

**UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL**  
**PRÓ-REITORIA ACADÊMICA**  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE  
CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

**DAS TRANSFORMAÇÕES DE GALILEU A LORENTZ:  
COMPREENDENDO AS SIMULAÇÕES MENTAIS E  
CONCEPÇÕES DE ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO  
SOBRE RELATIVIDADE ESPECIAL**

MAIRA GIOVANA DE SOUZA



Canoas, 2021

# **UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL**

**PRÓ-REITORIA ACADÊMICA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE  
CIÊNCIAS E MATEMÁTICA**



**MAIRA GIOVANA DE SOUZA**

**DAS TRANSFORMAÇÕES DE GALILEU A LORENTZ: COMPREENDENDO AS  
SIMULAÇÕES MENTAIS E AS CONCEPÇÕES DE ESTUDANTES DO ENSINO  
MÉDIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Luterana do Brasil como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

Orientador: Prof. Dr. Agostinho Serrano de Andrade Neto

Canoas, 2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – CIP

S729d Souza, Maira Giovana de.

Das transformações de Galileu a Lorentz : compreendendo as simulações mentais e as concepções de estudantes do ensino médio sobre relatividade especial / Maira Giovana de Souza. – 2021.

186 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Luterana do Brasil, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Canoas, 2021.

Orientador: Prof. Dr. Agostinho Serrano de Andrade Neto.

1. Teoria da relatividade. 2. Simulações mentais. 3. Perfil conceitual. 4. Teoria da Mediação Cognitiva. 5. Epistemologia de Laudan. I. Andrade Neto, Agostinho Serrano de. II. Título.

CDU 530.12

Bibliotecária responsável – Heloisa Helena Nagel – 10/981

**O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001**

MAIRA GIOVANA DE SOUZA

**DAS TRANSFORMAÇÕES DE GALILEU A LORENTZ: COMPREENDENDO AS  
SIMULAÇÕES MENTAIS E AS CONCEPÇÕES DE ESTUDANTES DO ENSINO  
MÉDIO**

Linha de Pesquisa: Tecnologias de Informação e Comunicação para o Ensino de Ciências e Matemática (TIC).

Dissertação apresentada no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Luterana do Brasil para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

Data de aprovação: 06/04/2021

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Ivan Pontual Costa e Silva  
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

---

Prof.<sup>a</sup>. Dra. Letícia Azambuja Lopes  
Universidade Luterana do Brasil – ULBRA

---

Prof. Dr. Rossano André Dal-Farra  
Universidade Luterana do Brasil – ULBRA

---

Prof. Dr. Agostinho Serrano de Andrade Neto (Orientador)  
Universidade Luterana do Brasil – ULBRA

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha mãe, pois sem seu apoio desde a época da escola, eu jamais teria chegado até aqui.

A minha família, em especial minha irmã, que sempre esteve comigo nessa caminhada.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Agostinho Serrano de Andrade Neto, por toda a competência em me guiar da melhor forma nesse caminho, obrigada por confiar em mim.

Aos professores Dr. Ivan Pontual Costa e Silva e Dr. Rossano André Dal-Farra e professora Dr<sup>a</sup>. Letícia Azambuja Lopes, por todas as contribuições pertinentes que agregaram qualidade ao meu trabalho.

À Escola Estadual Técnica São João Batista e a todos os meus alunos que participaram da minha pesquisa.

Agradeço aos inúmeros colegas que sempre me deram apoio. Em especial a Juliana, ao Paulo, a Priscila, ao Gian e a Savana, por todo auxílio e todos os momentos compartilhados.

Um agradecimento especial a Dirlene, pela imensa ajuda na análise quantitativa da pesquisa.

A Bárbara, por ser minha sustentação em todos os momentos.

Aos colegas do grupo de pesquisa, por todas contribuições e auxílios.

A todos os professores do PPGECIM, que contribuíram de alguma forma com a minha caminhada, e aos meus professores da graduação, que me inspiraram a seguir adiante.

E a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio e subsídio à pesquisa.

Sem dúvida, não há espaço aqui para agradecer a todos que, de alguma forma, contribuíram para que eu chegasse aqui.

## RESUMO

A presente pesquisa de mestrado busca investigar como se processam as simulações mentais desenvolvidas por estudantes referentes a fenômenos ligados à Teoria da Relatividade Especial (TRE) de Einstein. A pesquisa foi desenvolvida com estudantes do terceiro ano do Ensino Médio de uma escola da rede estadual de ensino no município de Montenegro/RS, de turmas das quais a pesquisadora era professora titular de Física. O aporte teórico da pesquisa consiste na Teoria da Mediação Cognitiva (TMC), na epistemologia de Larry Laudan e no Perfil Conceitual de Mortimer. A investigação converge para a análise das relações entre as simulações mentais, o perfil conceitual e as concepções dos estudantes sobre a dilatação temporal e contração espacial. Primeiramente foi conduzido um teste piloto com dois estudantes voluntários, a partir do qual alguns ajustes e adaptações nos materiais foram realizados. A experimentação final transcorreu no terceiro trimestre de 2019, durante as aulas curriculares de Física. Os estudantes responderam a questionários de pré-teste e pós-teste, imediatamente antes e após as atividades. Durante as atividades foram trabalhadas as quatro mediações conforme a TMC tanto para a Relatividade de Galileu quanto para a de Einstein, e a visão epistemológica de Laudan norteou a abordagem dos conceitos. Uma amostra de estudantes foi entrevistada através do protocolo *Report Aloud*. Os resultados obtidos provêm de uma análise quantitativa dos dados dos questionários e de uma análise qualitativa das entrevistas através da Análise Gestual Descritiva. Notou-se que a utilização das quatro mediações auxilia na compreensão dos estudantes sobre a TRE de uma forma quantificável. Além disso, uma relação entre as simulações mentais e o desenvolvimento da zona relativística para o perfil conceitual de referencial pôde ser percebida. Apresentam-se resultados que sugerem que somente após o estudante desenvolvê-las e compreender a teoria que ele passa a aceitar suas consequências como fenômenos reais.

**Palavras-chave:** Teoria da Relatividade. Simulações Mentais. Perfil Conceitual. Teoria da Mediação Cognitiva. Epistemologia de Laudan.

## ABSTRACT

The present master's research seeks to investigate how mental simulations developed by students regarding phenomena linked to Einstein's Theory of Special Relativity (TSR) are processed. The research was carried out with third year high school students from a state school in the city of Montenegro/RS, from classes in which the researcher was a full professor of physics. The theoretical contribution of the research consists of the Cognitive Networks Mediation Theory (CNMT), the epistemology of Larry Laudan and the Conceptual Profile of Mortimer. The investigation converges to the analysis of the relationships between mental simulations, the conceptual profile and the students' conceptions about temporal dilation and spatial contraction. First, a pilot test was conducted with two student volunteers, after which some adjustments and adaptations to the materials were made. The final experimentation took place in the third quarter of 2019, during the Physics curricular classes. Students answered pre-test and post-test questionnaires, immediately before and after activities. During the activities, the four mediations were worked out according to the TMC for both Galileo and Einstein's Relativity, as well as Laudan's epistemological vision guided the approach to concepts. A sample of students was interviewed using the *Report Aloud* protocol. The results obtained come from a quantitative analysis of the questionnaire data and a qualitative analysis of the interviews through Descriptive Gestural Analysis. It was noted that the use of the four mediations helps students understand the TSR in a quantifiable way. Moreover, a relationship between mental simulations and the development of the relativistic zone for the conceptual reference profile could be perceived. Results presented suggest that only after the student develops them and understands the theory that he starts to accept their consequences as real phenomena.

**Keywords:** Relativity Theory. Mental Simulation. Conceptual Profile. Cognitive Networks Mediation Theory. Epistemology of Laudan.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Processamento cognitivo por mediação externa. ....	36
Figura 2: Classificação dos problemas conforme Laudan (1978). ....	41
Figura 3: Movimento da bolinha para o referencial S' (I) e para o referencial S (II). ....	52
Figura 4: Referenciais S e S'. ....	53
Figura 5: Esquema simplificado do interferômetro de Michelson-Morley. ....	60
Figura 6: Observador dentro do vagão de trem. ....	64
Figura 7: Observador fora do vagão do trem. ....	65
Figura 8: Pulso luminoso no referencial S'. ....	65
Figura 9: Pulso luminoso no referencial S. ....	66
Figura 10: Triângulo retângulo formado na primeira metade do trajeto. ....	66
Figura 11: Sinal luminoso e nave com velocidade $v$ representados no diagrama. ....	71
Figura 12: Emissão do sinal luminoso para dois referenciais diferentes. ....	72
Figura 13: Gesto #SIM realizado pela estudante A1. ....	76
Figura 14: Gesto #OP realizado pela estudante A1. ....	77
Figura 15: Gesto #TREM realizado pelo estudante A2. ....	78
Figura 16: Gesto #CAM2 realizado pelo estudante A2. ....	79
Figura 17: Simulação “Bolinha no Trem” antes (esquerda) e após (direita) os ajustes. ....	81
Figura 18: Simulação “Carros e Avião” antes (esquerda) e após (direita) os ajustes. ....	82
Figura 19: Fachada da escola. ....	83
Figura 20: Tela da simulação “Bolinha no Trem”. ....	87
Figura 21: Tela da simulação “Carros e Avião”. ....	87
Figura 22: Tela da simulação “Contração do Espaço”. ....	88
Figura 23: Tela da simulação “Dilatação do Tempo”. ....	88
Figura 24: Maquete de Galileu (à esquerda) e Maquete de Lorentz (à direita). ....	90
Figura 25: Slide 7, Relatividade de Galileu, as bolinhas são animadas e movem-se para baixo. ....	91
Figura 26: Slide 21, velocidade da onda eletromagnética pelas das ideias de Maxwell, a onda é um gif animado. ....	91
Figura 27: Slides 27 e 28, que introduzem as Transformações de Lorentz. ....	92
Figura 28: Slides 33 e 35, experimento de Michelson-Morley, no slide 35 há um vídeo de um esquema dele. ....	93

Figura 29: Slides 41 e 42, troca de referencial que só pode ser explicada pela TR, as cargas elétricas movem-se. ....	93
Figura 30: Slides 48 e 50, dilatação temporal e contração espacial, o relógio, as barras e a nave são gifs. ....	94
Figura 31: Gesto #RAP feito pela estudante D3. ....	117
Figura 32: Gesto #DIS2 feito pela estudante B14. ....	118
Figura 33: Gesto #PIS realizado pela estudante D3. ....	120
Figura 34: Gesto #TREM realizado pela estudante B9. ....	123
Figura 35: Gesto #MED realizado pela estudante D26. ....	127
Figura 36: Gesto #TREM2 realizado pela estudante A1. ....	128
Figura 37: Gesto #CAR9 realizado pela estudante A1. ....	129
Figura 38: Gesto #CAR5 realizado pela estudante A1 e slide 13 do qual ela se recordou. ...	132
Figura 39: Gesto #CAR realizado pela estudante D19 e slide 13 com o qual ele se assemelha. ....	133
Figura 40: Gesto CAR6 realizado pela estudante D26 e slides 13 e 14 dos quais ela se recordou. ....	133
Figura 41: Gesto #NAV4 realizado pelo estudante A18 (a esquerda) e gif da nave utilizados nos slides em dois momentos (a direita). ....	135
Figura 42: Gesto #NAV2 realizado pela estudante A15. ....	137
Figura 43: Gesto #FOG realizado pela estudante A14. ....	138
Figura 44: Gesto #DIS realizado pelo estudante D23 (à esquerda) e #NAV4 realizado pelo A18 (à direita). ....	139
Figura 45: Gesto #CAR7 realizado pelo estudante A18. ....	143
Figura 46: Gesto #CAR8 realizado pelo estudante D23 (esquerda) e slide 11 (direita). ....	144
Figura 47: Gesto #HELI realizado pelo estudante D23. ....	144

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Evolução das quatro mediações da TMC.....	39
Quadro 2: Síntese das simulações desenvolvidas.....	89
Quadro 3: Categorização das respostas do Teste de Galileu. ....	100
Quadro 4: Categorização das respostas do Teste de Lorentz. ....	100
Quadro 5: Classificação dos testes de acordo com os resultados de cada questão.....	101

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Associação entre pré e pós-teste para Transformações de Galileu no grupo experimental. ....	106
Tabela 2: Associação entre pré e pós-teste para Transformações de Lorentz no grupo experimental. ....	108
Tabela 3: Associação entre pré e pós-teste para Transformações de Galileu no grupo de controle. ....	109
Tabela 4: Associação entre pré e pós-teste para Transformações de Galileu no grupo de controle. ....	110
Tabela 5: Comparação entre grupos experimental e de controle no pré e pós-teste das Transformações de Galileu. ....	111
Tabela 6: Comparação entre os grupos no pré e pós-teste das Transformações de Lorentz. .	113

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Comparação das médias do pré e pós-teste das Transformações de Galileu no grupo experimental. ....	106
Gráfico 2: Comparação das médias do pré e pós-teste das Transformações de Lorentz no grupo experimental. ....	107
Gráfico 3: Comparação das médias do pré e pós-teste das Transformações de Galileu no grupo de controle. ....	108
Gráfico 4: Comparação as médias do pré e pós-teste das Transformações de Lorentz no grupo de controle. ....	110
Gráfico 5: Comparação das médias dos grupos no pré e pós-teste das Transformações de Galileu. ....	111
Gráfico 6: Comparação das médias dos grupos no pré e pós-teste das Transformações de Lorentz. ....	112

## **LISTA DE SIGLAS**

- BNCC** – Base Nacional Comum Curricular
- DCN** – Diretrizes Curriculares Nacionais
- EM** – Ensino Médio
- FMC** – Física Moderna e Contemporânea
- PCN** – Parâmetros Curriculares Nacionais
- POE** – *Predict-Observe-Explain*
- TIC** – Tecnologias da informação e comunicação
- TMC** – Teoria da Mediação Cognitiva
- TR** – Teoria da Relatividade
- TRE** – Teoria da Relatividade Especial
- TRR** – Teoria da Relatividade Restrita

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	19
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA .....	21
1.3 OBJETIVOS .....	22
<b>1.3.1 Objetivo geral</b> .....	<b>22</b>
<b>1.3.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>22</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>23</b>
2.1 METODOLOGIA DE REVISÃO .....	23
2.2 O ENSINO DE TEORIA DA RELATIVIDADE .....	25
2.3 UTILIZAÇÃO DE TIC PARA O ENSINO DE TEORIA DA RELATIVIDADE.....	26
2.4 CONCEPÇÕES DOS ESTUDANTES SOBRE A TEORIA DA RELATIVIDADE...	27
2.5 PERFIL CONCEITUAL NO ENSINO DA TEORIA DA RELATIVIDADE .....	29
2.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO .....	30
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>32</b>
3.1 TEORIA DA MEDIAÇÃO COGNITICA EM REDE (TMC) .....	32
<b>3.1.1 A era digital</b> .....	<b>32</b>
<b>3.1.2 Bases da TMC</b> .....	<b>34</b>
<b>3.1.3 Mecanismos e Formas de Mediação</b> .....	<b>35</b>
3.2 A EPISTEMOLOGIA DE LAUDAN .....	39
<b>3.2.1 Problemas Empíricos</b> .....	<b>41</b>
<b>3.2.2 Problemas Conceituais</b> .....	<b>42</b>
<b>3.2.3 Tradição de Pesquisa</b> .....	<b>44</b>
3.3 PERFIL CONCEITUAL .....	45
<b>3.3.1 Perfil Epistemológico de Bachelard</b> .....	<b>46</b>
<b>3.3.2 Diferenças Ontológicas</b> .....	<b>46</b>
<b>3.3.3 Regiões do Perfil</b> .....	<b>47</b>
<b>3.3.4 O Perfil Conceitual no Processo de Ensino</b> .....	<b>48</b>
<b>3.3.5 Perfil Conceitual de Referencial</b> .....	<b>49</b>

<b>4</b>	<b>A TEORIA DA RELATIVIDADE ESPECIAL .....</b>	<b>51</b>
4.1	A RELATIVIDADE DE GALILEU .....	51
4.2	MEDIÇÃO DA VELOCIDADE DA LUZ .....	55
4.3	ELETROMAGNETISMO DE MAXWELL .....	56
4.4	O EXPERIMENTO DE MICHELSON-MORLEY .....	59
4.5	AS TRANSFORMAÇÕES DE LORENTZ .....	60
4.6	A TEORIA DA RELATIVIDADE DE EINSTEIN .....	62
4.6.1	A relatividade da simultaneidade.....	64
4.6.2	Dilatação temporal.....	65
4.6.3	Contração espacial.....	67
4.6.4	Adição de velocidades.....	70
4.6.5	Diagramas de espaço-tempo .....	71
4.6.6	Algumas considerações.....	72
<b>5</b>	<b>DELINEAMENTO METODOLÓGICO.....</b>	<b>74</b>
5.1	TESTE PILOTO .....	74
5.1.1	Experimentação Piloto .....	75
5.1.2	Resultados.....	76
5.1.3	Considerações e ajustes metodológicos.....	79
5.2	CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO DEFINITIVO .....	82
5.2.1	Contexto da pesquisa.....	82
5.2.2	Sujeitos da pesquisa.....	83
5.3	MATERIAIS DESENVOLVIDOS .....	84
5.3.1	Testes.....	85
5.3.2	Simulações e Roteiros .....	87
5.3.3	Maquetes.....	89
5.3.4	Slides .....	90
5.4	DESENVOLVIMENTO DO EXPERIMENTO DEFINITIVO .....	95
5.4.1	Sequência Didática .....	95
5.4.2	Entrevistas .....	97
5.5	METODOLOGIA DE ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	98
5.5.1	Análise Quantitativa.....	98
5.5.2	Análise Qualitativa .....	102
<b>6</b>	<b>RESULTADOS DA ANÁLISE QUANTITATIVA .....</b>	<b>105</b>
6.1	GRUPO EXPERIMENTAL TRANSFORMAÇÕES DE GALILEU.....	105
6.2	GRUPO EXPERIMENTAL TRANSFORMAÇÕES DE LORENTZ.....	107

6.3 GRUPO DE CONTROLE TRANSFORMAÇÕES DE GALILEU.....	108
6.4 GRUPO DE CONTROLE TRANSFORMAÇÕES DE LORENTZ.....	109
6.5 GRUPO EXPERIMENTAL X GRUPO DE CONTROLE – TRANSFORMAÇÕES DE GALILEU .....	111
6.6 GRUPO EXPERIMENTAL X GRUPO DE CONTROLE – TRANSFORMAÇÕES DE LORENTZ .....	112
6.7 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ANÁLISE QUANTITATIVA .....	113
<b>7 RESULTADOS DA ANÁLISE QUALITATIVA .....</b>	<b>115</b>
7.1 ESTÁGIO I.....	116
7.2 ESTÁGIO II .....	121
7.3 ESTÁGIO III.....	125
7.4 ESTÁGIO IV .....	134
7.5 CASOS PARTICULARES .....	145
7.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS QUATRO ESTÁGIOS .....	150
<b>8 RELAÇÕES ENTRE OS REFERENCIAIS TEÓRICOS E OS RESULTADOS DA PESQUISA .....</b>	<b>153</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>155</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>158</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>167</b>
APÊNDICE A – Teste Transformações de Galileu.....	168
APÊNDICE B – Teste Transformações de Lorentz .....	169
APÊNDICE C – Roteiro Simulações “Bolinha no Trem” e “Carros e Avião” .....	170
APÊNDICE D – Roteiro Simulações “Dilatação do Tempo” e “Contração do Espaço”.....	174
APÊNDICE E – Termo de Assentimento Livre e Esclarecido .....	179
APÊNDICE F – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para Menores .....	180
APÊNDICE G – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para Maiores.....	182
APÊNDICE H – Termo de Compromisso pra Utilização de Dados .....	184
APÊNDICE I – Carta de Anuência .....	185
<b>ANEXOS .....</b>	<b>186</b>
ANEXO A – Plano de Estudos de Física para o 3 <sup>a</sup> ano da E. E. T. São João Batista .....	187

## INTRODUÇÃO

*“Hoje, ainda almejamos saber por que estamos aqui e de onde viemos. O desejo profundo da humanidade pelo conhecimento é justificativa suficiente para nossa busca contínua”.*

*(Stephen Hawking)*

A ciência é uma construção humana que objetiva compreender e explicar a natureza. Todavia, essa compreensão da natureza não permanece imutável, pois, ao longo dos tempos, ela é desenvolvida pelo ser humano em uma busca contínua pela compreensão do Universo. Dessa forma, modelos e teorias são criados para explicar fenômenos. Entretanto, à medida que surgem problemas não explicados, há a necessidade de reformulação ou até mesmo a troca por novos modelos e teorias mais elaborados. Infelizmente, essa não é a interpretação que a maior parte das pessoas têm sobre a ciência, compreendendo-a como algo já determinado (CHALMERS, 1993, p. 17).

Ademais, dado o caráter técnico e abstrato das ciências, um grande distanciamento entre a ciência e a vida cotidiana das pessoas é criado, de modo que o resultado do trabalho dos cientistas se torna algo distante e sem aparente utilidade na vida real, em divergência aos objetivos e concepções do não-cientista. Essa concepção não é diferente em sala de aula. De uma forma geral, os estudantes possuem uma visão muito pobre sobre o que é ciência (SILVA, 2010; VIZZOTTO & MACKEDANZ, 2020) e não percebem a relevância desta para suas vidas. Deste modo, é importante desconstruir essa ideia de que a ciência é completamente alheia a vida dos estudantes, aproximando-a deles, o que pode torná-la muito mais interessante aos seus olhos.

Pode-se dizer que, com relação à Física, usualmente o distanciamento se torna ainda maior. Por ser conduzida de uma forma desconexa, os estudantes acabam considerando-a como uma mera extensão complexa da Matemática, sequer entendendo o que estão calculando (BROCK & ROCHA FILHO, 2011). A importância da compreensão da Física enquanto parte da sociedade é destacada nos PCN (1998):

A Física percebida enquanto construção histórica, como atividade social humana, emerge da cultura e leva à compreensão de que modelos explicativos não são únicos nem finais, tendo se sucedido ao longo dos tempos [...]. O surgimento de teorias físicas mantém uma relação complexa com o contexto social em que ocorreram. [...] Essa

percepção do saber físico como construção humana constitui-se condição necessária, mesmo que não suficiente, para que se promova a consciência de uma responsabilidade social e ética (BRASIL, 1998, pp. 27-28).

Deste modo, o entendimento da mutabilidade da ciência, bem como da Física, é fundamental na formação dos estudantes. Conforme destaca a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), “a contextualização social, histórica e cultural da ciência e da tecnologia é fundamental para que elas sejam compreendidas como empreendimentos humanos e sociais” (BRASIL, 2018, p. 549). Portanto, é importante trazer para a sala de aula episódios da história da ciência – e da Física – que mostrem sua inconstância. Nesse sentido, a abordagem de tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) torna viável esse tipo de discussão com os estudantes, principalmente por se tratar da Física atual e em desenvolvimento.

Nesse contexto, há o surgimento da Teoria da Relatividade de Einstein (TR). Conforme houve o progresso da ciência em relação à compreensão da natureza da luz e dos fenômenos eletromagnéticos, percebeu-se o surgimento de alguns problemas (LAUDAN, 1978) e situações que não podiam ser explicadas pelas teorias em vigor. Portanto, mudanças se fizeram necessárias e, entre os caminhos seguidos pelos cientistas da época, havia a suposição de elementos sem correspondente empírico, na ideia do *éter luminífero*, e a elaboração de novas teorias, que trouxessem compreensões completamente novas sobre a natureza.

As temáticas envolvendo Física Moderna e Contemporânea não são usualmente exploradas na Educação Básica (OLIVEIRA; VIANNA & GERBASSI, 2007). Por tratarem de assuntos complexos, muitos professores não se sentem preparados para abordá-los (ROCHA & RICARDO, 2011), além da dificuldade que os estudantes apresentam em relação a eles, apesar do grande interesse acerca da temática (ABREU & CARVALHO, 2005). Contudo, contemplar essas temáticas pode ser um caminho para que os estudantes tenham uma formação mais completa como cidadãos, tendo contato com uma ciência mais atual. Nesses tópicos, os alunos poderão conhecer a ciência do mundo moderno, que se aplica aos recursos tecnológicos que eles usam em seu cotidiano.

Portanto, torna-se evidente a relevância do desenvolvimento de recursos e mecanismos que facilitem a compreensão desses tópicos pelos estudantes. Nesse sentido, o desenvolvimento de simulações e imagens mentais (MONAGHAN & CLEMENT, 1999) pelos estudantes é de grande importância. Através delas, a visualização dos fenômenos se torna mais acessível, o que facilita a sua compreensão. Isso se torna ainda mais necessário quando se requer um alto grau de abstração, como é o caso da Teoria da Relatividade.

Nesse cenário, a presente pesquisa busca identificar e analisar as dificuldades dos estudantes de Ensino Médio em relação à compreensão da Teoria da Relatividade Especial (TRE), bem como investigar possíveis formas de superá-las. Para isso, foram elaboradas e aplicadas atividades didáticas que estimulassem o desenvolvimento de imagens e simulações mentais pelos estudantes através de diferentes tipos de mediações (SOUZA, 2004), principalmente, simulações computacionais e animações. Por meio dessas imagens e simulações mentais que a análise qualitativa de dados foi desenvolvida. Além disso, por meio de uma análise estatística dos resultados de pré-testes e pós-testes aplicados, a eficácia dos recursos utilizados foi avaliada quantitativamente.

A atividades foram desenvolvidas com estudantes do terceiro ano do Ensino Médio da Escola Estadual Técnica São João Batista, localizada no município de Montenegro/RS, onde a pesquisadora leciona a disciplina de Física. Optou-se pelas turmas de terceiro ano pois, além de serem as turmas nas quais a pesquisadora lecionava no momento da pesquisa, é o ano para o qual o tópico de Física Moderna está designado conforme o plano de estudos da escola.

A dissertação está dividida em capítulos. O capítulo presente é o primeiro, que traz a introdução, justificativa, o problema e os objetivos da pesquisa. No segundo capítulo é trazida a revisão bibliográfica, com os trabalhos que contribuíram para a presente pesquisa, que foram classificados em quatro categorias: O Ensino de TR, Utilização de TIC para o Ensino de TR, Concepções de Estudantes sobre a TR e Perfil Conceitual no Ensino da TR. Os referenciais teóricos da pesquisa são abordados no terceiro capítulo, sendo estes: a Teoria da Mediação Cognitiva (TMC) (SOUZA, 2004); a Epistemologia de Laudan (1978) e o Perfil Conceitual de Mortimer (1995).

No quarto capítulo é apresentada a Teoria da Relatividade Especial (TRE), ou Restrita (TRR), com seu surgimento, postulados e consequências. Na sequência, o quinto capítulo apresenta a metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa, desde a elaboração dos materiais, à experimentação e a metodologia de análise dos dados. No sexto capítulo os resultados da análise quantitativa são discutidos. Já no sétimo são os resultados da análise qualitativa através das entrevistas que são apresentados.

Por fim, é feita uma relação entre os resultados da pesquisa e os referenciais teóricos utilizados no estudo. Espera-se que esse trabalho contribua no Ensino de Física com informações pertinentes para professores e pesquisadores da área buscando compreender os processos de aprendizagem dos estudantes.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

É perceptível o desinteresse dos estudantes do Ensino Médio em geral pela escola e pelo aprendizado (ANDRADA *et al*, 2018). Assim sendo, buscam-se cada vez formas mais eficientes de resgatar esse interesse deles bem como proporcionar uma aprendizagem eficaz. Ao se tratar das ciências (FOUREZ, 2003; NOGUEIRA *et al*, 2018), em especial da disciplina de Física, a situação se agrava, visto que ela acaba por ser abordada como uma extensão complexa da Matemática, sem que os estudantes façam ideia do que estão calculando, o que lhes traz certa aversão à temática (BROCK & ROCHA FILHO, 2011). Como destaca Gleiser (2000):

O objetivo das ciências naturais é explorar e compreender os fenômenos da Natureza. Infelizmente, é muito comum acreditar-se justamente no oposto: que a ciência, ao matematizar o mundo, tira a sua beleza! (GLEISER, 2000).

Assim sendo, a busca por abordagens que permitam aos estudantes compreender os fenômenos trabalhados bem como a sua relação com o seu cotidiano é constante. Deste modo, torna-se necessária uma aproximação entre a ciência e a vida dos estudantes. Nesse sentido, a inserção de temáticas de Física Moderna em sala de aula se torna uma alternativa viável e, dentre elas, a Teoria da Relatividade de Einstein.

Os temas de Física Moderna e Contemporânea são de grande interesse dos estudantes (ABREU & CARVALHO, 2005) e de grande importância, no entanto, geralmente acabam não sendo abordados em sala de aula, sendo a maior parte dos estudos relacionados à temática bibliografia de consulta ou divulgação científica, com poucos relatos e resultados de aplicação (OSTERMANN & MOREIRA, 2000; PEREIRA & OSTERMANN, 2009; KIKUCHI; ORTIZ & BATISTA, 2013). No entanto, esses tópicos podem trazer aos estudantes outras perspectivas do mundo, tornando-os mais relevantes para eles.

Terrazan (1992), defende a crescente influência da Física Moderna e Contemporânea para o entendimento completo do mundo atual. Isso ressalta a necessidade e importância da abordagem dessas temáticas para que os alunos desenvolvam uma inserção consciente e participativa na sociedade e no mundo atual. Portanto, esse tipo de abordagem seria fundamental para a sua formação como cidadãos.

Além disso, de acordo com Ostermann, Ferreira e Cavalcanti (1997), a abordagem de fenômenos de Física Moderna e Contemporânea em sala de aula possibilita “despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano

e, portanto, mais próxima a eles”. Assim, trabalhando-se e Teoria da Relatividade de Einstein em sala de aula se possibilita aos estudantes um vislumbre da ciência atual, bem como sua característica mutável e de construção humana, permitindo que ela se aproxime da realidade deles.

Ademais, a importância da compreensão da ciência como um empreendimento humano e construção social, que se altera com o desenvolvimento da sociedade está presente tanto nos Parâmetros Nacionais Curriculares (PCN) quanto nas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN) e na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), motivando o desenvolvimento de propostas com essa visão em sala de aula. Thorne (1994) destaca:

A ciência é um empreendimento comunitário. Os insights que moldam nossa visão do Universo não vêm de uma única pessoa ou de um pequeno grupo, mas dos esforços combinados de muitos (THORNE, 1994, p. 18, *tradução nossa*)

Nesse contexto, o desenvolvimento da Teoria da Relatividade de Einstein surgiu como solução a problemas que não era resolvidos na época, tendo a contribuição de muitos cientistas, e possibilitando o surgimento de inúmeras tecnologias, como o *Global Positioning System* (GPS), amplamente utilizado na atualidade. Compreender o papel da Física no desenvolvimento dessas tecnologias, utilizadas no cotidiano dos alunos, pode despertar um grande interesse deles pelas aulas, contribuindo em sua aprendizagem. Como destacam Kikuchi, Ortiz e Batista (2013):

[...] a formação de um cidadão deve levar em consideração sua participação e intervenção na sociedade em que vive. Essa sociedade está vinculada às atuais evoluções tecnológicas presentes em diversas áreas como saúde, educação, industrialização, entre outras. O entendimento de grande parte desses fenômenos tecnológicos está conectado à compreensão da FMC (KIKUCHI, ORTIZ & BATISTA, 2013).

Sendo assim, destaca-se a importância de temáticas como a Teoria da Relatividade para a formação completa dos estudantes. No entanto, esses assuntos, por serem mais complexos, requerem um alto grau de abstração dos alunos o que acaba por dificultar sua compreensão (ÜNLU YAVAS & KIZILCIK, 2016). Nesse sentido, o desenvolvimento de simulações mentais (MONAGHAN & CLEMENT, 1999) é um agente facilitador no processo de aprendizagem dos estudantes.

Portanto, é de grande relevância o processo de desenvolvimento dessas simulações, bem como a prática de atividades e elaboração de recursos com potencial para facilitar a aquisição delas pelos alunos. Deste modo, desenvolver atividades que contemplem os quatro tipos de mediação conforme a TMC (social, psicofísica, cultural e *hipercultural*) (SOUZA,

2004) pode ser um agente facilitador, visto que ampliam a capacidade de processamento de informações dos estudantes.

Enquanto a Relatividade de Galileu é facilmente percebida e compreendida com a utilização de elementos presentes no cotidiano, a Relatividade de Einstein não é tão facilmente observada. Dessa forma, ao se apresentá-la por meio das quatro mediações se facilitará aos estudantes o desenvolvimento de simulações mentais a fim de se obter a representação própria dos fenômenos, o que permitirá que façam previsões sobre eles, resultando em uma melhor compreensão sobre os mesmos.

## 1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Dada a relevância da temática da Teoria da Relatividade Especial dentro da Física Moderna, e a necessidade de seu desenvolvimento em sala de aula, preocupando-se com uma abordagem conceitual e com a crescente aparição das TIC aplicadas aos processos de ensino-aprendizagem, busca-se responder a seguinte pergunta central da pesquisa:

*De que forma se processam as simulações mentais dos estudantes para compreender as Transformações de Lorentz no contexto da Teoria da Relatividade Especial?*

Dentro desse processo, procura-se investigar também os recursos utilizados envolvidos no processamento dessas simulações mentais, bem como as dificuldades apresentadas pelos estudantes em desenvolvê-las. Surgem, deste modo, as perguntas auxiliares:

*Quais recursos entre os diferentes tipos de mediações utilizados facilitam o desenvolvimento das simulações mentais pelos estudantes?*

*Quais as concepções dos estudantes em relação às Transformações de Lorentz para a Teoria da Relatividade Especial?*

Portanto, buscamos investigar o processo de formação das simulações mentais dos estudantes para compreensão da TRE e as dificuldades envolvidas, bem como os recursos que potencializam a formação delas e as concepções apresentadas pelos estudantes em relação à compreensão da teoria.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo geral

Identificar de que forma se processam as simulações mentais de estudantes do terceiro ano do Ensino Médio para a compreensão da Teoria da Relatividade especial analisando os recursos que potencializam o desenvolvimento destas bem como as dificuldades apresentadas ao longo do processo.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Discutir didaticamente as falhas nas transformações de Galileu, demonstrando a necessidade das transformações de Lorentz e da Teoria da Relatividade;
- Apresentar quatro modelos conceituais das transformações de Galileu e de Lorentz dentro dos quatro diferentes níveis de mediação da TMC;
- Desenvolver uma sequência didática sobre as transformações de Galileu e de Lorentz com a utilização dos quatro tipos de mediação;
- Identificar as dificuldades apresentadas pelos estudantes em reação à TRE;
- Identificar e compreender as simulações mentais construídas pelos alunos para compreensão das transformações de Lorentz no contexto da TRE.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo apresenta a revisão bibliográfica desenvolvida antes e ao longo do estudo. A metodologia de revisão utilizada é descrita, bem como as categorias em que os resultados foram divididos. Por fim, discorre-se sobre os trabalhos que foram selecionados e suas contribuições à pesquisa.

### 2.1 METODOLOGIA DE REVISÃO

Para o presente estudo, foram realizadas três buscas diferentes. A primeira foi mais breve e teve como objetivo conhecer as produções científicas referentes à temática do Ensino de Teoria da Relatividade além de encontrar subsídios para a pesquisa e produção dos materiais. A segunda busca foi realizada no desenrolar da pesquisa e concentrou-se, principalmente, em trabalhos que trouxessem as concepções apresentadas por estudantes em relação à TRE.

Por fim, a terceira busca procurou por trabalhos que trouxessem a ideia de perfil conceitual no ensino de Teoria da Relatividade. Os resultados das três buscas foram classificados nas categorias “O ensino de Teoria da Relatividade”, “Utilização de TIC para o ensino da Teoria da Relatividade”, “Concepções de estudantes sobre a Teoria da Relatividade” e “Perfil conceitual no ensino de Teoria da Relatividade”.

A primeira busca foi realizada durante a elaboração do projeto de pesquisa e centrou-se em trabalhos acerca do tema Ensino de Relatividade no Catálogo de Teses e Dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e na plataforma Google Acadêmico. Foram utilizados os seguintes termos e operadores para a busca nas duas plataformas: “Relativity” AND “Teaching” AND “Physics”.

No repositório da Capes apresentaram-se 38464 resultados, que foram filtrados para as áreas “Educação”, “Ensino de Ciências e Matemática” e “Ensino”, grande área do conhecimento “Ciências Humanas”, e área de concentração “Educação” e “Ensino e aprendizagem”, o que resultou em 6651 trabalhos. A seleção se deu com base em seus resumos, buscando os que mais se identificavam com o objetivo do projeto da presente pesquisa.

Na plataforma Google Acadêmico, apresentaram-se aproximadamente 114000 resultados, que foram filtrados para as publicações a partir de 2000 e textos em português, resultando em 414 trabalhos. Da mesma forma que no repositório da Capes, selecionou-se os trabalhos que mais se identificavam com o projeto a partir de seus resumos. A partir dos resultados da busca, foi selecionado um total de 69 trabalhos, entre os quais foram escolhidos cinco para serem usados de subsídio.

A segunda busca transcorreu-se ao longo da pesquisa, visando um parâmetro geral do ensino da Teoria da Relatividade Especial. Iniciou-se através da plataforma Education Resources Information Center (ERIC) utilizando os termos “special relativity”, restringindo-se para os últimos dez anos, ou seja, a partir de 2011. A busca apresentou 58 resultados, dentre os quais 8 trabalhos foram selecionados. A seleção se deu com base na leitura dos resumos dos artigos. Foram selecionados apenas artigos que trouxessem resultados e/ou análises de aplicações.

Dando sequência à busca, foi utilizada a plataforma Scopus, com os termos e operadores “special relativity” AND (“teaching” OR “learning”), para busca tanto no título, quando no resumo e palavras-chave. A pesquisa também foi restringida para os últimos dez anos, resultando em 60 trabalhos, dentre eles foram escolhidos 10 artigos através da leitura de seus resumos, artigos já selecionados pelo ERIC não foram considerados. Aqui também foram selecionados somente artigos com resultados e/ou análises de aplicações.

Por fim, foi feita uma busca no Google Acadêmico buscando os trabalhos que não foram contemplados nas duas plataformas anteriores. Foram usados os termos e operadores “special relativity” AND (“teaching” OR “learning”) e a pesquisa foi restrita aos últimos dez anos. A busca resultou em 12600 artigos, sendo selecionados 14 artigos nas 20 primeiras páginas. Os artigos foram selecionados pela leitura dos seus resumos, artigos que não trouxessem resultados e/ou análises de aplicações não foram selecionados. Portanto, foram selecionados 32 artigos no total, sendo escolhidos 10 trabalhos após sua leitura.

A última busca realizada procurou por trabalhos que abordassem a ideia de perfil conceitual em relação à TR. Para isso, buscou-se por pesquisas em relação ao perfil conceitual de conceitos importantes relacionados a ela, sendo eles tempo, espaço, energia, massa, velocidade e movimento relativo. Selecionaram-se trabalhos que trouxessem os resultados ou análise do perfil conceitual de estudantes relacionado à temática.

Primeiramente foi realizada a busca na plataforma Education Resources Information Center (ERIC) e então no Google Acadêmico. Em ambas as plataformas foram utilizados os mesmos termos e operadores. Em todas as buscas utilizou-se “conceptual profile” AND,

seguindo-se primeiramente de “time”, seguido de “space”, “energy”, “mass”, “relative motion”, “relative velocity”, “galilean transformation”, “Lorentz transformation” e, por último “relativity”. Foram selecionados 13 trabalhos no total, sendo 5 utilizados na presente pesquisa.

Os trabalhos selecionados serão apresentados a seguir. Na seção “O ensino de Teoria da Relatividade” apresentação os trabalhos selecionados com a primeira busca. Os resultados da segunda busca foram divididos nas seções “Utilização de TIC para o ensino de Teoria da Relatividade” e “Concepções dos estudantes sobre a Teoria da Relatividade”. Por fim, os resultados da terceira e última busca serão apresentados na seção “Perfil conceitual no ensino da Teoria da Relatividade”.

## 2.2 O ENSINO DE TEORIA DA RELATIVIDADE

Na dissertação de Souza (2016), é trazido um módulo de ensino potencialmente significativo sobre o desenvolvimento histórico do conceito de simultaneidade. Esse módulo foi aplicado com sete alunos da disciplina de História da Ciência na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). É feita uma análise sobre a História e Filosofia da Ciência no Ensino desde os anos 1980 considerando as sete visões deformadas do trabalho científico. Através da aplicação do módulo de ensino os dados foram analisados por observações, questionários e entrevistas com os alunos. O autor identificou diferentes posições epistemológicas que foram apresentadas por eles.

Já Reis e Reis (2016) trazem em seu artigo uma síntese de um trabalho de mestrado. Apresentam uma sequência didática sobre Relatividade com contextualização histórica, problematização de conceitos e avaliação que foi aplicada em uma pesquisa-ação. Foram selecionados os principais momentos históricos no desenvolvimento da Teoria da Relatividade para elaboração da sequência com base no percurso histórico de Igal Galili (2011). Os autores abordam e defendem o uso de História e Filosofia da Ciência em sala de aula. Afirmando que o objetivo da abordagem era problematizar a ciência, e não mudar as concepções dos alunos.

No artigo de Köhnlein e Peduzzi (2005), é apresentado um módulo didático baseado em uma abordagem histórico-filosófica da Teoria da Relatividade Restrita voltado para o Ensino Médio. A elaboração do módulo didático se deu com base nos momentos pedagógicos de Angotti e Delizoicov (1992). Além disso, foram aplicados questionários sobre a natureza da

ciência. Os autores defendem a abordagem histórico-filosófica para o ensino de Relatividade. A análise dos resultados dos questionários aplicados com os alunos se deu através do teste McNemar e os autores obtiveram bons resultados pela aplicação das atividades.

Em sua dissertação, Fuchs (2016) apresenta também um módulo didático acerca da Teoria da Relatividade com base na teoria de Piaget e com referencial epistemológico de Kuhn. Foi feita a aplicação das atividades com uma turma de alunos de terceiro ano do Ensino Médio através de atividades extraclasse que contemplaram desde as transformações de Galileu até tópicos de Relatividade Geral. Antes das aulas os alunos recebiam textos de apoio, durante a elas era feita a apresentação expositiva e realizadas discussões para que então fossem resolvidos os exercícios que acompanhavam o texto. O autor constatou que a leitura prévia dos textos foi fundamental na compreensão dos fenômenos por parte dos alunos, que indicaram assimilação dos conceitos. Além disso, pelas respostas dadas pelos alunos aos exercícios ele constatou que houve a compreensão do que é uma revolução científica por eles.

Por fim, na tese de Frezza (2015) foi feita uma análise através da Epistemologia Genética de Piaget da troca entre os modelos Newtoniano e Relativístico por alunos de ensino superior. Foram apresentadas três situações distintas para os alunos em diferentes referenciais inerciais: pêndulo (mecânica), cargas elétricas (eletromagnetismo) e a trajetória do múon (relativístico). O autor constatou, através das entrevistas realizadas com os alunos, que alguns não conseguiram perceber a necessidade da elaboração de um novo modelo para explicação dos fenômenos; outros perceberam essa necessidade, mas considerando os dois modelos para realidades distintas; e alguns alunos conseguiram perceber a necessidade de um novo modelo e que este engloba o primeiro, pois ambos tratam da mesma realidade.

### 2.3 UTILIZAÇÃO DE TIC PARA O ENSINO DE TEORIA DA RELATIVIDADE

No trabalho de Carr e Bossomaier (2011), 67 participantes utilizaram um jogo sobre asteroides, entre eles alguns já haviam estudado a TR e outros não. Através da aplicação de pré e pós-testes, perceberam um crescimento significativo pelo teste de Wilcoxon para os participantes que ainda não haviam estudado a TR. Perceberam então que o software teve um impacto positivo na construção dos conceitos desses estudantes.

Na mesma perspectiva, Hosson, Kermen e Maisch (2011), desenvolveram uma realidade virtual (RV) de uma mesa de sinuca onde as bolinhas movem-se com velocidade relativísticas. Por meio da RV era possível observar efeitos como as mudanças no formato das bolinhas e a não simultaneidade dos saltos delas. Perceberam que os estudantes puderam desenvolver um senso intuitivo sobre os efeitos relativísticos em objetos a altas velocidades após utilizar a realidade virtual.

Chu, Humer e Eckhard (2019) também observaram um impacto positivo com o uso de TIC. Desenvolveram uma realidade virtual (RV) sobre o Sistema Solar que foi aplicada com 34 participantes. Eles responderam a questionários em escala likert antes e após as atividades e assistiram a um vídeo introdutório antes de utilizar a RV. Perceberam um grande ganho na compreensão dos participantes sobre a contração espacial, e um ganho não tão significativo para a dilatação temporal. Constataram que a RV foi eficiente para auxiliar a compreensão dos estudantes, mas que um apelo visual maior em relação à dilatação temporal pode ser trabalhado.

#### 2.4 CONCEPÇÕES DOS ESTUDANTES SOBRE A TEORIA DA RELATIVIDADE

Alias e Ibrahim (2013), em seu estudo com 206 estudantes universitários através de um questionário fizeram um levantamento das dificuldades deles em relação à TR. As principais dificuldades apontadas pelos estudantes pesquisados foram em relação à interpretação das questões e, principalmente, a dificuldade de visualizar as situações propostas.

Kizilcik e Ünlü Yavas (2016) obtiveram resultado semelhante através de entrevistas realizadas com 25 estudantes. Os entrevistados relataram dificuldade com a TR por se tratarem conceitos abstratos, que eles não conseguem imaginar ou associar com o cotidiano. Os estudantes também apresentaram dificuldades com os experimentos mentais.

Em outro estudo posterior (ÜNLU YAVAS & KIZILCIK, 2017), realizado com 245 estudantes do Ensino Médio e 446 estudantes do Ensino Superior, a partir dos resultados obtidos, os pesquisadores buscaram detectar os níveis dessas dificuldades. Através de um questionário em escala likert constaram que as principais dificuldades dos estudantes em relação à TR são a difícil interpretação dela e o fato de os eventos não serem vivenciados e

observados no cotidiano, tendo resultados não intuitivos, o que foi compatível com os estudos anteriores.

Já Kusumawati, Kahar, Khoiri e Mursidi (2019) fizeram uma investigação acerca de como os diferentes tipos de representação na Teoria da Relatividade afetam a compreensão dos estudantes. A pesquisa foi feita com estudantes universitários de três ilhas diferentes (Java, Kalimantan e Papua) através de um teste descritivo. Perceberam que os diferentes tipos de ensino influenciam nas representações utilizadas pelos estudantes, além disso, os estudantes capazes de utilizar um maior número de representações apresentaram uma melhor compreensão dos fenômenos.

Em seu trabalho, Kim e Kim (2011) desenvolveram uma ferramenta de avaliação conceitual e um tutorial de como utilizá-la com o Ensino Médio. Os pesquisadores aplicaram pré-testes e pós-testes com cerca de 280 alunos do primeiro ano do EM e puderam perceberam que a ferramenta auxiliou os estudantes na compreensão da TR. Notaram que nos eventos onde ocorria dilatação temporal ou contração espacial os estudantes tendiam a acreditar que o evento não ocorreu realmente.

Velentzas e Halkia (2013), através de um estudo qualitativo investigaram como os experimentos mentais “Elevador de Einstein” e “Trem de Einstein” poderiam funcionar como ferramentas para o ensino de conceitos básicos de TR no Ensino Médio. A pesquisa foi realizada com 40 estudantes que foram entrevistados e responderam a questionários. Perceberam que muitos estudantes consideram que a relatividade não era um fenômeno real, entendendo que as mudanças no tempo ou comprimento seriam por erros de medição. Após os experimentos mentais boa parte dos estudantes conseguiu compreender a TR, apesar da dificuldade em aceitar suas consequências. Os pesquisadores concluem que as experiências cotidianas podem se tornar um obstáculo para a aceitação da TR.

Através de um estudo com 45 estudantes de Física, Gousopoulos, Kapotis e Kalkanis (2015) buscaram identificar e categorizar as dificuldades deles em relação à TR. A aplicação foi realizada através de questionários, e 10 estudantes foram selecionados para entrevistas. Os estudantes confundiam a TRE com a TRG e, apesar de reconhecerem a invariância da velocidade da luz, não souberam aplicá-la. A maioria dos estudantes considerou o tempo como absoluto e que as mudanças nos tamanhos dos objetos relacionam-se com a percepção. Também apresentaram dificuldades com a troca de referencial e interpretaram que a relatividade somente se aplica a objetos com velocidades próximas à da luz.

## 2.5 PERFIL CONCEITUAL NO ENSINO DA TEORIA DA RELATIVIDADE

Nadas (2017) realiza um estudo acerca da evolução da compreensão de estudantes de licenciatura em Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) sobre a TR. Aplicaram-se 99 questionários, para estudantes de todos os semestres e egressos, com base na ideia de Perfil Conceitual (MORTIMER, 1995). Através da análise dos resultados, percebeu-se indícios de mudança conceitual nos estudantes ao longo do curso. Foram notadas concepções alternativas nos estudantes, que se mostraram em menor frequência entre os alunos concluintes.

Karam (2005) desenvolveu uma sequência didática para trabalhar a ideia de tempo relativístico e analisa a sua aplicação com 20 estudantes de primeiro ano do Ensino Médio. Foram aplicados pré-testes e pós-testes e as aulas foram gravadas em vídeo. Utilizou-se a divisão do perfil conceitual de tempo em oito regiões: tempo psicológico; tempo cronológico; tempo absoluto de Newton; tempo discreto; tempo determinístico; tempo e probabilidade; tempo e simultaneidade e tempo relativo.

Percebeu-se uma evolução conceitual significativa no perfil de tempo dos estudantes. O autor destaca a importância dos conflitos cognitivos no ensino, bem como dos desequilíbrios, da insatisfação que o estudante deve sentir com suas concepções prévias, a plausibilidade que a nova teoria deve apresentar, a interação social com os pares e a metacognição, para que a evolução conceitual ocorra.

Em sua tese, Sodré (2017) realiza um levantamento acerca do perfil conceitual complexo de tempo. O estudo foi realizado com 17 estudantes de licenciatura em Física através de entrevistas com um roteiro de perguntas. Após elencar categorias nas dimensões epistemológica, ontológica e axiológica, por meio de um longo levantamento histórico do conceito de tempo, aglutinaram-se algumas dessas categorias. Restaram, portanto, oito categorias finais: tempo da sinergia; tempo como transformação; tempo da Física; tempo absoluto; tempo sentimental; reflexão sobre o tempo e tempo como valor de troca.

Constatou-se que a categoria “tempo da Física” se torna cada vez mais evidente em alunos em semestres mais avançados do curso. Além disso, dentro desta mesma categoria, os tópicos mais mencionados foram a Mecânica seguida da Relatividade Restrita. Foi possível perceber mudanças nas dimensões epistemológica, ontológica e axiológica entre os estudantes de início e fim de curso. Também se percebeu como as questões relativísticas acabam sendo

tratadas de forma artificial, não trazendo os elementos históricos e dificultando que os estudantes compreendam a mudança no conceito.

Assim, consideramos que a inserção de atividades envolvendo estes temas junto de elementos históricos poderá suprir lacunas significativas na formação destes profissionais (SODRÉ, 2017, p. 276).

Ayala Filho e Frezza (2007) constroem um perfil conceitual de referencial para a aprendizagem da Teoria da Relatividade, que foi aprofundado em estudo posterior (AYALA FILHO, 2010). A partir do estudo, os autores consideram que a construção da noção relativística de referencial é condição para que a compreensão da TRE ocorra. Além disso, a não criação dessa zona do perfil se constitui em um obstáculo epistemológico para a apropriação dela.

Através de resultados encontrados na literatura, pela própria evolução histórica do conceito de referencial e de uma investigação exploratória realizada com estudantes universitários, os autores constroem um perfil conceitual de referencial com suas regiões. Ayala Filho e Frezza (2007) delimitam três regiões nesse perfil: *a do senso comum, a da Física Newtoniana e a região relativística*.

Analisando os resultados de outras pesquisas e os obtidos com os estudantes, Ayala Filho (2010) identifica dois obstáculos epistemológicos em relação à aprendizagem da TRE, sendo um conceitual e um heurístico. O obstáculo conceitual surge quando o estudante tenta associar fenômenos incompatíveis com a região do perfil conceitual. Por exemplo, quando ele tenta associar fenômenos relativísticos à região newtoniana ou do senso comum. A partir do obstáculo conceitual surge o heurístico, que busca justificar a associação errônea descrita anteriormente.

## 2.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO

Na revisão de literatura pode-se perceber que existem diversos trabalhos que trazem um enfoque histórico e epistemológico para o desenvolvimento da Teoria da Relatividade, bem como, através da perspectiva do perfil conceitual, esse enfoque é importante. No entanto, entre eles não há trabalhos que utilizem a visão epistemológica de Larry Laudan, através de problemas abertos e fechados, sendo essa uma perspectiva com potencial para ser utilizada.

Além disso, pode-se constatar que, em geral, os estudantes apresentam diversas dificuldades em relação à Teoria da Relatividade Especial, sendo as principais relacionadas à

relatividade do tempo e do espaço. Nesse sentido, percebe-se que a utilização de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) é bastante eficiente no ensino da TRE, visto que os efeitos relativísticos não são perceptíveis no cotidiano, sendo possível aos alunos vivenciá-los somente através destes recursos. Portanto, é possível perceber também a importância de se utilizar diferentes tipos de representações no ensino da TRE.

Tratando-se da ideia de Perfil Conceitual, notou-se a sua relevância principalmente ao se trabalhar conceitos caracterizados fortemente no senso comum. Ao se tratar da TRE, onde os conceitos de tempo e espaço tomam significados completamente diferentes, apresentando comportamentos contraintuitivos, torna-se ainda mais importante levar em conta o perfil conceitual. Ele irá determinar a possibilidade e capacidade de um estudante compreender ou não a teoria e, conseqüentemente, aceitar seus efeitos.

Pode-se dizer que as revisões bibliográficas realizadas para o presente estudo tiveram contribuições significativas em relação a nortear o planejamento, execução e análise dos resultados obtidos.

### **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

Neste capítulo são trazidas as bases teóricas do trabalho. Começa-se pela Teoria de Mediação Cognitiva em Rede (TMC), que norteou o planejamento das atividades a serem desenvolvidas com os estudantes junto com a Epistemologia de Larry Laudan, que definiu a abordagem da temática, sendo tratada a seguir. Segue-se com o Perfil Conceitual de Mortimer, que norteou a interpretação dos resultados obtidos na pesquisa.

#### **3.1 TEORIA DA MEDIAÇÃO COGNITIVA EM REDE (TMC)**

Uma das bases teóricas da presente pesquisa consiste na Teoria da Mediação Cognitiva em Rede (TMC) (SOUZA, 2004). A TMC parte da ideia de que a inserção das tecnologias da informação e comunicação (TIC) causou e está causando mudanças na estrutura cognitiva das pessoas. De acordo com a TMC, a cognição consiste em um fenômeno de processamento de informações, o qual se dá em boa parte fora do cérebro.

##### **3.1.1 A era digital**

É evidente o crescente uso de aparelhos eletrônicos, como smartphones, notebooks e tablets, na sociedade por pessoas de todas as idades e classes sociais. As pessoas conectam-se diariamente e acessam uma quantidade imensa de informações durante o dia instantaneamente através da internet.

Conforme resultados da pesquisa TIC Domicílios 2019, realizada pelo Centro Regional para o Desenvolvimento de Estudos sobre a Sociedade da Informação (Cetic.br), vinculado ao Comitê Gestor da Internet no Brasil, três em cada quatro brasileiros acessam à internet. O mesmo estudo aponta que os dispositivos mais utilizados para o acesso são smartphones (99%), seguidos dos notebooks (28%), computadores de mesa (23%) e tablets

(11%). Além disso, 90% dos indivíduos acessam à internet todos os dias<sup>1</sup>. Todas as potencialidades e funcionalidades trazidas por esses dispositivos mudam a forma como as pessoas administram suas vidas, conseqüentemente, como acessam e processam informações.

Conforme Souza (2004), essa nova forma de acessar informações, emergente com a revolução digital, requer o desenvolvimento de novos conceitos e habilidades pelas pessoas, para que consigam administrar a imensa quantidade de informações recebidas. Dessa forma, o autor defende o crescimento cognitivo dos indivíduos ao interagirem com hardwares e softwares. Portanto, com a Era Digital surgem novas formas de pensar, diferentes daquelas de quem não tem acesso à hipercultura.

Souza (2004) traz a concepção de que a mediação com o meio molda os processos de pensamento do indivíduo, o que resulta, inclusive, em mudanças culturais. Nesse sentido, às tecnologias da informação e comunicação (TIC) passam a ser consideradas um novo tipo de mediação, trazendo um alcance superior ao das anteriores.

Na atual Revolução Digital, testemunha-se a emergência de uma Hipercultura, onde os mecanismos externos de mediação passam a incluir os dispositivos computacionais e seus impactos culturais, enquanto que os mecanismos internos incluem as competências necessárias para o uso eficaz de tais mecanismos externos (SOUZA, 2004, p.85).

Portanto, ao mesmo tempo que um novo recurso surge como forma de mediação que permite ampliar as capacidades do indivíduo, esse indivíduo precisa desenvolver competências para poder utilizar esse tipo de mediação e processar informações. Essas competências são os mecanismos internos, chamados *drivers*, que possibilitam a criação e/ou modificação de representações mentais.

Considerando-se a hipercultura fundamentada nas TIC, entende-se que o pensamento associado a ela “apresente lógicas e formas de representação análogas a tais tecnologias” (SOUZA, 2004, p.85). Portanto, o “Pensamento Hipercultural” deve ser caracterizado por uma forte lógica matemático-científica, representações visuais, elaboradas formas de classificação e ordenamento, estratégias eficazes para a seleção do que é essencial e algoritmos para processar grandes conjuntos de informações.

Assim sendo, a revolução digital embarga mudanças socioculturais e psicológicas nos indivíduos familiarizados com a hipercultura, trazendo um novo perfil, conforme constatado por Souza (2004) em seu estudo com participantes do ENEM 2000. Essa hipercultura está

---

<sup>1</sup> Dados disponíveis em: <https://cetic.br/pt/pesquisa/educacao/> Acesso em: 15 de outubro de 2020.

diretamente atrelada ao surgimento de novos tipos de pensamentos, que acarretam ganhos cognitivos, conforme a Teoria da mediação Cognitiva.

### 3.1.2 Bases da TMC

A TMC fundamenta-se e traz uma síntese unificadora das teorias de Jean Piaget, Gérard Vergnaud, Lev Semenovich Vygotsky e Robert Sternberg. Portanto, a teoria busca articular essas outras teorias psicológicas e estruturais – geralmente vistas separadamente – de uma forma coerente.

Vale destacar que a TMC compreende as mudanças individuais ou coletivas referentes à emergência na utilização de tecnologias como ferramentas externas ao pensamento dos indivíduos. Portanto, o ser humano, ao executar alguma tarefa mental, irá incorporar outros mecanismos, como armazenamento e manipulação de dados, e isso ocupa um “espaço” na memória humana.

Deste modo, Souza (2004) sugere que o cérebro humano, bem como os órgãos sensoriais, não tem poder suficiente de processamento dos fenômenos e situações experienciadas por um indivíduo. Assim, o ser humano supera esses limites expandindo sua capacidade cognitiva por meio de um processamento extracerebral de informações.

Sabendo-se que o córtex cerebral é limitado mas que a humanidade superou tais limites, deduz-se que a expansão da capacidade cognitiva dos seres humanos se dá através de alguma forma de processamento extracerebral de informações (SOUZA, 2004, p. 58).

Através da utilização dessas ferramentas externas de processamento, o indivíduo consegue “liberar” memória para a realização de atividades. Esse processo ocorre em diversas situações, por exemplo, a utilização de lembretes, sejam eles em papel, ou até mesmo por notas no celular, sendo o primeiro um recurso mais primitivo, enquanto o último faz parte das TIC. Portanto, o ser humano utiliza esses agentes externos diariamente, tendo uma melhoria cognitiva.

Essa capacidade que permite ao ser humano evoluir, podendo administrar e aplicar seus conhecimentos a seu favor. Os seres humanos irão adquirir conhecimentos acerca de algum objeto através da interação com ele e/ou com o auxílio de estruturas que possibilitem o processamento externo a seus cérebros.

Conforme a teoria, existem cinco premissas relacionando o conhecimento humano e o processamento de dados, entre elas: “Seres humanos complementam o processamento da informação cerebral por interação com os sistemas físicos externos organizados” (SOUZA, *et al.* 2012, p.2). Isto significa que os indivíduos irão desenvolver e empregar o seu conhecimento pelo processamento de informações no cérebro, mas esse processamento sozinho é insuficiente, ocorrendo a interação com estruturas do ambiente buscando potencializar essa capacidade de se processar informações, o processamento externo.

Portanto, a TMC traz a Mediação e o Processamento Extracerebral de Informações como os recursos que irão auxiliar na cognição. Nesse sentido, o autor apresenta conceitos – de seu próprio referencial teórico – como “mecanismos externos de mediação” e “mecanismos internos de mediação”, para diferenciar o que seria a cognição externa ao cérebro.

### 3.1.3 Mecanismos e Formas de Mediação

Na terminologia da TMC, os mecanismos externos de mediação são todos os recursos externos ao cérebro que o indivíduo irá utilizar para ampliar sua capacidade cognitiva. Por outro lado, os mecanismos internos de mediação desenvolvem-se ao longo do tempo através da interação e necessidade da utilização dos mecanismos externos. Conforme o autor:

O processo pelo qual os seres humanos dependem de estruturas externas, a fim de complementar o processamento de informações feito por seus cérebros (cognição extracerebral) é chamado pela TMC de Mediação (SOUZA et al., 2012, p. 2, *tradução nossa*).

Portanto, existem alguns componentes envolvidos no processo de mediação:

- Objeto: algo sobre o qual o indivíduo está tentando construir conhecimento (o item físico, problema/situação e/ou relação).
- Processamento Interno: atividade cerebral fisiológica que executa as operações lógicas básicas individuais;
- Mecanismos Internos: estrutura mental do indivíduo que gerencia algoritmos, códigos e dados permitindo a conexão, é a interação e integração entre o processamento interno e o processamento extracerebral, trabalhando tanto como um “*driver de hardware*” como um “protocolo de rede”;

- Mecanismos Externos: entre vários tipos e capacidades, desde simples objetos físicos a atividades sociais complexas, sistemas simbólicos e ferramentas/artefatos.

A Figura 1 traz um esquema exemplificando como ocorre o processamento cognitivo ao interagir com mecanismos externos para aumento da capacidade do processamento de informações de um indivíduo.

Figura 1: Processamento cognitivo por mediação externa.



Fonte: Adaptado de Souza (2004).

Nota-se, portanto, que, para interagir com os objetos do ambiente, o indivíduo necessita de certas habilidades que permitam o manuseio desses objetos. Dessa forma, com a utilização de algum mecanismo externo de mediação aparece a necessidade de se desenvolver mecanismos internos que viabilizem a compreensão do funcionamento e das informações que são fornecidas pela mediação.

Conforme Souza (2004, p. 65) “[...] tais elementos [extracerebrais] só poderão efetivamente ser de utilidade para um indivíduo, se este dispuser de uma forma de interagir eficazmente com eles, segundo a necessidade e de modo adequado”, ou seja, é necessário que a estrutura interna do indivíduo possa traduzir as entradas, saídas e processamento entre elas. Os chamados *drivers* são estes mecanismos internos que possibilitam essa interação com mecanismos externos.

Esses *drivers* irão possibilitar o acesso a essas informações perante novas situações para resolver diferentes problemas. Assim, são eles que irão possibilitar a comunicação entre a estrutura cognitiva e o mecanismo externo de processamento de informações. Através dessa interação que o sujeito irá compreender o funcionamento do mecanismo a ponto de internalizar as informações contidas nele.

Os *drivers* são considerados, portanto, máquinas virtuais que irão contribuir para que o sujeito – em nosso caso o estudante – resolva novas situações-problema. São os mecanismos internos que irão viabilizar a utilização e aplicação dos mecanismos externos. Sendo assim, a mediação depende diretamente dos *drivers*.

[...] a mediação cognitiva ocorre se e somente se existirem mecanismos internos de suporte à mediação com capacidade de comunicação e controle em relação a eventuais mecanismos de processamento extracerebral, ou seja, quando o indivíduo detém, dentro de si, um conjunto de conhecimentos e habilidades que lhe permitam o acesso e o uso de tais mecanismos externos (SOUZA, 2004, p. 66).

Portanto a mediação cognitiva se desenvolve como função fundamental para impulsionamento da inteligência, relacionando os processos internos e externos à estrutura cognitiva, sendo que os *drivers* são os recursos que irão mediar os dois processos, entre o que há na estrutura do indivíduo que permite que ele utilize o mecanismo externo e o uso desse mecanismo.

Como discutido anteriormente, o ser humano utiliza recursos externos de mediação para ampliar a sua capacidade cognitiva de processamento de informações. De acordo com a TMC, essa interação para complementar a capacidade do indivíduo pode ocorrer mediante quatro mediações: psicofísica, social, cultural e *hipercultural*.

Considerada a forma mais básica de mediação cognitiva, a *mediação psicofísica* consiste na interação com objetos condicionados. Através da interação com objetos do ambiente ocorre a utilização de esquemas sensório motores e respostas relacionadas aos instintos humanos.

Quando os mecanismos externos de mediação resumem-se a eventos físicos, químicos e biológicos fortuitos que agregam alguma forma elementar de processamento extracerebral de informação à relação sujeito-objeto, e os mecanismos internos de mediação constituem-se basicamente de esquemas sensório motores, pode-se chamar a isso de mediação psicofísica (SOUZA, 2004, p. 72).

Na mediação psicofísica os componentes materiais do ambiente fornecem uma percepção mais eficiente das situações. O ato de separar objetos que serão necessários no dia seguinte em um local consiste em uma mediação psicofísica pois, para não esquecer dos objetos, eles são dispostos juntos em um local específico. Em sala de aula, a utilização de atividades experimentais ou maquetes interativas caracteriza-se como mediação psicofísica. Assim, *drivers* psicofísicos serão desenvolvidos ou modificados por meio do processamento externo.

O ser humano vive em grupos onde padrões são desenvolvidos tornando-se características desses grupos. Os indivíduos interagem entre eles e, portanto, a percepção do ambiente não se torna individual, mas influenciada pelas percepções dos demais integrantes do grupo. Ou seja, os indivíduos respondem uns ao comportamento dos outros em determinadas situações.

A postura dos indivíduos indica diferentes tipos de situações, que são interpretadas pelos outros indivíduos. Portanto, a *mediação social* ocorre pela interação direta ou indireta entre os indivíduos, podendo também acontecer por meio de outras mediações. Dessa forma, o

convívio social de um determinado grupo contribui com a geração ou a modificação de *drivers* sociais.

No convívio social, quanto mais duradoura for a existência do grupo, existe uma tendência de melhora nas estruturas cognitivas do indivíduo, tornando as interações entre o grupo diversificadas. Isto, por sua vez, leva ao desenvolvimento de formas mais complexas de comunicação, surgindo a linguagem na forma de fala e, posteriormente, a escrita. Tornou-se possível então o registro de informações e acontecimentos.

A *mediação cultural*, portanto, refere-se ao uso da linguagem e seus desdobramentos – escrita, imagens etc. Placas de trânsito auxiliam motoristas em rodovias, *emojis* são utilizados em diversos aplicativos, podendo expressar ideias completas. A partir das particularidades de uma cultura, “Sob o ponto de vista do processamento de informação a nível individual, através de uma cultura tem-se uma superestrutura extracerebral capaz de realizar operações de percepção, memória, categorização e aprendizagem” (SOUZA, 2004, p.78)

O surgimento da hipercultura na era digital causou mudanças significativas nas relações de produção, sociedade e cultura. A partir dela, surgem novos mecanismos externos de mediação, bem como os *drivers* assumem novas competências necessárias para essa *mediação hipercultural*.

[...] todas as recentes habilidades, competências, conceitos, modos de agir, funcionalidade e mudanças socioculturais ligadas ao uso de computadores e da Internet constituem um conjunto de fatores que difere substancialmente daquilo que tradicionalmente se percebe como constituindo “Mundo”, “Sociedade” e “Cultura”, sendo, portanto, uma etapa adicional da evolução cognitiva da humanidade (SOUZA, 2006, p.156).

Conforme a TMC, o surgimento da hipercultura acarreta novas formas de interação entre grupos sociais e tecnologias. Ela interfere nos mecanismos internos e externos utilizados pelos indivíduos para processar informações, o que influencia nos fenômenos cognitivos. Portanto, a mediação *hipercultural* se baseia na utilização de ferramentas tecnológicas que possibilitam processamentos externos de informação buscando criar novas representações mentais.

Portanto, conforme a TMC o processamento externo se dará quando o indivíduo interagir com algum dos quatro tipos de mediação para delegar ao dispositivo externo alguma função cognitiva. Percebe-se uma sucessão nas formas de mediação, conforme elas surgiram tendo-se uma visão da evolução cognitiva da sociedade. O quadro apresenta essa ideia.

Quadro 1: Evolução das quatro mediações da TMC.

<b>Forma de Mediação</b>	<b>Mecanismos Externos</b>	<b>Mecanismos Internos</b>	<b>Processamento Extracerebral</b>
<i>Psicofísica</i>	Física do objeto e do ambiente	Sistemas sensoriais	Percepção
<i>Social</i>	Interação entre indivíduos	Habilidades sociais	Percepção e memória
<i>Cultural</i>	Sistemas simbólicos e artefatos	Conhecimento tradicional e/ou formal	Percepção, memória, categorização e aprendizagem
<i>Hipercultural</i>	Tecnologias da informação	Conceitos e habilidades do domínio da TI	Percepção, memória, categorização e aprendizagem, julgamento, elaboração, tomada de decisões.

Fonte: Adaptado de Souza (2004).

Percebe-se a crescente complexidade dos mecanismos de mediação, bem como o processamento extracerebral envolvido. Souza (2004) estabelece que em uma mediação mais complexa, a anterior – menos complexa – está englobada. Portanto, a mediação hipercultural irá compreender as mediações cultural, social e psicofísica, enquanto a mediação psicofísica seria a única que interage sozinha.

Em nosso estudo buscamos contemplar todas as mediações conforme a TMC, tanto no que tange às Transformações de Galileu quanto às Transformações de Lorentz. Apresentaram-se ao longo das atividades, portanto, quatro modelos para cada uma das transformações.

### 3.2 A EPISTEMOLOGIA DE LAUDAN

A abordagem utilizada para a Teoria da Relatividade na presente pesquisa norteou-se com base na visão epistemológica de Larry Laudan (1978), do progresso pela resolução de problemas. Segundo ele “a ciência é essencialmente uma atividade de solução de problemas” (LAUDAN, 1978, p. 17).

A partir do que chama de “características relevantes” na história da ciência e desenvolvendo ideias de outros epistemólogos, como Thomas Kuhn e Imre Lakatos, Laudan propõe uma epistemologia baseada na resolução de problemas. O autor busca um resgate à

racionalidade da ciência, defendendo a ideia de que os problemas seriam as perguntas da ciência, enquanto as teorias, as respostas.

Essa ideia foi utilizada em sala de aula para a abordagem do desenvolvimento histórico da Teoria da Relatividade Especial de Einstein.

Podemos nos valer da epistemologia de Laudan para defender que o ensino de ciências também seja desenvolvido em sala de aula por meio de resolução de problemas, até por ser uma forma de refletir o progresso da ciência como uma atividade de sala de aula (RAMOS, 2015).

Portanto, apresentaram-se os problemas que surgiram historicamente e culminaram no desenvolvimento da TRE, bem como de que forma ela resolveu esses problemas. Dessa forma, possibilitou-se mostrar aos estudantes a ciência como um empreendimento humano em constante construção.

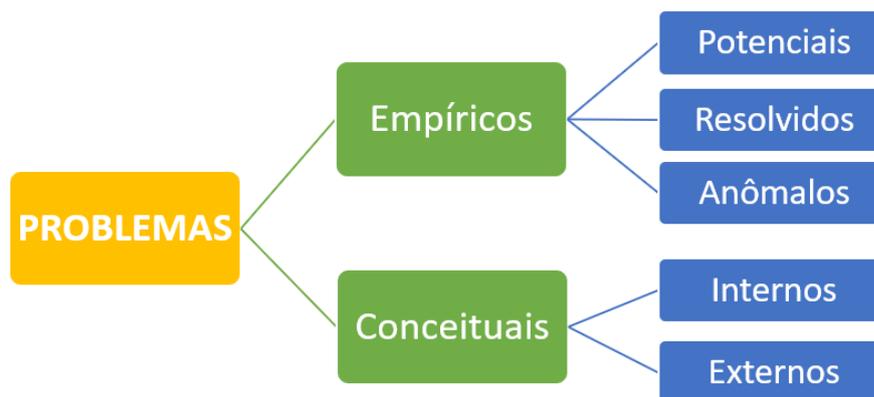
As “características relevantes” na história da ciência apontadas por Laudan demonstram que a troca de teorias científicas não é obrigatoriamente cumulativa, que as teorias não são diretamente descartadas ao apresentarem anomalias bem como não são diretamente aceitas por confirmação empírica, que o embate entre teorias é mais resolvido em conceitos do que em testes e experimentos, que o progresso científico em busca de uma verdade que nunca será alcançada não é coerente e, por fim, que a coexistência de teorias em competição é a regra e não a exceção, e sua avaliação é uma atividade principalmente comparativa.

Partindo dessas ideias, o autor desenvolve sua teoria do progresso pela resolução de problemas. Portanto, o papel de uma teoria “é resolver a ambiguidade, reduzir a irregularidade à uniformidade, mostrar que o que acontece é inteligível e previsível” (LAUDAN, 2011, p. 20). Assim sendo, a “prova de fogo” de uma teoria consiste em se ela proporciona respostas aceitáveis para importantes problemas. Laudan destaca que:

Para avaliar os méritos das teorias, é mais importante perguntar se constituem soluções adequadas a problemas relevantes do que se são “verdadeiras”, estão “corroboradas”, “bem confirmadas” ou são justificáveis de qualquer outro modo no âmbito da epistemologia do momento (LAUDAN, 2011, p.20).

Esses problemas no âmbito da ciência são classificados por Laudan de dois tipos: problemas empíricos e problemas conceituais. Logo, segundo ele, a ciência irá progredir quando as teorias que surgirem resolverem mais problemas que as teorias anteriores. A classificação dos problemas está esquematizada na Figura 2.

Figura 2: Classificação dos problemas conforme Laudan (1978).



Fonte: A pesquisa (2020).

### 3.2.1 Problemas Empíricos

Laudan (1978) define como problemas empíricos aqueles que já existem na natureza para serem resolvidos. Eles são relacionados à observação e explicação de fenômenos, portanto, são perguntas do mundo real. Estes seriam os problemas mais simples de se exemplificar. Por exemplo, um corpo cai em direção ao centro da Terra, surge o problema empírico “Por que os corpos caem em direção ao centro da Terra?”.

Portanto, os problemas empíricos existem independentemente da existência das teorias, eles seriam “qualquer coisa presente no mundo natural que pareça estranha ou que, de alguma maneira, necessite de explicação” (LAUDAN, 2011, p. 22). Entretanto, um problema somente se torna efetivamente um problema quando é conhecido, ou seja, o que é um problema em uma época pode deixar de ser posteriormente.

Os problemas empíricos são classificados em três categorias: potenciais, resolvidos e anômalos. Os problemas empíricos potenciais – ou não resolvidos – são aqueles que nenhuma teoria consegue explicar adequadamente ainda. Portanto, eles que estimulam o progresso da ciência, através da reformulação de teorias ou surgimento de teorias novas para resolvê-los. A falha na detecção do éter através do experimento de Michelson-Morley em 1887 constitui-se em um problema empírico potencial, para o qual foram necessárias reformulações nas teorias e, não obstante, a formulação da TRE.

Por outro lado, os problemas empíricos resolvidos são aqueles já explicados pela teoria em questão. Um problema passa a ser considerado resolvido, quando se deixa de considerá-lo

como uma pergunta não respondida para certa teoria. Deste modo, um problema pode ser considerado como resolvido para uma teoria, mas para outra não.

Por fim, os problemas empíricos anômalos são aqueles que a teoria em questão não explica, entretanto, existe outra teoria concorrente que explique. Portanto, assim como os problemas resolvidos, um problema pode ser anômalo para uma teoria, mas não para outra. Conforme práticas científicas tradicionais, ao apresentar uma anomalia, uma teoria seria descartada.

Entretanto, Laudan se opõe a essa prática, que dificulta a compreensão do papel das anomalias. Conforme ele, apesar de uma anomalia levantar dúvidas sobre a teoria em questão, isso não obriga um pesquisador a abandoná-la, pois existem diversos fatores envolvidos no desenvolvimento da ciência. Além disso, as anomalias não precisam ser incompatíveis com as teorias.

### **3.2.2 Problemas Conceituais**

Os problemas conceituais, conforme Laudan, são aqueles decorrentes da própria teoria. Eles irão surgir com a formulação dela, ou seja, não existem sem a teoria que os gerou. Buscando diferenciar os problemas empíricos dos conceituais, Laudan afirma:

Se os problemas empíricos são questões de primeira ordem acerca das entidades substantivas de algum setor do saber, os conceituais são questões de ordem superior acerca da fundamentação das estruturas conceituais (por exemplo as teorias) que foram concebidas para responder às questões de primeira ordem (LAUDAN, 2011, p. 68).

É através dos problemas conceituais que Laudan se distancia da epistemologia empirista, afirmando que estes são tão importantes quanto as soluções dos problemas empíricos para o desenvolvimento da ciência. Conforme ele, “qualquer teoria acerca da natureza que não atribua papel os problemas conceituais perde o direito de se dizer uma teoria sobre como a ciência realmente evolui” (LAUDAN, 2011, p. 93).

Dependendo da forma como são originados, os problemas conceituais podem ser categorizados em dois tipos: internos e externos. Os problemas conceituais internos surgem através de incoerências e/ou contradições na formulação da teoria. Também podem ser decorrentes de ambiguidades ou circularidades na teoria.

Por outro lado, os problemas conceituais externos são as incoerências e/ou conflitos que a teoria gera em relação a outras teorias ou crenças que sejam amplamente aceitas. Ou seja, a aceitação de uma, dificilmente permite a aceitação da outra. No caso da TRE, pode-se dizer que, ao trazer a ideia de tempo e espaço relativos, ela criou um problema conceitual externo, pois entrou em conflito com as teorias newtoniana e galileana, que eram amplamente aceitas.

Conforme Laudan, o peso dos problemas conceituais vai depender do grau de incompatibilidade entre duas teorias em conflito, de quantas teorias apresentam o mesmo problema, de quantos problemas empíricos a teoria em questão resolve e do tempo que este problema permanece sem resolução. Portanto, os problemas conceituais têm peso relativo.

Dessa forma, tanto os problemas resolvidos quanto os problemas conceituais são a base do progresso da ciência. Assim, almeja-se a teoria que produza menos problemas conceituais e anomalias e resolva mais problemas empíricos. Deste modo, o objetivo da ciência é ampliar o alcance dos problemas empíricos resolvidos e reduzir o alcance dos problemas empíricos anômalos e dos problemas conceituais.

“De fato, a efetividade das teorias no que se refere à solução de problemas depende de como ela equilibra seus problemas resolvidos e não resolvidos” (LAUDAN, 1978, p. 94). Estabelece-se, assim, que “a avaliação das teorias é questão de comparação” entre elas. Ademais, mais importante que uma teoria ser bem corroborada, é ela proporcionar soluções adequadas a problemas significativos. Deste modo, a compreensão e análise dos problemas se torna necessária.

Como é perceptível na história da ciência, o autor também ressalta que o progresso científico não é cumulativo. Isso significa que nem sempre uma nova teoria que surge irá resolver todos os problemas da teoria anterior. Ele traz o seguinte exemplo:

Um exemplo ainda melhor é dado pela teoria elétrica de Franklin. Antes dele, um dos problemas centrais da eletricidade já resolvidos era a mútua repulsão dos corpos elétricos carregados negativamente. Diversas teorias, em especial as baseadas nos vórtices, haviam resolvido o problema na década de 1740. A teoria do próprio Franklin, que foi amplamente aceita da metade para o fim do século XVIII, jamais conseguiu lidar adequadamente com tal questão. (LAUDAN, 1978, p. 209)

Ou ainda:

Uma teoria T1 explica detalhadamente o desenvolvimento embriológico das águias e das garças; outra teoria T2 explica o desenvolvimento embriológico de todas as aves, exceto as águias. T2 é mais progressiva que T1, mas não resolve todos os problemas que T1 resolvia. (LAUDAN, 1978, p. 210)

Portanto, é perceptível a necessidade de conhecer o peso dos problemas que a teoria resolve ou não para poder ponderar se ela é ou não progressiva. Dessa forma, o progresso científico ocorrerá pela resolução de problemas empíricos (potenciais, resolvidos ou anômalos) e conceituais (internos ou externos). Quanto maior o número de problemas que a teoria resolve e menor o número de problemas que ela gera, mais progressiva ela será. Entretanto, ao se analisar teorias concorrentes, a sua avaliação se dará por comparação entre seus problemas.

Do mesmo modo, as soluções para os problemas não são permanentes, um problema que hoje é resolvido pode não permanecer com a sua solução. Laudan (1978) traz como exemplo para esta situação o problema da queda dos corpos, que havia sido resolvido por Aristóteles e essa solução foi aceita por milênios. No entanto, para Galileu e para Newton, as soluções de Aristóteles não eram suficientes, assim, foram em busca de novas soluções.

### 3.2.3 Tradição de Pesquisa

Laudan afirma que, por trás das teorias, existem suas visões fundamentais sobre o mundo, as quais ele chama de tradições de pesquisa. Ele define as tradições de pesquisa como o conjunto de normas para o desenvolvimento das teorias. Portanto, cada tradição de pesquisa possui várias teorias associadas a ela. Enquanto as teorias buscam resolver os problemas empíricos e conceituais, ou seja, explicar os fenômenos em si, as tradições de pesquisa determinam quais são esses problemas para suas teorias.

Uma tradição de pesquisa é um conjunto de suposições acerca das entidades e dos processos de uma área de estudo e dos métodos adequados a serem utilizados para investigar os problemas e construir as teorias dessa área do saber. (LAUDAN, 1978, p. 115)

O autor também traz a ideia das revoluções científicas, temática originalmente abordada por Thomas Kuhn. Segundo Laudan, uma revolução científica ocorrerá quando algum pesquisador rompe com a sua tradição de pesquisa e embarca ou desenvolve uma nova tradição. A partir do momento que essa nova tradição, até então desconhecida ou ignorada pelos cientistas de uma área, atinge um desenvolvimento em que eles se veem obrigados a considerá-la como possibilidade de adesão, ocorre uma revolução científica.

Na Física, mais especificamente na área da Termodinâmica, um exemplo é a questão do calor. Atualmente se tem a concepção de calor como energia em trânsito entre os corpos,

entretanto, até o século XIX o calor era considerado um fluido, com a teoria do Calórico. Todavia, surgiram anomalias, como o aquecimento por atrito, que essa concepção de calor não conseguia explicar. Dessa forma, surgiu a Teoria Cinético-Molecular da matéria, que conseguiu explicar esses fenômenos. Houve então, gradativamente, uma adesão a essa tradição de pesquisa, que considera o calor como uma energia em trânsito entre os corpos, e não mais como um fluido.

A própria Teoria da Relatividade de Einstein constitui uma nova tradição de pesquisa que surgiu na época, visto que trouxe compreensões completamente novas acerca da natureza e das concepções de espaço e tempo. Gradativamente, os cientistas aderiram a ela, que se mostrou mais progressiva (LAUDAN *et al.*, 1986).

Dessa forma, utilizando a abordagem epistemológica de Laudan, demonstraram-se quais foram os problemas anômalos que surgiram historicamente que não podiam ser resolvidos pela Física na época. Apresentou-se, portanto, a necessidade do desenvolvimento da Teoria da Relatividade, que se mostrou mais progressiva que as teorias vigentes até então, resolvendo esses problemas.

Se um problema em particular tiver se revelado anômalo para certas teorias da área ou tiver resistido a ser solucionado por elas, toda teoria que possa transformá-lo em um problema resolvido terá fortes argumentos a seu favor. O bom êxito da teoria da relatividade especial na solução dos resultados das experiências de Michelson-Morley (que se tornaram problemas anômalos para as teorias anteriores do éter) é um exemplo conhecido de tal processo (LAUDAN, 2011, p. 48).

### 3.3 PERFIL CONCEITUAL

Um dos pressupostos teóricos utilizados para análise dos resultados obtidos com os estudantes foi a ideia de Perfil Conceitual de Mortimer (1995). Essa concepção possibilita a compreensão das ideias apresentadas pelos estudantes como uma evolução de um “perfil de concepções”, onde as novas ideias adquiridas em sala de aula coexistem com as ideias anteriores, sendo cada uma aplicada às situações adequadas. Esses pressupostos serão levados em consideração durante a análise dos dados obtidos.

### 3.3.1 Perfil Epistemológico de Bachelard

Em diferentes realidades e contextos existirão diferentes tipos de conhecimentos, ou seja, um único conceito pode ter diferentes interpretações em diferentes situações.

Um conceito por si só foi suficiente para *dispersar* as filosofias e mostrar que a incompletude de algumas filosofias era atribuível ao fato de que elas se apoiavam sobre um aspecto, clarificavam exclusivamente uma faceta do conceito (BACHELARD 1968, p. 34, *tradução nossa*).

Deste modo, Bachelard (1968) busca mostrar que diferentes filosofias podem estar presentes na mesma definição de algum conceito, mesmo que se considere algumas delas inadequadas para certas noções do conhecimento científico. Assim, traz a ideia de perfil epistemológico, com diferentes regiões que possuem diferentes interpretações sobre o mundo.

Esse perfil evidencia a pluralidade nas diferentes formas de ver e representar a natureza, tanto para os sujeitos em relação aos conceitos, quanto para os conceitos em relação à diferentes épocas. Dessa forma, o chamado perfil epistemológico possui diferentes regiões associadas a essas diferentes filosofias.

O quão significativa é cada região no perfil de um indivíduo corresponde a como essa visão está presente em seus pensamentos sobre o mundo, e isso irá depender de suas experiências e formação cultural. Partindo das ideias de Bachelard, Mortimer (1995) constrói o chamado perfil conceitual.

### 3.3.2 Diferenças Ontológicas

Bachelard constrói seu perfil epistemológico baseado em diferentes explicações sobre o mundo, ou seja, regiões com diferenças epistemológicas. A partir das ideias dele e buscando descrever a evolução das ideias dos estudantes no processo de ensino, Mortimer (1995) propõe o chamado perfil conceitual, com regiões diferentes ontologicamente. Ele parte do princípio da coexistência de variadas visões da realidade simultaneamente. Dessa forma, além de explicar o mundo de uma forma diferente, cada região possui uma concepção de mundo diferente.

Enquanto a epistemologia é a parte da filosofia que estuda como se constrói conhecimento, ou seja, em como compreendemos e explicamos os fenômenos, a ontologia é a

parte da filosofia que se preocupa com o significado de existir, relacionando-se à aceitação da existência ou não dos fenômenos. Assim sendo, ao trazer as concepções compreensões de tempo e espaço relativos, a TRE abarcou, além de mudanças epistemológicas, mudanças ontológicas, ou seja, mudanças na forma de se conceber esses conceitos. Conforme Marques (2017), “a SR assim interpretada tem implicações ontológicas não negociáveis para quem aceita os efeitos relativísticos (relatividade da simultaneidade, contração do espaço e dilatação do tempo) como reais” (MARQUES, 2017, p. 393).

Mortimer (1995) define sua ideia de perfil conceitual como “um modelo para descrever mudanças nos pensamentos individuais como resultado do processo de ensino” (MORTIMER, 1995, *tradução nossa*). Ele entende que este recurso é muito importante no processo de ensino-aprendizagem, visto que muitos estudantes possuem dificuldades com os conceitos em ciências justamente pela complexidade de se transitar entre as categorias ontológicas deles. Isso porque as regiões “não-científicas” de pensamento – senso comum – estão fortemente atreladas aos compromissos epistemológicos e ontológicos de cada indivíduo. Assim, ele destaca a importância da tomada de consciência do estudante sobre o seu próprio perfil.

Dessa forma, o perfil conceitual irá depender do contexto do indivíduo, sendo que cada indivíduo possui o seu perfil conceitual, assim como cada perfil conceitual se refere a um conceito específico. Portanto, um indivíduo pode possuir diferentes perfis conceituais para diferentes conceitos.

### **3.3.3 Regiões do Perfil**

Assim como o perfil epistemológico de Bachelard, Mortimer considera diferentes zonas ou regiões para sua noção do perfil conceitual. Portanto, cada zona do perfil relaciona-se a uma forma de pensar possuindo certos domínios e contextos em que se aplica (MORTIMER, 2000). Portanto, em termos de perfil, Mortimer apresenta os que seriam os seus componentes.

Primeiramente um realismo ingênuo, que estaria atrelado ao senso comum. Seguindo para o empirismo, onde se supera a realidade imediata, mas ainda sem contemplar as relações racionais. O racionalismo clássico, onde os conceitos começam a fazer parte de uma rede com relações racionais. Segue-se para o racionalismo moderno, em que as noções antes simples das ideias clássicas se tornam complexas, ampliando a rede de conceitos. Por fim, o racionalismo

contemporâneo, contemplando os avanços mais recentes da ciência e ainda em desenvolvimento, incorporando sistemas complexos ou caóticos aos objetos de estudo.

Cada zona sucessiva desse perfil terá um poder explicativo com maior amplitude que as antecessoras. Além disso, dependendo das experiências pessoais do indivíduo, e das diferentes culturas, ele terá desenvolvido diferentes zonas do perfil. Ou seja, os compromissos epistemológicos e ontológicos do indivíduo irão influenciar em suas zonas de perfil.

### **3.3.4 O Perfil Conceitual no Processo de Ensino**

Se a dificuldade dos estudantes em relação a compreensão dos conceitos científicos é ligada à dificuldade em transitar pelas regiões do perfil conceitual, a partir do momento que o estudante adquire consciência de como é seu perfil conceitual, ele pode buscar formas de superar essas dificuldades.

Assim sendo, ele ou ela poderá usar a noção mais adequada de um conceito para cada contexto, ou seja, não irá abandonar as regiões mais primitivas de seu perfil, mas precisa compreender que elas não são suficientes para a compreensão e explicação de certas situações. Conforme o autor, deve-se “pensar o ensino como uma mudança no perfil conceitual e não como uma substituição de noções do cotidiano por conceitos científicos” (Mortimer, 1995, *tradução nossa*).

Na Física, esse processo ocorre à medida que novos conceitos são apresentados e exercitados com situações concretas diversificadas. Deste modo, é importante que as atividades elaboradas pelo professor sejam variadas, exercitando de maneira desafiadora os novos conceitos.

Mortimer afirma que, para um planejamento do professor que esteja de acordo com as ideias do perfil conceitual, primeiro é necessário dividir as diferentes regiões de perfil do conceito a ser trabalhado. Além disso, deve-se identificar os obstáculos epistemológicos e ontológicos relacionados a ele. Nesse sentido, a história da ciência se torna uma importante ferramenta como fonte de informações para as regiões do perfil.

Assim, essas características de cada zona de perfil do conceito a ser ensinado irão determinar as etapas do processo de ensino. Isso porque o estudante possui uma tendência a usar regiões mais primitivas do seu perfil conceitual, pertencentes muitas vezes a um nível considerado “não-científico”. Essa situação se deve ao fato de o aluno possuir maior

familiaridade com essas regiões do que com as mais desenvolvidas, que acabaram de ser construídas.

### 3.3.5 Perfil Conceitual de Referencial

Utilizando-se a ideia de perfil conceitual, para compreender fenômenos e teorias mais complexas o estudante necessita de regiões mais desenvolvidas em seu perfil conceitual dos conceitos envolvidos. A Teoria da Relatividade Restrita de Einstein trouxe profundas mudanças na descrição da natureza, trazendo significados diferentes dos da Física newtoniana para conceitos como tempo e espaço. Portanto, mesmo um estudante que compreende plenamente a Física newtoniana não terá condições de compreender corretamente a TRE sem desenvolver novas regiões em seu perfil para alguns conceitos, como o de referencial, que é crucial para o entendimento dela.

Nesse sentido, será utilizado o perfil conceitual construído por Ayala Filho e Frezza (2007), e posteriormente aprofundado por Ayala Filho (2010), descrito no capítulo da revisão de literatura. Como mencionado anteriormente, os autores delimitaram três regiões para o perfil conceitual de referencial, sendo elas: *a do senso comum*, *a da Física Newtoniana* e *a região relativística*.

A região do senso comum é aquela associada às concepções alternativas de referencial dos estudantes. Essas ideias estão vinculadas a concepções alternativas de movimento. Aqui os estudantes tendem a confundir os conceitos de força e velocidade, sendo o movimento intrínseco ao objeto. Logo o movimento será definido pela relação intrínseca entre a força que causa o movimento e o objeto.

Surge a concepção de movimento “real” e movimento “aparente”, associado a uma ilusão de ótica. Além disso, nessa região a consideração de um referencial não ocorre espontaneamente e, quando ocorre, relaciona-se referencial a um objeto concreto de onde um observador “vê” o fenômeno.

A região newtoniana já carrega a noção abstrata de um referencial. Entretanto, considera-se a existência de um tempo e espaço absolutos, sendo feitas medidas relativas destes a partir de sistemas de referência. Apesar de existir um movimento absoluto, todas as medidas realizadas a partir de um referencial são de movimentos relativos, não sendo possível definir

esse movimento absoluto. Portanto, todo movimento observado e medido a partir de algum referencial será relativo àquele sistema de referência, e não mais intrínseco ao objeto.

Uma grande mudança na noção de referencial ocorre na região relativística. Aqui somente a velocidade da luz é absoluta, sendo todo o restante – espaço, tempo, massa, energia – relativo. Apesar da representação do referencial continuar sendo através de um eixo de coordenadas cartesianas, em cada ponto dele há um observador com um relógio, e a diferenciação dos referenciais se dá pela velocidade relativa deles.

A ideia de evento se torna central, sendo evento algo a que se possa associar uma posição e instante definidos. Surgem os conceitos de tempo e espaço próprios e mostra-se impossível se obter uma escala de tempo única. Tempo, espaço e movimento perdem sua posição central e deixam de ser absolutos. Nessa região, não possível que o sujeito desempenhe um papel de meta-observador tendo uma consciência instantânea da situação física.

Os autores concluem que os principais obstáculos epistemológicos associados à aprendizagem da TRE consistem no não desenvolvimento da região relativística do perfil de referencial e a tentativa de associar fenômenos relativísticos às regiões newtoniana ou do senso comum do perfil.

## 4 A TEORIA DA RELATIVIDADE ESPECIAL

O presente capítulo trata da temática da Teoria da Relatividade Especial (TRE), também chamada de Teoria da Relatividade Restrita (TRR), trazendo um resgate histórico dos fatores que levaram ao seu desenvolvimento, culminando com o trabalho de Albert Einstein (1879-1955) publicado em 1905, “Sobre a Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento”, na revista *Annalen der Physik*. Este resgate histórico foi utilizado para a abordagem da TRE com os estudantes no desenvolvimento da presente pesquisa, evidentemente, com simplificações necessárias para adequar-se ao Ensino Médio.

Inicia-se abordando a Relatividade de Galileu, bem como o seu papel dentro da Física Newtoniana. Então trata-se das medições da velocidade da luz e do desenvolvimento da Teoria Eletromagnética de Maxwell, mostrando os problemas que surgiram entre esta e Relatividade de Galileu. Segue-se para o desenvolvimento das Transformações de Lorentz e o Experimento de Michelson-Morley, bem como os impactos de seu resultado. Por fim, apresenta-se a Teoria da Relatividade Especial, suas principais consequências e como ela resolveu os problemas que haviam surgido.

### 4.1 A RELATIVIDADE DE GALILEU

Usualmente, o termo “Relatividade” remete ao trabalho desenvolvido por Einstein; entretanto, foi Galileu Galilei (1564-1642) quem introduziu o chamado Princípio da Relatividade no estudo da Cinemática. Primeiramente, para a compreensão desse princípio deve-se compreender o significado de referencial inercial no contexto da Física.

Um referencial é o sistema de referência a partir do qual observações e medições relacionadas a um evento são realizadas. Toda descrição de algum evento deve ser dada em relação espacial a algum sistema de referência. Se a primeira lei de Newton (lei da Inércia) é válida em um sistema de referência, ele é chamado de referencial inercial. Assim, essas leis também serão válidas em um sistema de referência que se mova com uma velocidade constante em relação a esse primeiro, ou seja, ele também será inercial.

Se um corpo sujeito a nenhuma força externa resultante se move em linha reta com velocidade constante, então o sistema de coordenadas anexado a esse corpo define uma estrutura inercial (THORNTON & REX, 2013, p.19, *tradução nossa*).

Deste modo, o Princípio da Relatividade estabelece que dois sistemas de referência inerciais são equivalentes, ou seja, as leis da Mecânica serão as mesmas em ambos. Dessa forma, Galileu afirmou não ser possível identificar se um navio estaria parado ou movimento uniforme, por exemplo, pois os objetos nele teriam os mesmos comportamentos nas duas situações. Conforme Thorne (1994), “as leis da física não devem prover nenhum meio para distinguir um referencial inercial de qualquer outro” (THORNE, 1994).

Esse é um dos princípios fundamentais da Física Clássica, desenvolvido por Isaac Newton (1642-1727) a partir dos trabalhos de Galileu, e, como consequência dele, para poder determinar o movimento de algum corpo é necessária a adoção de um referencial (EINSTEIN, 2015). Dessa forma, a velocidade, aceleração e a trajetória de uma partícula dependem do referencial adotado para a análise. Portanto, com esse princípio, abandona-se a ideia de movimento absoluto.

Para a adoção de um sistema de referência, é necessária a adoção de um sistema de coordenadas, para que as medidas sejam realizadas pelo observador. Além disso, o observador também necessita de um sistema de relógios, isto é, instrumentos de medição de intervalos de tempo, adequadamente escolhidos e calibrados para descrever o movimento quantitativamente, pois cada posição em um determinado referencial é ocupada em determinado instante. Este sistema de relógios deve ser visto como parte da construção do referencial.

Considere duas pessoas sentadas em um ônibus que se move com velocidade constante em relação ao chão. Uma delas joga uma bolinha para cima, conforme a Figura 3. Para o sistema de referência do ônibus, chamado de  $S'$ , a trajetória descrita para a bolinha é vertical. Agora, considerando-se um sistema de referência no chão fora do ônibus, chamado  $S$ , para um observador nele o movimento da bolinha será uma parábola. Percebe-se que a trajetória da bolinha depende do referencial adotado.



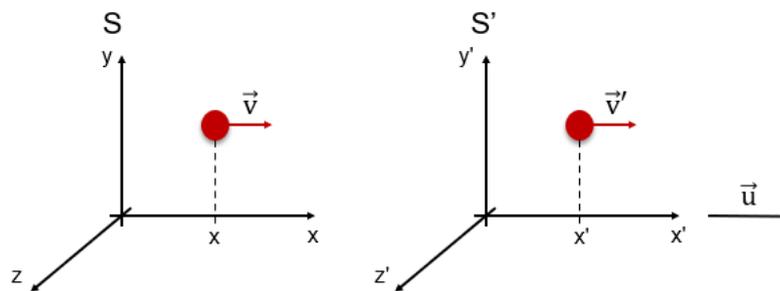
Fonte: A pesquisa (2020).

Estes dois sistemas de referência podem ser representados por sistemas cartesianos ortogonais, com coordenadas  $xyz$  para o referencial  $S$  e  $x'y'z'$  para o referencial  $S'$ . Na versão

simplificada de movimento relativo que consideramos nesse trabalho, sempre assumimos que  $S'$  se move com uma velocidade de translação constante  $\vec{u}$  no eixo  $x$  em relação a  $S$ , estando os eixos  $x$  e  $x'$  dos referenciais alinhados (Figura 4). Portanto, a posição de qualquer evento em relação a algum dos sistemas de coordenadas,  $S$  ou  $S'$ , é descrita especificando-se o comprimento das coordenadas que se estendem do evento a origem do plano cartesiano que representa aquele referencial.

A partir disso, pode-se encontrar uma relação entre as coordenadas de  $S$ , para um evento em um instante  $t$ , e de  $S'$ , num instante  $t'$  do mesmo evento.

Figura 4: Referenciais  $S$  e  $S'$ .



Fonte: A pesquisa (2020).

Considerando-se que nos dois referenciais o instante inicial seja  $t = t' = 0$  e que o objeto se move apenas na horizontal, ou seja, um movimento de translação, com velocidade apenas na direção  $x = x'$ , chega-se na relação clássica, as **Transformações de Galileu** (FEYNMAN, 2017):

$$x' = x - u \cdot t ; \quad (1)$$

$$y' = y ; \quad (2)$$

$$z' = z ; \quad (3)$$

$$t' = t . \quad (4)$$

Ou, na forma inversa:

$$x = x' + u \cdot t ; \quad (5)$$

$$y = y' ; \quad (6)$$

$$z = z' ; \quad (7)$$

$$t = t' . \quad (8)$$

Destaca-se que, na Física, intervalos temporais e, mediante a uma escolha de origem desses intervalos, instantes de tempo assinalados a eventos são tão-somente resultados de medições. Portanto, tempo aqui não possui um significado meramente psicológico ou abstrato,

mas é medido, ou seja, é definido em termos de relógios. Relógios são instrumentos de medida de tempo a partir de fenômenos cíclicos, que vão desde a oscilação de um pêndulo, como utilizado por Galileu, até a taxa de decaimento de algum elemento. Portanto, a partir da utilização desse instrumento de medida o número de ciclos contados para determinado evento é o que se chama intervalo de tempo deste evento.

Percebe-se nessas transformações que uma vez determinados os relógios e escalas de comprimento e, com eles, unidades de medida de intervalos de tempo e espaço, que esses intervalos medidos entre eventos são os mesmos nos diferentes referenciais inerciais. Portanto, são quantidades absolutas, independentes do observador (sendo ele inercial). Trata-se, de forma mais vaga, do “tempo absoluto” ou “espaço absoluto” Newtonianos. Essa concepção vai ao encontro do senso comum, onde cotidianamente considera-se o tempo independente do referencial.

O fato da duração de um evento ou intervalo de tempo entre eventos ser invariante com relação à localização ou ao estado de movimento de um observador implica que relógios sincronizados em um dado instante permaneçam sincronizados mesmo que passem a se deslocar um em relação ao outro. A invariância do sincronismo, com relação a observadores em referenciais distintos, implica a existência de uma escala de tempo universal. (CARUSO, 2007, p. 188)

Na Física, o “espaço”, ou mais precisamente o comprimento medido de certos objetos convencionais (as “réguas” frequentemente mencionadas por Einstein) em unidades precisamente definidas, também é o resultado de alguma medição. Essa medição é feita com algum instrumento de medida por meio de comparação com ele, sendo necessário, primeiramente, fixar um referencial em relação ao qual as medidas serão realizadas. Quando se quer medir o comprimento de algum objeto, pode-se, por exemplo, medir as coordenadas das extremidades dele em relação ao referencial de observação, e essas medidas devem ser realizadas simultaneamente (HALLIDAY; RESNIC; WALKER, 2009). Como nas Transformações de Galileu o tempo é absoluto, logo a simultaneidade também é, deste modo o comprimento dos objetos será o mesmo para todos os referenciais.

Assim sendo, uma consequência da invariância do tempo, é a invariância do espaço, ou seja, nas Transformações de Galileu, comprimentos também são independentes do referencial, ou seja, são absolutos. Outra grandeza invariante nas transformações é a aceleração de um corpo, que também permanece a mesma em qualquer referencial inercial, já que eles não possuem aceleração um em relação ao outro. Portanto, a partir das equações (1), (2), (3) e (4), conclui-se que a velocidade  $\vec{v}'$  de algum objeto que se move em relação ao referencial  $S'$ , relaciona-se com a velocidade  $\vec{v}$  do mesmo objeto no referencial  $S$ :

$$\vec{v}' = \vec{v} - \vec{u} . \quad (9)$$

Ou ainda:

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{u} . \quad (10)$$

Newton usaria as ideias de Galileu, além das de Johannes Kepler (1571-1630), para desenvolver as leis que explicam o movimento dos corpos no tempo e no espaço e publicá-las no *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, descrita por Stephen Hawking (2015) como

[...] provavelmente a obra mais importante já editada nas ciências físicas. Nela, Newton não apenas apresentou uma teoria de como os corpos se movem no espaço e no tempo, mas também desenvolveu a complexa matemática necessária para analisar esses movimentos. (HAWKING, 2015, p. 15)

O sucesso das leis desenvolvidas por Newton na explicação e previsão dos movimentos contribuiu para a ampla aceitação do Princípio da Relatividade de Galileu. Além disso, pode-se expandir a ideia para outros tópicos, como impulso e quantidade de movimento, trabalho e energia etc. Durante muito tempo as Transformações de Galileu e o Princípio da Relatividade não tinham motivos para serem contestados. Entretanto, com o desenvolvimento de outras áreas da ciência além da Mecânica, algumas inconsistências passaram a surgir.

[...] com o desenvolvimento recente da eletrodinâmica e da óptica, tem ficado cada vez mais óbvio que a mecânica clássica não basta para descrever todos os fenômenos da natureza. Com isso, a questão da validade do princípio da relatividade passou a ser discutível, e parecia não estar fora de cogitação que a resposta a esta questão fosse negativa (EINSTEIN, 2015, p. 26).

## 4.2 MEDIÇÃO DA VELOCIDADE DA LUZ

Os primeiros registros acerca da investigação da velocidade da luz datam do século V a.C. A grande discussão entre os filósofos era se a luz se propagava com velocidade finita ou não. Aristóteles (384 a.C.-322 a.C.) acreditava que a luz se propagava no espaço de forma instantânea. Já Empédocles (490 a.C.-430 a.C.) é considerado o primeiro filósofo a defender a velocidade finita na luz, afirmando que ela precisava de certo tempo para viajar pelo espaço.

No século XVI, o próprio Galileu realizou experimentos em busca de uma aferição para o valor da velocidade da luz através da utilização de dois lampiões e duas colinas, porém

não obteve êxito. Quase um século mais tarde, o astrônomo dinamarquês Ole Roemer (1644-1710) conseguiu realizar o primeiro cálculo da velocidade da luz (HAWKING, 2015).

Roemer investigou os eclipses de uma das luas de Júpiter descoberta por Galileu, Io. Analisou atrasos na previsão de alguns eclipses que ocorriam entre os períodos em que a Terra se encontra mais próxima e mais afastada de Júpiter. Partindo da hipótese de que, se a luz tivesse uma velocidade finita, ela levaria certo tempo para percorrer a distância entre Júpiter e a Terra, considerou que o atraso seria devido à distância maior a ser percorrida.

O astrônomo chegou o valor de  $2,196969697 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ , com um erro de medida de 27% em relação ao valor aceito atualmente,  $2,99792458 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ . Outras medições foram realizadas posteriormente, com maior precisão, por Hyppolyte Louis Fizeau (1819-1896), chegando a  $3,15 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ , erro de 5%, e Albert Michelson (1852-1931), que encontrou  $2,99853 \cdot 10^8 \text{ m/s}$  (SANTOS, 2018).

### 4.3 ELETROMAGNETISMO DE MAXWELL

Eletricidade e Magnetismo eram tratados como duas áreas distintas, sendo desenvolvidas de forma independente até o século XIX, quando Hans Christian Oersted (1777-1851) constatou uma relação entre fenômenos elétricos e magnéticos em 1821. Somente anos mais tarde, após estudos importantes como os de André-Marie Ampère (1775-1836) e Michael Faraday (1791-1867), que surgiria uma teoria unificadora para o Eletromagnetismo, através do trabalho de James Clerk Maxwell (1831-1879).

Na época, acreditava-se que a Mecânica poderia explicar todos os fenômenos da natureza. Com a publicação de seu trabalho em 1873, Maxwell não só unificou a Eletricidade e o Magnetismo, como também a Óptica, sintetizando as equações do Eletromagnetismo. Ele, portanto, unificou as leis de Coulomb, Oersted, Ampère, Biot e Savart, Faraday e Lenz, nas chamadas Equações de Maxwell (MONÇORES, 2014):

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}; \quad (11)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}; \quad (12)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}; \quad (13)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0; \quad (14)$$

onde  $\vec{E}$  é o campo elétrico,  $\vec{B}$  é o campo magnético,  $\epsilon_0$  a permissividade elétrica do vácuo,  $\mu_0$  a permeabilidade magnética do vácuo,  $\rho$  é a densidade de carga elétrica e  $\vec{J}$  é a densidade de corrente elétrica, medidos no SI. Essas equações (11), (12), (13) e (14) descrevem o comportamento dos campos elétrico e magnético que irão determinar a força eletromagnética sobre partículas carregadas eletricamente, a chamada Força de Lorentz:

$$\vec{F} = Q \cdot (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) . \quad (15)$$

Portanto, sobre uma carga  $Q$  que se move com velocidade constante  $\vec{v}$  em uma região com um campo elétrico  $\vec{E}$  e um campo magnético  $\vec{B}$ , surgirá uma força  $\vec{F}$ . Além disso, as Equações de Maxwell implicam que os campos elétrico e magnético satisfazem uma equação de onda, sendo por meio delas possível calcular a velocidade de uma onda eletromagnética, que é constante (HAWKING, 2015):

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} . \quad (16)$$

O valor obtido por Maxwell para a velocidade de propagação dessas ondas eletromagnéticas foi muito próximo do valor aceito para a velocidade da luz, o que o levou a acreditar que a luz fosse uma onda eletromagnética. Portanto a luz poderia ser explicada por uma relação dos campos elétrico e magnético.

A velocidade das ondulações transversais no nosso meio hipotético, calculada a partir das experiências de eletromagnetismo efetuadas pelos Srs. Kolhraush e Weber (311.000 km/s), tem um valor tão próximo do valor da velocidade da luz calculado a partir de experiências da óptica realizadas pelo Sr. Fizeau que é difícil evitar a inferência de que a luz consistira em ondulações transversais do mesmo meio que e a causa dos fenômenos elétricos e magnéticos (MAXWELL *apud* ROCHA, 2002, p. 264).

Essa velocidade das ondas eletromagnéticas é representada por  $c$ , a velocidade da luz no vácuo (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009):

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} . \quad (17)$$

Portanto, com seu trabalho Maxwell demonstrou que uma onda eletromagnética é gerada quando cargas elétricas estão em movimento não-uniforme, explicando a relação entre

campo magnético e correntes elétricas. Logo após a morte de Maxwell, com a invenção do primeiro transmissor-receptor de rádio, Heinrich Hertz (1857-1894) fez a primeira detecção de ondas eletromagnéticas.

Contudo, alguns problemas surgiram. Ao se deduzir uma equação de onda a partir das equações de Maxwell, essa equação não é invariante pelas Transformações de Galileu. Portanto, ao trocar de referencial, as ondas eletromagnéticas não se propagariam de acordo com essa equação de onda. Assim, passou-se a investigar como seria possível preservar essa equação de onda.

Na época, o conhecimento de ondulatória dizia respeito às ondas mecânicas. Com esse pensamento mecanicista, surgiu a dúvida sobre em qual meio essas ondas eletromagnéticas se propagavam com tal velocidade. Portanto, questionou-se a partir de qual referencial que seria medida a velocidade calculada por Maxwell e se o Eletromagnetismo exigiria a adoção de um sistema de referência privilegiado.

Surgem, portanto, três possibilidades para os cientistas da época (FREZZA, 2015):

- O Princípio da Relatividade seria válido somente na Mecânica Clássica, não sendo aplicável ao Eletromagnetismo, onde deveria se adotar um referencial privilegiado. Esse referencial poderia ser localizado experimentalmente;
- O Princípio da Relatividade seria válido tanto na Mecânica Clássica quanto no Eletromagnetismo, mas as equações de Maxwell estavam incorretas. Os desvios delas poderiam ser constatados experimentalmente;
- O Princípio da Relatividade seria válido tanto na Mecânica Clássica quanto no Eletromagnetismo, mas a Relatividade de Galileu e as Leis de Newton precisavam ser reformuladas. E seus desvios poderiam ser constatados experimentalmente.

Dada a grande credibilidade que tanto as Leis de Newton quanto a Relatividade de Galileu possuíam, e pelo fato de que as ondas eletromagnéticas haviam sido detectadas por Hertz, seguiu-se em direção à busca da detecção de tal referencial privilegiado que deveria ser adotado para os fenômenos eletromagnéticos.

#### 4.4 O EXPERIMENTO DE MICHELSON-MORLEY

Visto que ondas mecânicas precisam de um meio material para sua propagação, acreditava-se que as ondas eletromagnéticas necessitariam de um meio análogo. Esse meio hipotético recebeu o nome de *éter luminífero*, ou simplesmente *éter*. A ideia deste meio já havia sido levantada por René Descartes (1596-1650) no século XVI.

A teoria de Maxwell previu que ondas de rádio ou de luz deviam viajar a uma velocidade fixa. Contudo, a teoria de Newton havia se livrado da ideia de repouso absoluto. Assim, se a luz supostamente viajava a uma velocidade fixa, era preciso dizer em relação a que essa velocidade fixa devia ser medida (HAWKING, 2015, p. 32).

Vários foram os experimentos realizados na busca do meio hipotético de propagação da luz. Entre eles, destaca-se o realizado por Albert Michelson (1852-1931) e Edward Morley (1838-1923) em 1887 com um instrumento chamado de interferômetro, desenvolvido especialmente por Michelson para este fim. Acreditava-se que o *éter* estava presente em todo o espaço, assim, movendo-se em relação a ele, diferentes observadores realizariam medições distintas da velocidade da luz.

Portanto, a Terra em sua órbita em torno do Sol, se moveria pelo *éter*. A velocidade da luz medida na Terra quando esta estivesse na direção do movimento dela pelo meio seria maior do que quando a luz se propagasse de forma perpendicular ao movimento. A ideia é análoga à de alguém que se move na direção da correnteza de um rio comparado a alguém que se move perpendicular a ela para atravessá-lo.

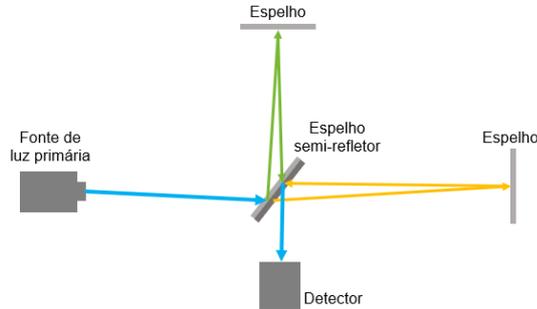
Ora, a Terra, em virtude de seu movimento de translação, é como um vagão de trem movendo-se a velocidade de trinta quilômetros por segundo. Portanto, se o princípio da relatividade não valer, é de se esperar que a direção instantânea do movimento da Terra desempenhe um papel nas leis naturais, e portanto que o comportamento de um sistema físico dependa de sua orientação espacial com respeito à Terra (EINSTEIN, 2015, p. 28).

Partindo dessa ideia, Michelson e Morley realizaram seu experimento. No interferômetro, um feixe de luz é dividido em dois ao passar por um espelho semi-refletor. Os dois feixes divididos seguem por caminhos diferentes e perpendiculares entre si, um paralelo ao movimento de translação da Terra.

Os dois feixes se cruzam e são recombinados, formando um padrão de interferência. Através do padrão de interferência, seria possível detectar se as direções diferentes de propagação dos raios de luz influenciavam em suas velocidades, ocorrendo uma discrepância

nos tempos de chegada dos feixes. A Figura 5 ilustra de forma simplificada o esquema do interferômetro.

Figura 5: Esquema simplificado do interferômetro de Michelson-Morley.



Fonte: A pesquisa (2020).

O resultado obtido pelo experimento foi nulo, ou seja, não foi detectada a presença do éter. Pensando ser algo relacionado à velocidade orbital da Terra, Michelson e Morley realizaram o experimento em diferentes estações do ano, obtendo o mesmo resultado. O resultado do experimento trouxe um grande questionamento sobre onde estaria o equívoco, se na Mecânica consolidada de Newton ou na teoria Eletromagnética. Uma possível solução para o resultado do experimento foi proposta por Lorentz.

#### 4.5 AS TRANSFORMAÇÕES DE LORENTZ

O físico holandês Hendrik A. Lorentz (1853-1928) levantou uma possível solução para o resultado do experimento de Michelson-Morley. Conforme ele, todo o corpo em movimento em relação ao éter, sofreria uma misteriosa contração na direção do seu movimento. Essa contração, por sua vez, teria alterado a distância entre os espelhos do interferômetro e causado o resultado observado.

George Fitzgerald (1851-1901) estava de acordo com a ideia de Lorentz, assim, esse fenômeno é chamado de contração de Lorentz-Fitzgerald:

O primeiro exemplo deste gênero é a bem conhecida experiência interferencial de Michelson, cujo resultado negativo nos levou, a mim e a Fitzgerald, à conclusão de que as dimensões dos corpos rígidos se modificam um pouco em consequência do seu movimento através do éter (LORENTZ, 1904).

Dessa forma, Lorentz, buscando compatibilizar o Eletromagnetismo e a Mecânica, em 1904 desenvolveu um conjunto de equações que mantinham a estrutura ondulatória que descreve o Eletromagnetismo em uma troca de referencial. Assim, as equações de Maxwell

permaneciam inalteradas com a troca de sistema de referência. Essas equações passaram a ser chamadas de Transformações de Lorentz.

Lorentz obteve as transformações a fim de compatibilizar a Mecânica e o Eletromagnetismo supondo a existência do éter como referencial privilegiado. As transformações de Lorentz passam a ser utilizadas no lugar das de Galileu para movimentos em altíssimas velocidades, envolvendo a propagação da luz. Elas envolvem quatro coordenadas: três espaciais e uma temporal.

Consideremos novamente os dois sistemas de referência S e S', representados por dois planos cartesianos, onde o sistema S' move-se com velocidade constante de translação em relação a S somente na direção do eixo cartesiano  $x$ , sendo que os eixos  $x$  e  $x'$  dos referenciais estão alinhados. Conforme as Transformações de Galileu, a posição de um corpo que se move em uma dimensão em relação a um referencial pode ser obtida por:

$$x = x' + u \cdot t . \quad (18)$$

Entretanto, os comprimentos dos objetos em movimento em relação ao *éter* seriam afetados. Dessa forma, Lorentz acrescenta um fator de correção  $\gamma$ , chamado Fator de Lorentz:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} . \quad (19)$$

Onde  $c$  é a velocidade da luz no vácuo e  $u$  é a velocidade do referencial. Portanto:

$$x = \gamma \cdot (x' + u \cdot t') ; \quad (20)$$

$$x' = \gamma \cdot (x - u \cdot t) . \quad (21)$$

Chega-se, portanto, às Transformações de Lorentz para uma dimensão:

$$x' = \gamma \cdot (x - u \cdot t) ; \quad (22)$$

$$y' = y ; \quad (23)$$

$$z' = z ; \quad (24)$$

$$t' = \gamma \cdot \left( t - \frac{u \cdot x}{c^2} \right) . \quad (25)$$

Ou, de forma inversa:

$$x = \gamma \cdot (x' + u \cdot t') ; \quad (26)$$

$$y = y' ; \quad (27)$$

$$z = z' ; \quad (28)$$

$$t = \gamma \cdot \left( t' + \frac{u \cdot x'}{c^2} \right) . \quad (29)$$

Percebe-se que, diferentemente das transformações galileanas, o tempo agora depende da posição e da velocidade do referencial. Nota-se também que, se  $v \ll c$ , as Transformações de Lorentz aproximam-se das de Galileu. Dada a diferença nos tempos dos referenciais, surgiu a ideia de “tempo local”, proposto por Henri Poincaré (1854-1912), que seria o medido por relógios em repouso em relação ao *éter*.

Vale ressaltar que Lorentz era favorável à existência do *éter luminífero*, que preenchia todo o espaço. Ele acreditava que o *éter* penetrava em toda a matéria e interagia eletromagneticamente com ela. Suas equações consistiram em um artifício matemático para compatibilizar o Eletromagnetismo e a Mecânica, baseando-se na ideia do *éter*, que não foi detectado. Além disso, a teoria molecular subjacente à contração espacial desenvolvida por Lorentz era extremamente complicada e *ad hoc*. Pode-se dizer que as Transformações de Lorentz são aquelas que preservam a equação de onda obtida com as Equações de Maxwell.

#### 4.6 A TEORIA DA RELATIVIDADE DE EINSTEIN

*“Tenho profunda fé que o princípio do universo  
será lindo e simples”.*

*(Albert Einstein)*

Em meio a esse contexto de debates científicos e a busca por evidências de um *éter* em repouso absoluto, o físico alemão Albert Einstein (1879-1955) apresentou uma solução aos impasses com ideias revolucionárias em seu artigo “Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento” publicado em 1905<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Para fins de contextualização histórica, após concluir sua graduação, Einstein almejava uma posição acadêmica. Entretanto, após cerca de dois anos sem sucesso, aceita uma vaga em um escritório de patentes, em Berna, Suíça.

A ideia de um éter em repouso absoluto, por onde as ondas eletromagnéticas se propagavam trazia para Einstein uma grande assimetria. Considerava, principalmente, os fenômenos de indução observados por Michael Faraday (1791-1867), onde a corrente gerada dependia somente do movimento relativo entre o ímã e a espira, independentemente de qual dos dois se movia em relação ao outro.

Na construção da teoria da relatividade especial, a seguinte [...] ideia a respeito da indução eletromagnética de Faraday desempenhou um papel orientador. De acordo com Faraday, o movimento relativo entre um ímã e um circuito elétrico fechado induz uma corrente elétrica neste último. Se é o ímã ou o condutor que se move, isso não importa; apenas o movimento relativo tem significado. [...] O fenômeno da indução eletromagnética [...] levou-me a postular o princípio da relatividade (especial) (EINSTEIN *apud* STACHEL, 2005, p. 130).

Como a validade das Equações de Maxwell para qualquer referencial causava a invariância da velocidade da luz, surgia a incompatibilidade com a relatividade de Galileu. Pensando nisso, Einstein trouxe dois postulados da Teoria da Relatividade Especial (TRE):

- As leis da Física são as mesmas em qualquer referencial inercial;
- A velocidade da luz independe do movimento da fonte ou do referencial adotado.

Conforme Einstein *apud* Thorne (1994), “Não existe espaço absoluto. não existe tempo absoluto. A base de Newton para toda a física era falha. E quanto ao éter, este não existe”. (EINSTEIN *apud* THORNE, 1994, p. 72, *tradução nossa*). Esses postulados modificaram a forma de conceber espaço e tempo que eram aceitas pela comunidade científica da época, algo que dificulta ainda hoje a compreensão dela:

Talvez o maior obstáculo na compreensão das teorias da relatividade especial e geral surge da dificuldade em perceber que uma série de suposições básicas anteriormente sustentadas sobre a natureza do espaço e do tempo estão simplesmente erradas (WALD, 1984, p.4, *tradução nossa*).

Dessa forma, essas ideias eram incompatíveis com o cálculo da mudança de referencial das Transformações de Galileu, sendo necessárias modificações. A previsão matemática destas já havia sido elaborada por Lorentz, cabendo a Einstein carregá-las com um significado adequado. Conforme Lorentz (2018), “a teoria de Einstein tem o mais alto grau de mérito estético: todo amante da beleza deve desejar que ela esteja correta” (LORENTZ, 2018, p. 12).

---

Apesar de não estar na posição desejada, este trabalho possibilitou que Einstein desenvolvesse suas ideias e pensamentos em suas horas vagas. Nesse interim, os problemas da Eletrodinâmica chamaram sua atenção. Em uma carta a Mileva Maric (1903-1919) em 1889, que ainda não era sua esposa na época, Einstein relata não concordar com as ideias propostas para a Eletrodinâmica: “Eu estou mais e mais convencido de que a eletrodinâmica dos corpos em movimento, como apresentadas hoje não está correta” (EINSTEIN *apud* THORNE, 1994).

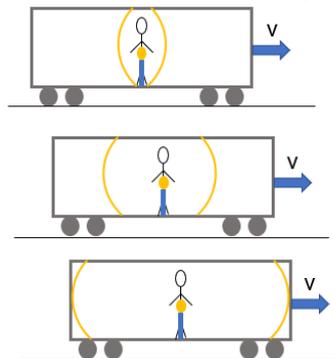
As principais consequências dos postulados da TRE estão na não simultaneidade de dois eventos para todos os referenciais, a mudanças nos intervalos de tempo e comprimentos para diferentes referenciais e a necessidade de reformulação das Leis de Newton para preservação da conservação de energia e do momento angular.

#### 4.6.1 A relatividade da simultaneidade

Na Relatividade de Galileu quando dois eventos são simultâneos para um referencial inercial eles também serão para outro referencial inercial. Por outro lado, na Relatividade Especial de Einstein, onde o tempo deixa de ser uma grandeza absoluta, eventos simultâneos em um referencial, podem não ser para outro. Logo, a noção de simultaneidade é relativa.

Para ilustrar pode-se utilizar a seguinte situação. Um trem move-se com velocidade constante, em um dos vagões há um observador que emite dois pulsos luminosos bem no centro do vagão, um para a direita e outro para a esquerda. No referencial deste observador, os dois pulsos chegam simultaneamente às duas paredes do vagão (Figura 6).

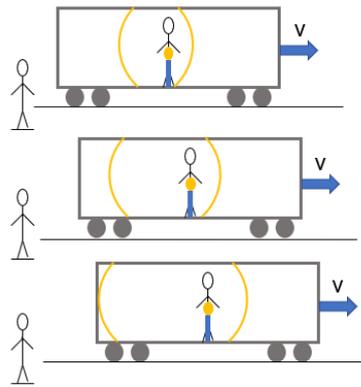
Figura 6: Observador dentro do vagão de trem.



Fonte: A pesquisa (2020).

Agora, esse mesmo evento observado por um observador fora do trem, em repouso em relação ao solo, não é simultâneo. Para um observador no solo, a parede traseira do vagão aproxima-se do pulso de luz, logo ele chegará primeiro nela, enquanto a parede dianteira do trem afasta-se do pulso de luz (Figura 7). Isso ocorre, pois a velocidade da luz deve ser a mesma medida pelos dois observadores.

Figura 7: Observador fora do vagão do trem.



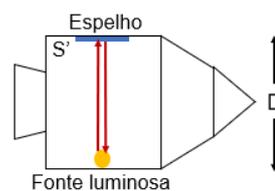
Fonte: A pesquisa (2020).

#### 4.6.2 Dilatação temporal

Outra consequência importante decorrente da velocidade da luz ser a mesma em referenciais inerciais, é que o intervalo de tempo entre dois eventos deixa de ser absoluto. Diferentemente das Transformações de Galileu, onde o tempo transcorria da mesma forma para todos os referenciais, agora as medidas de tempo irão depender do referencial em que são realizadas.

Para ilustrar esse fenômeno, considere um foguete que se desloca com velocidade constante  $\vec{u}$  em relação à Terra, sendo ela o referencial S e o foguete S'. Dentro do foguete a uma fonte luminosa na parte inferior (chão) e um espelho na parte superior (teto), sendo a distância entre eles D. Um sinal de luz é emitido pela fonte, sendo este o primeiro evento, e refletido pelo espelho, sendo  $\Delta t'$  o tempo para o sinal se deslocar até o espelho e retornar para a fonte, sendo este o segundo evento.

Figura 8: Pulso luminoso no referencial S'.

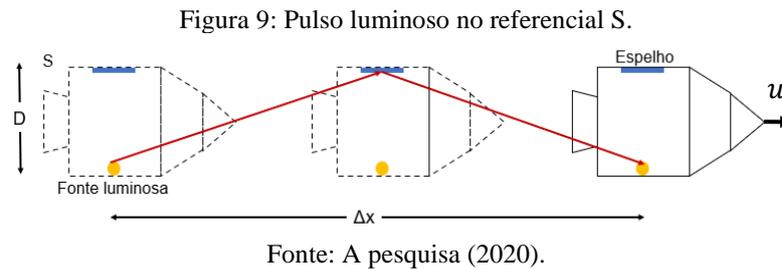


Fonte: A pesquisa (2020).

A Figura 8 ilustra a situação. Sendo a velocidade da luz  $c$ , o intervalo de tempo  $\Delta t'$  pode ser encontrado dividindo-se a distância percorrida pela luz por sua velocidade. A distância entre a fonte e o espelho é D, portanto a distância percorrida será 2D.

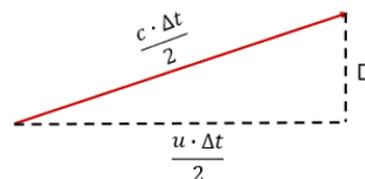
$$\Delta t' = \frac{2D}{c} . \quad (30)$$

Agora se for considerado o referencial S, na Terra, para o qual o foguete se desloca com uma velocidade  $\vec{u}$ , será necessário um intervalo de tempo maior para que o pulso de luz chegue ao espelho e retorne. Isso ocorre pois, para o referencial S, a distância percorrida pela luz foi maior nesse processo, conforme ilustra a Figura 9.



Até a luz chegar no espelho, foi percorrida metade da distância tanto pela luz quanto pelo foguete. Portanto, utilizando-se o teorema de Pitágoras para o triângulo retângulo formado na primeira metade do trajeto:

Figura 10: Triângulo retângulo formado na primeira metade do trajeto.



Fonte: A pesquisa (2020).

$$\left(\frac{c \cdot \Delta t}{2}\right)^2 = \left(\frac{u \cdot \Delta t}{2}\right)^2 + D^2 . \quad (31)$$

Considerando que, a partir da equação (30):

$$D = \frac{c \cdot \Delta t'}{2} . \quad (32)$$

Pode-se obter uma relação entre os intervalos de tempo dos dois referenciais:

$$\left(\frac{c \cdot \Delta t}{2}\right)^2 = \left(\frac{u \cdot \Delta t}{2}\right)^2 + \left(\frac{c \cdot \Delta t'}{2}\right)^2 . \quad (33)$$

A partir da qual chega-se em:

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} . \quad (34)$$

Além disso, relacionando-se com a equação (19):

$$\Delta t = \gamma \cdot \Delta t' . \quad (35)$$

Como  $\gamma > 1$ , percebe-se que o intervalo de tempo entre dois eventos  $\Delta t'$  para o referencial  $S'$  dentro do foguete é menor do que o intervalo de tempo  $\Delta t$  para o referencial  $S$ , na Terra. O intervalo de tempo medido por quem está dentro do foguete ( $\Delta t'$ ) é chamado de *tempo próprio*, pois é o intervalo de tempo medido no referencial de repouso do relógio que faz a medida. Na situação descrita, a luz subindo e descendo no referencial  $S'$ , sendo um fenômeno periódico, faz o papel desse relógio em repouso no referencial  $S'$ . Já o intervalo de tempo para quem está na Terra ( $\Delta t$ ) é maior, pois nesse referencial o relógio, que está em repouso para o referencial  $S'$ , move-se.

Este fenômeno é chamado de *dilatação temporal*. Portanto, percebe-se que o intervalo de tempo transcorrido entre dois eventos depende do estado de movimento do observador que mede esse intervalo. A dilatação temporal não é percebida em situações cotidianas pois, para  $v \ll c$ ,  $\gamma \approx 1$ , sendo as diferenças entre os intervalos de tempo de eventos em diferentes referenciais próximas de zero.

### 4.6.3 Contração espacial

Outra importante consequência decorrente dos postulados da Teoria da Relatividade Especial é que os comprimentos e distâncias medidos em um referencial inercial não serão os mesmos quando medidos a partir de outro referencial em movimento uniforme em relação ao primeiro, e como consequência o comprimento dos objetos será contraído na direção do seu movimento. Não haverá nenhuma contração perpendicular ao movimento do objeto.

Por exemplo, um trem que se move em linha reta em direção a um túnel, se o trem ou o túnel sofrem contrações perpendiculares ao movimento do trem, para algum referencial o trem pode não conseguir passar pelo túnel. No entanto, os resultados do evento devem ser os mesmos para os dois referenciais. Portanto, o trem ou o túnel, dependendo do referencial adotado, somente sofrerão contrações na mesma direção do movimento.

A contração espacial na TRE, diferentemente do que havia sido suposto por Lorentz, não consiste em uma mudança na estrutura da matéria devido aos efeitos eletromagnéticos, mas sim um efeito que ocorre sobre medições espaciais decorrente da constância da velocidade da luz. Segundo Thorne: “A contração é causada pela natureza peculiar do espaço e do tempo, e não por qualquer força física que atua na matéria em movimento” (THORNE, 1994, p. 76, *tradução nossa*).

Seja considerado um vagão de trem (referencial S') de comprimento L' (medido no referencial do vagão) que possui um espelho em uma das laterais. Na lateral oposta, uma fonte emite um sinal luminoso que atinge o espelho. Para um observador dentro do vagão, o intervalo de tempo entre a emissão do sinal e seu retorno à fonte se dá por:

$$\Delta t' = 2 \frac{L'}{c} . \quad (36)$$

Sendo L' o comprimento do vagão, medido pelo observador que se encontra dentro dele, e c a velocidade da luz no vácuo. Este vagão de trem se desloca com velocidade constante  $\vec{u}$  em relação à plataforma da estação (referencial S). Considerando-se um observador na plataforma que observa os mesmos eventos de emissão, reflexão e recepção dos pulsos de luz, para ele o intervalo total de tempo será a soma do intervalo de tempo que o pulso de luz leva para atingir o espelho,  $\Delta t_1$ , com o intervalo de tempo para retornar do espelho à fonte,  $\Delta t_2$ .

Considerando que, no referencial S o vagão se move com velocidade u, no intervalo  $\Delta t_1$  o pulso deve percorrer o comprimento do vagão L (medido por um observado em S) somado à distância que o vagão percorreu nesse intervalo de tempo ( $u \cdot \Delta t_1$ ). Portanto:

$$\Delta t_1 = \frac{L+u \cdot \Delta t_1}{c} \Rightarrow \Delta t_1 = \frac{L}{(c-u)} . \quad (37)$$

Já no intervalo de tempo  $\Delta t_2'$ , para o referencial S, o pulso deve percorrer o comprimento do vagão L subtraindo-se a distância que o vagão percorreu nesse intervalo de tempo ( $u \cdot \Delta t_2$ ). Portanto:

$$\Delta t_2 = \frac{L - u \cdot \Delta t_2}{c} \Rightarrow \Delta t_2 = \frac{L}{(c+u)} . \quad (38)$$

Assim, para esse referencial, a distância total percorrida pelo pulso luminoso se dá por:

$$c \cdot (\Delta t_1 + \Delta t_2) = \frac{L}{(c-u)} + \frac{L}{(c+u)} \Rightarrow L = \frac{c(1-\frac{u^2}{c^2})}{2} (\Delta t_1 + \Delta t_2) . \quad (39)$$

Considerando que  $\Delta t_1 + \Delta t_2 = \Delta t$ , e relacionando com a equação (19):

$$L = \frac{c}{2\gamma^2} \Delta t . \quad (40)$$

Relacionando-se com a dilatação temporal, equação (35):

$$L = \frac{c \cdot \Delta t'}{2} \frac{1}{\gamma} . \quad (41)$$

Ao relacionar-se com o intervalo de tempo medido pelo referencial do vagão, equação (36):

$$L = \frac{L'}{\gamma} . \quad (42)$$

Onde L é o comprimento do trem medido por um observador na plataforma (referencial S), e L' é o comprimento medido por um observador no trem (referencial S'), o chamado *comprimento próprio*. O comprimento próprio é medido por um observador em relação ao qual o objeto medido está em repouso.

Percebe-se, portanto, que o comprimento próprio L' medido no referencial S' será maior que o comprimento L medido no referencial S. Dessa forma, os comprimentos de objetos medidos em referenciais em relação aos quais eles estejam em movimento será menor do que para um referencial em que estão em repouso. Esse é o fenômeno da *contração espacial*.

#### 4.6.4 Adição de velocidades

Visto que, como apresentado anteriormente, intervalos de tempo e comprimentos passam a ser relativos a um referencial com a TRE, foi necessário o abandono da Relatividade de Galileu. Dessa forma, a maneira como velocidades são somadas também foi alterada, buscando respeitar os dois postulados.

Retomando a soma de velocidades de Galileu, considere um rapaz dentro de um trem em movimento com velocidade  $\vec{u}$ . Esse rapaz, sentado dentro do trem, joga uma bolinha para frente com uma velocidade  $\vec{v}'$  em relação ao trem. Deste modo, para sabermos a velocidade  $\vec{v}$  da bolinha com relação a um referencial fora do trem, na estação, por exemplo, utilizamos:

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{u} \quad . \quad (43)$$

Agora outra situação semelhante. Um automóvel viaja com uma velocidade  $\vec{u}$  em relação à rodovia. Durante o trajeto, o motorista acende os faróis do carro. No referencial do carro, o motorista mede a velocidade da luz dos faróis como  $c$ . De acordo com o raciocínio anterior, a velocidade da luz dos faróis para um observador na rodovia seria:

$$\vec{v} = \vec{c} + \vec{u} \quad . \quad (44)$$

Entretanto, a velocidade da luz deve ser a mesma para qualquer referencial inercial e em qualquer direção. Dessa forma, para velocidades relativísticas, não é possível utilizar a adição de velocidades de Galileu. Portanto, para o cálculo da situação anterior utiliza-se:

$$v = \frac{v' + u}{1 + \frac{v' \cdot u}{c^2}} \quad . \quad (45)$$

Onde  $\vec{v}'$  seria a velocidade da luz dos faróis medida pelo motorista,  $\vec{v}$  a velocidade da luz dos faróis medida por alguém na rodovia e  $\vec{u}$  a velocidade do automóvel. Pela simetria entre os referenciais, também é correto:

$$v' = \frac{v-u}{1-\frac{v \cdot u}{c^2}} . \quad (46)$$

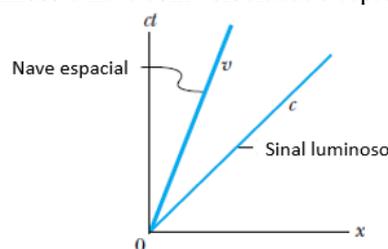
Dessa forma, para velocidades relativísticas, não se pode simplesmente somar ou subtrair velocidades.

#### 4.6.5 Diagramas de espaço-tempo

Um recurso muito utilizado na análise de situações relativísticas é o diagrama de espaço-tempo, onde os eventos são plotados como pontos. Nesse tipo de diagrama, uma vez que no tipo de movimento relativo retilíneo que consideramos aqui, as coordenadas transversais ( $y$  e  $z$ ) não desempenham um papel importante, frequentemente representa-se esse diagrama em duas dimensões, sendo registrado algum evento que ocorreu em um ponto  $x$  em um instante  $t$ . Cada diagrama refere-se a um referencial específico a partir do qual os eventos são descritos (BALDIOTTI, 2014).

Para um observador no referencial adotado, algum objeto que esteja em repouso em relação a ele será representado por uma linha vertical, pois permanece na mesma posição  $x$  para cada instante  $t$  que passa. Utilizando-se uma escala de tempo de  $ct$  ao invés de  $t$ , um objeto que se move na velocidade da luz terá uma inclinação de  $\frac{\pi}{4}$ , ou  $-\frac{\pi}{4}$  se na direção oposta, assim objetos com velocidades inferiores à da luz serão representados com ângulos maiores que  $\frac{\pi}{4}$  em relação ao eixo  $x$ .

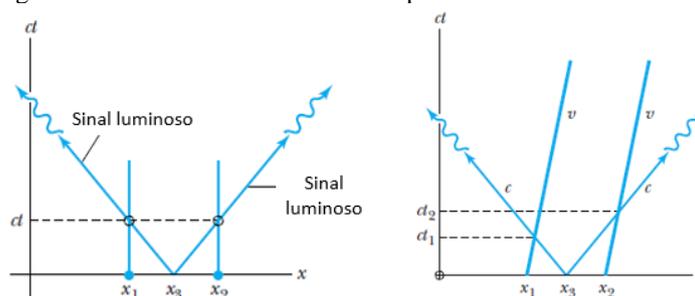
Figura 11: Sinal luminoso e nave com velocidade  $v$  representados no diagrama.



Fonte: Adaptado de Thornton e Rex (2013).

A sucessão de pontos descrevendo a história de um evento é chamada de *linha de mundo*<sup>3</sup>. Pode-se estabelecer uma relação causal entre os pontos do diagrama enviando-se um sinal luminoso no intervalo de tempo disponível para tal e respeitando-se a velocidade da luz no vácuo como velocidade limite. Por exemplo, dois objetos, 1 e 2, encontram-se em repouso para o referencial adotado nas posições  $x_1$  e  $x_2$ , respectivamente. Um sinal luminoso é emitido de uma posição  $x_3$ , equidistante dos dois objetos. Nesse referencial o sinal chegará ao mesmo tempo até os dois objetos, em um intervalo de tempo  $ct$ .

Figura 12: Emissão do sinal luminoso para dois referenciais diferentes.



Fonte: Adaptado de Thornton e Rex (2013).

Agora, para um outro referencial em relação ao qual os objetos movem-se com velocidades iguais  $v$ , este pulso chegará primeiramente o objeto 1, em um intervalo de tempo  $ct_1$ , somente após chegará ao objeto 2, em um intervalo de tempo  $ct_2$ . Por meio dos diagramas é possível observar a relatividade da simultaneidade.

De forma semelhante, o mesmo tipo de diagrama pode ser construído para as Transformações de Galileu na Mecânica Clássica. Entretanto, nessa situação deve-se manter paralelo para todos os observadores o eixo temporal, pois todos os observadores concordarão a respeito dos intervalos de tempo dos eventos e sobre a simultaneidade deles.

#### 4.6.6 Algumas considerações

Como mencionado anteriormente, a aceitação da Teoria da Relatividade Especial acarreta a necessidade de reformulação não só das Transformações de Galileu, como das Leis

<sup>3</sup> Essa denominação foi introduzida pelo matemático Hermann Minkowski em 1908, que havia sido professor de Einstein na ETH de Zurich onde este fez seu doutoramento. Ele foi o responsável pela reinterpretação geométrica da Relatividade subjacente a esses diagramas. Inicialmente rejeitada por Einstein como uma "complicação desnecessária", esse ponto de vista geométrico tornou-se crucial na generalização desta realizada por Einstein 1915, e domina as discussões modernas sobre o tema.

de Newton, para que sejam respeitados os princípios de conservação do momento e da energia. Visto que, no presente estudo, focou-se nos fenômenos da dilatação temporal e da contração espacial para serem desenvolvidos com os estudantes, não serão discutidos aqui os impactos da TRE relacionados ao momento e energia.

## 5 DELINEAMENTO METODOLÓGICO

Neste capítulo é descrita a metodologia utilizada na pesquisa. Para fins de compreensão, o capítulo está dividido em quatro partes, a primeira descrevendo o teste piloto que foi desenvolvido previamente, seguindo para a elaboração dos materiais e instrumentos para a pesquisa, a seguir a metodologia de análise quantitativa e, por fim, a metodologia utilizada para a análise qualitativa.

Os procedimentos do teste piloto bem como sua influência para o delineamento metodológico da pesquisa são discutidos. Os materiais desenvolvidos para a pesquisa são descritos individualmente, sendo os questionários, utilizados como pré-testes e pós-testes, uma apresentação de slides, quatro simulações computacionais com roteiros de utilização e duas maquetes.

A análise quantitativa se deu com base nos resultados dos testes, portanto, serão descritos todos os testes estatísticos realizados comparando os pré-testes e pós-testes, bem como o grupo experimental com o grupo de controle. Por fim, a análise qualitativa foi desenvolvida através dos resultados das entrevistas com uma amostra de alunos selecionados a partir de seus testes. As entrevistas obedeceram ao protocolo *Report Aloud*, e foi realizada uma análise gestual descritiva através da gravação em vídeo das mesmas.

### 5.1 TESTE PILOTO

Previamente ao início da experimentação das atividades com os estudantes, foi realizado um teste piloto com dois estudantes voluntários. Visto que as atividades foram realizadas em 2019, previamente à pandemia de Covid-19, foram desenvolvidas presencialmente. O objetivo do teste piloto foi verificar a qualidade das simulações “Bolinha no Trem” e “Carros e Avião”, bem como a adaptação do teste de Monaghan e Clement (1999). Dessa forma, buscou-se reproduzir o que foi feito por Monaghan e Clement (1999), porém com adaptações para a situação.

Os resultados obtidos foram comparados com os obtidos por Monaghan e Clement (1999), sendo bastante similares. Enquanto um estudante apresentou progresso em suas respostas no pós-teste o outro as manteve. Foi possível identificar a utilização de simulações

mentais pelos estudantes ao resolver as questões, algumas delas oriundas das simulações computacionais utilizadas.

A seguir a experimentação do teste é descrita, bem como é feita a análise de cada estudante. A análise realizada é somente qualitativa, visto que se trata de uma amostra pequena. Por meio do teste piloto, algumas correções e modificações foram feitas nas simulações, roteiros e questionários, para que então fosse realizada a experimentação definitiva da pesquisa. Por fim, essas modificações são discutidas.

### 5.1.1 Experimentação Piloto

Os dois estudantes que participaram do teste piloto cursavam o segundo ano do Ensino Médio em duas escolas diferentes, ambas no mesmo município. As atividades foram realizadas com cada um individualmente. Primeiramente cada aluno respondeu ao pré-teste e o entregou. Em seguida a pesquisadora realizou uma breve explicação sobre movimento e velocidade relativa, e foram resolvidos alguns exemplos e exercícios.

Após as explicações, cada estudante interagiu diretamente com as simulações por meio do roteiro, diferente do trabalho de Monaghan e Clement (1999), em que o entrevistador a manuseou e a apresentou aos alunos. Nos roteiros, os estudantes descreveram suas previsões, suas observações e conclusões de cada situação proposta. Durante a atividade a pesquisadora permaneceu junto de cada aluno para eventuais dúvidas de utilização dos simuladores.

Após utilizarem as simulações, os estudantes responderam e entregaram o pós-teste. Cerca de dois dias após as atividades, foram realizadas as entrevistas com cada aluno individualmente. As duas entrevistas foram gravadas em vídeo e, como mencionado anteriormente, foram realizadas pelo protocolo *Report Aloud*, onde os estudantes explicaram o que haviam pensado e imaginado no momento que realizaram cada tarefa.

Como no estudo de Monaghan e Clement (1999), foi desenvolvida a Análise Gestual Descritiva de cada entrevista. Ambas as metodologias de entrevista e de análise das entrevistas serão descritas posteriormente.

### 5.1.2 Resultados

A estudante A1 apresentou um desempenho razoável no pré-teste, entretanto apresentava insegurança e confusão em relação a alguns conceitos. Ao ser questionada sobre sua resposta no pós-teste para a questão 5, “Na figura, você está no carro cinza. Seu velocímetro mede 40 km/h. Qual é a velocidade de seu carro em relação a um helicóptero voando muito baixo indo na mesma direção que seu carro, com uma velocidade relativa ao solo de 200 km/h?”, a estudante afirma ter lembrado da simulação “Carros e Avião”. No pré-teste a aluna havia respondido 160 km/h, enquanto no pós-teste respondeu – 160 km/h, sendo a resposta mais correta para a questão. Segue o trecho da entrevista.

[08:30] A1: É que aqui (*primeiro questionário*) eu não tinha considerado o referencial, daí eu fiz 200 menos 40, não 40 menos 200, aí deu 160.

E: Ok. E o que te ajudou a perceber isso nessa segunda vez, que tu tinha que considerar que era o que o helicóptero estava vendo?

A1: O simulado que tu fez ali, eu olhei e aí me ajudou a chegar nessa conclusão. [...] Eu lembrei daquela que tinha os carrinho andando pra trás [#SIM, 09:04].

Figura 13: Gesto #SIM realizado pela estudante A1.



Fonte: A pesquisa (2020).

No trecho acima percebe-se que a estudante foi capaz de reproduzir mentalmente a simulação computacional com a qual interagiu para resolver um problema, mesmo não tendo acesso a ela durante a resolução desse problema. Ou seja, após ter contato com uma mediação *hipercultural*, desenvolveu *drivers* e, então, uma simulação off-line.

O gesto #SIM (Figura 13) realizado pela estudante é uma evidência que sugere essa simulação mental. Ao falar que lembrou do simulador para responder à questão, a aluna indica a simulação dos carros e o avião. Assim, levanta sua mão esquerda acima, indicando o avião, e sua mão direita abaixo indicando o carro, então afasta as duas indicando o movimento deles. A estudante repete esse gesto cinco vezes durante a entrevista em momentos diferentes, sendo mais uma evidência que sugere o desenvolvimento dessa simulação mental.

Em outro momento da entrevista, quando questionada sobre sua resposta no pré-teste para a questão 7, “O caminhão branco está viajando em sua direção. Se o velocímetro do

caminhão indica 40 km/h, qual é a velocidade do caminhão em relação ao helicóptero?”, para a qual a estudante respondeu – 160 km/h, ela afirma que não lembrava dos conceitos no pré-teste, o que mostra o trecho a seguir.

[13:16] A1: Nessa aqui eu realmente botei “não muito confiante”, porque eu, eu tava bem perdida na hora, sabe, eu fiz assim daí eu... Porque eu não lembrava mais muito dessa, eu não lembrava direito dessas questões de velocidade e tudo mais, sabe, não lembrava muito.

Por outro lado, no pós-teste, para essa mesma questão, a estudante respondeu corretamente, 240 km/h. Ela afirma ter se recordado dos conceitos que foram abordados e da simulação que foi utilizada, conforme os trechos a seguir.

[10:48] A1: [...] é, tem aquela coisa [#OP, 10:49] de que tão andando em direções opostas, e, é, ai eu, eu entendo na minha cabeça, entende. [...] É, é que, é que assim, eu lembrei um pouco do que tu tinha me explicado, daquelas questões, lembra que tu tinha repassado bem o que é que é cada coisa, sabe, eu lembrei um pouco daquilo. Daquela coisa do, tipo, tem o, que não é uma soma, acaba virando uma soma, mas não é uma soma, na questão em si, é uma subtração, só que um dos números vai ficar negativo. Eu lembrei disso. E eu lembrei, eu pensei naquela coisa deles [#OP, 12:05] tarem em direções opostas, só que eu não sei te explicar exatamente...

[13:54] E: E aqui (segundo questionário), o que fez tu lembrar aqui no segundo, que tu conseguiu lembrar das coisas pra fazer?

A1: O simulador ajudou bastante. [...] Ele dá, ele ajuda pra tu ver a situação acontecendo entendeu. Porque aqui são imagens, então são imagens paradas, tu tem que imaginar elas na tua cabeça e nem sempre o que tu imagina na tua cabeça é o que tá, é o que vai acontecer de verdade entendeu, o que é o certo. Eu posso tá imaginando uma coisa e te falar e tu dizer que é certa, mas o que eu tô imaginando não é o certo, entende. Mas o simulador, ele ajuda pra isso, pra tu imaginar a situação acontecendo.

Figura 14: Gesto #OP realizado pela estudante A1.



Fonte: A pesquisa (2020).

Nesses trechos, e nos anteriores, é possível constatar indícios de que a interação com a simulação computacional auxiliou a aluna a compreender os movimentos dos objetos que estão em sentidos opostos. A própria estudante afirma que o simulador auxilia para imaginar a situação acontecendo, o que indica que essa mediação possivelmente aumentou sua capacidade de processar informações. Visto que as simulações constituem um processamento externo que auxiliou no desenvolvimento de *drivers* para que a estudante pudesse processar as informações do questionário.

Além disso, os gestos feitos sugerem que ela foi capaz de reproduzir mentalmente a simulação com a qual havia interagido para conseguir responder corretamente à questão. No gesto #OP (Figura 14), a estudante põe as duas mãos a sua frente, com as palmas para baixo e

as afasta, indicando que os móveis estavam andando em direções opostas. Esse gesto é bastante similar ao realizado anteriormente pela estudante ao lembrar da simulação, isso indica que ela provavelmente conseguiu transpor a situação da simulação para a questão que estava resolvendo.

O estudante A2 apresentou um bom desempenho no pré-teste, demonstrando um pouco de dificuldade com a troca de referencial, o que se demonstra nas situações em que ele não consegue facilmente resolver problemas envolvendo vários objetos. Ele não mudou nenhuma de suas respostas no pós-teste, ou seja, não apresentou um crescimento ou decréscimo após a interação com as simulações computacionais. Entretanto, teve um aumento de confiança em algumas questões após utilizar as simulações.

Quando foi perguntado o motivo de seu aumento de confiança na questão 1, “Observe a imagem. Você e seu colega estão no ônibus indo para a escola, que está parado em um semáforo. Suponha que você vá jogar uma bola de papel e acertar seu colega no banco à sua frente. Quão forte você tem que jogar a bola de papel de um banco no ônibus para outro banco à sua frente quando o ônibus está andando?”, o estudante afirmou ser a utilização da simulação “bolinha no trem”. Segue o referido trecho da entrevista.

[01:08] E: Tu tinha colocado a mesma resposta no questionário anterior, o que mudou foi nessa parte aqui. Que primeiro tu colocou que tu tava só bastante confiante e daí depois tu colocou que tu tinha certeza dessa resposta. O que mudou na tua confiança aqui na resposta de um pra o outro?

A2: Foi olhando o simulador. Porque daí, tipo, com o simulador eu consegui imaginar a situação, mas eu não consegui ver ela, tipo, realmente. Aí com o simulador eu consegui entender melhor visualmente o que tava acontecendo sabe. [...]

E: E de qual parte do simulador tu lembrou nessa questão?

A2: Da parte do corpo que, o guri tá dentro do trem [#TREM, 02:08] e aí o ônibus anda e a cena dele parado, atirando a bolinha também, sabe. O primeiro exemplo foi isso que eu tentei buscar, é, foi isso que eu tentei buscar pra, pra responder.

Figura 15: Gesto #TREM realizado pelo estudante A2.



Fonte: A pesquisa (2020).

No trecho há evidências de que a interação com a simulação computacional deixou o aluno mais confiante de suas respostas, que estavam corretas, ou seja, o auxiliou no seu processamento de informações. O gesto #TREM (Figura 15), onde o estudante põe as duas

mãos abertas à sua frente, indicando o trem, depois deixa somente a mão direita indicando o menino dentro do trem. Então movimenta a mão direita do lado direito ao esquerdo, indicando o movimento que o trem fazia, sugere que ele foi capaz de reproduzir uma simulação mental a partir da simulação computacional, e que pôde utilizá-la para resolver um problema.

Entretanto, na segunda parte do questionário o aluno apresentou algumas dificuldades, principalmente com a troca de referencial. Ao responder à questão 7, o estudante apenas trocou o sinal da sua resposta para a questão 5, pois considerou que como os objetos estavam em sentidos opostos essa seria a única mudança. Segue trecho da entrevista onde o estudante descreve essa situação.

[05:47] E: Aqui (*pós-teste*), como é que tu chegou neste valor?

A2: Eu pensei que eles tão se confrontando e aí a situação é inversa, tipo, eles tão com a mesma velocidade. Que nem, nos exercícios eles tão a 40 km/h, se não me engano. [...] E aí, como eles tão na mesma velocidade, mas tão em direções opostas [#CAM2, 06:01], eu pensei que fosse a mesma situação só que com o valor, o valor negativo ou positivo, por conta dessa diferença de, de direção assim. [...] E aí de novo eu tentei não pensar como, tipo, uma situação real, eu só tentei imaginar uma linha numérica e com velocidades diferentes e tentar encaixar elas numa matemática daí.

Figura 16: Gesto #CAM2 realizado pelo estudante A2.



Fonte: A pesquisa (2020).

Percebe-se que, mesmo interagindo com a simulação, o estudante teve dificuldades em imaginar a situação e por isso acabou fazendo uma generalização incorreta, “muda o sentido dos objetos, muda o sinal da velocidade relativa”. Nesse trecho se mostra a dificuldade do aluno em lidar com a troca de referencial. No gesto #CAM2 (Figura 16), realizado pelo estudante, ele põe as duas mãos à sua frente, as afasta e então aproxima novamente, indicando que o carro e o caminhão estão um de frente para o outro. Dessa forma, apesar de o estudante afirmar que tentou não imaginar a situação, os seus gestos indicam que o estudante chegou a imaginá-la, mas não conseguiu compreendê-la completamente, como ele mesmo relata.

### 5.1.3 Considerações e ajustes metodológicos

O teste piloto foi de grande relevância para a pesquisa pois, através dele, algumas mudanças nos primeiros instrumentos elaborados – simulações, roteiros e questionários sobre

as Transformações de Galileu – foram realizadas. Além disso, por meio dos resultados obtidos, alguns cuidados foram tomados na elaboração dos instrumentos consecutivos – simulações, roteiros e questionários sobre as Transformações de Lorentz e apresentação de slides. As principais mudanças realizadas foram nas duas simulações, em questão de visualização.

Os dois estudantes apresentaram um pouco de dificuldade ao lidar com a troca de referencial na simulação “Carros e Avião”. A estudante A1 afirmou imaginar que os carros não se moveriam no referencial do avião, mas após observar a simulação conseguiu compreender a situação. Segue trecho da entrevista.

[25:35] E: A segunda situação daí perguntava pro referencial do avião né, como ia ficar o movimento. O que foi tua previsão ali, que tu achou que ia acontecer?

A1: Foi esse aí, justamente esse que eu dei uma *ratiada* legal, assim, porque eu botei que, do meu ponto de vista, os carros não se moveriam.

E: Tá, mas o que tu imaginou pra colocar essa situação primeiro, o que tu pensou ali na hora que tu foi responder?

A1: É que eu pensei assim, eu, eu não sei que que aconteceu, mas eu ta, né, ali que eu imaginei bobagem. Mas eu tava pensando ali, ó, era quanto? (*lê a questão*) Tá. Eu pensei assim ó, ele tá ali, tá andando, ele tá um, tá rápido, mas ele não tá, ah sei lá, eu pensei que ele não tava assim, sei lá, eu não sei te explicar. Eu achei, eu simplesmente pensei, não mas ia ser a mesma coisa que eles tivessem sabe, ó, parados.

O estudante A2 afirmou que, assim como para as últimas questões dos questionários, tentou não imaginar a situação e sim pensar em números, pois tinha dificuldade de visualização. Mas ele afirma que, apesar da dificuldade com a questão, depois conseguiu imaginá-la. Segue trecho da entrevista com o estudante.

[10:13] E: A primeira situação dessa simulação perguntava se a velocidade do avião ali diminuísse né, o que ia mudar ali na situação. Como é que foi primeiro pra tu, o que tu pensou pra imaginar essa situação?

A2: Nessa situação eu fiz que nem a do helicóptero daí. Aí eu tentei meio que dividir por números cada uma, cada um era um número e aí eu subtraía eles pra formar uma matemática e ver se a velocidade do avião ficaria menor que a velocidade do carro verde pra ver se o carro verde acabaria ultrapassando ele né, que a velocidade, a velocidade do avião diminuiu. E aí só, só pensando na matemática eu vi que a velocidade continuaria maior que a do carro verde, [#AVI2, 10:53] então ele poderia continuar ultrapassando o carro verde, só que com mais, com mais tempo né, levaria mais tempo pra isso acontecer.

E: Depois que tu chegou nessa conclusão, dessa parte matemática, daí tu visualizou assim a situação do avião passando?

A2: É. Depois que eu cheguei a essa conclusão da, da parte matemática sim, mas antes disso eu não tava conseguindo muito. Mas aí, eu comecei a montar assim e eu consegui visualizar, no final de tudo, eu consegui visualizar antes né de, de ver em si o, a simulação.

Em outro momento, o estudante A2 relata que possui dificuldades com situações envolvendo muitos objetos. Ele inclusive afirma que considerou mais fácil imaginar a situação a partir do referencial do avião do que a partir de um referencial externo aos carros e avião, pois assim teriam mais objetos se movendo.

[13:06] E: E daí, pra ti então, é mais fácil de visualizar essa situação quando tu vai considerar o movimento só de dois do que quando vai considerar o movimento dos três?

A2: É, é. É porque, quando eu vou considerar o movimento de dois, e esses dois corpos tão numa mesma linha, digamos assim, parece mais simples de visualizar do que um avião passando [#AVI4, 13:23], aí carro, vá, muito...

E: Muita coisa junto.

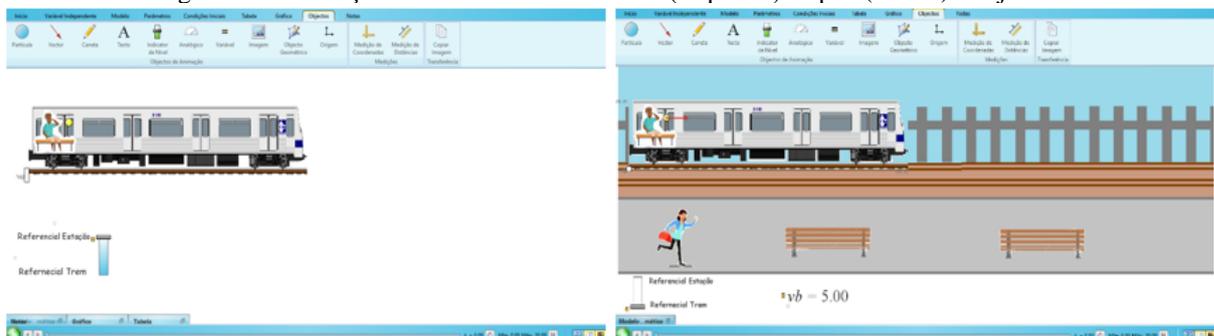
A2: É.

E: Entendi. Ali daí, como era o, na primeira situação, como eram os três se movendo era mais complicado pra ti?

A2: É. É porque parece mais fácil nessa situação dois se encaixar dentro do ponto de referência sabe, tipo, tu ser o visualizador. Na situação um é um pouco mais complicado isso.

Dadas as dificuldades para os estudantes imaginarem as situações das simulações, principalmente na “Carros e Avião”, algumas mudanças foram realizadas antes da experimentação definitiva da pesquisa. Em ambas as simulações foram adicionados fundos na tela, representando o ambiente, para que tornasse a visualização mais acessível. Na simulação “Bolinha no Trem” foi acrescentado um indicador ( $v_b$ ) com a velocidade da bolinha para cada referencial. A Figura 17 mostra a simulação “Bolinha no Trem” antes das modificações e após os ajustes

Figura 17: Simulação “Bolinha no Trem” antes (esquerda) e após (direita) os ajustes.



Fonte: A pesquisa (2020).

Além disso, foi adicionado o vetor da velocidade da bolinha junto a ela, para facilitar a visualização da mudança em sua velocidade para os dois referenciais. Na simulação “Carros e Avião”, além do fundo de tela, foram adicionados personagens para o referencial externo aos carros e o avião, que estariam na calçada, em repouso em relação ao chão. Para contrastar com o fundo, a cor do controlador da velocidade do avião foi alterada de azul para vermelho. A Figura 18 apresenta a simulação “Carros e Avião” antes dos ajustes e após as modificações.

Figura 18: Simulação “Carros e Avião” antes (esquerda) e após (direita) os ajustes.



Fonte: A pesquisa (2020).

## 5.2 CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO DEFINITIVO

### 5.2.1 Contexto da pesquisa

A pesquisa foi realizada na Escola Estadual Técnica São João Batista, na cidade de Montenegro, região metropolitana de Porto Alegre/RS, no terceiro trimestre de 2019 e início de 2020. Visto que as atividades foram realizadas em um período anterior à pandemia de Covid-19, elas foram desenvolvidas presencialmente. O município de Montenegro foi fundado em 1873 e, conforme IBGE (2019)<sup>4</sup>, estima-se a população em 65.264 habitantes e IHD de 0,755. A cidade desenvolveu-se economicamente com a vinda de indústrias para o Polo Petroquímico do Sul, no município vizinho, Triunfo. Outro setor responsável pela economia do município é o comércio.

A Escola São João Batista é uma escola urbana localizada na região central da cidade, sendo frequentada por alunos de todas as partes do município, bem como alguns alunos do interior e municípios vizinhos menores, como Maratá e Brochier. De acordo com o INEP (2015)<sup>5</sup>, no Indicador de Nível Socioeconômico (INSE) a escola está situada no Grupo 4, sendo o Grupo 6 o de maior nível socioeconômico. O indicador é calculado baseando-se no nível de escolaridade dos pais, na renda e na posse de bens familiar. Para o cálculo do INSE utilizam-se

<sup>4</sup> Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 26 de agosto de 2020.

<sup>5</sup> Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br>. Acesso em: 26 de agosto de 2020.

a Avaliação Nacional da Educação Básica (ANEBC), a Avaliação Nacional do Rendimento Escolar (ANRESC, ou Prova Brasil) e o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM).

Durante o período da pesquisa a escola contava com aproximadamente 780 estudantes matriculados, do Ensino Médio e Técnico. A escola possui os cursos Técnico em Química e Eletrotécnica, assim conta com laboratórios específicos para ambos. O contexto escolar e a realidade dos estudantes foram considerados durante o desenvolvimento da pesquisa, sendo essenciais para o planejamento dela.

Figura 19: Fachada da escola.



Fonte: <https://proffadriano.wixsite.com/expotec/contato> (2020).

### 5.2.2 Sujeitos da pesquisa

Além da professora-pesquisadora, participaram da pesquisa 138 estudantes de cinco turmas de terceiro ano do Ensino Médio, com idades entre 16 e 19 anos. A escolha dos estudantes se deu pelo fato de estarem nas turmas das quais a pesquisadora era a professora titular da disciplina de Física, além de ser o ano letivo para o qual o ensino de Física Moderna está programado conforme o plano de ensino da escola (Anexo A). Sendo, portanto, uma amostra de conveniência.

Durante o período da pesquisa houve uma greve dos servidores da rede estadual de ensino. Dessa forma, não foi possível concluir as atividades com uma das turmas. Sendo assim, 82 estudantes concluíram as atividades fornecendo os dados para a pesquisa. Entre esses 82 estudantes, 20 não realizaram as atividades com as simulações computacionais, compondo o grupo de controle para análise qualitativa dos resultados dos testes.

Para a análise quantitativa foram usados os dados dos testes desses 82 estudantes, enquanto para a análise qualitativa através das entrevistas, foram selecionados 14 estudantes conforme seus resultados nos testes. Buscou-se contemplar diferentes níveis de compreensão. Todos os estudantes entrevistados autorizaram, ou tiveram a autorização concedida pelos

responsáveis no caso de menores de idade, conforme o Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (Apêndice E) e o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndices F e G).

### 5.3 MATERIAIS DESENVOLVIDOS

É usual que as temáticas de Física Moderna, entre elas a Teoria da Relatividade, não sejam abordadas nas salas de aula do Ensino Médio. Ao trazer essas temáticas para as escolas de educação básica é necessária uma transição e adaptação do conhecimento científico para o conhecimento a ser ensinado e aprendido. Deste modo, é feita uma Transposição Didática (CHEVALLARD, 1991).

Conforme Chevallard (2013), “os corpos de conhecimentos ensinados são derivados de corpos de conhecimentos *acadêmicos* que lhes são correspondentes” (CHEVALLARD, 2013), ou seja, os conhecimentos ensinados na escola são oriundos do campo científico, tendo sofrido um processo de adaptação para o seu ensino. Assim, essa mesma adaptação precisa ser feita ao se trazer novos tópicos para a sala de aula, como os de Física Moderna.

Para esse processo, a Transposição Didática é um instrumento para analisar essa transformação do saber científico (Saber Sábido) no conhecimento presente em livros didáticos (Saber a Ensinar) e no que está presente nas salas de aula (Saber Ensinado) (CHEVALLARD 1991). Entretanto, vale destacar que este processo não é uma mera simplificação dos saberes, são novos conhecimentos que correspondem a domínios epistemológicos diferentes, a ciência e a sala de aula.

Sabendo-se que o ensino dentro da escola deve acompanhar o desenvolvimento da sociedade, é importante que esse processo de Transposição Didática ocorra com as Temáticas de Física Moderna:

Os novos saberes que surgem no âmbito das pesquisas científicas e que são utilizados pelas indústrias e novas tecnologias são passíveis de estar contidos nos livros didáticos, criando uma aproximação da produção acadêmica com o que é apresentado na escola. [...] A modernização dos saberes escolares é uma necessidade, pois legitima o programa da disciplina, garantindo seu lugar no currículo (BROCKINGTON & PIETROCOLA, 2005, p. 11).

Nesse sentido, as estratégias utilizadas na presente pesquisa para a abordagem da Teoria da Relatividade, bem como os materiais desenvolvidos para este objetivo, levam em conta os preceitos da Teoria da Transposição Didática.

Destaca-se que, para a obtenção de resultados relevantes e fidedignos, é necessário que os materiais de aplicação e coleta de dados sejam elaborados com cuidado. Para a coleta de dados foram desenvolvidos questionários a serem utilizados como pré-testes e pós-testes. Para desenvolvimento das atividades, foram produzidas quatro simulações computacionais com roteiros de utilização, uma apresentação de slides e duas maquetes de demonstração. Como descrito na seção referente ao teste piloto, as simulações receberam alguns ajustes antes da experimentação final.

### 5.3.1 Testes

Para a pesquisa foram desenvolvidos dois questionários, um sobre as Transformações de Galileu (Apêndice A) e outro sobre as Transformações de Lorentz (Apêndice B), para serem usados como pré-testes e pós-testes. O questionário sobre Galileu é uma adaptação do questionário utilizado por Monaghan e Clement (1999) em sua pesquisa. Este questionário é composto por quatro questões sobre as Transformações de Galileu e quatro sobre a confiança da resposta em cada questão. As questões tratam das mudanças no movimento e na velocidade diante de uma troca de referencial. Ele traz duas situações com imagens ilustrando-as, tendo duas questões sobre cada situação.

A primeira, situação no questionário original trazia duas pessoas em uma plataforma de esqui, adaptamos ela para duas pessoas sentadas dentro de um ônibus, uma atrás da outra. Essa questão tratava do movimento relativo e trazia duas questões objetivas. Questiona-se qual deveria ser a força exercida para jogar uma bolinha de papel com o ônibus em movimento, primeiro em alguém sentado à frente, depois em alguém sentado atrás. Essa questão trabalha a ideia de inércia e a diferença entre velocidade e força. Por meio dela, é possível identificar algumas concepções pré-galileanas nos estudantes.

Na segunda situação há uma imagem de um caminhão e dois carros em uma rodovia, o aluno deve imaginar que está no carro cinza, com uma velocidade de 40 km/h em relação ao solo. Aqui a única adaptação foi em relação à unidade de medida das velocidades, que antes estavam em mph e foram transformadas em km/h, e uma ponte indicada na imagem, cuja inscrição foi traduzida para o português. Nesta situação é abordada a velocidade relativa, e pede-se para indicar a velocidade dos objetos conforme diferentes referenciais por meio de duas questões abertas.

Primeiro, pede-se que o estudante imagine um helicóptero sobrevoando a cena, na mesma direção e sentido do carro, a 200 km/h em relação ao solo, e pede-se a velocidade do carro em relação ao helicóptero. Depois, pede-se a velocidade do caminhão em relação ao helicóptero, que se movimenta no sentido oposto a 40 km/h em relação ao solo. Aqui verifica-se a noção de velocidade relativa do estudante, sendo possível identificar se ele possui a ideia de movimento absoluto.

O questionário de Lorentz foi elaborado pela professora-pesquisadora, tendo como base para sua elaboração o questionário de Galileu, com o objetivo de analisar a compreensão conceitual dos estudantes. Ele também conta com quatro questões sobre as Transformações de Lorentz e quatro sobre a confiança da resposta em cada questão. Foram trazidas duas situações também, contemplando a dilatação temporal e a contração espacial. Ele também conta com imagens ilustrando as situações.

A primeira situação trazia dois caminhões em uma rodovia, sendo o um deles estava parado em relação a ela. O outro caminhão se aproximava dele primeiro a 80 km/h, depois a  $0,7c$ . O estudante devia analisar a distância medida pelo caminhão em movimento em relação à rodovia com cada velocidade, eram duas questões objetivas. Aqui é possível verificar se o estudante compreendeu o fenômeno da contração espacial, é que ele é influenciado pela velocidade.

Na segunda situação duas amigas despediam-se, sendo que uma iria viajar de navio enquanto a outra esperava a sua volta. O navio viaja primeiro a 30 nós (56 km/h) e depois a  $0,7c$ . Aqui o estudante devia analisar o tempo transcorrido para a amiga em viagem nas duas situações, sendo novamente duas questões objetivas. Nessas questões pode-se analisar a compreensão do aluno em relação ao fenômeno da dilatação temporal, e a influência da velocidade nele.

Os dois questionários foram aplicados como pré-testes antes do início das atividades, e como pós-testes após a conclusão delas. Buscou-se analisar a compreensão conceitual dos estudantes sobre as Transformações de Galileu e Transformações de Lorentz. Todos os testes foram realizados individualmente pelos estudantes.

### 5.3.2 Simulações e Roteiros

Também foram desenvolvidas pela professora-pesquisadora quatro simulações através do software *Modellus 4*. Dessas, duas destinavam-se a trabalhar as Transformações de Galileu, chamadas “Bolinha no Trem”, Figura 20, e “Carros e Avião”<sup>6</sup>, Figura 21. A simulação “Carros e Avião” foi desenvolvida com base na simulação “Cars and Plane”, utilizada por Monaghan e Clement (1999).

Na simulação “Bolinha no Trem”, os estudantes podiam observar um menino que jogava uma bolinha para frente dentro de um trem em movimento. É possível trocar o referencial de observação, selecionando o referencial do trem ou o referencial da estação, e observar a mudança na movimentação e velocidade da bolinha arremessada.

Figura 20: Tela da simulação “Bolinha no Trem”.



Fonte: A pesquisa (2020).

Na simulação “Carros e Avião” é possível observar o movimento relativo entre dois carros movendo-se em direções opostas e um avião sobrevoando-os. É possível variar a velocidade do avião através de um controlador, e trocar o referencial de observação da movimentação dos objetos, podendo ser o chão, o avião, o carro ou o carro 2.

Figura 21: Tela da simulação “Carros e Avião”.



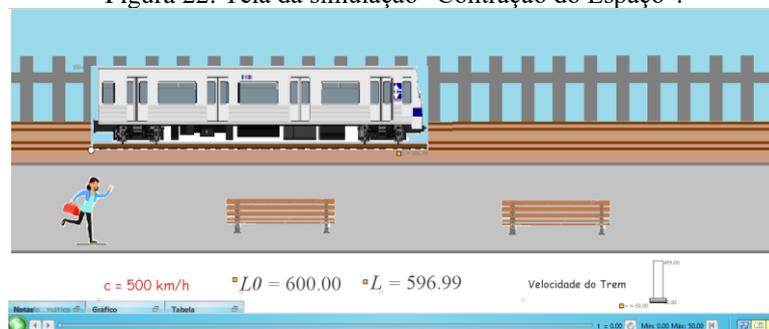
Fonte: A pesquisa (2020).

<sup>6</sup> Disponíveis em: <http://ppgecim.ulbra.br/ciencias/index.php/2020/04/14/simuladores-sobre-velocidade-relativa/>

As outras duas simulações desenvolvidas destinavam-se para trabalhar as Transformações de Lorentz<sup>7</sup>, chamadas “Contração do Espaço”, Figura 22, e “Dilatação do Tempo”, Figura 23. Ambas traziam a situação de um trem passando pela estação, sendo uma para abordar contração espacial e outra a dilatação temporal. Para fins de observação, nas duas simulações a velocidade da luz no vácuo ( $c$ ) foi considerada com o valor de 500 km/h.

A simulação “Contração do Espaço”, como o nome indica, contemplava a contração espacial. Através de um controlador, o estudante pode variar a velocidade do trem em relação à estação, e observar o comprimento do trem medido por alguém dentro dele e alguém na estação.

Figura 22: Tela da simulação “Contração do Espaço”.



Fonte: A pesquisa (2020).

Já a simulação “Dilatação do Tempo”, tratava do fenômeno da dilatação temporal. Nela, o estudante também pode variar a velocidade do trem em relação à estação e observar os intervalos de tempo medidos por alguém na estação e alguém no trem.

Figura 23: Tela da simulação “Dilatação do Tempo”.



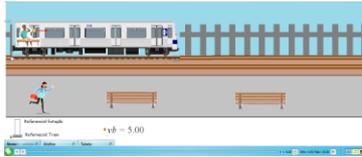
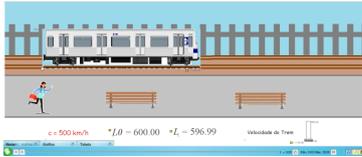
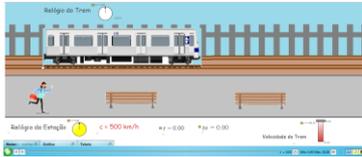
Fonte: A pesquisa (2020).

Também foram elaborados pela pesquisadora roteiros de utilização (Apêndices C e D) para cada simulação através da estratégia P.O.E. (predizer-observar-explicar) (TAO; GUNSTONE, 1997) com o objetivo de promover o conflito cognitivo durante a execução da

<sup>7</sup> Disponíveis em: <http://ppgecim.ulbra.br/ciencias/index.php/2020/04/14/simuladores-sobre-transformacoes-de-lorentz/>

simulação. Essa estratégia é muito utilizada na elaboração de manuais de simulações, possibilitando ao indivíduo a assimilação e acomodação de conceitos novos ou já existentes através da interação com a simulação. Essa proposta de conflito cognitivo é baseada nas ideias piagetianas.

Quadro 2: Síntese das simulações desenvolvidas.

<i>Simulações Galileu</i>	<i>Simulações Lorentz</i>
<p>Bolinha no Trem</p> 	<p>Contração do Espaço</p> 
<p>Carros e Avião</p> 	<p>Dilatação do Tempo</p> 

Fonte: A pesquisa (2021).

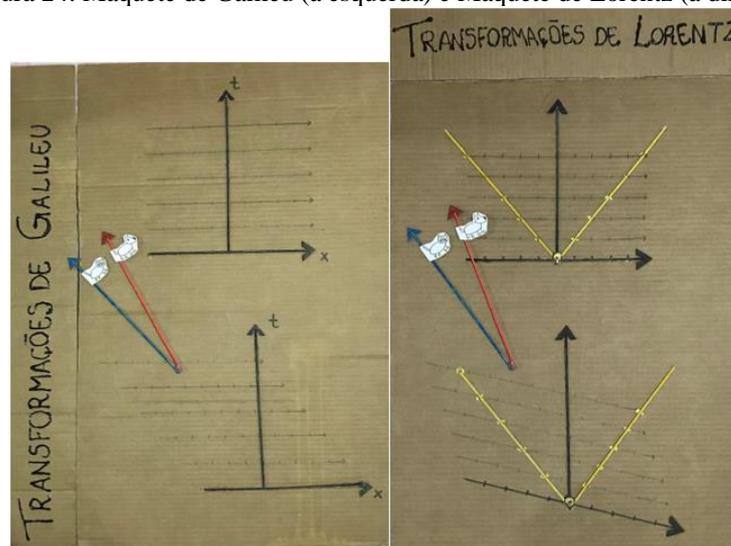
Através da estratégia P.O.E., primeiramente o aluno deve tentar prever o que acontecerá na simulação em uma determinada situação e fazer o registro disso. Após isso, ele executa a simulação e faz a observação e registro do que aconteceu. Por fim, deve ser feita pelo estudante uma comparação entre a sua previsão e o que foi observado na simulação, explicando as diferenças e semelhanças entre as duas. É importante deixar claro aos alunos que eles não devem executar a simulação antes de fazer a previsão e registrá-la, pois isso impediria a reflexão que é proposta.

### 5.3.3 Maquetes

Foram elaboradas pela professora-pesquisadora duas maquetes com a representação gráfica, os diagramas de espaço-tempo, das transformações de Galileu e Transformações de Lorentz. As maquetes foram feitas em papelão com a utilização de palitos, tinta guache e cola colorida em relevo. Em suas bases de papelão estavam fixados os dois eixos de coordenadas dos sistemas de referência. Na maquete das Transformações de Lorentz também havia dois palitos partindo da origem dos dois eixos, representando a velocidade da luz, que deve permanecer constante para qualquer referencial.

Separadamente, foram fixados na forma de “v” dois palitos, que seriam dois referenciais diferentes, um do “gato” e outro do “cachorro”, que estão em movimento um em relação ao outro. Esses referenciais foram utilizados para as duas maquetes. Ao encaixar os referenciais sobre a base, com um deles ao centro, era possível constatar o movimento do outro em relação a ele. Na maquete de Galileu percebe-se que a velocidade do gato e do cachorro se alteram com a troca de referencial, mas os intervalos de tempo e o espaço não. Na maquete de Lorentz, é possível observar a diferença entre os intervalos de tempo e espaço medidos para cada sistema de referência.

Figura 24: Maquete de Galileu (à esquerda) e Maquete de Lorentz (à direita).



Fonte: a pesquisa (2020).

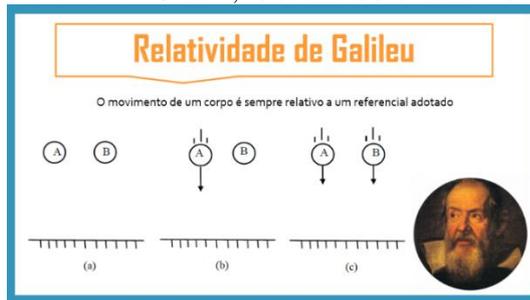
### 5.3.4 Slides

Foi produzida pela professora-pesquisadora uma apresentação com 63 slides<sup>8</sup> com a utilização de diversos recursos como vídeos, gifs animados e animações, buscando potencializar o entendimento da Relatividade Especial pelos estudantes e a construção de simulações e imagens mentais por eles. A apresentação inicia com uma breve introdução à Teoria da Relatividade Especial e suas consequências. Então questiona-se “Por que a Teoria da Relatividade foi criada?”, e inicia-se um resgate histórico dos fatos que levaram à criação dela.

<sup>8</sup> Disponível em: <http://ppgecim.ulbra.br/ciencias/index.php/2020/04/14/apresentacao-de-slides-sobre-a-teoria-da-relatividade-especial/>

Portanto, a Relatividade de Galileu (Figura 25) é abordada, explicando como as transformações de Galileu entre diferentes sistemas de referência ocorrem, bem como o Princípio da Relatividade. São trazidos exemplos de velocidade relativa utilizando animações de carros em movimento em quatro situações. A animação da movimentação dos carrinhos, busca auxiliar os estudantes ao imaginar a situação para posteriormente poder reproduzi-la mentalmente. O tópico é finalizado com alguns exercícios sobre movimento relativo.

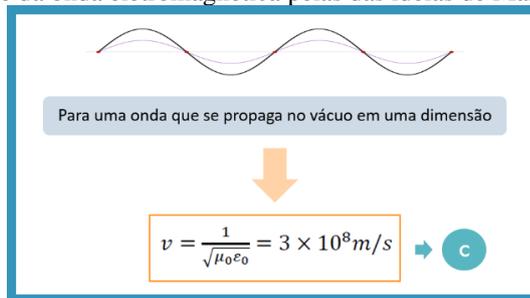
Figura 25: Slide 7, Relatividade de Galileu, as bolinhas são animadas e movem-se para baixo.



Fonte: A pesquisa (2020).

Segue-se com a abordagem de alguns eventos históricos. Primeiramente a medição da velocidade da luz, feita pelo astrônomo Ole Roemer no século XVI. Em seguida a união dos fenômenos elétricos e magnéticos por James Clerk Maxwell ao desenvolver seu conjunto de equações do eletromagnetismo no século XIX. É apresentado que, por meio das Equações de Maxwell chega-se à conclusão de que os fenômenos eletromagnéticos possuem um comportamento ondulatório sendo possível calcular velocidade de propagação dessa onda (Figura 26).

Figura 26: Slide 21, velocidade da onda eletromagnética pelas das ideias de Maxwell, a onda é um gif animado.



Fonte: A pesquisa (2020).

Assim, o valor obtido para a propagação das ondas eletromagnéticas é o mesmo calculado para a velocidade da luz, sugerindo-se que a luz é uma onda eletromagnética. Traz-se também a detecção das ondas eletromagnéticas previstas por Maxwell experimentalmente por Heinrich Hertz em 1887.

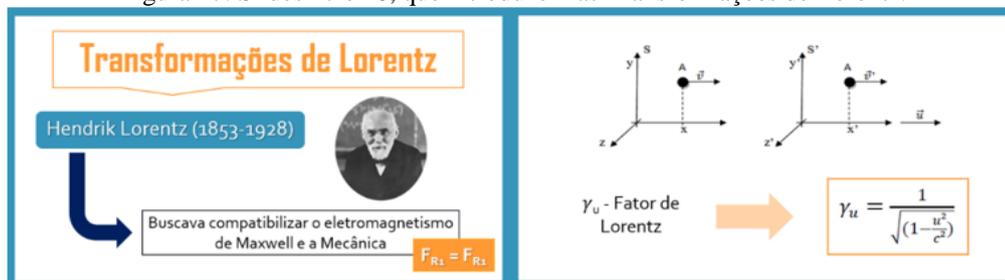
No entanto, a velocidade das ondas eletromagnéticas é determinada a partir da equação de onda obtida a partir das Equações de Maxwell, e essa equação de onda não é invariante pelas Transformações de Galileu. Portanto, dependendo do referencial adotado encontrar-se-iam diferentes valores para a velocidade das ondas eletromagnéticas. Assim, apresenta-se a incoerência que surgiu entre a Relatividade de Galileu e o Eletromagnetismo, bem como o questionamento: “A partir de qual referencial a velocidade da luz é  $c$ ?”.

A seguir, são trazidas três possibilidades: primeiro que o princípio da relatividade só é válido na Mecânica Clássica, e na Eletrodinâmica é necessária a adoção de um referencial privilegiado (éter); segundo que o princípio da relatividade é válido na Mecânica Clássica e na Eletrodinâmica, mas as equações de Maxwell estão incorretas; e terceiro que o princípio da relatividade é válido na Mecânica Clássica e na Eletrodinâmica, mas as leis de Newton e a Relatividade de Galileu precisam ser reformuladas.

Traz-se que, historicamente, seguiu-se em direção à primeira opção, a da existência de um referencial absoluto, o chamado éter. Nesse sentido, Hendrik Lorentz desenvolve suas transformações entre um sistema de referência e outro, acrescentando um fator  $\gamma$  de correção, chamado Fator de Lorentz, a fim de compatibilizar o Eletromagnetismo e a Mecânica Clássica, (Figura 27).

É ressaltado que Lorentz acreditava e defendia a existência do éter. Juntamente com Poincaré, desenvolveu a ideia de “tempo próprio”, que seria o marcado por relógios em repouso em relação ao éter. Explica-se que, de acordo com Lorentz, esse éter preenchia todo o universo, portanto a Terra se moveria em relação a ele. Assim, é trazido que a partir da Terra poderia ser o éter poderia ser detectado.

Figura 27: Slides 27 e 28, que introduzem as Transformações de Lorentz.

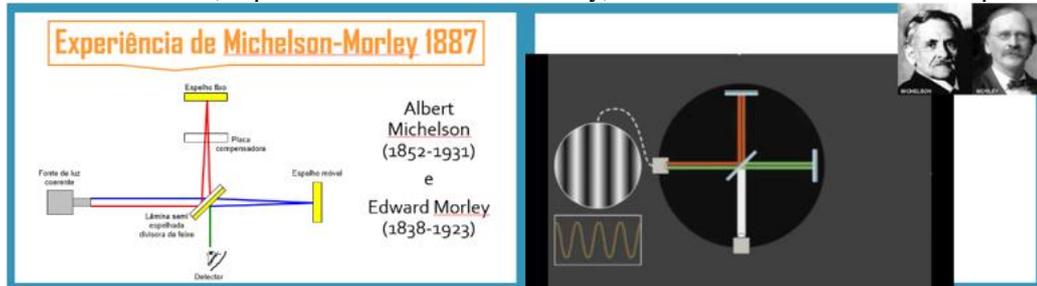


Fonte: A pesquisa (2020).

Partindo disso, é apresentado o experimento do interferômetro de Michelson e Morley, de 1887 (Figura 28). Retoma-se brevemente o conceito de interferência de ondas, com a utilização de gifs animados. O funcionamento do experimento é explicado através de uma simulação em vídeo, para facilitar o entendimento dos estudantes. O resultado esperado é

discutido, porém esse resultado não é obtido. Como tentativa de solução, a ideia de um encurtamento no braço do interferômetro é trazida por George Fitzgerald, por esse ter se deslocado em relação ao éter. Lorentz concordou com as conclusões de Fitzgerald.

Figura 28: Slides 33 e 35, experimento de Michelson-Morley, no slide 35 há um vídeo de um esquema dele.

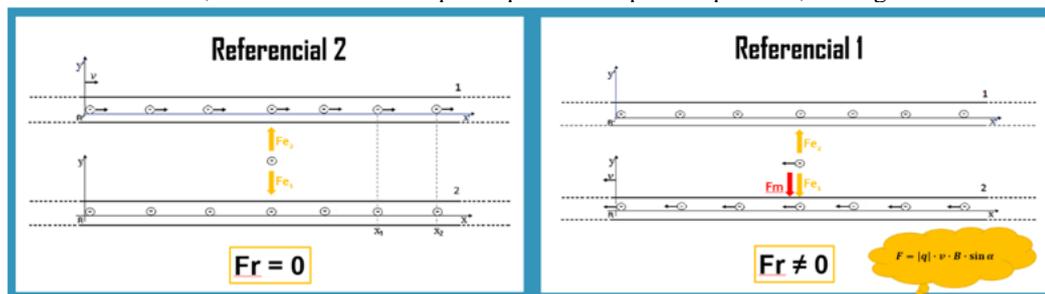


Fonte: A pesquisa (2020).

Nesse contexto, são trazidas as ideias de Albert Einstein. Para ele, a proposta do éter trazia uma assimetria com os fenômenos de indução eletromagnética, que não dependem de um referencial para ocorrer. Portanto, Einstein traz a ideia da velocidade da luz absoluta, tendo o mesmo valor quando medida a partir de qualquer referencial. Entretanto, essa concepção implica em o tempo e o espaço serem relativos, o que gera uma grande repercussão.

Para demonstrar como as ideias de Einstein poderiam solucionar os problemas encontrados pelos cientistas, é apresentada uma situação de um fenômeno eletromagnético que não pode ser explicado sem a Teoria da Relatividade de Einstein (FREZZA, 2015). Há duas barras carregadas negativamente, tendo a mesma densidade de carga elétrica, além de uma carga negativa entre elas.

Figura 29: Slides 41 e 42, troca de referencial que só pode ser explicada pela TR, as cargas elétricas movem-se.



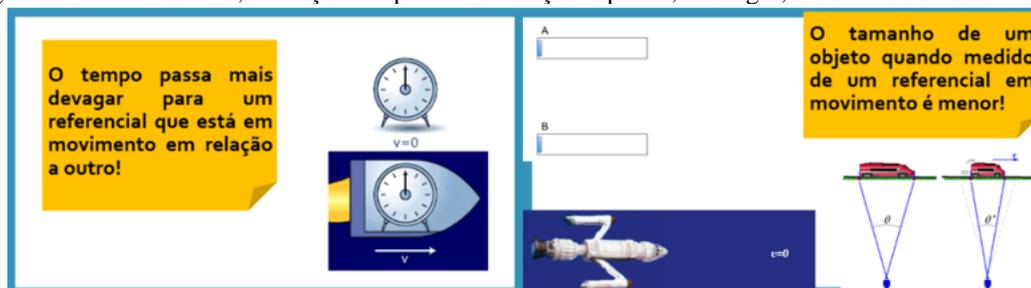
Fonte: A pesquisa (2020).

Nos slides, o movimento das cargas é animado (Figura 29), para facilitar a compreensão pelos estudantes. Conforme as leis do Eletromagnetismo, a força resultante no referencial 2 seria nula, enquanto no referencial 1, não. Isso seria uma violação do Princípio da Relatividade, logo questiona-se como resolver essa situação.

Antes de se trazer a solução para esse impasse, a Teoria da Relatividade Especial é apresentada mais profundamente. Por meio de gifs animados e cálculos simples é apresentado

que, considerando-se a velocidade da luz absoluta, é impossível que o espaço e o tempo tenham as mesmas medidas em diferentes referenciais. Então são abordados os fenômenos da dilatação temporal e contração espacial (Figura 30).

Figura 30: Slides 48 e 50, dilatação temporal e contração espacial, o relógio, as barras e a nave são gifs.



Fonte: A pesquisa (2020).

Para representar os dois fenômenos, são utilizados gifs animados, já que não é possível observá-los em situações cotidianas, dificultando que os estudantes os imaginem. Após, é trazida a soma de velocidades na TRR, apresentando-se um vídeo e dois exemplos com animações. Então é abordada brevemente a relatividade da simultaneidade.

O exemplo das duas barras eletricamente carregadas é retomado, sendo demonstrado que somente se considerando a contração espacial que a força resultante poderá ser nula em ambas as situações. Essa demonstração se dá através de animações nos slides. Por fim, são trazidos alguns exercícios sobre a Teoria da Relatividade Especial.

No conjunto dos slides a temática da Teoria da Relatividade teve uma abordagem histórica, através da perspectiva epistemológica de Laudan (1978), trazendo os motivos do seu surgimento. Foram apresentados fenômenos que a Relatividade Galileana não pôde explicar, ou seja, problemas anômalos para essa teoria. Assim são trazidas as hipóteses de reformulações das teorias vigentes. Por fim, mostra-se que a TRE trazida por Einstein conseguiu explicar esses fenômenos, ou seja, foi capaz de resolver mais problemas. Deste modo, em uma interpretação com base em Laudan, a Teoria da Relatividade de apresentou mais progressiva.

No conjunto de 63 slides foram utilizados 35 imagens, sendo 12 delas com animações. Também foram utilizados 3 vídeos curtos, sendo o primeiro sobre a ideia de movimento relativo, o segundo sobre o experimento de Michelson-Morley e o terceiro sobre a soma de velocidades na Relatividade Especial. Os slides também contam com 12 gifs animados ao todo e 8 exercícios, sendo 4 sobre a Relatividade de Galileu e 4 sobre a Relatividade de Einstein.

## 5.4 DESENVOLVIMENTO DO EXPERIMENTO DEFINITIVO

### 5.4.1 Sequência Didática

O desenvolvimento das atividades da pesquisa iniciou-se no terceiro trimestre de 2019, durante as aulas curriculares da disciplina de Física. Os estudantes já haviam estudado os tópicos de Eletrostática, Eletrodinâmica e Eletromagnetismo anteriormente. Entre as cinco turmas em que em que a pesquisa foi desenvolvida, uma não pode concluir as atividades e a outra não realizou as atividades com a utilização das simulações computacionais.

Antes do início das atividades, foram aplicados os pré-testes com cada turma, sendo os questionários das Transformações de Galileu e das Transformações de Lorentz. Após a aplicação dos questionários os conteúdos foram apresentados através de aulas expositivas-dialogadas com a utilização dos slides elaborados através de uma sequência didática. Conforme Zabala (1998) sequências didáticas:

[...] são um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos (ZABALA, 1998, p. 18).

Portanto, por meio dessa sequência de atividades ordenadas, buscou-se trazer um resgate histórico, ressaltando os problemas que surgiram historicamente e a necessidade do desenvolvimento de uma teoria que os resolvesse, algo inviável com as teorias vigentes na época. Assim os estudantes puderam observar uma situação de troca de modelos e teorias dentro da Física.

Após uma breve introdução à Teoria da Relatividade de Einstein, foi trabalhada a Relatividade de Galileu. Foram utilizados os vídeos, gifs e animações dos slides, bem como foi feita a demonstração da maquete das Transformações de Galileu pela professora. Então foram realizados exercícios e foi feita sua correção. Essas atividades tiveram a duração de duas aulas de 50 min cada.

Após isso, foram utilizadas as duas simulações computacionais referentes às Transformações de Galileu, chamadas “Bolinha no Trem” e “Carros e Avião”. Como os computadores do laboratório de informática da escola não eram compatíveis com o software, alguns alunos trouxeram notebooks e as atividades foram realizadas em grupos, com em torno

de quatro integrantes cada um. Cada grupo recebeu um roteiro de utilização das simulações. Essa atividade foi realizada em duas aulas de 50 min cada.

Dando continuidade às atividades, mais dos acontecimentos históricos relatados na apresentação de slides foram apresentados e discutidos, até culminar com o desenvolvimento da Teoria da Relatividade Especial. Entre os acontecimentos, foi abordada a medição da velocidade da luz e o desenvolvimento das Equações de Maxwell, e foram trazidas as incoerências que surgiram entre elas e as Transformações de Galileu.

Foram apresentadas três possibilidades de solução para o impasse: que o Princípio da Relatividade só valeria na Mecânica Clássica, sendo adotado um referencial privilegiado no Eletromagnetismo (éter); que as Equações de Maxwell estariam incorretas; ou que a Relatividade de Galileu e as Leis de Newton precisariam ser reformuladas.

Assim, foram trazidas as Transformações de Lorentz, bem como a visão que ele possuía a respeito do éter, isto é, historicamente seguiu-se no caminho da primeira opção. O experimento de Michelson-Morley então é apresentado, por meio do vídeo de representação contido nos slides, e são discutidos os resultados esperados e obtidos pelo experimento. Essas atividades foram realizadas em mais duas aulas de 50 min cada.

Finalmente, chegou-se à Teoria da Relatividade Especial de Einstein. Foram apresentados seus dois postulados, bem como as suas consequências, focando-se nos fenômenos da dilatação temporal e da contração espacial. Mostrou-se também como essa teoria pôde solucionar os problemas que haviam surgido e que as Transformações de Lorentz se mostram compatíveis com ela, porém através de outra interpretação.

Foram utilizados os vídeos e gifs da apresentação de slides, além de algumas situações que somente podem ser explicadas pela TRR. Então foram realizados exercícios e feitas as suas correções, utilizando-se mais duas aulas de 50 min cada.

A última parte das atividades em sala de aula foi a utilização das simulações sobre Transformações de Lorentz para a Relatividade Especial, “Dilatação do Tempo” e “Contração do Espaço”. Assim como na atividade com as simulações de Galileu, alguns alunos trouxeram novamente seus notebooks para a aula e a atividade foi realizada em grupos de em torno de quatro integrantes cada. Aqui também foram entregues roteiros de utilização das simulações para cada grupo. Utilizaram-se mais duas aulas de 50 min cada uma.

Por fim, os dois pós-testes foram aplicados, um para cada situação. Foram utilizados os mesmos questionários dos pré-testes, a fim de comparar as respostas de cada estudante antes e após as atividades. Os questionários de cada estudante foram analisados e classificados em

quatro categorias conforme suas respostas. Por meio deles, 14 estudantes foram selecionados para as entrevistas, que serão descritas a seguir.

#### 5.4.2 Entrevistas

Através dos resultados dos pré-testes e pós-testes foram selecionados 14 estudantes para as entrevistas. Procurou-se contemplar o maior número de situações possíveis, ou seja, estudantes que tiveram crescimento nas duas situações, crescimento só em uma ou que mantiveram as mesmas compreensões, sejam elas altas ou baixas. Por meio das entrevistas que se deu a análise qualitativa, buscando identificar as simulações e imagens mentais utilizadas pelos estudantes bem como a origem delas.

As entrevistas com os estudantes foram marcadas em horários no contraturno das aulas e foram realizadas individualmente. Todas as entrevistas foram gravadas em vídeo, para sua posterior transcrição e análise. A metodologia utilizada foi a *Report Aloud* (TREVISAN et al., 2019), que consiste em uma adaptação do método *Think Aloud* (VAN-SOMEREN, et al., 1994). Através do *Think Aloud*, o entrevistado literalmente pensa em voz alta conforme está resolvendo alguma situação. Esse método permite compreender o que o estudante está pensando no momento de responder aos questionários e ao interagir com a simulação, por exemplo. Conforme ele forma sua resposta, ele descreve o que está pensando para o entrevistador.

No método *Report Aloud* a principal diferença é que, ao invés de o entrevistado relatar o que está pensando enquanto responde a um instrumento de pesquisa, ele o faz depois. Ou seja, os estudantes foram entrevistados após realizarem as atividades e então descreveram o que pensaram enquanto estavam realizando-as. Com a utilização do *Report Aloud*, é possível superar alguns obstáculos que podem surgir ao se entrevistar algum participante tímido, que possa se sentir desconfortável em relatar o que está raciocinando no exato momento, por exemplo. No *Report Aloud* o entrevistador mantém um constante diálogo com o entrevistado, sempre buscando identificar o que ele pensou e/ou imaginou no momento que realizou a atividade.

Como constatado em outros estudos (RAMOS, 2015; WOLFF, 2015; TREVISAN, 2016), e em um estudo nosso anterior (SOUZA & SERRANO, *no prelo*), o tempo transcorrido entre a realização das atividades e a entrevista, como ocorre no *Report Aloud*, não interfere nos

resultados. Dessa forma, os dois métodos podem ser considerados equivalentes em termos de resultados obtidos.

O foco das entrevistas foram os questionários, pré-testes e pós-testes, e as atividades realizadas com os estudantes. Os alunos tiveram acesso a todos seus testes e roteiros, bem como aos slides impressos, caso afirmassem se lembrar de algum em específico. Todas as entrevistas foram realizadas na Escola São João Batista pela pesquisadora.

## 5.5 METODOLOGIA DE ANÁLISE DOS RESULTADOS

Buscando perspectivas mais amplas a fim de responder ao problema de pesquisa, utilizou-se tanto análise quantitativa quanto qualitativa para os dados coletados, caracterizando-se uma metodologia mista. A utilização dos métodos mistos em pesquisas em ensino proporciona uma melhor compreensão dos fenômenos de estudo, visto que os fenômenos educacionais são complexos (DAL-FARRA & FETTERS, 2017).

O processo básico envolvido nos Métodos Mistos consiste na coleta, análise e **integração** de dados quantitativos e qualitativos, contribuindo para um melhor entendimento do problema de pesquisa, quando comparadas ao emprego isolado de cada uma destas abordagens (DAL-FARRA & FETTERS, 2017, *grifo dos autores*).

Enquanto a abordagem quantitativa permite examinar a associação entre variáveis de interesse e a comparação de grupos, a abordagem qualitativa torna possível obter-se informações detalhadas das experiências e dos fatores que as influenciam. Deste modo, essas duas abordagens se complementam, trazendo diferentes facetas da mesma problemática. A seguir são descritas as metodologias utilizadas para as análises quantitativa e qualitativa.

### 5.5.1 Análise Quantitativa

Após os estudantes responderem aos questionários dos pré-testes e pós-testes, estes foram recolhidos, cada estudante recebeu um código conforme a turma e as respostas foram registradas em uma planilha do Excel. Os questionários de cada estudante foram analisados individualmente e classificados em quatro categorias de compreensão conforme suas respostas,

*compreensão total* (CT), *compreensão parcial* (CP), *concepção espontânea* (CE) e *nenhuma compreensão* (NC).

A categoria *compreensão total* (CT) compreende os estudantes que foram capazes de compreender plenamente os fenômenos em questão. Pelos questionários, enquadram-se nela os alunos que conseguiram responder corretamente todas as questões do questionário analisado, ou seja, que obtiveram CT para todas suas respostas no teste.

Na categoria *compreensão parcial* (CP) estão os estudantes que compreendem os fenômenos, mas ainda possuem algumas dificuldades em certas situações envolvendo-os. São aqueles que entendem que a velocidade é relativa, por exemplo, mas possuem alguma dificuldade com a troca de referencial. Eles compreendem que o espaço e o tempo se modificam, mas não entendem bem como ocorrem essas modificações. Através dos questionários, são os alunos que responderam incorretamente a uma questão, sendo ela CP, CE ou NC, por exemplo, ou até duas questões, mas mantendo suas repostas entre CT e CE, sendo majoritariamente CP.

Já a categoria *concepção espontânea* (CE) engloba os estudantes que baseiam suas respostas principalmente no senso comum. Esses estudantes apresentam dificuldade em compreender a inércia, além de possuírem uma ideia intrínseca de movimento absoluto. Também não conseguem conceber muito bem a ideia de o tempo e o espaço modificarem-se. Nos questionários, esses estudantes responderam incorretamente a maioria das questões, mas sempre se levando em conta suas categorias de respostas, ou seja, poderiam apresentar alguma resposta em CT, mas também em NC, sendo classificados em CE.

Por fim, a categoria *nenhuma compreensão* (NC) compreende os estudantes que apresentam compreensões com um nível de entendimento abaixo do senso comum ou não forneceram resposta. Muitos são estudantes que apresentam concepções pré-galileanas, que acreditando fortemente na ideia de movimento absoluto. Nos questionários, eles responderam incorretamente praticamente todas as questões, podendo haver algum acerto, mas estando majoritariamente na categoria NC.

Esta classificação foi realizada buscando-se um afinamento de dados para que a análise fosse desenvolvida, Lüdke e André (1986) sugerem essa delimitação progressiva dos dados, dos mais gerais aos mais específicos. Classificações semelhantes foram utilizadas em outros trabalhos dentro do ensino de ciências, como Jimoyiannis e Komis (2001) e Ahtee e Varjola (1998), sendo a classificação utilizada na presente pesquisa derivada da desenvolvida e aplicada por Reis (2004).

Para a categorização dos questionários, cada resposta de cada questão foi classificada em uma das categorias e, conforme o resultado, o desempenho do estudante naquele questionário foi enquadrado em uma dessas categorias. Essa categorização foi realizada tanto para o questionário de Galileu quanto para o de Lorentz, no pré-teste e pós-teste. A categorização das respostas (Quadro 3 e Quadro 4) dos questionários seguiu os critérios dos níveis de compreensão dos fenômenos, sendo classificadas pela professora-pesquisadora e pelo professor orientador. Lembrando que a cada questão de compreensão do fenômeno, havia uma questão sobre o nível de confiança do estudante naquela resposta.

Quadro 3: Categorização das respostas do Teste de Galileu.

Questão	Categoria	CT	CP	CE	NC
1		Alternativa a	Alternativa b	Alternativa c	Alternativa d
3		Alternativa a	Alternativa c	Alternativa b	Alternativa d
4		- 160 ou 160 km/h	240 km/h	40 km/h	Outros valores
5		240 km/h	160 km/h	40 km/h	Outros valores

CT – compreensão total; CP – compreensão parcial; CE – concepção espontânea; NC – nenhuma compreensão

Fonte: A pesquisa (2020).

Quadro 4: Categorização das respostas do Teste de Lorentz.

Questão	Categoria	CT	CP	CE	NC
1		Alternativa a	Alternativa c	Alternativa b	Alternativa d
3		Alternativa c	Alternativa a	Alternativa b	Alternativa d
4		Alternativa a	Alternativa c	Alternativa b	Alternativa d
5		Alternativa c	Alternativa a	Alternativa b	Alternativa d

CT – compreensão total; CP – compreensão parcial; CE – concepção espontânea; NC – nenhuma compreensão

Fonte: A pesquisa (2020).

Para cada questionário foram contabilizadas quantas respostas referentes a cada categoria estavam presentes. Assim, por meio desse resultado e por ponderação foi feita a classificação de cada teste. A classificação dos testes se deu de acordo com a contagem expressa no Quadro 5.

A partir das categorizações dos resultados dos testes, foi realizada uma análise quantitativa dos resultados obtidos. Para isso, as categorias foram convertidas nos valores 4, 3, 2 e 1, sendo CT, CP, CE e NC, respectivamente, tratando-se de variáveis nominais. A análise de dados quantitativos buscou identificar se houve aprendizagem pelos estudantes, comparando os pré-testes e pós-testes de cada grupo, e se foi possível identificar diferenças entre os que utilizaram e não utilizaram simulações computacionais, ou seja, comparando o grupo experimental com o de controle.

Quadro 5: Classificação dos testes de acordo com os resultados de cada questão.

Nível de Compreensão	Contabilização das Respostas
CT	4CT
CP	4CP; 3CT/1CP; 3CT/1CE; 1CT/2CP/1CE; 3CP/1CE; 2CT/2CE; 2CT/2CP; 2CT/1CP/1CE; 1CT/3CP; 2CT/1CP/1NC; 1CT/2CP/1NC; 3CP/1NC
CE	4CE; 2CT/2NC; 2CP/2NC; 1CP/2CE/1NC; 2CP/2CE; 1CT/1CE/2NC; 2CT/2CE; 1CT/1CP/2CE; 1CT/1CP/1CE/1NC; 2CP/1CE/1NC; 1CP/3CE; 1CT/1CP/2NC; 1CT/3CE; 2CT/1CE/1NC; 1CT/2CP/1NC
NC	1CT/1CE/2NC; 1CP/1CE/2NC; 2CE/2NC

CT – compreensão total; CP – compreensão parcial; CE – concepção espontânea; NC – nenhuma compreensão

Fonte: A pesquisa (2020).

Os dados receberam tratamento estatístico, sendo que os resultados das variáveis nominais foram expressos através de análises de frequência e os resultados das variáveis contínuas através de média  $\pm$  desvio padrão. Para verificar a associação entre os resultados das respostas no pré-teste e pós-teste em cada situação, Transformações de Galileu e Transformações de Lorentz, foi utilizado o teste Qui Quadrado para amostras independentes, respeitando as suposições do teste.

O teste Qui Quadrado é um teste não paramétrico utilizado para variáveis nominais e amostras maiores que 30 (LEVIN, 1987), neste caso, a amostra totalizou 82, sendo 20 do grupo de controle e 62 do grupo experimental. A escolha do teste se deu em função do mesmo verificar se as distribuições de duas ou mais amostras não relacionadas diferem significativamente em relação à determinada variável e se as variáveis são independentes, ou as variáveis não estão associadas. O teste serve exclusivamente para variáveis nominais e ordinais, não aplicado se 20% das observações forem inferiores a 5 e não pode haver frequências inferiores a um.

Para comparar as médias entre o pré-teste e pós-teste em cada situação foi utilizado o teste de Wilcoxon. Quando os dados não satisfazem o teste t Student, ele é substituído pelo teste de Wilcoxon. Ele é um método não paramétrico para comparação de duas amostras pareadas independentes, sendo possível constatar aumento, diminuição ou igualdade (SIEGEL, 1981). O objetivo desse teste é verificar se houve diferença significativa no desempenho dos estudantes nas duas situações, ou seja, para as duas amostras, pré-teste e pós-teste, em relação à suas médias nos questionários.

Já para comparar as médias nos testes do grupo experimental com os testes do grupo controle foi utilizado o teste de Mann-Whitney, para cada questionário separadamente, Transformações de Galileu e Transformações de Lorentz. Em algumas situações, o teste t Student poderia falsamente acusar um resultado significativo, então é utilizado o teste de Mann-

Whitney, a fim de se obter resultados mais fidedignos. Ele é um teste não paramétrico para grupos não pareados utilizado para verificar se há evidências para acreditar que os valores de um grupo são superiores ao do outro (SIEGEL, 1981).

Para verificar a normalidade dos dados foi utilizado o teste de Kolmogorov Smirnov, e em todas as análises foi considerado como significativo um  $p < 0,05$ . O teste Kolmogorov Smirnov observa a máxima diferença absoluta entre a função de distribuição acumulada para os dados, no caso a Normal, e a função de distribuição empírica deles (LEVIN, 1987). Se compara esta diferença com um valor crítico, para um dado nível de significância, em nossa pesquisa, inferior a 0,05. Para realização das análises foi utilizado o software SPSS 21.0.

### 5.5.2 Análise Qualitativa

A partir dos resultados dos questionários, foram selecionados 14 estudantes para serem entrevistados. Buscou-se contemplar o maior número de situações possíveis, ou seja, estudantes que tiveram crescimento de compreensão nas duas situações, que apresentaram crescimento só em uma situação, ou que mantiveram os mesmos níveis de compreensões em ambas as situações, sejam elas compreensões altas ou baixas. O objetivo das entrevistas foi compreender melhor as interpretações dos estudantes a respeito das situações e identificar as simulações e imagens mentais utilizadas por eles, bem como a origem delas.

Todas as entrevistas foram previamente agendadas com cada estudante e foram realizadas na escola. As entrevistas foram individuais, estando somente a pesquisadora e o estudante presentes. Cada entrevista completa foi gravada em vídeo, para posterior transcrição e análise. A pauta das entrevistas foram os questionários, pré-teste e pós-teste, bem como todas as atividades realizadas. Durante a entrevista, os estudantes tinham acesso aos seus questionários respondidos, aos roteiros das simulações e aos slides de forma impressa, caso se recordassem de algum slide específico enquanto explicavam como chegaram em suas respostas.

A metodologia utilizada para as entrevistas foi a *Report Aloud* (TREVISAN et al., 2019), que é uma adaptação do método *Think Aloud* (VAN-SOMEREN; BARNARD & SANDBERG, 1994). Como mencionado anteriormente, enquanto no método *Think Aloud* a entrevista ocorre enquanto o estudante realiza as atividades, com o *Report Aloud* a entrevista ocorre em um momento posterior. Por meio desse protocolo o entrevistador mantém um

constante diálogo com o entrevistado buscando identificar o que ele pensou ou imaginou no momento em que realizou a atividade.

A análise das entrevistas se deu através da técnica de Análise Gestual Descritiva (CLEMENT, 1994; CLEMENT & STEINBERG, 2002; MONAGHAN & CLEMENT, 1999; STEPHENS & CLEMENT, 2010; 2015). É uma análise qualitativa que busca identificar gestos descritivos realizados pelos estudantes. Ela parte da premissa que existe um vínculo entre esses gestos descritivos realizados pelo indivíduo e suas imagens e simulações mentais presentes em sua estrutura cognitiva. Através dessa análise, acredita-se ser possível identificar como está presente na estrutura cognitiva do estudante os seus conhecimentos após realizar as atividades, bem como identificar a influência delas.

Por meio dessa análise utilizam-se indicadores, como a movimentação das mãos do estudante durante a entrevista, que indique que estava se utilizando de imagens e simulações mentais para a resolução da tarefa em questão. No estudo de Monaghan e Clement (1999), essa análise foi utilizada para a identificação das simulações mentais referentes ao movimento relativo. Em nosso estudo, buscamos identificar as imagens referentes às Transformações e Galileu, conseqüentemente também o movimento relativo, e às Transformações de Lorentz, envolvendo a dilatação temporal e contração espacial.

De acordo com Clement (1994) há dois tipos básicos de gestos, um relacionado às imagens mentais dinâmicas, ou simulações mentais, representando situações em movimento, e outro relacionado a imagens mentais estáticas. O primeiro tipo, gesto dinâmico, pode ser identificado quando, por exemplo, o estudante movimenta uma das mãos para simbolizar um foguete em movimento. Já o gesto estático, seria o aluno utilizar as duas mãos para representar o foguete em repouso, por exemplo.

Conforme Monaghan e Clement (1999), esses gestos são uma maneira do estudante externalizar o que está pensando no momento, sendo um indicador de suas imagens e simulações mentais. A interpretação desses gestos realizados pelo aluno é uma fonte de informações não detectáveis através somente do diálogo ou escrita. Por isso é importante analisar além do que o estudante está falando ou explicando, compreendendo o que ele está gesticulando. Existe, assim, uma relação entre o que o estudante transmite verbal e gestualmente, sem que ambas transmitam necessariamente a mesma informação.

Dessa forma, é muito importante a identificação de padrões de gestos e sua relação com os conhecimentos presentes na estrutura cognitiva do estudante. Os gestos são uma linguagem própria, expressando o que o estudante por vezes não consegue expressar através da

linguagem verbal. Assim, buscamos encontrar a relação existente entre as imagens e simulações metáforas dos estudantes e seus níveis de compreensão dos fenômenos.

Todos os participantes concordaram com a realização e gravação das entrevistas. Dessa forma, todos os alunos que foram entrevistados autorizaram, ou tiveram a autorização concedida pelos responsáveis, se menores de idade, conforme os Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (Apêndice E) e Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndices F e G). A presente pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisas em Seres Humanos da Universidade Luterana do Brasil, via Plataforma Brasil, sob o número CAAE: 19112619.0.0000.5349.

## 6 RESULTADOS DA ANÁLISE QUANTITATIVA

O presente capítulo apresenta e faz uma análise dos resultados obtidos através da aplicação dos questionários como pré-testes e pós-testes. Esses resultados foram analisados quantitativamente. Inicialmente um total de 138 estudantes participariam da pesquisa, entretanto, devido à greve se que se transcorreu na rede estadual de ensino durante o terceiro trimestre o ano, período em que a pesquisa estava sendo desenvolvida, 82 estudantes concluíram as atividades.

Dentre os 82 alunos, 20 compõe o que chamamos de grupo de controle, pois não interagiram com as simulações computacionais. Dessa forma, foi possível comparar os resultados do grupo experimental e grupo de controle nos testes, bem como os crescimentos dos dois grupos, a fim de verificar quais as interferências na utilização das simulações computacionais.

O grupo experimental participou de todas as atividades realizadas, assim sendo, esse grupo teve contato com os quatro tipos de mediações: social, cultural, psicofísica e *hipercultural*. Por outro lado, o grupo de controle não interagiu com as simulações computacionais, mediação *hipercultural*, mas realizou as outras atividades que também foram realizadas pelo grupo experimental. Dessa forma teve contato com as mediações social, cultural e psicofísica.

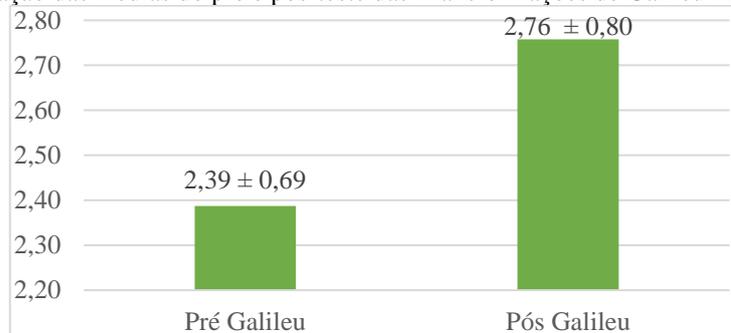
Para a análise quantitativa dos resultados dos testes, foram comparadas as associações com o pré-teste e pós-teste em relação as duas situações – Transformações de Galileu e de Lorentz – bem como as médias das respostas entre o pré-teste e pós-teste, tanto para as Transformações de Galileu como para as Transformações de Lorentz, além da relação entre o grupo experimental e o grupo de controle.

### 6.1 GRUPO EXPERIMENTAL TRANSFORMAÇÕES DE GALILEU

O grupo experimental apresentou um crescimento de compreensão estatisticamente significativo do pré-teste para o pós-teste em relação às Transformações de Galileu. No Gráfico 1, pode-se constatar o aumento na média das respostas do pós-teste em relação ao pré-teste,

esse aumento é estatisticamente significativo para o Teste de Wilcoxon ( $p = 0,01$ ). A média dos estudantes passou de 2,39 no pré-teste para 2,76 no pós-teste.

Gráfico 1: Comparação das médias do pré e pós-teste das Transformações de Galileu no grupo experimental.



Fonte: A pesquisa (2020).

Através da análise por categorias, conforme a Tabela 1, também existe uma diferença estatisticamente significativa, pelo Teste Qui Quadrado de amostras independentes ( $p = 0,03$ ), entre as respostas dos estudantes no pré-teste e pós-teste referentes às Transformações de Galileu. Percebe-se que houve uma queda do número de estudantes da categoria nenhuma compreensão (NC), de 5 (8,1%) para 3 (4,8%) e na categoria concepção espontânea (CE), de 30 (48,4%) para 20 (32,3%). Esse é um resultado desejável, visto que são as duas categorias referentes aos menores níveis de compreensão. Por outro lado, constata-se o aumento de alunos na categoria compreensão parcial (CP), de 25 (40,3%) para 28 (45,2%), e, mais significativamente, um aumento na categoria compreensão total (CT), de 2 (3,2%) para 11 (17,7%). Outro resultado desejável, já que essas são as duas categorias referentes aos maiores níveis de compreensão.

Tabela 1: Associação entre pré e pós-teste para Transformações de Galileu no grupo experimental.

<u>Categoria</u>	<u>Pré</u> n = 62	<u>Pós</u> n = 62	<u>p</u> 0,03*
NC	5 (8,1%)	3 (4,8%)	
CE	30 (48,4%)	20 (32,3%)	
CP	25 (40,3%)	28 (45,2%)	
CT	2 (3,2%)	11 (17,7%)	

\*Significativo ao nível de 0,05

Fonte: A pesquisa (2020).

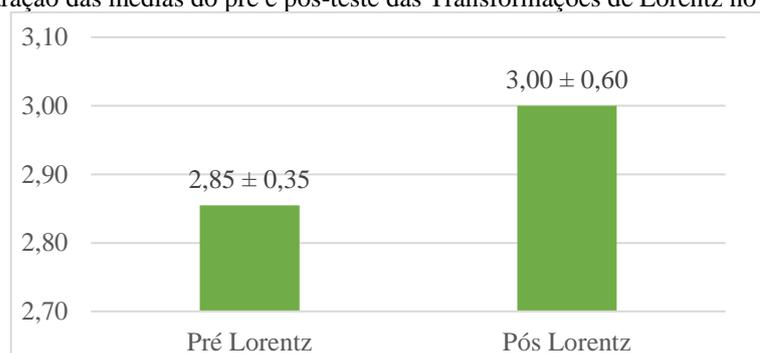
Através da análise desses resultados, pode-se perceber um aumento de compreensão em relação as Transformações de Galileu para o grupo experimental, que participou de todas as atividades. Enquanto havia uma maioria (35) nas categorias que representam pouca ou nenhuma compreensão (CE e NC) no pré-teste, existe uma minoria (23) nelas no pós-teste. Por

outro lado, enquanto a minoria (27) com maior compreensão (CP e CT) no pré-teste, se tornou maioria (39) no pós-teste.

## 6.2 GRUPO EXPERIMENTAL TRANSFORMAÇÕES DE LORENTZ

Com relação as Transformações de Lorentz, o grupo experimental também apresentou um crescimento estatisticamente significativo em seus níveis de compreensão. Observa-se, no Gráfico 2, o crescimento na média das respostas do pós-teste quando comparadas ao pré-teste, sendo estatisticamente significativo para o Teste de Wilcoxon ( $p = 0,01$ ). A média obtida pelos estudantes passou de 2,85 no pré-teste para 3 no pós-teste.

Gráfico 2: Comparação das médias do pré e pós-teste das Transformações de Lorentz no grupo experimental.



Fonte: A pesquisa (2020).

Conforme a Tabela 2, analisando-se por categorias, também é apresentada uma diferença estatisticamente significativa, para o Teste Qui Quadrado de amostras independentes ( $p = 0,02$ ), entre as respostas dos estudantes no pré-teste e pós-teste referentes às Transformações de Lorentz. Para esse teste não foram constatados estudantes na categoria NC, tanto no pré-teste quanto no pós-teste.

É observável o crescimento do número de alunos na categoria CE, de 9 (14,5%) para 11 (17,7%), bem como uma diminuição de estudantes na categoria CP, de 53 (85,5%) para 40 (64,6%). Embora esses números possam acarretar a impressão de um resultado negativo, na categoria CT constatou-se um grande crescimento de alunos. Enquanto no pré-teste não foram observados estudantes nessa categoria, no pós-teste temos 11 (17,7%) alunos. Portanto, percebe-se que um número significativo de estudantes passou a apresentar uma boa compreensão acerca das Transformações de Lorentz no pós-teste.

Tabela 2: Associação entre pré e pós-teste para Transformações de Lorentz no grupo experimental.

<u>Categoria</u>	<u>Pré n = 62</u>	<u>Pós n = 62</u>	<u>p</u>
			0,02*
NC	0 (0%)	0 (0%)	
CE	9 (14,5%)	11 (17,7%)	
CP	53 (85,5%)	40 (64,6%)	
CT	0 (0%)	11 (17,7%)	

\*Significativo ao nível de 0,05

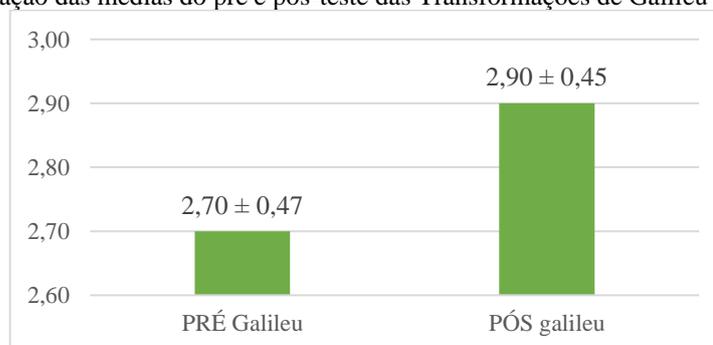
Fonte: A pesquisa (2020).

Esses resultados nas Transformações de Lorentz podem sugerir que, enquanto alguns estudantes tiveram menos clareza ao estudar a temática mais profundamente, uma parcela significativa conseguiu adquirir uma compreensão mais condizente com a cientificamente aceita dos fenômenos. Esse é um bom resultado, visto que essa é uma temática de grande dificuldade de compreensão por parte dos estudantes (ALIAS & IBRAHIM, 2013; KIZILCIK & ÜNLÜ YAVAS, 2016). De maneira geral, os estudantes desse grupo apresentaram crescimento na compreensão das Transformações de Lorentz.

### 6.3 GRUPO DE CONTROLE TRANSFORMAÇÕES DE GALILEU

O grupo de controle, ao contrário do grupo experimental, apresentou uma diferença que não pode ser considerada estatisticamente significativa entre os resultados do pré-teste e pós-teste referentes às Transformações de Galileu. Como pode-se observar no Gráfico 3, foi constatado certo aumento nas médias das respostas do pós-teste, passando de 2,70 para 2,90, e esse aumento foi considerado como significativo para o Teste de Wilcoxon ( $p = 0,01$ ).

Gráfico 3: Comparação das médias do pré e pós-teste das Transformações de Galileu no grupo de controle.



Fonte: A pesquisa (2020).

Entretanto, analisando-se por categorias, como mostrado na Tabela 3, não é encontrada uma diferença estatisticamente significativa do acordo com o Teste Qui Quadrado de amostras independentes ( $p = 0,34$ ). Tanto para o pré-teste quanto para o pós-teste não houve estudantes na categoria NC. A categoria CE teve uma diminuição no número de alunos do pré-teste para o pós-teste, de 6 (30%) para 3 (15%). Por outro lado, a categoria CP teve um aumento no número de estudantes, de 14 (70%) para 16 (80%). Assim como a categoria CT, que no pré-teste não apresentava nenhum estudante, enquanto no pós-teste apresentou 1 (5%).

Tabela 3: Associação entre pré e pós-teste para Transformações de Galileu no grupo de controle.

<u>Categoria</u>	<u>Pré n = 20</u>	<u>Pós n = 20</u>	<u>P</u>
NC	0 (0%)	0 (0%)	0,34**
CE	6 (30%)	3 (15%)	
CP	14 (70%)	16 (80%)	
CT	0 (0%)	1 (5%)	

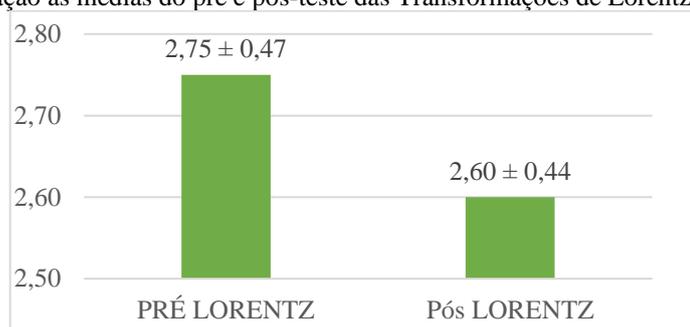
\*\*Não significativo ao nível de 0,05  
Fonte: A pesquisa (2020).

Os resultados obtidos podem sugerir que os estudantes do grupo de controle já possuíam certo conhecimento prévio sobre Transformações de Galileu, o que indica o fato de não haver estudantes na categoria NC sequer no pré-teste. Apesar de o grupo de controle ter apresentado um crescimento em suas médias do pré-teste para o pós-teste, por meio dos testes estatísticos esse crescimento não pode ser considerado significativo.

#### 6.4 GRUPO DE CONTROLE TRANSFORMAÇÕES DE LORENTZ

Em relação às Transformações de Lorentz, o grupo de controle apresentou uma regressão em suas médias do pré-teste para o pós-teste. Enquanto a média para o pré-teste foi de 2,75, para o pós-teste foi de 2,60. Essa diferença é apresentada no Gráfico 4, entretanto não pode ser considerada significativa para o Teste de Wilcoxon ( $p = 0,46$ ).

Gráfico 4: Comparação as médias do pré e pós-teste das Transformações de Lorentz no grupo de controle.



Fonte: A pesquisa (2020).

Por outro lado, ao analisar-se em categorias, conforme a Tabela 4, existe uma diferença significativa para esse decréscimo conforme o Teste Qui Quadrado de amostras independentes ( $p = 0,02$ ). Assim como no grupo experimental para Transformações de Lorentz, não foram identificados alunos na categoria NC, tanto no pré-teste quanto no pós-teste. Na categoria CE percebe-se um aumento do número de estudantes do pré-teste para o pós-teste, de 6 (30%) para 9 (45%). Por outro lado, a categoria CP há um decréscimo, de 13 (65%) para 10 (50%), enquanto a categoria CT que apresentava um estudante (5%) no pré-teste continuou apresentando somente um estudante (5%) no pós-teste.

Tabela 4: Associação entre pré e pós-teste para Transformações de Galileu no grupo de controle.

<u>Categoria</u>	<u>Pré n = 20</u>	<u>Pós n = 20</u>	<u>p</u>
NC	0 (0%)	0 (0%)	0,02*
CE	6 (30%)	9 (45%)	
CP	13 (65%)	10 (50%)	
CT	1 (5%)	1 (5%)	

\*Significativo ao nível de 0,05

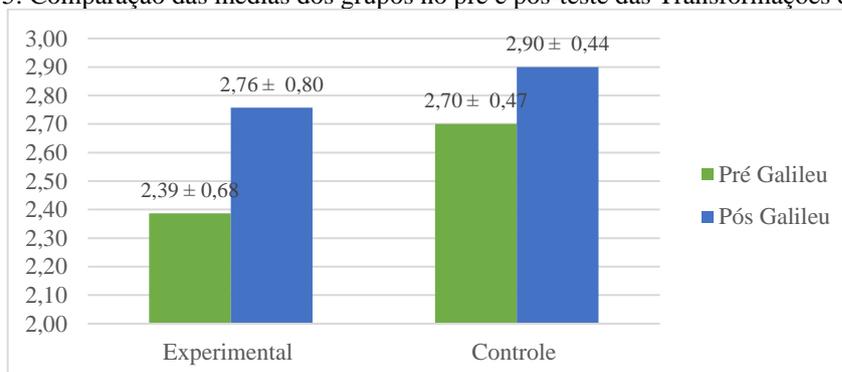
Fonte: A pesquisa (2020).

Os resultados sugerem que, de maneira geral, os estudantes do grupo de controle apresentaram um retrocesso em relação as Transformações de Lorentz, o que é demonstrado pelo crescimento do número de alunos na categoria CE no pós-teste. Apesar de, através da análise das médias, essa diferença não ser significativa, na análise pelas categorias, ela passa a ser. O resultado obtido pode indicar que, ao terem contato mais aprofundado com a temática, entretanto, sem interagir com as simulações computacionais, ou seja, sem contato com a mediação *hipercultural*, os estudantes passaram a ter menos clareza em relação aos fenômenos.

## 6.5 GRUPO EXPERIMENTAL X GRUPO DE CONTROLE – TRANSFORMAÇÕES DE GALILEU

É possível notar que o grupo de controle apresentou uma média superior (2,76) que o grupo experimental (2,39) em relação ao pré-teste de Galileu, sugerindo que já possuíam certo conhecimento prévio a respeito da temática. Entretanto, essa diferença se torna irrelevante nas médias dos pós-testes, onde o grupo de controle atingiu 2,90 e o grupo experimental 2,70. Através desse resultado é possível observar que o grupo experimental apresentou um crescimento maior em seus resultados em relação às Transformações de Galileu, conforme o Gráfico 5.

Gráfico 5: Comparação das médias dos grupos no pré e pós-teste das Transformações de Galileu.



Fonte: A pesquisa (2020).

Através da realização do Teste de Mann-Whitney percebe-se que a diferença das médias dos dois grupos no pré-teste é considerada estatisticamente significativa ( $p = 0,02$ ), entretanto no pós-teste ela passa a ser irrelevante ( $p = 0,32$ ), conforme apresentado na Tabela 5. Esse resultado indica que o grupo experimental apresentou um crescimento maior em seus resultados nos testes, visto que no pós-teste superaram a sua “defasagem” em relação ao grupo de controle que havia sido constatada no pré-teste.

Tabela 5: Comparação entre grupos experimental e de controle no pré e pós-teste das Transformações de Galileu.

Grupo	Pré Galileu	Pós Galileu
Experimental	2,39 ± 0,68	2,76 ± 0,80
Controle	2,70 ± 0,47	2,90 ± 0,44
Valor de p	0,02*	0,32

\*Significativo ao nível de 0,05

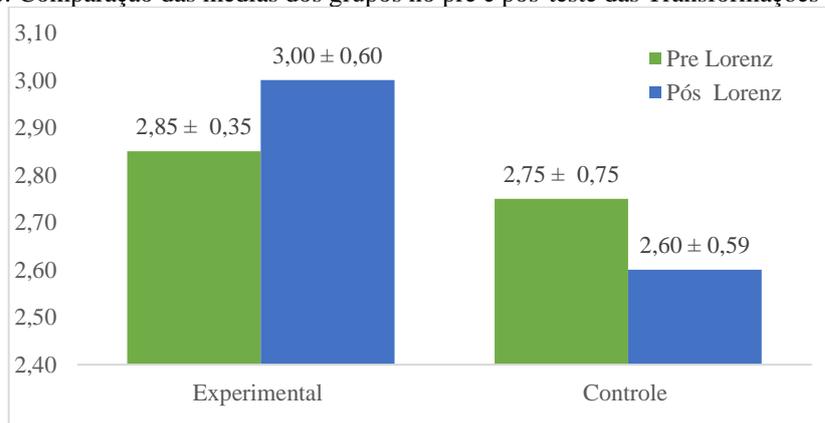
Fonte: A pesquisa (2020).

A análise desse resultado pode indicar que, ao interagir com as simulações computacionais, o grupo experimental tenha conseguido superar as diferenças entre ele e o grupo de controle encontradas no pré-teste e causadas, muito provavelmente, pelos conhecimentos prévios do grupo de controle.

## 6.6 GRUPO EXPERIMENTAL X GRUPO DE CONTROLE – TRANSFORMAÇÕES DE LORENTZ

Com relação às Transformações de Lorentz, conforme apresentado no Gráfico 6, percebe-se que o grupo experimental obteve aumento na sua média entre pré-teste (2,85) e o pós-teste (3). Por outro lado, o grupo de controle apresentou uma redução em sua média do pré-teste (2,75) para o pós-teste (2,60). Analisando os resultados, o grupo experimental apresentou média superior ao grupo controle tanto no pré-teste quanto no pós-teste das Transformações de Lorentz. Esse resultado pode indicar que o grupo experimental possuía algum conhecimento prévio acerca das Transformações de Lorentz, entretanto, ele não causou diferença significativa com os resultados do grupo de controle.

Gráfico 6: Comparação das médias dos grupos no pré e pós-teste das Transformações de Lorentz.



Fonte: A pesquisa (2020).

Ao ser efetuado o Teste de Mann-Whitney, para comparar os resultados, percebe-se que no pré-teste não houve diferença estatisticamente significativa entre as médias ( $p = 0,43$ ) dos grupos. Contudo, essa diferença entre os dois grupos passa a ser considerada estatisticamente significativa ( $p = 0,01$ ) nas médias do pós-teste. Esse resultado retrata o

retrocesso que ocorreu com a média do grupo de controle, além do crescimento ocorrido na média do grupo experimental.

Tabela 6: Comparação entre os grupos no pré e pós-teste das Transformações de Lorentz.

<u>Grupo</u>	<u>Pré Lorentz</u>	<u>Pós Lorentz</u>
Experimental	2,85 ± 0,35	3 ± 0,60
Controle	2,75 ± 0,75	2,60 ± 0,59
Valor de p	0,43	0,01*

\*Significativo ao nível de 0,05

Fonte: A pesquisa (2020).

A análise desses grupos pode indicar que, por não interagirem com a simulação computacional, o grupo de controle acabou por ter um escore inferior no pós-teste, o que poderia indicar uma possível “regressão”. Aos olhos da pesquisadora, é possível que muitas lacunas tenham surgido com o aprofundamento da temática. Essas lacunas podem originar-se principalmente, devido ao fato de serem fenômenos não observados no cotidiano, portanto, somente através de simulações computacionais que o estudante é capaz de realizar uma modelagem do fenômeno. Aparentemente, portanto, a interação com a mediação *hipercultural* é importante para a compreensão desses estudantes.

Por outro lado, o grupo experimental demonstrou um crescimento significativo após ter esse contato com as simulações computacionais e com as outras atividades, o que indica que provavelmente passaram a compreender melhor os fenômenos após as atividades. Portanto, ao terem contato com as quatro mediações, destacando-se a mediação *hipercultural*, demonstraram adquirir uma compreensão mais completa acerca das Transformações de Lorentz.

## 6.7 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ANÁLISE QUANTITATIVA

Através dos resultados dos testes Qui Quadrado e Wilcoxon, constatou-se que no grupo experimental houve crescimento de suas compreensões tanto para as Transformações de Galileu quanto para as Transformações de Lorentz. Observa-se que crescimento em relação às Transformações de Galileu foi maior do que em relação às Transformações de Lorentz, devido, provavelmente, à maior complexidade dessa última, em que os estudantes geralmente apresentam maiores dificuldades, como pode-se constatar na revisão de literatura (ALIAS & IBRAHIM, 2013; KIZILCIK & ÜNLÜ YAVAS, 2016; ÜNLÜ YAVAS & KIZILCIK, 2017).

Por outro lado, o grupo de controle apresentou um crescimento significativo nas Transformações de Galileu para o teste de Wilcoxon, entretanto não para o teste Qui Quadrado. Nota-se que este grupo teve um crescimento significativamente inferior ao grupo experimental. Além disso, em relação às Transformações de Lorentz, o grupo de controle apresentou um retrocesso nos testes, indicando que, após terem um contato mais aprofundado com a temática, entretanto sem o uso da mediação hipercultural, possivelmente tiveram menos clareza em relação aos fenômenos.

Comparando os dois grupos, através do teste Mann-Whitney, o grupo experimental apresentou um crescimento maior para as Transformações de Galileu, e, nas Transformações de Lorentz, teve um crescimento significativo, enquanto o grupo de controle retrocedeu. Esses resultados podem indicar que a interação com os quatro tipos de mediações tenha uma importância significativa para o aprendizado dos estudantes. Ademais, percebe-se a importância da mediação *hipercultural*, por meio das simulações computacionais, o que possivelmente potencializa a aprendizagem.

Portanto, ressalta-se a importância do uso de TIC que permitam aos estudantes observar os fenômenos, principalmente ao se tratar tópicos com alto grau de abstração, como é o caso da Teoria de Relatividade Especial, onde os alunos não conseguem observar seus efeitos diretamente em seu cotidiano. O uso desse tipo de recurso pode trazer diferenças expressivas na aprendizagem dos estudantes.

## 7 RESULTADOS DA ANÁLISE QUALITATIVA

*“As palavras ou a linguagem, tal como são escritas ou faladas, não parecem desempenhar qualquer papel em meu mecanismo de pensamento. As entidades psíquicas que parecem servir como elementos do pensamento são certos signos e imagens mais ou menos claras que podem ser reproduzidas e combinadas ‘voluntariamente’”*

*(Albert Einstein)*

Este capítulo apresenta e analisa qualitativamente os resultados obtidos através das entrevistas com os estudantes. Como descrito no delineamento metodológico, as entrevistas foram realizadas através do protocolo *Report Aloud* (TREVISAN et al., 2019). Todas elas foram gravadas na íntegra, e a análise das mesmas se deu através dos vídeos e de suas transcrições, por meio da Análise Gestual Descritiva (CLEMENT, 1994; CLEMENT & STEINBERG, 2002; MONAGHAN & CLEMENT, 1999; STEPHENS & CLEMENT, 2010).

Entre os 82 estudantes que participaram da pesquisa, 14 foram selecionados para serem entrevistados, sendo eles A1, A7, A9, A14, A15, A18, A19, A21, B9, B14, D3, D19, D23 e D26. Buscou-se contemplar diferentes níveis de compreensão e situações – estudantes que tiveram crescimento em um ou nos dois questionários e estudantes que mantiveram os mesmos resultados.

A partir das entrevistas constataram-se indícios da presença de quatro níveis de compreensão, entre os quais os estudantes foram classificados. É importante ressaltar que esses níveis não são os mesmos nos quais os questionários foram classificados (CT, CP, CE e NC). Os níveis de compreensão percebidos durante as entrevistas levam em consideração o desenvolvimento de simulações mentais pelos estudantes, além de aspectos epistemológicos e ontológicos de suas compreensões. Dessa forma, iremos chamá-los de estágios, pois cada estudante aparentemente encontra-se em algum estágio de compreensão, podendo evoluir para outro estágio considerado mais elevado.

Esses estágios foram ordenados de forma crescente de compreensão, sendo o Estágio I o mais primitivo, enquanto o Estágio IV seria o de uma compreensão mais completa,

epistêmica e ontologicamente. Aos olhos da pesquisadora no Estágio I encontram-se os estudantes B14 e D3, no Estágio II estão A9, A19 e B9, no Estágio III os estudantes A1, D19 e D26, e, por fim, no Estágio IV, A14, A15, A18 e D23. Dois estudantes, A7 e A21, não foram enquadrados em nenhum dos quatro estágios, sendo os “casos especiais” do estudo.

A seguir são abordados os quatro estágios, bem como as características em comum apresentadas pelos estudantes em cada um deles. Então são trazidos os dois casos especiais e os estágios são discutidos. Destaca-se que a análise se centrou nas imagens e simulações mentais desenvolvidas pelos estudantes após as atividades, que tiveram uma duração total de quatro meses, fazendo-se inferências a respeito de aspectos epistemológicos e ontológicos ligados aos perfis conceituais dos estudantes.

## 7.1 ESTÁGIO I

O Estágio I consistiria em um mais primitivo de compreensão das Transformações de Lorentz. Nele estão contemplados os estudantes que aparentemente não conseguem compreender o funcionamento das Transformações de Lorentz e da Teoria da Relatividade Especial. São estudantes que demonstraram possuir compreensões pré-galileanas, como a ideia de movimento absoluto e/ou referencial privilegiado.

Na análise, encontraram-se indicações de que esses alunos associam à percepção as mudanças ocorridas no espaço ou no tempo com a troca de referencial, ou sequer percebem que há alguma mudança – nem mesmo na percepção – por provavelmente não conseguirem concebê-la. As imagens mentais dos estudantes no Estágio I demonstraram-se não nítidas, além disso, eles não demonstraram conseguir transpor as situações e exemplos abordados para outras circunstâncias.

Dentro da amostra de estudantes entrevistados, encontram-se no Estágio I as estudantes B14 e D3. A estudante D3, durante a entrevista, demonstrou aparentemente não compreender o funcionamento das Transformações de Lorentz na Teoria da Relatividade Especial. Ela apresentou indícios de que provavelmente associa as mudanças no espaço e tempo à percepção, além de não demonstrar possuir imagens mentais nítidas de situações em altas velocidades.

Quando a estudante explica suas respostas nos questionários é possível compreender a sua concepção. Para a questão 3 do teste de Lorentz, “Agora, considerando que o caminhão 1 se movesse com uma velocidade muito alta ( $0,7c$ ), a distância que ele irá percorrer, medida por ele até o caminhão 2 seria”, a estudante marcou a opção “igual a 100 m” tanto no pré-teste quanto no pós-teste.

[16:11] D3: Eu pensei a mesma coisa que nem antes, se andar na velocidade da luz, ele só vai chegar mais rápido até o caminhão 2, porém ele vai ter que andar os 100 m igual. Não vai mudar nada os 100 m.

E: E tu imagina essa imagem na tua cabeça? Do caminhão indo mais rápido?

D3: É que na velocidade da luz, eu não consigo imaginar uma coisa, tipo, tão [#RAP 16:28] rápido assim, mas ele andaria os 100 m igual.

É possível constatar nesse trecho traços da ideia de espaço absoluto por parte da estudante, o que sugere a ideia de que a distância não pode ser alterada, independente da velocidade do objeto. Enquanto fala, a estudante realiza o gesto #RAP (Figura 31), onde posiciona as duas mãos fechadas à sua frente, então as abre e as aproxima novamente rapidamente, indicando algo se movendo em altas velocidades.

Como indicado por esse gesto descritivo, além de mencionado pela própria estudante no trecho, ela demonstra não possuir uma imagem nítida desse caminhão que está em movimento a uma velocidade de  $0,7c$ . Através da explicação da estudante e por meio da análise de seus gestos, pode-se aferir que a ela provavelmente tem a ideia de um borrão quando algo se movimenta em altas velocidades.

Figura 31: Gesto #RAP feito pela estudante D3.



Fonte: A pesquisa (2020).

De forma semelhante a D3, a estudante B14 demonstra também indícios da ideia de que o espaço não se modifica. Portanto, em sua concepção, com uma velocidade maior, o caminhão 1 apenas chegará mais rápido até o caminhão 2. Essa estudante não demonstra compreender que ocorra algum tipo de mudança, nem mesmo na percepção. De acordo com a estudante, conforme o caminhão 1 se movimenta, ele se aproxima do caminhão 2, assim a distância entre os dois diminuiu, mas o caminhão 1 ainda percorreria os 100 m.

Através da análise de sua entrevista, a estudante B14 não demonstrou conseguir conceber que pudesse ocorrer uma mudança no espaço, mesmo que na percepção. Indícios

dessas ideias surgem quando ela explica suas respostas, também para a questão 3 do teste de Lorentz, durante a entrevista. Segue o trecho referente abaixo.

[09:15] E: [...] Tu colocou em ambos os questionários que seria menor do que 100 m. Como que tu chegou nessa resposta?

B14: Porque como ele tá se movendo a, a distância [#DIS2 09:25] vai diminuindo, isso mais ou menos que eu raciocinei.

E: Por que ele tá se aproximando do outro?

B14: Isso, cada vez mais perto né, porque o outro tá parado. [...] Eu acho que seria menor de 100 porque o a c ele é mais rápido né. Eu acho que seria menor de 100 m daí.

E: Mas por que tu pensa que a distância diminuiria?

B14: Porque daí ele taria andando mais rápido, não sei, acho que...

E: Ele ia tá se aproximando?

B14: É, aí cada vez mais próximo um do outro.

Figura 32: Gestos #DIS2 feito pela estudante B14.



Fonte: A pesquisa (2020).

A estudante B14 também realiza um gesto, similar ao da estudante D3. No gesto #DIS2 (Figura 32) ela põe as duas mãos à sua frente, então aproxima a mão esquerda da direita, indicando a distância que é percorrida pelo caminhão. Ou seja, aparentemente ela não possui uma imagem mental de uma contração espacial, mas sim de um caminhão se aproximando do outro ao percorrer certa distância, como em uma situação cotidiana.

Em relação ao fenômeno da dilatação temporal, a estudante D3 apresentou indícios de que o relaciona com a percepção. Ao falar sobre a atividade realizada com a simulação computacional “Dilatação do Tempo”, a estudante explica como imaginou que seria a passagem de tempo para alguém que estivesse dentro do trem da simulação.

[25:08] D3: Que ele ia tá andando e aí a pessoa não ia perceber que o tempo tava andando, então pra ela ia passar mais rápido, pra alguém que tivesse aqui fora vendo ele passar. É que nem a gente tá aqui parada fazendo alguma coisa o tempo pra nós não passa muito rápido, ou quando a gente tá numa aula que a gente não gosta, o tempo não passa rápido, mas se a gente tá numa aula que a gente gosta o tempo passa mais rápido parece.

Como pode-se notar no trecho acima, há indícios de que a estudante entende que, mesmo a simulação mostrando intervalos de tempo diferentes para os dois referenciais, estação e trem, essa diferença estaria ligada à percepção da passagem do tempo. A aluna inclusive compara a situação com momentos cotidianos em que o tempo parece passar mais rápido por estar entretida, ou seja, relaciona com um tempo psicológico.

Em outro momento durante a entrevista, quando fala sobre a atividade com a simulação “Contração do Espaço”, a estudante apresenta novamente alguns traços de concepções de que as mudanças no espaço estariam relacionadas à percepção.

[28:37] D3: [...] É que nem a gente vê um carro na faixa, se ele tiver andando bem rápido ele vai passar mais rápido pela gente. Daí parece que ele tá diminuindo também. [...]

E: Então tu acha que é mais uma percepção que se tem de que fica menor?

D3: É. Não que ele realmente fica menor. [...] É, ele parece, ele de fato não encolhe.

Nesse trecho, novamente a estudante demonstra indícios de que acredita que as mudanças no tamanho de um objeto estariam relacionadas à percepção que temos dele. Por mais que na simulação sejam indicados os comprimentos do trem medidos por alguém dentro dele e por alguém na estação, a estudante aparentemente acredita que a diferença seja porque quem o vê passando na estação tem a percepção que ele seja menor. Aqui ela também faz comparação com situações cotidianas, com carros em uma rodovia.

Através desses indícios, pode-se supor que a estudante não consiga conceber a ideia de que o intervalo de tempo e o espaço possam ser diferentes para diferentes referenciais. Muito provavelmente, principalmente pelos exemplos que a estudante utiliza, essa dificuldade pode estar associada ao fato de não vivenciar esses fenômenos em situações cotidianas. Além disso, em outros momentos das entrevistas, as duas estudantes demonstraram indícios de concepções pré-galileanas de movimento. Ambas não demonstraram possuir a concepção de velocidade relativa, aparentemente acreditando em uma ideia de movimento real e movimento aparente.

Ao falar sobre suas repostas para as questões 5, “Na figura, você está no carro cinza. Seu velocímetro mede 40 km/h. Qual é a velocidade de seu carro em relação a um helicóptero voando muito baixo indo na mesma direção que seu carro, com uma velocidade relativa ao solo de 200 km/h?”, e 7, “O caminhão branco está viajando em sua direção. Se o velocímetro do caminhão indicar 40 km/h, qual é a velocidade do caminhão em relação ao helicóptero?”, do Teste de Galileu, a aluna B14 mostra indícios dessa ideia.

E: E aqui (*pós-teste*) que tu colocou 40 km/h, como é que tu chegou nessa conclusão?

B14: Porque como o veículo estaria na, na média de 40, eu imaginei que ele estaria passando também mais ou menos por isso.

E: Independente de ser o helicóptero ou...

B14: É.

E: A velocidade dele não iria mudar?

B14: É, isso.

[...] E: A segunda pergunta dessa parte, agora pedia a velocidade do caminhão com relação ao helicóptero. E aqui na primeira (*pré-teste*) tu colocou 140 km/h e depois tu colocou 40 também. O que tu pensou em cada situação?

B14: Aqui (*pré-teste*) eu acho que eu fiz a junção, né, de mais ou menos a velocidade do caminhão. E aqui (*pós-teste*), daí eu usei o 40 que estava no, na pergunta né. Porque eu acho que o caminhão não dá pra andar no 140.

E: Tu pensou da mesma forma que no anterior?  
 B14: É, aham.

Nesse trecho a estudante demonstra indícios de que acredita que, independentemente do referencial, a velocidade de um objeto seria a mesma. Assim, tanto a velocidade do carro quanto a velocidade do caminhão, no referencial do helicóptero seriam as mesmas que no referencial do solo, 40 km/h. Essas ideias descritas sugerem a possibilidade de que a estudante possua uma alguma concepção de velocidade absoluta, conseqüentemente uma ideia de um movimento absoluto.

Da forma semelhante, ao falar sobre suas respostas também para a questão 5 do Teste de Galileu, a estudante D3 demonstra possuir concepções similares. Conforme seu entendimento, o movimento do carro seria o mesmo se comparado ao solo ou ao helicóptero, ao qual a estudante se referiu como avião.

[04:23] D3: O, o avião tá em cima de mim e eu tô andando com o meu carrinho bem de boa. Se ele tá a 200 lá ele taria a 200 aqui no chão igual. Assim como se eu tô a 40 aqui eu taria a 40 lá em cima também. Não muda porque seria igual, seria uma pista [04:35 #PIS] lá em cima e uma pista aqui embaixo, então não muda.

Percebe-se no trecho, indicações de que a estudante não compreenda a ideia de movimento e velocidade relativos, possivelmente possuindo uma concepção de movimento absoluto. A estudante inclusive realiza o gesto #PIS (Figura 33), onde a aluna põe sua mão direita à sua frente acima e abaxo, indicando as pistas que imagina, sugerindo a ideia de que imagina diferentes pistas onde a movimentação do carro seria a mesma.

Figura 33: Gesto #PIS realizado pela estudante D3.



Fonte: A pesquisa (2020).

Portanto, a dificuldade apresentada pelas estudantes em compreender as Transformações de Lorentz e a Teoria da Relatividade Especial, possivelmente pode ser justificada pelo déficit que demonstraram na compreensão de movimento relativo. Aos olhos da pesquisadora, essas dificuldades sugerem que as estudantes possam estar em um nível pré-galileano de compreensão de movimento, o que se torna uma barreira para que consigam compreender as Transformações de Lorentz.

Assim, por meio da análise das entrevistas das estudantes, percebem-se alguns indícios que sugerem que ambas não possuam a região newtoniana do perfil conceitual de referencial

bem desenvolvida. Deste modo, elas possivelmente acabam por associar tanto eventos explicados pela Relatividade de Galileu quanto eventos explicados pela Relatividade Especial de Einstein à região do senso comum de seu perfil conceitual. Como constatado por Ayala Filho e Frezza (2007) e Ayala Filho (2010), isso se mostra uma barreira epistemológica ao desenvolvimento da região relativística do perfil.

## 7.2 ESTÁGIO II

No Estágio II encontram-se os estudantes que demonstraram possuir um pouco de compreensão em relação às Transformações de Lorentz e à Teoria da Relatividade Especial. Entretanto, esses estudantes aparentemente não compreendem plenamente o funcionamento da TRE e entendem que ela só se aplica a situações específicas. Dessa forma, parecem não conceber o fator gama como gradativo e proporcional à velocidade, condicionando os efeitos relativísticos somente a “velocidades muito altas”.

Os resultados das entrevistas sugerem que para os estudantes nesse estágio as mudanças tanto nos intervalos de tempo quanto no espaço para os referenciais estão ligadas à percepção, ou seja, não ocorrem realmente. Assim, quando algo se movimenta com velocidades consideradas muito altas, a percepção do tempo e do espaço se alteraria. Assim como os estudantes do Estágio I, no Estágio II os alunos não demonstraram possuir imagens mentais nítidas formadas sobre situações em velocidades consideradas relativísticas.

Dentro desse grupo, dos entrevistados, encontram-se os estudantes A9, A19 e B9. A estudante A19 demonstrou possuir uma compreensão básica das Transformações de Lorentz e da TRE. Por meio da entrevista, percebem-se indícios de que ela compreende que existem diferenças nos intervalos de tempo e no espaço para diferentes referenciais, entretanto que ela relacione essas diferenças à percepção.

Além disso, a estudante A19 aparentemente condiciona as diferenças no espaço ou no tempo somente a velocidades consideradas “muito altas”. Essa ideia sugere que ela não compreenda que o fator gama seja gradativo e que as diferenças nas medições de diferentes referenciais estão sempre presentes, porém em maior ou menor escala, dependendo da velocidade entre os referenciais.

A ideia de que as mudanças no espaço estejam relacionadas à percepção pode ser percebida quando a aluna explica sua resposta para a questão 3 do teste de Lorentz, “Agora, considerando que o caminhão 1 se movesse com uma velocidade muito alta ( $0,7c$ ), a distância que ele irá percorrer, medida por ele até o caminhão 2 seria”. Nessa questão, a estudante marcou a opção “igual a 100 m” no pré-teste e a opção “menor que 100 m” no pós-teste.

[13:00] A19: Aqui (*pré-teste*) eu pensei que a distância não ia mudar, se é 100 m, vai continuar sendo 100 m. Então por isso que eu coloquei isso. Já aqui (*pós-teste*), depois das aulas, já a gente entendeu né que, quando uma velocidade é maior tu não consegue ter, ver certo né qual é a distância. Então eu imaginei que seria menor que 100, menor que 100, porque eu estaria a uma velocidade muito alta e não teria essa, esse discernimento pra quantidade, a distância.

E: E se fosse uma velocidade de  $0,5c$ , por exemplo?

A19: Acho que seria a mesma coisa também. Porque também é uma velocidade muito alta.

Apesar de ter marcado a resposta correta no pós-teste, o que indica uma compreensão básica, a estudante afirma que não poderia discernir o tamanho dos objetos por estar em uma velocidade muito alta. Essa afirmação é um indício de que essa aluna acredite que a distância não mude realmente, mas somente a percepção dela.

Além de demonstrar a ideia da mudança do espaço ligada à percepção, no trecho a estudante traz alguns indícios também de uma concepção de que o fator gama, e consequente as mudanças, só surgiriam em velocidades consideradas muito altas. Essa ideia pode ser percebida na parte final do trecho, onde ela afirma que uma velocidade de  $0,5c$  também seria considerada “muito alta”.

De forma similar, a estudante B9 apresentou indicações de possuir essa mesma ideia de distorção da percepção do comprimento dos objetos em altas velocidades. Traços dessa concepção surgem quando a estudante comenta sobre a atividade realizada com a simulação computacional “Contração do Espaço”.

[16:26] B9: Como o trem, como quem tá fora o comprimento é menor porque o trem passou mais rápido [#TREM 16:33], tipo, parece que encurtou eu acho, alguma medida, alguma coisa.

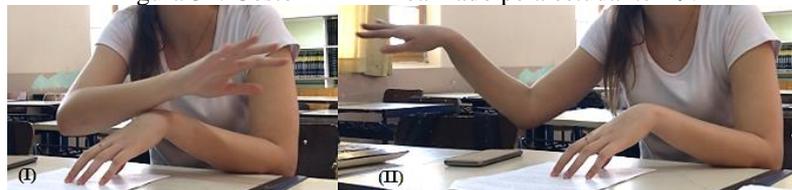
E: Tu acha que é uma coisa de impressão que tá rápido e parece que fica menor?

B9: É, é, isso. E como pra quem tá dentro é, parece normal porque tu tem que seguir aquilo lá pra frente né. [...] Quando ele passa [#TREM 18:26] parece que tu não vai ver tudo, porque ele passou muito ligeiro.

Enquanto explica sua compreensão do fenômeno, a estudante B9 inclusive realiza um gesto descritivo similar com os realizados pelas estudantes B14 e D3, sugerindo que, embora tenha uma compreensão básica da TRE, ainda assim não possui uma imagem mental nítida formada para situações relativísticas. No gesto #TREM (Figura 34), a estudante movimentou a mão direita à sua frente, da esquerda para a direita, indicando o movimento do trem que passa

“muito ligeiro”. Pela similaridade deste gesto com os das outras estudantes, pode-se considerar que a estudante imagine um borrão.

Figura 34: Gesto #TREM realizado pela estudante B9.



Fonte: A pesquisa (2020).

Ainda ao falar sobre a atividade com a simulação computacional “Contração do Espaço”, as afirmações da estudante A9 sugerem a crença de que as mudanças na medida do comprimento do trem para os dois referenciais estariam apenas relacionadas à percepção, não seriam reais.

[24:23] A9: Por causa da velocidade que ele passaria, que daria pra, assim, achar que ele é um pouquinho menor, pela velocidade mesmo.

E: Tu não acha que ele pode ser realmente menor num referencial do que no outro? Que o tamanho dele encolheu mesmo?

A9: Não, encolher não encolheu, é pelo jeito que tu olhar que ele vai tá, como ele vai tá em movimento que vai parecer menor, mas pra mim o comprimento vai ser o mesmo.

Como a estudante afirma no trecho, o trem “vai parecer menor”, essa afirmação indica que, nas concepções da estudante, o comprimento do trem continuaria o mesmo, ele somente pareceria menor para quem vê ele passando na estação devido à sua velocidade.

Tratando-se do fenômeno da dilatação do tempo, a estudante A19 também apresentou indicações de que o considera como um fenômeno de percepção. Ao falar sobre a atividade realizada com a simulação computacional “Dilatação do Tempo” a estudante demonstra sua ideia ao explicar as diferenças nos intervalos de tempo na estação e no interior do trem.

[20:43] A19: É, o tempo da estação passa mais rápido, porque o, tipo o trem passa muito rápido então não, quem tá dentro do trem não consegue perceber isso, porque tá indo muito rápido. Mas quem tá na estação, tá tipo, no tempo normal, digamos.

Nesse trecho a estudante apresenta indícios de que relaciona a dilatação temporal à percepção da passagem do tempo, creditando as diferenças observadas na simulação com um tempo psicológico. Ela inclusive utiliza o termo “tempo normal” para se referir ao intervalo de tempo para quem está na estação, o que sugere que provavelmente possui a ideia de um tempo absoluto.

Assim como ela, a estudante A9 fez algumas afirmações durante a entrevista que sugerem essa concepção de percepção diferente do tempo para diferentes referenciais. Ao falar

sobre a questão 7 do teste de Lorentz, “Agora, se o cruzeiro viajar a uma velocidade muito alta (0,7c), o tempo que terá passado para a amiga em viagem será”, a estudante traz indícios.

[16:01] A9: Eu acho que, independente também se ele tá vivendo a vida dela normal ou no navio, seria, tipo, o mesmo tempo. Só que passaria de jeitos diferentes pra cada uma, mas um ano igual.

E: O tempo ia ser o mesmo?

A9: É. Uma taria fazendo qualquer outra coisa assim, distraída, vamos supor que ela tivesse num cruzeiro, alguma coisa, passaria um ano pra ela talvez mais rápido na percepção dela, mas passaria um ano igual é pra quem não tá no navio.

Como pode-se perceber no trecho, a estudante traz indícios de uma concepção de que o tempo transcorrido para os dois referenciais, de cada uma das amigas, seria o mesmo, independentemente de suas velocidades. Conforme o trecho indica, aos olhos da estudante, tempo apenas passaria de formas diferentes, pois a percepção de tempo de cada uma seria diferente, devido ao fato de uma delas estar viajando no navio.

Em outro momento, quando a mesma estudante discorre sobre a atividade feita com a simulação computacional “Dilatação do Tempo”, novamente ela apresenta indícios da ideia de que o tempo somente pareça passar diferente para diferentes referenciais.

[20:09] E: Tu achou que ia marcar o mesmo tempo (*na simulação*) no ponteiro?

A9: É, eu acho. É a mesma coisa só que pra pessoa que taria dentro do trem, ela taria distraída, então ela não veria o tempo passar da mesma forma que uma pessoa que tá do lado de fora. Só isso, mas horário pra mim é o mesmo, o tempo é a mesma coisa, segundos são iguais, não muda nada.

Conforme a estudante afirmou no trecho, “segundos são iguais, não muda nada”, isso sugere que a estudante possua a concepção de tempo absoluto. A ideia de que o tempo passaria de uma única forma, independentemente do referencial adotado, e que apenas a percepção da passagem do tempo seria diferente em determinadas situações.

A estudante B9 também trouxe indicações da concepção de mudanças relacionadas à percepção para os intervalos de tempo em diferentes referenciais. Ao explicar como reagiu à atividade com a simulação computacional “Dilatação do Tempo”, a estudante traz alguns indícios dessa ideia.

[13:37] B9: Tá, quando eu tô dentro do trem pra mim eu acho que... Ai, como é que eu vou explicar isso.

E: Fala do jeito que tu imagina.

B9: Que nem... Tá, o tempo quando eu tô dentro do trem parece que sim, parece que eu tô indo mais devagar por causa que não aquela mesma velocidade que alguém que tá olhando de fora né. Que alguém quando tá olhando de fora, parece que o trem passa [#TREM 14:18] muito ligeiro. A mesma coisa dentro do carro também, parece que tu tá andando normal assim, só que pra alguém que tá do lado de fora parece que passa mais rápido.

No trecho, a estudante afirma que “parece” que está mais rápido ou mais devagar em relação à passagem de tempo. Isso indica que possivelmente ela relaciona as mudanças no tempo à percepção da passagem dele, que, como o trem se movimenta rápido, iria parecer que passou diferente. Aqui novamente ela realiza o gesto #TREM (Figura 34), sugerindo que não possui uma imagem mental nítida desse trem viajando em altas velocidades.

Ao falar sobre a atividade realizada com a simulação computacional “Contração do Espaço” a estudante A19 novamente apresenta indícios de uma ideia de espaço absoluto, onde as mudanças entre os referenciais seriam simplesmente perceptivas.

[23:34] A19: Eu imagino como se eu tivesse vendo o trem passar e se ele estiver com uma velocidade muito alta eu não vou ter como medir ele, tipo medir assim né, porque eu não vou conseguir nem ver ele direito né, nessa velocidade então.

Ao afirmar que não conseguiria “ver o trem direito” a estudante também demonstra não apresentar imagens mentais nítidas das situações relativísticas, da mesma forma que a estudante B9, como mostrado anteriormente. Ela afirma não conseguir “ver” o trem e, por isso, ele aparentar ser menor, o que indica que em sua concepção ele não seja realmente menor em um referencial do que no outro.

A estudante A9 também não demonstrou possuir imagens mentais nítidas das situações. Em nenhum momento durante a entrevista a estudante afirma ter visualizado alguma imagem ou sequer realiza gestos que indiquem isso.

O fato de as três estudantes aparentemente associarem as mudanças no espaço ou no tempo dos referenciais à percepção sugere que elas estejam associando fenômenos relativísticos à uma interpretação newtoniana, o que se torna uma barreira para que compreendam a TRE (AYALA FILHO & FREZZA, 2007; AYALA FILHO, 2010). Assim, por meio da análise desses resultados, aos olhos da pesquisadora pode-se supor que, por mais que essas estudantes já tenham a região newtoniana do perfil conceitual de referencial, ainda não desenvolveram a região relativística.

### 7.3 ESTÁGIO III

O Estágio III pode ser entendido como o meio termo entre os estágios II e IV. Nesse nível de compreensão os estudantes classificados começam a demonstrar perceber os efeitos relativísticos no espaço e no tempo como reais, além de aparentemente entender melhor o

funcionamento da TRE. Os estudantes no Estágio III demonstram a mesma compreensão em relação à contração espacial que os no Estágio II, ou seja, como algo relacionado à percepção e que somente ocorreria para velocidades consideradas “muito altas”.

Em relação à dilatação temporal, os alunos nesse estágio demonstraram a mesma compreensão que os no Estágio IV. Entendendo que seja um fenômeno real, os intervalos de tempo para diferentes referenciais seriam, de fato, diferentes. Além disso, apresentaram indícios da percepção do fator gama como proporcional à velocidade para a dilatação do tempo. Assim, supõe-se o entendimento de que o fenômeno ocorra mesmo em baixas velocidades, mas em proporções muito menores.

Entre os estudantes entrevistados, categorizaram-se no Estágio III os alunos A1, D19 e D26. A estudante D26 demonstrou ter uma boa compreensão sobre as Transformações de Lorentz para a Relatividade Restrita, mas ainda assim incompleta. A estudante apresenta indícios da compreensão de que mudanças entre os intervalos de tempo de um referencial para o outro seriam reais, contudo, mostra compreender as mudanças no espaço relacionadas à percepção. Da mesma forma, trechos da entrevista sugerem que compreenda o fator gama como gradativo para os efeitos em relação ao tempo, entretanto, não para o espaço.

Quando comenta sobre suas respostas para a questão do 3 do teste de Lorentz, “Agora, considerando que o caminhão 1 se movesse com uma velocidade muito alta ( $0,7c$ ), a distância que ele irá percorrer, medida por ele até o caminhão 2 seria”, para a qual a estudante marcou a opção “igual a 100 m” no pré-teste e “menor que 100 m” no pós-teste, ela afirma que ocorre uma “diferença na percepção”.

[17:41] D26: Menor. Porque essa, né, por ser uma velocidade muito rápida aí teria uma, uma diferença na percepção, que seria [#MED 18:10] muito mais, essa medida seria menor. E também a minha, já não foi muito confiante também.

[18:43] E: E se fosse uma velocidade de  $0,5c$ , por exemplo?

D26: Seria, seria rápido também.

Com essa afirmação, pode-se supor que a estudante relacione as mudanças no espaço à percepção. Também se observa que, como a estudante afirma “seria rápido também” ao ser questionada sobre uma velocidade de  $0,5c$ , ela não provavelmente não possui a concepção de um fator gama gradativo, isto é, aparentemente tem a ideia de que em velocidades consideradas altas ocorrem os efeitos, mas em velocidades baixas não.

Além disso, essa ideia de diferença na percepção também está implícita no gesto #MED (Figura 35) realizado pela estudante, onde ela movimenta a mão direita a sua frente indicando o movimento rápido do caminhão a  $0,7c$ , sendo algo que não poderia ser visto nitidamente, como afirmado pela estudante. Esse gesto se assemelha com os das estudantes de

menores níveis de compreensão, A9, B9, B14 e D3, que não demonstraram possuir imagens mentais nítidas, o que indica que esta estudante também não possua uma imagem ou simulação mental clara para a contração espacial.

Figura 35: Gesto #MED realizado pela estudante D26.



Fonte: A pesquisa (2020).

A estudante D19 também apresentou indicações de possuir a mesma ideia de mudança na percepção para o fenômeno da contração espacial. Essas indicações surgem quando a estudante explica sua resposta também para a questão 3 do pós-teste de Lorentz, em que ela marcou “menor que 100 m” no pós-teste.

[13:15] E: Aqui (*pós-teste*) tu marcou menor.

D19: Sim, porque quando tão numa velocidade mais alta tu percebe que é, parece, parece ser menor.

[...] E: E aqui tu falou dessa questão que o espaço parece ser menor. Pra ti é uma questão de percepção, que pra pessoa que tá se movendo rápido parece que ele tá mais curto?

D19: É, eu acho que sim.

E: Não que ele encolheu de verdade?

D19: Não, eu não acho que encolheu de verdade. Eu acho que é só percepção.

Nesse trecho, as afirmações da estudante D19 “parece ser menor” e “é só percepção”, são indícios de que ela entenda as mudanças no espaço como perceptivas. Embora não realize gestos descritivos, a estudante D19 também traz evidências de que não possui imagens mentais nítidas para situações relativísticas. Ao falar sobre a atividade realizada com a simulação computacional “contração do espaço”, a estudante afirmou não conseguir imaginar - “ver” - nitidamente o trem se movendo muito rápido.

[21:09] E: E quando tu pensa nessa imagem, de ver o trem passando com uma velocidade muito alta, como é que é esse trem que tu imagina?

D19: Eu, eu imagino um trem rápido, tipo, normal, só que andando muito rápido. Como às vezes a gente vê os carros passando rápido e parece ser menor do que realmente é.

E: E tu consegue ver ele nitidamente quando ele passa rápido?

D19: Não, não. [...] Um borrão.

Como a estudante afirma no trecho, ela imagina o trem muito rápido, sendo ele “um borrão”. Essa é uma indicação de que ela provavelmente não possui imagens mentais nítidas para situações relativísticas. Ao falar sobre a atividade realizada com a simulação

computacional “Contração do Comprimento”, a estudante A1 demonstra essa mesma concepção que D19.

[22:43] E: Perguntava agora em relação ao comprimento do trem, medido por alguém dentro e por alguém fora do trem. Daí na primeira situação, de novo, o trem tava a 50 km/h. Como é que vocês imaginaram que seria a medida do comprimento?

A1: A gente imaginou a gente de fora, no caso, pra gente ter essa noção do comprimento. Se a gente imaginar a gente dentro a gente vai ter uma noção bem ampla do espaço, a gente pensou. E quem tá, tipo na rua, por exemplo, e passa [#TREM2 23:09] rápido e tu não tem, tipo, toda essa noção [#TREM2 23:13] do comprimento. Ele passa mais rápido [#TREM2 23:15] e fica, não imperceptível, mas fica um pouco menor, assim [#TREM2 23:20] no nosso olhar. E a gente começou a imaginar isso e a gente escreveu.

Figura 36: Gestos #TREM2 realizado pela estudante A1



Fonte: A pesquisa (2020).

Nesse trecho percebem-se indícios de que a estudante associe a mudança do comprimento do trem na simulação com a percepção do observador, principalmente por ela usar as expressões “noção” e “no nosso olhar”, indicando o que observado. Além disso, a estudante A1 realiza o gesto #TREM2 (Figura 37), onde coloca sua mão direita aberta a sua frente e a movimenta rapidamente para a direita, indicando o movimento do trem que passa rápido.

Esse gesto assemelha-se com o gesto #MED (Figura 35) realizado pela estudante D26, também em relação ao comprimento dos objetos em movimento. Da mesma forma, ele indica que a estudante provavelmente não consegue ter uma imagem ou simulação mental nítida desse trem se movendo em alta velocidade, o que poderia ser o motivo da associação da mudança no seu comprimento à percepção.

Em outro trecho, ainda falando sobre a simulação computacional “Contração do Comprimento”, novamente a estudante apresenta indícios dessa ideia de percepção do comprimento menor a partir de um outro referencial.

[26:50] E: E quando tu tenta pensar nisso do trem menor, que imagem te vem na cabeça?

A1: É, tipo, pra mim tá certo isso, porque muitas vezes a gente tá parado, por exemplo, e passa um carro muito rápido [#CAR9 27:05] pela gente, aí a gente não vê o comprimento dele real, real. A gente enxerga ele, querendo ou não, um pouco menor, porque a velocidade dele tá muito alta. E a mesma coisa aconteceu aqui (*simulação*).

Figura 37: Gesto #CAR9 realizado pela estudante A1.



Fonte: A pesquisa (2020).

Como relatado pela estudante A1 no trecho, se um objeto passa em alta velocidade para algum referencial, alguém naquele referencial “não vê o comprimento real” dele, ou seja, teria a impressão de que ele está menor. Essa afirmação é mais uma indicação que a estudante compreenda a contração do comprimento como um efeito de percepção.

Aqui a aluna realiza novamente um gesto descritivo, o gesto #CAR9 (Figura 37), onde coloca a mão direita sobre a mesa, indicando o observador parado, e movimenta sua mão esquerda rapidamente da direita para a esquerda, indicando o carro que passa em alta velocidade. Esse gesto rápido se assemelha com o realizado por ela anteriormente, sugerindo uma imagem mental não nítida de objetos em movimento em altas velocidades.

Em relação ao fenômeno da dilatação temporal, em outro momento de sua entrevista, a estudante D26, ao falar sobre a questão 7 do teste de Lorentz, “Agora, se o cruzeiro viajar a uma velocidade muito alta ( $0,7c$ ), o tempo que terá passado para a amiga em viagem será”, onde a ela escolheu a opção “um ano” no pré-teste e a opção “menor que um ano” no pós-teste, mostra indicações de uma compreensão de mudança real para o tempo.

[20:36] D26: Um ano. Por não ter, não ter conhecimento né dessa velocidade, nem muito menos dessa, que teria uma mudança de tempo. Aí aqui (*pós-teste*) já foi diferente, aqui já foi menor que um ano pra pessoa que tava ãh viajando né. Porque, por ser uma velocidade maior.

E: Por causa que como a velocidade é grande daí o tempo fica menor?

D26: Isso.

No trecho acima a estudante afirma “teria uma mudança de tempo” e “foi menor que um ano”, referindo-se a mudança nos intervalos de tempo como reais, e não ligadas à percepção. Essas afirmações sugerem a compreensão da dilatação temporal como fenômeno real. Em outro momento, falando ainda sobre a mesma questão do teste, a estudante novamente apresenta essa concepção.

[21:27] E: E essa questão do tempo assim, tu pensa que ele realmente passou menos pra uma e pra outra, ou que ela percebeu menos o tempo que a outra?

D27: Eu já penso que passou menos pra uma do que pra outra.

E: Que realmente passou mais devagar pra que tá viajando?

D27: Isso, isso.

E: E se fosse, aqui também, e se fosse uma velocidade de  $0,5c$ , como tu acha que ia ser essa situação?

D27: Seria um pouquinho, um pouquinho diferente, mas não totalmente assim chegando a esse dos 56. [...] seria mais parecido com o  $0,7c$  do que com o 56.

Nesse momento, além de novamente referir-se à dilatação temporal como um fenômeno real, a estudante demonstra uma concepção do fator gama como gradativo, ou seja, quanto maior a velocidade, maior a diferença entre os tempos medidos nos dois referenciais. Isso é apresentado quando a estudante afirma que com uma velocidade de  $0,5c$  “seria um pouquinho diferente” de  $0,7c$ , mas não parecido com os 56 km/h. Também para a questão 7 do teste de Lorentz, a estudante D19 apresentou uma concepção semelhante da aluna D26.

[15:57] E: Aqui (*pré-teste*), o que tu pensou?

D19: É a mesma questão, eu achava que não mudaria, antes de conhecer. Aí depois das aulas eu percebi que muda quando a velocidade tá muito alta. Por isso que eu botei menor, que o tempo passa mais, mais rápido pra quem tá lá. Não, mais rápido pra quem... Agora eu me confundi...

E: Aqui tu botou que foi menor pra pessoa que viajou.

D19: Isso, isso. Passa mais rápido pra quem tá, tá fora do navio, não tá viajando.

E: Sim. E aqui também se a gente usasse  $0,5c$ , como é que ia ser?

D19: Em relação a  $0,7$  ou em relação a...?

E: Em relação aos dois, como é que ia ser. Ia ter diferença?

D19: Ia ter diferença, mas não muito.

De forma análoga a D26, a estudante D19 demonstrou indícios de uma ideia de que as mudanças em relação ao tempo seriam reais, quando ela afirma “passa mais rápido pra quem tá fora do navio”. Também de forma similar, a estudante D19 apresenta uma concepção de fator gama gradativo para o tempo. Pode-se notar isso quando a estudante afirma que “ia ter diferença, mas não muito” caso a velocidade fosse reduzida de  $0,7c$  para  $0,5c$ .

A aluna A1 também apresentou indicações de uma concepção de mudanças reais relacionadas ao tempo. Ao falar sobre suas respostas também para a questão 7 do teste de Lorentz, a estudante afirma que a dilatação temporal é algo que “realmente acontece”, o que sugere que compreenda o fenômeno como real.

[17:33] A1: Depois com as aulas eu comecei a me acostumar, porque, tipo, é uma coisa que realmente acontece. Só que antes eu não tinha esse conhecimento. Aí, quando tu explicou, aí eu tive esse conhecimento e eu comecei a entender melhor. Que daí começou a fazer mais sentido. Num primeiro momento assim tu estranha porque tu não conhece, mas depois daí foi mais tranquilo.

Em outro momento, ainda falando sobre a mesma questão do teste de Lorentz, a estudante afirma acreditar que a dilatação temporal seja real e que é algo que “faz sentido” para ela. Essa afirmação é uma indicação de que a estudante A1, assim, como D19 e D26, possua a concepção de que a dilatação temporal é um fenômeno real, e não ligado à percepção da passagem e tempo.

[19:01] E: E pra ti, que nem tu falou, ah que o tempo passou mais devagar, passou, realmente passou mais devagar pra o outro? Tu acredita nisso?

A1: Ah, eu acredito. Tu explicou na aula eu acredito. É que antes eu não, não é que eu não acreditava, eu não sabia que isso pudesse acontecer. Mas depois como tu começou a explicar começou a fazer sentido, aí eu comecei a entender.

As três estudantes, A1, D19 e D26, demonstraram possuir uma boa compreensão a respeito das Transformações de Galileu. Dessa forma, não apresentaram a ideia de movimento ou velocidade absolutos, mas sim relativos a um referencial. Essa concepção de movimento relativo pode ser um agente facilitador para que ocorra a compreensão de tempo relativo que elas demonstraram.

A estudante A1 ao ser questionada sobre sua mudança de resposta para a questão 5 do teste de Galileu, “Na figura, você está no carro cinza. Seu velocímetro mede 40 km/h. Qual é a velocidade de seu carro em relação a um helicóptero voando muito baixo indo na mesma direção que seu carro, com uma velocidade relativa ao solo de 200 km/h?”, que a aluna respondeu corretamente, ela afirma ter lembrado dos carrinhos dos slides.

[03:10] A1: Essa primeira aqui como era no pré-teste eu não sabia muito bem fazer, fiz uma regra de três e pronto, deu 20.

E: Aí chegou no valor.

A1: Ok. Aí essa daqui (*pós-teste*) depois eu lembrei daquele negócio dos carrinho, só que eu não sei se eu confundi ou não. Aí eu lembro que eu tentei enxergar se era a mesma direção [#CAR5 03:28] como é que funcionou, daí eu diminuí. Eu lembro que tinha dado diferente dessa daqui (*pré-teste*) ainda quando fiz essa (*pós-teste*), aí eu fiquei assim não muito confiante ainda porque eu não tinha certeza se tava certo. Mas aí naqueles slides que tu explicou e coisa, eu tentei imaginar. Só que na hora eu não tinha certeza se na mesma direção era o que diminuía ou somava, mas aí eu botei diminuir e que eu não tava muito confiante, mas sabia que era uma das duas regras, por eles tarem na mesma direção.

E: Tu lembrou daí dos slides nessa?

A1: Dos slides da aula.

E: Tu consegue ver qual foi, qual dos slides que tu lembrou?

A1: (*Olha slides impressos*) Foi desses do carrinho sora.

E: Tá, aqui do 11 até o 14.

A1: É.

O trecho da entrevista indica que a estudante conseguiu compreender corretamente a ideia de velocidade relativa ente diferentes referenciais, respondendo corretamente no pós-teste de Galileu. Ela realiza o gesto #CAR5 (Figura 38) onde coloca sua mão direita à sua frente e a move para trás e para frente, então aponta as duas mãos para frente, indicando o sentido de movimentação dos carrinhos.

Ao realizar esse gesto a estudante afirma ter se recordado dos slides das aulas, inclusive indica os slides dos quais se lembrou – 11 a 14. O gesto #CAR5 (Figura 38) realizado por ela se assemelha com uma animação utilizada no slide 13, onde os dois carrinhos se moviam um em direção ao outro. Portanto, esse gesto indica que a estudante possua uma simulação mental para movimento relativo, o que possivelmente a auxilia na resolução de problemas

referentes a essa temática. Além disso, pela similaridade com as animações, possivelmente essa simulação seja oriunda dos materiais utilizados em aula.

Figura 38: Gesto #CAR5 realizado pela estudante A1 e slide 13 do qual ela se recordou.



Fonte: A pesquisa (2020).

De forma semelhante, a estudante D19 quando questionada sobre sua mudança na resposta também para a questão 5 do teste de Galileu, que ela respondeu corretamente no pós-teste, afirma ter lembrado das aulas e demonstra compreender o movimento e velocidade relativos.

[03:11] E: [...] Como que tu chegou nessa conclusão (*no pós-teste*)?

D19: Através da aula né, que tinha a explicação que a gente diminui, no caso.

E: Daí tu lembrou mais da...

D19: Da aula.

E: Da aula mesmo. E tu lembra de alguma parte específica da aula?

D19: É da soma dos carrinhos [#CAR 03:27], e aqui tinha que fazer menos, que tava indo pro outro lado.

E: Esses carrinhos, tu lembra deles da onde?

D19: Do slide que a senhora passou.

E: Dos slides.

D19: Isso.

E: Tu sabe dizer aqui pra mim qual foram os slides que tu lembrou?

D19: Deixa eu ver (*olha slides impressos*). Acho que foi desse aqui.

E: O 11 então.

D19: Uhum.

E: E tu lembrou dessa imagem dos slides?

D19: Dessa imagem, isso.

Esse trecho sugere que a estudante conseguiu compreender o movimento relativo e transpor o que foi abordado em aula para a situação do questionário. Ela realiza o gesto #CAR (Figura 37), onde aponta dos indicadores um para o outro e os aproxima, representando as velocidades dos carrinhos do slide do qual se recordou, aproximando um do outro. Apesar de a estudante afirmar se recordar do slide 11, o gesto #CAR (Figura 37) realizado por ela se assemelha com a movimentação dos carrinhos do slide 13, da mesma forma que o gesto realizado pela estudante A1.

Esse gesto sugere que está estudante também tenha sido capaz de desenvolver uma simulação mental sobre movimento relativo, e que provavelmente a auxiliou na resolução de problemas. Assim como o gesto #CAR5 de A1, o gesto #CAR de D19 é possivelmente oriundo dos materiais utilizados nas aulas.

Figura 39: Gesto #CAR realizado pela estudante D19 e slide 13 com o qual ele se assemelha.



Fonte: A pesquisa (2020).

A última estudante entrevistada no Estágio III apresentou resultados semelhantes de A1 e D19. Ela também respondeu corretamente à questão 5 no pós-teste de Galileu. Ao falar sobre sua resposta, ela também afirmou ter lembrado da soma de velocidades vista em aula.

[04:20] E: E aqui nessa segunda, daí que tu falou que tu mudou né.

D26: É, eu tinha modificado.

E: Do que tu lembrou pra fazer essa subtração?

D26: Eu lembrei daquela parte do, das velocidades que dizia, quando tu passou os slides tudo, eu lembrei dessa que dizia, eu acredito que seja, que é aquela parte de quando eles estão juntos aí tu diminuiu, e aí quando eles tão [#CAR6 04:49] se, se afastando tu soma, pela distância dos dois.

E: Sim. E tu sabe me dizer qual era o slide que tu lembra?

D26: (Olha os slides impressos) Seria esse aqui.

E: Sim, do 13.

D26: Isso. E o outro, então a outra questão, que seria, essa 7, seria esse aqui do 14.

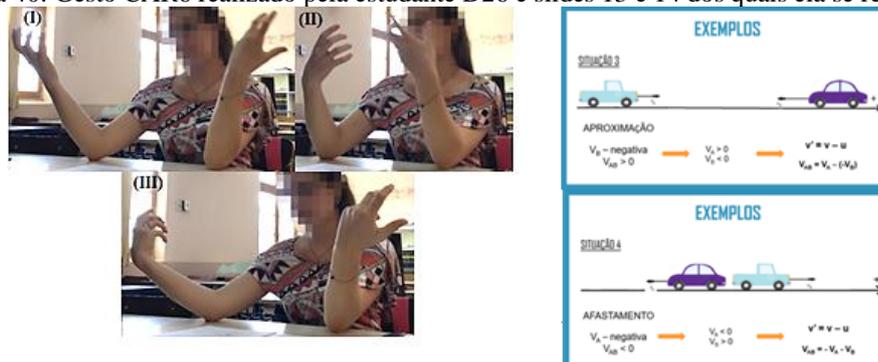
E: Então quando tu foi responder aqui (pós-teste) tu lembrou dessa parte dos slides pra fazer essa conta?

D26: Isso.

Ao explicar sua resposta, a estudante realizou o gesto #CAR6 (

Figura 40), onde afasta, aproxima e então afasta novamente as duas mãos à sua frente, indicando a movimentação dos carrinhos dos slides dos quais se recordou. O gesto realizado por ela se assemelha muito com os gestos de A1 e D19, inclusive as estudantes recordam-se dos mesmos slides com animações. Assim como nas estudantes anteriores, esse gesto indica que D26 foi capaz de desenvolver e reproduzir uma simulação mental, utilizando-a para resolver problemas. Aqui também provavelmente a simulação tenha se originado a partir dos materiais utilizados em sala de aula.

Figura 40: Gesto CAR6 realizado pela estudante D26 e slides 13 e 14 dos quais ela se recordou.



Fonte: A pesquisa (2020).

A estudante afirma que o slide 13 seria a mesma situação da questão 5 do teste, enquanto o slide 14 teria a mesma situação que na questão 7. Isso sugere que a estudante conseguiu compreender movimento e velocidade relativos, transpondo as situações abordadas em aula para as situações do teste, assim como A1 e D19.

Esses resultados sugerem que, pelo fato de demonstrarem possuir uma boa compreensão de movimento e velocidade relativos, os estudantes no Estágio III provavelmente possuiriam menos obstáculos para a sua compreensão das Transformações de Lorentz e Teoria da Relatividade Especial. Entretanto, como os resultados sugerem, essa compreensão ainda seria incompleta, pois esses estudantes ainda não demonstraram compreender bem a contração espacial.

Um possível motivo para essa maior dificuldade com a contração do espaço do que com a dilatação do tempo, pode estar relacionado ao fato de o conceito de tempo ser mais abstrato do que o conceito de espaço para os estudantes. Dessa forma, compreender e aceitar que o tempo não é absoluto pode se tornar mais acessível do que o espaço, que é um conceito mais concreto. Esse resultado vai ao encontro do que foi constatado por Dimitriadi e Halkia (2012) em seu estudo, onde os estudantes conseguiam aceitar a dilatação temporal, mas não a contração espacial.

Portanto, a partir da análise das entrevistas, sugere-se que estes estudantes possuem a região newtoniana do perfil conceitual de referencial bem desenvolvida, entretanto a região relativística ainda em desenvolvimento, pelos indícios constatados. Essa possível falta da região relativística bem consolidada faria com que, em situações consideradas mais complicadas de se assimilar – como a contração espacial – os estudantes recorram a uma região do perfil com a qual estariam mais familiarizados, como a região newtoniana.

#### 7.4 ESTÁGIO IV

No Estágio IV encontram-se os estudantes que apresentaram possuir os níveis mais altos de compreensão da Teoria da Relatividade Especial e das Transformações de Lorentz. Esses estudantes apresentaram indicações de que conseguiram compreender o funcionamento das Transformações de Lorentz para a TRE, aparentemente aceitando que, tanto as mudanças nos intervalos de tempo quanto as mudanças no espaço para diferentes referenciais são reais.

Esses estudantes também apresentaram indícios de uma concepção do fator gama como gradativo e diretamente ligado à velocidade, tanto para a dilatação temporal quanto para a contração espacial. O Estágio IV é o único estágio em que os estudantes apresentaram imagens ou simulações mentais nítidas para as situações relativísticas. Entre os estudantes entrevistados, classificaram-se nesse nível de compreensão A14, A15, A18 e D23.

O estudante A18 apresentou indicações de uma compreensão muito boa das Transformações de Lorentz. Durante a entrevista, suas descrições de suas respostas sugerem que compreenda as mudanças tanto no tempo quanto no espaço para os referenciais como reais, além de compreender o fator gama como gradativo, ou seja, conforme o aumento da velocidade, aumenta a diferença para os referenciais.

Esse estudante demonstrou imagens mentais nítidas, conforme sua descrição, ele imagina uma nave se movendo e encolhendo quanto mais rápido ela se movimentava.

[17:42] A18: Então eu lembrei do, dos slides lá, eu lembro que tinha uma espaçonave e tudo mais. O que mais me marcou foi o da espaçonave que ela ia [#NAV4 17:50] diminuindo na... E acredito que eu tenha pensado nela, porque então [#NAV4 18:14] o tamanho dela diminuiu quanto mais rápido ela tava, então quanto mais rápido ele tava, menor seria o caminho.

Nesse trecho percebe-se o que o estudante imagina ao pensar em situações relativísticas. A nave descrita por ele e por seus gestos é bastante similar a um gif utilizado nos slides, que o estudante, inclusive, afirma se recordar deles. Por meio desse trecho, pode-se supor que o estudante conseguiu transpor essa situação para a questão 3 do teste de Lorentz, “Agora, considerando que o caminhão 1 se movesse com uma velocidade muito alta ( $0,7c$ ), a distância que ele irá percorrer, medida por ele até o caminhão 2 seria”, afirmando que, quanto mais rápido o caminhão estivesse, menor seria o caminho.

Figura 41: Gesto #NAV4 realizado pelo estudante A18 (a esquerda) e gif da nave utilizados nos slides em dois momentos (a direita).



Fonte: A pesquisa (2020).

O gesto #NAV4 (Figura 41) realizado pelo estudante, onde ele coloca as duas mãos separadas à sua frente, então aproxima a mão esquerda da direita, indicando o tamanho da nave do slide 50, que diminuiu, reforça essa ideia de sua imagem mental. Esse gesto sugere que, a

partir dos materiais utilizados em aula, ele foi capaz de desenvolver e reproduzir uma simulação mental, além de utilizá-la na resolução de problemas.

Ainda a respeito da questão 3 do teste de Lorentz, o estudante marcou a opção “igual a 100 m” no pré-teste e a opção “maior que 100 m” no pós-teste, contudo durante a entrevista ele discordou da sua resposta, afirmando que a resposta correta seria “menor que 100 m”.

[19:27] A18: É, agora eu colocaria, ãh, menor que 100 eu acredito, pelo mesmo sentido que a outra né (*questão anterior*). Que a velocidade é alta, então quanto mais alta a velocidade menor vai ser a distância.

E: Então em qual dos dois casos (*50 km/h e 0,7c*) seria a distância menor?

A18: Nos dois eu acho... Ah, no que seria menor na 3 claro (*0,7c*) porque tá mais rápido.

E: Menor ainda que na 1 no caso?

A18: É, sim.

E: Ok. E se fosse uma velocidade de  $0,2c$ , por exemplo?

A18: Daí ficaria entre a 1 e a 3 (*questões*), eu acho.

E: E tu imagina isso?

A18: Sim, eu imagino [#NAV4 20:09] o caminho literalmente diminuindo sabe, como se fosse no gif, só que daí o caminho e não a espaçonave né.

Nesse trecho nota-se indícios de que o estudante compreenda que o espaço realmente seja diferente para diferentes referenciais, conforme ele afirma que a distância efetivamente seria menor. Além disso, mais uma vez ele repete o gesto #NAV4 (Figura 41), indicando que possui essa imagem mental nítida para a situação. Isso é destacado quando ele afirma “eu imagino o caminho literalmente diminuindo”.

Ademais, o aluno demonstra indicações de possuir uma concepção do fator gama como gradativo quando afirma que o tamanho do caminho para o caminhão se ele estivesse a  $0,5c$  estaria entre o tamanho das questões 1 e 3, onde as velocidades eram de  $80 \text{ km/h}$  e  $0,7c$ , respectivamente. Essa ideia sugere a concepção de que com o aumento da velocidade maior será essa diferença entre as medições dos dois referenciais.

De maneira semelhante, a estudante A15 também demonstrou indícios de que compreende que as mudanças no espaço são reais. Ela apresenta as indicações dessa concepção ao explicar como chegou em sua resposta também para a questão 3 do teste de Lorentz, onde ela marcou a opção “menor que 100 m” no pós-teste.

[16:11] A15: Sim, porque depois que visto em aula, a gente viu que a velocidade podia distorcer a distância, então.

E: E quando tu foi responder aqui no pós-teste, do que tu lembrou pra marcar essa resposta?

A15: Eu não lembro exatamente o que era, mas tu mostrou um slide que se distorcia eu acho. Não sei se era um foguete, que que era. [...] Que, conforme tu mexia [#NAV2 16:41] o, o coisinha ele se distorcia assim.

Conforme a estudante afirma no trecho, “a velocidade podia distorcer a distância”, sugerindo a ideia de que o espaço realmente muda conforme a velocidade do referencial. Além disso, ela afirma se recordar do mesmo gif da nave dos slides que o estudante A18. Ela realiza um gesto semelhante ao dele, o gesto #NAV2 (Figura 42), onde a estudante movia sua mão direita para a esquerda, direita e esquerda novamente, indicando que a nave encolhia conforme se movimentava. Esse gesto sugere que a estudante tenha conseguido reproduzir mentalmente o gif, ou seja, desenvolveu uma simulação mental e a utilizou para resolver um problema.

Figura 42: Gesto #NAV2 realizado pela estudante A15.



Fonte: A pesquisa (2020).

Ainda sobre a questão 3 do teste de Lorentz, a estudante A14 apresentou indicações de possuir as mesmas concepções de A18 e A15. A estudante havia marcado a opção “maior que 100 m” no pós-teste, entretanto afirma não concordar com a resposta, que deveria ser “menor que 100 m”. Sobre a mesma questão, aluna também demonstrou indícios que sugerem uma concepção do fator gama gradativo para o espaço.

[13:34] A14: Eu acho que não tá muito certo isso aí. Porque, pelo que eu lembro é quem, porque eu lembro da situação do, é do espaço que quem vai pro espaço é um tempo mais curto que aqui por estar mais rápido, então eu acho que seria menor que 100 m. Por estar numa velocidade muito alta, acho que aqui eu me confundi um pouco. É, eu acho que eu me confundi. Agora vendo melhor eu acho que é menor que 100 m. E: E quando tu pensa nisso de ser menor, que imagem te vem à cabeça, que tu te lembra?

A14: Ah, não sei, eu não consigo imaginar um caminhão a essa velocidade, mas eu imagino, sei lá, tipo um [#FOG 14:13] foguete, alguma coisa assim, é muito rápido.

[...] E: E, por exemplo, se aqui a gente tivesse uma velocidade de  $0,5c$ , o que tu acha que aconteceria com a distância?

A14: Eu acho que não ia ser muita diferença, ou ia... Mas eu acho que continuaría menor que 100 m.

E: Mas igual como foi com  $0,7$ ?

A14: Não, eu acho que ia ser um pouco maior do que antes, com  $0,7$ .

E: Então que ia ter uma diferença, só que menor do que  $0,7c$ ?

A14: Isso aí.

No trecho, a estudante afirma “é menor que 100 m”, o que sugere a compreensão de a distância entre os caminhões realmente seja menor para o caminhão que se aproxima, e não pareça menor. Ademais, nesse mesmo trecho, a aluna apresenta indicações da ideia do fator gama gradativo para o espaço ao afirmar que mesmo com uma velocidade menor –  $0,5c$  – a distância ainda seria menor que 100 m, no entanto maior do que para  $0,7c$ .

Quando afirma imaginar um foguete a estudante realiza o gesto estático #FOG (Figura 43), onde ela coloca as duas mãos à sua frente, uma de frente para a outra, indicando o foguete que imagina. Apesar de não se referir diretamente aos slides, a sua descrição e o gesto sugerem que a estudante tenha se lembrado do foguete/nave utilizado na apresentação. Esse gesto indica que a estudante possua a imagem mental de um foguete ao imaginar situações relativísticas. O que pode ter auxiliado ela na resolução da questão.

Figura 43: Gesto #FOG realizado pela estudante A14.



Fonte: A pesquisa (2020).

O estudante D23 também demonstrou indícios de uma compreensão das mudanças no espaço como reais. Após ser questionado sobre sua resposta também na questão 3 do teste de Lorentz onde marcou “menor que 100 m” no pós-teste, o estudante apresentou concepções que sugerem a compreensão de que o fator gama é proporcional à velocidade.

[15:24] D23: Essa aqui eu já, eu já concordo, como ele tá numa velocidade maior [#DIS 15:30], ele vai chegar, vai contrair um pouco a, o comprimento, e ele vai chegar mais rápido do que ele realmente acha que chegou.

E: E se a velocidade ali invés de  $0,7c$ , por exemplo, fosse  $0,9c$ ? Ia mudar alguma coisa?

D23: Só o comprimento né. Ia ser [#DIS 15:50], ia ser um, menos comprimento ia tipo [#DIS 15:54], ia aumentar o comprimento, ou seja, ia aumentar o... A distância, ia diminuir a distância, ainda mais do que ele achava que realmente é. Não sei se ficou meio claro.

E: Então  $0,7c$  ela é menor, mas com  $0,9c$ ...

D23: Ela fica menor ainda.

E: Ok. E se fosse, por exemplo,  $0,5c$ ?

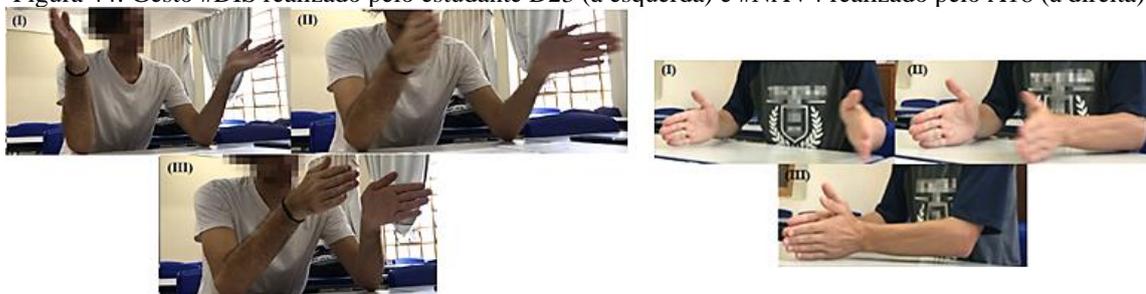
D23: Daí ela ficaria maior que  $0,7c$  mas ainda seria menor do que os 100 m.

No trecho, o estudante afirmou “vai contrair um pouco”, sugerindo a ideia de que a distância entre os caminhões efetivamente diminui. Além disso, quando questionado sobre uma velocidade maior, o estudante afirma que “ia diminuir a distância”, indicando uma concepção de que a contração do espaço será maior com a velocidade maior. Da mesma forma para uma velocidade menor o estudante afirmou que a contração espacial seria menor.

Ainda no mesmo trecho, o aluno realiza o gesto descritivo #DIS (Figura 44), onde coloca as duas mãos à sua frente, uma com a palma virada para a outra, e as aproxima, indicando a variação da distância entre os caminhões conforme a mudança da velocidade. Esse gesto

assemelha-se bastante com o gesto #NAV4 realizado pelo estudante A18, e ele sugere que o estudante imagina efetivamente o espaço se contraindo. Esse é, portanto, um indicativo de que o estudante possui uma simulação mental nítida e que a utiliza para a resolução de problemas.

Figura 44: Gesto #DIS realizado pelo estudante D23 (à esquerda) e #NAV4 realizado pelo A18 (à direita).



Fonte: A pesquisa (2020).

Com relação à dilatação temporal, o estudante A18, ao falar sobre as questões 5, “Se o cruzeiro viajar com uma velocidade média de 30 nós (56 km/h), o tempo que terá passado para a amiga que viajou será”, e 7, “Agora, se o cruzeiro viajar a uma velocidade muito alta (0,7c), o tempo que terá passado para a amiga me viagem será”, ambas do teste de Lorentz, demonstrou indícios de que compreende ela como um fenômeno real.

A respeito da questão 5, o aluno manteve a opção “igual a um ano” no pré-teste e pós-teste e na questão 7, ele escolheu a opção “um ano” no pré-teste e a opção “menor que um ano” no pós-teste, respondendo corretamente a ambas. Ao explicar suas respostas, o estudante apresenta também indicações da concepção do fator gama como gradativo para o fenômeno da dilatação temporal.

[23:31] A18: Foi isso que eu pensei, aqui (*questão 5*) eu pensei 50 km/h (*no questionário a velocidade era de 56 km/h*) é irrelevante pra mudar o tempo, agora, tipo, chegar perto da velocidade da luz, daí já é uma velocidade muito maior, então pode, tipo diminuir o tempo. Foi por isso que eu mudei, eu tinha marcado aqui (*questão 5 pós-teste*) menor que um ano, só que chegou aqui (*questão 7 pós-teste*) 0,7c, então é uma, uma velocidade muito maior, então, tipo, isso vai ser relevante e 50 km/h não. Foi por isso que eu mudei.

O estudante afirma que na questão 5, onde a velocidade é 56 km/h a diferença seria irrelevante, enquanto na questão 7, onde a velocidade passa para 0,7c, não, indicando a compreensão do fator gama proporcional à velocidade. Além disso, ele afirma que com a velocidade de 0,7c iria “diminuir o tempo”, o que sugere o entendimento dessa diferença entre os tempos para os dois referenciais como real. O estudante apresenta novamente na entrevista a ideia de um fator gama gradativo para a dilatação temporal.

[25:07] E: E aqui também se a gente tivesse uma velocidade de 0,2c, por exemplo, o que ia acontecer?

A18: É, eu acho que ia continuar sendo menor que um ano, só que seria mais tempo do que na primeira situação, porque é uma velocidade menor.

Nesse último trecho o estudante demonstra indicações de uma concepção do fator gama como gradativo para o tempo, ou seja, quanto maior a velocidade, maior a diferença entre os intervalos de tempo dos dois referenciais. Quando ele afirma “mais tempo que na primeira situação, porque é uma velocidade menor”, ele demonstra compreender que com uma velocidade de 0,5c o intervalo de tempo medido pela amiga no navio seria maior do que o medido com o navio a 0,7c.

Referindo-se à dilatação temporal, a estudante A15 demonstrou também indícios de a entender como um fenômeno real. Ao falar também sobre a questão 7 do teste de Lorentz, em que ela marcou “igual a um ano” no pré-teste e “menor que 1 ano” no pós-teste, tendo respondido corretamente, a estudante traz indícios dessa concepção.

[19:06] E: Ali (*pré-teste*) tu colocou que seria o mesmo tempo.

A15: Sim, porque pra mim não fazia diferença, que o tempo era igual.

E: Mas aqui (*pós-teste*) tu colocou que ele seria menor.

A15: Sim, porque como a velocidade era muito alta, o tempo no navio seria diferente pra pessoa, seria diferente pra pessoa que ficou.

Quando a estudante afirma que o tempo “seria diferente” naquela situação, sugere que ela compreenda que o tempo para a pessoa no navio realmente seria diferente do que para a pessoa que ficou em terra. Ao falar sobre a atividade realizada com a simulação computacional “Dilatação do Tempo”, na situação em que o trem se move a 490 km/h (*vale ressaltar que na simulação considera-se a velocidade da luz como 500 km/h*) a estudante traz novamente indícios dessa concepção.

[24:18] A15: Que a diferença entre quem tivesse na estação e no trem seria maior porque o trem tá mais rápido.

E: E daí na simulação o que vocês observaram?

A15: Que foi a mesma coisa, realmente, que a gente pensou.

E: E se fosse uma velocidade ali entre essas duas que vocês usaram, um meio termo?

A15: Acho que também seria, teria uma diferença, mas não tanto. Que quanto mais devagar a velocidade, a diferença é menor.

Ao se referir à dilatação temporal, a estudante afirma que o intervalo de tempo “seria maior”, não pareceria menor, o que sugere essa concepção do fenômeno como real e não subjetivo. Nesse mesmo trecho a estudante apresenta também indicações de uma compreensão do fator gama como gradativo à velocidade para o fenômeno da dilatação temporal. Isso fica surge quando a estudante afirma “quanto mais devagar a velocidade, a diferença é menor”, ou

seja, indica a ideia de que quanto menor for a velocidade, menor será a dilatação temporal para aquele referencial.

Da mesma forma, a estudante A14 também demonstrou indícios de que entende que as mudanças em relação ao tempo são reais, bem como fez afirmações que sugerem a concepção do fator gama gradativo. Ao falar sobre as questões 5 e 7 do teste de Lorentz, assim como o estudante A18, a estudante A14 apresentou evidências dessa concepção.

[17:35] A14: Menor que um ano. Sim. Por causa do foguetinho (*slides*), que quem viajou ficou, passou menos tempo do que quem ficou na Terra.

E: E como tu acha que ia ser essa diferença de tempo nessa situação (*questão 5, 56 km/h*)?

A14: Ai, eu acho que seria bem pequenininha a diferença de tempo, tipo, pequeníssima.

E: Por quê?

A14: Porque a velocidade não é tão alta quanto o 0,7c.

[...] E: E aí como é que ia ser essa diferença de tempo pra ti nessa situação (*questão 7, 0,7c*)?

A14: Acho que seria bem maior, tipo, mais de ano de diferença.

E: De uma pra outra?

A14: De uma pra outra.

E: E se fosse 0,5c?

A14: É, eu acho que a diferença ia ser um pouco menor, porque a velocidade não é tão alta.

No trecho a estudante afirma “passou menos tempo”, sugerindo a compreensão de que realmente o tempo passe diferente nos dois referenciais. Na questão 5, com velocidade de 56 km/h, a estudante afirma que a diferença entre os dois intervalos de tempo seria “bem pequenininha”, enquanto com 0,7c seria “bem maior”, da mesma forma que com 0,5c seria “um pouco menor” do que com 0,7c. Essas são indicações de que, assim como os estudantes A18 e A15, a estudante A14 possui uma concepção do fator gama gradativo para a dilatação temporal.

Ainda com relação à dilatação do tempo, o estudante D23, ao ser questionado sobre sua resposta também para a questão 5 do teste de Lorentz, demonstrou indicações de possuir essa mesma concepção do fator gama relacionado à velocidade para o tempo.

[17:08] D23: [...] Como a velocidade é meio baixa, não vai fazer diferença... É isso que me deixou na, meio em dúvida com essa aqui.

E: Sim. Se faria ou não diferença.

D23: É. Quando a velocidade é meio baixa, pelo que eu sei não, é, a diferença é minúscula daí. Não é nem considerável.

Como o estudante afirma no trecho acima, com velocidades baixas “a diferença é minúscula”, assim pode ser desconsiderada. Percebe-se aqui um indício de que o estudante entenda que em qualquer velocidade os efeitos existem, porém em proporções menores, podendo ser ignorados. Em seguida, ao falar sobre a questão 7 do teste de Lorentz o estudante apresenta indicações da compreensão da dilatação temporal como um fenômeno real.

[18:20] E: O que tu imaginou pra responder essa questão?

D23: Eu imaginei o navio, e eu imaginei o navio... Na verdade, nesse aqui eu me lembrei do daquele vídeo do paradoxo dos gêmeos que eu vi. Sobre a, sobre a velocidade e a diferença de tempo entre as velocidades mais altas. E daí eu apliquei nisso daqui. Eu pensei que seria a mesma coisa, considerando que ambas estão perto da velocidade da luz, muito altas. Daí eu imaginei que, daí passaria menos tempo durante a viagem do que pras pessoas que não estão nessa velocidade. Tenho quase certeza que foi esse o pensamento que eu usei.

Como o estudante afirma “passaria menos tempo durante a viagem”, sugerindo que ele compreende que o tempo realmente passaria diferente naquela situação. Ao falar sobre a atividade realizada com a simulação computacional “Dilatação do Tempo” o estudante apresenta novamente indícios dessa ideia, além de apresentar indicações que sugerem a concepção do fator gama gradativo.

[21:47] E: Depois, agora perguntava se aumentasse né. Se fosse a velocidade do trem próxima à velocidade da luz, que nesse caso a gente tava considerando 500 km/h, então se o trem tivesse a 490 né. Daí o que tu imaginou nessa situação?

D23: Eu só aumentei a, a dilatação basicamente. Eu pensei que, se a velocidade, se a velocidade essa e essa da uma dilatação, se eu aumentar a velocidade vai aumentar a dilatação. Daí eu pensei que o tempo ia se, passar muito mais devagar do que passaria.

Como o estudante afirma no trecho, “se eu aumentar a velocidade vai aumentar a dilatação”, indicando a concepção de que quanto mais rápido o referencial se move, maior a dilatação temporal para ele. Assim, percebem-se indicações de uma compreensão do fator gama como gradativo para a dilatação temporal.

Os estudantes classificados com o nível de compreensão do Estágio IV apresentaram indícios de uma concepção clara de movimento relativo, de que o movimento de um objeto é sempre em relação a algum referencial e, portanto, a velocidade irá depender desse referencial. Eles apresentaram, em geral, uma boa compreensão das Transformações de Galileu.

Quando questionado sobre suas respostas tanto no pré-teste quanto no pós-teste para a questão 7 do questionário de Galileu, “O caminhão branco está viajando em sua direção. Se o velocímetro do caminhão indicar 40 km/h, qual é a velocidade do caminhão em relação ao helicóptero?”, o estudante A18 afirmou concordar mais com sua resposta do pré-teste, que é a correta.

[09:29] E: Agora se tu fosse responder, tu colocaria o que?

A18: Ah, eu acho que eu colocaria 240.

E: 240?

A18: Uhum. Porque eu acho que vai somar a velocidade. Se eles tão indo contra [#CAR7 09:42] é a mesma coisa que se eles fossem se chocar. A gente teve um exercício disso né, os carros indo [#CAR7 09:45] na mesma velocidade daí somava a velocidade, então eu acho que eu pensaria nisso.

E: Esse exercício da aula, quando tu fala, tu, tu lembra dele ou de alguma imagem?

A18: Eu lembro do, ah não sei como é que é o nome, do coisa no notebook que a gente tinha que fazer, do programa.

E: Da simulação?

A18: Isso. Que daí tinham os carros e eu até coloquei [#CAR7 10:07] os carros pra se pechar depois.

E: Sim, ah tá, eu lembro que vocês mexeram.

A18: Aham, isso. Daí eu lembro disso.

E: Ok. Lembra mais daí da imagem da simulação?

A18: É, exato, se mexendo e tudo mais. E nos slides também tinha né? Dos [#CAR7 10:20] carros.

E: Tu sabe qual foi o slide?

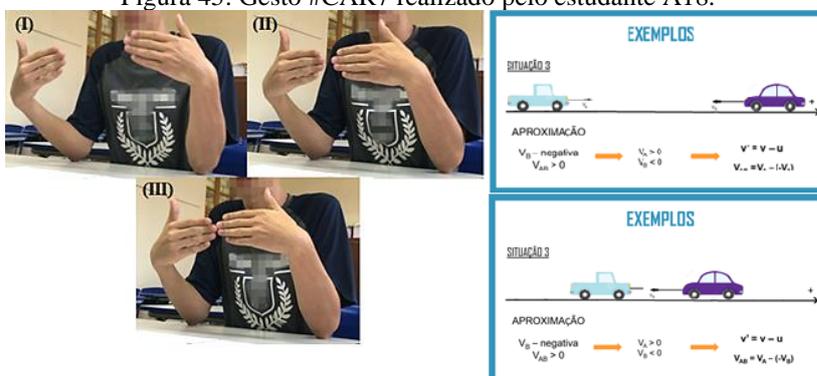
A18: *(Olha os slides impressos)* Acho que sim, esse aqui, esse ó, o 13.

E: O 13?

A18: Aham. Porque os carros [#CAR7 10:31] tavam indo sabe na mesma direção, aham.

No trecho o estudante afirma que, para encontrar a velocidade do caminhão em relação ao helicóptero teria que ser feita uma soma, já que ambos se moviam em direções opostas. Isso sugere que o estudante compreende que a velocidade de um objeto é uma grandeza que depende do referencial adotado. Além disso o estudante realiza diversas vezes o gesto #CAR7 (Figura 45), onde afasta e aproxima novamente as duas mãos à sua frente, indicando o movimento dos veículos um contra o outro.

Figura 45: Gesto #CAR7 realizado pelo estudante A18.



Fonte: A pesquisa (2020).

O gesto descreve o movimento dos carros na animação do slide 13, em que ambos se moviam um em direção ao outro. O próprio estudante afirma no trecho se recordar dos carrinhos dos slides, indicando, inclusive, o slide 13. O estudante afirma se recordar também das simulações utilizadas. A simulação em questão é a “Carros e Avião” (Figura 21), onde havia dois carros se movendo em direções opostas. Esse gesto realizado pelo estudante sugere que ele possui uma imagem mental nítida de situações de movimento relativo e que ele a utiliza para resolver problemas. Essa concepção pode ter facilitado a compreensão do estudante das Transformações de Lorentz para a TRE.

O estudante D23, ao ser questionado sobre a mudança na sua resposta para a questão 5 do pós-teste de Galileu, “Na figura, você está no carro cinza. Seu velocímetro mede 40 km/h.

Qual é a velocidade de seu carro em relação a um helicóptero voando muito baixo indo na mesma direção que seu carro, com uma velocidade relativa ao solo de 200 km/h?”, sendo que respondeu corretamente no pós-teste, também se recordou dos slides.

[03:11] E: [...] Porque tu chegou nessa resposta nessa daqui (*pós-teste*)?

D23: Mais pelo fato de que ele tá, pelas fórmulas que eu aprendi, que tava indo na mesma direção [#CAR8 03:16], então a gente só diminuiu em pelo outro, daí eu cheguei na, na velocidade. Daí essa foi mais por cálculo e não por pensamento.

E: [...] Do que tu lembrou pra chegar nessa conta?

D23: Eu lembrei da, da fórmula do Galileu, que é um menos o outro na mesma direção, como é mesma direção não tem mudança de sinal, seria só o menos da fórmula. Aí eu só fiz a conta. Na hora de, na hora que eu pensei, depois que eu fiz a conta e eu vi o resultado eu parei e tentei imaginar a cena do helicóptero andando a 200 e o carro a 160, mas tudo o que eu conseguia imaginar era o carro desaparecendo [#HELI 04:02] pra trás assim, considerando que o helicóptero tava mais rápido.

No trecho, o estudante afirma se recordar das Transformações de Galileu vistas em aula, e que precisaria subtrair as velocidades dos veículos. Isso indica que ele compreendeu que a velocidade dos objetos dependa do referencial adotado. O estudante, inclusive, realiza o gesto #CAR8 (Figura 46), muito similar a movimentação dos carrinhos animados utilizados no slide 11.

Figura 46: Gesto #CAR8 realizado pelo estudante D23 (esquerda) e slide 11 (direita).



Fonte: A pesquisa (2020).

Nele, o estudante aponta o indicador esquerdo para frente, depois o direito, e então os dois juntos, indicando o movimento do carro e do helicóptero que se movem na mesma direção e sentido. Depois, o estudante realiza o gesto #HELI (Figura 47), onde o aluno põe as duas mãos à sua frente, então afasta a mão esquerda pra trás, indicando a imagem que possui do helicóptero se movendo e se distanciando do carro da questão.

Figura 47: Gesto #HELI realizado pelo estudante D23.



Fonte: A pesquisa (2020).

Esses gestos sugerem que o estudante possua simulações mentais para as situações de movimento relativo, e que as tenha utilizado na resolução de problemas. Possivelmente essas simulações mentais tenham auxiliado na compreensão do estudante dos fenômenos. Em outro momento da entrevista, o estudante afirma se recordar dos carros animados utilizados nos slides, inclusive indicando o slide 11, para o qual realizou novamente o gesto #CAR8 que é bastante similar.

[04:11] E: E quando tu pensa isso, nessa, na fórmula essa que tu diz, tu lembra de alguma imagem.. Do que tu, de que situação tu lembra dela?

D23: Eu lembro do, dos slides, do dos exemplos [#CAR8 04:28] do, dos dois carros indo pra frente.

E: Tu consegue dizer qual foram os slides que tu lembrou?

D23: *(Olha slides impressos)* Esses aqui.

E: Aqui? O 11, 12, 13 e 14?

D23: É, o 11, 12, 13 e 14.

Essas situações demonstram indicações de que esses estudantes compreenderam as Transformações de Galileu e a ideia de movimento e velocidade relativos. Apesar de alguns estudantes apresentarem algumas dificuldades com a troca de referencial, eles não demonstram possuir a concepção de movimento absoluto.

Portanto, pode-se considerar que esses estudantes possuam a região newtoniana do perfil conceitual bem desenvolvida, conseguindo utilizá-la nos momentos apropriados. Essa característica pode se tornar um agente facilitador para que eles consigam compreender a Teoria da Relatividade Especial, onde a única grandeza absoluta é a velocidade da luz.

A partir das concepções apresentadas pelos estudantes, constata-se indicações de que eles já possuam desenvolvida a região relativística do perfil conceitual de referencial, bem como utilizam ela nos momentos e situações apropriadas, permitindo que compreendam os fenômenos e os aceitem como reais. Evidentemente, ainda se mostra necessária uma maior familiaridade com essa região que, provavelmente, havia sido desenvolvida recentemente por esses estudantes.

## 7.5 CASOS PARTICULARES

Nos casos particulares encontram-se os estudantes que aparentemente não se enquadraram em nenhum dos quatro estágios. Esses estudantes não apresentaram indicações de

imagens ou simulações mentais nítidas para situações relativísticas, embora tenham apresentado possuir uma boa compreensão das Transformações de Lorentz para a TRE.

Os estudantes desse grupo não realizaram gestos descritivos, estáticos ou dinâmicos, e apresentaram conhecimentos prévios, tanto das Transformações de Galileu quanto sobre a TER, oriundos de mediações culturais – livros, vídeos, filmes etc. – de forma que ambos apresentaram bons resultados já no pré-teste. Encontram-se entre os casos especiais os estudantes A7 e A21.

O estudante A7 apresentou indicações de uma boa compreensão sobre as Transformações de Galileu. Ele respondeu corretamente às questões 1 e 3 do teste de Galileu, “Você e seu colega estão no ônibus indo para a escola, que está parado em um semáforo. Suponha que você vá jogar uma bola de papel e acertar seu colega no banco à sua frente. 1) Quão forte você tem que jogar a bola de papel de um banco no ônibus para outro banco à sua frente quando o ônibus está andando? 3) Quão forte você teria que atirar a bola de papel do banco em um ônibus para outro banco atrás de você quando o ônibus está andando?”, onde o estudante afirma ter certeza de suas respostas.

[02:41] A7: Só tinha certeza que eu, pelo que eu me imaginava, pelo que eu sabia eu tava certo. Então a minha certeza era alto quanto isso. Por isso mesmo, pela, eu também já estudei bastante algumas coisas de Física e eu tinha mais uma noção básica.

Essa alta confiança sugere algo com o qual o estudante já está familiarizado. O próprio aluno afirma no trecho que já havia estudado esses conceitos anteriormente. Ao falar sobre a questão 7 do teste de Galileu, “O caminhão branco está viajando em sua direção. Se o velocímetro do caminhão indicar 40 km/h, qual é a velocidade do caminhão em relação ao helicóptero?”, a qual ele respondeu corretamente, ele demonstra novamente indicações de uma boa compreensão sobre movimento relativo.

[04:29] E: Como é que tu fez para chegar nesse valor?

A7: Porque a velocidade relativa entre eles também, daí muda os sinais lá e fica 240. Invés de subtrair, soma.

E: Tu chegou a imaginar essa situação da pergunta?

A7: De certa forma, sim, porque ele ia se aproximar mais rápido então aumentaria velocidade relativa entre eles. Porque os dois estão em movimento e estão um contra o outro né, não a favor do outro, então sempre vai aumentar a velocidade relativa entre eles.

No trecho o estudante demonstra indícios que sugerem uma boa compreensão a respeito da velocidade, compreendendo-a como uma grandeza que depende do referencial adotado. Dessa forma, ele não apresentou na entrevista indicações da ideia de movimento absoluto, que pode ser um obstáculo para a compreensão das Transformações de Lorentz.

O estudante A21, outro caso especial, também apresentou indícios durante a entrevista que sugerem boas compreensões sobre velocidade relativa. Ao falar sobre a questão 5 do teste de Galileu, “Qual é a velocidade de seu carro em relação a um helicóptero voando muito baixo indo na mesma direção que seu carro, com uma velocidade relativa ao solo de 200 km/h?”, a qual o estudante respondeu corretamente, surgem algumas evidências,.

[02:25] E: Como que tu chegou nessa resposta?

A21: É eu só, só fiz o cálculo, levando em consideração que o referencial era o caminhão eu acho...

E: Era o helicóptero.

A21: O helicóptero. Então eu só fiz um menos o outro daí.

E: E nesse caso tu imaginou o helicóptero e o carro?

A21: Não, acho que não. Não, não precisei fazer isso. Eu acho que, tipo, é algo mais, não, não preciso imaginar eu só vejo pela imagem (*do questionário*) que já é o bastante.

E: Sim. E por que tu pensou que teria que subtrair uma da outra?

A21: Por causa que o referencial, ele diminui. Se ele tá indo oposto então é a velocidade, é isso né, isso.

Como o próprio estudante afirma no trecho, o cálculo da velocidade se dá devido ao referencial, essa afirmação sugere que ele compreenda que a velocidade depende do sistema de referência adotado. Além disso, o estudante dá indícios de não possuir imagens mentais dessa situação ao afirmar “não preciso imaginar” para conseguir resolver a questão.

Em relação às Transformações de Lorentz, apesar de não apresentarem imagens mentais nítidas, os estudantes apresentaram indícios de que compreenderam seu funcionamento para a TRE. O estudante A7, ao falar sobre a questão 1 do teste de Lorentz, “Se o caminhão 1 se mover a 80 km/h, a distância que ele percorrerá até o caminhão 2, medida por ele será”, demonstra alguns indícios de compreensão da contração espacial.

[15:00] E: Tu botou que seria igual a 100 m. Como tu chegou nessa conclusão?

A7: Eu não sei, porque a distância, ela é 100 m, então ele ia percorrer os 100 m, independente da velocidade que ele tivesse. Só que...

E: Pode continuar.

A7: Só que depois eu acho que eu, eu mudei a minha resposta... Depois que acho que nessa aqui (*pós-teste*) eu mudei minha resposta.

E: Até nesse primeira (*questão*) aqui tá igual.

A7: É, é porque, é porque, tá. Agora acho que eu lembrei porque que eu marquei isso. Porque quando a velocidade ela é muito baixa, tende a não mudar. Assim como tende a não mudar o tempo se a velocidade for muito baixa. Mas daí quando a velocidade aumenta, tende a ter uma interferência maior nisso eu acho.

Nesse trecho, ao afirmar que em baixas velocidade “tende a não mudar”, enquanto em altas velocidades “tende a ter uma interferência maior” sugere a compreensão de que a contração espacial ocorre em maior escala para maiores velocidades, mas que também ocorre em velocidades menores. Dessa forma, o estudante demonstra possuir a compreensão do fator gama como relativo à velocidade.

O estudante A21 também apresentou indícios dessa concepção ao falar sobre a atividade realizada com a simulação “Contração do Espaço”.

[14:44] A21: 50 km/h ele vai ter alguma dilatação, mas nada muito significativa.

E: A diferença vai ser pequena. Também pelo fato de a velocidade ser pequena?

A21: Isso aí.

E: Ok. E daí o que vocês viram na simulação?

A21: Idêntico.

E: A mesma coisa. A segunda situação, de novo aumentava a velocidade. E aí, o que tu pensou aqui?

A21: Que com a dilatação agora ia ser um pouco mais, mas não seria muito, muito grande mas teria uma diferença.

E: Uma diferença maior que antes?

A21: Sim.

No trecho acima, o estudante afirma que, com uma velocidade de 50 km/h a diferença entre as medições para os dois referenciais seria insignificante, sendo maior com uma velocidade maior. Essa afirmação sugere a compreensão de que o fator gama seja proporcional à velocidade. Portanto, provavelmente ele também possui uma concepção do fator gama gradativo.

Para a dilatação temporal, o aluno A7 também apresentou indicações que sugerem a percepção da relação entre o fator gama e a velocidade. Isso é percebido quando ele discorre sobre a questão 5 do teste de Lorentz, “Se o cruzeiro viajar com uma velocidade média de 30 nós (56 km/h), o tempo que terá passado para a amiga que viajou será”.

[18:50] A7: [...] Depois eu lembrei, que eu marquei aqui (*pós-teste*) também, que quando a velocidade é muito baixa o tempo não, quase não muda. Então talvez não seja menor que um ano, seja muito próximo de um ano. Mas pra mim é menor igual, se diminuir um minuto ou um segundo, é menor.

E: Tem diferença igual.

A7: Vai ter uma diferença, então eu acabei marcando nessa aqui (*pós-teste*) também. Nessa parte eu lembrei da, do paradoxo dos gêmeos lá, que eu vi também.

E: E onde é que tu ouviu falar desse paradoxo?

A7: No livro do Hawking.

O estudante afirma que o intervalo de tempo para aquele referencial seria muito próximo de um ano, mas que ainda assim seria menor. Isto é, ele demonstra entender que quando a velocidade for menor, a diferença no intervalo de tempo medido será muito pequena, mas que terá alguma diferença. Além disso, ele afirma se recordar do paradoxo dos gêmeos, com o qual teve contato através de um livro do Stephen Hawking. Isso mostra que o estudante já tinha um contato prévio com a TRE, ou seja, ele já havia estudado sobre ela anteriormente.

Falando sobre a questão 7 do teste de Lorentz, “Agora, se o cruzeiro viajar a uma velocidade muito alta ( $0,7c$ ), o tempo que terá passado para a amiga me viagem será”, o

estudante apresentou novamente essa concepção do fator gama gradativo para as mudanças em relação ao tempo.

[19:56] E: E se fosse uma velocidade de 0,2c, por exemplo?

A7: Menor ainda, ficaria... Não menor ainda do que 0,7, mas menor, continuará menor que um ano, na minha percepção.

E: Ainda assim o tempo ia ser menor?

A7: Sim. Ia ser menor.

E: E se fosse uma velocidade maior que 0,7c, por exemplo, 0,9c?

A7: Menor, aí sim, menor ainda que 0,7. Seria menos tempo ainda. A pessoa que tá dentro do navio teria um tempo me, muito menor do que a pessoa que ficou na, na terra.

E: Então tu vê que tem uma relação entre a velocidade e o tempo?

A7: Sim.

[...] E: Entendi. E quando tu pensa nessa relação entre a velocidade e o espaço, por exemplo, te vem alguma imagem na cabeça para essa situação?

A7: Sim. A mesma malha (*o estudante fala sobre a malha que representa a distorção do espaço-tempo*).

E: Da distorção...?

A7: Exatamente.

E: E pro tempo, dessa relação pra velocidade e o tempo?

A7: Buraco negro.

E: Tu lembra de um buraco negro?

A7: Eu lembro de um buraco negro. Porque, quando tá envolta de um buraco negro, o tempo é distorcido, teoricamente né.

E: E esse buraco negro te vem de onde?

A7: De livro também, do Hawking, seriado não, documentários e, principalmente do filme Interestelar. Que foi onde eu vi e consegui ter uma noção melhor do que seria um, um buraco negro.

Mais uma vez o estudante A7 recorda-se de um livro de Stephen Hawking, recordando-se agora também do filme Interestelar. Novamente são indícios de que o estudante já tinha familiaridade com a TRE. Além disso, o estudante afirma se recordar da malha do espaço-tempo e de um buraco negro, ou seja, não apresenta uma simulação mental em si sobre a contração espacial ou dilatação temporal, como os estudantes do Estágio IV apresentam.

O estudante A21 demonstrou essas mesmas características. Falando também sobre a questão 7 do teste de Lorentz, o estudante também menciona o filme Interestelar e mostra indicações do entendimento de que a dilatação do tempo depende da velocidade.

[11:28] A21: Por causa é, aqui (*pré-teste*) foi antes de ver o conteúdo, antes de ter as avaliações. Então eu botei um ano, porque eu achei que seria um ano. Mas aqui na segunda (*pós-teste*), com as, as aulas e os trabalhos a gente viu que diminui a velo, o tempo por causa da reatividade.

E: Sim. E daí tu lembrou disso das aulas?

A21: Uhum.

E: E tem alguma parte específica da aula que tu lembrou dessa situação do tempo?

A21: Não, acho que foi mais o, o filme Interestelar que eu acho que eu já assisti umas 50 vezes.

[...] E: E tem vem alguma imagem na cabeça quando tu vai imaginar essa situação de medir a distância, de medir o tempo?

A21: Não, uma imagem não. Nada muito específico.

Além disso, o próprio estudante afirma no trecho acima não possuir uma imagem específica para a situação, indicando que não possui uma simulação mental desenvolvida. Ao falar sobre as atividades realizadas com a simulação computacional “Dilatação Temporal”, indicações da concepção gradativa do fator gama surgem novamente. O primeiro trecho refere-se à situação do trem a 50 km/h.

[13:04] A21: Vai passar igual mas com um mínimo de diferença de, mas nada muito relevante.

E: Por que ela vai ser pequena, a diferença?

A21: Por causa que a velocidade não é muito elevada, não chega a ser alguma coisa pra relatividade.

Como o estudante afirma no trecho, a diferença entre os intervalos de tempo dos referenciais seria mínima, devido à baixa velocidade. Depois, com o trem a 490 km/h (*na simulação considera-se a velocidade da luz como 500 km/h*), ele afirma que a diferença seria maior, novamente devido à velocidade.

[13:50] A21: Agora então a, o tempo mudaria um pouco, mais do que a anterior.

E: Por quê?

A21: Por causa da velocidade.

Esses dois estudantes demonstraram indicações da compreensão dos mecanismos das Transformações de Lorentz para a TER. Entretanto, diferentemente dos estudantes do Estágio IV, eles não apresentam indicações que sugerem imagens ou simulações mentais nítidas para as situações relativísticas. Além disso, ambos os estudantes demonstraram já ter alguma familiaridade com a TRE, mencionando livros, filmes etc. Dessa forma, esses estudantes não puderam ser enquadrados nos Estágios I, II ou III, por terem apresentado indícios de compreensões maiores que eles. Por outro lado, por não demonstrarem indícios do desenvolvimento de imagens ou simulações mentais para essa compreensão, não puderam ser colocados no Estágio IV.

## 7.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS QUATRO ESTÁGIOS

A análise dos resultados apresentados sugere que existam diferenças entre os estudantes, que foram classificados nos quatro estágios. Como mencionado anteriormente, os estágios foram organizados de forma crescente com o nível de compreensão demonstrado das Transformações de Lorentz para a TRE. Sendo que os únicos estudantes que apresentaram

imagens ou simulações mentais nítidas a respeito de situações relativísticas são os que estão no Estágio IV.

Dessa forma, percebe-se que os estudantes no Estágio I seriam aqueles que ainda não conseguiram compreender essas transformações, pelos resultados que apresentaram. Esses estudantes demonstraram indicações de grandes dificuldades já com as Transformações Galileanas, com resultados que sugerem uma ideia de movimento absoluto. Essa concepção pode se tornar um obstáculo para que se obtenha o entendimento a respeito da TRE, onde a única grandeza absoluta é a velocidade da luz. Portanto, seriam estudantes que provavelmente ainda não possuiriam sequer a região newtoniana do perfil conceitual desenvolvida.

No Estágio II os estudantes já apresentam indícios de que começam a compreender o funcionamento da TRE e das Transformações de Lorentz, mas, ainda assim, apresentam concepções que sugerem a ideia de que os fenômenos ocorrem somente em “altas velocidades”, ou seja, não ocorrem em situações usuais. Além disso, aparentemente relacionam os fenômenos a mudanças de percepção e ilusão de ótica, não apresentando indicações de que os considerem reais. Possivelmente, esses estudantes possuem a região newtoniana do perfil conceitual de referencial bem desenvolvida, entretanto, ainda não teriam desenvolvido a região relativística do perfil, sendo provavelmente o obstáculo para a aceitação dos fenômenos.

No Estágio III estão os alunos que já apresentaram indicações de uma compreensão maior da TRE, mas ainda de forma incompleta. Os resultados sugerem que, em relação à dilatação temporal a compreensão desses estudantes é completa, que a entendem como um fenômeno real, e que ocorre para qualquer velocidade, porém em menor ou maior escala. Por outro lado, para a contração espacial, percebem-se indicações de que a associam somente a “altas velocidades” e entendem que seja apenas uma mudança na percepção, por não ser possível uma medição precisa. Pode-se sugerir que nesse estágio os estudantes já possuem a região relativística do perfil conceitual em construção, ou seja, ela estaria incompleta, além de eles ainda não estarem totalmente familiarizados com ela.

Seguindo-se para o nível de compreensão mais alto, no Estágio IV encontram-se os estudantes que apresentaram indicações de uma compreensão mais completa sobre a TRE e o funcionamento das Transformações de Lorentz. A análise dos resultados sugere que esses estudantes entendem que tanto a dilatação temporal quanto a contração espacial ocorrem em qualquer velocidade, porém em diferentes escalas. Além disso, apresentam indicações da concepção de ambos como fenômenos reais, os intervalos de tempo são efetivamente diferentes para sistemas de referência diferentes, assim como o espaço medido. Portanto, possivelmente estes estudantes já possuem a região relativística do perfil conceitual desenvolvida, bem como

sabem de uma forma em que situações devem utilizá-la. Evidentemente, é necessário um maior tempo de maturação para que estejam totalmente familiarizados com ela.

Deste modo, a partir dos resultados obtidos pode-se perceber indicações de um processo de compreensão da TRE. Os indícios encontrados sugerem que primeiramente os estudantes precisam compreender o funcionamento da TRE em relação à dilatação temporal e contração espacial para que então passem a aceitar esses fenômenos como reais. Ademais, percebe-se que provavelmente a compreensão em relação ao tempo ocorra antes da compreensão em relação ao espaço. Isso se deve, muito possivelmente, ao fato de o tempo ser um conceito mais abstrato, enquanto o espaço seria mais concreto, sendo difícil aceitá-lo como relativo (DIMITRIADI & HALKIA, 2012).

Por fim, o fato constatado de somente os estudantes do Estágio IV apresentarem imagens ou simulações metálicas (MONAGHAN & CLEMENT, 1999) nítidas para as situações relativísticas sugere que, somente através delas, que os estudantes conseguiriam compreender realmente os fenômenos envolvendo a TRE. O motivo por trás disso, possivelmente, seja pelo fato de se tratar de fenômenos imperceptíveis em situações cotidianas, sendo necessários mecanismos externos (SOUZA, 2004) que facilitem essa visualização. Na presente pesquisa, esses mecanismos foram fornecidos através, principalmente, de mediações *Hiperculturais* – simulações, animações e gifs – que possivelmente permitiram aos estudantes ampliar a sua capacidade de processamento de informações desenvolvendo *drives*.

Portanto, através desses resultados obtidos, é possível aferir que, para a aceitação dos fenômenos relativísticos como reais seja necessária a compreensão destes, e para a compreensão deles se mostraram necessárias as imagens e simulações mentais, desenvolvidas possivelmente através das mediações utilizadas.

## 8 RELAÇÕES ENTRE OS REFERENCIAIS TEÓRICOS E OS RESULTADOS DA PESQUISA

Ao se tratar de uma pesquisa em que será feita uma análise qualitativa, deve-se ter um grande cuidado e planejamento com a metodologia didática que será utilizada. Deste modo, todas as atividades desenvolvidas com os alunos no presente estudo levaram em conta os preceitos da Teoria da mediação Cognitiva (TMC) (SOUZA, 2004), considerando que com o auxílio de mecanismos externos os estudantes ampliam a sua capacidade de processamento de informações.

De acordo com a TMC existem quatro formas de mediação com esses mecanismos, sendo todas elas incorporadas durante as atividades desenvolvidas. A mediação social se deu através das interações com os colegas e professora durante as atividades, enquanto a mediação cultural foi contemplada através de vídeos utilizados. Já a mediação psicofísica estava presente através das maquetes de representação das Transformações de Galileu e de Lorentz. Por fim, a mediação *hipercultural* se deu por meio da utilização das quatro simulações computacionais.

Como constatado em estudos anteriores (SOUZA & SERRANO, 2020), a utilização das quatro mediações pode potencializar a aprendizagem dos estudantes, fomentando a construção de simulações mentais por eles. Ademais, para poder compreender a Teoria da Relatividade, é importante que o estudante compreenda a necessidade da formulação e aplicação dela. Com esse objetivo, a visão epistemológica de Larry Laudan (1978) foi utilizada.

Todo o desenvolvimento das atividades em sala de aula e discussão dos pontos chave da teoria com os estudantes foram realizados através do viés epistemológico de Laudan. Foram trazidos os principais eventos históricos e problemas que surgiram na ciência previamente ao desenvolvimento da teoria, bem como de que forma ela conseguiu solucioná-los, apesar de trazer uma visão completamente nova sobre a natureza.

Evidenciando-se a necessidade do desenvolvimento da Teoria da Relatividade, também é possível mostrar, além das limitações das teorias anteriores, como e onde elas ainda podem ser aplicadas. Ou seja, se mostra a possibilidade de utilizar modelos e teorias mais simples para a resolução de certos problemas, que não requerem alto grau de precisão. Essa ideia, do não descarte de uma teoria de menor aplicação reflete para o estudante o acesso às suas diferentes regiões do seu perfil conceitual (MORTIMER, 1995), que não deixam de existir com o surgimento de uma nova região.

Conforme Mortimer (1995) o estudante possui diferentes regiões em seu perfil conceitual para determinados conceitos. Através de seu estudo, Ayala Filho (2010) constata quais seriam essas regiões para a noção de referencial, bem como os obstáculos epistemológicos associados a desenvolvimento da região relativística do perfil. Somente superando esses obstáculos que o estudante conseguiria desenvolver a sua região relativística no perfil.

Através dos resultados encontrados, descritos e analisados por meio dos quatro estágios, percebe-se indicações que sugerem que o estudante desenvolva gradualmente essa região, conforme passe a compreender os mecanismos de funcionamento da Teoria da Relatividade. Nesse estudo, somente os alunos que apresentaram desenvolver sua região relativística no perfil conceitual de referencial que mostraram aceitar as consequências da TRE como reais – em nosso estudo, focando-se na dilatação temporal e contração espacial. Pode-se considerar que, primeiramente, seria necessário superar as barreiras epistemológicas, ou seja, ter a compreensão o funcionamento da teoria, para que então possam ser superadas as barreiras ontológicas, mudando a concepção de tempo e espaço que o estudante possui.

Os resultados sugerem que, para que as essas barreiras epistemológicas possam ser superadas, o estudante necessitaria de mecanismos internos para o processamento dos fenômenos, ou seja, seria necessária a criação um modelo interno e a sua utilização para explicar os fenômenos com os quais se depara. Nesse processo, surgem as imagens e simulações mentais (MONAGHAN & CLEMENT, 1999) desenvolvidas através da interação com diferentes mediações (SOUZA, 2004), conforme indicações encontradas na análise dos resultados.

Vale destacar que, dado o ensino de ciências muitas vezes desenvolvido de forma limitada e restrita no Ensino Fundamental e Médio, este ensino deficitário pode-se constituir um obstáculo para que o estudante consiga construir suas imagens e simulações mentais. Deste modo, se faz necessário que o professor traga propostas dinâmicas utilizando-se de diferentes tipos de recursos que estimulem e facilitem o desenvolvimento delas, fomentando uma postura mais ativa dos estudantes no processo de construção de seu próprio conhecimento.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo iniciou-se com foco na utilização de simulações computacionais como mediações *hiperculturais* para o desenvolvimento de simulações mentais pelos estudantes referentes a situações envolvendo a Teoria da Relatividade Especial. Investigou-se, deste modo, como se dá o processo de compreensão dos fenômenos relativísticos ao se transitar entre a Relatividade de Galileu e a de Einstein, e como surgem essas simulações ao longo dele. Também se verificou quais os recursos utilizados pelos estudantes para desenvolverem suas simulações mentais, bem como as dificuldades apresentadas por eles.

Portanto, a seguinte pergunta de pesquisa norteou este estudo: *De que forma se processam as simulações mentais dos estudantes para compreender as Transformações de Lorentz no contexto da Teoria da Relatividade Especial?* Nesse sentido, investigaram-se as concepções dos estudantes acerca da TRE e suas consequências e a relação entre essas concepções e as simulações e/ou imagens mentais apresentadas por eles no processo.

Para isso, os estudantes interagiram com os quatro tipos de mediações, conforme a TMC (SOUZA, 2004), tanto para as Transformações de Galileu quanto para as Transformações de Lorentz na TRE, caracterizando-se como recursos para processamento externo de informações. Entre eles destacam-se as simulações computacionais que, conforme a análise quantitativa, mostraram-se de fato relevantes para a compreensão dos fenômenos pelos estudantes, visto que, os alunos que não interagiram com elas apresentaram um crescimento de compreensão significativamente inferior. É possível que a compreensão dos fenômenos ocorra por meio de ferramentas tradicionais, contudo, por meio da presente pesquisa, foram encontrados fortes indícios de que os recursos utilizados facilitam de maneira significativa essa compreensão pelos estudantes.

Além da análise quantitativa, uma análise qualitativa foi desenvolvida com base nas entrevistas realizadas com estudantes selecionados. A utilização do método *Report Aloud* durante as entrevistas possibilitou não só avaliar a compreensão dos estudantes em relação à TRE, como havia sido feito através dos questionários e análise quantitativa, mas também investigar suas concepções a respeito dos fenômenos relativísticos e suas simulações mentais, assim como as origens delas. Desse modo, de acordo com o encontrado na revisão de literatura, percebeu-se indícios de que a maioria dos estudantes tende a processar os efeitos relativísticos como ilusões de ótica ou percepção.

A utilização da Análise Gestual Descritiva (CLEMENT, 1994; CLEMENT & STEINBERG, 2002; MONAGHAN & CLEMENT, 1999; STEPHENS & CLEMENT, 2010, 2015) nas entrevistas possibilitou identificar, através dos gestos descritivos realizados pelos estudantes, as suas imagens e/ou simulações mentais para diferentes situações, além de suas possíveis origens, sejam dos materiais utilizados ou não. Notou-se que grande parte dos gestos foi oriunda de animações e gifs utilizados nos slides desenvolvidos. Percebeu-se também várias indicações uma forte ligação entre as simulações mentais e as concepções dos estudantes, relacionadas com diferentes níveis de compreensão, chamados aqui de estágios.

Entre os estudantes entrevistados, foi possível perceber indícios que sugerem a presença de quatro diferentes estágios de compreensão da TRE. Esses estágios possivelmente estariam relacionados ao desenvolvimento de diferentes zonas do perfil conceitual de referencial, conforme as ideias de Mortimer (1995), e às simulações mentais apresentadas pelos estudantes durante as entrevistas. Pode-se perceber, através dos resultados, que os estudantes com indicações de zonas de perfil mais desenvolvidas e simulações mentais nítidas apresentaram concepções aparentemente mais completas acerca da TRE.

É possível notar, portanto, indícios de que somente à medida que os estudantes compreendem a teoria, que eles passam a aceitá-la. Em outras palavras, conforme os estudantes passariam a compreender os mecanismos de funcionamento da TRE eles conseguiriam desenvolver sua região relativística na região do perfil conceitual de referencial.

Pelos resultados encontrados, ao desenvolver essa região que os estudantes começariam a aceitar os efeitos relativísticos como reais, ou seja, superaríamos primeiramente as barreiras epistemológicas para que então as barreiras ontológicas sejam superadas. A partir disso, pode-se supor que à medida que se familiarizassem com a teoria, eles passariam a compreender a sua aplicabilidade, bem como em que situações as ideias newtonianas poderiam ser utilizadas e em quais não poderiam.

Ademais, no processo de compreensão dos mecanismos de funcionamento da teoria percebe-se que ocorre o desenvolvimento de simulações mentais sobre os fenômenos envolvendo-a. No presente estudo, somente os estudantes que conseguiram desenvolver simulações mentais nítidas se mostraram capazes de compreender a teoria. O estabelecimento desses recursos internos se deu à medida que os estudantes interagiram com mecanismos externos de processamento, as diferentes mediações (SOUZA, 2004).

Dessa forma, percebem-se indicações de que utilizando-se diferentes tipos de mediações facilita-se o processo de construção dessas simulações mentais. Destaca-se, portanto, a importância do estudo de diferentes recursos através das diferentes mediações na

formação de professores, para que estes sejam capazes de aplicar e utilizar estes recursos com os estudantes em sala de aula, qualificando o ensino de ciências na Educação Básica.

Percebeu-se, pela análise dos resultados, que o desenvolvimento da zona relativística do perfil conceitual de referencial e a criação das simulações mentais ocorreram gradativamente e simultaneamente. Portanto, os estudantes que mostraram evidências dessa zona mais desenvolvida do perfil também demonstraram possuir simulações mentais nítidas. Todavia, as concepções dos estudantes a respeito dos fenômenos envolvidos somente se mostraram modificadas após isso, fazendo com que eles aparentemente compreendam os fenômenos da dilatação temporal e contração espacial como reais.

Destaca-se que, possivelmente, para que o estudante efetivamente busque compreender uma teoria seria necessário que ele saiba qual a necessidade e aplicabilidade dela. Deste modo, através de um resgate histórico e epistemológico por meio da visão de Laudan (1978) foi possível levantar os fatores que culminaram no desenvolvimento da TRE bem como os problemas que surgiram que ela resolveu. Assim, evidenciou-se a real necessidade dela além de demonstrar como a ciência é, de fato, um empreendimento humano. Compreensão fundamental para a formação do aluno como cidadão.

Portanto, dados os resultados obtidos por meio de toda a experimentação realizada com os estudantes, entende-se que o planejamento das atividades e da sequência didática utilizada foi eficiente para estimular o desenvolvimento de imagens ou simulações mentais pelos estudantes e analisar esse processo. Entende-se que os objetivos da pesquisa foram atingidos, visto que foi possível estabelecer uma relação entre essas imagens ou simulações mentais, as concepções dos estudantes e os recursos utilizados.

A partir dos resultados obtidos, levando em conta a crescente importância da abordagem de temáticas de Física Moderna em sala de aula, planeja-se a continuidade da investigação da relação entre os perfis conceituais, simulações mentais e concepções dos estudantes estendendo-se à Teoria da Relatividade Geral, possivelmente como investigação de doutoramento. Deste modo, no tocante às concepções dos estudantes, uma relação com os Construtos Pessoais de Kelly (1963) pode ser estabelecida. Outra possibilidade futura está no desenvolvimento de atividades voltadas à formação de professores, buscando familiarizá-los com as ferramentas utilizadas na presente pesquisa e com a temática da Teoria da Relatividade.

Por fim, dados os resultados significativos encontrados, essa investigação pode também ser estendida a outras temáticas, não só de Física, mas no Ensino de Ciências, bem como para diferentes realidades, verificando se o processo de compreensão dos estudantes e desenvolvimentos de suas simulações mentais se dá de forma similar ou análoga.

## REFERÊNCIAS

ABREU, R.; CARVALHO, W. L. P. A Perspectiva de Alunos sobre a Inserção de Física Moderna no Ensino Médio. V Educação em Ciências, Campinas, Bauru, 2005.

AHTEE, M. & VARJOLA, I. Students' understanding of chemical reaction. **International Journal Science Education**, v. 20, n. 3, p. 305-316, 1998.

ALIAS, S. N. B.; IBRAHIM, F. Difficulties in Learning for Solving Problem of Space-Time Special Relativity. **International Journal of Business and Social Science**, v. 4, n. 5, pp. 280-284, 2013.

ALVES JÚNIOR, P. J. F. **Uma Proposta de Inserção da Relatividade Restrita no Ensino Médio**. 2016. 121 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade do Vale do São Francisco, Juazeiro, 2016.

ANDRADA, P. C.; OLIVEIRA, M. C.; CRUZ, P. C. G.; CORREIA, C. M. R.; PAIVA, M. O. Desinteresse dos Alunos de Ensino Médio pela Escola na Atualidade. **Momentum**, v. 1, n. 16, 2018.

AYALA FILHO, A. L. A construção de um perfil conceitual 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, pp. 155-179, 2010.

AYALA FILHO, A. L.; FREZZA, J. S. A construção de um perfil conceitual de referencial na aprendizagem da teoria da relatividade. **Atas do II Encontro Estadual de Ensino de Física**, Porto Alegre, RS, Brasil.

BACHELARD, G. **The philosophy of No**. 1ª edição. Nova Iorque: The Orion Press, 1968. Traduzido de *La philosophie du non*, 1940, por G. C. Waterston.

BALDIOTTI, M. C. Física Moderna I – Parte A. Londrina: UEL, 2014.

BASSANEZI, Rodney C. Modelagem Matemática: teoria e prática. Editora Contexto: São Paulo, 2015.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**: Ensino Médio. Brasília: MEC/SEMTEC, 2018.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Básica. **Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Básica**. Brasília: MEC/SEB, 2013.

\_\_\_\_\_. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica, Brasília, **Parâmetros Curriculares Nacionais**: Física. Brasília: MEC/SEMTEC, 1998.

BROCK, C.; ROCHA FILHO, J. B. Causas da Rejeição dos Estudantes de Ensino Médio à Carreira Profissional no Magistério em Física. *In.*: ROCHA FILHO, J. B. (org.) **Física no Ensino Médio: falhas e soluções**. 1 ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2011. p. 11-25.

BROCKINGTON, G.; PIETROCOLA, M. Serão as regras da Transposição Didática aplicáveis aos conceitos de Física Moderna? **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 3, p. 387-404, 2005.

CARR, D.; BOSSOMAIER, T. Relativity in a rock field: A study of physics learning with a computer game, **Australasian Journal of Educational Technology**, v. 27, n. 6, pp. 1042-1067, 2011.

CARROLL, S. Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity. São Francisco: Pearson Education, 2004.

CARUSO, F.; OGURI, V. Física Moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos. 2ª edição. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2016.

CETIC. **Centro Regional de Estudos para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação**. Disponível em: <https://cetic.br/pt/pesquisa/educacao/>. Acesso em: 15 de Outubro de 2020.

CHALMERS, A. F.. **O que é ciência afinal?**. São Paulo: Editora Brasiliense, 1993.

CHEVALLARD, Y. La Transposición Didáctica: del saber sabio al saber enseñado. La Pensée Sauvage, Argentina, 1991.

CHEVALLARD, Y. Sobre a Teoria da Transposição Didática: algumas considerações introdutórias. **Revista de Educação Ciências e Matemática**, v. 3, n. 2, p. 1-14, 2013.

CHU, G.; HUMER, I.; ECKHARDT, C. Special Relativity in Immersive Learning, 5<sup>th</sup> International Conference Immersive Learning Research Network, London, UK, Junho, 2019.

CLEMENT, J. J. Use of Physical Intuition and Simulation in Expert Problem Solving. **Human Development**, v. 6, n. 1, pp. 204-244, 1994.

CLEMENT, J. J.; STEINBERG, M. S. Step-wise evolution of mental models of electric circuits: a “learning-aloud” case study. **Journal of Learning Sciences**, v. 11, n. 4, p. 389-452, 2002.

DAL-FARRA, R. A.; FETTERS, M. D. Recentes avanços nas pesquisas com métodos mistos: aplicações nas áreas de Educação e Ensino. **Acta Scientiae**, v. 19, n. 3, p. 466-492, 2017.

D’INVERNO, R. Introducing Einstein’s Relativity. Nova York: Oxford University Press, 1998.

EINSTEIN, A. A Teoria da Relatividade: sobre a teoria da relatividade especial e geral. 1ª edição. Porto Alegre: Editora L&PM, 2015. Traduzido de *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie*, 1916, por Silvio Levy.

EINSTEIN, A. Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento. **Ann. D. Physics.** v. 17, 1905.

ESCOLA ESTADUAL TÉCNICA SÃO JOÃO BATISTA. Sobre. Disponível em: <https://proffadriano.wixsite.com/expotec/contato>. Acesso em: 26 de Agosto de 2020.

FEYNMAN, R. P. Física em 12 Lições: fáceis e não tão fáceis. 2ª edição. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 2017. Traduzido de *12 Lessons on Physics*, 1989, por Ivo Koryttowski.

FIASCA, A. B. A. **Aplicando Metodologias Ativas e Explorando Tecnologias Móveis em Aulas de Relatividade Restrita no Ensino Médio.** 2018. 173 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé, 2018.

FREZZA, J. S. **Construção de Modelos e Teorias Físicas: da Mecânica Clássica de Newton à Mecânica Relativística de Einstein.** 2015, 95 f. Tese (Doutorado em Educação), Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

FOUREZ, G. Crise no Ensino de Ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 8, n. 2, p. 109-123, 2003.

FUCHS, E. I. **Teoria da Relatividade Restrita: uma introdução histórico-epistemológica e conceitual voltada ao Ensino Médio.** 2016. 337 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

GLEISER, M. Por que ensinar física? **Física na Escola**, v. 1, n. 1, 2000.

GOUSOPOULOS, D.; KAPOTIS, E.; KALKANIS, G. Students' difficulties in understanding the basic principles of Relativity after standard instruction, ESERA "Science Education Research: Engaging learners for a sustainable future", Helsinki, Finlândia, Agosto de 2015.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de Física, volume 3. 4ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de Física, volume 4. 8ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

HAWKING, S. Uma Breve História do Tempo. 1ª edição. Rio de Janeiro: Editora Intrínseca, 2015. Traduzido de *A Brief History of Time*, 1988, por Ângelo Lessa.

HOSSON, C.; KERMEN, I., MAISCH, C. Learning scenario for a 3D virtual environment: the case of Special Relativity, 12th International Symposium on Frontiers of Fundamental Physics and Physics Education Research, Udine, Itália, Novembro de 2011.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 26 de Agosto de 2020.

INEP. **Índice de Desenvolvimento da Educação Básica – IDEB**. Disponível em <https://www.gov.br/inep/pt-br>. Acesso em: 26 de Agosto de 2020.

JIMOYIANNIS, A. & KOMIS, V. Computer simulations in physics teaching and learning: a case study on students' understanding of trajectory motion. **Computers & Education**. v. 36, p.183-204, 2001.

KARAM, R. A. S. **Relatividade Restrita no início do Ensino Médio: elaboração e análise de uma proposta**. 2005. 236 f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica), Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

KELLY, G. A. *A Theory of Personality: The psychology of Personal Constructs*. 1ª edição. Nova Iorque: Editora Norton & Company, 1963.

KIKUCHI, L. A.; ORTIZ, A. J.; BATISTA, I. L. Ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: uma análise do que se tem discutido a respeito do assunto. Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Águas de Lindóia, SP, Brasil, Novembro de 2013.

KIM, J.; KIM, Y. A Proposal of a Teaching Method using Virtual Reality and Event-Diagram for Secondary Student's Understanding of Basic Concepts in Special Relativity. **Journal Science Education**, v. 35, n. 2, pp. 283-294, 2011.

KIZILCIK, H. S.; ÜNLU YAVAS, P. Investigating the Reasons of Difficulty Understanding of Students in Special Relativity Topics, **Journal of Faculty of Education, University of Çukurova**, v. 46, n. 2, pp. 399-426, 2017.

KÖHNLEIN, J. F. K.; PEDUZZI, L. O. Q. Uma discussão sobre a natureza da ciência do Ensino Médio: um exemplo com a Teoria da Relatividade Restrita. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 22, n. 1: p.36-70, abr. 2005.

KUSUMAWATI, I.; KAHAR, M. S.; KHOIRI, A.; MURSIDI, A. Differences analysis understanding the concept of students between the three islands (Java, Kalimantan, Papua) through multiple representations approaches to the material of Time Dilation, 9th International Conference on Physics and Its Applications, Journal of Physics: Conference Series. Surakarta, Indonésia, Fevereiro de 2019.

LAUDAN, L. *El progreso y sus problemas: Hacia una teoría del crecimiento científico*. 1ª edição. Madrid: Ediciones Encuentro, 1986. Traduzido de *Progress and its problems: towards a theory of scientific growth*. 1978, por Javier López Tapia.

LAUDAN, L. *Progress and its problems: towards a theory of scientific growth*. 1ª edição. London: University of California Press, 1978.

LAUDAN, Laudan. *O progresso e seus problemas: rumo a uma teoria do crescimento científico*. 1ª edição. São Paulo: Editora Unesp, 2011. Traduzido de *Progress and its problems: towards a theory of scientific growth*. 1978, por Roberto Leal Ferreira.

LAUDAN, L.; DONOVAN, A.; LAUDAN, R.; BARKER, P.; BROWN, H.; LEPLIN, J.; THAGARD, P.; WYKSTRA, S. Scientific change: Philosophical models and historical research. **Synthese**, v. 69, p. 141-223, 1986.

LEVIN, Jack. Estatística Aplicada a Ciências Humanas. HARBA: São Paulo. 2ª ed. 1987.

LORENTZ, H. A. Fenômenos eletromagnéticos num sistema que se move com qualquer velocidade inferior à da luz. **Proceedings Acad. Sc. Amsterdam** 6. 1904.

LORENTZ, H. A. A Teoria da Relatividade de Einstein. Timburi: Cia do Ebook, 2018. Traduzido por Luís Orlando Ernerich dos Santos.

LÜDKE, M. & ANDRÉ, M. E. D. Pesquisa em educação: Abordagens qualitativas. São Paulo: EPU, 1986.

MARQUES, E. A relatividade da simultaneidade e suas consequências filosóficas. **Principia**, v. 21, n. 3, p. 391-409, 2017.

MONAGHAN, J. M.; CLEMENT, J. Use of a computer simulation to develop mental simulations for understanding relative motion concepts. **International Journal of Science Education**, v. 21, n. 9, p. 921-944, 1999.

MONÇORES, E. O. **Uma Proposta para Facilitar a Prática Docente no Ensino da Teoria da Relatividade Especial no Ensino Médio**. 2014. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Nilópolis, 2014.

MORTIMER, E. F. Conceptual Change or Conceptual Profile Change? **Science & Education**, v. 4, n. 1, pp. 267-285, 1995.

MORTIMER, E. F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de Ciências: para onde vamos? **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 1, n. 1, pp. 20-39, 1996.

MORTIMER, E. F. Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências. 1ª edição. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2000.

NUSSENZVEIG, H. M. Curso de Física Básica, volume 1. 1ª edição. São Paulo: Editora Blucher, 1998.

NUSSENZVEIG, H. M. Curso de Física Básica, volume 4. 1ª edição. São Paulo: Editora Blucher, 1998.

NADAS, R. B. **A Mudança de Perfil Conceitual acerca dos Conceitos da Teoria da Relatividade durante o curso de Licenciatura em Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)**. 2017. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física), Departamento Acadêmico de Física, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

NOGUEIRA, B. M.; BÓ, A. D.; ESTIVALET, A.; COSTA, D. Fatores de Desinteresse e a Experimentação no Ensino de Ciências da Natureza. XV Encontro sobre Investigação na Escola, Porto Alegre, julho de 2018.

OLIVEIRA, F. F.; VIANNA, D. M.; GERBASSI, R. S. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 447-454, 2007.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea” no Ensino Médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 1, pp. 23-48, 2000.

OSTERMANN, F.; FERREIRA, L. M.; CAVALCANTI, C. J. H. Tópicos de Física Contemporânea no Ensino Médio: um Texto para Professores sobre Supercondutividade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 20, n. 3, pp. 270-288, setembro de 1998.

PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F. Sobre o Ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 3, pp. 393-420, 2009.

RAMOS, A. F. **Estudo da influência da utilização de software de modelagem molecular no processo de aprendizagem de conceitos químicos por estudantes do Ensino Médio e Superior**. 2015. 207 f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Matemática), Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2015.

REIS, M. A. F. **O uso de Simulações Computacionais no Ensino de Colisões Mecânicas**. 2004. 127 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2004.

REIS U. V.; REIS, J. C. O. Os conceitos de espaço e de tempo como protagonistas no ensino de Física: um relato sobre uma sequência didática com abordagem histórico-filosófica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 3, pp.744-778, 2016.

RENN, J. A Física Clássica de Cabeça para Baixo: Como Einstein descobriu a teoria da relatividade especial? **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 1., p. 27-36, 2004.

ROCHA, D. D.; RICARDO, E. C. Crenças de Autoeficácia e a Formação Docente em Física Moderna e Contemporânea: uma relação atuante nas práticas dos professores. VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Campinas, dezembro de 2011.

ROCHA, J. F. *Origens e Evolução das Ideias na Física*. 1ª edição. Salvador: Editora EDUFBA, 2002.

RUSSELL, B. *ABC da Relatividade*. 5ª edição. Zahar Editores: Rio de Janeiro, 1974.

SANTOS, A. M. **Da Física Clássica a Contemporânea com a Relatividade Especial: inserindo os postulados da relatividade em conteúdos curriculares de Física através de**

**organizadores prévios.** 2018. 194 f. Dissertação (Mestrado em Nacional Profissional em Ensino de Física), Universidade do Estado da Bahia, Salvador, 2018.

SCHUTZ, B. *A First Course in General Relativity*. 2ª edição. Nova York: Cambridge University Press, 2009.

SIEGEL, Sidney. *Estatística não-paramétrica para as ciências do comportamento*. McGraw-Hill do Brasil: São Paulo. 1981.

SILVA, Boniek Venceslau de Cruz. A natureza da ciência pelos alunos do ensino médio: um estudo exploratório. **Latin-American Journal of Physics Education**, v. 4, n. 3, pp. 620-627, 2010.

SODRÉ, F. C. R. **Uma proposta de levantamento de perfil conceitual complexo de tempo**. 2017. 376 f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências), Programa de Pós-Graduação Interunidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

SOUZA, B. C. *A Teoria da Mediação Cognitiva*. 1ª edição. Recife: Editora da UFPE, 2006.

SOUZA, B. C. **A Teoria da Mediação Cognitiva: os impactos cognitivos da Hipercultura e da mediação digital**. 2004. 282 f. Tese (Doutorado em Psicologia), Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

SOUZA, B. C.; SILVA, A. S.; SILVA, A. M.; ROAZZI, A.; CARRILHO, S. L. S. Putting the Cognitive Mediation Networks Theory to the test: Evaluation of a framework for understanding the digital age. **Computers in Human Behavior**, v. 28, n. 1, pp. 2320-2330, 2012.

SOUZA, F. P. S. **Conceitos de simultaneidade, da antiguidade à Relatividade: um módulo de ensino contextualizado**. 2016. 290 f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica), Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

SOUZA, M. G.; SERRANO, A. The Impact of the Usage of Hypercultural Mediation in the Teaching of special Relativity in High School in Brazil. **Acta Scientiae**, v. 22, n. 4, 2020.

SOUZA, M. G.; SERRANO, A. Utilizando Simulações Computacionais de Movimento Relativo: uma comparação dos métodos *Think Aloud* e *Report Aloud*. **Revista Valore**, no prelo.

STACHEL, J. O ano miraculoso de Einstein: cinco artigos que mudaram a face da física. 1ª edição. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2005.

STEPHENS, A. L.; CLMENT, J. J. Documenting the use of expert scientific reasoning process by high school physics students. **Physics Education Research**, v. 6 n. 2, pp. 20122–1-20122–15, 2010.

STEPHENS, A. L.; CLEMENT, J. J. Use of physics simulations in whole class and small group settings: Comparative case studies. **Computers & Education**, v. 86, n. 86, 137-156, 2015.

TAO, P.; GUNSTONE, R. F. Conceptual change in science through collaborative learning at the computer. National Association for Research in Science Teaching Annual Meeting, Oak Brook, EUA, 1997.

TERRAZZAN, Eduardo Adolfo. A inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na escola de 2º grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 9, n. 3, pp. 209-214, 1992.

THORNE, K. S. *Black Holes and Time Warps: Einstein's outrageous legacy*. 1ª edição. Nova Iorque: WW Norton & Company, 1994.

THORNTON, S. T.; REX, A. *Modern Physics for Scientists and Engineers*. 4ª edição. Boston: Cengage Learning, 2013.

TREVISAN, R. **Um Estudo da Relação entre as Imagens Mentais Utilizadas por Estudantes de Mecânica Quântica e seu Perfil Epistemológico: uma investigação pela metodologia Report Aloud**. 2016, 170 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática), Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2016.

TREVISAN, R.; SERRANO, A.; WOLFF, J. F. S.; RAMOS, A. F. Peeking into their mental imagery: The Report Aloud technique in science education research. **Ciência e Educação**, v. 25, n. 3, pp. 647-664, 2019.

ÜNLU YAVAS, P.; KIZILCIK, H. S. Pre-Service Physics Teachers' Difficulties in Understanding Special Relativity Topics, **European Journal of Physics Education**, v. 7, n. 1, pp. 13-24, 2016.

VAN-SOMEREN, M. W.; BARNARD, Y. F.; SANDBERG, J. A. C. *The Think Aloud Method: a practical guide to modeling cognitive processes*. 1ª edição. London: Academic Press, 1994.

VELENTZAS, A.; HALKIA, K. The use of thought experiments in teaching physics to upper secondary-level students: two examples from the theory of relativity. **International Journal of Science Education**, v. 35, n. 18, pp. 3026-3049, 2013.

VIZZOTTO, P. A.; MACKEDANZ, L. F. Alfabetização científica e a Contextualização do conhecimento: um estudo da Física aplicada ao trânsito. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, n. 1, 2020.

WALD, R. M. *General Relativity*. Chicago: University of Chicago Press, 1984.

WOLFF, J. F. S.; MORS, P. M. Relatividade: a passagem do enfoque galileano para a visão de Einstein. **Textos de Apoio ao Professor de Física** (Instituto de Física da UFRGS), v. 16, n. 5, 2005.

WOLFF, J. F. S. **As modificações de drivers prévios através da utilização de simulações computacionais: aprendizagem significativa dos conceitos de colisões verificadas através da análise das imagens mentais de estudantes universitários**. 2015. 260 f. Tese (Doutorado

em Ensino de Ciências e Matemática), Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2015.

ZABALA, A. A prática educativa: como ensinar. 1ª edição. São Paulo: Artmed Editora, 1998. Traduzido de *La práctica educativa: cómo enseñar*. 1995, por Ernani F. da F. Rosa.

## **APÊNDICES**

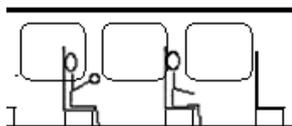
## APÊNDICE A – Teste Transformações de Galileu



Nome: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

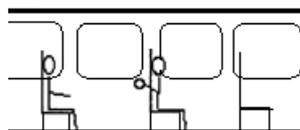
Observe a imagem:



Você e seu colega estão no ônibus indo para a escola, que está parado em um semáforo. Suponha que você vá jogar uma bola de papel e acertar seu colega no banco à sua frente.

- 1) Quão forte você tem que jogar a bola de papel de um banco no ônibus para outro banco à sua frente quando o ônibus está andando?
  - a) Da mesma forma que se o ônibus estivesse parado.
  - b) Mais forte do que se o ônibus estivesse parado.
  - c) Mais fraco do que se o ônibus estivesse parado.
  - d) É impossível bater no banco que está à sua frente quando o ônibus está andando.
- 2) Qual é a sua confiança na sua resposta?
  - a) Foi um chute.
  - b) Não muito confiante.
  - c) Bastante confiante.
  - d) Certeza que estou certo.

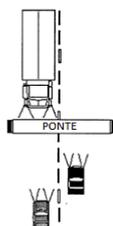
Observe a imagem:



Supondo que, se o ônibus estivesse parado no semáforo, você poderia jogar uma bola de papel e acertar seu colega no banco atrás de você.

- 3) Quão forte você teria que atirar a bola de papel do banco em um ônibus para outro banco atrás de você quando o ônibus está andando?
  - a) Da mesma forma que se o ônibus estivesse parado.
  - b) Mais forte do que se o ônibus estivesse parado.
  - c) Mais fraco do que se o ônibus estivesse parado.
  - d) É impossível bater no banco que está atrás de você quando o ônibus está andando.
- 4) Qual é a sua confiança na sua resposta?
  - a) Foi um chute.
  - b) Não muito confiante.
  - c) Bastante confiante.
  - d) Certeza que estou certo.

Observe a imagem:



Na figura, você está no carro cinza.

Seu velocímetro mede 40 km/h.

- 5) Qual é a velocidade de seu carro em relação a um helicóptero voando muito baixo indo na mesma direção que seu carro, com uma velocidade relativa ao solo de 200 km/h?
- 6) Qual é a sua confiança na sua resposta?
  - a) Foi um chute.
  - b) Não muito confiante.
  - c) Bastante confiante.
  - d) Certeza que estou certo.
- 7) O caminhão branco está viajando na direção oposta a você. Se o velocímetro do caminhão indicar 40 km/h, qual é a velocidade do caminhão em relação ao helicóptero?
- 8) Qual é a sua confiança na sua resposta?
  - a) Foi um chute.
  - b) Não muito confiante.
  - c) Bastante confiante.
  - d) Certeza que estou certo.

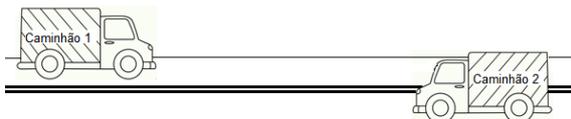
## APÊNDICE B – Teste Transformações de Lorentz



Nome: \_\_\_\_\_

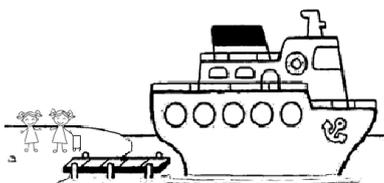
Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Dois caminhões estão em uma mesma estrada, em sentidos opostos, conforme a figura. A distância entre eles é de 100 m. O caminhão 2 está parado devido a um problema no motor.



- 1) Se o caminhão 1 se mover a 80 km/h, a distância que ele percorrerá até o caminhão 2, medida por ele será:  
a) Igual a 100 m.      b) Maior que 100 m.      c) Menor que 100 m.      d) Impossível afirmar.
- 2) Qual é sua confiança na sua resposta?  
a) Foi um chute.      b) Não muito confiante.      c) Bastante confiante.      d) Certeza que estou certo.
- 3) Agora, considerando que o caminhão 1 se movesse com uma velocidade muito alta ( $0,7c$ ), a distância que ele irá percorrer, medida por ele até o caminhão 2 seria:  
a) Igual a 100 m.      b) Maior que 100 m.      c) Menor que 100 m.      d) Impossível afirmar.
- 4) Qual é sua confiança na sua resposta?  
a) Foi um chute.      b) Não muito confiante.      c) Bastante confiante.      d) Certeza que estou certo.

Considere duas amigas que possuem a mesma idade. Uma delas parte em uma viagem de cruzeiro, enquanto a outra permanece na cidade onde ambas moram. A que viajou volta para sua cidade 1 ano após a partida.



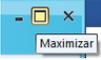
- 5) Se o cruzeiro viajar com uma velocidade média de 30 nós (56 km/h), o tempo que terá passado para a amiga que viajou será:  
a) Um ano.      b) Maior que um ano.      c) Menor que um ano.      d) Impossível afirmar.
- 6) Qual é sua confiança na sua resposta?  
a) Foi um chute.      b) Não muito confiante.      c) Bastante confiante.      d) Certeza que estou certo.
- 7) Agora, se o cruzeiro viajar a uma velocidade muito alta ( $0,7c$ ), o tempo que terá passado para a amiga me viagem será:  
a) Um ano.      b) Maior que um ano.      c) Menor que um ano.      d) Impossível afirmar.
- 8) Qual é sua confiança na sua resposta?  
a) Foi um chute.      b) Não muito confiante.      c) Bastante confiante.      d) Certeza que estou certo.

## APÊNDICE C – Roteiro Simulações “Bolinha no Trem” e “Carros e Avião”

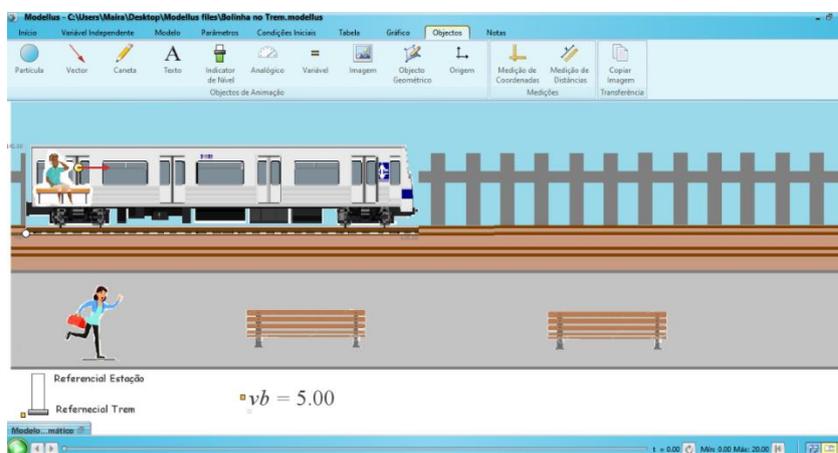


Nomes: \_\_\_\_\_ Turma: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Na nossa atividade vamos utilizar o software Modellus, que permite criar simulações a partir de modelos matemáticos. Vamos usar uma simulação que já está pronto e veremos o movimento de alguns objetos sob diferentes perspectivas. Para iniciarmos, abra a simulação *Bolinha no Trem* com duplo clique. Maximize a janela

clicando em *maximizar* , no canto direito superior da janela.

### Bolinha no Trem



Na simulação há um rapaz dentro do trem que atira uma bolinha amarela para frente com uma velocidade de 5 km/h em relação a ele. O trem está se movendo com uma velocidade 50 km/h para a direita em relação ao solo.

#### 1ª Situação

Explique como será observado o movimento da bolinha para uma pessoa que está fora do trem, na estação. Para isso pode utilizar texto, desenhos, esquemas e/ou gráficos.

Agora vamos observar essa situação na simulação. Primeiro, verifique se está selecionado o referencial da estação no controlador ao lado esquerdo da tela (abaixo do trem), deve estar da seguinte maneira



. CUIDADO: só arraste o controlador quando o cursor do mouse virar uma mãozinha. Para iniciar a simulação, clique no botão *play* , no canto inferior esquerdo da tela.

Descreva o que você observou na simulação. Para isso pode utilizar texto, desenhos, esquemas e/ou gráficos.

Explique as diferenças e semelhanças entre o que você imaginou que aconteceria e o que observou na simulação. Para isso pode utilizar texto, desenhos, esquemas e/ou gráficos.

### 2ª Situação

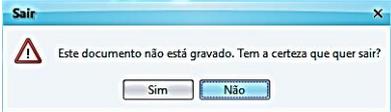
Agora, explique como será observado o movimento da bolinha para o rapaz que atirou ela e está dentro do trem. Para isso pode utilizar texto, desenhos, esquemas e/ou gráficos.

Vamos observar essa situação na simulação. Primeiro precisamos resetar o simulador, para isso, clique no botão *reset* , no canto inferior direito da tela. Agora, verifique se está selecionado o referencial do trem no controlador ao lado esquerdo da tela (abaixo do trem), deve estar da seguinte maneira . CUIDADO: só arraste o controlador quando o cursor do mouse virar uma mãozinha. Para iniciar a simulação, clique no botão *play* , no canto inferior esquerdo da tela.

Descreva o que você observou na simulação. Para isso pode utilizar texto, desenhos, esquemas e/ou gráficos.

Explique as diferenças e semelhanças entre o que você imaginou que aconteceria e o que observou na simulação. Para isso pode utilizar texto, desenhos, esquemas e/ou gráficos.

Feche a simulação *Bolinha no Trem* clicando em *Fechar* , no canto direito superior. Irá abrir a

seguinte janela , clique em *sim*.

Agora abra a simulação *Carros e Avião*, também na pasta *Modellus files*, com duplo clique. Maximize a janela clicando em *maximizar* , no canto direito superior.

## Carros e Avião



Na simulação existem dois carros, um avião e pessoas na calçada. O avião está se movendo com uma velocidade 400 km/h para a direita em relação ao solo, o carro verde está se movendo com uma velocidade de 50 km/h também para a direita em relação ao solo, o carro preto está se movendo com uma velocidade de 80 km/h em relação ao solo e as pessoas estão paradas.

Para visualizar a simulação, clique no botão *play* , no canto inferior esquerdo da tela.

### Situação 1

Explique o que acontecerá caso a velocidade do avião seja reduzida para 100 km/h. Para isso pode utilizar texto, desenhos, esquemas e/ou gráficos.

Agora vamos observar essa situação na simulação. Primeiro precisamos resetar o simulador, para isso, clique no botão *reset* , no canto inferior direito da tela. Agora vamos alterar a velocidade do avião. Para isso,

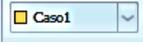
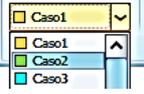
altere o controlador *Velocidade do avião*  para o valor de 100, ou seja, até o lado esquerdo do controlador. Para iniciar a simulação, clique no botão *play* .

Descreva o que você observou na simulação. Para isso pode utilizar texto, desenhos, esquemas e/ou gráficos.

Explique as diferenças e semelhanças entre o que você imaginou que aconteceria e o que observou na simulação. Para isso pode utilizar texto, desenhos, esquemas e/ou gráficos.

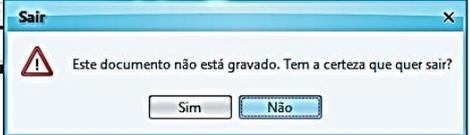
## Situação 2

Explique como você imagina que será essa mesma situação observada por alguém dentro do avião. Para isso pode utilizar texto, desenhos, esquemas e/ou gráficos.

Agora vamos observar essa situação na simulação. Primeiro precisamos resetar o simulador, para isso, clique no botão *reset* , no canto inferior direito da tela. Agora vamos alterar o referencial da simulação para o avião. Para isso, clique na bolinha branca *Avião* . A simulação irá abrir a aba *animação*  na parte superior da janela. No lado esquerdo dessa aba, vá até onde diz *caso 1*  e clique na flecha ao lado. Irá abrir uma lista com opções, selecione o *caso 2* . Repita esse mesmo processo selecionando a bolinha branca *Carro 1* , depois a bolinha branca *Carro 2*  e para a bolinha branca *Pessoa* . Para iniciar a simulação, clique no botão *play* .

Descreva o que você observou na simulação. Para isso pode utilizar texto, desenhos, esquemas e/ou gráficos.

Explique as diferenças e semelhanças entre o que você imaginou que aconteceria e o que observou na simulação. Para isso pode utilizar texto, desenhos, esquemas e/ou gráficos.

Feche a simulação *Bolinha no Trem* clicando em *Fechar* , no canto direito superior. Irá abrir a seguinte janela , clique em *sim*.

## APÊNDICE D – Roteiro Simulações “Dilatação do Tempo” e “Contração do Espaço”

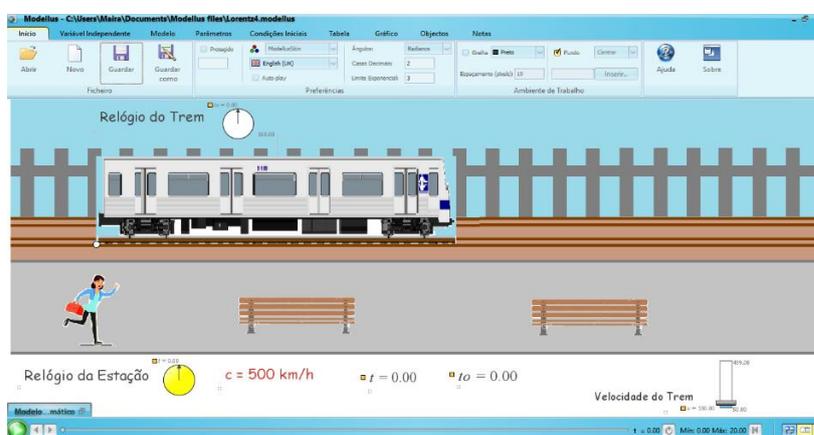


Nomes: \_\_\_\_\_ Turma: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Na nossa atividade vamos utilizar o software Modellus, que permite criar simulações a partir de modelos matemáticos. Vamos usar uma simulação que já está pronto e veremos o movimento de alguns objetos sob diferentes perspectivas. Para iniciarmos, abra a simulação *Dilatação do tempo* com duplo clique. Maximize a

janela clicando em *maximizar* , no canto direito superior da janela.

### Dilatação do Tempo



Na simulação há um trem se movendo em relação à estação. É possível observar o tempo transcorrido para o trem e para a estação. Observe que nessa simulação estamos considerando a velocidade da luz sendo 500 km/h.

#### 1ª Situação

Explique como se dará a passagem de tempo para o referencial na estação e para o referencial no trem quando ele estiver se movendo com uma velocidade de 50 km/h em relação à estação. Para isso pode utilizar texto, desenhos, esquemas e/ou gráficos.

Agora vamos observar essa situação na simulação. Verifique primeiro se a velocidade do trem está ajustada

para 50 km/h no regulador que deve estar da seguinte maneira . CUIDADO: só arraste o controlador quando o cursor do mouse virar uma mãozinha. Para iniciar a simulação, clique no botão *play* , no canto inferior esquerdo da tela.

Descreva o que você observou na simulação. Para isso pode utilizar texto, desenhos, esquemas e/ou gráficos.

Explique as diferenças e semelhanças entre o que você imaginou que aconteceria e o que observou na simulação. Para isso pode utilizar texto, desenhos, esquemas e/ou gráficos.

### 2ª Situação

Agora, explique como se dará a passagem de tempo para o referencial na estação e para o referencial no trem quando ele estiver se movendo com uma velocidade de 490 km/h em relação à estação. Para isso pode utilizar texto, desenhos, esquemas e/ou gráficos.

Vamos observar essa situação na simulação. Primeiro precisamos resetar o simulador, para isso, clique no botão *reset* , no canto inferior direito da tela. Agora verifique se a velocidade do trem está ajustada para 490

km/h no regulador que deve estar da seguinte maneira

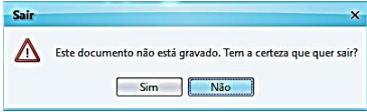


. CUIDADO: só arraste o controlador quando o cursor do mouse virar uma mãozinha. Para iniciar a simulação, clique no botão *play* , no canto inferior esquerdo da tela.

Descreva o que você observou na simulação. Para isso pode utilizar texto, desenhos, esquemas e/ou gráficos.

Explique as diferenças e semelhanças entre o que você imaginou que aconteceria e o que observou na simulação. Para isso pode utilizar texto, desenhos, esquemas e/ou gráficos.

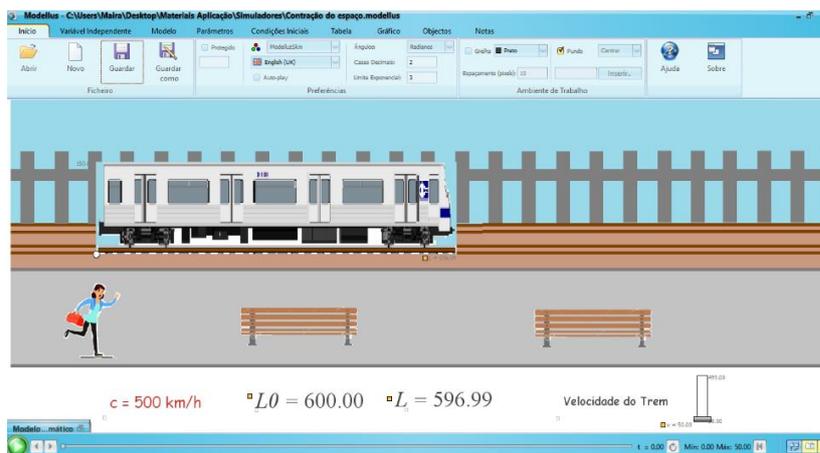
Feche a simulação *Dilatação do tempo* clicando em *Fechar* , no canto direito superior. Irá abrir a

seguinte janela , clique em *sim*.

**Responda:** Para qual referencial o tempo passou mais devagar? Em qual das duas situações a diferença de tempo foi maior? Por que você imagina que isso aconteceu?

Agora abra a simulação *Contração do espaço*, também na pasta *Modellus files*, com duplo clique. Maximize a janela clicando em *maximizar* , no canto direito superior.

### Contração do Espaço



Nessa simulação também há um trem se movendo em relação à estação. É possível observar o comprimento do trem medido da estação e medido de dentro do trem. Aqui também estamos considerando a velocidade da luz igual a 500 km/h.

#### 1ª Situação

Explique como será medido o comprimento do trem para o referencial na estação e para o referencial no trem quando ele estiver se movendo com uma velocidade de 50 km/h em relação à estação. Para isso pode utilizar texto, desenhos, esquemas e/ou gráficos.

Agora vamos observar essa situação na simulação. Verifique primeiro se a velocidade do trem está ajustada para 50 km/h no regulador que deve estar da seguinte maneira . CUIDADO: só arraste o controlador quando o cursor do mouse virar uma mãozinha. Para iniciar a simulação, clique no botão *play* , no canto inferior esquerdo da tela.

Descreva o que você observou na simulação. Para isso pode utilizar texto, desenhos, esquemas e/ou gráficos.

Explique as diferenças e semelhanças entre o que você imaginou que aconteceria e o que observou na simulação. Para isso pode utilizar texto, desenhos, esquemas e/ou gráficos.

### 2ª Situação

Agora, explique como será medido o comprimento do trem para o referencial na estação e para o referencial no trem quando ele estiver se movendo com uma velocidade de 490 km/h em relação à estação. Para isso pode utilizar texto, desenhos, esquemas e/ou gráficos.

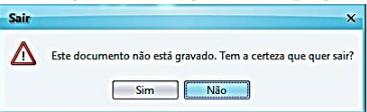
Vamos observar essa situação na simulação. Primeiro precisamos resetar o simulador, para isso, clique no botão *reset* , no canto inferior direito da tela. Agora verifique se a velocidade do trem está ajustada para 490 km/h no regulador que deve estar da seguinte maneira . CUIDADO: só arraste o controlador quando o cursor do mouse virar uma mãozinha. Para iniciar a simulação, clique no botão *play* , no canto inferior esquerdo da tela.

Descreva o que você observou na simulação. Para isso pode utilizar texto, desenhos, esquemas e/ou gráficos.

Explique as diferenças e semelhanças entre o que você imaginou que aconteceria e o que observou na simulação. Para isso pode utilizar texto, desenhos, esquemas e/ou gráficos.

Da mesma forma que antes, feche a simulação *Dilatação do tempo* clicando em *Fechar*, no canto direito superior. Quando abrir a janela, clique em *sim*.

**Responda:** Para qual referencial o comprimento medido foi menor? Em qual das duas situações a diferença das medidas foi maior? Por que você imagina que isso aconteceu?

Feche a simulação *Contração do Espaço* clicando em *Fechar*  no canto direito superior. Irá abrir a seguinte janela , clique em *sim*.

## APÊNDICE E – Termo de Assentimento Livre e Esclarecido



### TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (PARA MENORES DE 12 a 18 ANOS - Resolução 466/12)



Convidamos você, após autorização dos seus pais [ou dos responsáveis legais] para participar como voluntário (a) da pesquisa: *Das Transformações de Galileu a Lorentz: compreendendo as simulações mentais de estudantes do Ensino Médio*. Esta pesquisa é da responsabilidade da pesquisadora Maira Giovana de Souza (Av. Farrapos 8001, prédio 14 – sala 338, mairasouza1096@gmail.com) e está sob a orientação do Prof. Dr. Agostinho Serrano de Andrade Neto (agostinho.serrano@ulbra.br).

Este Termo de Consentimento pode conter informações que você entenda. Caso haja alguma dúvida, pergunte à pessoa que está lhe entrevistando para que esteja bem esclarecido (a) sobre sua participação na pesquisa. Você não terá nenhum custo, nem receberá qualquer pagamento para participar. Você será esclarecido(a) sobre qualquer aspecto que desejar e estará livre para participar ou recusar-se. Após ler as informações a seguir, caso aceite participar do estudo, assinie ao final deste documento, que está em duas vias. Uma delas é para ser entregue aos seus pais para guardar e a outra é do pesquisador responsável. Caso não aceite participar, não haverá nenhum problema se desistir, é um direito seu. Para participar deste estudo, o responsável por você deverá autorizar e assinar um Termo de Consentimento, podendo retirar esse consentimento ou interromper a sua participação a qualquer momento, sem nenhum prejuízo.

**INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA:** A pesquisa tem como objetivo investigar as simulações mentais desenvolvidas por estudantes do Ensino Médio ao se transitar entre as Transformações de Galileu e de Lorentz. Os alunos serão atendidos pela pesquisadora. Ela ocorrerá no segundo semestre de 2019 durante as aulas curriculares de Física dos voluntários. Os dados adquiridos através desta investigação serão utilizados na dissertação de Mestrado da pesquisadora que tem como objetivo investigar de que forma ocorre a construção de simulações mentais pelos estudantes. O desenvolvimento desta pesquisa (aplicações dos instrumentos de pesquisa) é de responsabilidade da pesquisadora, ficando a disposição para possíveis esclarecimentos. Ressalto o compromisso que terei de resguardar a confidencialidade das informações prestadas, que serão usadas exclusivamente para análise dos resultados. As entrevistas serão gravadas em vídeo, com a finalidade apenas de análise de dados, sem divulgação de imagem e/ou voz.

As informações desta pesquisa serão confidenciais e serão divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo, sendo assegurado o sigilo sobre a sua participação. Os dados coletados nesta pesquisa (gravações, entrevistas, fotos, filmagens, etc.), ficarão armazenados em pastas de arquivo de computador pessoal, sob a responsabilidade da pesquisadora e do orientador, no endereço acima informado, pelo período de mínimo 5 anos. Nem você e nem seus pais [ou responsáveis legais] pagarão nada para você participar desta pesquisa. Se houver necessidade, as despesas para a sua participação e de seus pais serão assumidas ou ressarcidas pelos pesquisadores. Fica também garantida indenização em casos de danos, comprovadamente decorrentes da sua participação na pesquisa, conforme decisão judicial ou extrajudicial.

Este documento passou pela aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da UFPE que está no endereço: Avenida Farroupilha nº 8001 – prédio 14, sala 224 – Bairro: São José – Canoas/RS, CEP: 92425-900, Tel.: (51) 3477-9217 – e-mail: comitedeetica@ulbra.br.

Assinatura da pesquisadora: \_\_\_\_\_

#### ASSENTIMENTO DO MENOR DE IDADE EM PARTICIPAR COMO VOLUNTÁRIO

Eu, \_\_\_\_\_, portador (a) do documento de Identidade \_\_\_\_\_ (se já tiver documento), abaixo assinado, concordo em participar do estudo “*Das Transformações de Galileu a Lorentz: compreendendo as simulações mentais de estudantes do Ensino Médio*”, como voluntário (a). Fui informado (a) e esclarecido (a) pela pesquisadora sobre a pesquisa, o que vai ser feito, assim como os possíveis riscos e benefícios que podem acontecer com a minha participação. Foi-me garantido que posso desistir de participar a qualquer momento, sem que eu ou meus pais precise pagar nada.

Local e data: \_\_\_\_\_ Assinatura do (da) menor: \_\_\_\_\_

**Presenciamos a solicitação de assentimento, esclarecimentos sobre a pesquisa e aceite do/a voluntário/a em participar. 02 testemunhas (não ligadas à equipe de pesquisadores):**

Nome: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

## APÊNDICE F – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para Menores

1. IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO DE PESQUISA													
Título do Projeto: Das Transformações de Galileu a Lorentz: compreendendo as simulações mentais de estudantes do Ensino Médio													
Área do Conhecimento: Ciências e Matemática					Número de participantes: 160			Total: 160					
Curso: Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática					Unidade: Programa de Pós-Graduação de Ensino de Ciências e Matemática (PPGECIM)								
Projeto Multicêntrico		Sim	x	Não	x	Nacio nal		Internacional	Cooperação Estrangeira		Sim		Não
Patrocinador da pesquisa: Pesquisadora													
Instituição onde será realizado: E. E. T. São João Batista													
Nome dos pesquisadores e colaboradores: Maira Giovana de Souza (pesquisadora)													

Seu filho (**e/ou menor sob sua guarda**) está sendo convidado (a) para participar do projeto de pesquisa acima identificado. O documento abaixo contém todas as informações necessárias sobre a pesquisa que estamos fazendo. Sua autorização para que ele participe neste estudo será de muita importância para nós, mas se retirar sua autorização, a qualquer momento, isso não lhes causará nenhum prejuízo.

2. IDENTIFICAÇÃO DO PARTICIPANTE DA PESQUISA E/OU DO RESPONSÁVEL										
Nome do Menor:					Data de Nasc:			Sexo:		
Nacionalidade:				Estado Civil:			Profissão:			
RG:	CPF/MF:			Telefone:			E-mail:			
Endereço:										
3. IDENTIFICAÇÃO DO PESQUISADOR RESPONSÁVEL										
Nome: Maira Giovana de Souza							Telefone: (51) 995777321			
Profissão: Professora			Registro no Conselho N°:			E-mail: mairasouza1096@gmail.com				
Endereço: Av. Farroupilha, 8001 – prédio 14, sala 338, bairro: São José – Canoas.										

Eu, responsável pelo menor acima identificado, pós receber informações e esclarecimento sobre este projeto de pesquisa, autorizo, de livre e espontânea vontade, sua participação como voluntário (a) e estou ciente:

### 1. Da justificativa e dos objetivos para realização desta pesquisa.

Acreditamos que essa pesquisa proporcionará aos estudantes a possibilidade de compreenderem um pouco mais sobre Ciência, e especificamente Física, durante as aulas. Essas aulas serão semanais com a pesquisadora durante as aulas curriculares de Física. Nas aulas, iremos ensinar conteúdos de Física através de atividades variadas. Com a participação dos alunos, pretendemos investigar como eles desenvolvem simulações mentais para a compreensão dos fenômenos estudados. Acreditamos que aos alunos que participarem desse projeto, será possibilitado a compreensão de conceitos científicos pertinentes para a sua formação como cidadão.

### 2. Do objetivo da participação de meu filho.

A participação de seu filho (e/ou menor sob sua guarda) é de extrema importância para nossa pesquisa, pois buscamos investigar como os estudantes desenvolvem simulações mentais para a compreensão dos fenômenos que serão trabalhados.

### 3. Do procedimento para coleta de dados.

Iremos aplicar nos alunos questionários e realizaremos após essa aplicação, entrevistas com os alunos em horários a combinar, na escola. As entrevistas serão gravadas em vídeo, com a finalidade apenas de análise de dados, sem divulgação de imagem e/ou voz.

#### 4. Da utilização, armazenamento e descarte das amostras.

Os dados coletados através desta investigação serão armazenados pela pesquisadora em seu computador pessoal.

#### 5. Dos desconfortos e dos riscos.

Acreditamos que todas as pesquisas podem causar riscos. No entanto, nessa pesquisa, os alunos serão convidados a participar livremente, o único risco que acreditamos ser possível é que os estudantes fiquem desconfortáveis em alguns momentos da entrevista, mas ficando livres de não participarem a qualquer momento.

#### 6. Dos benefícios.

Participando desta pesquisa os alunos terão a possibilidade de aprender mais e compreender melhor os fenômenos estudados. Para a sociedade e ciência será benéfico investigar como ocorre o desenvolvimento de simulações mentais pelos estudantes para compreender esses fenômenos.

#### 7. Dos métodos alternativos existentes.

Não iremos utilizar métodos alternativos.

#### 8. Da isenção e ressarcimento de despesas.

O participante ficará isento de qualquer despesa e não receberá pagamento pela atividade.

#### 9. Da forma de acompanhamento e assistência.

O desenvolvimento da pesquisa com os alunos é de responsabilidade da pesquisadora, ficando a disposição para possíveis esclarecimentos.

#### 10. Da liberdade de recusar, desistir ou retirar meu consentimento.

Seu filho (**e/ou menor sob sua guarda**) tem a liberdade de recusar, desistir ou de interromper a colaboração nesta pesquisa no momento em que desejar, sem necessidade de qualquer explicação. A desistência não causará prejuízo algum e não irá interferir na pesquisa Das Transformações de Galileu a Lorentz: compreendendo as simulações mentais de estudantes do Ensino Médio.

#### 11. Da garantia de sigilo e de privacidade.

Os resultados obtidos durante este estudo serão mantidos em sigilo, mas concordo que sejam divulgados em publicações científicas, desde que dados pessoais não sejam mencionados.

#### 12. Da garantia de esclarecimento e informações a qualquer tempo.

Tenho a garantia de tomar conhecimento e obter informações, a qualquer tempo, dos procedimentos e métodos utilizados neste estudo, bem como dos resultados finais, desta pesquisa. Para tanto, poderei consultar a **pesquisadora responsável Maira Giovana de Souza**. Em caso de dúvidas não esclarecidas de forma adequada pela pesquisadora de discordância com os procedimentos, ou de irregularidades de natureza ética poderei ainda contatar o **Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da ULBRA Canoas (RS)**, com endereço na Rua Farroupilha, 8001 – Prédio 14 – Sala 224, Bairro São José, CEP 92425-900 - telefone (51) 3477-9217, e-mail [comitedeetica@ulbra.br](mailto:comitedeetica@ulbra.br).

Declaro que obtive todas as informações necessárias e esclarecimento quanto às dúvidas por mim apresentadas e, por estar de acordo, assino o presente documento em duas vias de igual conteúdo e forma, ficando uma em minha posse.

\_\_\_\_\_ ( ), \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_  
Participante da Pesquisa

\_\_\_\_\_  
Responsável pelo Participante da Pesquisa

\_\_\_\_\_  
Pesquisador Responsável pelo Projeto

## APÊNDICE G – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para Maiores

<b>1. IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO DE PESQUISA</b>														
Título do Projeto: Das Transformações de Galileu a Lorentz: compreendendo as simulações mentais de estudantes do Ensino Médio														
Área do Conhecimento: Ciências e Matemática						Número de participantes: 160								
Curso: Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática						Unidade: Programa de Pós-Graduação de Ensino de Ciências e Matemática (PPGECIM)								
Projeto Multicêntrico		Sim	x	Não	x	Nacional		Internacional		Cooperação Estrangeira		Sim	x	Não
Patrocinador da pesquisa: Pesquisadora														
Instituição onde será realizado: E. E. T. São João Batista														
Nome dos pesquisadores e colaboradores: Maira Giovana de Souza (pesquisadora)														

Você está sendo convidado (a) para participar do projeto de pesquisa acima identificado. O documento abaixo contém todas as informações necessárias sobre a pesquisa que estamos fazendo. Sua colaboração neste estudo será de muita importância para nós, mas, se desistir, a qualquer momento, isso não causará nenhum prejuízo para você.

<b>2. IDENTIFICAÇÃO DO PARTICIPANTE DA PESQUISA</b>			
Nome:		Data de Nasc.:	Sexo:
Nacionalidade:		Estado Civil:	Profissão:
RG:	CPF/MF:	Telefone:	E-mail:
Endereço:			
<b>3. IDENTIFICAÇÃO DO PESQUISADOR RESPONSÁVEL</b>			
Nome: Maira Giovana de Souza		Telefone: (51) 995777321	
Profissão: Professora	Registro no Conselho N°:		E-mail: mairasouza1096@gmail.com
Endereço: Av. Farroupilha, 8001 – prédio 14, sala 338, bairro: São José – Canoas.			

Eu, participante da pesquisa, abaixo assinado(a), após receber informações e esclarecimento sobre o projeto de pesquisa, acima identificado, concordo de livre e espontânea vontade em participar como voluntário(a) e estou ciente:

### 1. Da justificativa e dos objetivos para realização desta pesquisa.

Acreditamos que essa pesquisa proporcionará aos estudantes a possibilidade de compreenderem um pouco mais sobre Ciência, e especificamente Física, durante as aulas. Essas aulas serão semanais com a pesquisadora durante as aulas curriculares de Física. Nas aulas, iremos ensinar conteúdos de Física através de atividades variadas.

Com a participação dos alunos, pretendemos investigar como eles desenvolvem simulações mentais para a compreensão dos fenômenos estudados. Acreditamos que aos alunos que participarem desse projeto, será possibilitado a compreensão de conceitos científicos pertinentes para a sua formação como cidadão.

### 2. Do objetivo de minha participação.

A sua participação é de extrema importância para nossa pesquisa, pois buscamos investigar como os estudantes desenvolvem simulações mentais para a compreensão dos fenômenos que serão trabalhados.

### 3. Do procedimento para coleta de dados.

Iremos aplicar nos alunos questionários e realizaremos após essa aplicação, entrevistas com os alunos em horários a combinar, na escola. As entrevistas serão gravadas em vídeo, com a finalidade apenas de análise de dados, sem divulgação de imagem e/ou voz.

#### **4. Da utilização, armazenamento e descarte das amostras.**

Os dados coletados através desta investigação serão armazenados pela pesquisadora em seu computador pessoal.

#### **5. Dos desconfortos e dos riscos.**

Acreditamos que todas as pesquisas podem causar riscos. No entanto, nessa pesquisa, os alunos serão convidados a participar livremente, o único risco que acreditamos ser possível é que os estudantes fiquem desconfortáveis em alguns momentos da entrevista, mas ficando livres de não participarem a qualquer momento.

#### **6. Dos benefícios.**

Participando desta pesquisa os alunos terão a possibilidade de aprender mais e compreender melhor os fenômenos estudados. Para a sociedade e ciência será benéfico investigar como ocorre o desenvolvimento de simulações mentais pelos estudantes para compreender esses fenômenos.

#### **7. Dos métodos alternativos existentes.**

Não iremos utilizar métodos alternativos.

#### **8. Da isenção e ressarcimento de despesas.**

O participante ficará isento de qualquer despesa e não receberá pagamento pela atividade.

#### **9. Da forma de acompanhamento e assistência.**

O desenvolvimento da pesquisa com os alunos é de responsabilidade da pesquisadora, ficando a disposição para possíveis esclarecimentos.

#### **10. Da liberdade de recusar, desistir ou retirar meu consentimento.**

Você tem a liberdade de recusar, desistir ou de interromper a colaboração nesta pesquisa no momento em que desejar, sem necessidade de qualquer explicação. A desistência não causará prejuízo algum e não irá interferir na pesquisa Das Transformações de Galileu a Lorentz: compreendendo as simulações mentais de estudantes do Ensino Médio.

#### **11. Da garantia de sigilo e de privacidade.**

Os resultados obtidos durante este estudo serão mantidos em sigilo, mas concordo que sejam divulgados em publicações científicas, desde que meus dados pessoais não sejam mencionados.

#### **12. Da garantia de esclarecimento e informações a qualquer tempo.**

Tenho a garantia de tomar conhecimento e obter informações, a qualquer tempo, dos procedimentos e métodos utilizados neste estudo, bem como dos resultados finais, desta pesquisa. Para tanto, poderei consultar a **pesquisadora responsável Maira Giovana de Souza**. Em caso de dúvidas não esclarecidas de forma adequada pela pesquisadora de discordância com os procedimentos, ou de irregularidades de natureza ética poderei ainda contatar o **Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da ULBRA Canoas (RS)**, com endereço na Rua Farroupilha, 8001 – Prédio 14 – Sala 224, Bairro São José, CEP 92425-900 - telefone (51) 3477-9217, e-mail [comitedeetica@ulbra.br](mailto:comitedeetica@ulbra.br).

Declaro que obtive todas as informações necessárias e esclarecimento quanto às dúvidas por mim apresentadas e, por estar de acordo, assino o presente documento em duas vias de igual conteúdo e forma, ficando uma em minha posse.

\_\_\_\_\_ ( ), \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_  
Pesquisador Responsável pelo Projeto

\_\_\_\_\_  
Participante da Pesquisa e/ou Responsável

## APÊNDICE H – Termo de Compromisso pra Utilização de Dados



**UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL**

Recredenciada pela Portaria Ministerial nº 906 de 17/08/2016 – D.O.U. de 18/08/2016  
 ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL  
 PRÓ-REITORIA ACADÊMICA  
 DIRETORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
 COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA EM SERES HUMANOS

**TERMO DE COMPROMISSO PARA A UTILIZAÇÃO DE DADOS**

**Título do projeto:** DAS TRANSFORMAÇÕES DE GALILEU A LORENTZ:  
 COMPREENDENDO AS SIMULAÇÕES MENTAIS DE ESTUDANTES DO  
 ENSINO MÉDIO

Os autores do projeto de pesquisa se comprometem a manter o sigilo dos dados coletados referentes aos participantes atendidos na **Escola Estadual Técnica São João Batista**.

Concordam, igualmente, que estas informações serão utilizadas única e exclusivamente com finalidade científica, preservando-se integralmente o anonimato dos participantes.

CANOAS, 25 de julho de 2019

Autores do Projeto	
Nome	Assinatura
Maira Giovana de Souza	

## APÊNDICE I – Carta de Anuência



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL  
SECRETARIA ESTADUAL DA EDUCAÇÃO  
2ª COORDENADORIA REGIONAL DE EDUCAÇÃO - SÃO LEOPOLDO  
**ESCOLA ESTADUAL TÉCNICA SÃO JOÃO BATISTA**  
Rua João Pessoa, 1468 - CEP 95780-000 - Fone/Fax: (0\*\*51) 3632-1709 / 3632-5001  
e-mail: eesjb@terra.com.br - MONTENEGRO - Rio Grande do Sul

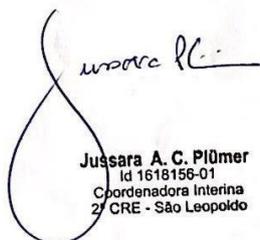
## CARTA DE ANUÊNCIA

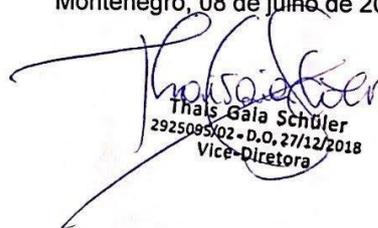
Declaramos para os devidos fins, que aceitaremos a realização do projeto **DAS TRANSFORMAÇÕES DE GALILEU A LORENTZ: COMPREENDENDO AS SIMULAÇÕES MENTAIS DE ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO**, sob responsabilidade da pesquisadora MAIRA GIOVANA DE SOUZA, bolsista CAPES no Mestrado Acadêmico do PPG em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Luterana do Brasil – ULBRA Canoas/RS, sob orientação do Prof.Dr.Agostinho Serrano de Andrade Neto.

Esta autorização está condicionada ao cumprimento dos requisitos estabelecidos pela Resolução 466/12 e suas complementares.

Antes do início da coleta dos dados a pesquisadora responsável deverá apresentar a esta Instituição o Parecer Consubstanciado devidamente aprovado, emitido por Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos, credenciado ao Sistema CEP/CONEP.

Montenegro, 08 de julho de 2019.

  
Jussara A. C. Piomer  
Id 1618156-01  
Coordenadora Interina  
2ª CRE - São Leopoldo

  
Thais Gala Schüler  
2925095/02 - D.O. 27/12/2018  
Vice-Diretora

Escola Estadual Técnica São João Batista  
Decr. de Criação nº 23025 - D.O. 11/03/74  
Parecer de Reconhecimento 68331-CEEE Montenegro  
Secretaria de Educação ATQUE 64125 64042000

## **ANEXOS**

ANEXO A – Plano de Estudos de Física para o 3<sup>a</sup> ano da E. E. T. São João Batista

<b>Ementa</b>	Interpretação e entendimento dos conceitos e leis da natureza que permitem conhecer os fenômenos que afetam a vida sobre a Terra e servem de suporte à compreensão de tecnologias contemporâneas, tais como os conceitos e leis da mecânica clássica, da mecânica dos fluidos, da ondulatória, da termodinâmica, da óptica e do eletromagnetismo. Estudo do impacto das tecnologias associadas às ciências naturais na sua vida pessoal, nos processos de produção, no desenvolvimento do conhecimento e na vida e ainda aplicação dessas tecnologias na escola, no trabalho e em outros contextos relevantes para sua vida.
<b>3º ANO</b>	
<b>Primeiro Trimestre</b>	Eletrostática.
<b>Segundo Trimestre</b>	Eletrodinâmica. Magnetismo.
<b>Terceiro Trimestre</b>	Eletromagnetismo. Física Moderna.
<b>Metodologia</b>	Aulas teóricas – expositivas e experimentais, debates aplicações tecnológicas. Atividades práticas, portfólios, gráficos, investigação científica.
<b>Avaliação</b>	É um processo contínuo, participativo e investigativo. O objetivo é diagnosticar avanços e defasagens, para intervir e agir.