



**Serviço Público Federal**  
**Ministério da Educação**  
**Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul**  
Instituto de Física  
Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências  
Mestrado em Ensino de Ciências



Alanah Garcia da Silva

**UMA DISCUSSÃO HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICA DA TEORIA DA  
RELATIVIDADE RESTRITA EM TIRINHAS**

Campo Grande – MS  
2018



**Serviço Público Federal**  
**Ministério da Educação**  
**Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul**  
Instituto de Física  
Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências  
Mestrado em Ensino de Ciências



Alanah Garcia da Silva

**UMA DISCUSSÃO HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICA DA TEORIA DA  
RELATIVIDADE RESTRITA EM TIRINHAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências – Instituto de Física da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito final para obtenção do título de mestre em Ensino de Ciências, sob orientação da Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Nádia Cristina Guimarães Errobidart.

Campo Grande – MS  
2018

Nome: Alanah Garcia da Silva

Título: Uma discussão histórico-epistemológica da Teoria da Relatividade em tirinhas

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul como requisito final para obtenção do título de mestre em Ensino de Ciências.

Aprovada em: \_06/12/2018\_

### COMISSÃO EXAMINADORA

#### EXAMINADOR

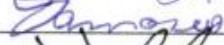
Dra. Nadia Cristina Guimaraes Errobidart (Interno)

Dr. Felipe Damasio (Externo)

Dr. João José Caluzi (Interno) (Suplente)

Dra. Maria Ines de Affonseca Jardim (Interno)

#### ASSINATURA

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

#### RESULTADO FINAL:

Aprovação

Aprovação com revisão

Reprovação

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço imensamente a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste projeto, mas, em específico a algumas pessoas.

Agradeço ao meu noivo, companheiro de todas as horas, Arthur Frederico, por toda paciência, compreensão, carinho e por todo o incentivo para que pudesse concluir o trabalho.

Agradeço aos meus familiares, que, sempre falaram que eu seria capaz e que se sentiam orgulhosos de mim, me dando forças para alcançar objetivos maiores.

Agradeço aos colegas, de graduação e pós-graduação, por todo o conhecimento dividido e multiplicado. Vocês me deram forças para terminar a graduação, tornando a caminhada possível e mais alegre. Em específico, os colegas da minha turma: Ellen, Heitor, Carla, Hitalo, Patrícia e a toda turma do PIBID-Física-UFMS.

Agradeço aos demais colegas de longa data, pela amizade construída, força, momentos de alegria e tensão compartilhada. Beatriz, Laura, Jéssica Faria, Maressa, Jéssica Costa e Adriana. Vocês são mulheres que me inspiram.

Agradeço imensamente aos professores Dr. João José Caluzi e Dr. Felipe Damasio, por aceitarem compartilhar toda a sabedoria de vocês para melhorar cada vez mais este trabalho. Obrigada por entrarem neste barco gigantesco comigo. Assim como, a todos os outros professores que dedicaram o seu tempo a minha formação acadêmica: Dr. Paulo Ricardo da Silva Rosa, Dr<sup>a</sup> Maria Inês de Affonseca Jardim, Dorotéria de Fátima Bozzano, Diego Carvalho Barbosa Alves, entre tantos outros do curso de Licenciatura em Física da UFMS.

E por último, agradeço a pessoa que fez este projeto se tornar possível, gratificante e principalmente, interminável. Professora linda do meu coração, Dr<sup>a</sup>. Nádia Errobidart, você tem caminhado comigo desde a graduação, e espero que a nossa jornada ainda seja muito longa.

“Na teoria da relatividade, não existe tempo absoluto único; em vez disso, cada indivíduo tem sua própria medida de tempo, que depende de onde ele se encontra e de como ele está se movendo”

Stephen Hawking

## RESUMO

Apresentamos neste trabalho o resultado de uma pesquisa de mestrado que se propôs a construção de um produto educacional para ser utilizado como conteúdo histórico sobre a Teoria da Relatividade Restrita ou uma estratégia de ensino que possibilita uma discussão sobre a Natureza da Ciência. Ele foi elaborado com base em aspectos norteadores do que se convencionou denominar na literatura da área como abordagem contextual do ensino de ciências, buscando ressaltar elementos da linguagem de quadrinhos que podem contribuir, de forma diferenciada, com os processos de ensino e de aprendizagem. Para retratar os aspectos contextuais realizou-se uma pesquisa bibliográfica para obter informações que possibilitasse a construção de uma história em quadrinhos que evidenciasse que: a construção de um conhecimento científico é influenciada por contextos diversos e pessoas de diferentes culturas; o resultado desse processo construtivo não é definitivo nem absolutamente verdadeiro; não existe um método único de fazer ciência e que ele deve desconsiderar o papel da criatividade e imaginação dos construtores desse conhecimento. Alguns desses aspectos foram retratados em linguagem verbal e visual, para assim reforçar a possibilidade de contribuição do uso de história em quadrinhos material pedagógico. A história da Teoria da Relatividade Restrita foi retratada numa HQ que buscou contextualizar discussões sobre problemas vivenciados por personagens como Galileu Galilei, Isaac Newton, James Clerk Maxwell, Poincaré, Albert Einstein e outros cientistas. Sua construção levou em consideração orientações sobre o emprego adequado da linguagem em quadrinhos como objeto de ensino e de aspectos que devem ser valorizados no uso da História e Filosofia da Ciência no ensino de ciência, para não promover um reforço da visão empirista-indutivista que sinaliza de maneira inadequada o trabalho científico. O produto educacional apresenta além dessa HQ uma proposta para trabalhar a concepção dos alunos sobre a Natureza da Ciência, elaborada para ser utilizada conforme planejamento do professor com emprego de todos os quadrinhos ou parte deles. Esse produto educacional será objeto de estudo de uma pesquisa que busca avaliar sua contribuição no contexto de sala de aula e aceitação de professores e alunos.

**Palavras chave:** Teoria da relatividade restrita, história e filosofia da ciência, história em quadrinhos

## **ABSTRACT**

We present in this work the result of a masters research that has proposed the construction of an educational product to be used as historical content on the Theory of Restricted Relativity or a teaching strategy that allows a discussion about the Nature of Science. It was elaborated based on guiding aspects of what has been denominated in the literature of the area as contextual approach of science teaching, seeking to highlight elements of the language of comics that can contribute, in a differentiated way, with the teaching and learning processes. To portray the contextual aspects, a bibliographical research was carried out to obtain information that allowed the construction of a comic book that showed that: the construction of a scientific knowledge is influenced by diverse contexts and people of different cultures; the result of this constructive process is neither definitive nor absolutely true; there is no single method of doing science and he must disregard the role of the creativity and imagination of the builders of that knowledge. Some of these aspects were portrayed in verbal and visual language, to thereby reinforce the possibility of using the comic-book pedagogical material. The history of the Theory of Restricted Relativity was portrayed in a comic that sought to contextualize discussions about problems experienced by characters such as Galileo Galilei, Isaac Newton, James Clerck Maxwell, Poincaré, Albert Einstein and other scientists. Its construction took into account guidelines on the appropriate use of comic language as an object of teaching and aspects that should be valued in the use of History and Philosophy of Science in the teaching of science, in order not to promote a reinforcement of the empiricist-indutivist vision that signals scientific work. The educational product presents besides this HQ a proposal to work the conception of the students on the Nature of Science, elaborated to be used according to the planning of the professor with employment of all comics or part of them. This educational product will be object of study of a research that seeks to evaluate its contribution in the context of classroom and acceptance of teachers and students.

**Keywords:** Theory of restricted relativity, history and philosophy of Science, comics

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> balões redondos apontando para o personagem que está falando. ....	42
<b>Figura 2:</b> Balão tracejado indicando que o personagem está falando em voz baixa	42
<b>Figura 3:</b> Balões em formato de nuvem, indicando que o personagem está pensando.....	43
<b>Figura 4:</b> Balão indicando que a personagem está falando em voz alta ou gritando. ....	43
<b>Figura 5:</b> Balões indicando quando vários personagens estão falando ao mesmo tempo. ....	44
<b>Figura 6:</b> Balão indicando uma pausa na fala do personagem. ....	44
<b>Figura 7:</b> Balão indicando que o personagem que está falando não está presente no quadrinho. ....	45
<b>Figura 8:</b> Balão retangular indicando a inserção do narrador da história no quadrinho. ....	46
<b>Figura 9:</b> Onomatopeia indicando que o computador parou de funcionar.....	46
<b>Figura 10:</b> Representação de alguns dos cientistas, filósofos e matemáticos que contribuíram para a formulação da TRR. ....	48
<b>Figura 11:</b> Os estudos de Galileu a respeito do Sistema Heliocêntrico.....	50
<b>Figura 12:</b> Quadrinho utilizado para apresentar a construção coletiva do telescópio. ....	51
<b>Figura 13:</b> Representação dos religiosos. ....	53
<b>Figura 14:</b> Quadrinho onde o Papa condena Galileu à prisão perpétua.....	55
<b>Figura 15:</b> Quadrinho construído com o objetivo de mostrar que Galileu e Kepler trocaram ideias a respeito da geometrização da mecânica ....	56
<b>Figura 16:</b> Representação de Kepler estudando com o astrônomo, Tycho Brahe ...	57
<b>Figura 17</b> Explicação do experimento do balde proposto por Newton para explicar o arrastamento do éter. ....	59
<b>Figura 18:</b> Representação do experimento do pêndulo para explicar como identificar um referencial inercial e acelerado.....	61
<b>Figura 19:</b> Representação de Newton estudando o que outros cientistas acreditam sobre a natureza da luz. ....	61
<b>Figura 20:</b> Representação da comunidade científica tentando explicar a aberração da luz.....	63

<b>Figura 21:</b> Representação do cientista Maxwell estudando os eclipses das luas de Júpiter. ....	65
<b>Figura 22:</b> Representação de Maxwell em viagem à França para estudar uma maneira de construir o seu aparato experimental. ....	66
<b>Figura 23:</b> Representação de Graham Bell apresentando o telefone na Exposição do Centenário da Filadélfia.....	67
<b>Figura 24:</b> Representação do interferômetro proposto por Michelson para detectar o movimento da Terra em relação ao éter. ....	68
<b>Figura 25:</b> Representação do primeiro interferômetro construído por Michelson. ....	68
<b>Figura 26:</b> Foto do segundo aparato experimental desenvolvido por Michelson com a ajuda do engenheiro Morley. ....	69
<b>Figura 27:</b> Representação do segundo interferômetro, construído por Michelson com a ajuda de Morley.....	70
<b>Figura 28:</b> Lorentz e FitzGerald buscando soluções para o resultado negativo do interferômetro.....	71
<b>Figura 29:</b> Representação dos estudos de Poincaré.....	73
<b>Figura 30:</b> Representação dos artigos publicados por Albert Einstein, em 1905.....	74
<b>Figura 31:</b> Representação de Einstein explicando o que diferencia as suas teorias de outros cientistas. ....	74
<b>Figura 32:</b> Imagem utilizada para insinuar que Einstein teve acesso aos dados do interferômetro de Michelson e Morley. ....	76
<b>Figura 33:</b> Ilustração de um relógio de luz. ....	77
<b>Figura 34:</b> Representação do movimento da luz visto por um observador em repouso em relação ao relógio de luz. ....	78
<b>Figura 35:</b> Representação do movimento da luz visto por um observador em movimento em relação ao relógio de luz.....	78
<b>Figura 36:</b> Representação do paradoxo dos gêmeos.....	79
<b>Figura 37:</b> Fórmula utilizada para determinar o tempo em relação ao irmão que ficou na Terra.....	80
<b>Figura 38:</b> Fórmula utilizada para indicar o tempo em relação ao irmão que estava na nave .....	80
<b>Figura 39:</b> representação de Einstein mostrando a diferença entre os referenciais inerciais no paradoxo dos gêmeos.....	81

<b>Figura 40:</b> visão dos observadores externos e internos em relação ao vagão de trem.....	82
Figura 41: visão do observador externo.....	83
<b>Figura 42:</b> ponto de vista do observador A e B em relação a velocidade da luz. ....	84
<b>Figura 43:</b> Galileu Galilei argumentando com a comunidade científica sobre os modelos do Sistema Solar .....	85
<b>Figura 44:</b> Kepler estudando as órbitas dos planetas. ....	86
<b>Figura 45:</b> Michelson e o primeiro interferômetro .....	86
<b>Figura 46:</b> Arago enviando uma carta à Fresnel pedindo explicações sobre a teoria ondulatória da luz.....	87
<b>Figura 47:</b> O segundo interferômetro construído por Michelson, com a ajuda de Morley .....	87
<b>Figura 48:</b> Lorentz e FitzGerald discutindo sobre o resultado nulo do interferômetro. ....	88
<b>Figura 49:</b> Cientistas tentando explicar um fenômeno natural.....	88
<b>Figura 50:</b> Fresnel e Young rebateram a teoria corpuscular da luz, afirmando que ela tinha um caráter oscilatório.....	89
<b>Figura 51:</b> cientistas e suas nacionalidades.....	89
<b>Figura 52:</b> revisão por pares entre Maxwell e Todd, e posteriormente Todd e Michelson.....	90
<b>Figura 53 -</b> Participação das mulheres na ciência nos séculos XV a XVII.....	91
<b>Figura 54:</b> Galileu escrevendo uma carta a Kepler para discutirem sobre o movimento dentro de um navio por meio de um experimento imaginário. ....	91
<b>Figura 55:</b> Experimento imaginário, proposto por Einstein, para discutir a velocidade da luz.....	92
<b>Figura 56:</b> Galileu afirmando para o Papa que o modelo Geocêntrico estava errado. ....	93
<b>Figura 57:</b> Einstein discursando sobre o fato de que o éter não existe. ....	93
<b>Figura 58:</b> Michelson procurando um patrocinador para o seu aparato. ....	94

## ÍNDICE DE QUADROS

<b>Quadro 1:</b> Quantitativo de artigos identificados com as palavras chaves Teoria da Relatividade Restrita (TRR) e Física Moderna e Contemporânea (FMC) .....	20
<b>Quadro 2:</b> Relação dos artigos selecionados por periódico .....	21

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

TRR – Teoria da Relatividade Restrita

TRE – Teoria da Relatividade Especial

HFC – História e Filosofia da Ciência

FM – Física Moderna

FMC – Física Moderna e Contemporânea

HFC - História e Filosofia da Ciência

GPS – Sistema de Posicionamento Global

HQ's – História em Quadrinhos

TEM - Teoria do Eletromagnetismo

## Sumário

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO 1 - PESQUISA BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>19</b>
1.1 UMA VISÃO SOBRE A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA: A ANÁLISE .....	21
1.1.1 A Teoria da Relatividade Restrita no ensino médio .....	21
1.1.2 Teoria da Relatividade Restrita e a História e Filosofia da Ciência .....	25
1.1.3 O ensino da Teoria da Relatividade Restrita por meio de softwares ou outras mídias computacionais .....	27
1.1.4 Artigos originais e/ou textos científicos .....	28
1.1.5 Outros trabalhos encontrados .....	33
<b>CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E METODOLÓGICA</b> .....	<b>35</b>
2.1 OS CAMINHOS PERCORRIDOS NA PESQUISA .....	36
2.2 AS DIFICULDADES DO USO DA HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DA TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA .....	37
2.3 HISTÓRIA EM QUADRINHOS COMO ESTRATÉGIA DE ENSINO .....	39
2.4 A LINGUAGEM DOS QUADRINHOS .....	41
<b>CAPÍTULO 3 - UMA DISCUSSÃO HISTÓRICA DA TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA</b> .....	<b>48</b>
3.1 O COMEÇO DE UMA HISTÓRIA: DE GALILEU E KEPLER .....	49
3.2 NEWTON, O EXPERIMENTO DO BALDE EM ROTAÇÃO E A HIPÓTESE DA LUZ COMO PARTÍCULA .....	59
3.3 DE HUYGENS À MAXWELL: A LUZ É UMA ONDA .....	62
3.4 O APARATO DE MICHELSON E MORLEY .....	66
3.5 A RELATIVIDADE E POINCARÉ .....	72
3.6 OS POSTULADOS DE EINSTEIN .....	73
3.6.1 Relativo? .....	76
3.6.2 Fenômenos da relatividade restrita .....	79

<b>CAPÍTULO 4 – UMA DISCUSSÃO HISTÓRICA- EPISTEMOLÓGICA .....</b>	<b>85</b>
<b>ALGUMAS CONSIDERAÇÕES.....</b>	<b>96</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>99</b>

## INTRODUÇÃO

A inserção efetiva de tópicos de História e Filosofia da Ciência (HFC) no Ensino de Ciências é pontuada por Hulsendeger (2005), Martins (2007), Quintal e Guerra (2009) e Silva e Errobidart (2017, 2016) como uma das soluções possíveis para enfrentar problemas como a passividade dos alunos e a necessidade de estabelecer uma relação entre os conceitos ensinados e seu contexto de construção e/ou aplicação.

Em trabalhos anteriores, evidenciamos que a inclusão de tópicos de HFC em suas aulas, não ocorre de forma rica e abrangente, explorando questões históricas, filosóficas, políticas e sociológicas, em livros didáticos nem no contexto de sala de aula. Concordamos com autores que sugerem o emprego da HFC no contexto do ensino de ciências pode:

[...] humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade; podem tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; podem contribuir para um entendimento mais integral da matéria científica, isto é, podem contribuir para a superação do “mar de falta de significação” que se diz ter inundado as salas de aula, onde fórmulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam [...] (QUINTAL e GUERRA, 2009. p. 21)”.

Considerando a necessidade desse processo de humanização a partir do emprego da HFC pautada numa abordagem contextual pautada na visão epistemológica contemporânea da ciência, tal como a indicada por Mccomas, Almazroa e Clough (1998), estruturamos o produto didático fruto desse trabalho de mestrado.

Esse produto foi planejado e construído para possibilitar apresentar características como: o conhecimento científico está em constante evolução; tem base na observação e evidências experimentais, mas não apenas isso; tem diversas maneiras de se fazer ciência; cientistas de todas as culturas tentam explicar de diversas formas os fenômenos naturais; suas conclusões devem ser comunicadas de forma clara e aberta a todas as pessoas, uma vez que outros cientistas podem precisar replicar tal conhecimento ou, discuti-lo em pares; os cientistas são criativos, uma vez que as tradições são diferentes e interferem no modo de fazer ciência, e, por fim, a ciência e a tecnologia estão relacionadas, impactando uma a outra.

Além desse cuidado, levamos em consideração orientações como as fornecidas por autores como Silveira (1992), Kohnlein e Peduzzi (2003, 2005) e Silva et al (2013) para não reforçar no ensino de ciências a visão empirista-indutivista que apresenta de maneira inadequada o trabalho científico, como: a existência de um único modo de fazer ciência, ou seja, é obtida por meio da observação dos fenômenos; não há espaço para a criatividade e intuição; os resultados obtidos são vistos como verdades absolutas.

O ensino de ciência deve propiciar aos alunos reconhecerem que o conhecimento científico não é absoluto, pelo contrário, ele sofre constantes mudanças e está sujeito a erros.

O material didático utilizado por professores e alunos deve deixar claro que a ciência é mutável, buscando desmistificar o método científico universal, expondo certos episódios fundamentais (como as revisões por pares e o cotidiano social e cultural da época dos cientistas), apresentando a evolução das ideias e dos pensamentos dos cientistas e, principalmente, desmistificando o fato de que os cientistas são vistos como mitos e “criadores” de uma teoria.

Pontuamos, com base em experiência profissional e resultados apresentados na literatura, que é necessário realizar a inclusão da natureza da ciência com uma visão epistemológica contemporânea sem fugir do referencial utilizado em sala de aula. Então, para tornar o currículo de Ciências mais perto da realidade dos estudantes, cabe ao professor mostrar que o ensino, não se resume a decorar leis e fórmulas, mas sim, baseia-se em um processo de construção do mundo (QUINTAL e GUERRA, 2009).

Apesar das dificuldades encontradas em sala de aula, que vão desde o desinteresse dos alunos até a estrutura física de muitas escolas, concordamos com autores que afirmam que “[...] o que nos parece mais intrigante neste processo, é fazer com que os alunos saibam assimilar e, principalmente, interligar as informações e conhecimentos discutidos pela escola” (FREDERICO e GIANOTTO, 2012, p. 200).

Também concordamos com Guerra (2009), Forato, Pietrocola e Martins (2011) e Martins (2007), ao afirmarem que a HFC pode ser pensada tanto como um conteúdo das disciplinas científicas quanto como uma estratégia de ensino. Isto, porque ela permite que o aluno compreenda o desenvolvimento das ideias, conceitos e teorias a serem estudadas, possibilitando que o estudante visualize os

erros científicos, os experimentos e observações realizadas pelas cientistas, a troca de ideias por pares e o abandono de teorias até chegar a uma formulação aceita pela comunidade científica.

Diante do exposto e os resultados evidenciados na pesquisa bibliográfica apresentada no Capítulo 1, estruturamos a pesquisa de mestrado a partir da seguinte questão: *É possível empregar a linguagem de quadrinhos para construir um produto educacional, explorando aspectos da História e Filosofia da Ciência relacionada com a Teoria da Relatividade Restrita, descritos com base numa abordagem contextual, que sinaliza a influência de vários campos de estudos e culturas?*

A escolha do conteúdo científico relacionado à Teoria da Relatividade Restrita foi influenciada por trabalhos desenvolvidos antes do mestrado, nos quais identificados reflexões como as de Ostermann e Moreira (2000), Kikuchi, Ortiz e Batista (2005), Guerra, Braga e Reis (2007), Karam, de Souza Cruz e Coimbra, Caruso e Freitas (2009), Uchoa (2013), Rodrigues, Sauerwein e Sauerwein (2014), Jardim, Otoya e Oliveira (20015), Martins (2015), Vanzella (2016) entre outros. Eles afirmam que a inclusão de temas relacionados a Física Moderna e Contemporânea, em específico a Teoria da Relatividade Restrita (tema da pesquisa) é de extrema importância pelo fato de possibilitarem mostrar aos alunos a evolução das ideias até os dias atuais, assim como, ofereceram explicações para objetos utilizados em nossos cotidianos como microondas, raios X, telefones celulares, Wi-fi, GPS entre outros.

E, para o ensino da Teoria da Relatividade Restrita (TRR), escolhemos o uso da História em Quadrinhos (HQ'S) pelo fato de que esta ferramenta pode ser utilizada como um elemento motivador, tornando a aula mais dinâmica, como apontam Caruso, Carvalho e Silveira (2002), Pena (2003), Caruso e Freitas (2009), Frederico e Gianotto (2012) e Silva, Ataíde e Venceslau (2015).

Concordamos com Souza et al (2013), que pontuam que além de motivacional, o uso das HQ'S pode inclusive aumentar o interesse dos alunos pela Ciência, além de se mostrar uma ferramenta efetiva para contextualizar os conteúdos da Física para o momento histórico em que a teoria foi desenvolvida. Além disso, possibilita relacionar cada conceito aos cientistas, e apresentar as suas contribuições, aspectos que muitas vezes aparecem nos livros didáticos como um fato isolado.

Para atender as orientações sinalizadas nos trabalhos apresentados no Capítulo 1, relacionadas ao emprego satisfatório do HFC no ensino de ciências os objetivos que nortearam esse trabalho de mestrado foram: elaborar um texto histórico sobre a TRR explorando aspectos que contemplasse uma abordagem contextual estruturada numa visão epistemológica da ciência conforme as orientações de Mccomas, Almazroa e Clough (1998); estruturar a partir desse texto um produto educacional que propiciasse ao professor utiliza-lo como fonte de conteúdo científico ou estratégia de ensino; destacar os aspectos da visão epistemológica segundo Mccomas, Almazroa e Clough (1998) explorados no produto educacional e elaborar uma sugestão de estratégia de ensino para utilização desse material didático no contexto de sala de aula.

O Capítulo 2 apresenta os elementos teóricos e metodológicos que orientam a pesquisa. Inicialmente uma discussão das características de um trabalho com visão epistemológica contemporânea segundo Mccomas, Almazroa e Clough (1998), que sinaliza a necessidade de explorar a produção científica, o desenvolvimento da teoria, as ideias abandonadas e aceitas pela comunidade científica e não apenas a sua formulação final.

Num outro momento, apresentamos uma discussão sobre linguagem em quadrinhos, segundo Rama e Vergueiro (2008), autores que descrevem como utilizar os balões de fala e pensamento, balões de narradores, e, além da linguagem verbal, a utilização da linguagem visual.

O capítulo 3 apresenta uma discussão teórica, elaborada com base na abordagem contextual estruturada na visão epistemológica de Mccomas, Almazroa e Clough (1998). Apresenta informações desde as primeiras reflexões sobre o movimento relativo discutido por Galileu e Kepler; a luz como partícula, proposta por Isaac Newton; a luz como uma onda, por Young e Fresnel, a união da eletrodinâmica e do eletromagnetismo, com Maxwell, o interferômetro de Michelson e Morley; a relatividade de Poincaré e o paradoxo dos gêmeos, por Einstein. Neste texto, também colocamos notas de rodapé que podem ajudar o professor, e as tirinhas correspondentes as ideias apresentadas no texto

O Capítulo 4 apresenta uma análise do material produzido sinalizando os aspectos pontuados pelo referencial e que foram explorados na construção histórica da Teoria da Relatividade Restrita.

Nas considerações finais destacamos os produtos educacionais que resultaram dessa pesquisa de mestrado: Produto 01 – a história em quadrinhos intitulada “Uma discussão histórica-epistemológica de uma teoria” e o Produto 02 – uma sugestão de atividade que possibilita discutir a natureza da ciência, a utilizando partes ou toda a história em quadrinhos “Proposta de atividade para discutir a natureza da ciência”. O produto 1 é apresentado no formato de história em quadrinhos e no formato de slides, aspecto que possibilita o professor (re)formular o produto educacional, conforme seus objetivos pedagógicos.

## CAPÍTULO 1 - PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Para realizar a pesquisa bibliográfica, utilizamos como referência as orientações sugeridas por Rosa (2015), na qual considera ser preciso:

Definir um conjunto de palavras chave para orientar o processo de seleção dos artigos que irão compor a pesquisa: Realizar a definição do escopo tomando como referência o tipo de documento, os campos explorados e o intervalo de tempo no qual se pretende realizar a pesquisa. Após essas etapas, inicia-se a análise dos dados coletados, realizando uma leitura em busca de informações que podem contribuir com o estudo que será realizado, produção de um fichamento e por fim, a construção do texto da análise documental. Ele pode ser escrito no formato de crônica, quando [...] descrevemos o que cada um dos trabalhos analisados produziu: qual pergunta respondeu, qual metodologia usou, quais resultados obteve e assim por diante” [...] Ou podemos produzir uma síntese, agrupando resultados semelhantes e diferentes evidenciados durante a leitura, para [...] construir uma visão geral sobre o campo de estudo (ROSA, 2015, p. 88).

Considerando as orientações de Rosa (2015), definimos o conjunto de palavras chave conforme os nossos objetivos, sendo: teoria da relatividade restrita (TRR), teoria da relatividade especial (TER), o ensino da teoria da relatividade restrita, história da relatividade restrita, sequências didáticas (ou de ensino, ou unidades de ensino) sobre a teoria da relatividade restrita, teoria da relatividade restrita nos livros didáticos e simulações explorando a teoria da relatividade restrita. Além destas, considerando que a Teoria da Relatividade Restrita é um tema relacionado com o ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC), realizamos, para efeito de comparação, uma busca usando FMC como palavra chave.

Selecionamos dez periódicos, sendo, oito nacionais e dois internacionais, que apresentam WebQualis entre A1 e B2, e, que tradicionalmente apresentam artigos sobre o ensino de física. São eles:

- Revista Brasileira de Ensino de Física
- Física na Escola
- Caderno Brasileiro de Ensino de Física
- Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências
- Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências
- Investigação em Ensino de Ciências
- Ciência e Ensino
- Ciência e Educação
- Revista Electronica de Ensenanza de Las Ciencias

- Ensenanza de Las Ciencias.

Utilizando o dispositivo de busca dos próprios periódicos, buscamos pelas palavras chaves em todas as categorias (título, resumo e texto completo) no período de 2005 a 2016. Nela, identificamos o quantitativo apresentado no Quadro 1. Esclarecemos que para representar estes artigos no Quadro 1, para efeito de comparação, apresentamos os resultados relacionados com a FMC e apenas o termo comum em todas as palavras chaves utilizadas na busca realizada: Teoria da Relatividade.

**Quadro 1: Quantitativo de artigos identificados com as palavras chaves Teoria da Relatividade Restrita (TRR) e Física Moderna e Contemporânea (FMC)**

Periódicos	R	MC
Revista Brasileira de Ensino de Física	0	04
A Física na Escola		
Caderno Brasileiro de Ensino de Física		9
Ciência e Educação		8
Ciência e Ensino		
Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciência		
Investigações em Ensino de Ciências		
Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências		
Ensenanza de Las Ciencias		
Revista Electronica de Ensenanza de Las Ciencias		7
Total	6	22

Fonte: a autora

Dos 222 artigos identificados com a palavra Física Moderna e Contemporânea, 36 correspondiam a temática Teoria da Relatividade Restrita. Quantitativo este, que representa quase  $\frac{1}{4}$  do montante de artigos que exploram temas associados as pesquisas sobre FMC. Este resultado sugere um interesse da comunidade acadêmica pelo ensino de Física Moderna e Contemporânea, e por isso, possui uma quantidade considerável de publicações.

Outro aspecto que consideramos interessante destacar é que o quantitativo de 36 artigos identificados nesta pesquisa é próximo ao resultado obtido por Rodrigues, Sauerwein e Sauerwein (2014). Tais autores realizaram uma pesquisa em periódicos semelhantes aos nossos da área de ensino e educação no período de 2005 a 2009, e, encontraram um total de 35 trabalhos que abordavam a Teoria da Relatividade Restrita.

No Quadro 2, listamos os artigos identificados em cada um dos periódicos analisados.

**Quadro 2: Relação dos artigos selecionados por periódico**

Periódicos/quantitativo	Artigos
Revista Brasileira de Ensino de Física/20	(BARROS et al, 2005); (MARTINS, 2005); (EINSTEIN, 2006); (MACHADO e NARDI, 2006); (DAHMEN (2006); (KARAM, DE SOUZA e COIMBRA, 2007); (GUERRA, BRAGA e REIS, 2007); (DE HOLANDA CAVALCANTI e OSTERMANN, 2007); (FAUTH et al, 2007); (FALCIANO, 2007); (PORTO e PORTO, 2008); (CABALLERO, 2011); (ZANOTTA, CAPPELLETTO e MATSUOKA, 2011); (DE CONTO et al, 2013); (ROCHA, RIZZUTI e MOTA, 2013); (RODRIGUES, SAUERWEIN e SAUERWEIN, 2014); (JARDIM, OTOYA e OLIVEIRA, 2015); (OTERO, ARLEGO e PRODANOFF, 2015); (KNEUBIL, 2016); (PELITI, 2016)
A Física na Escola/1	(DAMASIO e PEDUZZI, 2017);
Caderno Brasileiro de Ensino de Física/6	(KOHLEIN e PEDUZZI, 2005), (SANTOS, 2006), (SILVEIRA e PEDUZZI, 2006), (CARUSO e FREITAS, 2009); (GUERRA, REIS e BRAGA, 2010), (DE ANDRADE MARTINS, 2012)
Investigações em Ensino de Ciências/2	(ARRIASSECQ e GRECA, 2006); (AYALA FILHO, 2010)
Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências/2	(SILVA, et al, 2013); (MOURA e GUERRA, 2013)
Ensenanza de Las Ciencias/4	(VALADARES, 2005), (PÉREZ e SOLBES, 2006); (SÁNCHEZ e SELVA, 2006), (MACHADO e NARDI, 2006)
Revista Electronica de Ensenanza de Las Ciencias/1	(MACHADO e NARDI, 2007)

Fonte: a autora

Após a leitura dos 36 artigos identificados, realizamos os fichamentos com o objetivo de relatar as ideias centrais de cada trabalho, e apresentá-los em categorias para facilitar a análise.

## 1.1 UMA VISÃO SOBRE A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA: A ANÁLISE

### 1.1.1 A Teoria da Relatividade Restrita no ensino médio

Nesta categoria, classificamos dez artigos que relatam a importância de inserir tópicos da TRR no ensino médio por meio da apresentação de sequências didáticas aplicadas (ou não), análises de livros didáticos, atividades experimentais entre outros, sem a exploração de aspectos da história da ciência e/ou uso de ferramentas computacionais (categorias 1.1.2 e 1.1.3, respectivamente).

Iniciamos descrevendo o trabalho de Arriasecq e Grega (2006). Os autores analisaram as noções de conceitos básicos de espaço e tempo dos alunos de uma escola de nível médio, da Argentina, que são consideradas necessárias para compreender a TRR. Para isso, os autores assistiram as aulas de mecânica galileana, que foram aplicadas pelos professores desses alunos, e observaram que

eles entendem tais conceitos como algo natural, ou então, a ser decorado por meio de uma equação como “dividir por  $t$ ;  $t$  medido” (ARRIASSECQ e GREGA, 2006, p.193).

Além de assistirem as aulas, os autores também analisaram os livros didáticos que eram utilizados pelos professores, e, perceberam uma grande discordância entre o referencial curricular das escolas e o conteúdo abordado em sala de aula. Para tentar encontrar uma justificativa para a diferença de conteúdo/referencial, realizaram uma entrevista com os professores. Estes, afirmaram que um dos motivos pelos quais a maioria não aborda o tema da pesquisa, era o fato de que não havia um capítulo sobre a TRR no livro didático, ou então, por não compreenderem a teoria.

Santos (2006) apresenta três diagramas que podem ser utilizados como um recurso auxiliar pelo professor, para explicar os conceitos de deformação espacial, e dilatação temporal em diferentes referenciais para alunos do primeiro ano da graduação em Física/Engenharia. Para utilizá-los, o autor propõe o uso de um pêndulo para apresentar a diferença entre sistemas de referência (inercial e absoluto), pois este recurso permite demonstrar quando um referencial está inercial ou acelerado.

Perez e Solbes (2006) propõem que o ensino da TRR seja baseado em dois problemas: como dois observadores, em diferentes referenciais, podem verificar o mesmo fenômeno? O fenômeno não deveria ser diferente? Para responder a tais perguntas, inicialmente os autores analisaram 38 livros didáticos, e posteriormente, montaram questionários baseados nos textos destes livros, para serem aplicados e verificarem a aprendizagem de um grupo de alunos de graduação em Física após um estudo teórico.

Em contrapartida, com outro grupo, fizeram uma abordagem com um outro texto desenvolvido pelos próprios autores. Este segundo texto era contextualizado, apresentando a biografia do cientista Albert Einstein, mostrava erros científicos, projetos sociais e as consequências da TRR para a sociedade. Após a comparação dos resultados, os autores relataram que a abordagem contextualizada se mostrou mais significativa, uma vez que despertou um maior interesse por parte dos alunos.

Sánchez e Selva (2006) apresentam um guia de atividades que foi desenvolvido como sugestão de ensino sobre os conceitos de espaço-tempo, energia e massa, por meio de uma abordagem CTS (Ciência, Tecnologia e

Sociedade). Este guia contém um livro e um CD apresentando os conceitos da TRR, por meio da mecânica newtoniana (destinado aos professores), um material digital contendo textos, biografias, teorias e links sobre a TRR e trinta animações computacionais (destinado aos alunos). Após a utilização do guia, os autores prepararam um curso para os professores com o objetivo de sanarem as dificuldades encontradas para a utilização do material.

Karam, De Souza Cruz e Coimbra (2007) apresentam parte de uma sequência didática que aborda tópicos da TRR, para uma turma de estudantes do primeiro ano do ensino médio. Nesta sequência, os autores discutiram os conceitos de movimento retilíneo para baixo, movimento relativo por meio das transformações galileanas, maneiras de detectar se um objeto está em movimento ou não, variação da velocidade e velocidade da luz, efeitos da dilatação temporal e a contração do comprimento.

Os conceitos foram discutidos utilizando objetos presentes no cotidiano dos estudantes, como movimento de caminhões e caçambas, queda de um celular e o movimento de um skate. Ao final da discussão, os autores destacaram a resistência dos alunos à aceitação dos postulados, que não foram aceitas quando apresentadas durante a sequência didática.

Caruso e Freitas (2009) apresentam o resultado de um projeto de ensino sobre a TRR, realizado com alunos do ensino médio, pautado no emprego de histórias em quadrinhos. Durante o projeto, um dos alunos desenvolveu tirinhas após participar da oficina de educação por meio de histórias em quadrinhos (EDUHQ), ministrada por um dos autores. Os autores destacam que o aluno não tinha conhecimento prévio sobre o assunto e antes da elaboração das tirinhas, ministraram seminários e selecionaram textos e livros para que o aluno estudasse, com o objetivo de se familiarizar com os conceitos da TRR e então, desenhar as tirinhas.

Ayala Filho (2010) utiliza a noção de Perfil Conceitual como instrumento para investigar a aprendizagem da TRR e quais os obstáculos epistemológicos encontrados pelos alunos durante o seu trabalho. Para a investigação, o autor elaborou questões sobre a conservação de momento em colisões, conceitos de referencial segundo a mecânica newtoniana e relativística, e, propagação da luz. Analisando as respostas dos alunos, o autor concluiu que eles não possuíam subsunçores em relação a TRR e que utilizavam formas espontâneas de raciocínio,

principalmente sobre o conceito de referencial relativístico, respondendo conforme a teoria mecânica.

Silva et al (2013) pesquisaram a interação entre professores de Física durante um grupo de estudo de Física Moderna e Contemporânea, conforme as proposições de Bakhtin, por meio de discussões de componentes sociais, ideológicos e na interação entre as falas e das potencialidades do discurso.

Para isso, os autores participaram de cinco reuniões dos professores nas quais discutiram conceitos da TRR, e, identificaram regularidades na forma como organizavam as discussões, como exemplo, na ajuda mútua entre os colegas. Em relação a análise e transcrição das falas, utilizaram as contribuições metodológicas da análise textual discursiva, e como resultado, apontaram que a metodologia de discussão em grupo pode surgir efeito significativo em relação ao esclarecimento de dúvidas conceituais.

Jardim, Otoy e Oliveira (2015) analisaram os conceitos de massa relativística e em repouso em 14 livros didáticos, no ano de 2015. Para isso, buscaram na bibliografia argumentos que reforçam a discussão sobre os conceitos de massa, com o objetivo de obter parâmetros para a análise. Após definirem os parâmetros e realizarem a análise, os autores apresentaram os resultados individuais, e, concluíram que a maioria dos livros aprovados pelos PNLD não destacam a quantidade de movimento de uma partícula, assim como, a variação de sua massa (que foi perdendo importância com o longo do tempo). Com a análise, destacaram que além de apresentarem relações inadequadas, os livros também podem colaborar para concepções errôneas sobre a teoria.

Otero, Arlego e Prodanoff (2015) apresentam em seu trabalho a implementação e avaliação de uma sequência didática sobre a TRR, aplicada em uma escola em Buenos Aires – Argentina. A sequência envolve três etapas: a primeira, análise dos conceitos de referenciais e observadores; a segunda, o desenvolvimento da sequência com o objetivo de apresentar a ideia de invariância da velocidade da luz e o conceito de relatividade; e por fim, a terceira etapa em que os autores realizaram uma discussão sobre as transformações de Galileu e a TRR reformulada por Einstein. Para a avaliação, os alunos deveriam desenvolver um produto que poderia ser apresentado de forma verbal (oral ou escrito), gráficos e desenhos.

### 1.1.2 Teoria da Relatividade Restrita e a História e Filosofia da Ciência

Nesta categoria classificamos um total de dez artigos que relacionam a Teoria da Relatividade Restrita à História da Filosofia da Ciência. Tais trabalhos podem ser desenvolvidos por meio de sequências didáticas ou construções de textos históricos, podendo estar relacionados – ou não – ao ensino.

Iniciamos com o trabalho de Kohnlein e Peduzzi (2005), no qual os autores apresentam um módulo didático para o ensino da TRR utilizando uma abordagem histórico-filosófica proposta por Thomas Kuhn. Para isso, desenvolveram uma unidade de ensino composta por 15 aulas de 45 minutos cada, com base nos três momentos pedagógicos. Inicialmente aplicaram um questionário aos alunos, contendo 15 questões sobre a natureza da ciência, e após esta etapa, apresentaram Histórias em Quadrinhos com o título 'como um cientista trabalha'. Depois, prosseguiram com discussões históricas sobre os conceitos de referencial, movimento relativo e o princípio da relatividade de Galileu, tempo absoluto, transformações de Lorentz, dilatação temporal e por fim, a biografia do cientista Albert Einstein.

Os autores concluíram que obtiveram resultados positivos ao utilizarem a HC, afirmando que a abordagem despertou um maior interesse entre os alunos. Destacamos o trabalho de Kohnlein e Peduzzi (2005) uma vez que os autores também desenvolveram um módulo didático utilizando HC, e pelo fato de que adaptamos seus questionários para a nossa avaliação diagnóstica. No entanto, apresentamos uma abordagem diferente a este trabalho, uma vez que realizamos construção da ciência com enfoque epistemológico contemporâneo, apresentado no Capítulo 2, e por fim, a criação do texto histórico e das HQ's.

Barros et al (2005), apresentam os resultados de uma discussão sobre os problemas da contração do comprimento descritos por Lorentz-Fitzgerald em relação do conceito de éter proposto por Fresnel. Para realizar a discussão, os autores elaboraram um texto histórico sobre a natureza do éter e o movimento relativo da Terra, o experimento de Michelson e Morley e a contração de objetos em altas velocidades, e concluíram que a contração do comprimento só surgiu devido ao resultado negativo do experimento.

Valadares (2005) utiliza o Vê de Gowin para apresentar um estudo histórico sobre a TRR ao analisar os trabalhos de Lorentz, em 1904, e de Einstein, em 1905.

Após a análise dos textos, o autor elaborou um texto que levava em consideração os problemas a serem investigados a partir de acontecimentos, simultaneidade de dados, crenças a respeito do mundo e a importância da criação de teorias.

Com base nestas considerações, o autor preparou uma estratégia investigativa na qual o aluno procura respostas para os problemas apresentados, permitindo assim, a construção do seu conhecimento. Conforme Valadares, esta estratégia proporcionou uma participação maior por parte dos alunos, além de uma visão correta a respeito da teoria.

Dahmen (2006) apresenta a influência da filosofia de Kant aos pensamentos de Albert Einstein, como uma das raízes epistemológicas da TRR. Para demonstrar essa influência, o autor construiu um texto no qual descreve como a filosofia serviu de suporte para questões sobre a natureza do espaço e do tempo, pois o autor afirma ser necessário que o cientista conheça a base filosófica do conhecimento, em específico, a origem da TRR. Conforme o trabalho, a filosofia kantiana permitiu que Einstein questionasse os fundamentos das teorias anteriores de modo que poucos cientistas fizeram, como por exemplo, desconsiderar a existência do éter, uma vez que não era possível detectá-lo, ao invés de procurar entender a sua natureza.

Silveira e Peduzzi (2006) examinam o papel da experimentação na gênese de conhecimentos em três descobertas científicas: a física de Galileu Galilei, a Teoria da Relatividade Restrita e o modelo atômico proposto por Borh. Após a análise, elaboraram dois textos históricos: um sobre a história das descobertas e outro apontando as influências de outros cientistas nestas teorias – com maior enfoque na TRR – demonstrando que a ciência é feita por pares.

Guerra, Braga e Reis (2007) propõem a inserção da Teoria da Relatividade Restrita e Geral para uma turma do primeiro ano do ensino médio de uma escola da rede federal de ensino, realizando debates entre a turma e o professor. No debate, o professor apresenta o contexto das teorias por meio da cinemática dos movimentos, com um enfoque histórico-filosófico, enfatizando as teorias propostas por Galileu Galilei e os sistemas de referência, utilizando vídeos e obras de arte. No final da discussão, os alunos deveriam escolher tópicos das teorias e apresentá-las de maneira criativa (jornal, filmagem, poesia, esquetes etc).

Para complementar este trabalho, Guerra, Braga e Reis (2010) construíram um texto histórico sobre a TRR, abordando tópicos contemporâneos, de forma a permitir que o estudante conheça a biografia dos cientistas, problemas enfrentados

durante as observações/experiências, possíveis soluções e o aspecto histórico da época vivido por cada um.

Caballero (2011) elaborou um texto histórico com o objetivo de mostrar que no decorrer da evolução científica ocorreu um colapso de ideias, representações, regras, normas e conceitos a serem aceitos ou descartados pelas cientistas, até uma formulação final aceita pela comunidade científica.

Martins (2012) destaca em seu trabalho o fato de que é muito comum a divulgação do experimento de Michelson e Morley como a principal evidência experimental utilizada para a formulação da TRR. No entanto, o autor pontua que isso acaba distorcendo fatos históricos, pois apresenta uma mensagem inadequada a respeito da evolução científica por não citar outros aspectos importantes para a teoria.

### 1.1.3 O ensino da Teoria da Relatividade Restrita por meio de softwares ou outras mídias computacionais

Enquadramos nesta categoria cinco artigos que abordam o ensino da Teoria da Relatividade Restrita utilizando mídias computacionais com softwares, jogos educacionais, vídeos, equipamentos eletrônicos (GPS, celular) entre outros. Destacamos que dos cinco artigos, três foram elaborados pelos mesmos autores: Machado e Nardi (2006a, 2006b e 2007), e, pelo fato do trabalho de Machado e Nardi (2007) ser o mais completo, descreveremos apenas ele.

Machado e Nardi (2007) apresentam as potencialidades de um sistema de hipermídia para a introdução de conceitos de FMC, denominado como Tópicos de Física Moderna. Ele foi desenvolvido com o objetivo de enfatizar os conceitos básicos da TRR, e para isso foi organizado em seis módulos de forma que reuniam textos por áreas afins, sendo: visão inicial sobre a teoria, com conceitos de física clássica e moderna; teoria da relatividade; tecnologia e sociedade; história da ciência, e, as fronteiras da ciência. Os textos, disponibilizados em links, possuem ilustrações, filmes e animações para facilitar a construção do conceito por parte dos estudantes.

Assim como o nosso trabalho, os autores utilizaram o princípio da diferenciação progressiva, teoria ausubeliana, ao fazerem o uso de sequências de telas para apresentarem os aspectos mais gerais, e, por fim, os mais específicos. Os links também proporcionavam ligações entre os conhecimentos anteriores dos

estudantes e as novas ideias a serem estudadas, possibilitando que os alunos acessassem organizadores prévios quando não houvessem subsunçores para um determinado conceito, algo que consideramos de extrema importância.

Zanotta, Cappelletto e Matsuoka (2011) avaliaram uma atividade explorando os conceitos físicos de referenciais, ondas eletromagnéticas e a tecnologia utilizada no Sistema de Posicionamento Global (GPS) por meio do ponto de vista histórico e didático. Para isso, os autores construíram um texto com a descrição histórica do GPS, e, após esta etapa, relacionaram o seu funcionamento à TRR, uma vez que é preciso sincronizar os relógios atômicos utilizados nos satélites aos relógios da estação terrestre, e, paralelamente com as coordenadas.

Conforme os autores, atividades com abordagens tecnológicas podem transformar o local de ensino em um minilaboratório de Física devido ao fato de ocuparem pouco espaço ou serem acessíveis aos alunos (como exemplo o GPS do aparelho celular), além de tornarem as atividades mais atrativas durante o processo de ensino/aprendizagem.

Rodrigues, Sauerwein e Sauerwein (2014) discutem sobre as potencialidades do ensino da TRR por meio de explicações utilizando o GPS. Para isso, desenvolveram treze aulas e atividades com o objetivo de aproximarem os alunos de situações cotidianas, em que apresentavam aos alunos notícias sobre a obrigatoriedade do georreferenciamento de imóveis rurais e as suas identificações, por exemplo, e como os alunos utilizam um GPS para identificarem determinados locais.

Conforme relatos dos autores, esta atividade despertou um maior interesse dos alunos devido ao fato de ser diferenciada, pois além do uso do GPS, o professor também pode utilizar imagens ou vídeos, saindo do ensino tradicional.

#### 1.1.4 Artigos originais e/ou textos científicos

Nesta categoria, enquadramos 12 artigos e textos científicos que não são relacionados diretamente ao ensino de Ciências, ou seja, abordam a teoria com base no saber sábio, sendo necessário realizar uma transposição didática interna, para utilização no contexto de sala de aula (ERROBIDART, 2010). Também apresentamos o artigo original sobre a Teoria da Relatividade Restrita, publicado em 1907 por Albert Einstein, reimpresso em 2005.

Moreira (2005) relata em seu trabalho as teorias propostas por Einstein ao longo de sua carreira científica, começando pelo relato sobre o movimento browniano com as cartas trocadas entre Einstein e Conrad Habicht. Também anuncia as ideias sobre a natureza da luz e a teoria sobre a luz ser uma onda eletromagnética. Ainda relata as discussões sobre a unificação de duas áreas que estabeleçam a relatividade especial: a mecânica e a eletrodinâmica. Complementando o ano miraculoso, descreve a TRR. É importante ressaltar que em seu artigo, Moreira (2005) realiza um levantamento de todas as teorias propostas por Einstein, assim como, as suas observações e contribuições de outros cientistas, desmistificando o fato de que apenas um cientista criou uma teoria sozinho e “do nada”.

Martins (2005) descreve em seu trabalho as ideias e os resultados sobre a dinâmica relativística em relação a massa, energia e momento, antes da publicação feita por Einstein em 1905. Com isso, faz uma comparação entre tais trabalhos e o postulado de Einstein, mostrando que tais conceitos já tinham sido obtidos por meio das teorias descritas no eletromagnetismo, realizando uma pequena abordagem histórica em relação a tentativa de provar a existência do éter. Após realizar a comparação, Martins (2005) cita as teorias que já existiam até o postulado de Einstein, concluindo que até Einstein, os demais cientistas afirmavam que o eletromagnetismo explicava todas as leis da matéria, não sendo válido para a mecânica relativística.

No artigo Física e realidade – traduzido e reimpresso - Einstein (2006) apresenta seu método científico abordando a Teoria da Relatividade por meio de uma discussão filosófica, a criação dos conceitos e o que possuem em comum. Este artigo foi uma tradução e reimpressão das anotações de Einstein, publicado originalmente no Journal of the Franklin Institute, em 1936.

De Holanda Cavalcanti e Ostermann (2007) realiza uma análise sobre as deformações geométricas em três objetos em movimento relativístico: uma barra retilínea, um aro circular e uma esfera. Escolheram estudar tais deformações devido ao fato de que muitos livros de física apontam tais objetos, quando em movimento relativístico, vistos pelo observador de maneira contraída em relação ao movimento. Com isso, os autores destacam que a contração poderia ser medida e não vista pelo observador, concluindo que o movimento aparece de maneira confusa nos livros

didáticos de física, levando muitas vezes a um entendimento errôneo sobre a Teoria da Relatividade Restrita.

Falciano (2007) realizou uma releitura sobre a abordagem do paradoxo dos gêmeos em sua formulação convencional, apresentando seus pontos chave e as dimensões espaciais de maneira compactada. Nesta versão, os gêmeos se reencontram de forma com que nenhum sofra aceleração, ou seja, sem a assimetria que é convencionalmente utilizada para a resolução do problema. Com isso, o autor afirma que é possível analisar qual o verdadeiro papel da aceleração na relatividade restrita.

Fauth et al (2007) apresentam em seu trabalho uma atividade experimental de física moderna realizada com um telescópio de múons da radiação cósmica. Os autores escolheram a pesquisa com raios cósmicos devido ao fato de que as partículas elementares estão relacionadas diretamente com a matéria e, para buscarem mais respostas quanto a origem desta radiação. Esta atividade foi realizada utilizando um telescópio de múon, composto de placas de cintiladores plásticos alinhados verticalmente e operando em regime de coincidência temporal de sinais, que permite contar a taxa de partículas em função de um fluxo de múon descentendes. Esta quantidade de fluxo só pode ser explicada pela Teoria da Relatividade Restrita devido ao fato de sua alta velocidade. Os autores concluíram neste experimento que a utilização dos múon é uma das maneiras mais eficientes e seguras de se demonstrar os efeitos da cinemática relativística, uma vez que à alta velocidade, a mecânica clássica se torna inconsistente devido a dilatação do tempo e a contração do comprimento, ambos previstos pela TRR.

O trabalho de Porto e Porto (2008) apresenta uma exposição de conceitos e ideias sobre o espaço e o tempo, até o conceito de espaço absoluto, proposto por Newton, e as transformações citadas por Einstein em seu trabalho. Também enfatizam as críticas filosóficas em relação a ideia do movimento absoluto que deram origem a Teoria da Relatividade Restrita e Geral. Os autores concluem que é preciso compreender tais ideias para poder transmiti-las em uma linguagem acessível aos estudantes, sendo um grande desafio a ser superado na transposição científica para o ensino.

De Conto et al (2013) apresentam uma abordagem alternativa realizada por Bondi sobre a discussão do fator K: o momento linear relativístico e a energia total relativístico. Para isso, o autor discute primeiramente quais foram os resultados

obtidos pela Relatividade Restrita de Einstein, como a dilatação temporal, contração espacial e simultaneidade de eventos. Os resultados apontam que o cálculo K possui maior vantagem, pois facilita a compreensão dos efeitos relativísticos.

Rocha, Rizzuti e Mota (2013) destacam em seu trabalho a conexão entre a teoria de grupos e as transformações entre referenciais, representadas por Galileu e Lorentz sobre o espaço-tempo. Com isso, os autores caracterizaram as ligações de referenciais absolutos e inerciais, este em especial devido ao fato de fornecer uma alternativa para a TRR. Para isso, dividiram o trabalho em duas seções. Na seção 1, utilizaram a teoria de grupos como ferramenta matemática, demonstrando que os grupos estão ligados tanto na mecânica clássica, quanto na mecânica relativística, dividindo o trabalho em seções.

Na seção 2, utilizam a teoria de grupos para estabelecer a conexão entre referenciais distintos; na seção 3, relacionam as transformações de Galileu com a representação da teoria de grupo sobre o espaço-tempo; na seção 4, discutem porque o grupo de simetrias da mecânica clássica deveria ser substituído por outro que também poderia ser aplicado as equações de Maxwell; e na seção 5, analisam o grupo das transformações de Lorentz. Os autores concluíram que ao dividirem a TRR em seções, fornecem uma introdução alternativa e didática para a TRR, uma vez que se evita deduções usuais comuns de serem encontradas na literatura, podendo então fornecer um material acessível e complementar para este estudo.

Peliti (2016) apresenta em seu trabalho as deduções das expressões do momento e da energia de uma partícula, que devido à alta velocidade, está sujeita ao princípio da relatividade. O autor escolheu tal tema devido ao fato de considerar alguns textos pouco satisfatórios, não abordando a dedução, ou então, não levando em consideração o movimento quântico e a abordagem eletrodinâmica; e até mesmo, apresentando conceitos errôneos sobre a massa relativística. O autor conclui que a elaboração deste trabalho possibilita a introdução clara e lógica dos conceitos básicos a respeito da dinâmica relativística.

Kneubil (2016) apresenta em seu trabalho a inter-relação entre as grandezas relativas e absolutas, presentes na geometria espacial e na TRR. Para isso, realizou uma discussão sobre a geometria e a existência das entidades dependentes independentes do referencial, comparando-a com o espaço geométrico tridimensional. Com isso, demonstra que a geometria cúbica é invariante em relação a qualquer um dos vértices, levando a repensar se na relatividade não há mais uma

coordenada a ser analisada, dando origem a relatividade proposta por Minkowski, percebendo esta distinção entre o espaço-tempo. A autora conclui que o tratamento dos fenômenos físicos em mais de três dimensões precisa de um novo tipo de matemática, uma vez que é preciso levar em consideração as coordenadas espaciais e temporais.

O artigo original, “Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento”, publicado em 1907, reimpresso e traduzido em 2005 aborda o Princípio da Relatividade e as suas implicações para as áreas da Física, assim como as transformações de Lorentz sobre o experimento negativo de Michelson e Morley ao tentar provar a existência do éter. E completando o seu trabalho, o cientista realiza uma abordagem geral nos trabalhos que surgiram na época, a partir de seu trabalho e de Lorentz.

Dentre os artigos descritos acima, destacamos aqueles que mais contribuíram para a pesquisa desenvolvida nesse mestrado.

Destacamos o uso do pêndulo empregado no trabalho de Santos (2006), uma vez que o utilizamos como base para a criação das Histórias em quadrinhos em que apresentamos o conceito de referencial inercial e não inercial, discutidas pelo cientista Isaac Newton.

O trabalho de Perez e Solbes (2006) apresenta o experimento imaginário proposto por Galileu Galilei e Johannes Kepler por cartas (anteriormente por Jean Buridan e Giordano Bruno), no qual discutem o movimento de um navio visto por dois observadores em diferentes referenciais (dentro e fora do navio).

O trabalho de Caruso e Freitas (2009) tem uma abordagem parecida com a nossa, no entanto, diferente do objetivo do autor, não realizamos uma oficina para o ensino da TRR e a construção das HQ's. Concordamos com os autores ao afirmarem que o uso das HQ's pode servir como instrumento de apoio aos professores devido ao fato de prenderem a atenção dos alunos, além do fator motivacional e lúdico.

Barros et al (2005) discutem em seu trabalho o uso da visão epistemológica contemporânea da ciência, ao inserirem a revisão por pares durante o texto histórico abordado: problemas da contração do comprimento e o conceito de éter.

Assim como o trabalho de Dahmen (2006), também tivemos como objetivo elaborar um material histórico da TRR, apontando a evolução de ideias e experimentos propostos, como por exemplo, a explicação para a natureza da luz.

Percebemos no trabalho de Silveira e Peduzzi a presença da visão epistemológica empirista-indutivista ao apresentarem os resultados científicos utilizando dados e resultados observáveis durante a experimentação. Assim, os autores evidenciam que Galileu Galilei desbancou a física aristotélica e a partir disso, continuou aplicando o mesmo método científico em seus experimentos, como por exemplo, nas medidas do movimento de um corpo em um plano inclinado. Outro tópico interessante também utilizado no trabalho de Silveira e Peduzzi (2006), foi a apresentação das influências pitagóricas-platônicas na Física ao demonstrarem que Galileu enfrentou objeções católicas ao afirmar publicamente que acreditava no Sistema Heliocêntrico, já defendido anteriormente por Copérnico.

Todavia, também identificamos a visão epistemológica ao longo do texto, uma vez que apresenta as influências de outros cientistas, a revisão por pares e o cotidiano da época. A partir desta visão, o trabalho apresenta o experimento de do interferômetro, e, a evolução da natureza da luz ao longo dos anos, sendo discutida pelos cientistas Christian Huygens, Robert Hooke, Thomas Young e Augustín Fresnel, no qual afirmaram que a luz tinha um caráter ondulatório devido a oscilação de sua fonte.

Concordamos com Guerra, Braga e Reis (2010) ao afirmarem que a abordagem histórica sobre a TRR possibilita a exploração de tópicos interdisciplinares, como por exemplo, a abordagem do contexto histórico e político vivenciado pelos cientistas.

Destacamos o trabalho de Caballero (2011), que ressalta o fato de que é necessário colocar em dúvida dos dados obtidos por James Clerck Maxwell em relação a teoria do eletromagnetismo

#### 1.1.5 Outros trabalhos encontrados

Apesar de a pesquisa bibliográfica contemplar apenas o período de 2005 a 2016, encontramos um trabalho, publicado no ano de 2017 que consideramos importante realizar uma pequena descrição: Afinal, Einstein usou ou não dados experimentais para propor sua relatividade restrita? Com a palavra, ele mesmo (DAMÁSIO E PEDUZZI, 2017).

Os autores investigam a ideia empirista dos resultados negativos dos experimentos de Michelson e Morley, que tinham como objetivo detectar o movimento da Terra em relação ao éter, o qual serviu como base para a formulação

final da Teoria da Relatividade Restrita proposta por Albert Einstein. Para isso, os autores construíram um texto, no qual simulam entrevistas e falas sobre a teoria com o cientista.

O texto começa questionando a importância do experimento do interferômetro para a TRR, descrito de forma bem detalhada, na qual acreditava-se que era uma onda que se propagava no em um meio, que denominavam éter; e posteriormente, discutem sobre o artigo publicado em 1905, intitulado como “Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento). Neste texto, apontam para o fato de que Einstein conhecia dos estudos de Maxwell em relação ao eletromagnetismo; e o resultado negativo do interferômetro (descartado pelo cientista), afirmando que teve importância fundamental na teoria.

Os autores afirmam que ao realizar a construção histórica das questões relacionadas a TRR, possibilita a desconstrução de opiniões ditas problemáticas em relação ao conhecimento científico, uma vez que muitos estudantes acreditam que a ciência é feita apenas de forma individual, o que não é o caso, uma vez que é necessário a revisão em pares e ambas discussões científicas para validar uma teoria.

A pesquisa bibliográfica teve como principal objetivo mostrar que a inserção da História e Filosofia da Ciência no ensino possibilita o desenvolvimento de competências propostas pelos Parâmetros Curriculares Nacionais, no qual o aluno deve ser um cidadão crítico e criativo, capaz de participar e alterar positivamente na sociedade.

Desta maneira, esta pesquisa apresenta uma proposta de estudo em enfoque histórico relacionado a Teoria da Relatividade Restrita, por isso a maior descrição desta seção.

Optamos por realizar esta descrição devido ao fato de que este trabalho teve grande influência no Capítulo 3, que apresenta uma discussão teórica sobre a História da Teoria da Relatividade Restrita.

Descrevemos no próximo Capítulo, a fundamentação teórica e metodológica que orientou a construção do roteiro e da HQ.

## CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E METODOLÓGICA

Neste Capítulo, apresentamos os elementos teóricos e metodológicos que orientam a pesquisa qualitativa e a construção do produto educacional.

Considerando a pretensão de produzir um material utilizando Histórias em Quadrinhos e História e Filosofia da Ciência em sua estruturação, decidimos pela realização de um estudo com uma abordagem do tipo qualitativa. Um estudo com abordagem do tipo qualitativa almeja a:

[...] objetivação do fenômeno; hierarquização das ações de *descrever*, *compreender*, *explicar*, a precisão das relações entre o global e o local em determinado fenômeno; observância das diferenças entre o mundo social e o mundo natural; respeito ao caráter interativo entre os objetivos buscados pelos investigadores, suas orientações teóricas e seus dados empíricos; busca de resultados os mais fidedignos possíveis; oposições ao pressuposto que defende um modelo único de pesquisa para todas as ciências (SILVEIRA e CORDOVA, 2009, p.32).

Todavia, para realizar um trabalho com tais características, o pesquisador precisa tomar alguns cuidados, pois durante a descrição de fenômenos, deve estar atento a questões subjetivas particulares, sendo:

[...] excessiva confiança no investigador como instrumento de coleta de dados; risco de que reflexão exaustiva acerca das notas de campo possa representar uma tentativa de dar conta da totalidade do objeto estudado, além de controlar a influência do observador sobre o objeto de estudo; falta de detalhes sobre os processos através dos quais as conclusões foram alcançadas; falta de observância de aspectos diferentes sob enfoques diferentes; certeza do próprio pesquisador com relação a seus dados; sensação de dominar profundamente seu objeto de estudo (SILVEIRA e CORDOVA, 2009, p.32).

Tomados os devidos cuidados para realizar a pesquisa qualitativa e a descrição dos fenômenos, buscamos obter uma maior familiaridade com o problema de pesquisa para então construir o texto histórico, que leva em consideração a evolução do conhecimento científico e o contexto histórico da época.

Para obter esta familiaridade, realizamos o fichamento dos trabalhos encontrados na pesquisa bibliográfica explorando os aspectos históricos, e após esta etapa, selecionamos os trabalhos que pudessem ser utilizados no texto histórico. Por fim, coletamos as informações que propiciassem um exame minucioso do problema por meio da análise de obras científicas e artigos, fontes primárias e secundárias de diversas áreas do conhecimento, que apresentavam algum tipo de relação com o objeto de estudo.

Especificamente, buscamos descrever o processo de construção da teoria da relatividade restrita valorizando aspectos sociais, procurando compreendê-los e explicá-los. Buscamos com a pesquisa bibliográfica “[...] o universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes, o que corresponde a um espaço mais profundo das relações, dos processos e dos fenômenos que não podem ser reduzidos à operacionalização de variáveis” (SILVEIRA e CORDOVA, 2009, p.32).

Desta forma, construímos um texto histórico para apoio do professor, e, um material que ele possa utilizar em sala de aula para o ensino da Teoria da Relatividade Restrita.

## 2.1 OS CAMINHOS PERCORRIDOS NA PESQUISA

Finalizada a pesquisa bibliográfica, iniciamos a parte que constituiu na construção do material histórico sobre a Teoria da Relatividade Restrita. Na construção do material, utilizamos as orientações sobre a natureza da ciência propostos por Mccomas, Almazroa e Clough (1998). Buscou-se construir uma abordagem que indicasse que:

o conhecimento científico, enquanto durável, tem um caráter não absoluto; o conhecimento científico baseia-se fortemente, mas não totalmente, na observação, nas evidências experimentais, nos argumentos racionais e no ceticismo; não existe uma maneira única de se fazer ciência, ou seja, não há um método científico universal; a ciência é uma tentativa de explicar os fenômenos naturais; leis e teorias exercem papéis diferentes na ciência, sendo que teorias não se tornam leis, mesmo quando evidências adicionais ficam disponíveis; pessoas de todas as culturas contribuem para com a construção/desenvolvimento da ciência; os novos conhecimentos devem ser comunicados de forma clara e aberta; os cientistas necessitam de registros precisos, revisão por pares e replicabilidade dos estudos realizados; as observações são carregadas de teorias; cientistas são criativos; a ciência é parte das tradições culturais e sociais; a história da ciência apresenta um caráter tanto evolutivo quanto revolucionário; a ciência e a tecnologia impactam uma à outra; ideias científicas são afetadas pelo seu meio social e histórico (MCCOMAS, ALMAZROA e CLOUGH, 1998, p.513, tradução nossa).

Após definida o tipo abordagem, começamos a construção do texto histórico para o professor, que tem como principal objetivo ser um material de uso em sala de aula. Este material foi desenvolvido a partir dos textos selecionados durante a pesquisa bibliográfica com base no entendimento presente em pesquisas da área de ensino, que sugerem que o uso da História e Filosofia da Ciência pode contribuir com o processo de ensino porque favorece a compreensão do processo de construção de uma teoria.

Assim, buscamos apresentar, ao professor e aluno, algumas das dificuldades enfrentadas pelos cientistas, os erros e acertos experimentais e teóricos e a evolução do conhecimento científico no decorrer dos anos.

Para a última etapa, destinada aos alunos, construímos um material em Histórias em Quadrinhos baseado no texto histórico do professor. Para isso, desenhamos inicialmente todos os cientistas presentes no texto histórico. Após a primeira etapa de desenho, definimos as falas das personagens e as narrativas necessárias para ligar um quadrinho ao outro, e então, desenhamos cada cena separadamente em um tablet.

As HQ's materializam um modelo de ensino que pode ser utilizado pelo professor como ferramenta de apoio para a sua aula, um organizador prévio, uma ferramenta para facilitar a consolidação do conteúdo, uma atividade de tarefa ou avaliação da aprendizagem significativa. Isto porque, de acordo com Rama e Vergueiro (2008, p. 21), “[...] palavras e imagens, juntos, ensinam de forma mais eficiente”, e para isso, buscamos apresentar um “[...] alto nível de informação nos quadrinhos”.

## 2.2 AS DIFICULDADES DO USO DA HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DA TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA

Em trabalho anterior evidenciamos que os poucos relatos de história da ciência utilizados em livros didáticos apresentam indícios de uma abordagem pautada numa visão epistemológica empirística-indutivística. Neles evidenciamos aspectos que levam o leitor a considerar que:

1 - A observação como a fonte e a função do conhecimento. Todo o conhecimento deriva direta ou indiretamente da experiência sensível (sensações e percepções); 2 – o conhecimento científico é obtido dos fenômenos (aquilo que se observa), aplicando-se as regras do método científico, ou seja ele constitui-se em uma síntese indutiva do observado, do experimentado; a especulação, a imaginação, a intuição e a criatividade não devem desempenhar qualquer papel na obtenção do conhecimento científico; as teorias científicas não são criadas, inventadas ou construídas, mas descobertas em conjunto de dados empíricos, sendo a ciência neutra, livre de pressupostos ou preconceitos (SILVEIRA, 1992, p. 36).

Considerando essa visão epistemológica empirística-indutivística seria inadequada para estruturação do conteúdo histórico apresentado no produto educacional, buscamos uma nova forma de descrever a construção histórica. Iniciamos a descrição chamando atenção do leitor sobre quais foram as questões iniciais ou problema que deu início a construção científica descrita. Posterior a isso

apresentamos as ideias e teorias apresentadas como resposta para a problemática e as contribuições de possíveis colaboradores desse processo de construção do conhecimento.

Na construção do produto educacional buscou-se compreender os eventos investigados e possíveis relações entre os sujeitos envolvidos no processo. Para isso, é necessário “[...] ir à gênese da questão, procurando reconstruir a história de sua origem e de seu desenvolvimento” (FREITAS, 2002, p. 27).

Para a construção do roteiro das Histórias em Quadrinhos partimos do entendimento de que:

a ciência é uma atividade humana influenciada pelo contexto sociocultural de cada época; teorias científicas não podem ser provadas e não são elaboradas unicamente a partir da experiência; o conhecimento científico baseia-se fortemente, mas não inteiramente, na observação, evidência experimental, argumentos racionais e ceticismo (FORATO, 2009, p.51).

Além disso, nos preocupamos com a seleção do conteúdo histórico, o tempo didático disponível, a simplificação e omissão de informações, o relativismo de ideias, as inadequações dos trabalhos especializados da história da ciência para o ensino médio, as narrativas históricas dos livros didáticos, os benefícios das reconstruções, tal como pontua Forato (2009, p. 51).

Segundo a autora, existem algumas dificuldades para este tipo de construção. A primeira dificuldade, a seleção do conteúdo histórico, aponta para a necessidade de avaliar inicialmente quais serão os tópicos abordados de acordo com o objetivo desejado e realizar a busca. A Segunda é o tempo didático, ou seja, o tempo disponível para trabalhar todo o conteúdo da sequência didática, no qual varia de acordo com o ambiente e a quantidade de alunos e do conteúdo histórico proposto, no qual “é necessário selecionar episódios históricos bem delimitados sem incorrer em narrativas históricas muito superficiais” (FORATO, 2009, p.51).

A terceira dificuldade está relacionada com a construção da narrativa histórica apresentada, na qual deve ser apresentada de forma a permitir a problematização e a observação dos fenômenos e experimentos, e ao mesmo tempo, valorizar a importância da observação e a construção do conhecimento científico. Desta forma, como Forato (2009) aponta, o nível de profundidade histórico deve ser simplificado, no entanto, deve-se tomar cuidado para não omitir informações importantes.

Lidar com o fazer científico sem distorcê-lo requer apresentar uma quantidade significativa de detalhes envolvidos na elaboração de teorias, na observação dos

fenômenos, levando em conta uma contextualização minimamente necessária. *Simplificação* e *omissão* é sem dúvida um desafio a enfrentar (FORATO, 2009, p.52).

A quarta dificuldade aponta para a construção da narrativa histórica, que normalmente é apresentada por meio de uma visão relativa das ideias, como por exemplo, o ponto de vista de um cientista, e não a visão geral do conceito e a sua construção. Para que isso deixe de ocorrer, é preciso apresentar a problematização e observação dos fenômenos de forma neutra, e, valorizar “a importância da observação, da evidência experimental, dos argumentos racionais e do ceticismo na construção do conhecimento científico” (FORATO, 2009, p.52) por parte de outros cientistas, com o objetivo de evitar o relativismo.

Provavelmente esta dificuldade seria minimizada se os trabalhos de pesquisa realizados pelos historiadores fossem transpostos e adequados para o ensino de ciências. Os resultados destes trabalhos teriam que abordar os aspectos contextuais e os conteúdos científicos abordando prescrições historiográficas atuais, aspectos contextualizados e um nível científico compatível com o ensino de ciências. Esta dificuldade também é causa de outro grande problema no ensino de ciências: o uso ingênuo da história apresentado nos livros didáticos. Logo, a história é configurada como uma pseudo-história, perpetuando uma visão ultrapassada da ciência, na qual apresenta pequenas versões, que muitas vezes são distorcidas da realidade.

### 2.3 HISTÓRIA EM QUADRINHOS COMO ESTRATÉGIA DE ENSINO

O uso de HQ's está sendo cada vez mais frequente no ambiente escolar pois possibilita que os professores realizem discussões conceituais de forma mais simplificada, além de ser um diferencial em sala de aula, que muitas vezes aborda apenas o uso de cálculos matemáticos, muito frequente no ensino de Física. Para Frederico e Gianotto, enquanto as falas têm um número finito de caracteres, a linguagem visual na imagem pode “ocorrer sem limites” (FREDERICO e GIANOTTO, 2012, p.202).

Isso porque as imagens das HQ's “tem o objetivo de indicar aquilo que a linguagem não mostra, acrescentando elementos temporais e espaciais ao contexto pretendido, conseguindo estabelecer uma união lógica das vinhetas e quadros” (TESTONI e ABIB, 2003, p.4). A imagem carrega o significado sem precisar necessariamente de mais informações, possibilitando que o leitor perceba questões

sem maiores explicações, como por exemplo: uma lâmpada sobre a cabeça de um avatar significa que ele teve uma ideia.

A escolha da criação de HQ's no ambiente escolar implica em uma seleção de ideias e desenhos feitos de maneira criteriosa, para evitar que seja uma atividade lúdica, e por isso, só deve ser iniciada após a discussão do texto de apoio e a seleção do contexto a ser recriado.

Autores como Pena (2003), Caruso, Carvalho e Silveira (2002), Caruso e Freitas (2009), Frederico e Gianotto (2012), Souza (2014), Londero (2014) afirmam que as HQ's no ensino têm se mostrado uma ferramenta de ensino eficiente e que pode ser explorada pelos professores, e o mais importante, possui apenas a criatividade do aluno (ou professor) como limite. O professor pode:

[...] usá-los como motivação antes dos livros didáticos (para iniciar a discussão de um tema, induzir o diálogo, atrair, despertar, instigar a curiosidade para o conteúdo da disciplina e levantar os conhecimentos prévios dos alunos); como exemplo do que foi ensinado (para ratificar a informação dada); apresenta-los nas aulas aos futuros professores da disciplina para que sejam montados projetos com o material (para o futuro professor aprender a desenvolver, através (sic) dos “quadrinhos”, a crítica e a criatividade dos alunos, corrigindo as distorções conceituais); pedir aos alunos que criem seus próprios “quadrinhos”; após a discussão do conteúdo, distribuir os alunos em pequenos grupos e pedir que relatem o conceito exposto nas “tirinhas”, interagindo para discuti-lo e montando perguntas que eles mesmos vão responder, dando aula uns aos outros. Depois o professor os corrige e acrescenta o que é necessário; ler a “historinha” (ou solicitar que os alunos leiam), comentá-la e discuti-la com a turma. Depois dividir os alunos em grupos e propor a realização de alguns experimentos e/ou ilustrações sobre o tema tratado nos “quadrinhos”; criar exercícios e problemas a partir de histórias em quadrinhos; dar aos alunos “quadrinhos” com distorções conceituais, e solicitar aos alunos (divididos em grupos) que encontrem e corrijam as distorções; utilizar “tirinhas” (sem balões de fala) que tratem de um determinado conceito científico, e pedir para que os alunos criem balões de fala que retratem as imagens e falem sobre o conceito científico explícito na “historinha” (PENA, 2003, p.21).

Conforme Vergueiro (2008), além dos itens pontuados acima, o emprego da História em Quadrinhos no contexto educacional se justifica pelo:

a) [...] fato dos estudantes quererem ler os quadrinhos; b) palavras e imagens, juntos, ensinam de forma mais eficiente; c) existe um alto nível de informação nos quadrinhos; d) as possibilidades de comunicação são enriquecidas pela familiaridade com as histórias em quadrinhos; e) os quadrinhos auxiliam no desenvolvimento do hábito da leitura, f) os quadrinhos enriquecem o vocabulário dos estudantes; g) o caráter elíptico da linguagem quadrinhística obriga o leitor a pensar e imaginar; h) os quadrinhos podem ser utilizados em qualquer nível escolar e com qualquer tema (RAMA e VERGUEIRO, 2008, p.21).

Todavia, antes do uso das HQ's como ferramenta educacional, Rama e Vergueiro (2008, p. 31) salientam a necessidade de se promover um processo de

alfabetização da linguagem quadrinhística, pois isso é “indispensável para que o aluno decodifique as múltiplas mensagens neles presentes e, também, para que o professor obtenha melhores resultados em sua utilização”.

#### 2.4 A LINGUAGEM DOS QUADRINHOS

Os quadrinhos exploram dois tipos de linguagens para transmitir a mensagem desejada, a verbal e a visual. Sua leitura ocorre da mesma forma que em um texto: do alto para baixo e da esquerda para a direita.

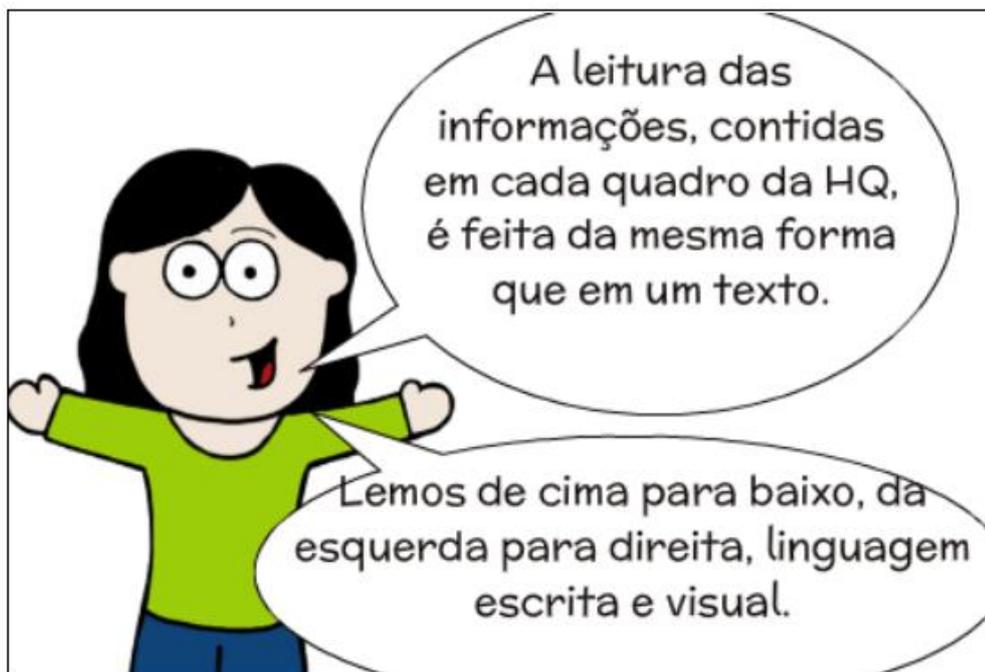
Emprega-se balões para expressar a linguagem verbal que representa a fala ou pensamento dos personagens da HQ, inseridos próximo dos mesmos e que se constituem em códigos que propiciam ao leitor a impressão de ouvir o personagem ao ler as palavras inseridas nos balões. “Isso acontece porque, principalmente pelo balão, as histórias em quadrinhos se transformam em um verdadeiro híbrido de imagem e texto, que não podem mais ser separados. O balão é a intersecção entre imagem e palavra” (RAMA e VERGUEIRO, 2008, p. 56).

Para a decodificação da mensagem contida no balão, o leitor deve considerar tanto imagem e texto como outros elementos do código que são mais ou menos os icônicos por natureza. Como característica única dos quadrinhos, o balão representa uma densa fonte de informações, que começam a ser transmitidas ao leitor antes mesmo que este leia o texto, ou seja, pela própria existência do balão e sua posição no quadrinho. Ele informa que um personagem está falando na primeira pessoa.

A presença do balão ligado por um prolongamento chamado rabicho, apontando para um personagem, é um alerta ao leitor, dando-lhe a seguinte mensagem: eu estou falando.

Como mais de um personagem pode falar em um mesmo quadrinho, o balão também funciona, pela sua disposição, como um indicador da ordem dos falantes, acompanhando a direção linear pela qual se lê (RAMA e VERGUEIRO, 2008, p. 56 - 57).

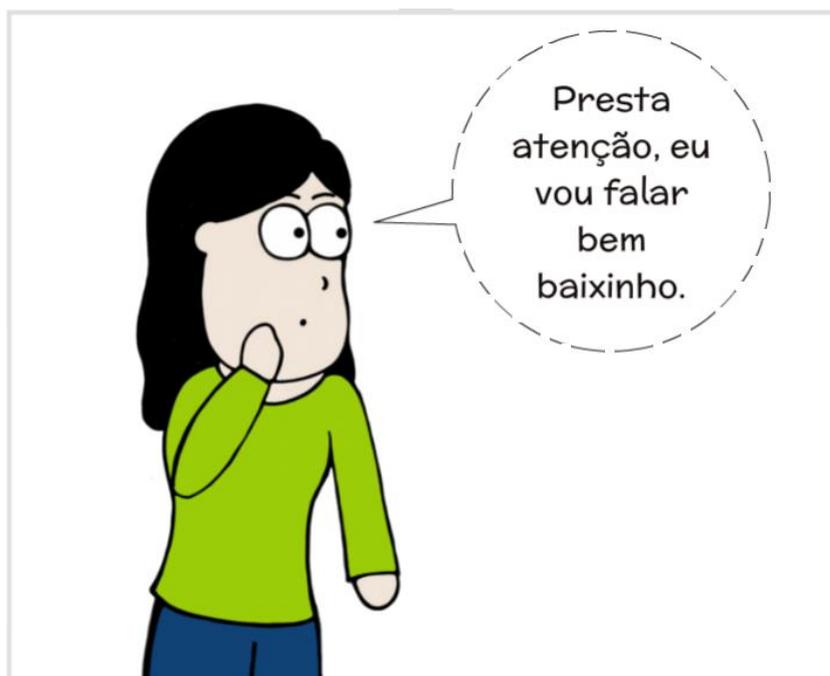
**Figura 1:** balões redondos apontando para o personagem que está falando.



**Fonte:** a autora

Os diferentes formatos de balões apresentam ao leitor informações além da mensagem escrita que representa a comunicação entre os personagens: linhas tracejadas indicam fala em voz baixa ou cochicho (Figura 2).

**Figura 2:** Balão tracejado indicando que o personagem está falando em voz baixa



**Fonte:** a autora

Os balões na forma de nuvens com rabicho em bolhas indicam pensamento (Figura 3).

**Figura 3:** Balões em formato de nuvem, indicando que o personagem está pensando.



**Fonte:** a autora

Além dos balões em formato circular/arredondado que indicam conversa normal temos balões em zig-zag. Eles sinalizam voz alta ou grito (Figura 4).

**Figura 4:** Balão indicando que a personagem está falando em voz alta ou gritando.



**Fonte:** a autora

Um balão com múltiplos rabichos (Figura 5) indica vários personagens falando ao mesmo tempo.

**Figura 5:** Balões indicando quando vários personagens estão falando ao mesmo tempo.



**Fonte:** a autora

A ligação de um balão com outro (Figura 6) indica pausa na conversação.

**Figura 6:** Balão indicando uma pausa na fala do personagem.



**Fonte:** a autora

Quando o rabicho é levado para fora da vinheta (Figura 7) temos a indicação de que o personagem não está na ilustração apresentada (RAMA e VERGUEIRO, 2008).

**Figura 7:** Balão indicando que o personagem que está falando não está presente no quadrinho.



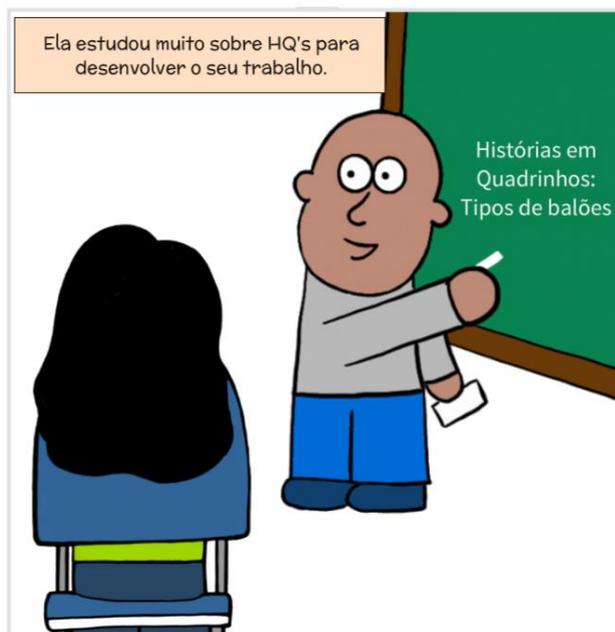
**Fonte:** a autora

O formato do texto contido dentro dos balões também representa uma mensagem, além do significado expresso pelas palavras propriamente utilizadas:

O tamanho normal que o maior, em negrito – significa que as palavras são pronunciadas em tom mais alto que o normal, em geral ligadas a situações de dominação, a expressão de um comando etc.; o tamanho menor que o normal – representa um tom de voz mais baixo, expressando atitude de submissão, timidez ou a busca de um ambiente confidencial; tremidas – significam medo; se o tamanho da letra for maior que o normal, deve ser interpretado como um grito de pavor ou de susto; em alfabetos ou tipologias diferentes – representam que o emissor da mensagem está se comunicando em um outro idioma, em geral não familiar a outros personagens da história (e, imagina-se, tampouco ao leitor) (RAMA e VERGUEIRO, 2008, p. 60 - 61).

Alguns quadros podem apresentar, além da comunicação entre os personagens, a intervenção de um narrador da história, aspecto que pode ocorrer também quando temos apenas a linguagem visual no quadrinho. Nestes casos, insere-se no canto superior esquerdo do quadrinho um retângulo (Figura 8), que pode ou não ter o fundo destacado (RAMA e VERGUEIRO, 2008).

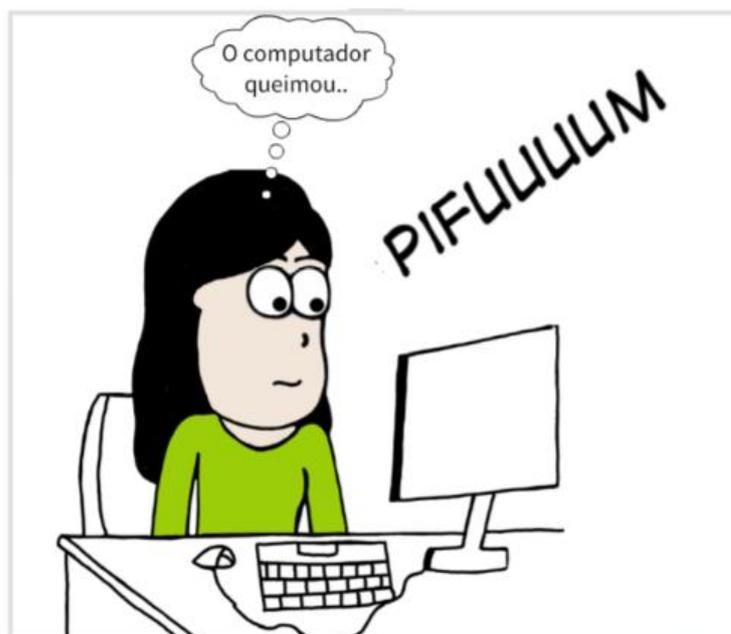
**Figura 8:** Balão retangular indicando a inserção do narrador da história no quadrinho.



**Fonte:** a autora

Outro recurso que pode ser empregado é um conjunto de palavras ou fonemas que buscam imitar o barulho ou som emitido por uma fonte (Figura 9), as onomatopeias. Elas aparecem em letras maiores e destacadas nos quadros (RAMA e VERGUEIRO, 2008).

**Figura 9:** Onomatopeia indicando que o computador parou de funcionar.



**Fonte:** a autora

Para o aluno ler ou construir uma HQ, o professor precisa inicialmente promover a alfabetização. Saliemos o entendimento de que para desenhar os quadrinhos, o aluno precisa demonstrar determinado domínio cognitivo do conteúdo que vai explorar na HQ, o qual, pode influenciar no processo de planejamento e construção da comunicação verbal dos personagens e escolha e utilização de cenários.

### CAPÍTULO 3 - UMA DISCUSSÃO HISTÓRICA DA TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA

Quando o assunto é a Teoria da Relatividade Restrita, automaticamente, muitas pessoas a associam ao cientista Albert Einstein. Em uma breve pesquisa em livros acadêmicos, encontramos frases, como por exemplo:

$E = mc^2$  estava certo. A pequena e elegante sequência de símbolos que inicia o título desse (sic) box e, certamente, a fórmula mais famosa da ciência. Ela foi idealizada pelo físico de origem alemã Albert Einstein (1879 – 1955) em 1905, como consequência de sua teoria da Relatividade Restrita (BISCUOLA, BÔAS e DOCA, 2013, p. 291).

Muitos dos livros didáticos utilizados para o ensino de Física não levam em consideração relatos históricos, mas sim, trazem concepções que devem ser aceitas como verdades absolutas. Todavia, muito antes da formulação de 1905, outros cientistas e filósofos (Figura 10) realizavam pesquisas sobre o tema e por isso, muitos historiadores tentam desmistificar essa visão, dedicando-se a explicar outras ideias, fatos e experimentos (PORTO e PORTO, 2008; DAMASIO e RICCI, 2009; PATY, 2010; MARTINS, 2015).

**Figura 10:** Representação de alguns dos cientistas, filósofos e matemáticos que contribuíram para a formulação da TRR.



**Fonte:** a autora.

Dentre as contribuições, destacamos cientistas como Galileu Galilei, Isaac Newton, que já utilizavam os conceitos do movimento relativo em baixa velocidade,

que estrutura a teoria na área da mecânica clássica, e Hendrik Lorentz, James Clerk Maxwell e Henri Poincaré por desenvolverem trabalhos parecidos a formulação final. Em alguns livros didáticos, encontramos menções a esses cientistas.

A Teoria da Relatividade Especial é o resultado do trabalho dos cientistas – físicos, matemáticos, filósofos – que, trabalhando em áreas aparentemente desconexas como a mecânica e o eletromagnetismo, levantaram singularidades que não podemos perceber em nosso cotidiano, mas mudaram completamente a maneira como entendemos o espaço e o tempo (YAMAMOTO e FUKE, 2013, p.246).

Algumas propostas surgiram e, nesse contexto de efervescência de ideias e resultados, cientistas como Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928) e Jules Henri Poincaré (1854-1912) foram fundamentais para o desenvolvimento da teoria da relatividade. Eles lançaram sementes para que Albert Einstein (1879-1955) pudesse publicar, em 1905, um artigo (Sobre a Eletrodinâmica dos corpos em movimento) que, além de sugerir uma explicação que prescindia da hipótese do éter, representou uma profunda mudança na maneira de interpretar o universo físico (BARRETO FILHO e SILVA, p. 268-269).

Ele (Einstein) não chegou às teorias que lhe deram fama de forma totalmente isolada. [...] A teoria da relatividade é fruto não apenas da sua capacidade lógica, mas também da capacidade de reunir, de uma maneira sintética e organizada, o que outros cientistas já afirmavam. [...] Poincaré, Minkowski, Besso e muitos outros cientistas tiveram participação direta ou indireta no desenvolvimento da teoria da relatividade, tanto da especial quanto da geral (MAXIMO e ALVARENGA, 2013, p. 304).

Visando mostrar tais contribuições (e de outros cientistas), elaboramos um texto histórico com o objetivo de relatar as ideias, pensamentos, experimentos entre outros, desde Galileu Galilei, até a formulação final apresentada por Albert Einstein, em 1905. Durante a construção, tomamos o cuidado de evitar os problemas listados na literatura relacionados à abordagem de aspectos históricos no Ensino de Ciências, discutidos no capítulo 2.

Este texto tem como principal objetivo auxiliar o professor de Ciências na construção histórica da Teoria da Relatividade Restrita.

### 3.1 O COMEÇO DE UMA HISTÓRIA: DE GALILEU E KEPLER

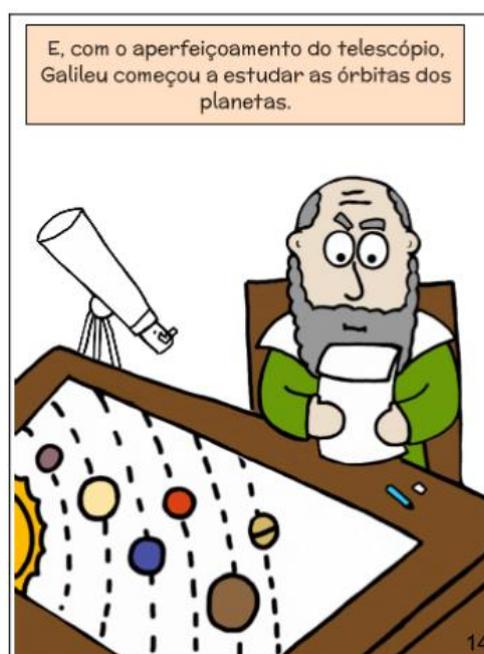
Quando Albert Einstein, com o objetivo discutir qual seria o resultado de experimentos imaginários sobre o comportamento da luz em diferentes referenciais, apresentou a sua formulação da Teoria da Relatividade Restrita, a fez com base em dois postulados, sendo: o princípio da relatividade e o princípio da constância da luz. A descrição destes postulados é a seguinte:

[...] as tentativas sem sucesso de verificar que a Terra se move em relação ao “meio luminoso” [éter] levaram à conjectura de que, não apenas na mecânica, mas também na eletrodinâmica, não há propriedades observáveis associadas à ideia de repouso absoluto, mas as mesmas leis eletrodinâmicas e ópticas se aplicam a todos os sistemas de coordenadas nos quais são válidas as equações da mecânica [...]. Elevaremos essa conjectura (cujo conteúdo será daqui por diante chamado de “princípio da relatividade”) à posição de um postulado; e, além disso, introduziremos um outro postulado que é apenas aparentemente inconsistente com o primeiro, a saber, que a luz no espaço vazio sempre se propaga com uma velocidade definida  $V$  que é independente do estado de movimento do corpo que a emite (EINSTEIN, 1905, p. 2 apud MARTINS, 2008, p.2).

Ao apresentar o primeiro postulado, o princípio da relatividade, Einstein não afirmou que este estava de acordo com todas as leis da Física, mas sim, apenas para com as leis da Óptica e do Eletromagnetismo, tal como destacado na citação. Estes postulados estão relacionados a uma proposição anterior, datada do século XVI.

Naquele período, o filósofo, matemático e astrônomo italiano, Galileu Galilei (1564 – 1642), assim como Einstein, afirmava que as suas ideias descreviam a natureza de maneira correta, e por isso, teve muitos problemas. Um desses problemas estava relacionado com as órbitas planetárias, em que conforme os seus estudos, observou que elas descreviam um movimento circular uniforme ao redor do Sol<sup>1</sup>, como ilustra a Figura 11.

**Figura 11:** Os estudos de Galileu a respeito do Sistema Heliocêntrico.



**Fonte:** a autora.

<sup>1</sup> Galileu, defensor das ideias copernicanas, defendia o Sistema Heliocêntrico.

Galileu aperfeiçoou um telescópio<sup>2</sup> que estava sendo vendido em Veneza por um alto custo, utilizando espelhos, lentes de vidro e técnicas de polimentos. Para chegar ao telescópio adequado, Galileu construiu reconstruiu inicialmente quatro outros, conseguindo apenas observar velas de navios distantes. Apenas o quinto telescópio<sup>3</sup>, como evidencia a Figura 12, com poder 30 vezes maior que o seu primeiro, Galileu utilizou o telescópio também para observar os satélites de Júpiter, montanhas da Lua, anéis de Saturno e as fases de Vênus, entre outros. A observação das fases de Vênus foi uma de suas mais importantes descobertas, pois a utilizou a favor da teoria Heliocêntrica (TOSSATO, 2004; MARTINS, 2009).

**Figura 12:** Quadrinho utilizado para apresentar a construção coletiva do telescópio.



**Fonte:** a autora.

<sup>2</sup> Em 1609, Galilei comprou o que seria o primeiro telescópio. Esse, foi construído por um aprendiz de oculista, Hans Lippershey, com apenas duas lentes e posteriormente redesenhado por Galileu com o objetivo de ver objetos distantes (MARTINS, 2009).

<sup>3</sup> Nesse quadrinho, o professor pode discutir o fato de que Galileu não foi o inventor do primeiro telescópio, mas que o aperfeiçoou, e após várias tentativas (como evidenciamos ao colocar uma pilha de telescópios no chão) conseguiu construir um telescópio potente o suficiente para observar objetos celestes, assim como o fato de que teve ajudante durante o processo, como por exemplo, para o polimento das lentes.

As ideias de Galileu eram difíceis de serem aceitas pelos estudiosos conservadores e mais religiosos da época. Para alguns matemáticos e astrônomos, era a prova que faltava contra o fracasso do modelo aristotélico-ptolomaico e a favor do modelo copernicano.

Galileu costumava a escrever cartas aos seus amigos, com o objetivo de discutir as suas observações e conclusões.

Este costume era comum no período do Renascimento, e, para evitar problemas com a Igreja Católica, alguns filósofos e cientistas faziam o uso de nomes fictícios ao assinar as suas cartas e documentos. Este costume também era observado entre religiosos que contribuíam para a construção do conhecimento científico ou buscavam alternativas para conciliar as Sagradas Escrituras com discussões relacionadas ao sistema planetário. Um destes colaboradores era o padre Benedetto Castelli, amigo de Galileu (MARICONDA, 2000).

Em 1613, Galileu escreveu uma carta para o seu amigo e colaborador, padre Castelli, defendendo o modelo de Tycho Brahe, compatível com a física aristotélica e as suas observações, e, assim assumindo publicamente o seu posicionamento sobre o sistema planetário. Ao receber esta carta, o padre mandou fazer cópias e distribuir aos outros colegas religiosos.

Com a carta e conforme o aprimoramento da luneta, o descontentamento da comunidade religiosa aumentava, e, por isso a Igreja passou a monitorar as cartas de Galileu.

Em suas teorias contra o Sistema Geocêntrico, Galileu discutia sobre satélites de Júpiter, o brilho dos corpos celestes e o movimento dos planetas, indicando que as teorias defendidas pela Igreja poderiam estar incorretas.

Alguns religiosos reclamavam da exposição das Sagradas Escrituras, da pouca reverência de Galileu há alguns religiosos que se dedicavam a estudos semelhantes e, principalmente, ao pouco caso a filosofia de Aristóteles (MARICONDA, 2000).

Esses religiosos começaram a pressionar o Papa, que era um simpatizante das ideias de Galileu, a tomar um posicionamento a respeito. Para acalmar os ânimos dos integrantes da Igreja, um dos Cardeais sugeriu que Galileu deveria escrever uma solução de compromisso, tornando pública que as suas conclusões sobre as observações astronômicas eram apenas hipóteses.

Contudo, Galileu se recusou a fazer esse compromisso, argumentando que aqueles que o questionavam não tinham como base resultados astronômicos, e isso provocou mais revolta na comunidade religiosa (Figura 13).

**Figura 13:** Representação dos religiosos.



**Fonte:** a autora.

Em 1616, Galileu foi convocado pelo Papa a prestar esclarecimentos. Com isso, Galileu viajou até Roma com o objetivo de convencer as autoridades da Igreja Católica, mostrando os resultados de suas observações com a luneta (MARICONDA, 2000).

Neste encontro, Galileu foi apenas advertido verbalmente pelo Papa, ficando proibido de defender publicamente o Sistema Heliocêntrico. Galileu foi avisado que se insistisse na divulgação de suas ideias, seria intimado pelo Tribunal do Santo ofício, e que a sua pena resultaria em seu encarceramento.

Apesar de ser advertido, Galileu continuou os seus estudos com acompanhamento da Igreja. Esta vigilância durou aproximadamente 17 anos,

provavelmente porque Galileu era um dos poucos membros da academia de Lince<sup>4</sup>. Neste período, Galileu vivenciou uma intensa competição científica com os membros da Igreja, que se dedicavam aos estudos das ciências naturais (MARICONDA, 2000). Eles eram responsáveis pelo movimento educacional humanista do período renascentista. As divergências entre eles estavam associadas as observações e conclusões sobre as manchas solares e a natureza dos cometas, principalmente.

O tribunal da Inquisição foi criado pela Igreja Católica muito tempo antes do Século XVI, com o objetivo de julgar as questões de fé. Os problemas de Galileu com a Igreja, que iniciaram na advertência recebida em 1616 e culminaram com a sua condenação, em 1632, tinham como fontes as divergências com o Padre Orazio Grassi (usava Lotario Sasi como pseudônimo).

Orazio era membro da Companhia de Jesus, que tinha muita influência no Tribunal. A ridicularização dos estudos de Orazio sobre os cometas foi considerada pela ordem dos jesuítas como uma afronta a todos os seus teólogos, filósofos e cientistas da época, mas, como o livro de Galileu, *Diálogo sobre os principais sistemas do mundo – o ptolomaico e o copernicano*, recebeu a benção do Papa Urbano VII para ser publicado, contestá-lo publicamente seria a mesma coisa que afrontar a autoridade da Igreja. Alguns estudos indicam que o Papa era amigo de Galileu e esse poderia ser um dos motivos do processo contra Galileu demorar tanto tempo.

Apesar de seu livro ter sido aclamado por toda a Itália, a Igreja não gostou muito de suas provas, condenando Galileu a Inquisição, que, sob ameaça de tortura e morte, se viu obrigado a retratar-se publicamente ou teria o mesmo destino que Giordano Bruno (1548 – 1600) - condenado pela inquisição à fogueira<sup>5</sup> (MARTINS, 2009).

Apesar de sua idade avançada, já com 69 anos, em 1633, Galileu foi julgado e condenado à prisão domiciliar perpétua, e, só não foi condenado a morte porque

---

<sup>4</sup> Fundada pelo príncipe Frederico Cesi, em 1603, a Academia dos Lince tinha como objetivo permitir que seus membros trocassem informações sobre os mais diversos assuntos. Galileu foi convidado pelo príncipe a ingressar na academia como um dos mais importantes membros (MARICONDA, 2005).

<sup>5</sup> Quadrinho 29 e 30, no qual o Papa ameaça Galileu, dizendo-lhe para retirar as suas afirmações ou terá o mesmo destino de Giordano Bruno, que foi condenado a morte pela Inquisição. O professor pode pedir para os alunos pesquisarem a vida e obra de Giordano Bruno, assim, como o motivo de sua morte.

declarou publicamente que a Terra está imóvel e todos o restante dos corpos celestes giram ao seu redor (Figura 14).

**Figura 14:** Quadrinho onde o Papa condena Galileu à prisão perpétua.



Fonte: a autora.

Durante este período, Galileu trocava cartas com sua filha, que estava em um convento. Ela passava a limpo os manuscritos do pai, originando o livro *Sobre duas novas ciências*. Infelizmente, o perdão só foi dado à Galileu 200 anos depois da sua morte (DAMASIO, 2009).

Antes disso, Galileu também realizou estudos sobre a questão das forças necessárias para manter um corpo em movimento.

Diferente de Aristóteles, que afirmava ser preciso exercer uma força sobre um corpo para que ele entre em movimento, e conseqüentemente, permaneça em movimento, Galileu afirmava que quando um objeto se movia com velocidade constante, iria permanecer assim até que uma força externa o parasse, ou então, alterasse a sua velocidade (MARTINS, 2015).

Desta forma não existiria diferença entre um corpo em repouso e outro em movimento uniforme, e, por esse motivo, não teria como saber o estado de movimento de um corpo sobre estas condições, como por exemplo, o movimento da Terra. No entanto, para Galileu, a teoria da inércia não seria válida para os corpos celestes, uma vez que as suas órbitas eram circulares, e precisariam de forças externas para alterar o movimento (Figura 15).

**Figura 15:** Quadrinho construído com o objetivo de mostrar que Galileu e Kepler trocaram ideias a respeito da geometrização da mecânica



Fonte: a autora

Pensando em como defender a sua teoria, Galileu, organizou uma geometrização da mecânica, com o objetivo de descrever o movimento com base em um experimento imaginário no interior de uma cabine de um navio (em duas situações – uma em movimento uniforme e outra com o navio parado) (PORTO e PORTO, 2008; DAMASIO, 2011). Como Johannes Kepler (1571 – 1630) também realizava estudos sobre o movimento dos planetas, trocaram cartas<sup>6</sup> com o objetivo de encontrarem uma resposta<sup>7</sup>. Concluíram que em ambos os casos, deveriam constatar o mesmo resultado, independente do estado de movimento do navio. Como assim?

Conforme apontaram, não é possível detectar o movimento uniforme, pois se o navio parasse ou mudasse sua velocidade, seria perceptível aos tripulantes do navio, e o mesmo deveria acontecer com a Terra. Para descrever tais suas conclusões, Galileu enunciou o que podemos chamar de os primeiros passos para a construção da Teoria da Relatividade Restrita:

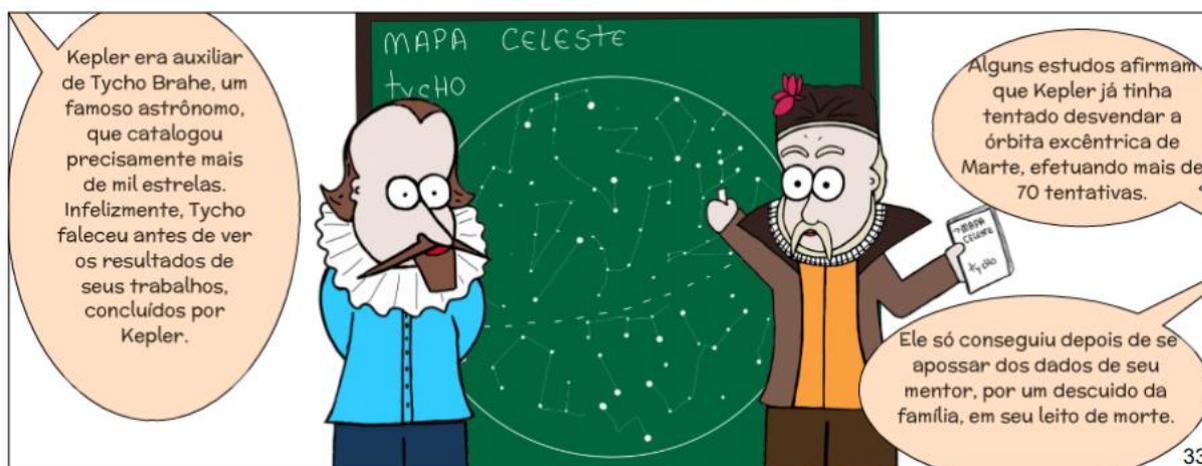
<sup>6</sup> Apesar de encontrarmos artigos evidenciando que os cientistas trocaram apenas cartas a respeito do movimento dos corpos celestes e da geometrização da mecânica, optamos por construir um diálogo com ambos para demonstrar que vários cientistas podem ter pensamentos iguais apesar de não estarem debatendo a ideia juntos.

<sup>7</sup> Nos quadrinhos 37 narramos os dois cientistas discutindo sobre o movimento de um navio, e Kepler dizendo a Galileu que irá pedir para uma colabora para fazer ilustrações das situações. Optamos por construir esse quadrinho para evidenciar a participação das mulheres na ciência, porém, por serem consideradas fracas física e moralmente, como Tosi (1998) relata em seu trabalho.

Princípio da relatividade: se as leis da mecânica são válidas num dado referencial, então são também válidas em qualquer referencial que se mova com velocidade retilínea e uniforme em relação ao primeiro. Princípio da inércia: um corpo permanece em seu estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme a menos que forças ajam sobre ele alterando assim seu estado (SEIXAS, 2006, p. 45).

No entanto, como já citado anteriormente, o Princípio da Inércia não incluía os corpos celestes, pois Galileu afirmava que o movimento circular era mais apropriado, assim como Copérnico (1473 – 1543), que descreveu o Sistema Heliocêntrico ao estudar o movimento retrógrado dos planetas, refutando o Sistema Geocêntrico proposto por Ptolomeu (85 – 165). O Sistema Heliocêntrico só foi divulgado no continente europeu por volta de 1584, graças a Giordano Bruno, e, apesar de concordar com o modelo, Galileu não se pronunciou publicamente de imediato (MARICONDA e VASCONCELOS, 2006). Apesar de concordar com tais princípios copernicanos, Kepler relutou em aceitar as órbitas elípticas dos planetas (SEIXAS, 2006).

**Figura 16:** Representação de Kepler estudando com o astrônomo, Tycho Brahe



**Fonte:** a autora

Defendendo o modelo copernicano, Kepler tentou descrever uma forma geométrica para as órbitas dos planetas, tendo como base a teoria de que deveria haver uma justificativa para as distâncias dos planetas até o Sol, e, que eram constantes.

Ao se tornar discípulo de Tycho Brahe (1546 – 1601), Kepler (figura 16), ainda jovem, começou os seus estudos sobre os movimentos dos corpos celestes, tentando por mais de 70 vezes desvendar a órbita excêntrica de Marte, porém sem

sucesso. Ele só conseguiu quando, por um descuido da família, se apropriou dos dados precisos de Tycho – um catálogo com dados astronômicos precisos de mais de mil estrelas e, ao estudá-los, depois de muito relutar, aceitou que as órbitas planetárias descreviam elipses ao redor do Sol (DAMASIO, 2011; PORTO e PORTO, 2008).

Até essa constatação, as órbitas circulares exerciam fortes influências nos trabalhos de muitos cientistas, inclusive nos de Kepler. Ele, buscando ficar de acordo com o princípio da inércia (de Galileu), analisou os dados de Tycho, que anteriormente tinha observado um cometa que cortava as esferas celestes, chegando a conclusão que elas, na verdade, não existiam.

Com isso, surgiu um novo problema: o que mantêm os planetas orbitando em torno do Sol? Para responder a essa pergunta, Kepler, inspirado nos trabalhos de Willian Gilbert, sugeriu que o Sol era a fonte de todo o movimento, e, que havia uma força magnética entre as órbitas planetárias e a estrela. Com isso, elaborou a primeira representação planetária com órbitas autogovernadas, nas quais as elipses<sup>8</sup> eram constantes de acordo com o tamanho da órbita de cada planeta. Essas constatações ficaram conhecidas como Leis de Kepler (PORTO e PORTO, 2008).

A concepção dos planetas autogovernados foi reforçada por René Descartes (1596 – 1650), que, também defendia a teoria de Copérnico, afirmando que “[...] todo movimento é uma mudança de posição em relação a algum objeto (só existem movimentos relativos)” (MARTINS, 2015, p. 34). Com essa afirmação, Descartes chamou atenção para o movimento relativo, mas, que apenas movimentos vizinhos teriam importância, como as pessoas na superfície da Terra.

Descartes também deduziu outras três leis do movimento, que mais tarde seriam reformuladas por Isaac Newton:

Lei I: corpos em repouso permanecem em repouso, e corpos em movimentos permanecem em movimento, a não ser que algum outro corpo aja sobre eles. Lei II: o movimento inercial dá-se em linha reta. Lei III (a): se um corpo em movimento colide com um segundo corpo que apresente uma resistência ao movimento maior que a força do primeiro corpo para continuar o movimento, então este primeiro corpo muda de direção, sem perder nada do seu movimento. Lei III (b): se o primeiro corpo possui uma força maior do que a resistência do segundo corpo, ele carrega consigo este segundo corpo, perdendo tanto o seu movimento quanto ele entrega ao outro (SEIXAS, 2006, p. 46).

---

<sup>8</sup> Lembrando que conforme os estudos de Galileu, as órbitas eram circulares.

### 3.2 NEWTON, O EXPERIMENTO DO BALDE EM ROTAÇÃO E A HIPÓTESE DA LUZ COMO PARTÍCULA

Isaac Newton (1643 – 1727) foi um filósofo natural, astrônomo e matemático inglês que contribuiu para o estudo do movimento ao chamar atenção para o movimento de rotação da Terra. Diferente de Descartes, que afirmava não ser possível detectar o movimento da Terra porque ela não se movia em relação ao éter, mas sim, junto com ele. Newton afirmava que o movimento de rotação deveria produzir efeitos absolutos, assim como o movimento de translação deveria ser comum a todas as partes, ou seja, se vários corpos estão se movendo na mesma direção, os fenômenos observáveis devem ser comuns.

Para discutir a sua teoria, Newton usou como exemplo o movimento de rotação de um balde com água: supondo que se tem um balde cheio de água, preso ao teto por uma corda. Quando o balde está parado, a superfície da água é plana e horizontal, porém, se o balde começar a rotacionar, a água não começará a rotacionar instantaneamente, mas sim, depois de algum tempo tem-se o balde e a água girando juntos. Nesse momento, a superfície da água deixará de ser plana e passará a ser côncava (mais baixa no centro do balde e mais alta nas paredes) (MARTINS, 2015). O experimento é indicado nos quadros da figura 17.

**Figura 17** Explicação do experimento do balde proposto por Newton para explicar o arrastamento do éter.



Fonte: a autora

Tanto antes de colocar o balde em movimento quanto agora, a água está parada em relação ao balde, que é aquilo que está em contato com ela. Assim, de acordo com Descartes, não deveria surgir nenhum efeito físico e a água deveria

continuar plana. De acordo com Galileu, também, “o movimento comum é como se não existisse”; portanto, quando a água e o balde estão se movendo juntos, esse movimento é como se não existisse e não poderia produzir efeitos (MARTINS, 2015, p. 34).

Segundo esse entendimento, o movimento da Terra deveria produzir efeitos observáveis, contradizendo Copérnico, Galileu e Descartes. No entanto, o movimento de translação da Terra não altera os seus fenômenos internos, ou, se um corpo está se movendo na mesma direção, com a mesma velocidade, seus fenômenos produzidos não devem depender da velocidade (como no caso do experimento de Galileu). O mesmo também acontece caso os objetos estejam acelerados na mesma direção, como por exemplo: se vários corpos estão caindo juntos, para eles, é como se estivessem parados um em relação ao outro.

Contrariando a física aristotélica, Newton afirmou que os objetos caíam em direção a Terra devido a ação de uma força atrativa entre todos os corpos do universo que possuíam massa. Formulou então, com base nesses estudos, uma lei relacionando a massa e a distância dos corpos envolvidos, a conhecida lei da gravitação universal. Segundo ela, “[...] quanto maior for a massa dos corpos, maior será a intensidade da atração gravitacional entre eles, e quanto maior for a distância entre os corpos, menor será a intensidade da atração” (DAMASIO, 2009, p. 11).

Esta lei explica como a Lua orbita em torno da Terra, e esta, assim como os outros planetas, orbita em torno do Sol, que por sua vez gira em torno da Via Láctea, assim como, outros exemplos explicados pela atração, como em uma das histórias mais famosas envolvendo Newton e a maçã.

Newton complementou a obra de Galileu em relação ao movimento dos corpos celestes, e as suas leis podiam descrever e explicar todos os fenômenos da época. Com isso, temos o que é conhecido hoje como o Princípio da Relatividade de Galileu como “as leis do movimento são igualmente válidas em todos os sistemas de referência não-acelerados (inerciais) (DAMASIO, 2009, p. 12). De acordo com esse princípio, o sistema de coordenadas utilizado não pode ser acelerado, ou seja, deve ser inercial. Mas com isso, surgiram algumas perguntas: como saber se o sistema é inercial? Inercial a que?

Pensando em como resolver esse problema, Newton propôs um experimento utilizando um dispositivo mecânico, o pêndulo com o mesmo propósito do experimento do balde: fixa-se o pêndulo no objeto (ou sistema de referência

utilizado), depois de solto, se o pêndulo se manter na vertical, sabe-se que o sistema utilizado é inercial; caso o pêndulo se incline em uma direção qualquer, trata-se de um referencial não-inercial, ou no caso, acelerado (Figura 18).

**Figura 18:** Representação do experimento do pêndulo para explicar como identificar um referencial inercial e acelerado.



Fonte: a autora

Além de suas teorias acerca do movimento, Newton também se pautou nos estudos de outros cientistas como Galileu e Descartes, ao sinalizar seu entendimento de que as leis do movimento poderiam ser aplicadas a luz (Figura 19).

**Figura 19:** Representação de Newton estudando o que outros cientistas acreditam sobre a natureza da luz.



Fonte: a autora

A análise de seus escritos possibilita afirmar que Newton propunha que a luz era formada por pequenas partículas que se moviam em grandes velocidades pelo espaço, mas que outros estudos eram necessários, pois muitas eram as dúvidas quanto as suas propriedades.

No caso das ideias anteriores as de Newton, relativas a natureza da luz, evidenciamos estudos de Galileu ao afirmar que a sua velocidade era extremamente grande e de Descartes, que considerava que ela era infinita e que não poderia ser constituída por partículas. Para ele, a luz seria uma espécie de pressão que se propaga do Sol até a Terra, atravessando um meio material invisível, que preenche todo o espaço celeste (MARTINS, 2015).

### 3.3 DE HUYGENS À MAXWELL: A LUZ É UMA ONDA

A concepção formulada por Newton para explicar a natureza da luz (como partícula), permaneceu como a mais adequada durante todo o século XVIII. No entanto, nem todos os cientistas concordavam com essa teoria. Um deles foi o físico holandês Christiaan Huygens (1629 – 1695).

que descrevia a luz como sendo uma perturbação que se propaga em um fluído universal, o éter, em uma analogia ao som<sup>9</sup>. Mais tarde, a comunidade científica passou a aceitar a teoria ondulatória graças aos estudos do médico inglês Thomas Young (1773 – 1829) e o engenheiro francês August Jean Fresnel (1788 – 1827) (PIETROCOLA, 1993).

Estes dois cientistas dedicaram-se aos estudos relacionados aos fenômenos de difração e interferência luminosa e confirmaram a afirmação de Newton: a luz seria uma onda periódica, que se propaga num meio denominado éter, que cada cor do espectro luminoso possuía uma frequência específica, explicando a polarização da luz. Todavia, ainda tinham fenômenos que não podiam ser explicados.

Um desses fenômenos era a aberração estelar: se a Terra se move em torno do Sol, deveriam surgir efeitos visíveis em diferentes épocas do ano, por causa da órbita elíptica da Terra. Todavia, cientistas como Robert Hooke (1635 – 1703), James Bradley<sup>10</sup> (1693 – 1762) entre outros não conseguiam definir de forma clara

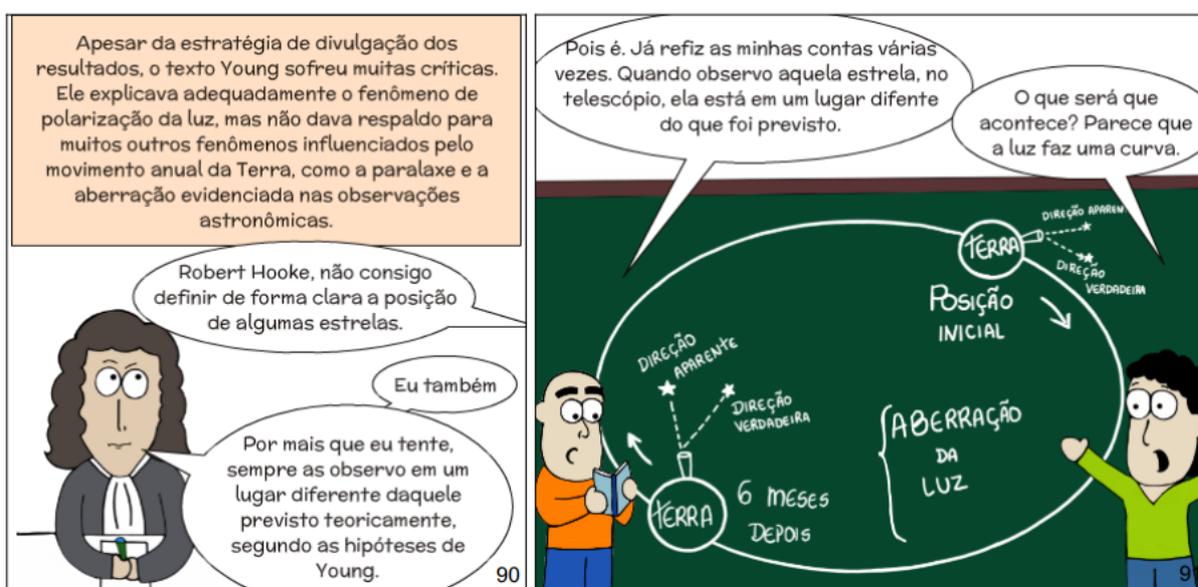
---

<sup>9</sup> Para o professor: os cientistas afirmavam que a luz era uma onda (em analogia com o som) pelo fato de que assim como as ondas mecânicas, a luz precisaria de um meio para se propagar – o éter.

<sup>10</sup> O astrônomo James Bradley descobriu o fenômeno da aberração da luz ao observar a paralaxe das estrelas ocasionadas pela órbita terrestre, e, percebeu que durante o ano, essa posição sempre

as posições de algumas estrelas (Figura 20). Durante vários meses de observação, mediaram a posição de uma estrela, e conforme o movimento de translação da Terra, sempre havia uma mudança em sua posição, que foi denominada como “aberração da luz” (MARTINS, 2012).

**Figura 20:** Representação da comunidade científica tentando explicar a aberração da luz.



Fonte: a autora

Em 1809, François Jean Dominique Arago (1786 – 1853), realizou um experimento com o objetivo de verificar a deflexão que a luz de uma estrela sofria em relação a Terra, utilizando um prisma<sup>11</sup>. Em sua experiência, Arago considerou que a velocidade da luz dentro do prisma seria sempre a mesma, independente do movimento da Terra, e que fora do prisma, seria menor se a Terra estivesse se afastando da estrela, ou maior, se ela estivesse se aproximando. Se a sua teoria estivesse correta, seria possível calcular com precisão a velocidade da Terra em relação as estrelas. Porém, não foi o que aconteceu, pois, a velocidade da luz era sempre constante (MARTINS, 2012; MARTINS, 2015).

Arago idealizou e realizou o seu experimento tendo por base a teoria corpuscular da luz (de Newton), e, como não obteve o resultado esperado, acabou o abandonando. Em 1817, a Academia de Ciências francesa concedeu um prêmio de

---

variava com uma posição diferente do previsto matematicamente. Por não conseguir uma explicação precisa, denominou esse fenômeno como aberração da luz (MARTINS, 2012).

<sup>11</sup> Arago afirmava que a luz vinda de uma estrela, ao atingir o prisma, deveria sofrer um desvio. Esse desvio poderia mudar conforme o ângulo da luz da estrela em relação ao movimento da Terra, ou no sentido contrário (MARTINS, 2015).

melhor trabalho sobre o fenômeno de difração a Fresnel, que defendia a teoria ondulatória da luz, e, por fazer parte da comissão julgadora, Arago resolveu escrever uma carta pedindo mais explicações a respeito do seu trabalho.

Em resposta, em 1818, Fresnel escreveu um artigo denominado *Carta de Augustin Fresnel a François Arago sobre a influência do movimento terrestre em alguns fenômenos de óptica*. Nele, Fresnel afirmava que a luz era uma onda que se propagava no éter com velocidade constante, sendo considerado como um sólido elástico (e não um fluido), explicando o resultado do experimento realizado por Arago.

Fresnel propôs que o éter preencheria todos os espaços vazios do universo, e que estaria em repouso, e que, por isso não seria movido junto com o deslocamento dos corpos celestes, afirmando que:

“[...] até agora eu só pude conceber claramente este fenômeno supondo que o éter passa livremente através do globo e que a velocidade calculada a este fluído é somente uma parte daquela da Terra; não excede o centésimo por exemplo” (FRESNEL apud PIETROCOLA, 1993, p.9).

Contudo, mesmo imóvel, deveria ter algum tipo de interação entre o éter e os corpos celestes, e por analogia com o som, a velocidade da luz no éter deveria depender da densidade do meio, sendo mais lenta nas regiões mais densas (ou com menor pressão, como a teoria de Descartes). Mas, como os cientistas da época não conheciam a natureza específica do éter, não conseguiam determinar de forma coerente um valor para a velocidade da luz nesse meio material.

Além de precisarem definir a natureza do éter, a comunidade científica se deparou com outro problema: se a luz é uma onda, qual é a sua natureza?

Em 1879, o físico e matemático escocês, James Clerck Maxwell<sup>12</sup> (1831 – 1879), demonstrou matematicamente em seu trabalho denominado *Tratado sobre Eletricidade e Magnetismo* a existência de ondas eletromagnéticas, que transportavam energia e quantidade de movimento (e não matéria). Ao estudar uma equação de onda em uma região onde não possui cargas elétricas (como no espaço interestrelar), também calculou teoricamente a velocidade destas ondas, chegando a um valor de 300.000 km/s (DAMASIO, 2009).

---

<sup>12</sup> Uma das principais contribuições de Maxwell foi a unificação de duas áreas da física: óptica e eletromagnetismo.

Todavia, Maxwell (e toda a comunidade científica) se deparou com uma importante questão: A luz tinha uma velocidade de 300.000 km/s em relação a que? Para explicar esse problema, Maxwell começou a buscar meios de identificar a velocidade da luz em relação ao éter. Ele sugeriu que os momentos dos eclipses dos satélites de Júpiter, e, comparar os seus atrasos e adiantamentos com seus dados teóricos. Conforme Maxwell,

O único método praticável de determinar diretamente a velocidade relativa do éter e do sistema solar é comparar os valores da velocidade da luz deduzidos da observação do eclipse dos satélites de Júpiter, quando Júpiter é visto da Terra em pontos aproximadamente opostos da eclíptica (MARTINS, 2015, p. 70).

Nesse caso, Maxwell (Figura 21) estava tentando determinar os efeitos do sistema solar como um todo, e não apenas a velocidade da Terra em relação ao éter. Assim, se o sistema solar se movesse em relação ao éter, sua velocidade seria sempre a mesma, mas, se houvesse um vento de éter vindo de Júpiter para a Terra, essa velocidade da luz seria maior, assim como, se houvesse um vento de éter indo da Terra para Júpiter, a velocidade da luz deveria ser menor (isso porque se a luz é uma onda do éter, sua velocidade deveria ser influenciada pelo vento do éter). O problema é que pela longa distância entre a Terra e Júpiter, os eclipses ocorriam em meia a 12 anos<sup>13</sup>.

**Figura 21:** Representação do cientista Maxwell estudando os eclipses das luas de Júpiter.



**Fonte:** a autora

Apesar de ser uma proposta inovadora, Maxwell não tinha os dados astronômicos necessários, sendo impossível concluir as suas observações. Por isso,

<sup>13</sup> Para o professor: discutir com os alunos os tempos das órbitas dos planetas do Sistema Solar.

em 1879, escreveu uma carta a David Peck Todd, um astrônomo americano especialista em satélites de Júpiter, perguntando se ele não teria esses dados. Todd respondeu que não possuía dados completos, pois na época era impossível determinar o instante do início dos eclipses dos satélites com uma precisão menor que 0,1 s. infelizmente, no mesmo ano Maxwell faleceu. No ano seguinte, Todd publicou a carta de Maxwell, que seria discutida mais tarde pelo cientista Albert Abraham Michelson (1852 – 1931).

### 3.4 O APARATO DE MICHELSON E MORLEY

Ainda em 1880, Todd e Michelson discutiram a possibilidade de determinar a velocidade da Terra por meio do éter utilizando a velocidade da luz como base (calculada por Maxwell como 300.000 km/s). Estudando as teorias formuladas por Maxwell e outros cientistas, Michelson concluiu que a única maneira de medir uma variação tão pequena no tempo de ida e volta da luz, seria utilizando um aparato experimental específico, denominado interferômetro. Como isso só era possível Europa, ele foi estagiar e desenvolver o seu equipamento no Collège de France e na Escola Politécnica (Figura 22) (MUNERA, 2007 MARTINS, 2015). Como objetivo pessoal, iria medir a variação da velocidade da luz como uma resposta a um desafio proposto por Maxwell (DAMASIO, 2017).

**Figura 22:** Representação de Maxwell em viagem à França para estudar uma maneira de construir o seu aparato experimental.



Fonte: a autora

Com a experiência necessária, em 1881, buscando um patrocinador para produzir o aparato planejado, Michelson procurou apoio financeiro de Alexander Graham Bell, estudioso que se dedicava a compreender fenômenos sonoros e que apoiava financeiramente estudos de jovens cientistas. O dinheiro para o financiamento concedido por Bell à Michelson e outros cientistas, era proveniente da invenção do aparelho de telefone, demonstrado em 1876 na Exposição do Centenário da Filadélfia (Figura 23).

**Figura 23:** Representação de Graham Bell apresentando o telefone na Exposição do Centenário da Filadélfia.



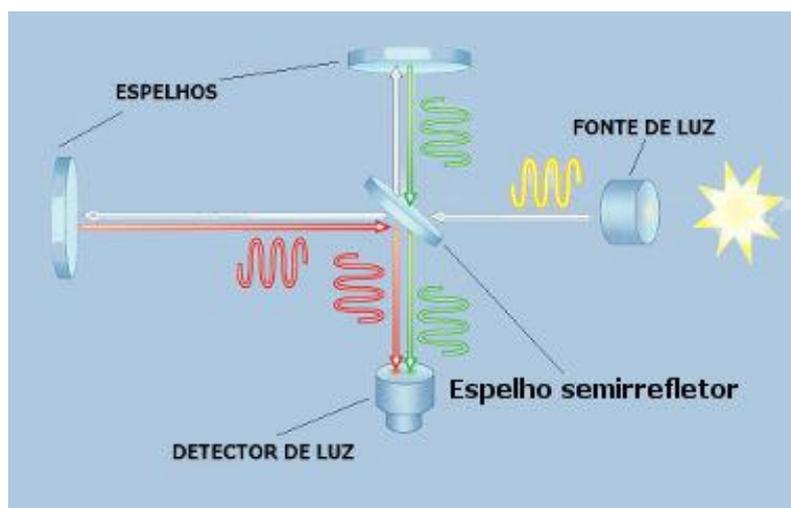
Fonte: a autora

Além dessa invenção, que lhe concedeu fama internacional e possibilitou-lhe constituir fortuna, Graham Bell era reconhecido por seus estudos relacionados com a emissão de sons e passagem de luz por diagramas finos, resultados associados a descoberta do efeito fotoacústico e origem da espectroscopia acústica (MUNERA, 2007).

O aparato planejado por Michelson (Figura 24 e 25) para realizar a medida dessa velocidade foi construído pela empresa Schmidt e Haensch, de Berlim, responsável pela produção e aprimoramento das invenções de Graham Bell (MUNERA, 2007). Com ele, Michelson, previu de forma teórica, que a medida do

tempo que a luz levaria para percorrer dois pontos distintos, por meio da emissão de um feixe de luz de uma fonte monocromática, seria diferente e produziria um padrão de franjas devido ao arrastamento da Terra no éter. Porém, experimentalmente, observou que as franjas não tinham um padrão regular, parecendo simples erros experimentais.

**Figura 24:** Representação do interferômetro proposto por Michelson para detectar o movimento da Terra em relação ao éter.



**Fonte:** Experiência de Michelson-Morley. Disponível em: <https://cienciadoamanha.com/tag/experiencia-de-michelson-morley/>.

**Figura 25:** Representação do primeiro interferômetro construído por Michelson.



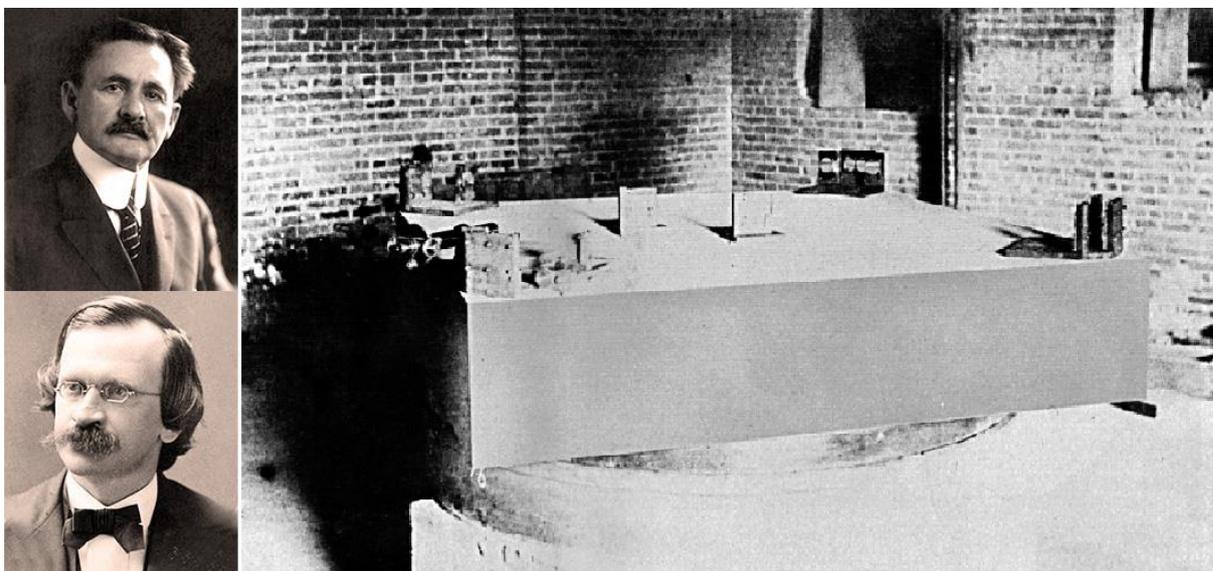
**Fonte:** a autora.

Então, ele concluiu que não haveria “[...] nenhum deslocamento das franjas de interferência. O resultado da hipótese do éter estacionário tem se mostrado incorreta, e a conclusão necessária é que a hipótese está errada” (MICHELSON, 1881, p. 128 apud FERREIRA, 2013, p. 16).

Quando Michelson apresentou em 1881, em Paris, o artigo com os resultados de suas pesquisas para a comunidade científica, não concluiu que o éter não existia, apenas afirmou que ele não era arrastado pela Terra. Além de deixar a sua conclusão teórica em aberto, foi muito criticado por outros cientistas (MARTINS, 2012; FERREIRA, 2013; MARTINS, 2015). Nesta apresentação, Alfred Potier indicou um erro teórico em seu experimento: Michelson não levou em consideração o tempo de ida e volta do feixe perpendicular ao vento de éter, pois não era nula, como Michelson pensava. Com seu fracasso, Michelson se sentiu extremamente frustrado, abandonando os experimentos (MARTINS, 2015).

Em 1887, com o auxílio do químico Edward Morley, construíram um novo interferômetro (Figura 26 e 27) com uma precisão melhor daquele utilizado na experiência anterior.

**Figura 26:** Foto do segundo aparato experimental desenvolvido por Michelson com a ajuda do engenheiro Morley.



**Fonte:** interferômetros. Disponível em: <https://writescience.wordpress.com/tag/gravitational-waves/>

Ao invés do aparato estar em uma estrutura de aço, construíram sobre um bloco cilíndrico de mármore, ficando mais estável e livre de vibrações, uma vez que sua base flutuava livremente sobre o mercúrio líquido, livrando o sistema de oscilação e atrito. Além disso, este novo interferômetro possibilitava que o feixe de

luz incidente refletisse várias vezes entre os espelhos, permitindo a realização de uma série de medidas durante quatro dias, observando apenas pequenas variações na interferência (MARTINS, 2012).

**Figura 27:** Representação do segundo interferômetro, construído por Michelson com a ajuda de Morley



Fonte: a autora.

Todavia, os novos resultados foram inesperados para Michelson e Morley: eles observaram pequenas variações de interferências, concluindo que o efeito era nulo e que não seria possível detectar o movimento da Terra em relação ao éter (FERREIRA, 2013; MARTINS, 2015).

Este resultado era diferente do obtido anteriormente: o primeiro experimento havia confirmado a teoria para o arrastamento do éter por corpos transparentes e o outro refutava a teoria do éter estacionário de Fresnel<sup>14</sup>. Apesar das evidências experimentais, Michelson e Morley não cogitaram abandonar a hipótese da teoria do éter, provavelmente porque ela era uma das bases da óptica e do eletromagnetismo (FERREIRA, 2013; MARTINS, 2015).

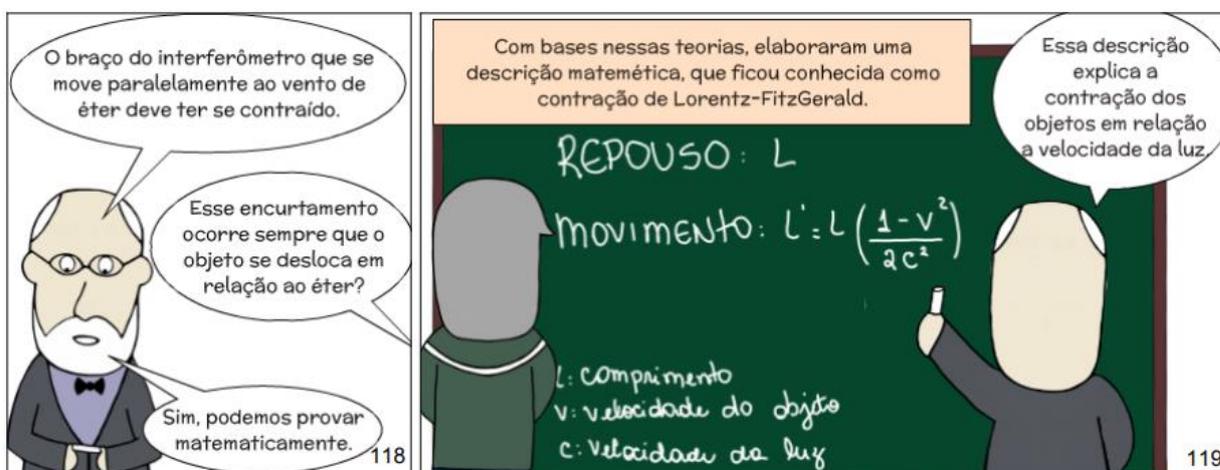
<sup>14</sup> A teoria do arrastamento do éter por corpos transparentes, proposta por Huygens, ao fazer uma analogia com o som, e, o éter estacionário, de Fresnel, explicando o fato de que não vemos o vento de éter devido ao fato dele estar em repouso.

O não abandono a teoria do éter era partilhada por outros cientistas como o escocês George Francis FitzGerald (1851-1901) e o holandês Hendrik Lorentz (1853-1928), os quais tentaram explicar os resultados negativos do experimento. A explicação elaborada por estes cientistas, para o resultado não adequado do experimento de Michelson-Morley, pautava-se nas hipóteses de que os braços do interferômetro e os outros objetos utilizados no procedimento sofreriam uma contração na direção paralela ao seu movimento, e isso poderia anular o efeito que seria previsto (MARTINS, 2015).

Tal encurtamento seria devido ao fato de que o objeto sofreria uma contração material na direção paralela ao seu movimento, em relação ao éter. Dessa forma, Lorentz propôs que o braço do interferômetro que se move paralelamente ao vento de éter deveria sofrer uma contração, passando do comprimento  $L$  para  $L' = L(1 - v^2/2c^2)$ , na primeira aproximação, e os tempos de ida e volta da luz nos dois braços passariam a ser iguais, no qual o movimento da Terra não deveria produzir um efeito considerável no interferômetro. Com base nestas hipóteses elaboraram uma descrição matemática conhecida como contração de Lorentz-FitzGerald (DAMASIO, 2009, MARTINS, 2015).

Nessa época, não havia motivos para imaginar que tais contrações deveriam acontecer, e Lorentz e FitzGerald (Figura 28) introduziram uma hipótese baseando-se na ideia de que algo deveria anular o resultado negativo, buscando encontrar uma solução para o cancelamento do vento do éter (MARTINS, 2015).

**Figura 28:** Lorentz e FitzGerald buscando soluções para o resultado negativo do interferômetro



Fonte: a autora.

### 3.5 A RELATIVIDADE E POINCARÉ

Em 1895, ao estudar a base do éter, o matemático Henri Poincaré concluiu que “[...] era impossível medir o movimento absoluto da matéria, ou melhor, o movimento relativo da matéria em relação ao éter. Só se pode evidenciar o movimento da matéria em relação à matéria” (MARTINS, 2015, p.104). Ele enfatizou que era preciso desenvolver teorias exatas do eletromagnetismo para encontrar a resposta que faltava, e, que a hipótese de contração dos corpos proposta por Lorentz era uma explicação insatisfatória, buscando apenas justificar o resultado inesperado do experimento de Michelson e Morley.

Após estudos, em 1899, sobre o movimento dos corpos materiais e os efeitos físicos, Poincaré pontuou que era preciso desenvolver uma teoria que explicasse todos os fenômenos de uma só vez ao invés de ficar criando uma explicação diferente para cada. Tentando desenvolver o seu pensamento, Poincaré começou a considerar que a velocidade da luz também deveria ser válida para a velocidade da gravitação. Se ele estivesse certo, as Leis de Newton iriam precisar de uma nova formulação (PATY, 2010).

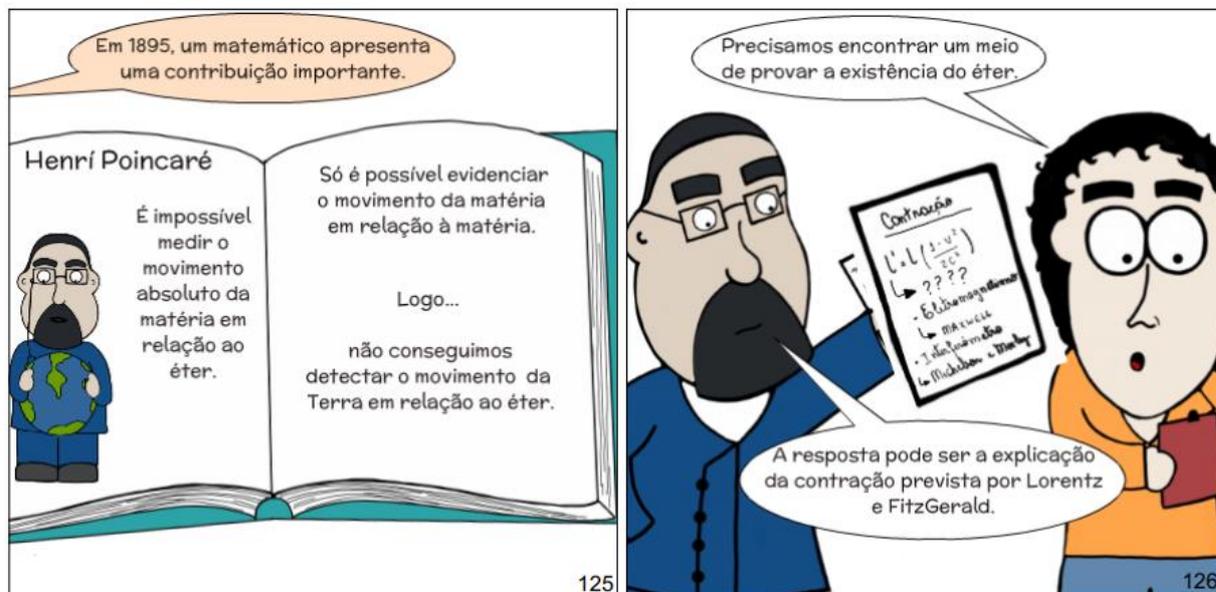
No ano seguinte, publicou um novo trabalho denominado como *Princípio do movimento relativo*, no qual demonstrava que a velocidade da luz deveria ser utilizada como uma invariante, ou seja, a sua velocidade deveria ter o mesmo valor em relação a todos os referenciais que estivessem se movendo em relação ao éter, ou em repouso. (MARTINS, 2015). Porém, por mais que tentasse, Poincaré não conseguia encontrar uma maneira de medir a velocidade da Terra em relação ao éter (UCHOA, 2013).

No ano de 1905, Poincaré publicou dois trabalhos muito significativos para a teoria. No primeiro trabalho, corrigiu alguns problemas evidenciados na proposição de Lorentz, demonstrando que era necessário levar em consideração que todos os fenômenos eletromagnéticos deveriam ser idênticos em quaisquer referenciais. No outro, demonstrou que o tempo deveria ser manipulado como uma quarta dimensão e discutiu as consequências do princípio da relatividade no estudo da gravitação (PATY, 2010; SILVA FILHO, CORDEIRO FILHO e FIRME, 2011).

O resultado desses trabalhos é a Teoria da Relatividade Restrita, pois, como conclusão, Poincaré (Figura 29) afirmou que todos os fenômenos devem ser os mesmos, tanto para observadores fixos quanto em movimento uniforme. Pode-se

dizer que faltou pouco para Poincaré descrever o princípio da relatividade restrita (PATY, 2010; SILVA FILHO, CORDEIRO FILHO e FIRME, 2011).

**Figura 29:** Representação dos estudos de Poincaré.



Fonte: a autora.

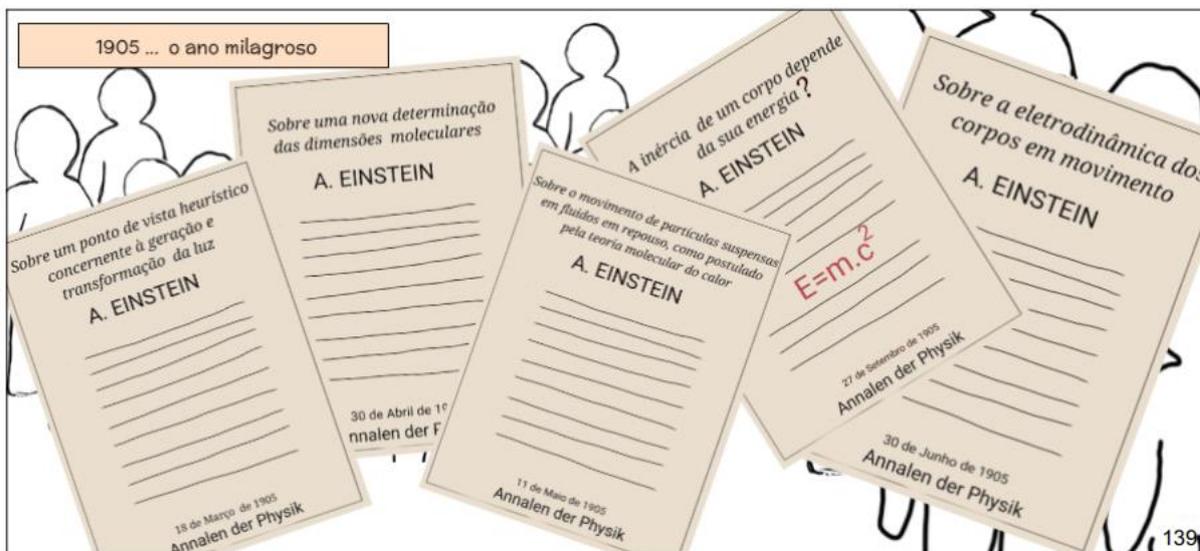
### 3.6 OS POSTULADOS DE EINSTEIN

Em 1905, Albert Einstein (1879 – 1955) publicou dois artigos relacionados a Teoria da Relatividade Restrita no periódico *Annalen der Physik*. Em um deles, denominado *Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento*, explicava a eletrodinâmica dos corpos a partir das teorias de Maxwell.

Conforme Einstein afirmava, “[...] a eletrodinâmica de Maxwell, como geralmente entendida no tempo presente, quando aplicada a corpos em movimento, leva a assimetrias que não parecem ser inerentes aos fenômenos (EINSTEIN, 1905 apud DAMASIO, 2017, p. 6).

No outro artigo, Einstein apresentou a relação entre a massa e energia, apresentando a famosa equação ( $E=mc^2$ ). Por meio dessa equação, ele mostrou que a energia possui inércia, e, que é válida somente para partículas livres. Além desses artigos, Einstein publicou mais três naquele ano (Figura 30)

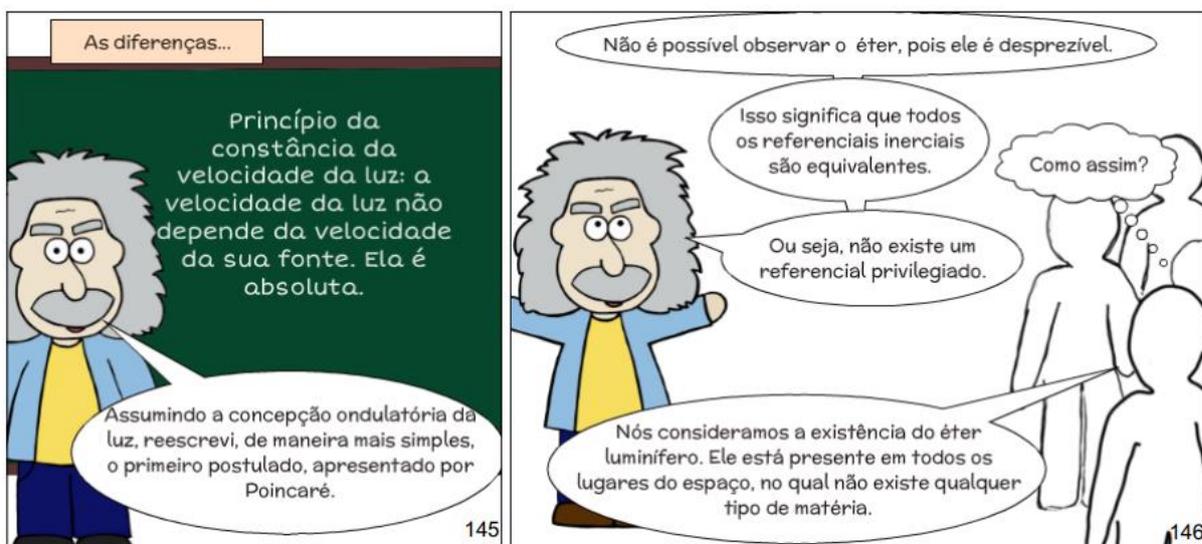
**Figura 30:** Representação dos artigos publicados por Albert Einstein, em 1905.



**Fonte:** a autora.

Um cientista da época, que lesse o seu primeiro artigo, iria perceber pelo título que Einstein estaria discutindo um assunto já abordado por outros autores anteriormente, como Maxwell, Lorentz e Poincaré. Mas, o que diferenciava os trabalhos de Einstein (Figura 31) desses outros autores?

**Figura 31:** Representação de Einstein explicando o que diferencia as suas teorias de outros cientistas.



**Fonte:** a autora.

A resposta é que Einstein negou a existência de um meio material já muito discutido por outros cientistas, o éter; propôs a equação  $E=mc^2$  como uma relação que poderia ser aplicada em partículas livres; e, interpretou os resultados obtidos por

outros cientistas de uma maneira diferente e mais simples: “aquilo que não pode ser detectado deveria ser excluído da Física” (MARTINS, 2015, p. 248; DAMASIO, 2017). Ao propor a não existência do éter, todos os referenciais inerciais seriam equivalentes. Com essa teoria, enunciou o primeiro postulado:

Princípio da relatividade, que afirma que as leis básicas da física são as mesmas em todos os referenciais inerciais em movimento relativo uniforme. Seu conteúdo físico pode ser descrito de outra forma: os fenômenos físicos que ocorrem em um sistema isolado não dependem de sua velocidade e, portanto, não se pode medir a velocidade de um sistema por experiências puramente internas. Em particular, não se pode medir a velocidade da Terra utilizando observações terrestres (MARTINS, 2015, p. 17).

Este postulado resolvia a assimetria que existia entre o eletromagnetismo e permitiu escrever uma teoria do movimento relativo que envolvia a mecânica clássica e o eletromagnetismo. Os cientistas da época afirmavam que o eletromagnetismo era válido apenas para um referencial em repouso em relação ao éter. Com isso, descreveu o segundo postulado:

Princípio da constância da velocidade da luz, que afirma que a velocidade da luz (quando utiliza a teoria ondulatória da luz) não depende da velocidade de sua fonte. Por exemplo, a luz emitida por uma lâmpada parada tem a mesma velocidade que a luz emitida por uma lâmpada com alta velocidade (MARTINS, 2015, p. 17).

O fim do éter era o que faltava para a explicação negativa do experimento de Michelson e Morley (apesar de vários pesquisadores afirmarem que Einstein não ter utilizado este experimento como base para a teoria), uma vez que retirava um referencial privilegiado do universo, e, deixava a luz livre para se propagar no vácuo (DAMASIO, 2009, PEDUZZI, 2015, MARTINS, 2015). Se fosse comprovada a sua inexistência, o princípio da Relatividade proposto por Poincaré e Lorentz também estaria errado.

O fato é que Einstein teve a oportunidade de citar o interferômetro várias vezes em seus trabalhos, e não o fez (Figura 32). Provavelmente, porque Einstein, assim como Galileu e Newton, se fundamentou em explicar uma teoria ao invés de um experimento, ou, no caso, salvar o experimento de Michelson e Morley.

**Figura 32:** Imagem utilizada para insinuar que Einstein teve acesso aos dados do interferômetro de Michelson e Morley.



**Fonte:** a autora.

Uma dessas oportunidades está na introdução, quando afirma que o éter não é necessário. A outra, foi quando descreveu os dois postulados: ele não utilizou um experimento como base, ou se referiu a qualquer conjunto experimental conhecido para embasar a sua teoria.

O interessante nesta história é que nem sempre Einstein negou a existência do éter. Ao contrário, ainda na época da sua graduação em Física, planejou a construção de um aparato experimental para medir a velocidade da Terra em relação ao éter (Einstein afirmou a sua existência até por volta de 1901).

### 3.6.1 Relativo?

Apesar do nome 'Teoria da Relatividade', Einstein nunca disse de fato que tudo é relativo, mas, que algumas são, mais especificamente: o espaço e o tempo.

A velocidade absoluta da luz em relação a um referencial inercial é uma consequência do segundo postulado, e gera a dilatação temporal. Para explicar esse fenômeno, precisamos definir o que é chamado de 'evento': algo que ocorre em instantes no tempo em algum lugar do universo. Logo, para determinar um evento, precisa-se de uma data e um local. Parece algo simples.

Conforme Einstein, "os intervalos de tempo decorridos entre os mesmos dois eventos são diferentes quando medidos por diferentes observadores que estão em movimento relativo" (DAMASIO, 2009, p.25). Para entender melhor essa afirmação,

vamos utilizar um relógio de luz: um tubo com a base e topo espelhados, que reflete a luz nas duas pontas, como mostrado na Figura 33.

**Figura 33:** Ilustração de um relógio de luz.

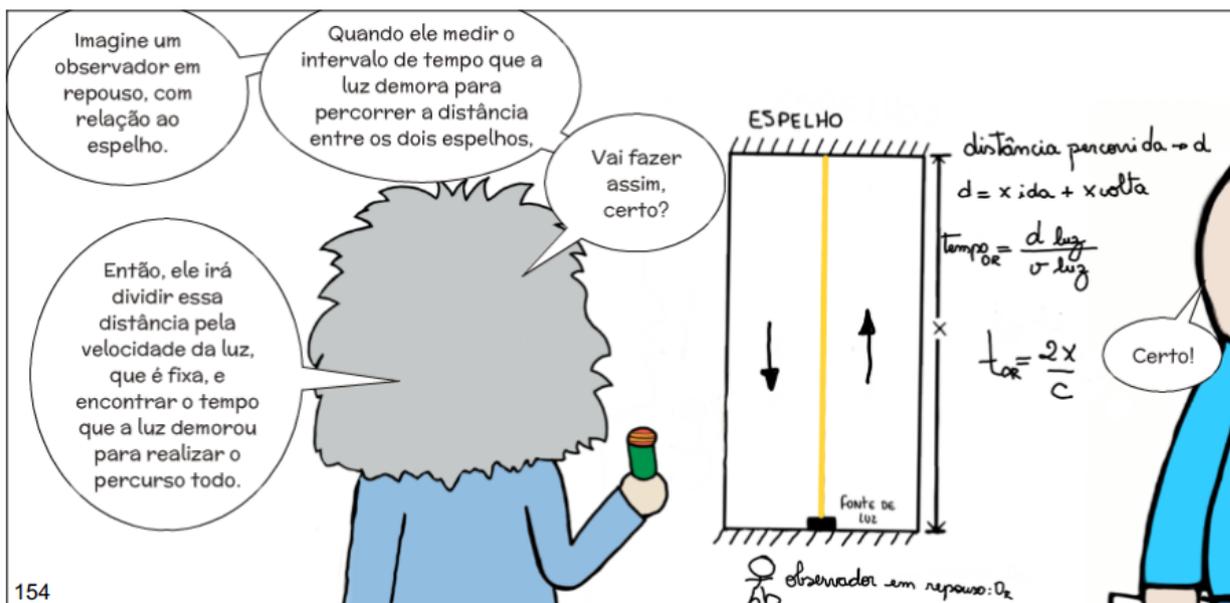


**Fonte:** a autora (adaptado de Damasio, 2009)

O fato é que, dois eventos podem estar separados por um intervalo de tempo, dependendo de quem o está observando por causa da invariância da velocidade da luz no vácuo em relação ao referencial inercial. Para entender melhor, utilizando o relógio de luz, determinamos de evento 1 a partida do feixe de luz, e de evento 2 a sua volta a esse ponto de partida após refletir no espelho superior. Para medir o tempo percorrido por esse feixe, na mecânica, bastava dividir a distância percorrida pela luz com a sua velocidade  $c$ , como podemos observar na Figura 34 (DAMASIO, 2009).

Dessa forma, quando começamos a medir o intervalo de tempo por um observador em repouso em relação ao relógio, a distância percorrida pelo feixe de luz será de  $2\Delta S$ , e, o tempo medido por esse observador será de  $2\Delta S/c$ , já que a luz irá percorrer uma distância em linha reta.

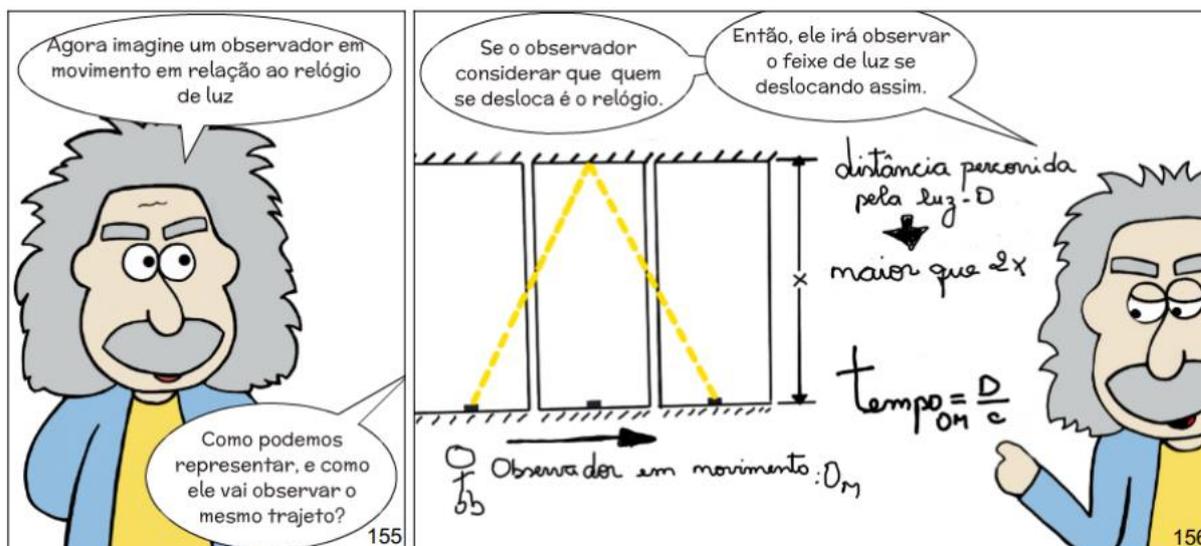
**Figura 34:** Representação do movimento da luz visto por um observador em repouso em relação ao relógio de luz.



Fonte: a autora (adaptado de Damasio, 2009)

No entanto, um segundo observador em movimento ao relógio de luz iria observar o mesmo fenômeno? Do ponto de vista físico, o feixe de luz iria se deslocar em relação ao observador 2, como na Figura 35.

**Figura 35:** Representação do movimento da luz visto por um observador em movimento em relação ao relógio de luz



Fonte: a autora (adaptado de DAMASIO, 2009)

Para medir o intervalo de tempo nesta segunda situação, olhando a Figura 35, percebe-se que o espaço percorrido pela luz entre os dois espelhos foi maior do que aquele em relação ao observador que estava em repouso. Supondo que essa

distância agora seja de  $2\Delta S(1 + v^2/c^2)^{1/2}$ , o intervalo de tempo será então de  $2\Delta S/c(1 + v^2/c^2)^{1/2}$ .

Como observado, o intervalo de tempo dos dois eventos foi diferente quando medido por observadores com velocidades diferentes, e, o intervalo de tempo para o referencial que estava em repouso foi menor que para o referencial que estava em movimento. Einstein denominou esse evento de dilatação temporal, e, ela só apresenta valores significativos quando as velocidades dos eventos estão próximas a da luz.

### 3.6.2 Fenômenos da relatividade restrita

A dilatação temporal aparentemente causa alguns paradoxos, como por exemplo, o paradoxo dos gêmeos.

Imagine dois irmãos gêmeos, (Figura 36), com exatos 20 anos de idade. Um dos irmãos (Pedro) realiza uma viagem, com velocidade de  $0,8c$ , até uma estrela que fica 20 anos luz de distância da Terra, enquanto o outro (Francisco) permanece na Terra. Ao chegar na estrela, Pedro desacelera e volta para a Terra. Supondo que existam relógios idênticos situados na Terra, na estrela e na espaçonave, e, que estejam sincronizados, quanto tempo levaria a viagem estelar feita por Pedro?

**Figura 36:** Representação do paradoxo dos gêmeos.



Para calcular o tempo, iremos utilizar a equação tempo=distância/velocidade. Como sabemos a distância e a velocidade, temos então que:

**Figura 37:** Fórmula utilizada para determinar o tempo em relação ao irmão que ficou na Terra

$$\Delta t = \frac{\Delta S}{\Delta V}$$

$$\Delta t = \frac{20}{0,8}$$

$$\Delta t = 25 \text{ anos}$$

Fonte: a autora

Se a nave estivesse na velocidade da luz, a viagem iria durar 20 anos. Mas, como estava abaixo, durou um pouco mais, ou seja, 25 anos. Todavia, para o relógio da nave, o tempo seria calculado pela equação de Lorentz e FitzGerald (contração do comprimento), sendo:

**Figura 38:** Fórmula utilizada para indicar o tempo em relação ao irmão que estava na nave

$$t' = t \cdot \sqrt{1 - v^2}$$

$$t' = 25 \cdot \sqrt{1 - (0,8)^2}$$

$$t' = 25 \cdot \sqrt{1 - 0,64}$$

$$t' = 25 \cdot \sqrt{0,36}$$

$$t' = 15 \text{ anos}$$

Fonte: a autora

Logo, no referencial Terra-estrela, o tempo corrido seria de aproximadamente 25 anos, enquanto que, no referencial da nave, são de 15 anos. Essa diferença iria afetar o sistema biológico do irmão que está na nave, envelhecendo apenas 15 anos, ou seja, 10 anos que o irmão que permaneceu na Terra, Francisco.

Aplicando a ideia de dilatação temporal, temos o resultado de que o tempo para os irmãos é diferente quanto medido por dois referenciais relativos, pois como seria possível a viagem de Francisco durar 15 anos, sendo que na velocidade da luz deveria durar 20? A resposta está no fato de que as medidas são diferentes por causa da velocidade em que o fenômeno acontece (SANTOS, 2006).

Mas, como esta diferença pôde acontecer? Lembra que Einstein afirmou que o espaço e o tempo são relativos? Então, isso significa que além do tempo, o espaço também depende do referencial do observador (DAMASIO, 2009).

O fato é que apesar desse evento ser conhecido como paradoxo dos gêmeos, ele é quase absoluto porque não seria possível afirmar qual dos gêmeos envelheceria menos ou mais, porque a situação dos referenciais<sup>15</sup> dos gêmeos é equivalente. Ou seja, o irmão que ficou na Terra poderia estar se afastando do irmão que está na nave (Figura 39).

**Figura 39:** representação de Einstein mostrando a diferença entre os referenciais inerciais no paradoxo dos gêmeos



Fonte: a autora

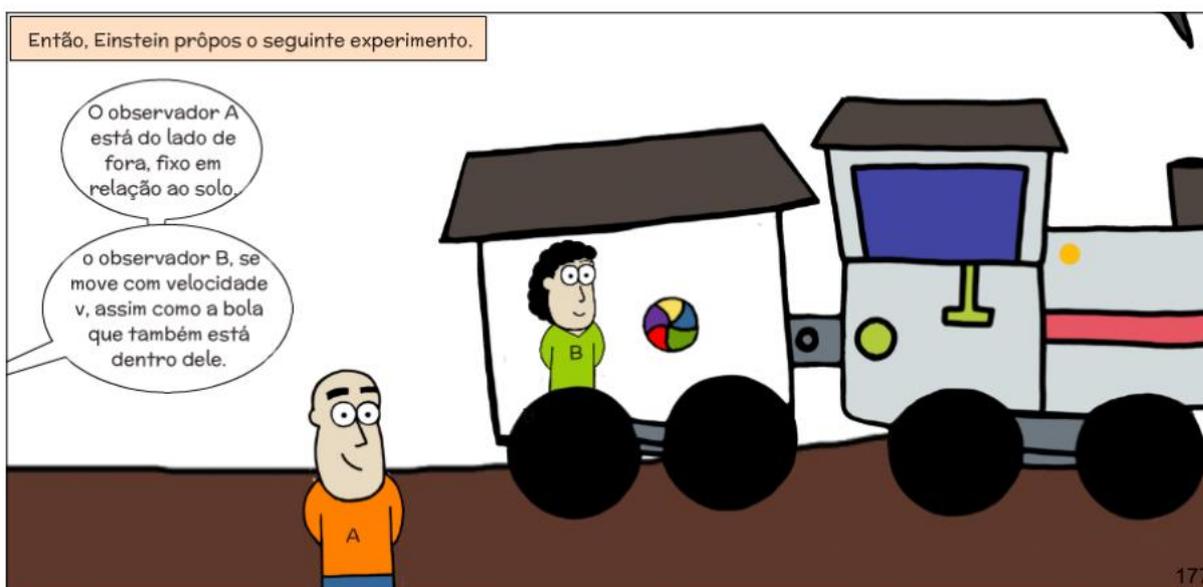
<sup>15</sup> Para o professor: relembrar com os alunos o experimento do pêndulo, proposto por Isaac Newton, para discutir sobre referenciais inerciais e acelerados. Einstein realiza a mesma discussão ao apresentar o paradoxo dos gêmeos.

Entretanto, na realidade, a situação deles não é igual porque apenas o irmão que ficou na Terra está em um referencial inercial, e, dessa forma, a relatividade restrita vale apenas para Francisco, já que Pedro não constitui um referencial inercial uma vez que é possível acelerar a nave (lembrando que as conclusões da relatividade restrita são válidas apenas para referenciais inerciais).

Além do paradoxo dos gêmeos, Albert Einstein também desenvolveu teorias a respeito da velocidade da luz<sup>16</sup>. Para isso, fez a seguinte pergunta: o que aconteceria se eu pudesse acompanhar um feixe de luz com a mesma velocidade? (MARTINS, 2015). Para responder a essa pergunta, Einstein buscou um embasamento teórico no eletromagnetismo, uma vez que a luz era a variação de campos elétricos e magnéticos que oscilam enquanto viajam.

Conforme as leis da mecânica, a velocidade de um objeto depende também da velocidade da sua fonte. Por exemplo, na Figura 40 tem-se dois observadores (observador A, externo e o observador B, interno) em relação a um trem. Dentro do trem, o observador B lança uma bola para frente. Para ele, a velocidade da bola é a mesma velocidade de lançamento, que vamos chamar de  $v_b$ .

**Figura 40:** visão dos observadores externos e internos em relação ao vagão de trem.



Fonte: a autora

<sup>16</sup> Para o professor: discutir com os alunos a velocidade da luz no vácuo e em diferentes meios materiais.

Para o observador externo, a velocidade da bola será somada com a velocidade da sua fonte, passando a ser  $v_b + v_t$  (velocidade da bola + velocidade do trem), como indicado na Figura 41, uma vez que agora tem-se dois objetos em movimento. Logo, cada um dos observadores verificará um fenômeno diferente, uma vez que os referenciais também são diferentes.

Figura 41: visão do observador externo.

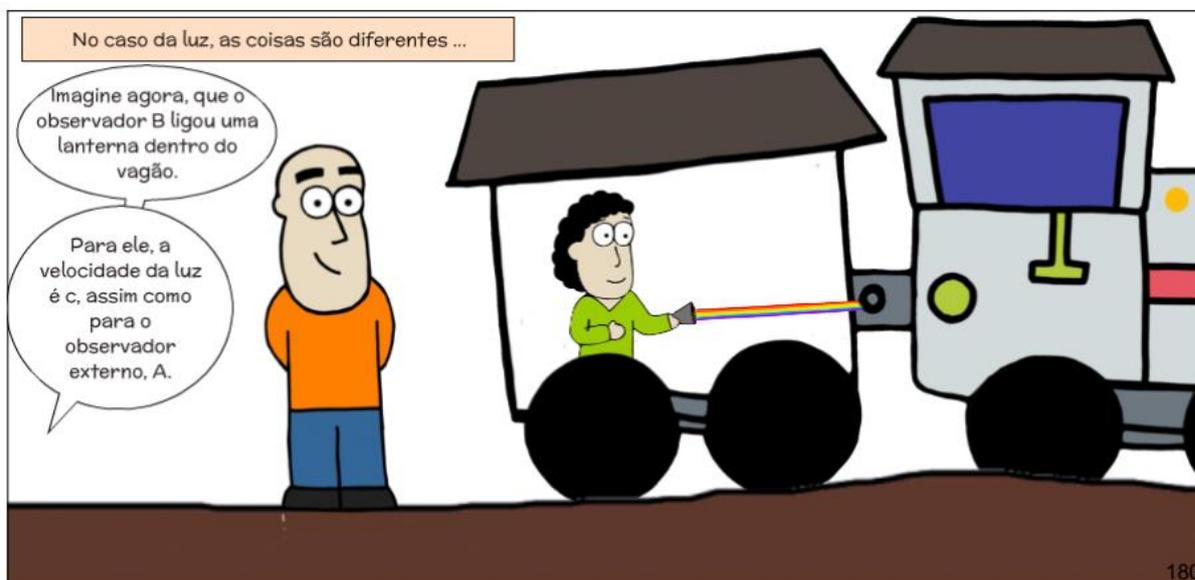


Fonte: a autora

No entanto, Einstein para Einstein, algo estava errado, uma vez que os observadores não deveriam verificar resultados diferentes em um mesmo fenômeno, contrariando o primeiro postulada. Então, ao refletir sobre o que aconteceria se o experimento fosse realizado com a luz, ao invés da bola, Einstein chegou a conclusão de que ambos observadores chegariam a mesma conclusão, uma vez que a velocidade da luz é absoluta.

Assim, ao ligar uma lanterna dentro do vagão, por exemplo, o observador B (interno) iria ver a luz se movimento com uma velocidade  $c$ , assim como o observador A, ou seja, tanto para o observador A e B, a velocidade de propagação da luz será  $c$ , pois não depende da fonte (Figura 42) (SANTOS, 2009).

**Figura 42:** ponto de vista do observador A e B em relação a velocidade da luz.



**Fonte:** a autora

Isto pode parecer contraditório, uma vez que a luz teria que compensar a velocidade em relação ao observador externo para determinar que o evento foi simultâneo. Mas, ao mostrar a relatividade da simultaneidade, também precisamos evidenciar o referencial em questão, para então, não violar a causalidade.

Logo, dois observadores em referenciais diferentes devem sempre observar o mesmo fenômeno, chegando a mesma conclusão, com uma ordem temporal absoluta. Isto porque, o segundo postulada da teoria da relatividade impede a transmissão de informações mais rápidas do que a velocidade da luz.

## CAPÍTULO 4 – UMA DISCUSSÃO HISTÓRICA- EPISTEMOLÓGICA

Nesse capítulo chamamos atenção do leitor para os aspectos da abordagem contextual que buscamos retratar em linguagem verbal e visual na história em quadrinhos que compõe o Produto educacional 1, construído no contexto desse trabalho de mestrado.

Selecionamos alguns quadros para indicar aspectos que sinalizam como as orientações propostas por Mccomas, Almazroa e Clough (1998) e Forato (2009) foram consideradas no processo de construção do roteiro e das imagens.

Selecionamos dois quadrinhos para destacar que *O conhecimento científico, enquanto não durável, tem caráter não absoluto*. No primeiro, podemos observar no quadrinho da Figura 43 que Galileu Galilei está discutindo sobre os modelos dos Sistemas Heliocêntrico. Esse modelo perdurou como o mais aceito por mais de 14 séculos, sendo contestado anteriormente por Nicolau Copérnico e depois por Galileu.

**Figura 43:** Galileu Galilei argumentando com a comunidade científica sobre os modelos do Sistema Solar



Fonte: a autora

Posteriormente, ao analisar os dados de Tycho Brahe, Johannes Kepler (Figura 44) observou que as órbitas circulares, propostas por Copérnico e Galileu, estavam erradas.

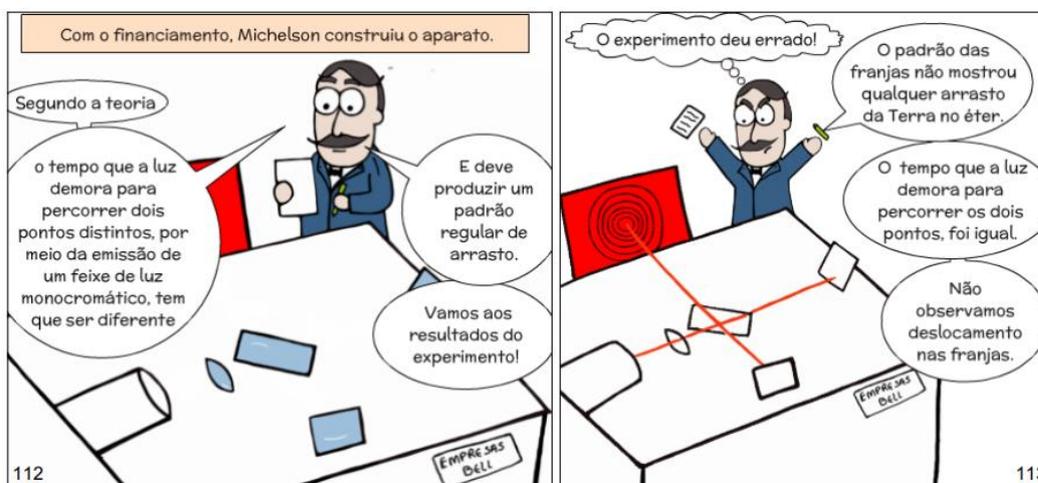
**Figura 44:** Kepler estudando as órbitas dos planetas.



Fonte: a autora

O conhecimento científico baseia-se fortemente, mas não totalmente, na observação, nas evidências experimentais, nos argumentos racionais e no ceticismo: os cientistas baseavam as teorias nas observações de fenômenos, fossem experimentais ou não. Todavia, essas observações nem sempre eram sempre colocadas em dúvidas ou utilizavam de argumentos lógicos que racionais para explica-las. Neste exemplo (Figura 45), o experimento do interferômetro para tentar prever o arrasto do éter não deu certo, então, Michelson buscou uma outra explicação ao invés de aceitar o resultado e desconsiderar a existência do éter.

**Figura 45:** Michelson e o primeiro interferômetro



Fonte: a autora

*Não existe uma maneira única de se fazer ciência, ou seja, não há um método científico universal: as teorias podem ser discutidas por meio de cartas (Figura 46), experimentos (Figura 47), debates entre pares (Figura 48) entre outros.*

**Figura 46:** Arago enviando uma carta à Fresnel pedindo explicações sobre a teoria ondulatória da luz.



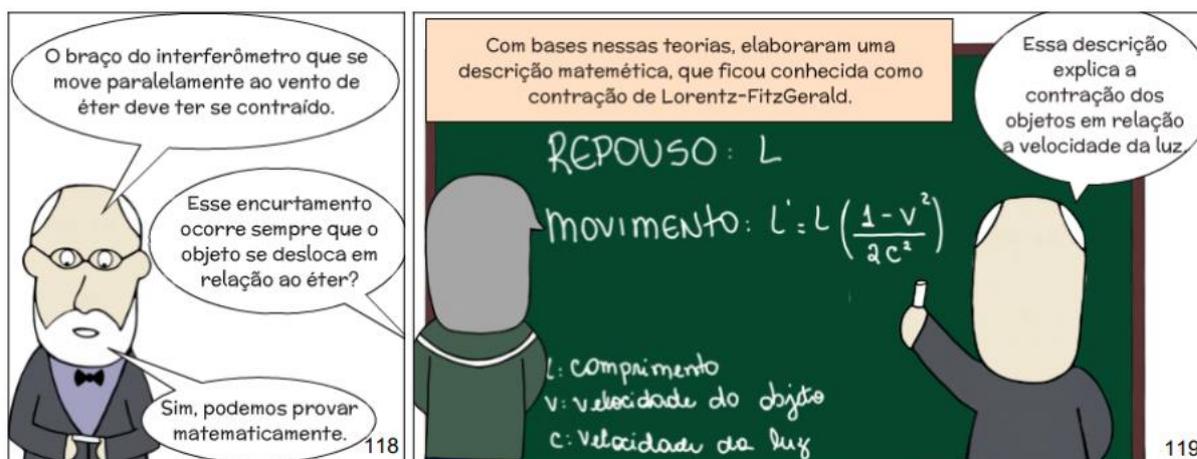
Fonte: a autora

**Figura 47:** O segundo interferômetro construído por Michelson, com a ajuda de Morley



Fonte: a autora

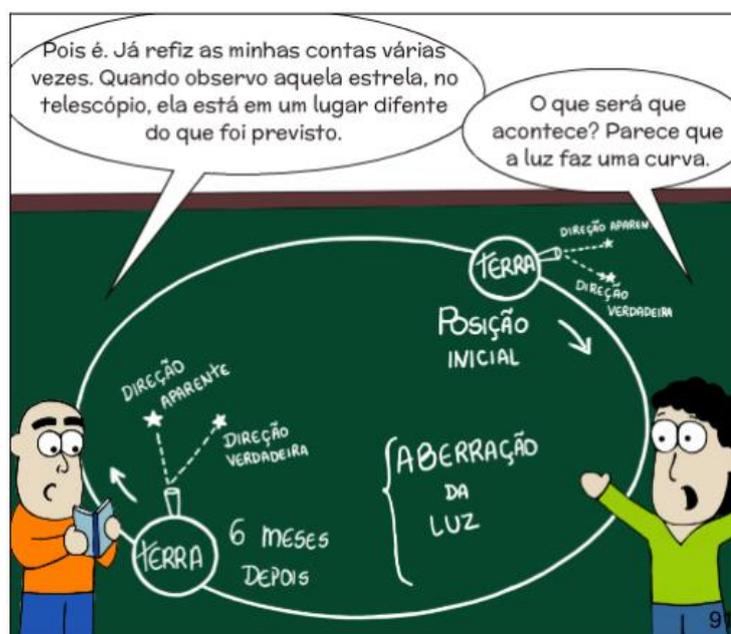
**Figura 48:** Lorentz e FitzGerald discutindo sobre o resultado nulo do interferômetro.



Fonte: a autora

A ciência é uma tentativa de explicar os fenômenos naturais: um desses fenômenos naturais, por exemplo, era a aberração da luz das estrelas, no qual, vários cientistas (Figura 49) tentaram encontrar uma explicação para a mudança da posição das estrelas. Mais tarde, esse fenômeno ficou conhecido como paralaxe estelar.

**Figura 49:** Cientistas tentando explicar um fenômeno natural



Fonte: a autora

Leis e teorias exercem papéis diferentes na ciência, sendo que teorias não se tornam leis, mesmo quando evidências adicionais ficam disponíveis: muitas vezes, uma teoria não se torna uma lei, por exemplo, a teoria corpuscular da luz, proposta

por Newton. Mais tarde, Fresnel e Young (Figura 50) contribuíram com a teoria ondulatória ao realizarem um experimento de polarização da luz.

**Figura 50:** Fresnel e Young rebateram a teoria corpuscular da luz, afirmando que ela tinha um caráter oscilatório



Fonte: a autora

*Pessoas de todas as culturas contribuem para com a construção/desenvolvimento da ciência:* a Figura 51 apresenta alguns dos cientistas que contribuíram para a formulação final da TRR, e, seus países de origem, mostrando que cada um tem uma nacionalidade e cultura diferente. Nela, temos os cientistas Maxwell, Torricelli, Kepler, Ptolomeu e Michelson.

**Figura 51:** cientistas e suas nacionalidades



Fonte: a autora

*Os novos conhecimentos devem ser comunicados de forma clara e aberta; os cientistas necessitam de registros precisos, revisão por pares e replicabilidade dos estudos realizados.*

A carta que Maxwell escreveu à Todd (Figura 52) pedindo maiores informações sobre os eclipses dos satélites de Júpiter e, ao mesmo tempo, lhe dando informações sobre a sua teoria. Com o falecimento de Maxwell, Todd publicou a carta. Com a publicação, Michelson teve acesso as ideias e teorias de Maxwell, e, para entendê-las melhor, pediu maiores explicações a Todd (por causa da replicabilidade por pares entre os cientistas).

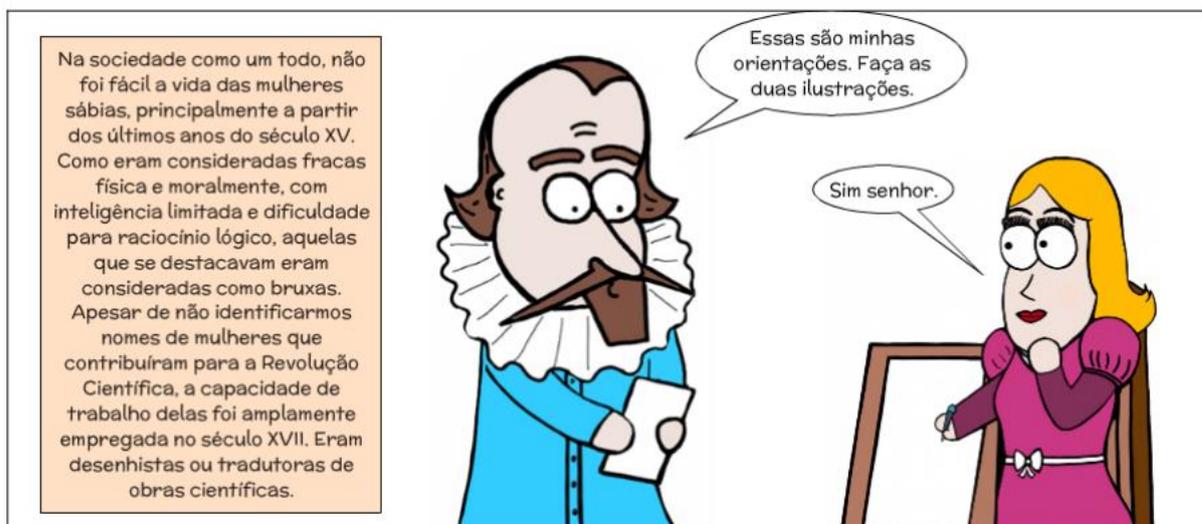
**Figura 52:** revisão por pares entre Maxwell e Todd, e posteriormente Todd e Michelson.



Fonte: a autora

Outro ponto destacado na HQ é a participação das mulheres nas ciências, indicado na figura 53.

**Figura 53** - Participação das mulheres na ciência nos séculos XV a XVII.



Fonte: a autora

As observações são carregadas de teorias; cientistas são criativos: por não terem maneiras de realizar alguns experimentos, cientistas recorrem a experimentos imaginários, que requerem um alto grau de criatividade e abstração. Na figura 54, por exemplo, Galileu propõe o experimento imaginário utilizando um navio em movimento para discutir um mesmo fenômeno analisado por dois observadores diferentes. Essa vinheta também pode ilustrar que *Não existe uma maneira única de se fazer ciência, ou seja, não há um método científico universal.*

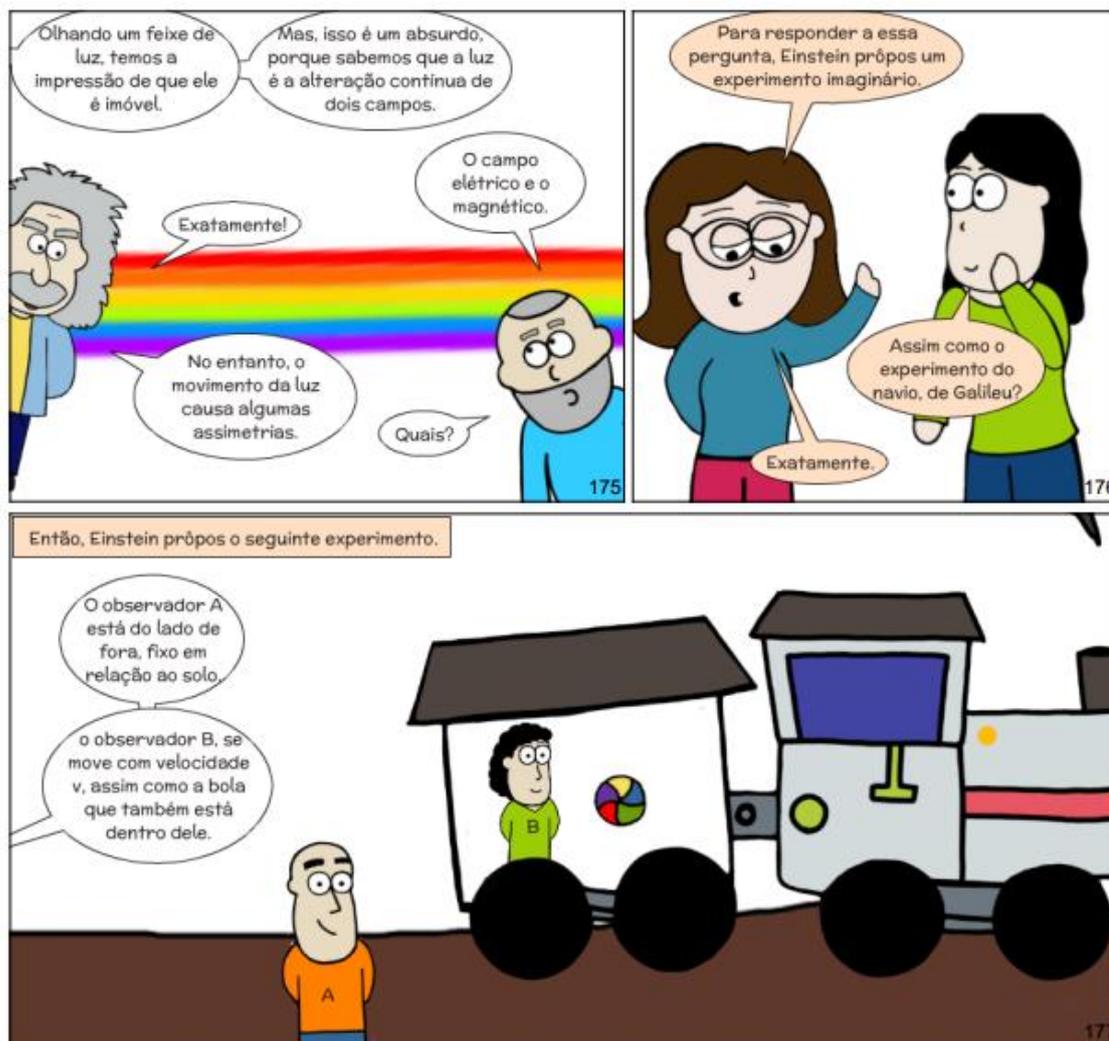
**Figura 54:** Galileu escrevendo uma carta a Kepler para discutirem sobre o movimento dentro de um navio por meio de um experimento imaginário.



Fonte: a autora

Na Figura 55, Einstein utiliza o mesmo princípio para discutir a velocidade da luz dentro de um trem.

**Figura 55:** Experimento imaginário, proposto por Einstein, para discutir a velocidade da luz.



Fonte: a autora

*A ciência é parte das tradições culturais e sociais:* é possível destacar aspectos como o retratado na vinheta 93 da figura 43 na qual a academia promovia concursos financiados por outros contextos, altamente influenciados por interesses que não apenas o desenvolvimento da ciência propriamente dita.

Outro ponto que merece destaque é a influência da Igreja Católica nas teorias de Galileu, destacado em vinhetas como as indicadas na figura 56. Nela, ressaltamos o fato de que Galileu teve problemas com a Igreja ao afirmar que o Sistema Geocêntrico estava errado. Por causa dessas afirmações, foi condenado a

prisão perpétua pela Inquisição e foi obrigado a se desculpar publicamente, afirmando que a sua teoria estava errada.

**Figura 56:** Galileu afirmando para o Papa que o modelo Geocêntrico estava errado.



Fonte: a autora

A história da ciência apresenta um caráter tanto evolutivo quanto revolucionário: um desses exemplos foi o fato de Einstein desprezar a existência do éter (Figura 57). Ao fazer isto, ele afirmou que não existia mais um referencial privilegiado, e que todos os observadores devem constatar o mesmo resultado em um fenômeno.

**Figura 57:** Einstein discursando sobre o fato de que o éter não existe.



Fonte: a autora

A ciência e a tecnologia impactam uma à outra: na Figura 58, temos um exemplo de como a tecnologia e a ciência estão ligadas. Neste caso, Michelson precisava de um financiamento para construir o seu aparato, e, ficou sabendo que Graham Bell financiava pesquisas que podiam lhe ajudar a aperfeiçoar o aparelho telefônico.

Figura 58: Michelson procurando um patrocinador para o seu aparato.



Fonte: a autora

Nessa mesma figura 58 podemos observar que as *Ideias científicas* são afetadas pelo seu meio social e histórico: Michelson era um cientista polonês. precisou viajar para a França porque em seu contexto não possuía tecnologia suficiente para a construção do interferômetro que utilizaria no experimento. Além disso ele foi financiado pela Bell Telephone Laboratories, uma empresa americana

que tinha interesses comerciais, relacionados com melhoria do sistema de comunicação.

Destacamos algumas das ilustrações que buscam ressaltar como atendemos as orientações propostas por McComas, Almazroa e Clough (1998) e Forato (2009), sobre o ensino de ciências utilizando a história da ciência.

## ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

O estudo desenvolvido nesse trabalho de mestrado resultou na construção de um produto educacional, planejado e elaborado para atender uma necessidade pontuada em muitos trabalhos da área de ensino de ciências: necessidade de um material adequado de História da ciência no ensino de ciências, que contribua para minimizar as dificuldades de leitura e interpretação de textos, por parte dos alunos, e que apresente uma contextualização histórico-epistemológica que não reforce a visão empirista-indutivista do trabalho científico.

A pesquisa bibliográfica, realizada no início do trabalho investigativo, resultou em informações que possibilitaram responder a questão que estruturou a investigação de natureza qualitativa: *É possível empregar a linguagem de quadrinhos para construir um produto educacional, explorando aspectos da História e Filosofia da Ciência, relacionada com a Teoria da Relatividade Restrita, descritos com base numa abordagem contextual, que sinaliza a influência de vários campos de estudos e culturas?*

A história em quadrinhos possibilita um jogo entre linguagem escrita, oral e visual, o qual pode favorecer aprendizagem de conceitos científicos, além de ser um aspecto motivacional. A leitura das informações apresentadas nesse jogo pode contribuir para que o aluno participe ativamente do processo de ensino, pois solicita que ele relacione as mensagens apresentadas nessas diferentes linguagens.

O roteiro da história em quadrinhos foi estruturado de forma à possibilitar que o produto educacional seja usado como fonte de conteúdo científico ou estratégia pedagógica para abordagem desse. Cabe ao professor selecionar como vai empregar o produto educacional produzido na forma história em quadrinhos, conforme seu planejamento e necessidade: ferramenta didática de apoio para abordagem conceitual, em uma atividade de ensino, de tarefa ou avaliação da aprendizagem.

As informações apresentadas na HQ foram coletadas em documentos primários e secundários, dissertações, teses e artigos científicos, publicados em diferentes áreas do conhecimento e que foram avaliados por pares. Essa seleção pautou-se na importância de construir uma abordagem contextual da Teoria da

Relatividade restrita que atendesse as orientações da visão epistemológica da Ciência, segundo McComas, Almazroa e Clough (1998).

As informações apresentadas em linguagem oral, escrita e visual foram estruturadas nas orientações de Rama e Vergueiro (2008) e o roteiro foi elaborado com o objetivo de fornecer subsídios para fomentar uma discussão de diferentes aspectos relacionados com a construção das ideias que sustentam a Teoria da Relatividade Restrita.

A forma como as informações foram apresentadas na HQ possibilita analisar a produção científica como um processo coletivo, no qual participam pessoas de diferentes culturas e contextos, as quais estão sujeitas à influências de diferentes esferas da sociedade. Ressalta que a Ciência não é resultado de um processo que produz verdades absolutas, que sua construção está sujeita a erros e que têm como objetivo encontrar respostas para um problema, geralmente vinculado ao contexto social.

Os cientistas indicados como protagonistas da HQ foram retratados como mais um participante do processo histórico e cultural, que resulta na construção do conhecimento científico, e não como um ser diferente de tantos outros que também participaram dessa construção, mas que não foram reconhecidos. As ideias estruturadas nesse processo são influenciadas por diferentes aspectos, desde sua concepção até sua divulgação aos demais membros da academia científica.

O produto educacional 1, a HQ explorando conteúdos históricos, enfatiza o processo da construção da Teoria e não apenas a sua formulação final. Inicia contextualizando discussões sobre um problema discutido pela comunidade científica na qual Galileu Galilei e Kepler estavam inserido. Prossegue retratando possíveis controvérsias sobre o mesmo problema ou outros como a natureza da Luz. Busca estabelecer relações dessas discussões com as ideias de Newton e outros cientistas até a formulação das conhecidas equações de Maxwell.

A parte final do produto é dedicada aos aspectos históricos relacionados com o experimento de Michelson e Morley, as ideias de Poincaré sobre a relatividade e as discussões de Albert Einstein e outros cientistas sobre a Teoria da relatividade Restrita.

Considerando essa distribuição o produto educacional pode ser usado não apenas para discutir a Teoria da relatividade Restrita, mas assuntos de gravitação, leis do movimento e natureza da luz.

Apesar de não ter passado por uma validação no contexto de sala de aula acreditamos que é possível empregar a linguagem de quadrinhos para construir um produto educacional, explorando aspectos da História e Filosofia da Ciência, relacionada com a Teoria da Relatividade Restrita.

Ressaltamos que a história em quadrinhos apresentada no produto 1 utiliza-se das linguagens escrita, visual e oral para apresentar o processo de construção da ciência respeitando as orientações de Silveira (1992), Kohnlein e Peduzzi (2003, 2005) e Silva et al (2013): ao construir as vinhetas os autores tiveram a preocupação de não reforçar a visão empirista-indutivista do trabalho científico; algumas vinhetas sinalizam que não existe um único modo de fazer ciência; outras destacam que o produtor do conhecimento científico faz uso da criatividade e da sua intuição ao apresentar uma ideia aos demais membros da comunidade científica; e que essas ideias são avaliadas pelos pares e sua validade pode ser provisória.

Consideramos que esse produto pode contribuir para que os alunos reconheçam que o conhecimento científico não é produzido por um método universal, único. Que ele não é absoluto e está sujeito a erros e facilmente aceito por todos os sujeitos da sociedade, pelo contrário, ele sofre constantes mudanças e é muito influenciado pelo contexto histórico e cultural.

O produto 1 foi planejado e construído para ser utilizado como conteúdo de ensino de ciências ou como estratégia de ensino, se o professor assim desejar.

Considerando dificuldades listadas na literatura da área de ensino sobre a formação de professores para o uso de história da Ciência no ensino de Ciências elaboramos o produto educacional 2 e sugerimos ao que o professor realize a leitura do capítulo 4 dessa dissertação. Isso pode auxiliar no planejamento de como utilizar o produto educacional 1 de forma mais proveitosa no contexto de sala de aula.

Pretendemos em trabalhos futuros: realizar a avaliação do material; melhorar o jogo linguístico da informação apresentada na forma escrita, visual e oral, apresentada em cada vinheta e, em especial, ampliar os instrumentos que podem auxiliar os professores a utilizar a HQ.

## REFERÊNCIAS

- ARRIASSECQ, Irene; GRECA, Ileana M. Introducción de la teoría de la relatividad especial en nivel medio/polimodal de enseñanza: identificación de teoremas-em-acto y determinación de objetivos-obstáculo. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 11, n. 2, p. 189-218, 2006.
- AYALA FILHO, Álvaro Leonardi. A construção de um perfil para o conceito de referencial em Física e os obstáculos epistemológicos à aprendizagem da teoria da relatividade restrita. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 15, n. 1, p. 155-179, 2010.
- BARBOSA, Roberto; BATISTA, Irinéia. Desenvolvendo a criatividade nas aulas de Física. **Física na Escola**, v. 14, n. 1, 2016
- BARCELLOS, Marcília; GUERRA, Andreia. Inovação curricular e Física moderna: da prescrição à prática. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 17, n. 2, p. 329-350, 2015.
- BARRETO FILHO, Benigno, SILVA, Claudio Xavier. Física, aula por aula, vol. 03. 2 ed. São Paulo: FTD, 2013.
- BARROS, A. et al. Sobre a contração de Lorentz-Fitzgerald. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 4, p. 621-623, 2005.
- BISCUOLA, Gualter José, BÔAS, Newton Villas, DOCA, Ricardo Helou. Física 3, vol. 03. – 2 ed. – São Paulo: Saraiva, 2013.
- BONADIMAN, Helio; NONENMACHER, Sandra EB. O gostar e o aprender no ensino de Física: uma proposta metodológica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, p. 194-223, 2007.
- BROCKINGTON, Guilherme; PIETROCOLA, Maurício. O Ensino de Física Moderna necessita ser real. **Anais do XVI SNEF – Simpósio Nacional de Ensino de Física, Rio de Janeiro**, 2005.
- CABALLERO, José Ricardo Diaz. La duda creativa y las revoluciones científicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 3, p. 3303, 2011.
- CARAÇA, Reinaldo da Silva. Efeitos relativísticos sobre observadores uniformemente acelerados. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 39, n. 4, 2017.
- CARDOSO, Nelson Leite. A Utilização do Software Educacional de Simulação e Modelagem "Interactive Physics" como Instrumento de Promoção da Aprendizagem Significativa de Conceitos de Física: Uma Investigação Pedagógica a Partir da Proposição de Situações-Problema. Diss. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.
- CARDOSO, Stênio Octávio de Oliveira. Ensinando o efeito fotoelétrico por meio de simulações computacionais: elaboração de roteiro de aula de acordo com teoria aprendizagem significativa. 116 f. 2014. Tese de doutorado. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciência e Matemática) – Pontífca Universidade Católica, Belo Horizonte, 17 de junho. 2011.
- CARUSO, Francisco; ARAÚJO, RMX de. A Física e a Geometrização do mundo: Construindo uma cosmovisão científica. **Rio de Janeiro: CBPF**, 1998.
- CARUSO, Francisco; CARVALHO, Miriam; SILVEIRA, Maria Cristina. Uma proposta de ensino e divulgação de ciências através dos quadrinhos. **Ciência & Sociedade**, v. 8, 2002.

- CARUSO, Francisco; FREITAS, Nilton. Física Moderna no Ensino Médio: o espaço-tempo de Einstein em tirinhas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 26, n. 2, p. 355-366, 2009.
- CUNHA, André Rafael; GOMES, Gerson Gregório. Física Moderna no Ensino Médio e sua necessidade de sincronização conceitual. **Física na Escola**, v. 13, n. 1, p. 8-9, 2012
- DA CRUZ SILVA, Boniek Venceslau; ATAIDE, Márcia Cristiane Eloi Silva; DA SILVA VENCESLAU, Tátilla Karoline Oliveira. TIRINHAS EM SALA DE AULA: O QUE SABEM OS FUTUROS PROFESSORES DE FÍSICA?. **HOLOS**, v. 3, p. 204-211, 2015.
- DA SILVA ESTEVÃO, Ana Paula Sodré; DA COSTA, Marco Antonio Ferreira. História em Quadrinhos: estratégias para o processo ensino-aprendizagem do tema “lixo eletr nico”. **Revista Práxis**, v.8, n.1 (Sup), 2016.
- DAHMEN, S lvio R. Einstein e a Filosofia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n.1, p. 3 – 7, 2006.
- DAMASIO, F.; RICCI, T. F. Relatividade de Einstein em uma abordagem histórico-fenomenológica. **Textos de Apoio ao professor de Física**, v. 20, p. 1-49, 2009.
- DAMASIO, Felipe. Memórias Póstumas de Albert Einstein. Editora WS Editor. 2012.
- DAMASIO, Felipe; PEDUZZI, LUIZ O.Q. Afinal, Einstein usou ou não dados experimentais para propor sua relatividade restrita? Com a palavra, ele mesmo. **Física na Escola**, v. 15, n. 1, 2017.
- DAMASIO, Felipe. O início da revolu o científica: questoes acerca de Copérnico e os ep ciclos, Kepler e as órbitas elípticas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 3, p. 3602, 2011.
- DE HOLANDA CAVALCANTI, Cláudio José; OSTERMANN, Fernanda. Deforma es geométricas e velocidades superluminal aparentes em objetos em movimento relativístico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 355-372, 2007.
- DE CONTO, G; LIMA, Adriana; ORTEGA; Paulo Henrique; SCHMITZ, E.R.C culo K: uma abordagem alternativa para a relatividade especial. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 4, 4307, 2013.
- DE SOUZA, Lolita Lutz; BARCELLOS, Marc lia; GUERRA, Andreia. Relatividade Restrita no Ensino Médio: existem subsídios para o professor?. Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educa o em Ciências, 2013.
- DOMINGUINI, Lucas. Física moderna no Ensino Médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, p. 2502, 2012.
- EINSTEIN, Albert. Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento. LORENTZ, HA, EINSTEIN, A. E MINKOWSKI, H. O princípio da relatividade. Lisboa: Calouste Gulbekian, 1983.
- EINSTEIN, Albert. Sobre o Princípio da Relatividade e suas implica es. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 1, p. 37-61, 2005.
- EINSTEIN, Albert. Física e realidade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 9-22, 2006.
- FALCIANO, Felipe Tovar. Cinemática relativística: paradoxo dos gêmeos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 1, p. 19-24, 2007.

FAUTH, A. C. et al. Demonstração experimental da dilatação do tempo e da contração do espaço dos múons da radiação cósmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 2007.

FERREIRA, Douglas Alves. Percursos para a construção da Teoria da Relatividade restrita nas abordagens dos livros didáticos de Física. 2013.

FILHO, Álvaro Leonard A. A construção de um perfil para o conceito de referencial em Física e os obstáculos epistemológicos a aprendizagem da teoria da relatividade restrita. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 15, n. 1, p. 155-179, 2010

FILHO, Marlen Moura e Silva; FILHO, Francisco Cordeiro; FIRME, André Bessadas Penna. Uma transposição didática da Teoria da Relatividade Especial. **Revista Ensino de Ciências**, v. 2, n. 1, 2011.

FIOLHAIS, Carlos. Einstein e o prazer da Física: passados cem anos, a Física continua divertida. **Física na Escola**, v. 6, n. 1, 2005.

FORATO, Thaís Cyrino de Mello. A natureza da ciência como saber escolar: um estudo de casa a partir da história da luz. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FORATO, Thaís Cyrino de Mello; PIETROCOLA, Maurício; MARTINS, Roberto Andrade. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 27-59, 2011

FREDERICO, Fernando Temporini; GIANOTTO, Dulcinéia Ester Pagani. Metodologia no ensino de ciências: contribuições da utilização de histórias em quadrinhos para ensinar física. **Revista NUPEM**, v. 4, n. 7, p. 199-215, 2012.4

FREITAS, Maria Teresa de Assunção. Abordagem sócio-histórica como orientadora da pesquisa qualitativa. *Cadernos de Pesquisa*, n.116, p.21-39, julho/2002.

GERHARDT, Tatiane Engel et al. Métodos de pesquisa. [Organizado por] Tatiana engel Gerhardt e Denise Tolfo Silveira; coordenado pela Universidade Aberta do Brasil-UAB/UFRGS e pelo Curso de Graduação Tecnológica-Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. **Porto Alegre: Editora da UFRGS**, 2009.

GODOY, Arilda Schmidt. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de administração de empresas**, v. 35, n. 2, p. 57-63, 1995a.

GODOY, Arilda Schmidt. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. **Revista de Administração de empresas**, v. 35, n. 3, p. 20-29, 1995b.

GOMES, José Leandro de Albuquerque Macedo et al. Conceito de Calor: Contexto histórico e proposta para a sala de aula. 2013.

GUERRA, Andreia. Introdução – A importância da história da ciência no aprendizado de física. **Física na escola**, v. 10, n. 1, 2009.

GUERRA, Andreia; BRAGA, Marco; REIS, José Cláudio. Teoria da relatividade restrita e geral no programa de mecânica do ensino médio: uma possível abordagem. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 4, p. 575-583, 2007.

GUERRA, Andreia; REIS, José Claudio; BRAGA, Marco. Tempo, espaço e simultaneidade: uma questão para os cientistas, artistas, engenheiros e matemáticos no século XIX. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, n. 3 : p. 568-583, 2010.

- HULSENDEGER, Margarete Jesusa Varela Centeno. Os prós e contras da utilização da ciência no ensino de física. **Anais do XVI SNEF – Simpósio Nacional de Ensino de Física, Rio de Janeiro, 2005.**
- JARDIM, Wagner T.; OTOYA, Victor J. Vasquez; OLIVEIRA, Cristiane Garcia S. A teoria da relatividade restrita e os livros didáticos do Ensino Médio: Discordâncias sobre o conceito de massa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 2, 2506, 2015.
- KAPITANGO-A-SAMBA, Kilwangy Kya. Categorias da inserção da História e Filosofia da Ciência no ensino de ciências da natureza. **Revista de Educação Pública**, v. 23, n. 54, p. 943-970, 2014.
- KARAM, Ricardo Alvelar Sotomaior; DE SOUZA CRUZ, Sonia Maria S.C; COIMBRA, Débora. Relatividades no ensino médio: o debate em sala de aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n.1, p. 105-114, 2007.
- KARAM, Ricardo Avelar Sotomaior; DE SOUZA CRUZ, Sonia Maria S.C; COIMBRA, Débora. Tempo relativístico no início do Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 373-386, 2006.
- KIKUCHI, Ligia Ayumi; ORTIZ, Adriano José; BATISTA, Irinéa de Lourdes. Ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: uma análise do que se tem discutido a respeito do assunto. **Atas do IX ENPEC - Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Águas de Lindóia, 2013.**
- KNEUBIL, Fabiana Botelho. Spatial Geometry and Special Relativity: a comparative approach. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 38, n. 4, 2016.
- KOHNLEIN, Janete Francisca K.; PEDUZZI, Luiz O. Q. Uma discussão sobre a natureza da ciência no ensino médio: um exemplo com a teoria da relatividade restrita. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 22, n. 1 : p. 36-70, 2005.
- KOHNLEIN, Janete Francisca Klein. Uma discussão sobre a natureza da ciência no ensino médio: um exemplo com a teoria da relatividade restrita. Diss. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.
- LOPES, Ideusa Celestino. **GIORDANO BRUNO CRÍTICA AO GEOCENTRISMO E DEFESA UNIVERSO INFINITO. I EPEF – UFRN, 2008**
- LONDERO, Leandro. As Histórias em Quadrinhos em Manuais Escolares de Física. **Ciência & Ensino (ISSN 1980-8631)**, v. 3, n. 1, p. 20-38, 2014.
- MACHADO, Daniel Iria; NARDI, Roberto. Construção e validação de um sistema hipermídia para o ensino de Física Moderna. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 6, n. 1, p. 90-116, 2007.
- MCCOMAS, W. F.; ALMAZROA, H.; CLOUGH, M. P. The nature of science in science education: an introduction. **Science & Education**, Dordrecht, v. 7, n. 6, p. 511-532, 1998.
- MARICONDA, Pablo Rubén; VASCONCELOS, Júlio. Galileu e a nova física. **São Paulo: Odysseus Editora, 2006.**
- MARQUES, Adriana de Souza. Doenças respiratórias que podem ser desenvolvidas na indústria da construção civil e o uso de equipamentos de proteção individual como prevenção. 2016. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.
- MARTINS, André Ferrer Pinto. História e Filosofia da Ciência no Ensino: há muitas pedras nesse caminho. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 1, p. 112-131, 2007.

- MARTINS, Roberto de Andrade. A dinâmica relativística antes de Einstein. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 1, p. 11-26, 2005.
- MARTINS, Roberto De Andrade. **Teoria da relatividade especial**. Lulu. com, 2008.
- MARTINS, Patricia Camara. Galileu e o Telescópio. “Qual Carreira Devo Escolher?”-Uma Reflexão Sobre o Lugar dos Cursos de Matemática na Escolha, p. 18, 2009.
- MARTINS, Roberto de Andrade. O éter e a óptica dos corpos em movimento: a teoria de Fresnel e as tentativas de detecção do movimento da Terra, antes dos experimentos de Michelson e Morley (1818-1880). **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. 1, p. 52-80, 2012.
- MARTINS, Roberto de Andrade. A origem histórica da relatividade especial / Roberto de Andrade Martins. – São Paulo: Editora Livraria da Física, 2015.
- MARTINS, Roberto de Andrade. Teoria da relatividade especial / Roberto de Andrade Martins. – São Paulo : Editora da Física, 2012
- MÁXIMO, Antônio, ALVARENGA, Beatriz. Física contexto & aplicações: ensino médio, vol 3. 1. Ed. São Paulo: Scipione, 2013.
- MARTINS, Roberto de Andrade. A origem histórica da relatividade especial. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2015.
- MEDEIROS, Alexandre. Eric Rogers e o ensino de física moderna. **Física na Escola**, v. 8, n. 1, p. 40-42, 2007.
- MONTEIRO, Maria Amélia; NARDI, Roberto. As abordagens dos livros didáticos acerca da Física Moderna e Contemporânea: algumas marcas da natureza da ciência. **Atas do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Curitiba**, 2008.
- MONTEIRO, Maria Amélia; NARDI, Roberto; FILHO, Jenner Barretos Bastos. A sistemática incompreensão da teoria quântica e as dificuldades dos professores na introdução da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. **Ciência e Educação (Bauru)**, p. 557-580, 2009.
- MOREIRA, Ildeu de Castro. 1905, um ano miraculoso. **Física na Escola**, v. 6, n. 1, 2005.
- MOREIRA, Marco Antonio; ROSA, Paulo Ricardo da Silva. **Uma introdução à pesquisa Qualitativa em Ensino**. Editora UFMS, Campo Grande, 2008.
- MORAIS, Angelita; GUERRA, Andreia. História e a filosofia da ciência: caminhos para a inserção de temas física moderna no estudo de energia na primeira série do Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 1, p. 1502, 2013.
- MOTA, Elsa; SIMÕES, Ana; CRAWFORD, Paulo. Einstein em Portugal: o primeiro teste da teoria da relatividade geral e o seu impacto na comunidade científica nacional. **Folhais, op. cit.(6)**, p. 43-56, 1905.
- MUNERA, Héctor A. AL EXPERIMENTO DE MICHELSON-MORLEY Y EL SEGUNDO POSTULADO DE EINSTEIN: INEXTRICABLEMENTE UNIDOS. **Einstein: científico y filósofo**, 2007.
- NOGUEIRA, Ignatius Maria Clélia. As teorias de aprendizagem e suas implicações no ensino de matemática. **Acta Scientiarum. Human and Social Sciences**, v. 29, n. 1, 2007.
- OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antonio. 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, 2000.

OSTERMANN, Fernando; CAVALCANTI, Cláudio J. de H. Teorias de aprendizagem. **Porto Alegre: UFRGS**, 2010.

OLIVEIRA, Fabio Ferreira; VIANNA, Deise Miranda; GERBASSI, Reuber Scofano. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 447-454, 2007.

OTERO, Maria Rita; ARLEGO, Marcelo; PRODANOFF, Fabiana. Design, analysis and reformulation of a didactic sequenc for teaching the special theory of relativity in high school. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 3, 4301, 2015.

PATY, Michel. Pensamento racional e criação científica em Poincaré. **Scientiae Studia**, v. 8, n. 2, p. 177-193, 2010.

PEDUZZI, Luiz OQ.; TENFEN, Danielle Nicolodelli; CORDEIRO, Marinês Domingues. Aspectos da natureza da ciência em animações potencialmente significativas sobre a história da Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, p. 758-786, 2012.

PEDUZZI, Luiz OQ. A relatividade einsteiniana: uma abordagem conceitual e epistemológica. Florianópolis: publicação interna. Recuperado de [http://media.wix.com/ugd/7d71af\\_5d8925828479433eb694a14a8f294449.pdf](http://media.wix.com/ugd/7d71af_5d8925828479433eb694a14a8f294449.pdf), 2015.

PENA, Fábio L. Alves. Como trabalhar com “TIRINHAS” nas aulas de Física. **Física na escola**, v. 4, n. 2, p. 20-21, 2003.

PENA, Fábio Luís Alves. Por que, nós professores de Física do Ensino Médio, devemos inserir tópicos e ideias de física moderna e contemporânea na sala de aula? **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 1-2, 2006

PELITI, Lucas. Elementary derivation of the expressions of momentum and energy in special relativity. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 2, 2016.

PEREIRA, Alexsandro; OSTERMANN, Fernanda. Sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 13, n. 3, p. 393-420, 2009

PÉREZ, Héctor; SOLBES, Jordi. Una propuesta sobre enseñanza de la relatividad en el bachillerato como motivación para el aprendizaje de la física. **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, v. 24, n. 2, p. 269-283, 2006.

PIETROCOLA, Maurício. Fresnel e o arrastamento parcial do éter: a influência do movimento da terra sobre a propagação da luz. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 10, n. 2, p. 157-172, 1993.

PORTO, C. M.; PORTO, M.B.D.S.M. A evolução do pensamento cosmológico e o nascimento da ciência moderna. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 4, 4601, 2008.

PORTO, CM; PORTO, M.B.D.S.M. Uma visão do espaço na mecânica newtoniana e na teoria da relatividade de Einstein. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 1, 1603, 2008.

QUINTAL, João Ricardo; GUERRA, Andréia. A história da ciência no processo ensino-aprendizagem. **Física na Escola**, v. 10, n. 1, 2009.

RAMA, Angela; VERGUEIRO, Waldomiro. Como usar as histórias em quadrinhos na sala de aula: 4. Ed. São Paulo: Editora Contexto, 2012.

RAMA, Angela; VERGUEIRO, Waldomiro. **Como usar as histórias em quadrinhos na sala de aula**. Editora Contexto, 2008.

RAMOS, I. R. O. et al. Sobre a indução do campo eletromagnético em referenciais inerciais mediante transformações de Galileu e Lorentz. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 39, n. 2, 2017.

RENN, Jürgen. A física clássica de cabeça para baixo: como Einstein descobriu a teoria da relatividade especial. **Revista brasileira de ensino de física**, 2004.

RIBEIRO, Marcia Helena. Estudo do calor: sequência de ensino associada à conservação de alimentos. 2015. Dissertação de Mestrado.

ROCHA, A. N.; RIZZUTI, B. F.; MOTA, D. S. Transformações de Galileu e de Lorentz: Um estudo via teoria de grupos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 4, p. 4304, 2013.

RODRIGUES, Bruno A.; BORGES, A. Tarciso. O ensino de ciências por investigação: reconstrução histórica. **Anais do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, 2008.

RODRIGUES, Carla Moraes; SAUERWEIN, Inés Prieto Schmidt; SAUERWEIN, Ricardo Andreas. Uma proposta de inserção da teoria da relatividade restrita no Ensino Médio via estudo do GPS. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, 2014.

ROSA, Paulo Ricardo da Silva. Uma introdução à pesquisa qualitativa em ensino. Campo Grande, MS : Ed. UFMS, 2015.

SÁNCHEZ, Manuel Alonso; SELVA, Vicent Soler. La relatividad en el bachillerato. Una propuesta de unidad didáctica. **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, v. 24, n. 3, p. 439-454, 2006.

SANTOS, José Alex Soares. Teorias da Aprendizagem: comportamentalista, cognitivista e humanista. **Revista Científica Sigma**, v. 2, n. 2, p. 97-111, 2006.

SANTOS, Ricardo Paupitz B. Relatividade Restrita com o auxílio de Diagramas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 23, n. 2 : p. 238-246, 2006

SEIXAS, Wladimir. O princípio da Relatividade – de Galileu a Einstein. **Revista Brasileira de História da Matemática**, v. 5, n. 10, p. 43-56, 2005/2006.

SILVA, Carlos M. L. Fernandes. **Uma proposta para o ensino da teoria da relatividade especial no nível médio**. 2006. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado. Natal.

SILVA, Cibelle Celestino. Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para a aplicação no ensino. Editora Livraria da Física, 2006.

SILVA, Luciano Fernandes; CARVALHO, Luiz Marcelo. Professores de física em formação inicial: o ensino de física, a abordagem cts e os temas controversos (physics training teachers: physics teaching, STS approach and controversial issues). **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 1, p. 135-148, 2009.

SILVA, Boniek Venceslau da Cruz. Um debate na escola: a história e a filosofia da ciência em foco. **Física na Escola**, v. 11, n. 2, 2010.

SILVA, João Ricardo Neves da et al. O grupo de estudos e discussão como subsídio ao desenvolvimento de interações discursivas entre professores de física sobre a temática teoria da relatividade. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. 9-25, 2013.

SILVA, Ronivan Souza. A abordagem do efeito fotoelétrico no ensino médio: contribuições de uma unidade de ensino potencialmente significativa. 2015. Dissertação de Mestrado.

SILVEIRA, Fernando Lang. A Filosofia da ciência e o ensino de ciências. **Em Aberto**, Brasília, ano 11, n. 55, 1992.

SILVEIRA, Fernando Lang; PEDUZZI, Luiz O. Q. Três episódios de descoberta científica: da caricatura empirista a uma outra história. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.23, n.1, p.26-52, 2006.

SILVEIRA, Denise Tolfo; CÓRDOVA, Fernanda Peixoto. Unidade 2—a pesquisa científica. **Métodos de pesquisa. Porto Alegre: UFRGS**, p. 31-42, 2009.

SOUZA, Vyllian et al. Produção de histórias em quadrinhos no ensino de física. III Simpósio de Educação em Ciências na Amazônia, 2013.

STACHEL, John. O manuscrito de Einstein de 1912 como pista para o desenvolvimento da teoria da relatividade restrita. **Scientiae Studia**, v. 3, n. 4, p. 583-596, 2005.

SOUZA, Eduardo Oliveira Ribeiro. Física em Quadrinhos: uma abordagem de ensino. 2014. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ensino de Biociências e Saúde) – Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, Fevereiro de 2014.

TELLES, Rodrigo Ferreira; MORAES, Rogério Oliveira; SILVA, Luzia Batista de Oliveira. DA GEOMETRIZAÇÃO DO ESPAÇO AO DESENCANTAMENTO DO MUNDO-ASPECTOS SOBRE A FORMAÇÃO DO PENSAMENTO CIENTÍFICO.

TESTONI, Leonardo André; ABIB, Maria Lúcia Vital dos Santos. A utilização de histórias em quadrinhos no ensino de física. **Anais do IV ENPEC**, 2003.

TOSI, Lúcia. Mulher e ciência: a revolução científica, a caça às bruxas e a ciência moderna. **cadernos pagu**, n. 10, p. 369-397, 1998.

TOSSATO, Claudemir Roque. Discussão cosmológica e renovação metodológica na carta de 9 de dezembro de 1599 de Brahe a Kepler. **Scientiae Studia**, v. 2, n. 4, p. 537-565, 2004.

UCHÔA, Alessandra. A história da relatividade especial antes de Einstein [manuscrito] : elaboração de uma proposta para o ensino superior. 2013. 69f. Dissertação de mestrado – Universidade Estadual da Paraíba, Paraíba, 2013

VALADARES, Jorge António. Da história da ciência ao ensino da ciência: o exemplo clarificador da construção da teoria da relatividade restrita. **Enseñanza de las Ciencias**, n. Extra, p. 1-5, 2005.

VANZELLA, Daniel Augusto Turolla. Teoria da relatividade geral: 100 anos encurvando como vemos o universo. **Física na Escola**, v. 14, n. 1, 2016

VARGAS, Suzana Lima; MAGALHÃES, Luciene Manera. O gênero tirinhas: uma proposta de sequência didática. **Revista educação em Foco, Juiz de Fora**, v. 16, n.1, p.119-149.

VITAL, Abigail; GUERRA, Andréia. Textos para ensinar física: princípios historiográficos observados na inserção da história da ciência no ensino. **Ciência e Educação**, v. 22, n. 2, p. 351-370, 2016.

\_\_\_\_\_. Einstein: uma breve cronologia. **Física na Escola**, v. 6, n. 1, 2005. Disponível em <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/cronologia.pdf>. Acesso em 18 de dezembro de 2016

ZANOTTA, Daniel; CAPPELLETTO, Elaine; MATSUOKA, Marcelo. O GPS: unindo ciência e tecnologia em aulas de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 2, 2313, 2011.

