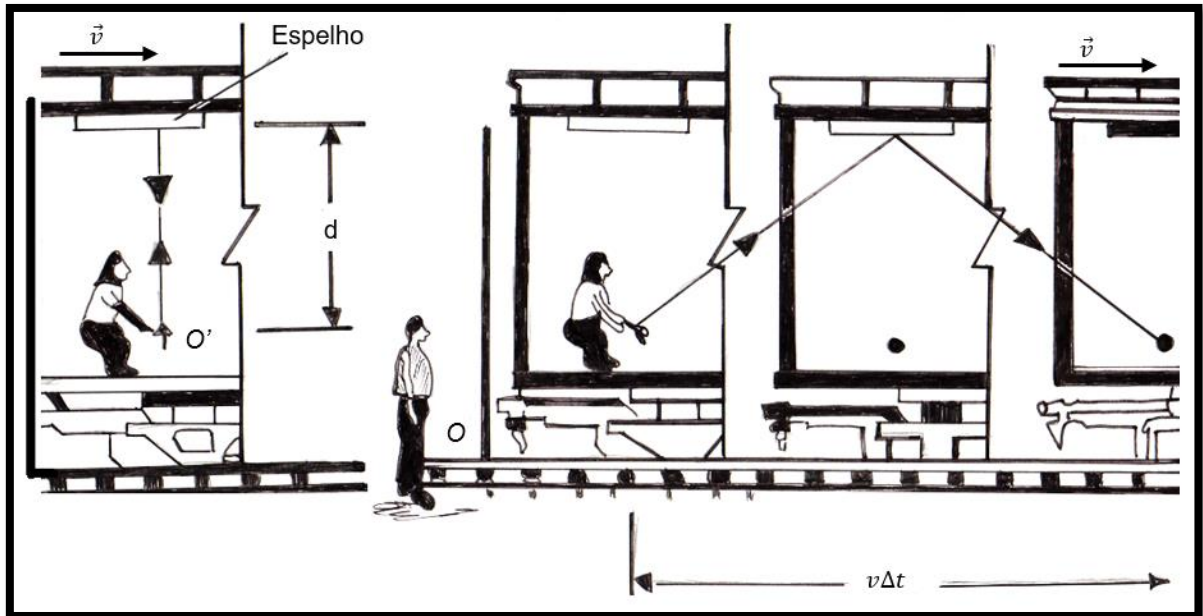
As noções de espaço e tempo, tão bem estabelecidas pela mecânica clássica, tiveram de ser reinterpretadas, devido ao fato de que a velocidade da luz passou a ser analisada como constante e não dependente do movimento da fonte. Mas aí vem a pergunta: como iremos questionar grandezas que foram empregadas até então na Física Clássica, que constituíram modelos de tanto sucesso?

Para que possamos entender como espaço e tempo devem ser interpretados, utilizaremos um evento imaginado ou, como costumava se referir Einstein, uma “experiência de pensamento”.

Vamos imaginar, um observador B, que está no interior de um trem que se desloca com velocidade constante \vec{v} , constrói o que chamaremos de “relógio da luz”, que funciona da seguinte maneira: um sinal de luz é emitido por uma fonte situada no piso do trem e enviado até o teto, onde um espelho o reflete de volta à fonte. A chegada do sinal de luz é registrada por um detector situado junto a fonte. Um novo sinal de luz é enviado e, dessa forma, a passagem do tempo é registrada por esse lampejo periódico. Para o observador que está no trem, a trajetória do sinal de luz é uma reta vertical que liga a fonte ao espelho. Já para o observador A, situado fora do

trem, percebe outra trajetória para o mesmo sinal de luz, em decorrência do movimento da fonte.

Figura 29: Raio de luz sendo observado por dois observadores em referenciais inerciais distintos.



Fonte: do autor.

Ilustração: Lucas Gemerasca.

Nota: Imagem sem escala.

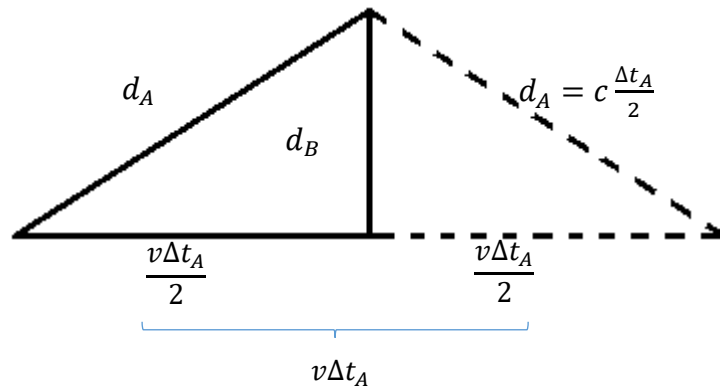
Para o observador B, o tempo necessário para a luz percorrer a trajetória é dado por:

$$\Delta t_B = \frac{2d_B}{c} \quad (3)$$

Na expressão 3, c é a velocidade da luz. Já para o observador A, a trajetória que o raio de luz percorre é notavelmente maior do que a trajetória vista pelo observador B.

Considerando o primeiro postulada da relatividade restrita que vimos, que diz que a velocidade da luz é uma constante que independe do movimento da fonte, qual será a consequência desse postulada para o intervalo de tempo percebido pelo observador A? A seguir, passaremos a comparar os dois trajetos da luz, para os observadores A e B, com a distância percorrida pelo trem em um intervalo de tempo Δt :

Figura 30: Detalhe da trajetória da luz para o observador A.



Fonte e ilustração: do autor.

Utilizando o Teorema de Pitágoras, podemos escrever a seguinte expressão:

$$d_A^2 = d_B^2 + \left(\frac{v\Delta t_A}{2}\right)^2 \quad (4)$$

As distâncias d_A e d_B são dadas respectivamente por:

$$d_A = c \frac{\Delta t_A}{2}; \quad (5)$$

$$\text{e } d_B = c \frac{\Delta t_B}{2} \quad (6)$$

Substituindo as expressões 5 e 6 para d^2 , temos:

$$c^2(\Delta t_A)^2 = c^2(\Delta t_B)^2 + v^2(\Delta t_A)^2 \quad (7)$$

Para comparar os intervalos de tempo observados por A (Δt_A) e por B (Δt_B), devemos isolar Δt_A na equação 7:

$$c^2(\Delta t_A)^2 - v^2(\Delta t_A)^2 = c^2(\Delta t_B)^2 \quad (8)$$

$$(c^2 - v^2)(\Delta t_A)^2 = c^2(\Delta t_B)^2 \quad (9)$$

$$(\Delta t_A)^2 = \frac{c^2}{(c^2 - v^2)} (\Delta t_B)^2 \quad (10)$$

$$(\Delta t_A)^2 = \frac{c^2}{c^2(1 - \frac{v^2}{c^2})} (\Delta t_B)^2 \quad (11)$$

A expressão 11 pode ser simplificada, cancelando-se o fator c^2 . Após isso, obteremos a relação entre Δt_A e Δt_B extraindo a raiz quadrada dos dois membros, o que nos leva a:

$$\Delta t_A = \frac{\Delta t_B}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (12)$$

Podemos observar na expressão 12, que quando $v \ll c$, temos que $\Delta t_A \approx \Delta t_B$, o que satisfaz a mecânica clássica. Nesta mesma expressão, podemos afirmar que quanto maior for v , ou seja, mais próxima ela for de c , maior será a velocidade relativa entre A e B, portanto, maior será o intervalo de tempo medido por A. Assim temos que $\Delta t_A > \Delta t_B$. Em outras palavras teremos que Δt_A , que é o intervalo de tempo do observador em repouso no solo, será maior que o intervalo de tempo Δt_B do observador B em movimento relativo. Por isso, dizemos que o tempo se dilata para alguém que não mede o tempo próprio.

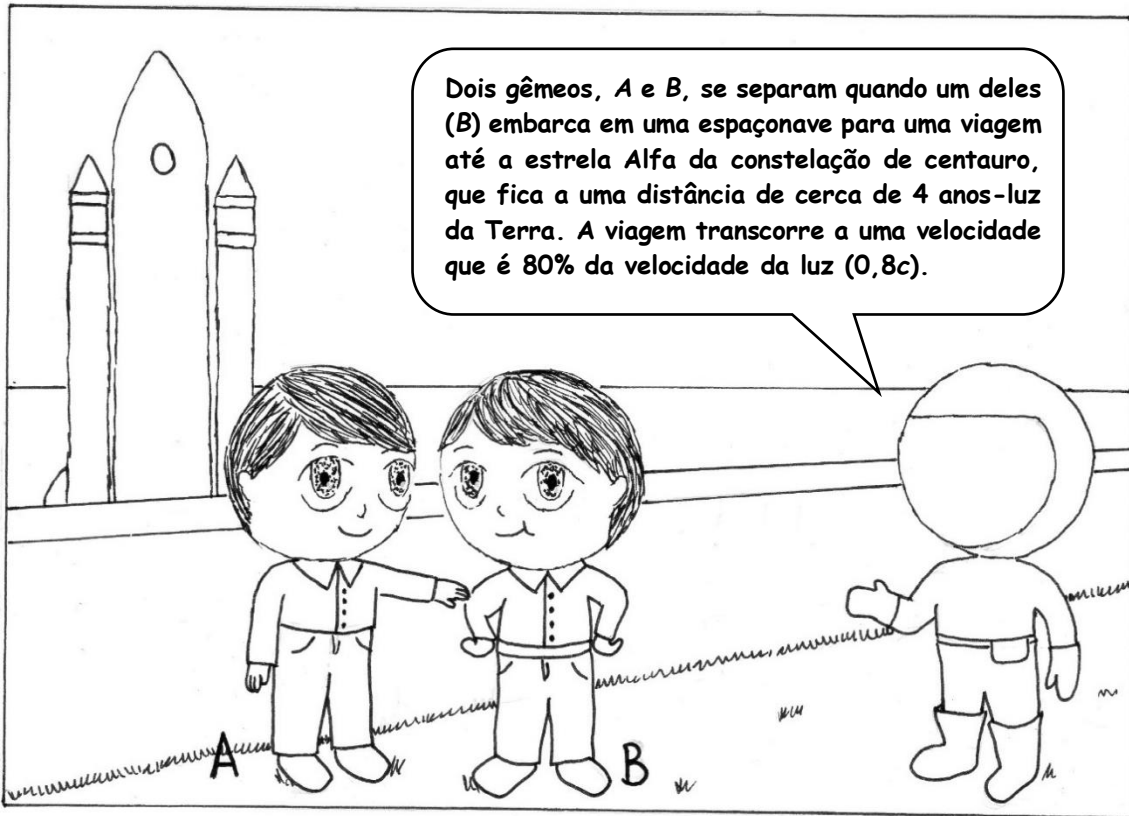
Refletindo sobre os conceitos estudados:

1. Se você está em um veículo, numa estrada reta, com pavimentação lisa e em bom estado. Se a velocidade do veículo é constante, o motor silencioso e as janelas estiverem fechadas para não sentir o vento, você seria capaz de estimar a velocidade se estivesse de olhos fechados? Justifique sua resposta.
2. Critique a seguinte afirmação: “A Teoria da Relatividade Restrita só pode ser aplicada a objetos com velocidades tão altas quando a da velocidade da luz, não valendo no nosso cotidiano, porque este obedece às Leis de Newton”.
3. Uma astronauta parte em uma viagem de um ano com uma velocidade de 70% da velocidade da luz. Após encerrar sua viagem, quanto tempo terá transcorrido para uma pessoa em repouso em relação a Terra?

O paradoxo dos gêmeos

Para exemplificar a dilatação temporal, estudada anteriormente, podemos citar o paradoxo dos gêmeos. Vamos imaginar a seguinte situação:

Figura 31: Situação envolvendo o paradoxo dos gêmeos.



Fonte: do autor.

Ilustração: Camila Ceroni.

Nota: Imagem sem escala.

O tempo que o irmão B gasta na viagem de ida e volta a estrela Alfa, com relação ao gêmeo A , que permaneceu na Terra, pode ser calculado, obtendo o quociente entre a distância em anos luz percorrida (8 anos-luz para ida e volta) e a velocidade da espaçonave ($0,8c$):

$$\Delta t_A = \frac{\Delta S_A}{v} \quad (13)$$

$$\Delta t_A = \frac{8}{0,8} = 10 \text{ anos}$$

Já para o irmão B , que viajou, o tempo transcorre mais lentamente, como vimos anteriormente, aplicando a expressão 12:

$$\Delta t_A = \frac{\Delta t_B}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (12)$$

Isolando Δt_B teremos que:

$$\Delta t_B = \Delta t_A \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (14)$$

$$\Delta t_B = 10 \cdot \sqrt{1 - \frac{(0,8c)^2}{c^2}} \quad \rightarrow \quad \Delta t_B = 10 \cdot \sqrt{1 - 0,64}$$

$$\Delta t_B = 10 \cdot \sqrt{0,36} \quad \rightarrow \quad \Delta t_B = 10 \cdot 0,6 \quad \rightarrow \quad \Delta t_B = 6 \text{ anos}$$

Figura 32: Continuação da situação exposta na Figura 31.



Fonte: do autor.

Ilustração: Camila Ceroni.

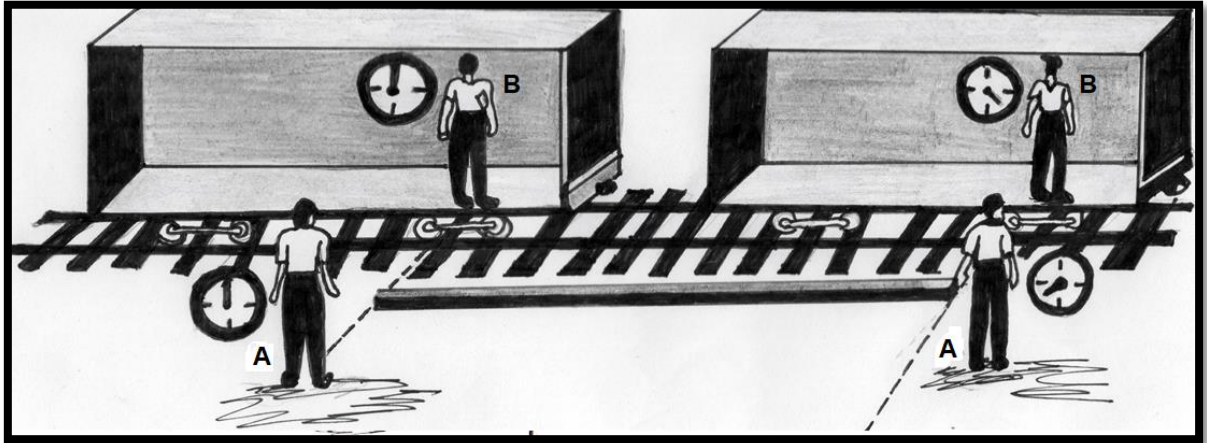
Nota: Imagem sem escala.

A contração do comprimento

Assim como o tempo, o espaço também era visto como uma grandeza absoluta pela mecânica clássica. Porém, com a nova forma de interpretar o tempo, observando a sua dilatação, houve uma mudança na maneira de medir o comprimento de um corpo. Para entender de que maneira isso acontece, vamos imaginar que iremos medir o comprimento de uma barra, que está fixada na lateral de uma ferrovia. As medidas serão feitas de acordo com a figura 33, tendo em vista que devemos comparar as medidas realizadas por observadores em movimento uniforme relativo

entre si. É disparado um cronômetro quando um observador B cruza o início da barra. A contagem de tempo é encerrada quando ele cruza o fim da barra.

Figura 33: Situação envolvendo a relatividade do comprimento.



Fonte: do autor.

Ilustração: Lucas Gemerasca.

Nota: Imagem sem escala.

Podemos obter o comprimento da barra multiplicando o tempo gasto para percorrê-la (Δt_B) pela velocidade do trem (v):

$$L_B = v \Delta t_B \quad (15)$$

Podemos perceber que para o observador B , a barra é que se move com velocidade \vec{v} . Já para o referencial fora do trem (A), podemos considerar dois observadores, um posicionado no início e outro no fim da barra. Eles possuem cronômetros sincronizados e cada um deles verifica a hora marcada quando o observador B passa por eles. Como visto anteriormente, os observadores que estão no referencial A não medem o mesmo intervalo de tempo (Δt) que aqueles que estão em B . Para os observadores em repouso em relação ao solo (A), o comprimento da barra é dado por:

$$L_A = v \Delta t_A \quad (16)$$

Então, qual é a relação entre os comprimentos da barra L_B (equação 15) e L_A (equação 16)?

Como vimos anteriormente na expressão 14, sabemos que a relação entre os intervalos de tempo nos diferentes referenciais é dada por:

$$\Delta t_B = \Delta t_A \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (14)$$

Substituindo a expressão 14 na expressão 15, e considerando o fato de que $L_A = v \Delta t_A$, podemos relacionar o comprimento da barra nos dois referenciais:

$$L_B = v \Delta t_A \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$L_B = L_A \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (17)$$

Como vimos, para o observador B é a barra que se move com velocidade $-v$. Quando a velocidade do trem for próxima à da luz, teremos que:

$$v \approx c \rightarrow \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \ll 1 \rightarrow L_B \ll L_A$$

Interpretando essas expressões podemos observar que, em velocidades próximas à da luz, o comprimento medido pelo observador B é muito menor que o medido por A , ou seja, existe uma contração da barra na direção do movimento.

A impossibilidade da simultaneidade

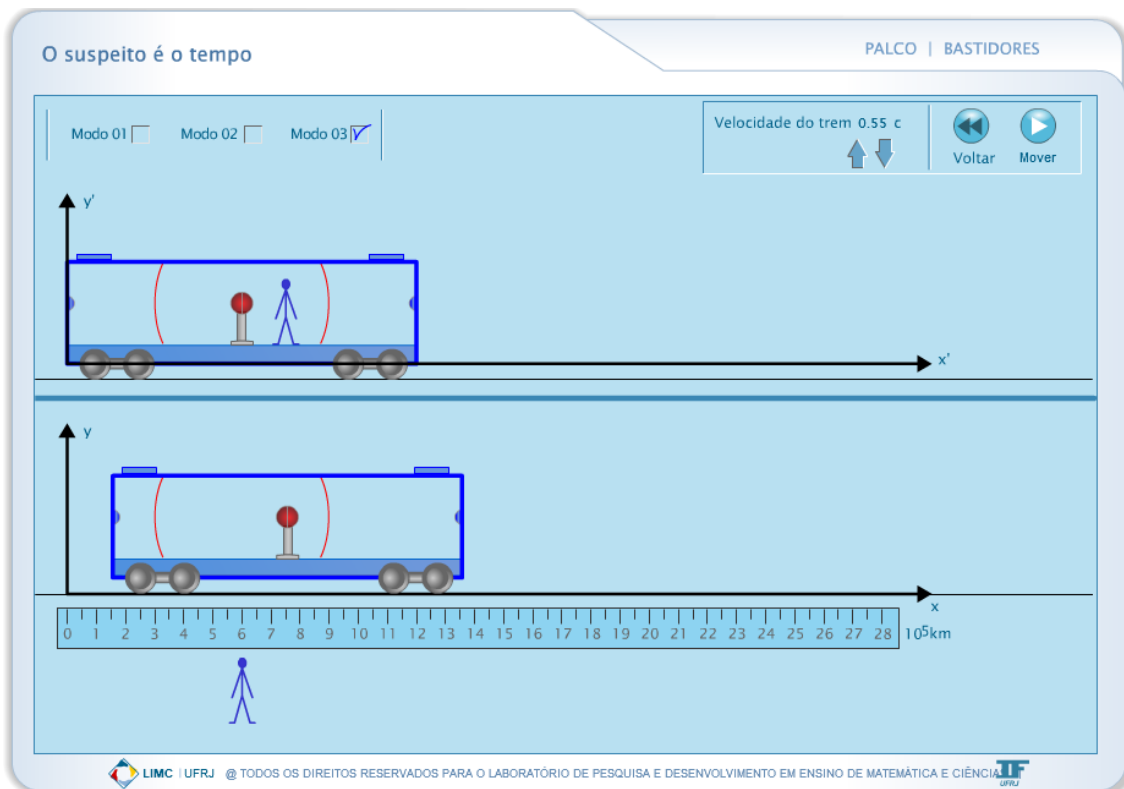
Em decorrência das novas interpretações sobre a mecânica, num olhar relativístico, e o fato de que a velocidade da luz é uma constante que independe do movimento da fonte, outra consequência da teoria restrita da relatividade diz respeito ao conceito de evento simultâneo, que é um acontecimento observado por uma ou mais pessoas e que dura certo intervalo de tempo igual para todas elas. Um evento desse tipo é infactível, tendo em vista que a velocidade da luz é finita.

Um exemplo que podemos citar para ilustrar essa impossibilidade da simultaneidade é quando assistimos a um jogo de futebol pela televisão e acontece um gol. Estamos ao assistir à televisão observando um evento: o gol. Para um observador situado no estádio, a bola começa a entrar no gol em um determinado instante. Já para alguém que assiste a partida pela televisão, via satélite, o evento não ocorre no mesmo instante, porque a velocidade da luz (assim como a das ondas eletromagnéticas que conduzem o sinal de televisão) é finita, o que acarreta em maior

tempo para a imagem chegar até o aparelho de televisão do que até o torcedor na arquibancada. Porém, como a velocidade da luz é altíssima, a diferença entre o instante em que acontece o gol para os dois observadores é muito pequena, de maneira que podemos dizer que os eventos são praticamente simultâneos.

Vamos agora analisar como é a simultaneidade de um evento que é observado por duas pessoas quando uma delas se desloca uniformemente em relação a outra. E para analisar o experimento mental proposto por Einstein, para discutir a relatividade da simultaneidade, utilizaremos um objeto virtual de aprendizagem, que simula um trem gigantesco que se move com velocidades próximas a velocidade da luz. Dentro do trem há uma lâmpada que emite um raio luminoso para frente e para trás. O simulador apresenta três modos de visualização. No modo 1, observamos o que acontece quando o observador está em repouso em relação ao solo. No modo 2, a visualização é do ponto de vista de um observador que está dentro do vagão. E no modo 3, são mostradas ambas as situações. No simulador podemos variar a velocidade do trem, que é da ordem de frações da velocidade da luz.

Figura 34: Tela do simulador “O suspeito é o tempo”.



Fonte: Laboratório de pesquisa e desenvolvimento em ensino de matemática e ciência da UFRJ⁷.

⁷ Simulador disponível em: <http://objetoseducacionais2.m>

Vamos pensar sobre o que simula este objeto virtual de aprendizagem: será que a luz atinge os dois lados do vagão ao mesmo tempo, para os dois observadores? E será que dois observadores vão concordar sempre em dizer que dois eventos acontecem ao mesmo tempo?

Com este simulador podemos perceber que quando a velocidade do trem for uma pequena fração da velocidade da luz, mais próximos serão os eventos vistos pelos dois observadores. Mas o que acontece de fato? A resposta é que depende do referencial e do observador que estamos considerando, o que é totalmente contraditório em relação ao senso comum. A experiência de pensamento que Einstein propôs, por sua vez, mostra a relatividade da simultaneidade e, por causa disso, a relatividade do próprio tempo.

**APÊNDICE E – QUESTIONÁRIO PARA IDENTIFICAÇÃO DAS APRENDIZAGENS
A PARTIR DA SISTEMATIZAÇÃO E APROFUNDAMENTO DOS ASSUNTOS DA
TRR**

**QUESTIONÁRIO PARA IDENTIFICAÇÃO DAS APRENDIZAGENS A PARTIR
DA SISTEMATIZAÇÃO E APROFUNDAMENTO DOS ASSUNTOS DA TEORIA
DA RELATIVIDADE RESTRITA**

Nome: _____ Data: _____

Responda as questões com atenção, explicitando de forma clara seu pensamento sobre os assuntos abordados nas aulas anteriores.

Questão 1:

As caricaturas abaixo representam na ordem o filósofo grego Aristóteles (384 – 322 a.C.), e os cientistas Galileu Galilei (1564-1642), Isaac Newton (1642-1727) e Albert Einstein (1879-1955). Os quatro deram contribuições para a evolução dos conceitos referentes a área da física que estuda o movimento dos corpos, a mecânica.

Figura 35: Caricaturas de Aristóteles, Galileu Galilei, Isaac Newton e Albert Einstein.



Fonte: do autor.

Ilustração: Maristela Gemerasca.

Nota: Imagem sem escala.

Considerando a evolução nos conceitos da mecânica, desde a clássica até a relativística, destacada ao longo das últimas aulas, promovidas especialmente por esses quatro pensadores, marque C para as afirmações corretas e I para as incorretas:

- a) () Como vimos em aula, a ciência é construída através da história da humanidade por grandes gênios, que com ou sem a ajuda de outros cientistas contribuem na evolução da ciência.
- b) () Para Aristóteles, a explicação para o movimento natural dos corpos provém do fato de que eles buscam o seu lugar natural. Um exemplo seria a queda de uma pedra, devido ao fato de que ela busca o seu lugar natural, sendo que o elemento terra fica abaixo do elemento ar.
- c) () O físico italiano Galileu provou que corpos mais pesados caem mais rapidamente do que corpos leves, e que isso não depende da influência do ar.
- d) () A partir de uma genial ideia, a partir da queda de uma maçã, Isaac Newton descobriu a lei da gravitação universal.
- e) () No aprofundamento da mecânica, da clássica a relativística, Albert Einstein contribuiu como o principal desenvolvedor das Teorias da Relatividade Restrita e Geral.
- f) () Os conceitos da mecânica e sua evolução através dos séculos, com a importante contribuição destes quatro pensadores, nos mostra que os conhecimentos da física são construídos coletivamente ao longo da história.

Questão 2:

O que significa dizer que os estados de repouso ou movimento são relativos?

Questão 3:

- a) Mário está em uma espaçonave, em movimento uniforme relativo a Carlos, que está na Terra. A espaçonave viaja há uma velocidade próxima à da luz. Mário,

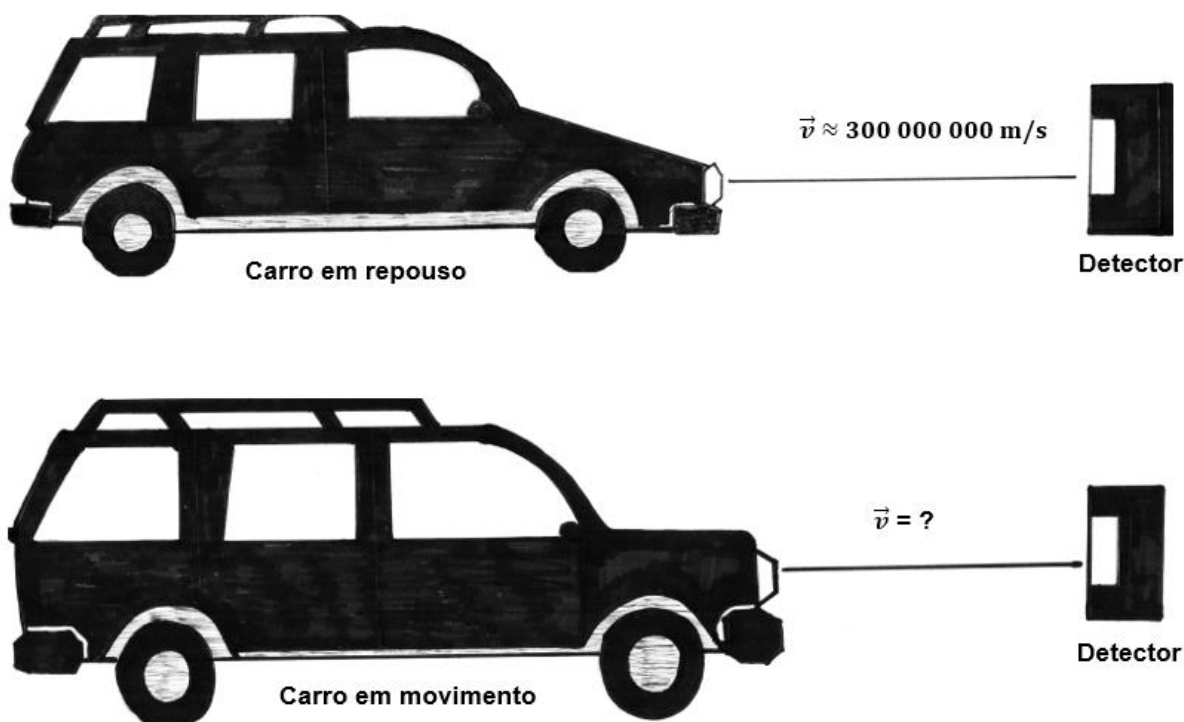
em determinado instante da viagem, realiza um experimento e mede a sua duração. Como cada um dos dois percebem a duração da experiência, Mário, que está na espaçonave realizando o experimento, e Carlos que está na superfície da Terra?

- b) No experimento realizado por Mário, ele também mediu um determinado comprimento. O que acontece com esse comprimento quando observado por Carlos?

Questão 4:

Os faróis de um carro em repouso são acesos, emitindo luz que incide sobre um detector capaz de medir a velocidade do movimento da luz. Para o carro em repouso o detector mede uma velocidade $v = 300\,000\,000\text{ m/s}$ para a luz dos faróis. Um segundo carro em movimento retilíneo uniforme, se desloca com os faróis acesos em direção ao detector. Qual a velocidade da luz medida pelo detector no segundo carro? Explique.

Figura 36: Situação para análise da velocidade da luz.



Fonte: do autor.
 Ilustração: Lucas Gerasca.
 Nota: Imagem sem escala.

Questão 5:

Joana está em uma nave que se desloca com velocidade igual a 75% da velocidade da luz no vácuo. Em determinado instante sua nave passa beirando uma plataforma espacial onde se encontra Jonas, parado. Para Jonas, o comprimento da plataforma é de 200m. Qual deve ser o comprimento da plataforma para Joana?

Questão 6:

Vamos supor que tenhamos tecnologia capaz de possibilitar viagens interplanetárias com naves que atinjam 80% da velocidade da luz no vácuo. Considere dois irmãos gêmeos univitelinos, Paulo e André. Um dos irmãos, Paulo, faz uma viagem de “bate e volta” para conhecer um planeta X que fica a uma distância de 10 anos-luz da Terra. Com base nestas informações, responda:

- a) Para André, que ficou na Terra, quanto tempo durou essa viagem de “bate e volta” de Paulo?

- b) Quanto tempo durou a viagem para Paulo?

Questão 7:

Uma das consequências da teoria da relatividade restrita é a impossibilidade da simultaneidade. Mas nesse exato momento, que você lê esta questão, certamente outras pessoas estão fazendo outras coisas. Você e elas estão fazendo uma porção de coisas simultaneamente? Justifique sua resposta.

APÊNDICE F – MATERIAL ORIENTADOR PARA A CONSTRUÇÃO DE HISTÓRIAS EM QUADRINHOS

MATERIAL ORIENTADOR PARA A CONSTRUÇÃO DE HISTÓRIAS EM QUADRINHOS

Conhecendo as HQs

O que são histórias em quadrinhos?

Há pouco mais de um século surgiu a história em quadrinhos ou HQ, como também são conhecidas, e tal como o cinema, ela é considerada uma maneira de expressão tecnológica típica da indústria cultural (CALAZANS, 2008).

Quais são suas principais características?

A história em quadrinhos apresenta os elementos básicos de uma narrativa: enredo, personagens, tempo, espaço e um desfecho.

Gêneros das histórias em quadrinhos

A linguística classifica os quadrinhos nos seguintes gêneros (RAMOS, 2016):

- Charge: é um texto de humor que aborda algum fato ou tema ligado ao noticiário.
- Cartum: a diferença para a charge é que o cartum não é relacionado a algum fato real ou do noticiário.
- Tira cômica: trata-se de um texto curto, tendo em vista o formato retangular em que é construído, com um ou mais quadrinhos, com presença de personagens fixos ou não, que constrói uma narrativa, com desfecho final surpreendente.

Também é chamada de tira, tira em quadrinhos, tira de quadrinhos, tirinha e tira jornalística.

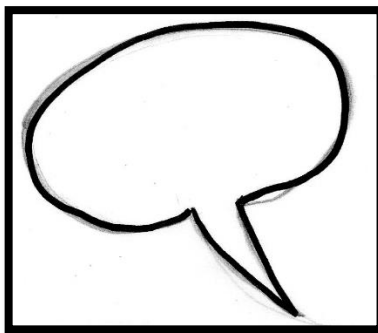
- Tiras seriadas: são histórias em quadrinhos narradas em partes.

Representando a fala e o pensamento nas HQs

Um elemento muito importante da HQ são os balões de diálogos dos personagens. Alguns dos principais tipos de balões são:

- Balões de fala: é o mais utilizado, possuindo contorno com traçado contínuo, reto ou curvilíneo.

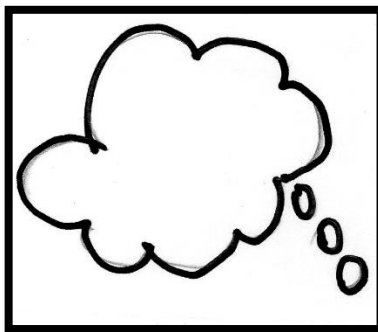
Figura 37: Balões de fala.



Fonte: do autor.
Ilustração: Maristela Gemerasca.

- Balão de pensamento: possui o contorno ondulado e apêndice formado por bolinhas.

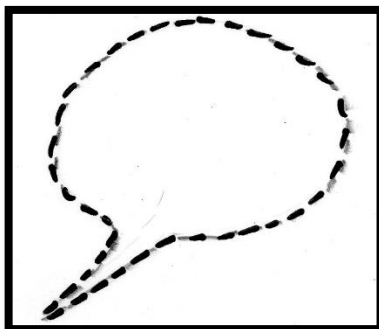
Figura 38: Balões de pensamento.



Fonte: do autor.
Ilustração: Maristela Gemerasca.

- Balão cochicho: possui linha pontilhada e indica que o tom de voz é baixo.

Figura 39: Balões cochicho.

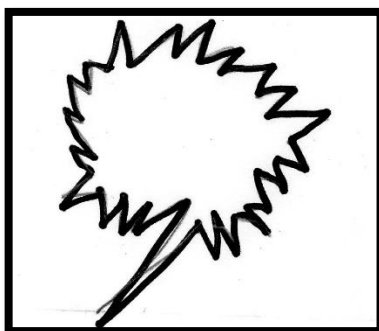


Fonte: do autor.

Ilustração: Maristela Gerasca.

- Balão berro: possui as extremidades para fora, como uma explosão, sugerindo uma voz alta.

Figura 40: Balões berro.

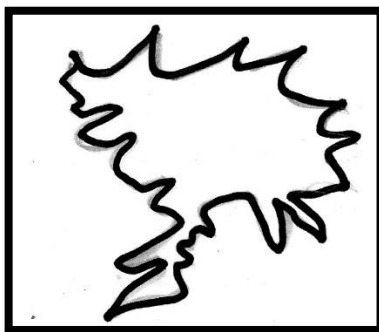


Fonte: do autor.

Ilustração: Maristela Gerasca.

- Balão trêmulo: possui linhas tortas, sugerindo medo ou voz tenebrosa;

Figura 41: Balões trêmulo.

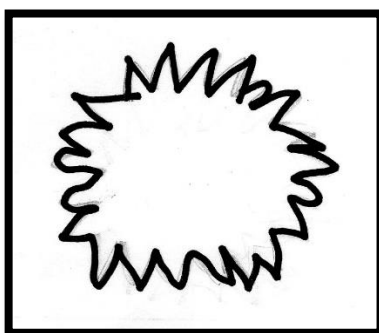


Fonte: do autor.

Ilustração: Maristela Gemerasca.

- Balão de linhas quebradas: quando a fala vem de um aparelho eletrônico;

Figura 42: Balões de linhas quebradas.

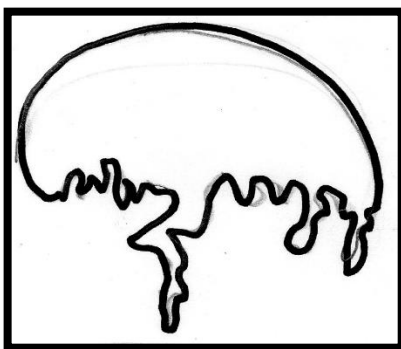


Fonte: do autor.

Ilustração: Maristela Gemerasca.

- Balão glacial: indica choro;

Figura 43: Balões glacial.

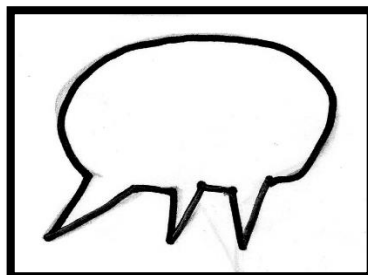


Fonte: do autor.

Ilustração: Maristela Gemerasca.

- Balão uníssono: reúne a fala de diversos personagens;

Figura 44: Balões uníssono.



Fonte: do autor.

Ilustração: Maristela Gemerasca.

- Balões intercalados: quando ocorrer a fala de um outro personagem, durante a leitura dos balões de um personagem;

Figura 45: Balões intercalados.

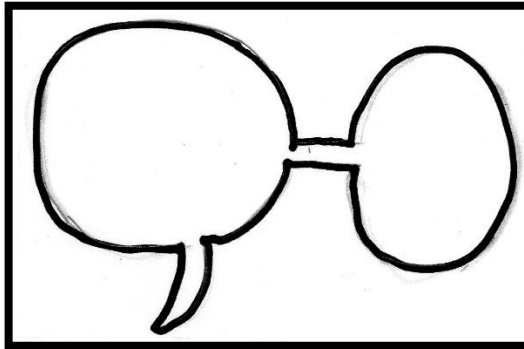


Fonte: do autor.

Ilustração: Maristela Gemerasca.

- Balões duplos: utilizado para indicar dois momentos de fala;

Figura 46: Balões duplos.



Fonte: do autor.

Ilustração: Maristela Gemerasca.

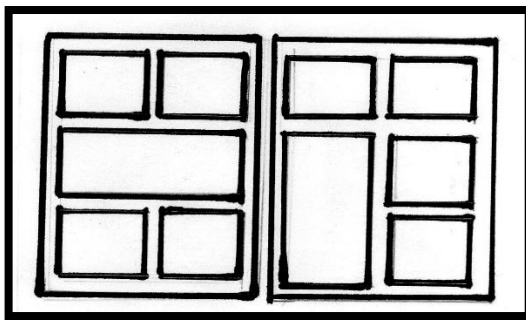
Roteiro da história:

Para simplificar a construção da HQ, se recomenda fazer primeiramente um roteiro, colocando no papel como será a história, do início ao fim (VERGUEIRO e RAMOS, 2009). Um exemplo, seria construindo uma narrativa, o que seria incluído no primeiro quadrinho, no segundo, no terceiro, e assim por diante até o último. Esse “esboço” da HQ, pode conter os desenhos, incluindo cenário, personagens e suas falas.

Diagramação:

Tomando por base a elaboração do roteiro da história e a quantidade de quadrinhos e páginas que serão necessárias para contar toda a história, é necessário pensar na diagramação. Quando se pensa na organização, disposição e no formato dos quadrinhos, com as quantidades de páginas, estamos diagramando a HQ. “Diagramar” é decidir o formato e as dimensões dos quadrinhos, lembrando que um pode ser o dobro dos outros e ocupar uma tira inteira, por exemplo, ou até mesmo ser disposto em diagonal, com linhas curvas, de acordo com a necessidade em expor as ilustrações e contextos da história (RAMOS, 2016).

Figura 47: Exemplo de diagramação.



Fonte: do autor.

Ilustração: Maristela Gemerasca.

Sobre os desenhos:

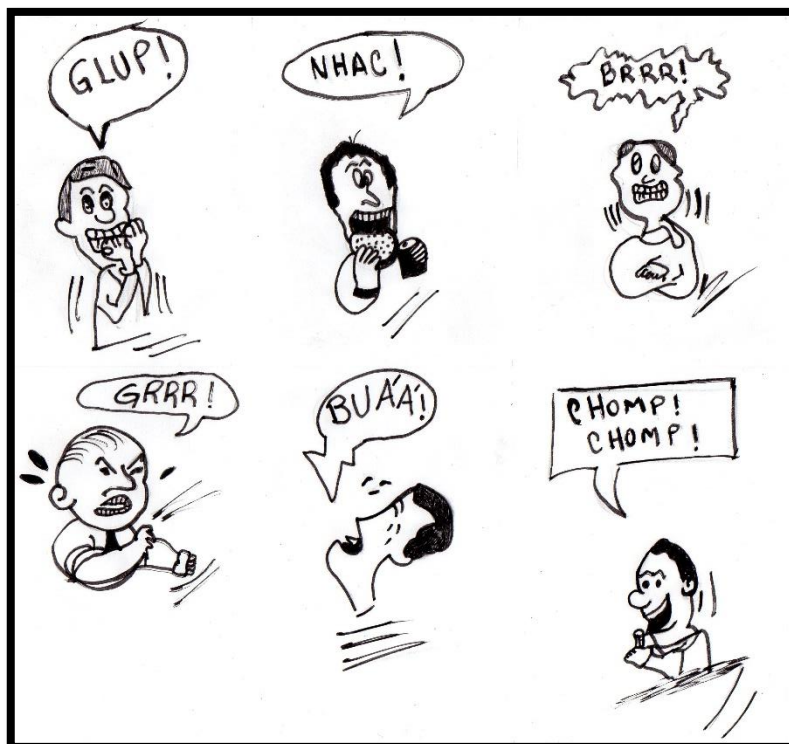
Quanto ao desenho, se você se considera incapaz de desenhar, se você pensa que é difícil desenhar ou inventar personagens, não fique aflito. Usando um pouquinho de imaginação você pode ter ideias incríveis que vão tornar suas HQ muito interessante, afinal, qualquer objeto pode ganhar vida e se tornar um personagem de quadrinhos. Basta lembrar que, colocando olhos, pernas e braços você já tem um personagem que pode tornar a sua história muito curiosa, instigante e divertida.

Uma dica sobre o desenho: não complique! Se você pensou em uma cena muito difícil de desenhar, um cenário complicado, pense em algo mais simples e que dê o mesmo resultado para a construção da história e entendimento do leitor. Evite textos muito longos e cansativos. Corte aquilo que não faz falta, que não é essencial para a história. E não esqueça: faça tudo primeiro a lápis, e depois passe a caneta ou pincel. Dessa forma se pode arrumar se algo não sair bem como você imaginou.

Onomatopeias

Onomatopeias são palavras que imitam os sons que objetos ou pessoas emitem. Veja alguns exemplos:

Figura 48: Exemplo de onomatopeias.



Fonte: do autor.

Ilustração: Maristela Gemerasca.

Outras dicas importantes

Uma dica importante é iniciar os quadrinhos pelos textos dos balões. Assim você não corre o risco de faltar espaço para as falas, devido ao espaço ocupado pelos personagens e cenário. Comece pelo texto e depois faça o balão a volta do texto. Fica mais fácil.

Para a escrita das falas, se sugere letras maiúsculas. Capriche bem na letra para ficarem mais ou menos do mesmo tamanho. É possível ainda, destacar palavras mais importantes ou gritos, com cores diferentes.

Pense em um bom título para a história, destacando logo acima do primeiro quadro. Pense também em um final com um desfecho surpreendente, comovente ou engraçado. Assim, você deixará o leitor admirado. E é claro, não esqueça, no cantinho inferior direito do último quadrinho, o tradicional **FIM!**

APÊNDICE G – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Campus Litoral Norte – Departamento Interdisciplinar

2018/1

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Título do trabalho: A Teoria da Relatividade Restrita em uma sequência de ensino potencialmente significativa com o uso de histórias em quadrinhos.

Nome da orientadora: Neila Seliane Pereira Witt

Nome do estudante: Andrios Bemfica dos Santos

Estamos realizando um trabalho que tem como objetivo investigar metodologias facilitadoras de aprendizagens de conteúdos de física para o ensino médio. Propomos a aplicação de uma sequência didática com atividade de criação de histórias em quadrinhos para abordagem da Teoria da Relatividade Restrita. Estas atividades serão desenvolvidas com estudantes do primeiro ano do ensino médio desta escola. Para tanto, o estudante pelo qual o Sr(Sra.) é responsável está sendo convidado(a) a participar da mesma.

A partir deste termo, fica esclarecido que sua contribuição é voluntária e pode ser interrompida a qualquer tempo, sem nenhum prejuízo. A qualquer momento, tanto o participante quanto os responsáveis pela instituição poderão solicitar informações sobre os procedimentos ou outros assuntos relacionados a este estudo.

Todos os cuidados serão tomados para garantir o sigilo e a confidencialidade das informações, preservando a identidade do participante bem como das instituições envolvidas.

Agradecemos a colaboração para a realização desta atividade e colocamo-nos à disposição para esclarecimentos adicionais.

Tendo em vista os itens acima apresentados, eu, de forma livre e esclarecida,

manifesto meu consentimento em participar deste trabalho.

Nome do estudante participante: _____

Nome do responsável: _____

Assinatura do responsável: _____

APÊNDICE H – QUESTIONÁRIO PARA CONSIDERAÇÕES DOS ESTUDANTES SOBRE A PROPOSTA

QUESTIONÁRIO PARA CONSIDERAÇÕES DOS ESTUDANTES

SOBRE A PROPOSTA:

“TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA E O USO DE HISTÓRIAS EM QUADRINHOS NO ENSINO MÉDIO”

1. A utilização de recursos como textos de apoio, apresentação em slides, questões problematizadoras e simuladores, facilitou a compreensão dos conceitos estudados.

 Concordo totalmente
 Concordo parcialmente
 Indiferente
 Discordo parcialmente
 Discordo totalmente

2. As histórias em quadrinhos tornaram as aulas de física mais interessantes.

 Concordo totalmente
 Concordo parcialmente
 Indiferente
 Discordo parcialmente
 Discordo totalmente

3. A construção das histórias em quadrinhos, pelo fato de retratarem conceitos ligados a Teoria da Relatividade Restrita, melhorou minha compreensão desses conceitos.

- () Concordo totalmente
- () Concordo parcialmente
- () Indiferente
- () Discordo parcialmente
- () Discordo totalmente

4. A construção das histórias em quadrinhos foi mais interessante do que os outros recursos utilizados.

- () Concordo totalmente
- () Concordo parcialmente
- () Indiferente
- () Discordo parcialmente
- () Discordo totalmente

5. Gostaria que outros assuntos de física fossem abordados com a utilização de histórias em quadrinhos.

- () Concordo totalmente
- () Concordo parcialmente
- () Indiferente
- () Discordo parcialmente
- () Discordo totalmente

6. Escreva os pontos positivos e negativos das aulas:

OBRIGADO PELA SUA PARTICIPAÇÃO!

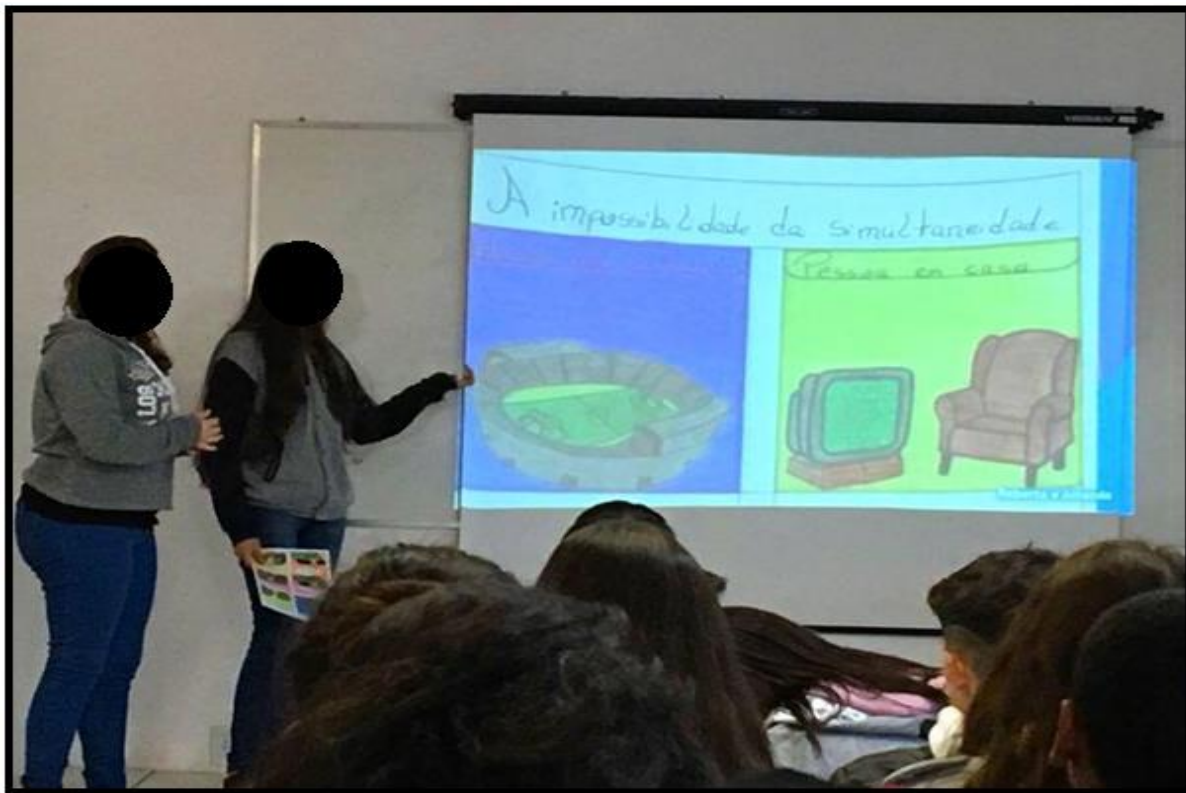
**ANEXO A – REGISTROS FOTOGRÁFICOS DO SEMINÁRIO DE
APRESENTAÇÃO DAS HISTÓRIAS EM QUADRINHOS**

Figura 49: Professor dando abertura ao seminário de apresentação das histórias em quadrinhos.



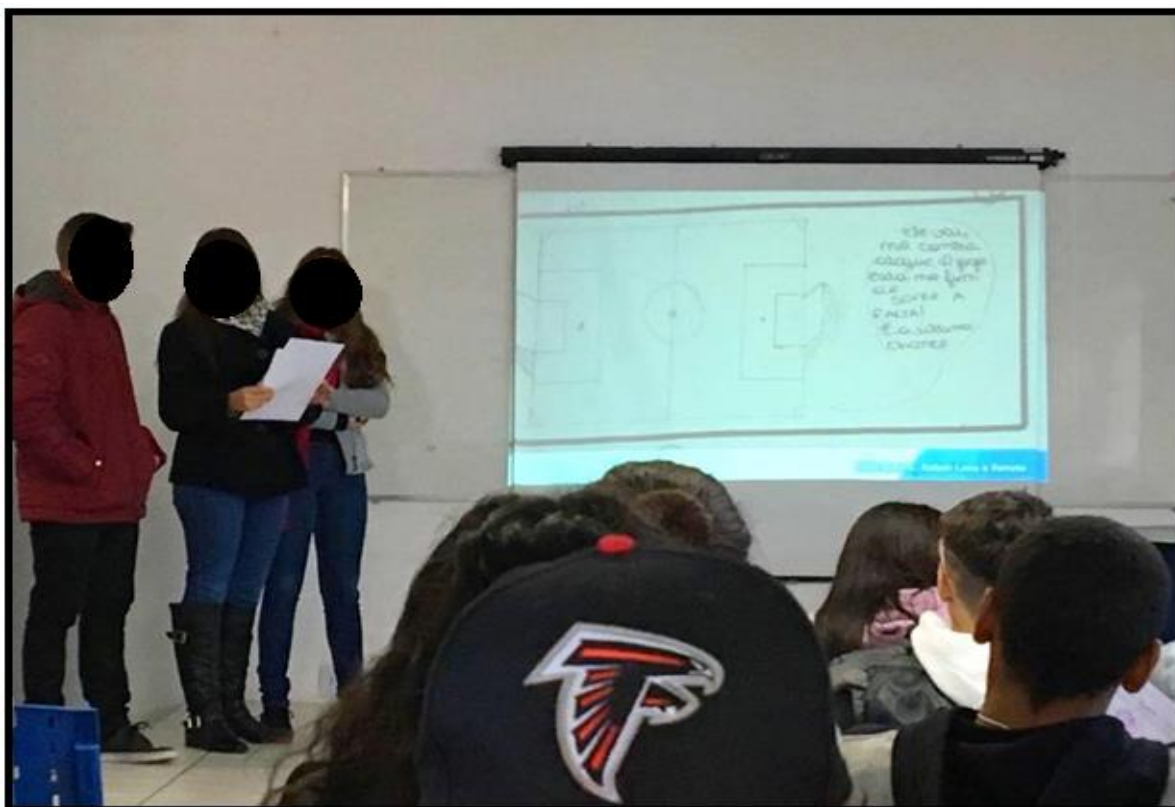
Fonte: do autor.

Figura 50: Estudantes apresentando suas histórias em quadrinhos.



Fonte: do autor.

Figura 51: Estudantes apresentando suas histórias em quadrinhos.



Fonte: do autor.

Figura 52: Estudante apresentando sua história em quadrinhos.



Fonte: do autor.

Figura 53: Estudantes respondendo ao questionário sobre a proposta.



Fonte: do autor.

Figura 54: Estudantes respondendo ao questionário sobre a proposta.

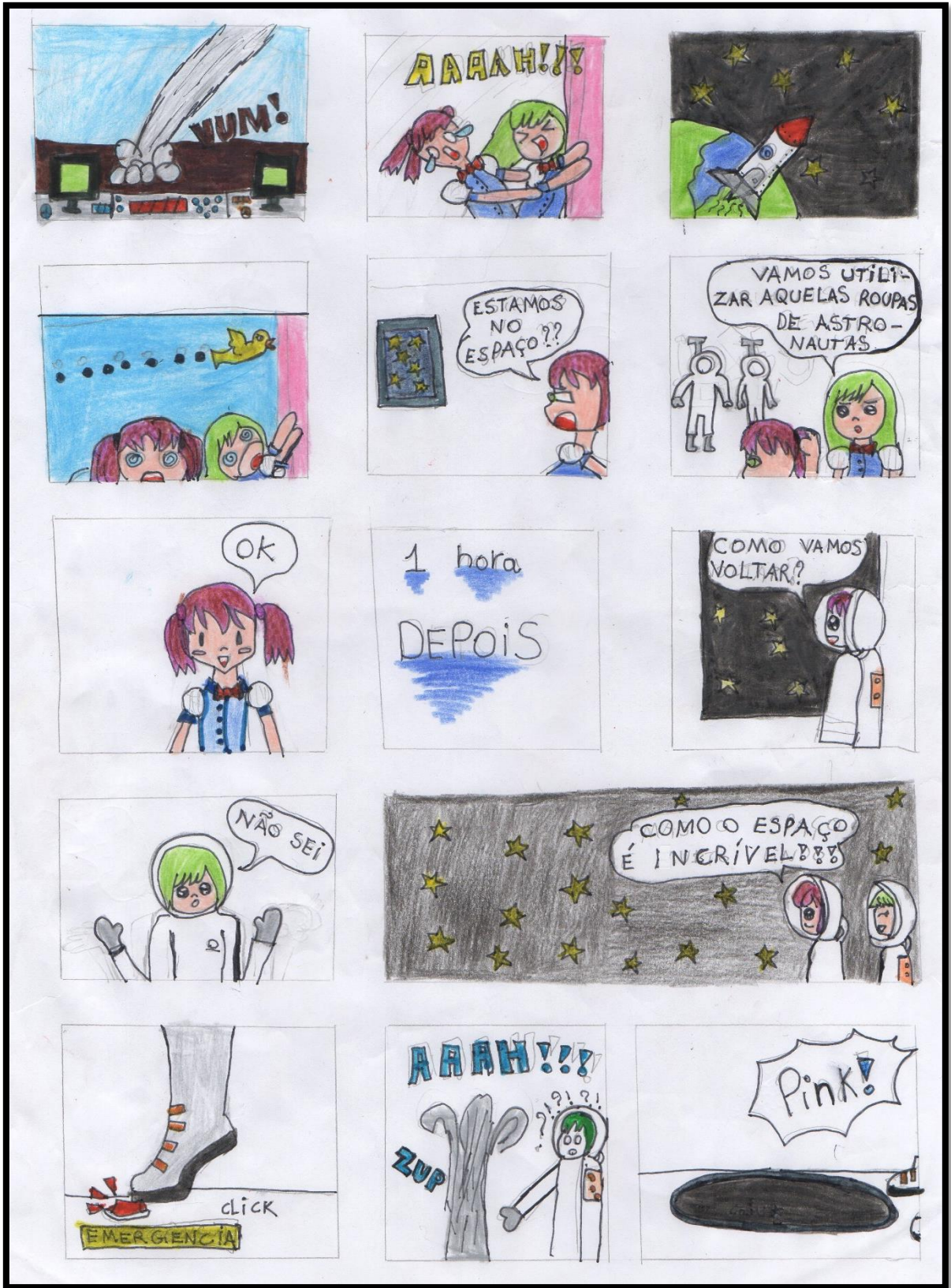


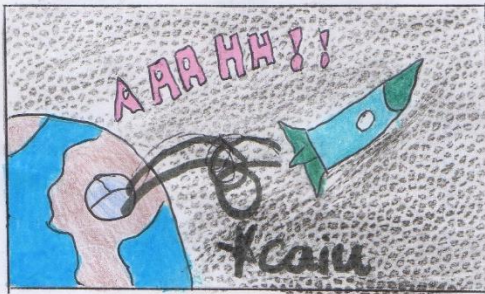
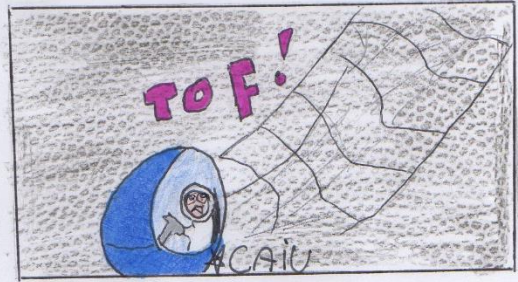
Fonte: do autor

ANEXO B – HISTÓRIAS EM QUADRINHOS CONSTRUÍDAS PELOS ESTUDANTES

Figuras 55 a 60: História em quadrinhos criada pelos estudantes VX, EA e EF.



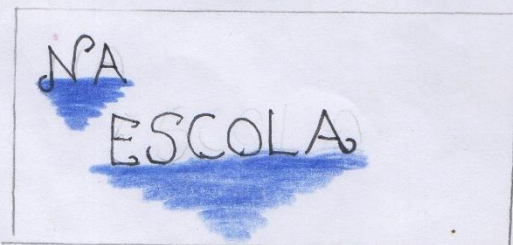
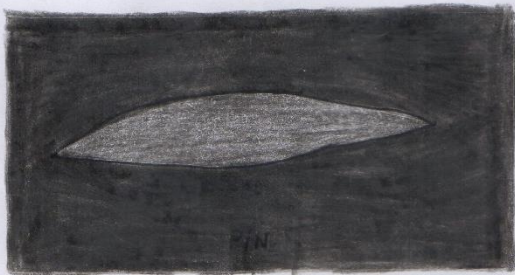
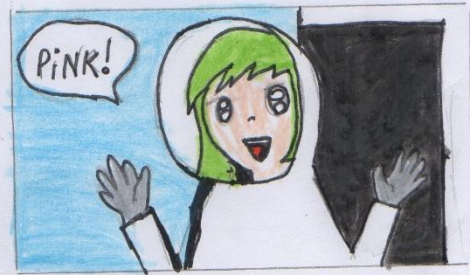
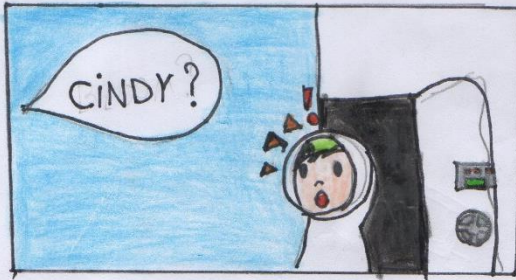






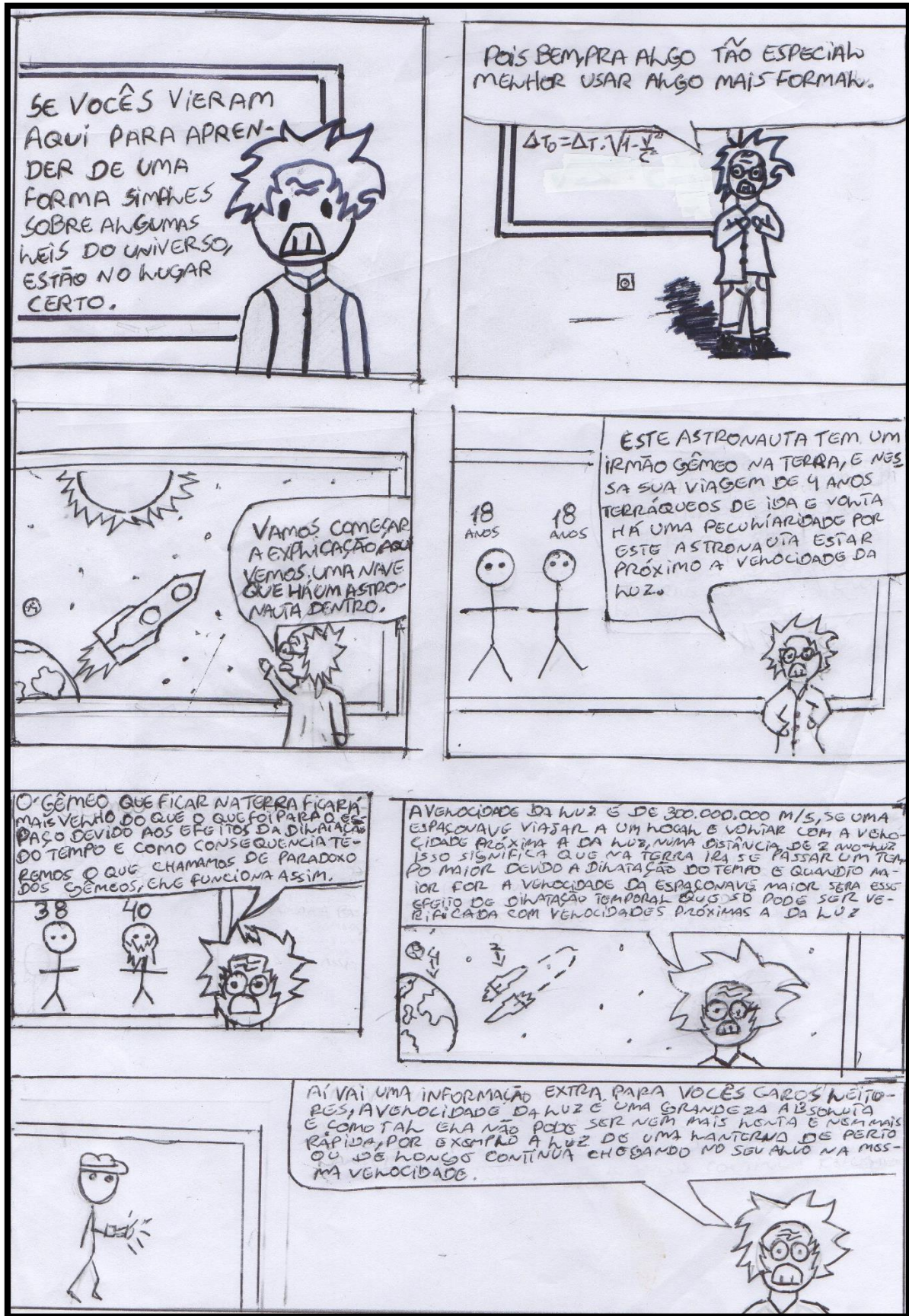
UNS ANOS
DEPOIS

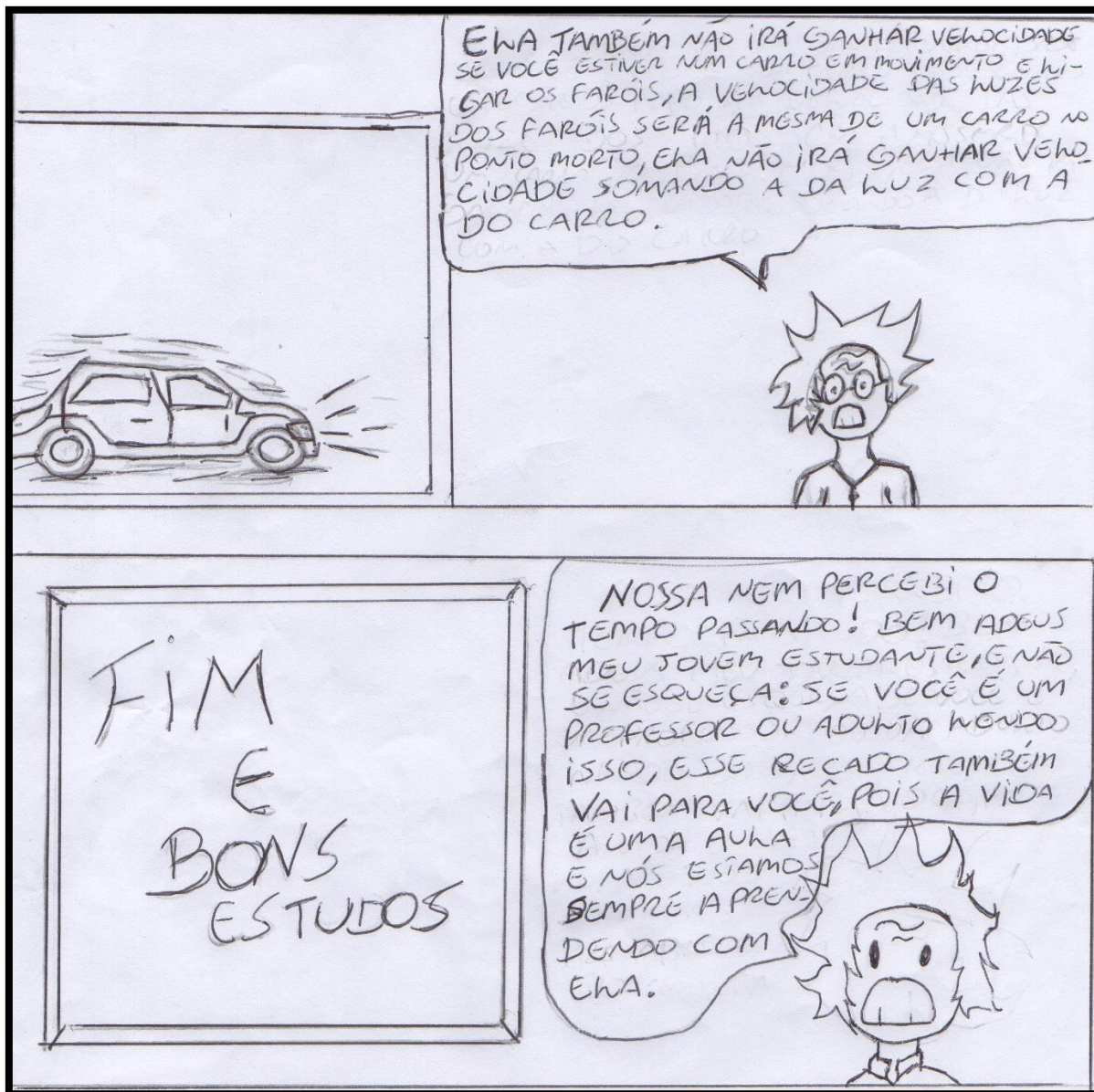






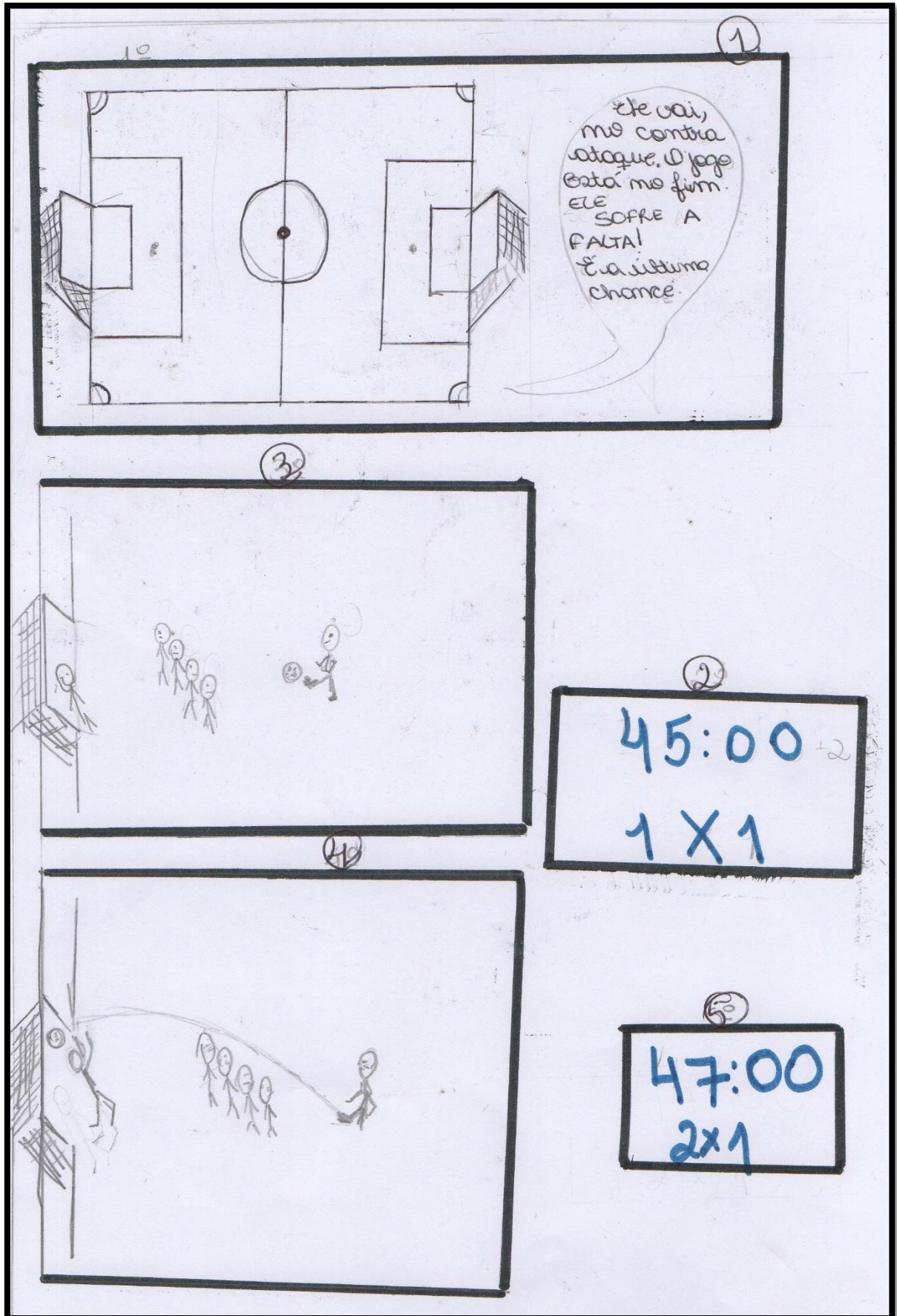
Figuras 62 e 63: História em quadrinhos criada pelos estudantes KM, MS e BG.





Fonte: Dados da pesquisa.

Figuras 64 e 65: História em quadrinhos criada pelos estudantes JS, RL e RP.



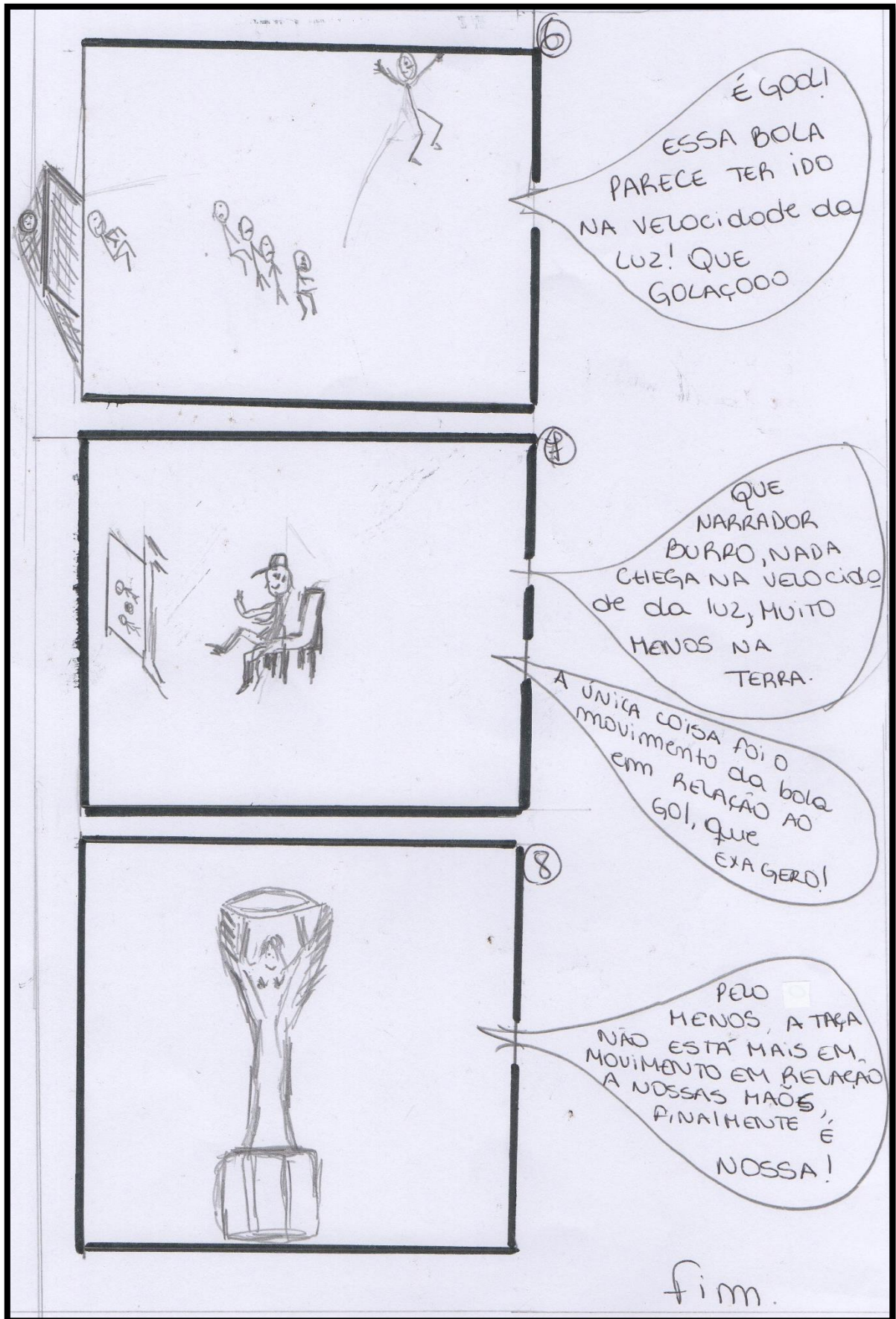


Figura 66: História em quadrinhos criada pelos estudantes MM, MB e NM.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figuras 67, 68 e 69: História em quadrinhos criada pelas estudantes EA, DR e GS.

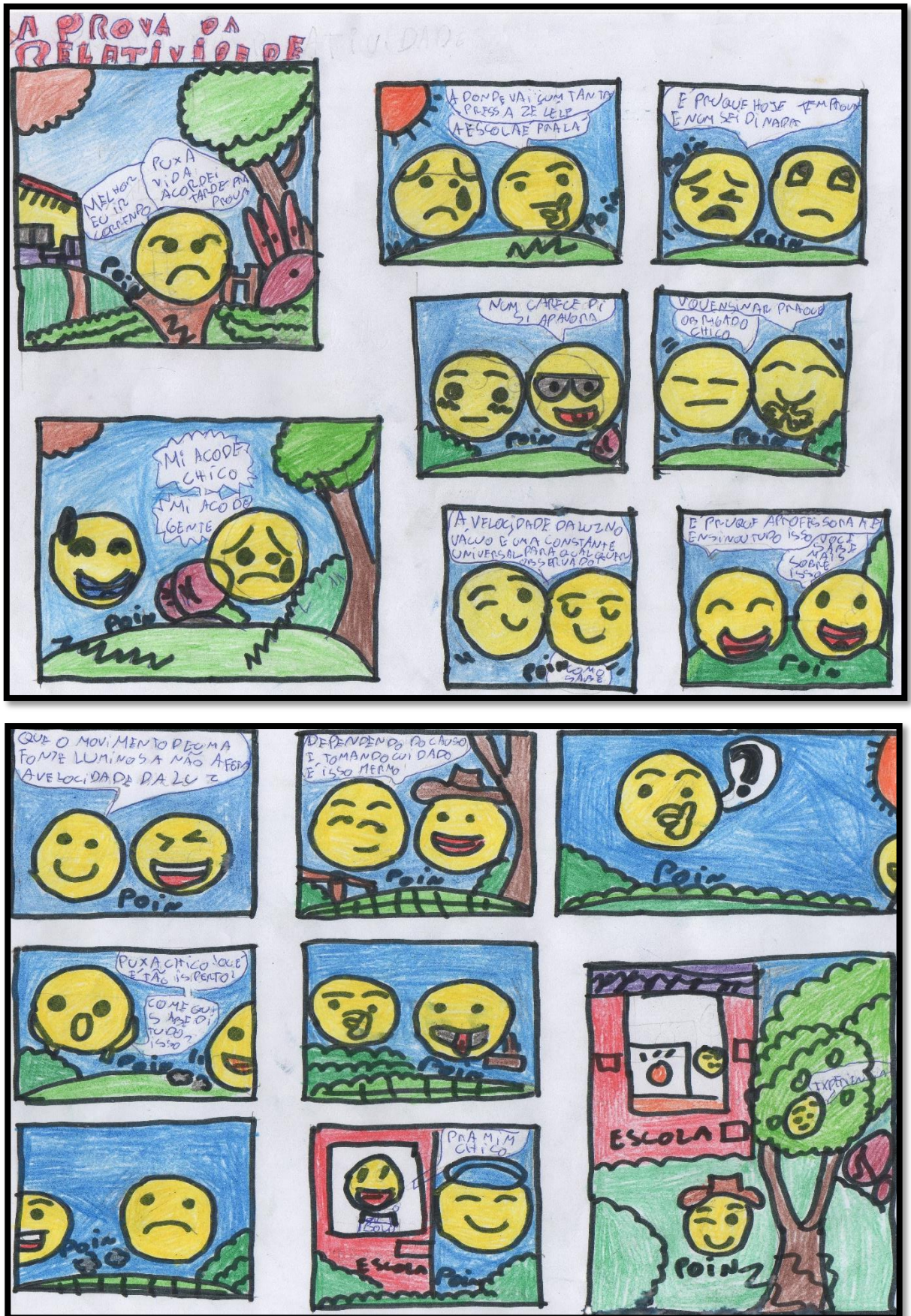






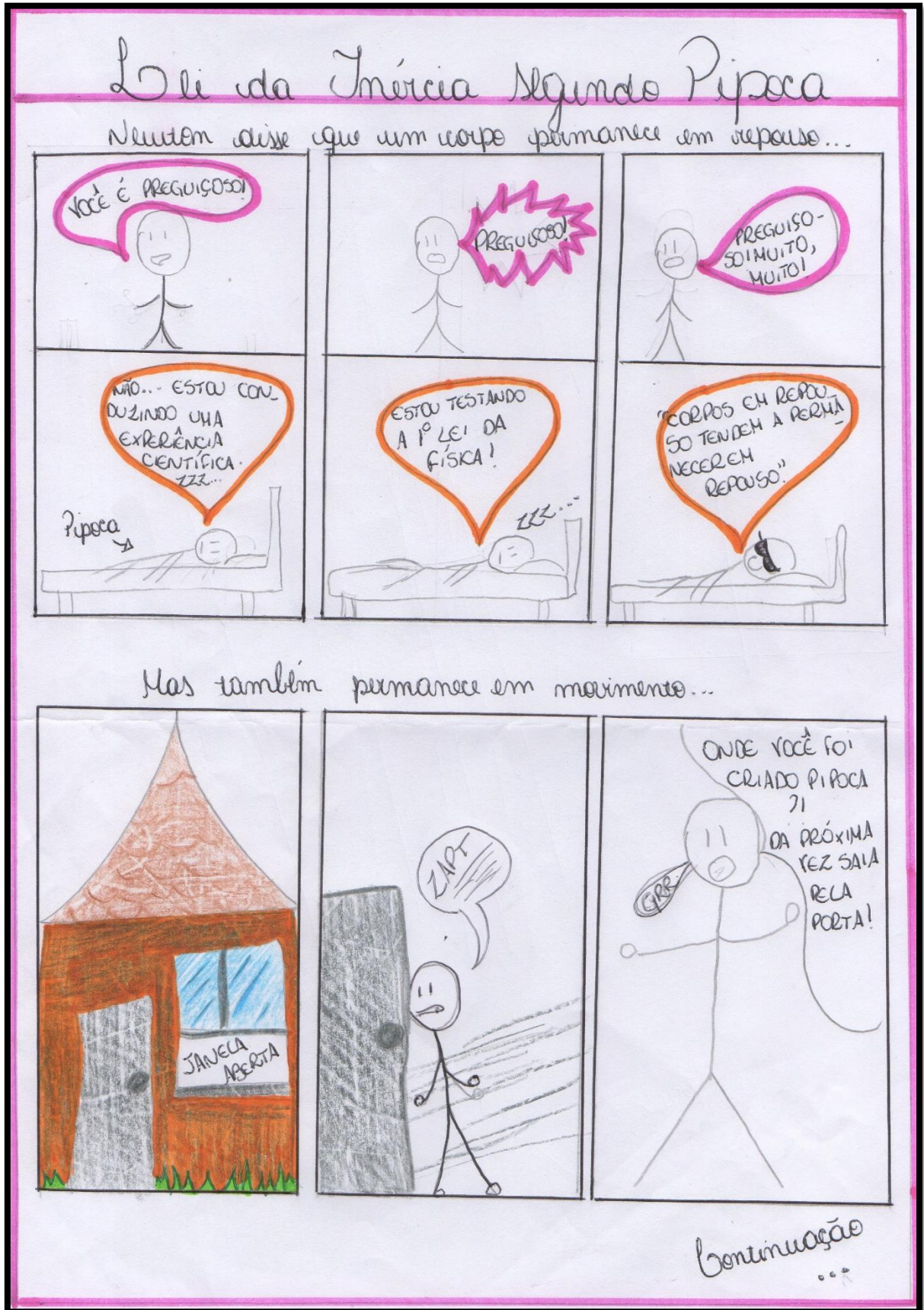
Fonte: Dados da pesquisa.

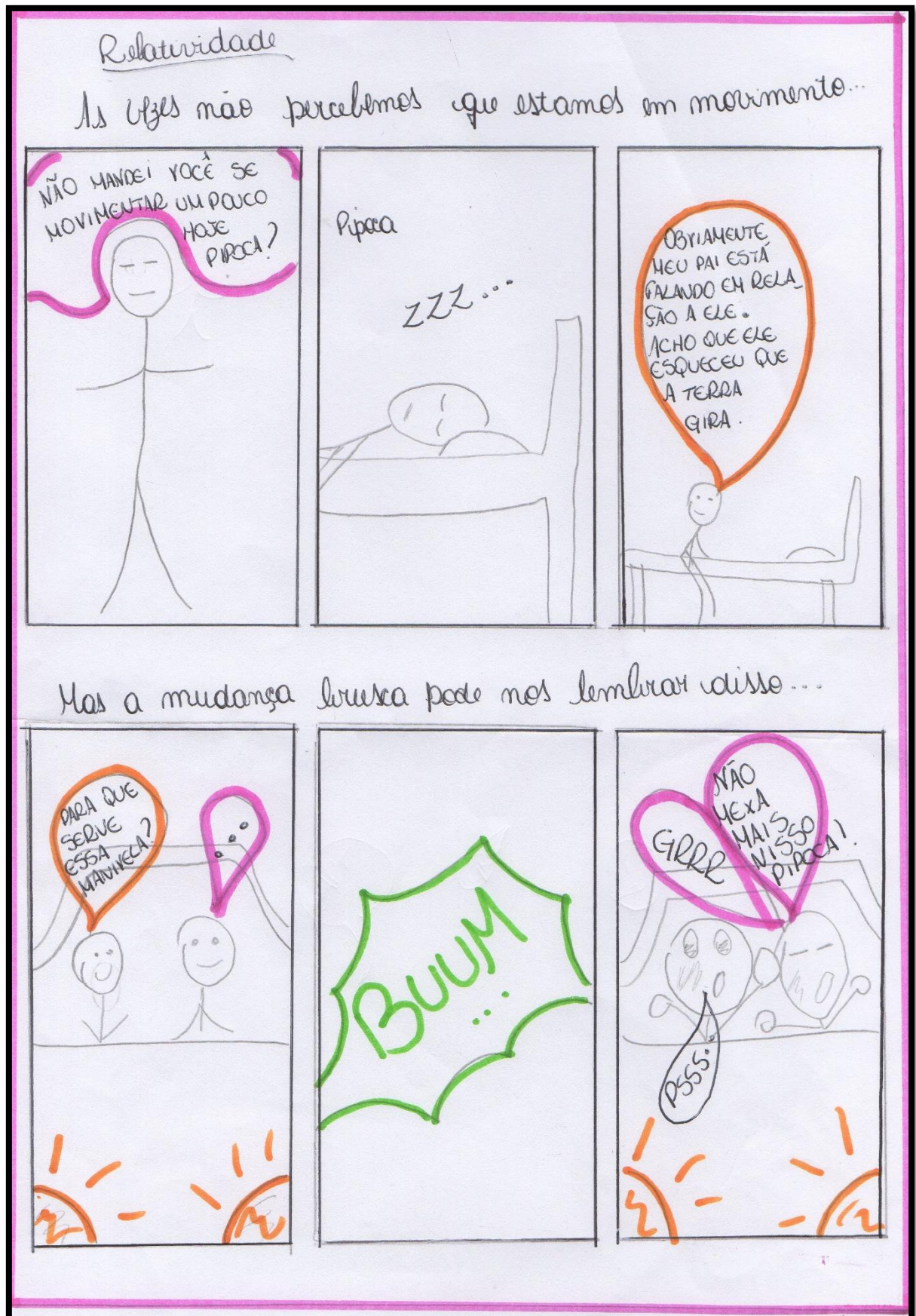
Figuras 70 e 71: História em quadrinhos criada pelos estudantes AB, FD e AR.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figuras 72 e 73: História em quadrinhos criada pelos estudantes IS, AR e KS.





REFERÊNCIAS DOS APÊNDICES

- CALAZANS, F.M.A. **História em quadrinhos na escola**. São Paulo: Paulus, 2008.
- GASPAR, A. **Física**. São Paulo: Ática, 2002. v. 3: **Eletromagnetismo e física moderna**.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física – Volume 4**. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.
- HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. 9ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002
- MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Curso de Física – Volume 2**. 1ª ed. São Paulo: Scipione, 2012.
- PIETROCOLLA, M. *et al.* **Física: conceitos e contextos: pessoal, social, histórico, eletricidade e magnetismo, ondas eletromagnéticas, radiação e matéria: 3**. 1ª ed. São Paulo: FTD, 2013.
- PIETROCOLLA, M. *et al.* **Física: conceitos e contextos: pessoal, social, histórico: movimento, força, astronomia: 1 e 3**. 1ª ed. São Paulo: FTD, 2013.
- RAMOS, P. **A leitura dos quadrinhos**. São Paulo: Contexto, 2016.
- SANT'ANNA, Blaidi *et al.* **Conexões com a Física: volume 1 e 3**. 2ª ed. São Paulo: Moderna, 2013.
- TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física para Cientistas e Engenheiros - Vol. 3**. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.
- VERGUEIRO, W; RAMOS, P. (Org.). **Muito além dos quadrinhos: análises e reflexões sobre a 9ª Arte**. São Paulo: Devir, 2009.
- VERGUEIRO, W; RAMA, A. **Como Usar as Histórias em Quadrinhos na Sala de Aula**. São Paulo: Editora Contexto, 2014.
- YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física IV - Ótica e Física Moderna**. 12ª ed. São Paulo: Addison Wesley, 2009.