

INSTITUTO FEDERAL  
AMAZONAS



SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

**MNPEF** Mestrado Nacion  
Profissional em  
Ensino de Física

INSTITUTO FEDERAL DO AMAZONAS – IFAM  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA  
POLO 04

**Kennedy Rufino Batista**

**O ensino de tópicos de Relatividade Restrita:** uma sequência didática investigativa  
utilizando vídeos como ferramenta sociocultural.

Manaus

2025

**Kennedy Rufino Batista**

**O ensino de tópicos de Relatividade Restrita:** uma sequência didática investigativa utilizando vídeos como ferramenta sociocultural.

Dissertação apresentada ao Polo 04 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física do IFAM/UFAM como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Dr. José Galúcio Campos

Manaus  
2025

**Biblioteca do IFAM – Campus Manaus Centro**

---

B333e Batista, Kennedy Rufino.

O ensino de tópicos de relatividade restrita: uma sequência didática investigativa utilizando vídeos como ferramenta sociocultural / Kennedy Rufino Batista. – Manaus, 2025.

137 p. : il. color.

Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Centro; Universidade Federal do Amazonas, 2025.

Orientador: Prof. Dr. José Galúcio Campos.

1. Física moderna. 2. Relatividade. 3. Ensino por investigação. I. Campos, José Galúcio. (Orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Universidade Federal do Amazonas. IV. Título.

CDD 530

---



INSTITUTO FEDERAL  
AMAZONAS

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
FUNDAÇÃO COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR  
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA  
PROGRAMA NACIONAL DE MESTRADO EM ENSINO DE FÍSICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAZONAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS



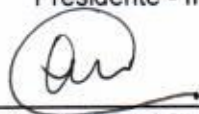
UFAM

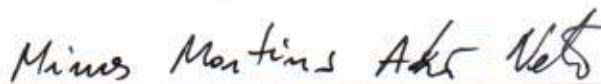
## Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - Polo 4

### Ata da 75ª Defesa de Dissertação

Aos quatorze dias do mês de março, do ano de dois mil e vinte e cinco, às 09h, na Sala III da DIREC do IFAM-CMC, ocorreu a Defesa da Dissertação do mestrando **Kennedy Rufino Batista**, intitulado: **“O ENSINO DE TÓPICOS DE RELATIVIDADE RESTRITA: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA INVESTIGATIVA UTILIZANDO VIDEOS COMO FERRAMENTA SOCIOCULTURAL”**, do Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 4 das Instituições de Ensino Superior: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM) e Universidade Federal do Amazonas (UFAM). A Banca Examinadora foi composta pelo Prof. Dr. José Galúcio Campos (IFAM), Prof. Dr. Cirlande Cabral da Silva (IFAM) e Prof. Dr. Minos Martins Adão Neto (UFAM). O Professor Doutor José Galúcio Campos, Presidente, deu início aos trabalhos, convidando os membros a comporem a Banca Examinadora. O Presidente fez a leitura dos procedimentos para defesa de dissertação, e convocou o mestrando para fazer a exposição de seu trabalho que, em seguida, foi arguido pelos membros da Banca Examinadora. Após a arguição, a Banca Examinadora reuniu-se privativamente e decidiu pela aprovação do trabalho. Ao final, os presentes foram chamados para tomarem conhecimento do resultado da avaliação, o Presidente da banca comunicou ao interessado que feitas às devidas correções na dissertação, conforme sugestão da banca Examinadora, o discente é obrigado a entregar, na secretaria do polo 4, até sessenta (60) dias após a data da defesa, uma (01) via impressa e encadernada no formato capa dura, e uma via(01) digital em formato PDF, para os trâmites necessários à concessão do diploma, conforme Resolução N°.47 – CONSUP/IFAM de 13 de julho de 2015. Nada mais havendo a tratar, foi lavrado a presente Ata que, após lida e aprovada, será assinada pelos presentes.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Galúcio Campos  
Presidente - IFAM

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Cirlande Cabral da Silva  
Membro Externo - IFAM

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Minos Martins Adão Neto  
Membro Interno - UFAM

**Kennedy Rufino Batista**

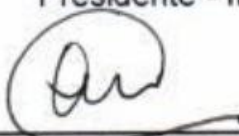
**O ensino de tópicos de Relatividade Restrita:** uma sequência didática investigativa utilizando vídeos como ferramenta sociocultural.

Dissertação apresentada ao Polo 04 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física do IFAM/UFAM como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em 14 de março de 2025.

BANCA EXAMINADORA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Galúcio Campos  
Presidente - IFAM

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Cirlande Cabral da Silva  
Membro Externo - IFAM

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Minos Martins Adão Neto  
Membro Interno - UFAM

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Deus por ter me concedido forças, física e mental, para desenvolver este trabalho.

Agradeço a minha esposa Karen, pelo apoio nos momentos difíceis que passei durante o período do mestrado e pela paciência em ouvir minhas ideias.

Agradeço ao IFAM e a UFAM pela infraestrutura e pelos professores que ministraram as disciplinas, cujos conhecimentos proporcionados foram essenciais.

Agradeço a Escola Estadual Marechal Hermes pela infraestrutura e apoio do durante a aplicação da pesquisa e aos professores que disponibilizaram seus tempos de aula para que fosse possível dar celeridade as atividades que foram desenvolvidas na turma.

Agradeço a FAPEAM pelo fomento da bolsa que foi de suma importância para os estudos e desenvolvimento da pesquisa, pois me permitiu dedicar maior tempo para as atividades acadêmicas do mestrado.

Agradeço ao pessoal da secretaria do MNPEF – Polo 04 pela assistência concedida em momentos de dúvida.

E por fim, agradeço ao professor José Galúcio pela orientação e dicas valiosas que foram fundamentais para o desenvolvimento da presente pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Preenchimento do espaço pelo éter .....	18
Figura 2 – Representação esquemática do interferômetro.....	19
Figura 3 – Trajetória do raio 1 na perspectiva de um observador no referencial fixo.....	20
Figura 4 – Esquema dos referenciais das Transformações de Galileu .....	24
Figura 5 – Esquema dos referenciais das Transformações de Lorentz.....	26
Figura 6 – Relógios de referência no espaço-tempo.....	33
Figura 7 – Relógios de referência no espaço-tempo.....	34
Figura 8 – Observador dentro do vagão .....	34
Figura 9 – Observador fora do vagão .....	35
Figura 10 – Visão do observador no vagão .....	36
Figura 11 – Visão do observador de fora do vagão.....	37
Figura 12 – Barra com $V \ll c$ .....	40
Figura 13 – Esquema de coordenadas de uma barra que se move com $V \cong c$ .....	41
Figura 14 – Signo, ZDP e conceitos .....	54
Figura 15 – Desenho dos alunos do grupo 3 para o problema do 2º vídeo .....	99

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Graus de Liberdade.....	63
Quadro 2 – Graus de Liberdade de nossa SEI.....	67
Quadro 4 – Relação de vídeos do YouTube .....	75
Quadro 5 – relação de vídeos para serem usados nas aulas.....	76
Quadro 6 – Atividade 2º momento do grupo 1 .....	92
Quadro 7 – Atividade 1º momento do grupo 2.....	93
Quadro 8 – Atividade 2º momento do grupo 2.....	94
Quadro 9 – Atividade 1º momento do grupo 3.....	96
Quadro 10 – Atividade 2º momento do grupo 3.....	98
Quadro 11 – Atividade 1º momento do grupo 4.....	99
Quadro 12 – Atividade 2º momento do grupo 4.....	101
Quadro 13 – Notas dos grupos .....	102
Quadro 14 – Comparativo entre notas baixas de cada bimestre.....	103

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Plataformas mais usadas para assistir vídeos, tempo de duração, tipo de material preferido para estudo .....	71
Gráfico 2 – Bloco 2: canal, inscritos, curtidas, forma de apresentação.....	72
Gráfico 3 – Bloco 3: divulgação científica, preferencias, importância, confiança.....	73
Gráfico 4 – Média das notas dos bimestres .....	104
Gráfico 5 – Percepções s sobre a atividade investigativa.....	105
Gráfico 6 – Percepções sobre vídeos .....	106
Gráfico 7 – Percepções quanto as interações.....	108
Gráfico 8 –Percepções sobre a relatividade.....	110

## RESUMO

Atualmente, estamos rodeados por diversas facilidades tecnológicas proporcionadas pela internet, sendo o fácil acesso a vídeos de variados gêneros em diferentes plataformas uma delas. O contexto educacional atual não é influenciado apenas pela escola e por aulas ministradas pelos professores, mas também por elementos do mundo digital, onde os alunos interagem socialmente, buscam entretenimento e têm acesso a uma gama de informações sobre temas científicos e ficcionais. Assim, esta pesquisa buscou investigar as contribuições que uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI), associada a elementos socioculturais, como videoaulas curtas e vídeos de divulgação científica, pode trazer para a aprendizagem conceitual de tópicos de Relatividade Restrita em uma turma do 3º ano do Ensino Médio de uma escola da rede pública do Amazonas. Utilizamos o ensino por investigação como metodologia de ensino, à luz dos trabalhos de Ana Maria Pessoa de Carvalho. Como base teórica para o planejamento das atividades, consideramos elementos da teoria sociointeracionista de Vygotsky, especialmente no que diz respeito às interações socioculturais dos alunos com o mundo digital por meio de vídeos. Para alcançar nosso objetivo, a pesquisa foi estruturada nas seguintes etapas: (1) identificação das características que atraem os alunos a assistir a vídeos; (2) elaboração de uma lista de vídeos com base nessas características; (3) classificação qualitativa dos vídeos selecionados; (4) desenvolvimento e aplicação da SEI; (5) análise das percepções dos alunos sobre os elementos presentes na pesquisa. Como resultado, identificamos que a prática investigativa integrou o Ensino por Investigação a elementos socioculturais, permitindo que os alunos, ao resolverem problemas didáticos relacionados a estes, realizassem observações, levantassem hipóteses e construíssem justificativas. Essa abordagem criou um ambiente investigativo que possibilitou conduzir os alunos por um processo científico, ainda que simplificado, conforme proposto por Carvalho (2013). As contribuições para a aprendizagem tornaram-se evidentes pelo desempenho dos grupos na atividade investigativa e pelos resultados obtidos na prova, que demonstraram a compreensão dos tópicos de Relatividade abordados. Ademais, as percepções dos alunos indicaram que o Ensino por Investigação, associado ao uso de vídeos como ferramenta sociocultural, contribuiu significativamente para a compreensão das principais ideias do tema e para a interação entre os participantes durante a atividade investigativa.

**Palavras-chave:** Relatividade; Vídeos; Ensino por Investigação.

## ABSTRACT

Currently, we are surrounded by various technological conveniences provided by the internet, with easy access to videos of different genres across different platforms being one of them. The current educational context is not only influenced by schools and lessons taught by teachers but also by elements of the digital world, where students socially interact, seek entertainment, and have access to a wide range of information on scientific and fictional topics. Thus, this research sought to investigate the contributions that an Investigative Teaching Sequence (ITS), associated with sociocultural elements such as short video lessons and science outreach videos, can bring to the conceptual learning of topics in Special Relativity in a 3rd-year high school class at a public school in Amazonas. We used Inquiry-Based Science Education as a teaching methodology, based on the works of Ana Maria Pessoa de Carvalho. As a theoretical framework for planning the activities, we considered elements of Vygotsky's sociointeractionist theory, particularly regarding the sociocultural interactions of students with the digital world through videos. To achieve our objective, the research was structured in the following steps: (1) identifying the characteristics that attract students to watch videos; (2) creating a list of videos based on these characteristics; (3) qualitatively classifying the selected videos; (4) developing and applying the ITS; (5) analyzing students' perceptions of the elements present in the research. As a result, we found that the investigative practice integrated Inquiry-Based Learning with sociocultural elements, allowing students, while solving didactic problems related to these elements, to make observations, raise hypotheses, and construct justifications. This approach created an investigative environment that led students through a scientific process, albeit simplified, as proposed by Carvalho (2013). The contributions to learning became evident through the performance of the groups in the investigative activity and the results obtained in the test, which demonstrated the understanding of the Relativity topics covered. Furthermore, students' perceptions indicated that Inquiry-Based Learning, combined with the use of videos as a sociocultural tool, significantly contributed to understanding the main ideas of the topic and to the interaction among participants during the investigative activity.

**Keywords:** Relativity; Videos; Inquiry-Based Science Education.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1 A JUSTIFICATIVA .....	13
1.2 O PROBLEMA .....	15
1.3 OBJETIVOS.....	16
1.3.1 OBJETIVO GERAL.....	16
1.3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>2. RELATIVIDADE RESTRITA.....</b>	<b>17</b>
2.1 O INÍCIO DA FÍSICA MODERNA .....	17
2.2 O EXPERIMENTO DE MICHELSON E MORLEY .....	18
2.3 A RELATIVIDADE DE GALILEU .....	23
2.4 AS TRANSFORMAÇÕES DE LORENTZ.....	25
2.5 A RELATIVIDADE RESTRITA DE EINSTEIN .....	30
2.5.1 A RELATIVIDADE DA SIMULTANEIDADE .....	33
2.5.2 SINCRONISMO.....	33
2.5.3 SIMULTANEIDADE RELATIVA.....	34
2.5.4 A DILATAÇÃO DO TEMPO.....	35
2.5.5 A CONTRAÇÃO DO COMPRIMENTO .....	39
<b>3. DOCUMENTOS NORTEADORES EDUCACIONAIS SOBRE O ENSINO DE RELATIVIDADE .....</b>	<b>43</b>
3.1 A BNCC E O ENSINO POR COMPETÊNCIAS .....	43
3.2 O RCA E O PERFIL DO ALUNO AMAZONENSE.....	46
<b>4. O SOCIOINTERACIONISMO DE VYGOTSKY .....</b>	<b>48</b>
4.1 A TEORIA SOCIOINTERACIONISTA .....	48
4.2. SIGNO E MEDIAÇÃO .....	50
4.3 CONCEITOS.....	51
4.4 ZONAS DE DESENVOLVIMENTO .....	53
4.5 O PAPEL DO PROFESSOR.....	55
4.6 IMITAÇÃO .....	57
4.7 PROFESSOR e ZDP .....	58
<b>5. O ENSINO POR INVESTIGAÇÃO .....</b>	<b>59</b>
5.1 ASPECTOS GERAIS.....	59
5.2 COMO ELABORAR AS ATIVIDADES INVESTIGATIVAS .....	60
<b>6. METODOLOGIA DA PESQUISA .....</b>	<b>64</b>
6.1 O LOCAL E OS SUJEITOS DA PESQUISA .....	64
6.2 OS INSTRUMENTOS DE COLETA, GERAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS .....	64
6.3 AS FASES DA PESQUISA .....	66

6.4 A SEQUENCIA DIDÁTICA INVESTIGATIVA .....	66
<b>7. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>70</b>
7.1 QUESTIONÁRIO 1: IDENTIFICAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS QUE TORNAM UM VÍDEO SOBRE TEMAS CIENTÍFICOS ATRATIVO PARA OS ALUNOS .....	70
7.2 LEVANTAMENTO DE VÍDEOS SOBRE RELATIVIDADE RESTRITA .....	75
7.3 CLASSIFICAÇÃO DOS VÍDEOS .....	77
7.3.1 INAPROPRIADOS .....	79
7.3.2 POUCO APROPRIADOS .....	84
7.3.3 APROPRIADOS .....	87
7.4 IMPLEMENTAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA .....	89
7.4.1 PASSO 1: APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO DE VERIFICAÇÃO E DEFINIÇÃO DOS GRUPOS .....	89
7.4.2 PASSO 2: MINISTRAÇÃO DAS AULAS .....	90
7.4.3 PASSOS 3 E 4: APLICAÇÃO DA ATIVIDADE INVESTIGATIVA .....	90
7.4.3.1 INSTRUÇÕES AOS GRUPOS PARA REALIZAÇÃO DA ATIVIDADE INVESTIGATIVA .....	92
7.4.3.2 ANÁLISES E DISCUSSÕES DOS MOMENTOS DA ATIVIDADE INVESTIGATIVA REALIZADA PELOS GRUPOS .....	92
7.4.3.3 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO E NOTAS ATRIBUÍDAS AOS GRUPOS....	102
7.4.4 PASSO 5: PROVA .....	103
7.5. QUESTIONÁRIO 2: PERCEPÇÕES DOS ALUNOS ACERCA DOS ELEMENTOS DA PESQUISA REALIZADA .....	105
7.5.1. PERCEPÇÕES DOS ALUNOS QUANTO A PRÁTICA COM ENSINO POR INVESTIGAÇÃO .....	105
7.5.2. PERCEPÇÕES DOS ALUNOS QUANTO AO USO DE VÍDEOS. ....	106
7.5.3. PERCEPÇÕES QUANTO AS INTERAÇÕES ALUNO-ALUNO E ALUNO-PROFESSOR.....	108
7.5.4. PERCEPÇÕES DOS ALUNOS QUANTO AO TEMA RELATIVIDADE .....	110
<b>8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>113</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>117</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>121</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O contexto educacional atual é influenciado não apenas pela escola e pelas aulas ministradas pelos professores, mas também por elementos do mundo digital. Nesse ambiente, os alunos interagem socialmente, buscam entretenimento e têm acesso a uma ampla variedade de informações, abrangendo temas científicos e fictícios.

O professor de Física deve buscar maneiras de integrar elementos da cultura digital, amplamente presentes no contexto social em que os alunos estão inseridos, para promover a aprendizagem de temas pouco abordados em sala de aula. Assuntos como a Relatividade, frequentemente explorados em vídeos, filmes e séries, podem ser trabalhados de forma estratégica para conectar o conteúdo escolar ao universo cultural dos estudantes.

Nesse contexto, podemos destacar o trabalho de Lima (2019), que utilizou o filme *De Volta para o Futuro* (ZEMECKIS, 1985), produzido pela Universal Pictures, e a série *Star Trek* (RODDENBERRY, 1966), produzida pela Desilu Productions, como estratégias para ensinar Relatividade. Ambas as obras de ficção científica exploram o tema da viagem no tempo, amplamente discutido na internet, tornando-se recursos atrativos e relevantes para os estudantes. Já Capelari (2016) integrou o ensino de Relatividade ao uso de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC), empregando vídeos, documentários e o filme *Interestelar* (NOLAN, 2014), produzido pela Warner Bros, para facilitar a compreensão de conceitos como dilatação do tempo e contração do espaço, abordados no contexto das viagens temporais apresentadas no filme.

Um elemento que pode influenciar o pensamento dos alunos acerca de temas da Física, são os vídeos curtos de divulgação científica veiculados em plataformas como *YouTube* (Google) e *Instagram* (Meta). Devido ao formato e maneira como é apresentado, esses vídeos podem ter maior potencial de alcançar os jovens do que uma aula de Física ministrada pelo professor na escola.

No contexto dos vídeos de divulgação científica que abordam temas pouco explorados, como a Relatividade, acreditamos que esses materiais podem representar um desafio em termos de precisão conceitual, mas também se configuram como uma estratégia potencial para a aprendizagem. Isso porque, frequentemente, os alunos assistem a esses vídeos antes mesmo do tema ser abordado nas aulas ministradas pelo professor.

Propomos, nesta pesquisa, um estudo para investigar se vídeos de divulgação científica sobre a Relatividade Restrita, quando integrados a uma estratégia de ensino investigativa, podem contribuir para a aprendizagem do tema. Consideramos que os vídeos são elementos

socioculturais presentes no cotidiano dos alunos e, portanto, podem desempenhar um papel relevante no processo de ensino-aprendizagem

Como objetivo geral, investigamos as contribuições que uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI) aplicada com alunos do 3º do Ensino médio, trouxe para a aprendizagem de tópicos de Relatividade Restrita ao associa-la a videoaulas curtas e vídeos de divulgação científica.

Para alcançar nosso objetivo, realizamos um levantamento de vídeos sobre Relatividade Restrita que apresentassem características, previamente definidas em um questionário, que os tornassem atrativos ao nosso público. Essa análise permitiu classificar a precisão conceitual dos conteúdos apresentados nos vídeos dentro de uma escala estabelecida. Com o desenvolvimento dessas etapas, foi possível planejar uma sequência de ensino baseada nos dois conceitos básicos do Ensino por Investigação, que, segundo Carvalho (2018), são a elaboração de problemas pelo professor e a liberdade intelectual concedida aos alunos para resolvê-los. Durante o planejamento da sequência didática, seguimos os pressupostos da teoria sociointeracionista de Lev Semionovitch Vygotsky (1896 – 1934).

Os resultados obtidos em cada etapa da metodologia aplicada demonstraram êxito tanto no aspecto qualitativo quanto no quantitativo. Houve uma participação ativa dos alunos na atividade investigativa, que, com a devida orientação do professor, conseguiram responder de forma coerente à maioria dos problemas propostos. Posteriormente, também alcançaram um bom desempenho na prova sobre os tópicos de Relatividade Restrita abordados nas aulas. Além disso, o questionário que avaliou a percepção dos alunos sobre os elementos envolvidos na atividade revelou uma aceitação predominantemente positiva, reforçando a eficácia e a receptividade da pesquisa realizada.

## 1.1 A JUSTIFICATIVA

Ao tratar de determinados conteúdos de Física em sala de aula, é comum perceber que alguns alunos já tiveram contato prévio com eles por meio de vídeos na internet, algo evidente pelas questões que levantam durante as aulas. Contudo, a maneira como a Física é apresentada nesses vídeos pode gerar interpretações conceituais equivocadas. Isso ocorre porque alguns influenciadores, seja por falta de conhecimento aprofundado na área ou pelo objetivo de atrair visualizações com viés financeiro, acabam disseminando erros conceituais, influenciando negativamente milhares de jovens.

Nessa perspectiva, Negumo e Teles (2022) discutem a checagem da veracidade do conteúdo de vídeos no YouTube. Segundo eles, os ganhos da plataforma decorrem da exposição

dos usuários à publicidade, de modo que, quanto mais tempo passarem assistindo aos vídeos, mesmo que contenham mentiras ou desinformações, melhor para a empresa. Assim, não há um incentivo real para filtrar ou eliminar conteúdos com erros conceituais e sem base científica, já que são esses que geram mais visualizações, como os relacionados à Terra plana e à Terra oca, por exemplo.

Conforme nossas observações, a apropriação equivocada desses conceitos tem levado os alunos a resistirem aos direcionamentos do professor. Em outras palavras, há um deslocamento da autoridade intelectual do professor para os *YouTubers*<sup>1</sup> que se apresentam como professores ou divulgadores de ciência. Essa dinâmica é evidente na impaciência e no descrédito demonstrados por alguns alunos diante das correções ou novos direcionamentos propostos pelo professor.

Alguns influenciadores abordam em seus vídeos temas como viagens espaciais, buracos negros, astronomia, cosmologia, mecânica quântica, Relatividade Geral e Restrita, paradoxos da Física e teorias especulativas e da conspiração, que não possuem base científica. A forma como esses conteúdos são tratados, o caráter superficial, o excesso de informalidade, a comicidade e, em alguns casos, a espetacularização do tema — conforme nossa percepção fundamentada em observações diretas em sala de aula — consistem em um problema para a aprendizagem, em específico, a conceitual de Física. Isso por que alunos de Ensino Médio, dificilmente farão uma filtragem adequada para identificar desinformações e a autenticidade dos conteúdos de vídeos em outros meios, como nos livros.

Assim, diante do exposto, chegamos à seguinte questão norteadora: *considerando a precisão conceitual, como são os vídeos de divulgação científica sobre Relatividade Restrita no YouTube?*

Tópicos de Relatividade como paradoxo dos gêmeos, simultaneidade, dilatação do tempo e contração do espaço são abordados com frequência em canais de ficção científica, divulgação científica, videoaulas curtas de Relatividade e em filmes e séries, que muitas vezes, conseguem maior alcance nos alunos que as aulas de Física regulares. Uma vez detectado que há a presença destas videoaulas e/ou vídeos de divulgação científica na educação informal dos alunos, o professor de Física deve encontrar estratégias de ensino a fim de mitigar os erros

---

<sup>1</sup> São criadores de conteúdo digital que produzem e compartilham vídeos na plataforma YouTube (Google). Esses indivíduos podem abordar uma ampla variedade de temas, como entretenimento, educação, tecnologia, ciência, estilo de vida, entre outros. Sua relevância está associada ao impacto na cultura digital, na disseminação de informações e na influência sobre o público, especialmente os mais jovens.

conceituais ali contidos. Afinal, o professor também pode, em suas aulas, relacionar o conteúdo àquelas séries, filmes e vídeos curtos postados nas plataformas digitais como o YouTube.

Para que possamos elaborar uma classificação adequada e desenvolver a estratégia de ensino usando vídeos, foi necessário saber quais fatores prendem a atenção dos alunos, presumimos que eram: a edição elaborada, a forma como o apresentador comunica os fatos científicos ao público, a fama do apresentador indicada pelo número de seguidores no canal, enfim, uma gama de fatores fora do âmbito intelectual — referindo-se aqui ao conhecimento conceitual da Física – que nunca são educacionais. Considerando os argumentos anteriores, emerge a seguinte questão norteadora: *qual o principal atrativo nos vídeos de divulgação científica do YouTube para os alunos?*

Com fundamento nas ideias expostas, encontramos uma forma eficaz de favorecer a aprendizagem conceitual levando-se em conta o meio social em que os alunos estão inseridos, já que são ávidos consumidores de conteúdos digitais. À guisa do exposto acerca da utilização de estratégias de ensino utilizando-se de séries, filmes, mas, sobretudo, de vídeos curtos, destacamos a seguinte questão norteadora: *como relacionar os conteúdos de Relatividade Restrita ministrados pelo professor em sala de aula com àqueles dos vídeos de divulgação científicas contidas no YouTube?*

Diante desse cenário, o professor de Física precisa cumprir o papel de ensinar os fenômenos físicos de maneira correta evitando a desinformação e a confusão intelectual com respeito à Relatividade Restrita. Além disso, é mandatório levar em consideração as exigências dos documentos educacionais norteadores como a BNCC (BRASIL, 2018), por exemplo, que não prioriza o intelectualismo, o conteúdo, mas sim o ensino por competências.

## 1.2 O PROBLEMA

Após toda a argumentação traçada na seção anterior, deve estar claro que os alunos têm certa autonomia em vista da aquisição de conhecimento em Física. Como dito, os alunos já tiveram algum contato com alguns tópicos da Relatividade Restrita, em várias mídias digitais, mas em vídeos na plataforma *YouTube*, principalmente, como observamos.

Embora mal direcionado, não parece forçoso presumir um certo ímpeto investigativo natural inerente aos alunos. Diante disto, propomos o seguinte problema de investigação: *como uma sequência didática investigativa usando recursos como videoaulas curtas e vídeos de divulgação científica, pode contribuir para aprendizagem conceitual de tópicos de Relatividade Restrita em uma turma do 3º ano do Ensino Médio de uma escola da rede pública do Amazonas?*

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 OBJETIVO GERAL

Investigar as contribuições que uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI), associada a elementos socioculturais, como videoaulas curtas e vídeos de divulgação científica, pode trazer para a aprendizagem conceitual de tópicos de Relatividade Restrita em uma turma do 3º ano do Ensino Médio de uma escola da rede pública do Amazonas.

#### 1.3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar, por meio de um questionário, as características que tornam vídeos sobre temas científicos atrativos para os alunos, a fim de realizar um levantamento daqueles que abordam o conteúdo de Relatividade Restrita no YouTube, em séries, filmes e documentários de divulgação científica.
- Classificar a qualidade e a precisão conceitual dos vídeos de Relatividade restrita em uma escala qualitativa simples, utilizando as categorias: Adequado, Pouco Adequado e Inadequado.
- Desenvolver e aplicar uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI) sobre Relatividade Restrita imbuída com vídeos, filmes e séries sobre o tema.

## 2. RELATIVIDADE RESTRITA

### 2.1 O INÍCIO DA FÍSICA MODERNA

No final do século XIX muitos cientistas acreditavam que as descobertas da Física já haviam sido feitas, sendo preciso apenas o aperfeiçoamento das teorias já existentes, isso graças ao sucesso da Física Clássica no meio científico, que tornou possível o desenvolvimento da máquina a vapor, telégrafo e eletricidade. Tais tecnologias favoreceram os transportes e a indústria, deram celeridade às comunicações e trouxeram conforto para os lares das pessoas na época. Um desses cientistas era o renomado físico britânico William Thomson (1824 – 1907), também conhecido como Lord Kelvin, que em 1900 fez a célebre afirmação de que no céu azul da Física Clássica só existiam duas nuvens: o problema da não detecção do vento do éter e o problema da partição de energia (Caruso e Oguri, 2016). Apesar de a fala de Lord Kelvin parecer uma forma de menosprezar esses dois problemas, ela foi fundamental, pois acabou instigando os físicos da época a buscarem soluções para tais questões.

Em 1900, Max Planck publicou seu trabalho sobre radiação de corpo negro, onde apresentou uma solução para o problema da partição de energia fora do arcabouço da Física Clássica, apesar de ser um partidário dela. Planck, assim como outros, procuravam uma equação que se ajustasse a curva experimental do espectro de emissão de energia observado num corpo negro, conforme o aumento da temperatura. Depois de muitas tentativas malsucedidas, Planck teve que considerar uma solução que desconsiderava a emissão contínua de energia pelo corpo negro, para que os resultados teóricos se ajustassem ao experimental, considerou em seus cálculos que a energia emitida se dava discretamente. A partir dos resultados de Planck, Einstein publicou um trabalho em 1905 que apresentava uma solução para o problema do efeito fotoelétrico no qual usou a constante de Planck  $h$  e considerou que os elétrons emitidos pela superfície da placa metálica se davam em pacotes de energia quantizados de acordo com a equação (01), onde  $n$  é denominado número quântico principal, que só pode assumir valores inteiros e positivos, de modo que  $n = 1,2,3, \dots$   $E_n$  é a energia associada a cada nível quântico.

$$E_n = nh\nu \quad (01)$$

Tal emissão não dependia da intensidade da luz incidente, mas da frequência ( $\nu$ ). Esse resultado obtido por Einstein foi comprovado experimentalmente por outros físicos como Robert Andrews Millikan e Arthur Holly Compton. Assim, esta nuvem de Kelvin acabou por ser uma porta para um mundo da Física que originaria a mecânica quântica.

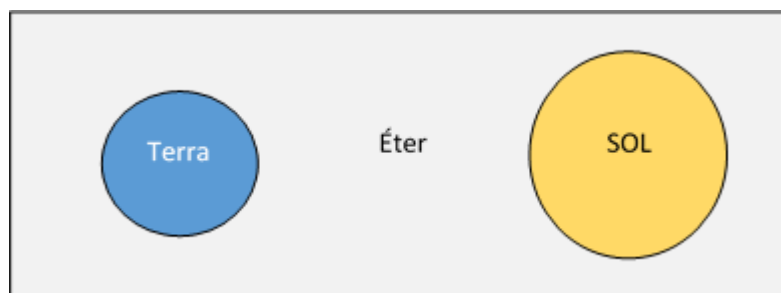
Em 1905, Einstein publicou outro artigo intitulado “*Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento*” onde propôs o princípio da Relatividade Restrita, que se aplica tanto às leis da mecânica quanto as da eletrodinâmica (Tipler e Llewellyn, 2014). Tal princípio implica a inexistência de um referencial privilegiado em relação aos demais. Logo o éter não existia por ser esse referencial privilegiado que preenchia o espaço e servia de meio para a propagação da luz, e por isso a impossibilidade de construir um experimento capaz de detectá-lo. Dessa forma, a nuvem de Kelvin que trata do movimento do éter se constituiu em outra porta para o campo da Relatividade.

Esses dois problemas apontados por Kelvin, foram solucionados usando pressupostos teóricos que não estavam de acordo com a Física Clássica, talvez essas duas nuvens sejam as questões mais importantes da Física da era contemporânea, dando origem ao que conhecemos hoje como Física Moderna. A dissipação dessas duas nuvens foi o ponto de partida de uma mudança radical de conceitos na Física, que resultou na construção e criação das teorias quânticas (do problema da partição de energia) e relativísticas (problema da não detecção do vento do éter) (Caruso e Oguri, 2016).

## 2.2 O EXPERIMENTO DE MICHELSON E MORLEY

Em 1887 os físicos Michelson e Morley construíram um aparato experimental sofisticado para a época. Nesta época era consenso para uma boa parte dos físicos que a luz, assim como outras ondas, necessitava de um meio para se propagar. Tal meio era o éter, uma espécie de fluido que enchia todo o espaço e seria um referencial privilegiado para a propagação da luz.

Figura 1 – Preenchimento do espaço pelo éter



Fonte: Autor (2023).

Michelson e Morley construíram o interferômetro partindo da premissa de que a velocidade da luz em relação a Terra dependesse da direção de propagação, como um barco que navegue em uma correnteza, sendo a Terra o barco e o rio o éter. Caso a velocidade da luz estivesse no mesmo sentido da velocidade  $V$  do “vento do éter” teríamos

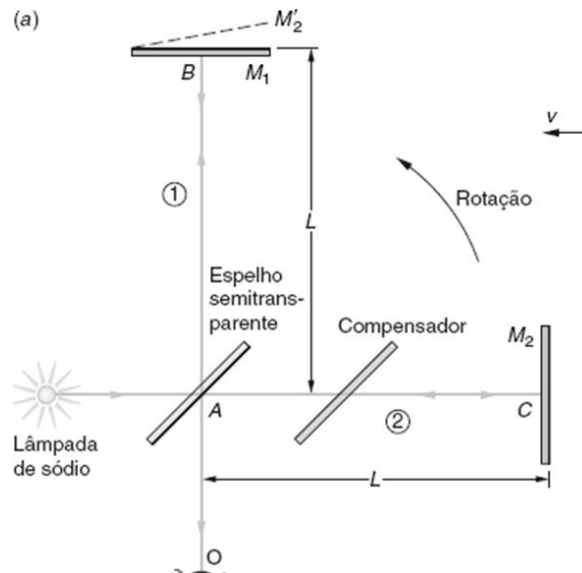
$$v' = c - V \quad (02)$$

em que  $v'$  é a velocidade relativa. Por outro lado, se a velocidade da luz estivesse em sentido oposto ao “vento do éter” ficaria

$$v' = c + V \quad (03)$$

Isso nos mostra que em ambos os casos a velocidade da luz não poderia ser constante. Hoje sabe-se que seria uma violação do princípio da causalidade, e por conseguinte o postulado da constância da velocidade da luz.

Figura 2 – Representação esquemática do interferômetro



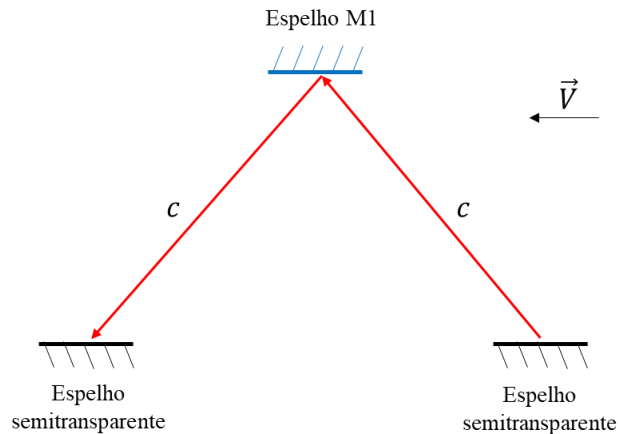
Fonte: Retirado de Tipler e Llewellyn (2014).

Na experiência a lâmpada emite um raio de luz, que se divide em dois ao incidir num espelho semitransparente. Os raios seguem por dois braços de comprimento  $L$  perpendiculares entre si. Nas extremidades dos braços encontram-se os espelhos  $M_1$  e  $M_2$  que refletem a luz de volta ao espelho semitransparente. O movimento do éter em relação ao equipamento (assim como a correnteza de um rio contra um barco), faria aparecer uma diferença entre os tempos que os raios levariam para percorrer os caminhos 1 e 2. Michelson e Morley previram o aparecimento de franjas de interferência, oriundas da diferença nos tempos em que os raios 1 e 2 atingem o espelho semitransparente. As demonstrações a seguir ilustram o que era esperado.

- Para o percurso percorrido pelo raio 1

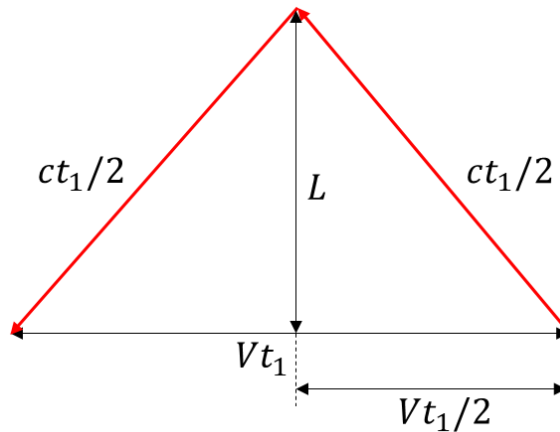
Como o interferômetro está se movimentando com velocidade  $V$  para esquerda, um observador em um referencial fixo (éter) verá a seguinte trajetória da luz, pois o movimento é perpendicular ao raio 1 (vide Figura 3):

Figura 3 – Trajetória do raio 1 na perspectiva de um observador no referencial fixo



Fonte: Autor (2023).

Chamaremos de  $t_1$  o tempo que o raio leva para ser refletido no espelho M1 até voltar ao espelho semitransparente. Para obter a expressão de  $t_1$ , considerando a geometria espacial do problema, usa-se o teorema de Pitágoras como no esquema a seguir:



$$\left(\frac{ct_1}{2}\right)^2 = L^2 + \left(\frac{Vt_1}{2}\right)^2$$

Resolvendo a expressão acima e isolando  $t_1$ , fica:

$$t_1 = \frac{2L}{\sqrt{c^2 - V^2}} \rightarrow t_1 = 2L \frac{1}{\sqrt{c^2 \left(1 - \frac{V^2}{c^2}\right)}} \rightarrow t_1 = \frac{2L}{c} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \rightarrow$$

Se  $\beta = V/c$ , teremos:

$$t_1 = \frac{2L}{c} \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \rightarrow t_1 = \frac{2L}{c} (1-\beta^2)^{-\frac{1}{2}}$$

Fazendo uma expansão binomial, de modo que  $m = -\frac{1}{2}$  e  $x = -\beta^2$ , resulta em:

$$t_1 \cong \frac{2L}{c} \left(1 + \frac{1}{2}\beta^2\right) \quad (04)$$

- Para o percurso percorrido pelo raio 2

Denomina-se  $t_2$  o tempo que o raio 2 leva para atingir o espelho M2 e retornar ao espelho semitransparente. O movimento do raio está na mesma direção da velocidade do éter, na ida em sentido oposto e na volta em sentido contrário a V.

$$t_2 = \frac{L}{c+V} + \frac{L}{c-V}$$

Simplificando a expressão anterior:

$$t_2 = \frac{2Lc}{c^2 - V^2} \rightarrow t_2 = \frac{2L}{c} \frac{1}{1 - \frac{V^2}{c^2}} \rightarrow t_2 = \frac{2L}{c} \frac{1}{(1-\beta^2)} \rightarrow t_2 = \frac{2L}{c} (1-\beta^2)^{-1}$$

Fazendo expansão binomial de modo que  $x = \beta^2$  e  $m = -1$ , fica:

$$t_2 \cong \frac{2L}{c} (1 + \beta^2) \quad (05)$$

A diferença entre os tempos será:

$$\begin{aligned} \Delta t &= t_2 - t_1 \\ \Delta t &= \frac{2L}{c} (1 + \beta^2) - \frac{2L}{c} \left(1 + \frac{1}{2}\beta^2\right) \\ \Delta t &= \frac{L\beta^2}{c} \end{aligned} \quad (06)$$

Ao girarmos o aparato experimental em 90 graus no sentido anti-horário, por analogia com os cálculos anteriores teremos:

$$t_1^* \cong \frac{2L}{c} (1 + \beta^2) \quad (07)$$

$$t_2^* \cong \frac{2L}{c} \left(1 + \frac{1}{2}\beta^2\right) \quad (08)$$

A diferença entre os tempos  $\Delta t^* = t_2^* - t_1^*$ , ficará:

$$\Delta t^* = -\frac{L\beta^2}{c} \quad (09)$$

A discordância na chegada dos raios 1 e 2 até o espelho semitransparente fará aparecer franjas de interferência. A diferença de caminho ótico ( $\Delta$ ) dos percursos dos raios 1 e 2 é determinada como segue:

$$\Delta = c\Delta t \rightarrow \Delta = L\beta^2 \quad (10)$$

Com o experimento girado 90 graus:

$$\Delta^* = c\Delta t^* \rightarrow \Delta^* = -L\beta^2 \quad (11)$$

A figura de interferência observada sofreria um deslocamento correspondente à diferença entre os caminhos óticos das duas situações, dado por:

$$\Delta - \Delta^* = 2L\beta^2 \quad (12)$$

Dessa forma, ao considerar o comprimento de onda da fonte, o deslocamento medido em função do número de franjas é

$$\frac{\Delta - \Delta^*}{\lambda} = \frac{2L\beta^2}{\lambda} \quad (13)$$

No experimento de 1887 usou-se  $L = 11 \text{ m}$ , uma lâmpada de sódio com  $\lambda = 590 \text{ nm}$  e  $V = 30 \text{ km/s}$ . Tais valores corresponderam a um deslocamento da ordem de 0,4 franjas (40% da largura de uma franja). No entanto, o deslocamento observado foi de apenas 1% da largura de uma franja (0,01), valor da mesma ordem que a precisão do instrumento.

O objetivo do experimento de Michelson e Morley era medir a velocidade da luz em relação ao interferômetro, o que equivaleria a demonstrar que a Terra estava se movendo em relação ao éter, representando, portanto, uma prova de sua existência. Contudo, vale ressaltar que um experimento dessa natureza já havia sido realizado 38 anos antes, em 1849, pelo físico francês Armand Hyppolyte Louis Fizeau (1819-1896). No entanto, a experiência de Michelson e Morley não confirmou a existência do éter, e sem intencionalidade, acabou por mostrar a constância da velocidade da luz independentemente do referencial, mesmo com a aversão de seus executores a essa possibilidade.

Em um contexto mais amplo, com base neste e em outros experimentos, devemos concluir que as equações de Maxwell estão corretas e que a velocidade das ondas eletromagnéticas é a mesma em todos os referenciais inerciais, independentemente do movimento da fonte em relação ao observador (Tipler e Llewellyn, 2014).

### 2.3 A RELATIVIDADE DE GALILEU

No início do século XX já existia uma teoria da Relatividade estabelecida no meio científico, a chamada Relatividade galileana. De acordo com Galileu Galilei (1564 – 1642), a Física deveria ser a mesma para observadores que se deslocam com movimento uniforme um em relação ao outro. Tal princípio pode ser enunciada da seguinte forma, segundo Caruso e Oguri (2016):

*“Se as leis da Mecânica são válidas em um dado referencial inercial, então são válidas em qualquer outro referencial inercial que se mova com movimento uniforme em relação ao primeiro.”*

Esse princípio reflete a impossibilidade de existência de um referencial absoluto, ou seja, o movimento de um corpo (referencial inercial) somente pode ser medido em relação ao outro corpo que também seja um referencial inercial. Decorre também deste princípio que, em algumas situações que podem ser hipotéticas ou não, é impossível saber se estamos parados ou em movimento uniforme em relação a um outro referencial. Para exemplificar, digamos que em um experimento uma pessoa que trabalhe em determinado escritório (que não possua janelas para o exterior), seja vendada pela manhã e levada para um barco com as seguintes características: se move em movimento uniforme; motor silencioso; navegue em águas perfeitamente calmas; e que no ambiente onde a pessoa for colocada, seja uma cópia perfeita do escritório onde trabalhe. Como essa pessoa saberá que está a bordo de um barco se movendo uniformemente em alto mar ao invés de seu escritório? A Física nos revela que não há como saber.

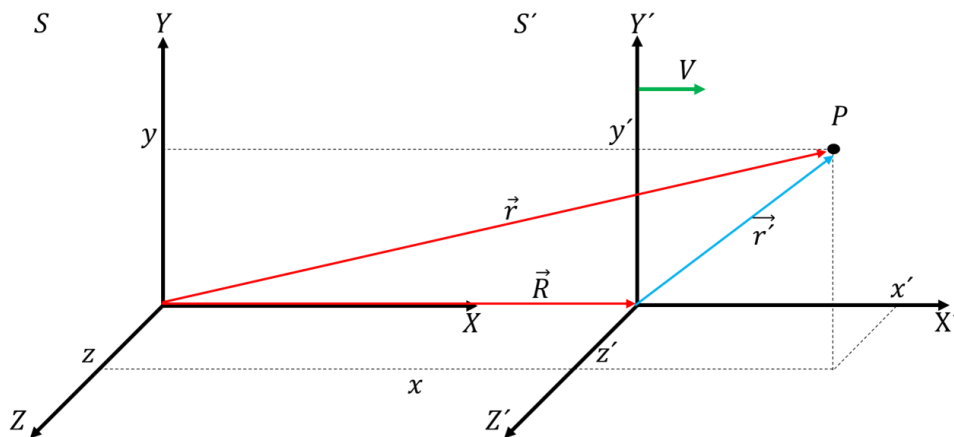
(O princípio da Relatividade de Galileu, enunciado em Nussenzveig (1998), nos revela que é impossível detectar o movimento retilíneo uniforme de um referencial em relação a outro por qualquer efeito sobre as leis da dinâmica. Se a pessoa do exemplo anterior for vendada novamente no fim da tarde e retirada do barco, jamais saberá que esteve nele, achará que foi um dia normal de trabalho em seu escritório. Se por algum sentido humano desconhecido a pessoa suspeitasse está em movimento e realizasse experimentos para descobrir se está se movimentando, estes seriam inconclusivos.

Da Relatividade de Galileu decorre que qualquer referencial em movimento retilíneo uniforme em relação a um referencial inercial, também será inercial. Como exemplo disso, se dois asteroides A e B (no meio interestelar, livres da ação de qualquer campo gravitacional) em movimento retilíneo uniforme se cruzarem no espaço, como determinar qual deles está em movimento? Para o asteroide A, B estará em movimento em relação a seu referencial e como consequência será inercial. Para o asteroide B, A é quem estará em movimento e será inercial para B. Pelo fato de ambos serem referenciais inerciais, os dois pontos de vista são válidos.

Galileu elaborou um conjunto de equações que sintetizam matematicamente esses princípios, conhecidas como “Transformações de Galileu”, as veremos a seguir.

Sejam dois referenciais inerciais S e S', onde S' se move para direita ao longo da direção do eixo x com velocidade V. Do ponto de vista de S' o referencial S move-se com velocidade  $-V$ .

Figura 4 – Esquema dos referenciais das Transformações de Galileu



Fonte: Autor (2023).

No ponto P ocorre um evento cujas coordenadas de espaço e tempo podem ser medidas em ambos referenciais.

Referencial S:  $x, y, z, t$

Referencial S':  $x', y', z', t'$

Considerando que as origens dos referenciais S e S', de eixos paralelos, coincidem em um instante  $t = t' = 0$ , as relações se dão da seguinte forma:

O vetor que define a posição do ponto P em relação aos referenciais S e S' é

$$\vec{r} = \vec{r}' + \vec{R} \quad \leftrightarrow \quad \vec{r}' = \vec{r} - \vec{R} \quad (14)$$

Os módulos destas componentes vetoriais são:

$$|\vec{r}| = x \quad |\vec{r}'| = x' \quad |\vec{R}| = Vt$$

Pode-se reescrever as equações 14 da seguinte forma:

$$x = x' + Vt \quad \leftrightarrow \quad x' = x - Vt \quad (15)$$

As expressões 15 são as equações da posição do evento em P nos referenciais S e S'.

Para as velocidades

$$u' = \frac{dx'}{dt} = \frac{d}{dt}(x - Vt) \quad \rightarrow \quad u' = u - V \quad (16)$$

onde  $u'$  e  $u$  são velocidades relativas a S' e S respectivamente.

Considerando o exposto, pode-se escrever as transformações de Galileu para as posições como:

$$\begin{array}{ll} x' = x - Vt & x = x' + Vt \\ y' = y & y = y' \\ z' = z & z = z' \\ t' = t & t = t' \end{array} \quad (17)$$

Já para as velocidades ficamos com:

$$\begin{array}{ll} u' = u - V & u = u' + V \\ u'_x = u_x - V & u_x = u'_x + V \\ u'_y = u_y & u_y = u'_y \\ u'_z = u_z & u_z = u'_z \end{array} \quad (18)$$

Como consequência das transformações de Galileu temos:

- O tempo não depende do referencial, o intervalo de tempo de um evento medido em diferentes referenciais é invariante ( $\Delta t' = \Delta t$ ). Tal invariância implica a existência de uma escala de tempo universal.
- Os comprimentos são invariantes quando mudamos de referencial. A medida do comprimento de uma barra L em S será a mesma se esta for medida a partir de S' ( $L' = L$ ).

## 2.4 AS TRANSFORMAÇÕES DE LORENTZ

As transformações de Galileu ajustam-se precisamente em situações onde  $V \ll c$ . Se considerarmos tais transformações para dois referenciais inerciais S e S' que se deslocam ao

longo do eixo X cujas velocidades sejam  $c$  e  $V$  respectivamente, não serão compatíveis com os postulados de Einstein da Relatividade Restrita. Considerando as equações clássicas da Relatividade de Galileu para as velocidades teríamos no referencial  $S'$ :  $u'_x = c - V$  ao invés de  $u'_x = c$  como diz o postulado da constância da velocidade da luz.

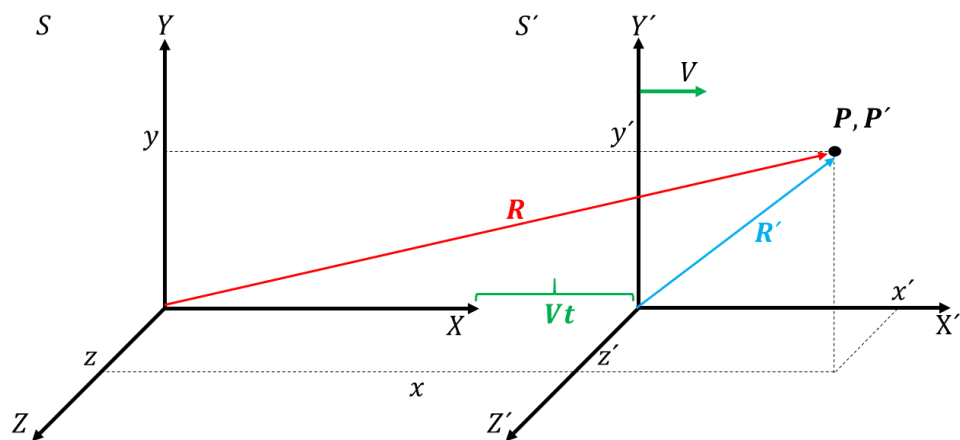
Como consequência, as transformações de Galileu precisam ser modificadas para se tornarem compatíveis com os resultados de Einstein, de forma que tais mudanças, permitam a redução das novas equações às transformações de Galileu para o caso de  $V \ll c$ .

Cabe ressaltar que essas equações surgiram antes de Einstein, dos trabalhos de Hendrik Lorentz (1853-1928) e George Fitzgerald (1851-1901) de 1889 (contração do comprimento) e de Lorentz em 1892 como uma possível explicação para tentar validar o resultado nulo do experimento de Michelson e Morley. Lorentz e Fitzgerald propuseram que o experimento de Michelson e Morley fora nulo, porque todo objeto sofreria uma contração em seu comprimento ao longo da direção do movimento.

A contração de Lorentz, quando foi elaborada, tinha caráter matemático. A explicação física para o fenômeno se deu a partir de Einstein em 1905. A seguir descreveremos o processo matemático para a obtenção das transformações de Lorentz.

Em dois referenciais  $S$  e  $S'$  dispostos como no esquema abaixo, são emitidos simultaneamente dois pulsos luminosos a partir da origem de cada referencial cujos raios são  $R$  e  $R'$ , respectivamente. No ponto  $P = P'$  as frentes de onda se cruzam. Pretende-se descobrir uma equação que relacione a posição em  $x'$  e o tempo  $t'$  do referencial  $S'$  com  $x$  e  $t$  do referencial  $S$ .

Figura 5 – Esquema dos referenciais das Transformações de Lorentz



Fonte: Autores (2023).

As coordenadas dos pontos P e P' são  $P(x, y, z, t)$  e  $P'(x', y', z', t')$ . Como se trata de duas frentes de onda esféricas partindo de O e O' simultaneamente na velocidade da luz, teremos

$$\text{Para S:} \quad x^2 + y^2 + z^2 = R^2 \text{ e } R = ct \quad (19)$$

$$\text{Para S':} \quad x'^2 + y'^2 + z'^2 = R'^2 \text{ e } R' = ct' \quad (20)$$

As equações 19 e 20 podem ser escritas da seguinte forma:

$$x^2 + y^2 + z^2 - (ct)^2 = 0 \quad (21)$$

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 - (ct')^2 = 0 \quad (22)$$

As equações 21 e 22 representam os quadrivetores posição e são invariantes em dois referenciais.

Assumindo-se tratar de uma transformação linear, pois S' se desloca com velocidade  $V$  constante em relação a S na direção do eixo  $x$ , para que as transformações de Galileu sejam modificadas, acrescentamos as constantes arbitrárias  $A, B$  e  $C$ . Essas constantes tornarão as transformações de Galileu compatíveis com referenciais que se deslocam com velocidades próximas a da luz.

$$\begin{aligned} x' &= A(x - Vt) \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= Bt + Cx \end{aligned} \quad (23)$$

Substituindo  $x'$  e  $t'$  na equação (14), tem-se:

$$[A(x - Vt)]^2 + y'^2 + z'^2 - [c(Bt + Cx)]^2 = 0 \quad (24)$$

Como  $y' = y$  e  $z' = z$  pela equação (13), chega-se a:

$$y^2 + z^2 = (ct)^2 - x^2 \quad (25)$$

Substituindo a equação 17 na 16 teremos:

$$[A(x - Vt)]^2 + (ct)^2 - x^2 - [c(Bt + Cx)]^2 = 0 \quad (26)$$

Realizando as operações matemáticas na equação 26 e rearranjando os termos adequadamente, teremos:

$$x^2(A^2 - c^2C - 1) + t^2(A^2V^2 + c^2 - c^2B) - 2xt(c^2BC + VA^2) = 0 \quad (27)$$

Para que a equação 27 seja igual a zero, os termos entre parênteses devem ser iguais a zero. Assim podemos, ao realizar ajustes, montar o seguinte sistema de equações:

$$\begin{cases} A^2 - c^2C = 1 \\ B^2 - A^2 \frac{V^2}{c^2} = 1 \\ A^2V + c^2BC = 0 \end{cases} \quad (28)$$

Realizando as operações corretamente no sistema, chega-se às soluções:

$$A = B \quad A = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \quad C = -\frac{V}{c^2}A$$

Com base no resultado, introduz-se as seguintes notações, como é encontrado na maioria dos livros texto:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad (29)$$

$$\beta = \frac{V}{c} \quad (30)$$

O termo  $\gamma$  é denominado fator de Lorentz.

Substituindo esses resultados nas equações 28, chega-se as Transformações de Lorentz.

$$\begin{aligned} x' &= \gamma(x - Vt) \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= \gamma\left(t - \frac{\beta}{c}x\right) \end{aligned} \quad (31)$$

As transformações de Lorentz inversas ficam:

$$\begin{aligned}
x &= \gamma(x' + Vt') \\
y &= y' \\
z &= z' \\
t &= \gamma\left(t + \frac{\beta}{c}x'\right)
\end{aligned}
\tag{32}$$

A partir das transformações de Lorentz da posição, pode-se definir as transformações relativísticas de velocidades, tomando as derivadas da posição com respeito ao tempo.

$$u'_x = \frac{dx'}{dt'} \quad u'_y = \frac{dy'}{dt'} \quad u'_z = \frac{dz'}{dt'} \quad \text{onde } dy' = dy \text{ e } dz' = dz$$

Tomando os termos diferenciais de  $x'$  e  $t'$ , teremos:

$$dx' = \gamma(dx - Vdt) \quad \text{e} \quad dt' = \gamma\left(dt - \frac{\beta}{c}dx\right)$$

Logo, para  $u'_x$ :

$$\begin{aligned}
u'_x &= \frac{dx'}{dt'} = \frac{\gamma(dx - Vdt)}{\gamma\left(dt - \frac{\beta}{c}dx\right)} \\
u'_x &= \frac{u_x - V}{1 - \frac{\beta}{c}u_x}
\end{aligned}
\tag{33}$$

Para  $u'_y$ :

$$\begin{aligned}
u'_y &= \frac{dy'}{dt'} = \frac{dy}{\gamma\left(dt - \frac{\beta}{c}dx\right)} \\
u'_y &= \frac{u_y}{\gamma\left(1 - \frac{\beta}{c}u_x\right)}
\end{aligned}
\tag{34}$$

Para  $u'_z$ :

$$u'_z = \frac{dz'}{dt'} = \frac{dz}{\gamma\left(dt - \frac{\beta}{c}dx\right)}$$

$$u'_z = \frac{u_z}{\gamma\left(1 - \frac{\beta}{c}u_x\right)} \quad (34)$$

Para encontrar as transformações inversas, procede-se de forma análoga. Chega-se:

$$u_x = \frac{u'_x + V}{1 + \frac{\beta}{c}u'_x} \quad (36)$$

$$u_y = \frac{u'_y}{\gamma\left(1 + \frac{\beta}{c}u'_x\right)} \quad (37)$$

$$u_z = \frac{u'_z}{\gamma\left(1 + \frac{\beta}{c}u'_x\right)} \quad (38)$$

Portanto, das transformações de Lorentz, temos as seguintes consequências para referenciais que se movem com velocidades próximas as da luz:

- As medidas de tempo de determinado evento medidas no referencial S e S', não serão absolutas como na Relatividade de Galileu.
- Se uma barra tem comprimento  $L$  no referencial S e  $L'$  no referencial S', de forma que esteja em repouso com relação a S', as medidas de comprimento da barra em ambos os referenciais não serão iguais como prever a Relatividade de Galileu.
- Considerando o limite em que:

$$V/c \rightarrow 0$$

Tem-se:

$$\gamma = 1.$$

É o chamado limite clássico, quando as transformações de Lorentz se convertem nas transformações de Galileu.

## 2.5 A RELATIVIDADE RESTRITA DE EINSTEIN

Os trabalhos de Michelson e Morley, Lorentz e Fitzgerald e de outros físicos do fim do século XIX e início do século XX, contribuíram de certa forma para que Einstein formulasse sua teoria da Relatividade restrita em 1905. O que difere o trabalho de Einstein desses outros físicos, é que ele não tinha o objetivo de detectar o éter ou provar sua existência, não considerou qualquer efeito que esse meio hipotético viesse desempenhar no movimento relativo de dois

corpos. No seu artigo “*Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento*” de 1905, fez a seguinte menção:

...assim como as tentativas sem sucesso de detectar um movimento da Terra relativo ao “meio de propagação da luz”, levam à hipótese que nenhuma característica dos fenômenos correspondem ao conceito de repouso absoluto, não somente na mecânica, mas também na eletrodinâmica (EINSTEIN, 1905a, p.1).

Em seu trabalho, Einstein teve como ponto de partida a interação eletrodinâmica entre um ímã e um condutor. Estudou o fato de que, o aparecimento de uma força eletromotriz<sup>2</sup> num condutor em repouso em relação a um ímã que se movimenta nas suas proximidades, também apareceria caso ímã estivesse em repouso e o condutor em movimento. A força eletromotriz que aparece em ambos os casos é dada por:

$$\varepsilon = - \frac{d\phi}{dt} \quad (39)$$

Cabe ressaltar que os físicos já conheciam o fenômeno de que o movimento de um ímã nas proximidades de um condutor produzirá uma corrente elétrica, e que uma corrente elétrica produzirá um campo magnético em volta do condutor, antes de Einstein. Podemos ver como expôs isso no início de seu trabalho de 1905 sobre a Relatividade:

Se pense, por exemplo, à interação eletrodinâmica entre um ímã e um condutor. O fenômeno observável depende aqui somente do movimento relativo entre condutor e ímã, enquanto, no entendimento comum, os dois casos, que um ou o outro destes corpos esteja em movimento, têm que ser rigorosamente separados entre si. De fato, estando o ímã em movimento e o condutor em repouso, produz-se no entorno do ímã um campo elétrico com um certo valor de energia, que, nas regiões onde se encontram partes do condutor, dá origem a uma corrente elétrica. Porém, estando o ímã em repouso e movimentando-se o condutor, não se gera então nos arredores do ímã nenhum campo elétrico, mas gera-se, por outro lado, no condutor uma força eletromotriz, à qual não corresponde uma energia, mas que - pressuposta a igualdade do movimento relativo para os dois casos considerados - dá origem a correntes elétricas do mesmo tamanho e com a mesma direção, como as produzidas no primeiro caso pelas forças elétricas (EINSTEIN, 1905a, p.1).

Ao abordar o tema em questão em sua obra “*Eletrodinâmica*”, Griffiths (2011) relata que os antecessores de Einstein acreditavam que a igualdade entre as forças eletromotrizes era coincidência, não tinham dúvida que um observador estaria certo e outro errado, pois

---

<sup>2</sup> Não é uma força no sentido físico; trata-se de uma diferença de potencial elétrico, uma ação elétrica produzida por uma fonte não elétrica.

consideravam campos elétricos e magnéticos deformações no éter, e que a velocidade das cargas deveria ser medidas em relação a este. Eles estavam errados.

Para validar seus argumentos acerca do que foi exposto anteriormente sobre o movimento relativo de cargas em um condutor causado pelo movimento de um ímã, Einstein propôs os seguintes postulados que mudaram a Relatividade até então conhecida:

➤ **Postulado 1:** princípio da Relatividade Restrita

*As leis da Física devem ser as mesmas em todos os sistemas inerciais de referência.*

➤ **Postulado 2:** princípio da invariância da velocidade da luz

*A velocidade de propagação da luz no vácuo tem um valor constante dado por*

$$c = 299.792.458 \text{ m/s}$$

*independente do estado de movimento da fonte.*

Como consequência do primeiro postulado, temos a inexistência de um referencial privilegiado, ou seja, não é possível detectar um estado de repouso absoluto, uma generalização do princípio da Relatividade de Galileu. O segundo postulado nos diz que a velocidade da luz no vácuo será  $c$ , não importando a direção que a fonte se movimenta, por isso pode ser interpretado como uma resposta ao resultado do experimento de Michelson e Morley, onde não foi possível detectar o éter considerando que a luz sofreria interferência em sua velocidade devido a esse meio hipotético e ao movimento da fonte.

Einstein escreveu o seguinte sobre isso:

A introdução de um “éter da luz” se revelará desnecessária, pois, segundo a interpretação a ser desenvolvida aqui, não introduz-se um “espaço de repouso absoluto” dotado de propriedades extraordinárias e nem associa-se um vetor velocidade a um ponto do espaço vazio em que processos eletromagnéticos ocorrem (EINSTEIN, 1905a, p. 1)

De fato, ao analisarmos o seu artigo sobre a Relatividade restrita, percebemos que a menção ao éter aparece apenas na primeira página, como na citação anterior, não sendo considerada em nenhum momento nas demonstrações matemáticas realizadas. No entanto, não há nenhum trecho que mencione claramente a inexistência desse meio por Einstein, apenas que não exerce nenhuma interferência na velocidade da luz ou de objetos com velocidades relativísticas. A velocidade da luz é constante no vácuo não por causa da inexistência do éter, mais sim por uma consequência do primeiro postulado, segundo a teoria da Relatividade não pode existir um meio onde a luz se comporte diferente, visto se tratar de uma onda eletromagnética e deve ter características típicas de uma onda. Apesar do segundo postulado tratar da constância da velocidade da luz, a teoria da Relatividade não se resume a isso, ela define a estrutura do espaço tempo e como concebemos os eventos, trata-se de algo maior, pois

“ela reivindica autoridade não somente sobre todos os fenômenos que conhecemos hoje, mas também sobre aqueles ainda desconhecidos” (Griffiths, 2011, p. 336).

### 2.5.1 A RELATIVIDADE DA SIMULTANEIDADE

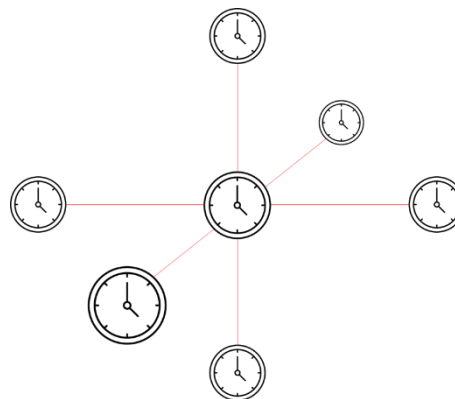
Como consequência de seus dois postulados da Relatividade Restrita, e também como forma de validá-los, Einstein faz a descrição da condição para que eventos sejam simultâneos em um dado referencial e também para o sincronismo desses eventos através de relógios de referência. Escreveu que todas as nossas asserções em que o tempo desempenha um papel, são sempre asserções sobre eventos simultâneos. Se um trem chega às 7:00h na estação, isto significa que a marcação 7:00h pelo ponteiro menor do relógio e a chegada do trem na estação serão eventos simultâneos.

Mas como saber se dois eventos são simultâneos para um observador estacionário no referencial da ocorrência desses eventos? Para que haja simultaneidade desses eventos, o instante da chegada da informação da ocorrência dos eventos no observador, precisa coincidir. Pode-se dizer que se dois eventos em um referencial inercial são simultâneos para um observador estacionário nesse referencial, serão simultâneos para qualquer outro observador estacionário no mesmo referencial (GAZZINELLI, 2009).

### 2.5.2 SINCRONISMO

Para que ocorra a simultaneidade de dois eventos num referencial, é necessário que haja um sincronismo entre esses eventos a partir do observador. Uma forma de obter o sincronismo, é considerar relógios equidistantes de um relógio de referência num espaço tridimensional como na figura 6.

Figura 6 – Relógios de referência no espaço-tempo



Fonte: Autores (2023).

Digamos que o relógio central da figura 6 seja o relógio de referência, ou seja, a partir dele todos os outros relógios devem ser sincronizados. Ao realizar seu acionamento, este deve

emitir um pulso de luz esférica para fazer o sincronismo. Quando a luz atingir os relógios equidistantes, estes serão acionados e começarão a funcionar. No entanto, se no instante da emissão do pulso os ponteiros dos relógios tiverem a mesma marcação, na recepção do pulso eles não estarão sincronizados com o relógio de referência que o emitiu. Isso acontece porque a luz demora um instante  $\Delta t$  para chegar até os relógios.

Figura 7 – Relógios de referência no espaço-tempo



Fonte: Autores (2023).

Considerando a figura 7, com apenas dois relógios, para que ocorra o sincronismo os relógios devem ser adiantados com o tempo conforma a equação (40), antes do da emissão do sinal luminoso que os ativará.

$$\Delta t = \frac{L}{c} \quad (40)$$

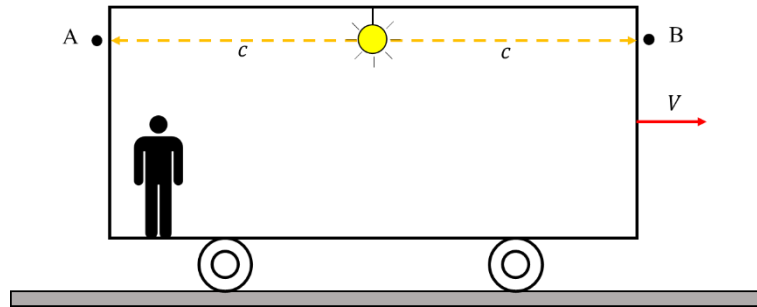
Dessa forma, quando o sinal chega do relógio de referência, os relógios começarão a funcionar de maneira sincronizada. Assim, obtém-se o sincronismo de eventos por meio de um relógio, desde que tais eventos ocorram no mesmo referencial. Então podemos dizer que o evento recepção do pulso de luz pelos relógios A e B da figura 7 são simultâneos para um observador no referencial do relógio de referência.

### 2.5.3 SIMULTANEIDADE RELATIVA

O sincronismo descrito anteriormente funciona bem para relógios (referenciais) em repouso com relação ao relógio de referência (observador), mas não funciona caso esses relógios estejam em movimento, o tempo não é absoluto para referências em movimento relativo. O intervalo no tic-tac do ponteiro é mais lento para aqueles relógios que se movimentam com velocidades próximas da luz. Para ilustrar esse fato, usaremos o exemplo do vagão de trem com uma lâmpada presa ao teto.

Um observador viaja em um vagão que se move com velocidade próxima à da luz. No teto desse vagão, equidistante de dois pontos A e B localizados nas paredes do vagão, encontra-se uma lâmpada especial que emite dois raios de luz na direção do movimento e em sentidos contrários, como mostra a figura 8.

Figura 8 – Observador dentro do vagão

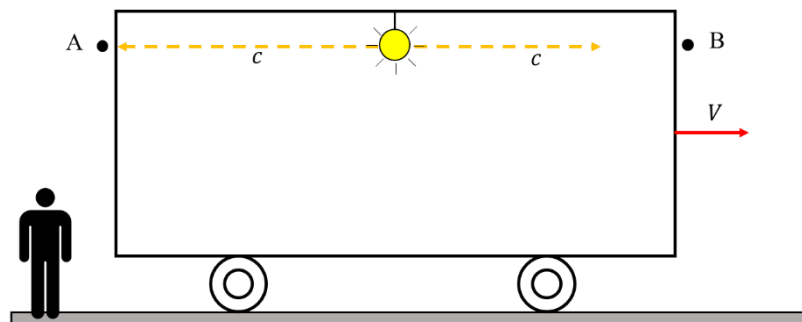


Fonte: Autores (2023).

Para o observador dentro do vagão, os raios de luz chegam aos pontos A e B simultaneamente. A chegada do raio de luz no ponto A e a chegada do raio de luz no ponto B são eventos simultâneos para o observador, e não sofrem influência do movimento do vagão, mesmo que este viaje a velocidade da luz.

Ao analisarmos os eventos, chegada da luz nos pontos A e B, a partir de um observador no referencial dos trilhos, este não concordará quanto a simultaneidade dos eventos observada pelo observador do vagão. A figura 9 ilustra o ponto de vista do observador fora do vagão.

Figura 9 – Observador fora do vagão



Fonte: Autores (2023).

Como mostrado na figura 9, para o observador nos trilhos, os raios de luz não chegam simultaneamente às paredes do vagão. O evento de “chegada do raio no ponto A” ocorre primeiro do que o evento “chegada no ponto B”, graças ao movimento relativo do trem que se desloca com velocidade próxima à da luz. Ao analisar tal situação, uma observação feita por Einstein sobre a relatividade da simultaneidade é que

*Se dois eventos são simultâneos em um referencial inercial, não são simultâneos em outro referencial que esteja em movimento em relação ao primeiro.*

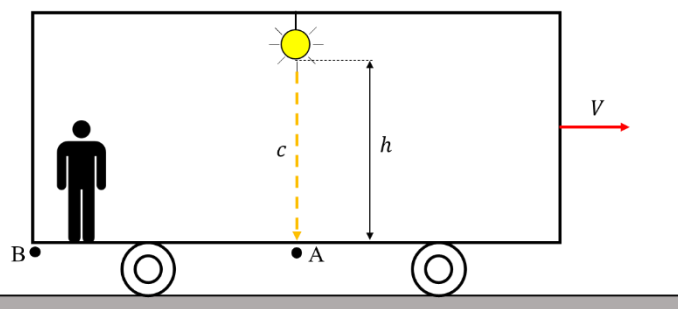
#### 2.5.4 A DILATAÇÃO DO TEMPO

Para salvar a ideia do Éter, Lorentz e Fitzgerald propuseram que o experimento de Michelson e Morley fora nulo, porque todo corpo sofreria uma contração em seu comprimento

ao longo da direção do movimento. As transformações de Lorentz mostram matematicamente isso, e o chamado fator de Lorentz  $\gamma$  seria o responsável pela dilatação do tempo que provoca a contração do comprimento. Em seu trabalho sobre a Relatividade Restrita, Einstein deu uma explicação física para esses dois fenômenos baseado nos postulados e na simultaneidade.

Voltando ao exemplo do vagão de trem em movimento com velocidade  $V$  próxima à da luz, imaginemos que a lâmpada presa ao teto agora emita um raio de luz na direção perpendicular ao movimento do vagão, com sentido para baixo até o ponto A, como mostra a figura 10.

Figura 10 – Visão do observador no vagão



Fonte: Autores (2023).

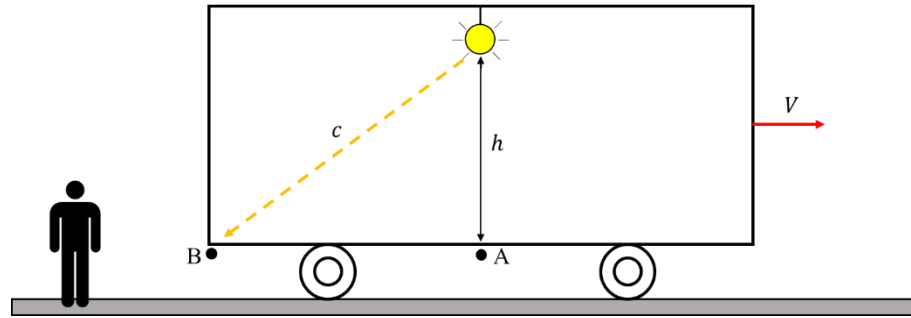
Para o observador dentro do vagão, o raio de luz percorre a altura  $h$ , da lâmpada até o ponto A localizado no piso, no intervalo de tempo descrito pela seguinte equação:

$$\Delta t' = \frac{h}{c} \quad (41)$$

Onde  $\Delta t'$  é denominado intervalo de tempo próprio. É o tempo medido pelo observador entre os eventos emissão da luz e chegada da luz ao piso, no mesmo referencial da ocorrência de tais eventos.

Na figura 11, podemos ver o raio de luz na perspectiva visual do observador no referencial dos trilhos, caso fosse possível visualizar o pulso de luz na velocidade que o trem se desloca. Percebe-se que a distância percorrida pela luz é maior para o observador nos trilhos do que para o observador dentro do vagão. Mas de acordo com o 2º postulado de Einstein, a luz se propaga com a mesma velocidade em ambos os referenciais.

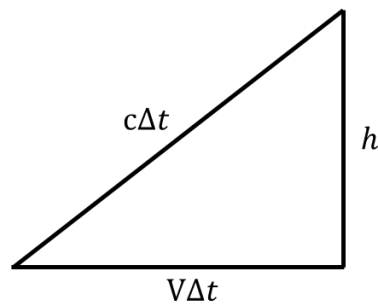
Figura 11 – Visão do observador de fora do vagão



Fonte: Autores (2023).

Como a luz percorre uma maior distância para o observador nos trilhos com mesma velocidade, ela demora mais tempo para chegar até o ponto B do que para chegar ao ponto A, como visto pelo observador do vagão. Ou podemos dizer que o intervalo de tempo entre os eventos emissão da luz e chegada da luz ao piso do vagão, é, portanto, maior para o observador nos trilhos do que para o observador dentro do vagão.

Seja  $\Delta t$  o intervalo de tempo para o observador fora do trem, e como visto anteriormente,  $\Delta t'$  para o observador dentro do vagão. Para calcular  $\Delta t$  em termos de  $\Delta t'$ , deve-se considerar a geometria espacial do problema, o que nos conduz a utilização do teorema de Pitágoras.



$$(c\Delta t)^2 = (V\Delta t)^2 + h^2 \quad (42)$$

Isolando  $\Delta t$ , fica:

$$\Delta t = \frac{h}{\sqrt{c^2 - v^2}} \quad (43)$$

Da equação 41 temos que:

$$h = \Delta t' c \quad (44)$$

Substituindo a equação 41 na 43, ficamos com:

$$\Delta t = \frac{\Delta t' c}{\sqrt{c^2 - v^2}} \quad (45)$$

Tirando  $c^2$  para fora da raiz, o termo  $c$  do numerador se cancela com o do denominador e ficamos com a seguinte expressão:

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (46)$$

Como já foi visto anteriormente, o termo do denominador é o fator de Lorentz dado por:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (47)$$

Assim, podemos reescrever a equação 46 como:

$$\Delta t = \gamma \Delta t' \quad (47)$$

A equação 47 expressa a dilatação do tempo. Ela nos diz que um observador em um referencial qualquer, irá medir um intervalo de tempo maior do que o medido por outro observador, que esteja no mesmo referencial da ocorrência dos eventos observados por ambos. No exemplo do trem, o observador no referencial dos trilhos medirá um intervalo de tempo maior entre a ocorrência dos eventos descritos, que o medido pelo observador que viaja dentro do vagão, onde ocorrem tais eventos.

Dessa diferença na percepção dos eventos pelos observadores descritos, tem-se algumas considerações:

- Para o observador nos trilhos, o observador no vagão está atrasado quanto a percepção dos eventos emissão da luz e chegada dela ao piso.
- Do ponto de vista matemático da equação 47, é o fator de Lorentz que exerce influência na diferença entre os intervalos de tempo medidos pelos observadores.

Se

$$\gamma > 1$$

Implica

$$\Delta t > \Delta t' \quad (48)$$

Como já foi descrito no exemplo do vagão, onde os observadores de dois eventos em referenciais diferentes medem essa diferença nos tempos.

Se

$$\gamma = 1$$

Implica

$$\Delta t = \Delta t' \quad (49)$$

Nesse caso  $V \ll c$ , corresponde ao limite clássico da Relatividade Restrita. Os intervalos de tempo entre a ocorrência dos eventos emissão e recepção da luz, terão a mesma medida para os observadores de dentro e fora do vagão de trem. Se por outro lado, no fator de Lorentz ocorrer que

$$\frac{V^2}{c^2} > 1$$

Implicaria que a velocidade com que o vagão se desloca é maior que a da luz. Seria a violação de um dos postulados da Relatividade Restrita, o da constância da velocidade da luz.

- Quanto maior a velocidade  $V$  do trem, maior será o fator de Lorentz  $\gamma$ , e como consequência disso, maior será a diferença nos tempos medidos pelos observadores.

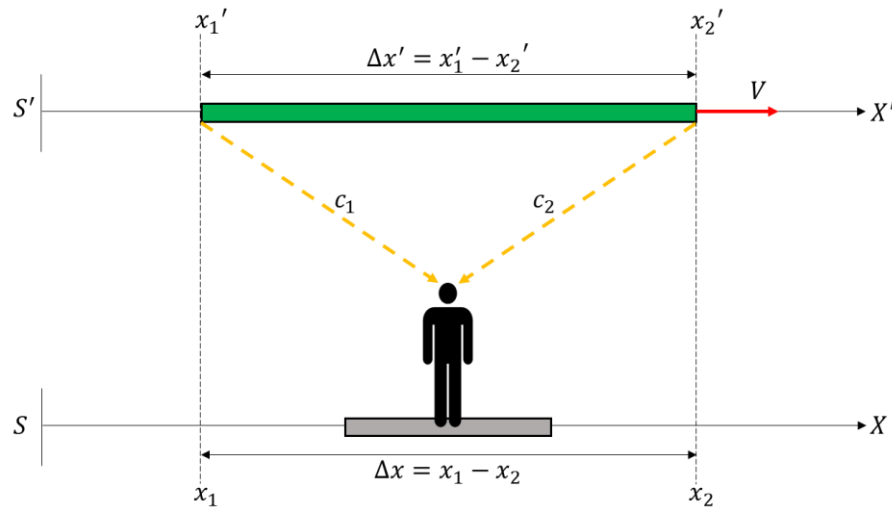
Das considerações descritas, constata-se que um referencial que está se movimentando com velocidade próxima à da luz, em relação a outro referencial, sofre dilatação do tempo, ou seja, o tempo passa em marcha mais lenta para este.

### 2.5.5 A CONTRAÇÃO DO COMPRIMENTO

A contração do comprimento dos objetos na direção do movimento é uma consequência direta da dilatação do tempo. O efeito é causado pela não simultaneidade na recepção dos sinais luminosos das extremidades do objeto que irão formar a imagem. No entanto, tal efeito só pode, em teoria, ser observado em corpos que se movam a velocidades próximas a da luz.

#### *Caso não relativístico*

A figura 12 descreve o caso clássico em que uma barra, no referencial  $S'$ , se move em relação ao referencial  $S$  onde se encontra um observador que deseja medir seu comprimento a partir da visualização das coordenadas de suas extremidades.

Figura 12 – Barra com  $V \ll c$ 

Fonte: Autores (2023).

Como a velocidade da barra é muito pequena comparada com a da luz, os sinais luminosos  $c_1$  e  $c_2$  que partem das extremidades da barra, chegam simultaneamente até o observador. Assim a imagem é formada sem alterações em seu comprimento. Pela Relatividade de Galileu, teremos:

$$x_1 = x_1' \quad e \quad x_2 = x_2'$$

E como consequência

$$\Delta x = \Delta x'$$

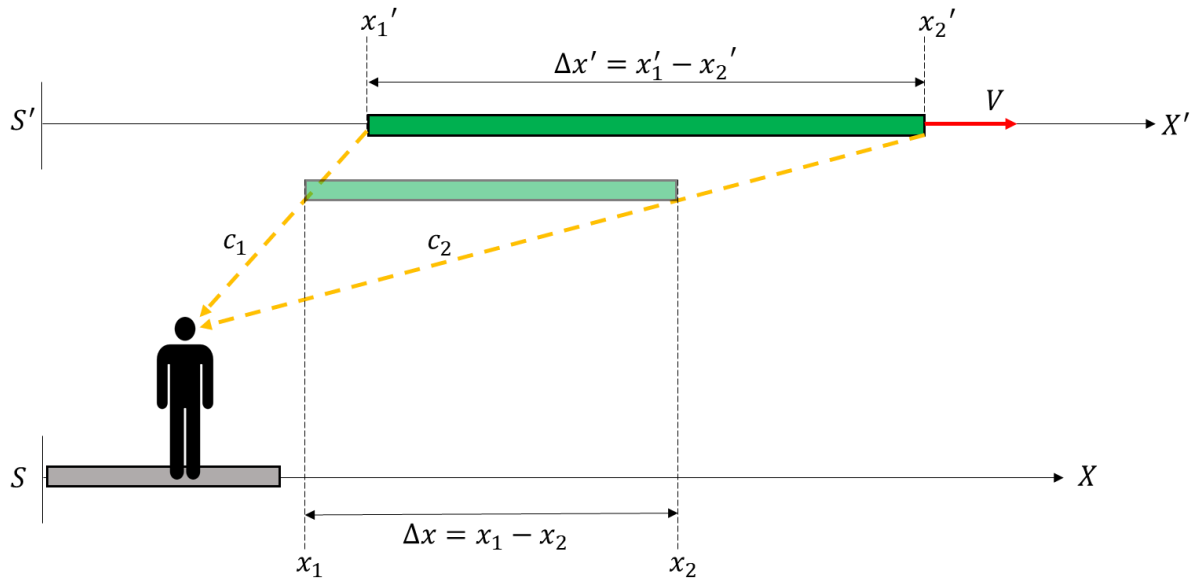
Logo, o comprimento da barra será o mesmo medido no referencial S e no S'. Esse resultado advém do fato que, na Relatividade de Galileu, os intervalos de tempo medidos durante a passagem da barra são os mesmos em ambos os referenciais, ou seja:

$$\Delta t = \Delta t'$$

### ***Caso relativístico***

A figura 13 mostra o esquema de coordenadas de uma barra que se move com velocidade próxima a da luz. Neste caso, os sinais luminosos  $c_1$  e  $c_2$  que partem das extremidades da barra, não chegam simultaneamente até o observador que se encontra no referencial S. O sinal  $c_1$  o atinge primeiro e  $c_2$  chega até ele após um intervalo de tempo  $\Delta t$ . Como já foi discutido na seção da dilatação do tempo, as distâncias percorridas por cada sinal não serão as mesmas, o que provoca um intervalo entre as recepções dos sinais, e é justamente ele que causa o efeito relativístico.

Figura 13 – Esquema de coordenadas de uma barra que se move com  $V \cong c$



Fonte: Autores (2023).

Essa disparidade na recepção dos sinais, devido a alta velocidade ao passar pelo observador, faz aparecer uma diferença entre os intervalos de tempo medidos em cada referencial durante a passagem da barra, neste caso  $\Delta t > \Delta t'$  como já foi visto.

Digamos que o observador em S deseje medir o comprimento da barra ao passar por ele, tendo como referências as coordenadas do referencial S', ou seja,  $x'_1$  e  $x'_2$ . Pelas equações 23, teremos:

$$x'_1 = \gamma(x_1 - V \cdot t_1) \quad e \quad x'_2 = \gamma(x_2 - V \cdot t_2) \quad (50) \text{ e } (51)$$

e como  $t_1$  e  $t_2$  são medidos no mesmo referencial:

$$t = t_1 = t_2$$

Logo, o comprimento da barra será a diferença entre as coordenadas, ou seja,

$$\begin{aligned} x'_2 - x'_1 &= \gamma(x_2 - V \cdot t) - \gamma(x_1 - V \cdot t) \\ x'_2 - x'_1 &= \gamma[(x_2 - V \cdot t) - (x_1 - V \cdot t)] \\ x'_2 - x'_1 &= \gamma[(x_2 - x_1) + (-V \cdot t + V \cdot t)] \\ x'_2 - x'_1 &= \gamma(x_2 - x_1) \end{aligned}$$

∴

$$\Delta x' = \gamma \Delta x \quad (52)$$

Ou podemos usar a notação  $L = \Delta x$  medido por S e  $L_0 = \Delta x'$  medido em S' que ficamos com:

$$L_0 = \gamma L \quad (53)$$

Ou

$$L = \frac{L_0}{\gamma} \quad (54)$$

A equação 53/54 relaciona os comprimentos da barra medidos nos dois referenciais. Ela nos revela que o comprimento de um corpo é menor quando ele é medido em um referencial no qual está em movimento. No entanto, apesar de parecer que a barra se contraiu na visão de do observador, ele apenas a visualiza em uma perspectiva que contempla apenas a projeção de seu comprimento, como tentamos mostrar na figura 13, com a barra menor.

### **3. DOCUMENTOS NORTEADORES EDUCACIONAIS SOBRE O ENSINO DE RELATIVIDADE**

#### **3.1 A BNCC E O ENSINO POR COMPETÊNCIAS**

Foi realizada uma consulta nos documentos que norteiam os conteúdos de Física a serem abordados no Ensino Médio, em âmbito nacional e estadual. A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é a referência nacional para a formulação dos currículos e sistemas de ensino dos Estados, do Distrito Federal, dos Municípios e das propostas pedagógicas de suas respectivas secretarias de educação. A BNCC é um documento normativo que define o conjunto orgânico e progressivo de aprendizagens essenciais que todos os alunos devem desenvolver ao longo das etapas e modalidades da Educação Básica (BRASIL, 2018).

A BNCC não indica explicitamente os conteúdos a serem abordados em uma determinada área de conhecimento, ela aborda unidades temáticas. No Ensino Médio, para as Ciências da Natureza, onde a Física está inserida, é proposto um aprofundamento nas unidades temáticas: Matéria e Energia; Vida e Evolução; Terra e Universo.

Este documento também define dez competências gerais que consubstanciam, no âmbito pedagógico, os direitos de aprendizagem e desenvolvimento. A partir das competências gerais, define-se competências específicas para cada uma das quatro grandes áreas de conhecimento (Linguagens e suas Tecnologias, Matemática e suas Tecnologias, Ciências da Natureza e suas Tecnologias, Ciências Humanas e Sociais Aplicadas). Para as Ciências da Natureza, as competências específicas para o Ensino Médio são:

1. Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.
2. Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.
3. Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem

demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).

Relacionadas a cada uma das três competências específicas de Ciências da Natureza, são indicadas habilidades a serem alcançadas pelo aluno ao adquirir tais competências. Tais habilidades reúnem os conhecimentos das disciplinas de Biologia, Física e Química de forma que, o objeto de conhecimento a ser abordado pelo professor em sala de aula, deve relacionar essas três componentes curriculares.

A BNCC não especifica de maneira explícita os objetos de conhecimentos (conteúdo) a serem trabalhados em cada disciplina. As especificações dos conteúdos ficaram a cargo dos Estados devido às particularidades culturais, geográficas, sociais e econômicas apresentadas por cada um. Para isso, tais objetos de conhecimento devem estar dentro do rol das competências e habilidades específicas definidas na BNCC. No Estado do Amazonas, a Secretaria de Educação elaborou sua Proposta Curricular e Pedagógica do Ensino Médio (PCP-EM) baseada na BNCC e no Referencial Curricular Amazonense (RCA). O RCA é o documento que define os objetos de conhecimento a serem abordados dentro dos componentes curriculares, considerando as peculiaridades do estado do Amazonas. De acordo com este documento

[...] adota-se o conceito de juventude em uma perspectiva plural, buscando entender as singularidades das culturas juvenis amazonenses compostas por uma diversidade que compreendem o jovem da cidade, do campo, o indígena, o ribeirinho etc., e para todos, sem distinção, faz-se necessário garantir o acesso ao ensino médio que respeite as necessidades peculiaridades, contextos e culturas (Amazonas, 2021a, p. 20).

Para a Relatividade Restrita, o RCA e PCP-EM não preveem de forma explícita o ensino deste objeto de conhecimento. Na PCP-EM está previsto na 3º série do Ensino Médio, no 3º bimestre, o conteúdo de Física Moderna, onde a Relatividade Restrita deveria estar inserida. Realizando uma leitura atenta desse trecho em Amazonas (2021b), percebe-se pela habilidade considerada (que é referente a competência específica 3) e pelos demais objetos de conhecimento do bloco (bombas atômicas e história do desenvolvimento da bomba atômica), que a parte da Física Moderna considerada neste documento faz alusão a teoria quântica.

No entanto, se considerarmos que a BNCC prevê a flexibilização dos currículos, e também a inserção de temas transversais como Ciência e Tecnologia, podemos em tese, fundamentar o ensino de Relatividade. Considerando a unidade temática Terra e Universo, ao analisarmos a competência específica 2 e as seguintes habilidades referentes a esta competência, retiradas de (Brasil, 2018, p.557):

- (EM13CNT205) Interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas noções de probabilidade e incerteza, reconhecendo os limites explicativos das ciências.
- (EM13CNT204) Elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros).

De acordo com a habilidade (EM13CNT205), através do estudo de determinados conteúdos, um aluno deve realizar previsões sobre atividades experimentais e fenômenos naturais. Tomando como base esses pressupostos, podemos inserir aqui o ensino da Relatividade Restrita, por se tratar de um fenômeno natural indispensável para o entendimento do conceito de tempo e espaço, e que no processo de construção dessa teoria, foram desenvolvidos uma série de experimentos físicos e mentais (como visto no capítulo 2) que ajudaram a consolidá-la como um dos fenômenos mais importantes da Física.

Tal habilidade também pressupõe o reconhecimento dos limites explicativos da ciência. Nesse sentido, na teoria Relatividade Restrita encontramos um dos limites mais conhecidos – o postulado de Einstein que diz ser a velocidade da luz constante independente do referencial –, dele temos que a velocidade da luz é o limite, nada pode viajar mais rápido que a luz, caso contrário os postulados de Einstein de Relatividade Restrita não serão mais válidos. O estabelecimento desse limite tornou possível a construção de um conceito de tempo mais abrangente.

Outro fenômeno natural ligado a Relatividade Restrita que cabe nessa habilidade é a Relatividade da Simultaneidade, que através da análise aprofundada desse fenômeno, pôde-se construir uma forma de calcular a Dilatação do Tempo e Contração do Espaço, fenômenos relacionados com a constância da velocidade da luz.

Pela habilidade (EM13CNT204) justifica-se o ensino de Relatividade Restrita ao considerarmos que ela trata sobre explicações, previsões e cálculos do movimento de objetos na Terra, Sistema Solar e Universo. Sabe-se que a maioria dos corpos celestes do universo possuem grandes velocidades, e para fazer a descrição correta do movimento de tais corpos, deve-se considerar os efeitos relativísticos, seja de um cometa, asteroide, partículas provenientes do sol com alta velocidade, raios cósmicos que chegam à Terra e também a informação de um evento astronômico que ocorreu há anos luz. Outro fator que poderia ser considerado nessa habilidade, são os efeitos causados por grandes massas no tecido do espaço-

tempo que interferem no movimento dos corpos ao seu redor, nesse caso é o campo de estudo da Relatividade Geral.

Os efeitos relativísticos nos corpos em movimento podem ser abordados em sala de aula tanto de maneira matemática quanto puramente teórica (não em todos os casos) através de exercícios, simulações, softwares criados especificamente para este fim, experimentos mentais e até um jogo que aborde tais efeitos.

Portanto, apesar de não está disposto de forma explícita o ensino de Relatividade para o Ensino Médio nos documentos norteadores, pode-se buscar justificativas para tal objeto de conhecimento baseando-se nas habilidades descritas referentes à competência específica 2 para as Ciências da Natureza da BNCC, como nos dois parágrafos anteriores.

### 3.2 O RCA E O PERFIL DO ALUNO AMAZONENSE

No RCA, é considerado o jovem amazonense em uma perspectiva plural, como o da cidade, o da zona rural, o indígena e o ribeirinho. Os conteúdos ensinados em sala devem estar, sempre que possível, relacionados à realidade de cada um. No caso deste trabalho, que será aplicado em uma escola estadual de Manaus, devemos considerar as características do jovem da cidade possuidor de um perfil cosmopolita, que tem acesso à internet de melhor qualidade do que àquela do interior do estado, proporcionando amplo acesso às mídias digitais.

Neste sentido o perfil do aluno considerado para este trabalho, é do nativo digital que consome conteúdo na internet diariamente em seus diversos segmentos e que está inserido na cultura digital.

Outra variável que precisa ser considerada é o contexto social que o público alvo desta pesquisa está inserido, que é de alunos de escola pública, morador de comunidade carente, proveniente de famílias de baixa renda, em sua maioria não praticam esportes além das aulas de educação física da escola. De modo geral, as interações sociais e o entretenimento desses adolescentes se dão em grande parte, nas redes sociais, em jogos digitais, séries e filmes, vídeos e *podcasts*<sup>3</sup>.

Durante as aulas, é possível perceber pelas perguntas realizadas, que seus pensamentos acerca de determinados temas científicos podem estar sob grande influência dos chamados “influenciadores digitais de conteúdos científicos”, os “*YouTubers*”.

---

<sup>3</sup> Um podcast é um programa digital em formato de áudio ou vídeo, disponibilizado na internet para consumo sob demanda. Pode abordar diversos temas, como entrevistas, notícias e entretenimento, e ser acessado em plataformas de conteúdo digitais.

Tais influenciadores desempenham um papel importante no mundo digital ao divulgarem a Ciência. No entanto, parte desses conteúdos são pouco técnicos e muito superficiais e em sua maioria são vídeos curtos ou cortes de vídeos maiores. Esse tipo de vídeo curto, é uma forma de fazer a pessoa assisti-lo em sua totalidade. Percebemos que a maioria dos alunos gosta desse tipo de vídeo.

Óbvio que essa característica não é uma regra, dentre a grande massa de alunos existem aqueles que não satisfazem a sua curiosidade por um tema científico apenas com um vídeo de 60 s ou 120 s, mas esses são minoria.

## 4. O SOCIOINTERACIONISMO DE VYGOTSKY

### 4.1 A TEORIA SOCIOINTERACIONISTA

A teoria sociointeracionista de Lev Semenovich Vygotsky (1896 – 1934) enfatiza o papel central dos aspectos culturais e sociais no desenvolvimento do indivíduo. Ela tem como principal objetivo caracterizar os aspectos tipicamente humanos do comportamento e elaborar hipóteses de como essas características se formaram ao longo da história humana e de como se desenvolvem durante a vida de um indivíduo (Vygotsky, 2007).

O teórico afirma que características inerentes aos seres humanos não estão presentes desde o nascimento, nem são o simples resultado de influências do ambiente externo. “Elas resultam da interação dialética do homem e seu meio sociocultural. Ao mesmo tempo em que o ser humano transforma o seu meio para atender suas necessidades básicas, transforma-se a si mesmo” (Rego, 1995, p. 41).

Devemos entender que, segundo o sociointeracionismo, somos influenciados pelo ambiente a qual estamos integrados, pois para Vygotsky (2007) o ser humano é um ser social que constrói seus aspectos individuais a partir das interações com outros indivíduos, mediadas pelos padrões sociais do meio à qual está inserido. Se os aspectos sociais e culturais relacionados aos indivíduos e ao ambiente exercem influência no indivíduo, logo seu desenvolvimento cognitivo também dependerá desses fatores. Moreira (1999) corrobora com essa visão ao afirmar que Vygotsky parte da premissa que o desenvolvimento não pode ser entendido sem referência ao contexto social e cultural no qual ele acontece, tal desenvolvimento não ocorre independente desses contextos. Nesse sentido o texto de Rego (1995) também nos proporciona um melhor entendimento da questão em pauta, ao afirmar:

As funções psicológicas especificamente humanas se originam nas relações do indivíduo e seu contexto cultural e social. Isto é, o desenvolvimento mental humano não é dado a priori, não é imutável e universal. não é passivo, nem tampouco independente do desenvolvimento histórico e das formas sociais da vida humana. A cultura é, portanto, parte constitutiva da natureza humana, já que sua característica psicológica se dá através da internalização dos modos historicamente determinados e culturalmente organizados de operar com informações (Rego, 1995, p. 42).

No sociointeracionismo, o aprendizado também ocorre inicialmente por meio das interações sociais e do ambiente cultural em que o indivíduo está inserido. Vygotsky (2007) destaca a interação social como primordial no desenvolvimento do aprendizado. Na teoria sociointeracionista o conhecimento é construído nas interações dos sujeitos com o meio e com outros indivíduos, e são essas interações as principais promotoras da aprendizagem (De Sousa, 2018).

A aprendizagem é mediada pelas trocas com outras pessoas, pelo uso da linguagem e pelos contextos socioculturais. Somente após esse processo de aprendizado social é que o desenvolvimento cognitivo se dá de forma mais plena, pois as funções mentais superiores (raciocínio, memória, atenção, linguagem, pensamento abstrato e planejamento) são construídas com base nessas interações e experiências culturais. Neste sentido, a teoria sociocultural, formulada por Vygotsky, concebe a aprendizagem como resultado de um processo gradual de internalização dos códigos culturais, um processo que envolve a progressiva integração da criança no universo simbólico ou da atribuição de sentidos (Barbosa e De Lourdes Batista, 2018).

A teoria sociointeracionista de Vygotsky também é conhecida na literatura como histórico-cultural, construtivismo social e socioconstrutivista. Apesar de o nome lembrar o construtivismo, existem grandes diferenças entre essas abordagens. O construtivismo já é uma abordagem de ensino muito utilizada por alguns professores, seu principal expoente foi o psicólogo Jean Piaget. No construtivismo aprendizagem e desenvolvimento estão no mesmo nível. “A aprendizagem, de acordo com a versão construtivista, não deve ser compreendida como o resultado do desenvolvimento do aluno, mas deve ser entendida como o próprio desenvolvimento.” (Fossile, 2010, p. 110).

Ainda segundo Fossile (2010), Piaget sustenta que a criança constrói de forma espontânea os seus conhecimentos, dessa maneira, o processo seria do individual para o social, já Vygotsky sustenta que o processo seria do social para o individual, isto é, a criança constrói seus conhecimentos por intermédio das interações com o meio social e cultural a qual pertence. No que diz respeito a aprendizagem do indivíduo, para Piaget é dependente do desenvolvimento cognitivo, porém para Vygotsky a aprendizagem e o desenvolvimento cognitivo são processos que se inter-relacionam de forma articulada.

Com relação as diferenças entre a abordagem de Vygotsky e outros teóricos, Moreira (1999) afirma que diferentemente de outros teóricos cognitivistas como Piaget e Ausubel, que focalizam o indivíduo como unidade de análise, sua unidade de análise não é nem o indivíduo nem o contexto, mas a interação entre eles. Vygotsky enfoca a interação social, que é veículo fundamental para a construção dinâmica do conhecimento social, histórica e culturalmente construído. Nesse sentido, para Gaspar (2004) ao contrário da teoria piagetiana, que defende que um novo conceito só pode ser aprendido quando as estruturas mentais necessárias já estiverem consolidadas na mente do aluno, a teoria de Vygotsky propõe que essas estruturas só começam a se formar a partir do momento em que novos conceitos são ensinados. Considerando tais argumentos, pode-se concluir que não é o desenvolvimento cognitivo que possibilita a

aprendizagem, mas sim as interações socioculturais, o ambiente, o processo de ensino e a predisposição em aprender que promovem o desenvolvimento cognitivo.

#### 4.2. SIGNO E MEDIAÇÃO

Na teoria sociointeracionista para que haja aprendizado é preciso que o indivíduo interaja de alguma forma com outros indivíduos e com o ambiente sociocultural a qual está inserido. Mas como ocorre essa interação? Quais elementos envolvidos? É isso que abordaremos nessa seção.

Para Vygotsky (2007) a interação acontece graças a elementos mediadores, que ele denominou de instrumentos e signos, que possuem papel fundamental no processo de aprendizagem. Rego (1995) argumenta ser de fundamental importância a compreensão da questão da mediação, visto que ela caracteriza a relação das pessoas com o mundo, pois é através deste processo, que as funções psicológicas superiores, especificamente humanas, se desenvolvem. Já na visão de De Paula et. al. (2020) a mediação é um ponto fundamental na teoria de Vygotsky, pois se trata do processo de intervenção de um elemento intermediário numa relação, que pode ser realizada por meio de instrumentos, de signos ou de pessoas.

Percebe-se no processo de mediação a importância dos instrumentos e signos, mas o que são esses dois elementos? Os instrumentos têm a função de regular ou mediar as ações sobre os objetos, sendo de natureza material, enquanto os signos regulam as ações sobre a mente das pessoas, sendo de ordem psicológica. Esses elementos, denominados ferramentas culturais, fazem com que o conhecimento seja visto não como o resultado de uma ação direta dos sujeitos sobre os objetos, mas como uma interação mediada por essas ferramentas culturais (Da Silva Neto et. al., 2018).

Moreira (1999), menciona ao abordar a questão dos signos, que a conversão de relações sociais em funções mentais superiores (atenção, memória, planejamento, resolução de problemas) não é direta, é mediada. E essa mediação inclui o uso de instrumentos e signos. Na visão do autor supracitado, um instrumento é algo que pode ser usado para fazer alguma coisa e o signo é algo que significa aquilo que pode ser feita com o instrumento. Para Rego (1995), o signo pode ser considerado aquilo (ação, objeto, forma, fenômeno, gesto, figura ou som, pode ser psicológico como um mnemônico que serve para lembrar de algo) que representa algo diferente de si mesmo. Ou seja, substitui e expressa eventos, ideias, situações e objetos, servindo como auxílio da memória e da atenção humana.

Segundo Vygotsky (2007), a invenção e o uso de signos para resolver problemas psicológicos são análogos ao uso de instrumentos no trabalho. Os signos atuam como

ferramentas da atividade psicológica, permitindo que os seres humanos lembrem ativamente de como se realiza uma ação ou atividade através do uso destes. Para Vygotsky é o uso que fazemos dos signos que distingue a memória humana da dos animais. Como exemplos de signos (ou ferramentas psicológicas) temos “a linguagem, as diferentes formas de numeração e cálculo, os dispositivos mnemotécnicos, o simbolismo algébrico, as obras de arte, a escrita, os diagramas, os mapas, os desenhos, todo tipo de designo convencional etc.” (Vygotsky, 2004, p. 93).

Fica evidente que os instrumentos não possuem função alguma sem o signo a ele associado, e tal signo atrelado a determinado instrumento, é compartilhado entre os indivíduos através das interações sociais e aspectos culturais. Tal ponto de vista também é defendido por Moreira (1999) ao tecer os seguintes comentários sobre esta questão:

Para internalizar signos, o ser humano tem que captar os significados já compartilhados socialmente, ou seja, tem que passar a compartilhar significados já aceitos no contexto social em que se encontra, ou já construídos social, histórica e culturalmente. Percebe-se aí o papel fundamental da interação social, pois é por meio dela que a pessoa pode capturar significados e certifica-se de que os significados que capta são aqueles compartilhados socialmente para os signos em questão (Moreira, 1999, p. 113).

De acordo com Vygotsky (2007), é com a interiorização de instrumentos e sistemas de signos, produzidos culturalmente, que se alcança o desenvolvimento cognitivo. Os adultos procuram incorporar as crianças à sua cultura, atribuindo significado às condutas e aos objetos culturais formados ao longo da história, e dessa maneira, influenciam a educação e os princípios que a criança carregará consigo ao longo da vida. Por exemplo, se a família de uma criança não adota a cultura do estudo como forma de emancipação econômica e acredita que apenas o trabalho árduo e constante proporcionará tal emancipação, a criança provavelmente se sentirá menos atraída e empolgada em estudar para ter uma profissão que dependa de formação formal. Nesse caso, os signos e instrumentos atrelados ao contexto social da família não permitirão que ela alcance o pleno desenvolvimento cognitivo no que se refere à educação formal, resultando possivelmente em um indivíduo alienado socialmente pela própria família e com lacunas na sua aprendizagem. Isso se alinha com a visão de Vygotsky ao afirmar que o aprendizado pressupõe uma natureza social específica e um processo através do qual as crianças penetram na vida intelectual dos indivíduos que as cercam" (Vygotsky, 2007).

#### 4.3 CONCEITOS

Antes de abordarmos a questão da Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), é interessante tratarmos da questão dos conceitos espontâneos e científicos. Entender o que são

esses conceitos é fundamental, pois é a partir do seu entendimento que podemos saber o nível cognitivo do aluno, ou seja, se o pensamento dele em relação a determinado conteúdo é por complexo ou por conceitos.

Vygotsky (2009) define pensamento por complexo como uma forma inicial de organização mental em que a criança agrupa objetos ou ideias com base em associações subjetivas e concretas, sem uma estrutura lógica definida. As conexões entre os elementos são flexíveis e baseadas em experiências imediatas, ou seja, o significado das coisas é aquilo que ela pode ver, tocar e relacionar com objetos com o qual já possui alguma familiaridade. Já pensamento por conceitos, para o autor supracitado, é caracterizado pela capacidade de abstração e generalização do indivíduo, que utiliza princípios teóricos, regras lógicas e coerência para compreender as relações entre os fenômenos. O pensamento por conceitos, como define Vygotsky, é fundamental para o aprendizado de disciplinas de Ciências da Natureza, em especial a Física.

De modo geral, os conceitos espontâneos são aqueles que se originam do pensamento por complexo e os conceitos científicos, como é de se esperar, originam-se no pensamento por conceitos. No âmbito da aprendizagem, tais conceitos estão relacionados aos conhecimentos do aluno.

Os conceitos espontâneos são aqueles que o aluno internaliza a partir do meio em vive, mediante interações com a família, amigos, vizinhos. De acordo com Rego (1995) conceitos espontâneos são conceitos construídos com base na observação, manipulação e vivência direta dos sujeitos e compreendidos como uma construção social, mediada pela interação com o outro. Esses conceitos estão relacionados aos conhecimentos de senso comum e fazem parte do cotidiano, onde o indivíduo reconhece o objeto a que o conceito se refere, mas não tem plena consciência de seu processo de pensamento, ou seja, não está ciente de seus próprios conceitos. Vygotsky (2008) argumenta que o sujeito, ao operar com conceitos espontâneos, não está consciente deles, uma vez que sua atenção está focalizada no objeto ao qual se refere e nunca no próprio ato do pensamento. Logo, conceitos espontâneos estão relacionados a ação inconsciente do aluno, determinado fenômeno tem um significado que faz sentido para ele, mesmo que diferente do significado científico, pois antes de entrar na escola, já possui uma série de conhecimentos do mundo que o cerca. Por exemplo, um aluno de ensino fundamental pode não saber a definição científica de velocidade, mas a compreende usando o conceito de rapidez que foi construído com base em suas experiências cotidianas.

Com relação aos conceitos científicos, sob a ótica de Rego (1995), estes se relacionam àqueles eventos não diretamente acessíveis à observação ou ação imediata da criança, são os

conhecimentos sistematizados, adquiridos nas interações escolarizadas. Logo a escola tem um papel fundamental na construção desses conceitos, pois é lá o ambiente onde o indivíduo entra em contato com conhecimentos estruturados com base no saber científico formal. Quanto a formação de conceitos científicos, para Vygotsky (2009) eles surgem do processo de solução de algum problema que se coloca para o pensamento do adolescente e com o resultado da solução emerge o conceito. Os conceitos científicos adquiridos neste processo, não são uma formação isolada e nem imutáveis, mas se caracterizam como uma parte ativa do processo intelectual do sujeito (Vygotsky, 2008).

#### 4.4 ZONAS DE DESENVOLVIMENTO

Em um processo de ensino, para que se alcance resultados na aprendizagem do aluno é essencial que saibamos como ocorre a transição dos conceitos espontâneos para os científicos. Relacionada aos conceitos espontâneos do aluno está o que Vygotsky (2007) definiu como zona de desenvolvimento real (ou nível de desenvolvimento real), já relacionado aos conceitos científicos está a zona de desenvolvimento potencial (ou nível de desenvolvimento potencial). Para o teórico, a zona de desenvolvimento real representa as etapas já alcançadas pelos indivíduos, nela as funções psicológicas já estão bem estabelecidas e ele as realiza de forma independente. Já a zona desenvolvimento potencial representa as etapas que podem ser alcançadas através da mediação de alguém que já adquiriu desenvolvimento (como um professor).

Entre as duas zonas (ou níveis) de desenvolvimento está o que Vygotsky define como Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), para ele

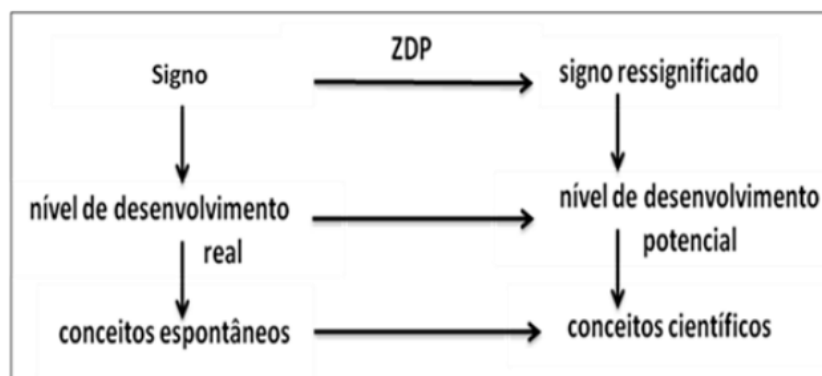
Ela a distância entre o nível de desenvolvimento real, que se costuma determinar através da solução independente de problemas, e o nível de desenvolvimento potencial, determinado através da solução de problemas sob a orientação de um adulto ou em colaboração com parceiros mais capazes (Vygotsky, 2007, p. 97).

Ainda de acordo com Vygotsky (2007), a ZDP define aquelas funções que ainda não amadureceram e que estão em processo de maturação, representando habilidades que, embora estejam presentes em estado embrionário, têm o potencial de se desenvolver. Para o autor, o que é a ZDP hoje se tornará o nível de desenvolvimento real amanhã, ou seja, o que uma criança pode fazer com assistência hoje, ela será capaz de realizar sozinha amanhã. É na ZDP que deve ocorrer a interação com outros indivíduos mais capazes que irão prestar tal assistência no processo de aprendizagem de determinado conteúdo.

De acordo com Solino e Sasseron (2018) a ZDP só pode ser criada em ambientes que exijam funções ainda em processo de amadurecimento e promovam a aprendizagem coletiva. Por isso, nas relações entre aprendizagem e desenvolvimento no contexto escolar, o papel do outro torna-se essencial. É justamente com a ajuda do outro que a ZDP potencializa a atribuição de novos significados pelos indivíduos, permitindo a ressignificação dos conhecimentos previamente adquiridos, ou seja, dos conceitos espontâneos do aluno.

No processo de transição entre níveis de desenvolvimento, o papel da ZDP como mediadora entre os conceitos espontâneos e os científicos é fundamental. Há uma estreita relação entre signos, conceitos e a ZDP. O signo associado a um conceito espontâneo é diferente daquele vinculado a um conceito científico. Portanto, é necessário ressignificar o signo, atribuindo-lhe um novo significado, para que ele possa se relacionar adequadamente com os conceitos científicos. A figura a seguir ilustra essa relação.

Figura 14 – Signo, ZDP e conceitos



Fonte: Gehlen e Delizoicov (2020).

Para Gehlen e Delizoicov (2020), ZDP é onde os conceitos espontâneos do aluno se encontram com os conceitos científicos, promove-se aí a aprendizagem e o desenvolvimento. Ela permite a ressignificação dos signos, que passam a representar conceitos científicos em um nível de desenvolvimento potencial. Dessa forma, cria conexões entre signos, significados e os níveis de desenvolvimento real e potencial, ligando os conceitos espontâneos aos científicos. Neste sentido Barbosa e De Lourdes Batista (2018) defendem que

Adotar o pensamento de Vygotsky para compreender os processos psíquicos envolvidos na aprendizagem dos conhecimentos científicos implica em considerar as diferentes funções do pensamento, como, a consciência, a imaginação e o pensar em conceitos. Esses elementos ajudam a caracterizar as diferentes fases da aprendizagem e do desenvolvimento dos estudantes com relação à capacidade de significar ou ressignificar conceitos e princípios físicos, caracterizando-se como um processo que envolve o domínio gradual dos signos e significados científicos associados a níveis cada vez maiores de consciência (Barbosa e De Lourdes Batista, 2018, p. 64).

Portanto, para que se alcancem resultados eficazes no processo de ensino-aprendizagem, é necessário que o professor conheça antecipadamente o nível de desenvolvimento do aluno, bem como os conceitos que ele já possui sobre o tema a ser ensinado, se são espontâneos ou científicos, além dos signos relacionados ao conceito. Nesse contexto, na concepção de uma ZDP em um processo educacional, é fundamental estabelecer tarefas que desafiem os alunos em seus limites, ou seja, tarefas que estejam mais próximas da zona de desenvolvimento potencial do que da real (Da Cunha e Dickman, 2018).

#### 4.5 O PAPEL DO PROFESSOR

Na teoria sociointeracionista de Vygotsky, o professor desempenha um papel fundamental como um agente ativo, que utiliza signos como mediação no processo de aprendizagem do aluno, é o parceiro mais capaz em sala de aula. Isso contrasta com a teoria construtivista, na qual o professor atua como mediador entre o meio e o aluno, interagindo com ele, mas, em algumas abordagens pedagógicas baseadas no construtivismo, assume um papel mais passivo, já que é o aluno quem deve construir seu próprio conhecimento.

Para Gaspar (2014), a premissa construtivista de que o aluno constrói seu conhecimento porque a mente humana possui, por herança genética, todas as estruturas necessárias para esse processo é equivocada. “Para começar lembramos que todos os conceitos apresentados nas disciplinas científicas já estão prontos, definidos verbal e matematicamente” (Gaspar, 2014, p. 79). Portanto, é impensável que um professor de Física acredite que um aluno seja capaz de construir, por conta própria e em poucas aulas, os conhecimentos sobre Relatividade, utilizando apenas os conceitos de velocidade e tempo da cinemática clássica, quando sabe que esse conhecimento levou anos para ser construído por grandes nomes da Física como Galileu, Newton e Einstein.

Segundo Gaspar (2004), a maior contribuição pedagógica do sociointeracionismo de Vygotsky foi o resgate do papel do professor, tornando-o um parceiro mais capaz no processo de aprendizagem, do qual os alunos jamais poderão abrir mão. Essa colocação do autor é importante porque, cada vez mais, surgem novas abordagens que tendem a relegar o professor a um papel secundário, inclusive em métodos avaliativos construtivistas onde o aluno se autoavalia, retirando assim até o papel de avaliador do professor.

No sociointeracionismo, a aprendizagem se desenvolve por meio da interação entre o aluno e o meio sociocultural a qual pertence, tendo o professor um papel de suma importância. Neste sentido para Solino e Sasseron (2018), o professor atua como uma autoridade social e epistêmica, representando, sistematizando e legitimando os conhecimentos científicos em sala

de aula, enquanto os alunos trazem seus conhecimentos cotidianos (conceitos espontâneos) durante a resolução de problemas. Quando um aluno se depara com uma atividade inovadora que exige o conhecimento de algo ainda não foi ensinado, ele deverá contar com o auxílio do professor para executá-la com êxito, elevando assim seu nível de desenvolvimento intelectual (Da Cunha e Dickman, 2018).

De Paula et al. (2020) discutem a metodologia Peer Instruction (Instrução por Pares) em relação à teoria sociointeracionista de Vygotsky, ressaltando que o papel do professor vai além de demonstrar ou palestrar, ele deve atuar de forma ativa, circulando pela sala, observando e mediando as discussões dos alunos, além de orientar quando necessário. O professor deve identificar as principais dificuldades dos estudantes e ajudá-los a superá-las, não apenas apontando erros, mas também fornecendo exemplos práticos que auxiliem na resolução dos problemas. Essas orientações funcionam como signos que mediam o que o aluno ainda não sabe e o que é capaz de aprender.

Com respeito ao ensino da Física, quando os professores abordam conceitos científicos relacionados a disciplina de forma direta, sem relacionar com situações presentes no meio em que o aluno está inserido, pode ser que ele apenas decore as palavras referentes àquele conceito sem saber seu verdadeiro significado físico. Neste sentido, segundo Vygotsky (2008), o ensino direto de conceitos é considerado impossível e infrutífero, pois a formação de conceitos envolve o desenvolvimento de diversas funções intelectuais, como abstração, atenção deliberada, memória lógica e a capacidade de comparar e diferenciar. Ainda segundo o autor, quando um professor tenta ensinar conceitos diretamente, o resultado é, na maioria das vezes, um verbalismo vazio, em que a criança apenas repete palavras de forma mecânica, semelhante a um papagaio, aparentando ter compreendido o conceito, mas na verdade ocultando uma falta de entendimento real. Neste sentido, Barbosa e De Lourdes Batista (2018) argumentam que a não aprendizagem dos conceitos físicos durante o ensino da Física não tem gerado a ZDP dos alunos devido a limitação ou insuficiência nas explicações, o que pode indicar um baixo nível de desenvolvimento cognitivo.

#### 4.6 IMITAÇÃO

O ser humano é um ser social, aprendemos o significado das coisas e a realizar as mais diversas através da interação com outras pessoas, seja no ambiente familiar, no trabalho ou na escola. Aprendemos desde criança a observar como os adultos executam as tarefas e como dão significado as coisas e aos fenômenos. A partir das nossas observações, tentamos realizar uma tarefa reproduzindo os passos daquela pessoa que vimos executar a mesma tarefa. Dessa forma, quando imitamos os processos e os passos que aquela pessoa que sabe realizar a tarefa faz, recebendo dicas e orientações, também aprendemos a realizar tal tarefa com maestria após algumas tentativas. Fica evidente, através dessas colocações, a importância da imitação no processo de aprendizagem, na teoria de Vygotsky (2009) ao afirmar que:

A imitação, se concebida no sentido amplo, é a forma principal em que se realiza a influência da aprendizagem sobre o desenvolvimento. A aprendizagem da fala, a aprendizagem na escola se organiza amplamente com base na imitação. Porque na escola a criança não aprende o que sabe fazer sozinha, mas o que ainda não sabe e lhe vem a ser acessível em colaboração com o professor e sob sua orientação (Vygotsky, 2009, pg. 331).

Segundo Vygotsky (2009) a aprendizagem é possível onde é possível a imitação, ela deve orientar-se nos ciclos já percorridos de desenvolvimento, no limiar inferior da aprendizagem, ela não se apoia tanto na maturação quanto nas funções amadurecidas. A aprendizagem sempre começa daquilo que ainda não está maduro na criança, sendo assim, o professor deve orientar o processo de ensino de determinado conteúdo no limite entre a ZDP e a zona de desenvolvimento potencial, dessa forma o aluno imitará aquilo que ainda não sabe, baseado nos signos que farão o elo com aquilo que ele sabe.

No processo de aprendizagem do aluno, ele precisa de uma referência, alguém que saiba fazer para ele observar como faz, e esse alguém é o professor. Se o aluno não possui base para resolver um problema sozinho, se nunca viu ninguém resolver, será difícil ele chegar na solução. De acordo com Pereira e Junior (2014) mesmo quando o professor resolve um problema de Física no quadro enquanto os alunos apenas copiam em silêncio, ocorre uma interação social. Nesse caso, o objetivo não é apenas chegar à resposta correta, mas sim resolver o problema em um nível coletivo, permitindo que os alunos internalizem, posteriormente, os padrões de solução. A forma como o professor orienta a ação dos alunos para que eles aprendam será o modelo que eles utilizarão para orientar suas próprias ações no futuro, ou seja, eles imitarão o modo de operar do professor.

#### 4.7 PROFESSOR e ZDP

Na teoria de Vygotsky, o professor desempenha um papel fundamental na ZDP, pois, ao compreender a realidade social e os interesses dos alunos, é capaz de introduzir signos adequados que funcionam como mediadores entre os conhecimentos espontâneos e científicos, facilitando assim a transição entre as zonas de desenvolvimento real e potencial. Alinhado a essa visão, Ferreira et al. (2021) destaca que, por meio da ZDP, o professor pode analisar o desenvolvimento do estudante e, através da mediação, auxiliá-lo a superar dificuldades, ao mesmo tempo em que obtém *feedback* sobre seu próprio trabalho, identificando possíveis problemas pontuais nos alunos ou até falhas gerais em sua abordagem didática.

Outro fator ao qual o professor deve se atentar é que, em uma sala de aula, cada aluno possui uma realidade social diferente e, como consequência, no processo de ensino de determinado conteúdo, a ZDP também será diferente para cada um. Isso implicaria um planejamento específico para cada aluno da sala, algo inviável em uma turma de 30 alunos, por exemplo. A solução seria, então, utilizar um questionário ou outro instrumento de coleta de dados para descobrir características comuns na realidade sociocultural da turma, se frequentam os mesmos locais, se compartilham interesses pelos mesmos conteúdos na internet ou se gostam de temas relacionados à tecnologia e ciência. Munido dessas informações, o professor pode elaborar uma sequência didática que introduza uma ZDP adequada às características comuns da turma. Dessa maneira, torna-se possível promover a aprendizagem com uma adequada assistência aos alunos, e, nesse sentido, para Netto, Cavalcanti e Ostermann (2019), essa assistência pode ocorrer de formas distintas para diferentes aprendizes, permitindo que, mesmo em condições diversas, todos tenham sucesso na resolução dos problemas.

## 5. O ENSINO POR INVESTIGAÇÃO

### 5.1 ASPECTOS GERAIS

A perspectiva do ensino com base na investigação possibilita o aprimoramento do raciocínio e das habilidades cognitivas dos alunos, cooperação entre eles, além de possibilitar que compreendam a natureza do trabalho científico (Zompêro e Laburú, 2011). Ainda de acordo com esses autores, atualmente a investigação é utilizada no ensino, com a finalidade de promover o desenvolvimento de habilidades cognitivas nos alunos, a realização de procedimentos como elaboração de hipóteses, anotação e análise de dados e o desenvolvimento da capacidade de argumentação.

De acordo com Watson (2004), as atividades investigativas devem proporcionar o conhecimento dos processos da Ciência e enfatiza que os alunos devem perceber evidências e que conceitos precisam ser desenvolvido com os educandos, pois os procedimentos científicos são baseados nelas. O mesmo autor afirma que, nas atividades investigativas, os alunos podem, a partir de situação problema, desenvolver o planejamento e sua resolução, reunir evidências e elaborar justificativas. E durante as atividades, é possível aos alunos desenvolverem a argumentação sobre a situação problema.

Podemos perceber até aqui, qual a intenção do Ensino por Investigação, no entanto, como caracterizar de maneira mais clara possível, uma atividade nesse sentido? Segundo Azevedo (2004), para que possa ser considerada uma atividade de investigação, a ação do aluno não deve se limitar apenas ao trabalho de manipulação ou observação, ela deve também conter característica de um trabalho científico, para que isso ocorra, o aluno deve refletir, discutir, explicar e relatar.

Ainda de acordo com a autora supracitada, é importante que uma atividade de investigação faça sentido para o aluno, e que ele saiba o porquê de estar investigando o fenômeno que lhe é apresentado. É fundamental nesse tipo de atividade que o professor apresente um problema sobre o tema em estudo, pois, a colocação de uma questão ou problema aberto como ponto de partida é um aspecto fundamental para a criação de um novo conhecimento (Azevedo, 2004). Já Stuart et. al. (2010), corroboram com Azevedo (2004), pois para eles:

As atividades experimentais investigativas podem ser feitas por demonstrações pelo professor ou então realizadas pelos alunos. Quando aquele realiza demonstrações, não necessariamente significa que estes não poderão participar da construção de um conceito, pelo contrário, se o docente, ao conduzir o experimento de forma demonstrativa, questionar os estudantes e propuser desafios, essa atividade possivelmente terá as características de

uma atividade de investigação, na qual estes argumentam e expõem seus raciocínios. Entretanto, se o professor apenas demonstrar um experimento para comprovar uma teoria e não o problematizar, essa atividade perderá grande parte das potencialidades que a experimentação investigativa pode desenvolver (Stuart et. al. 2010, p. 201).

O Ensino por Investigação, é uma abordagem didática aplicada com frequência em disciplinas de Ciências da Natureza, na qual a Física está inserida. A utilização desta teoria para ensino de Física, ainda não é tão usada como para o ensino de Química por exemplo. Na Física, podemos verificar que predominam os trabalhos baseados na teoria da aprendizagem significativa, tendo como principal referência os textos de Moreira (1982, 1999, 2006, 2011).

Segundo Carvalho (2010), tradicionalmente o ensino de Física é voltado para o acúmulo de informações e desenvolvimento de habilidades estritamente operacionais, que muitas vezes, o formalismo matemático e outros modos simbólicos (como gráficos, diagramas e tabelas) carecem de contextualização. Aqui, podemos constatar uma crítica explícita ao método de ensino tradicional, ou seja, aquele que visa a transmissão de conhecimentos do professor para o aluno. “Na sala de aula, essa prática de ensino, que se fundamenta em um ensino por transmissão, dificulta a compreensão por parte dos alunos sobre o papel que diferentes linguagens representam na construção dos conceitos científicos” (Capecchi e Carvalho, 2006 citado por Carvalho 2010, p. 57).

## 5.2 COMO ELABORAR AS ATIVIDADES INVESTIGATIVAS

Carvalho (2013), propõe uma Sequência de Ensino Investigativa através dos seguintes momentos:

- a. *A proposta do problema pelo professor.* — O problema precisa ser compreendido pelos alunos. O professor não deve ter medo de repetir ou redefinir o problema com outras palavras. Se for uma atividade em pequenos grupos no laboratório, o professor deve interagir com os grupos, certificando-se que todos entenderam. Precisa-se ter o cuidado de não dar as respostas nem identificações de como resolver o problema;
- b. *A resolução do problema pelos alunos.* — Ao trabalharem em grupos em um laboratório investigativo, os alunos devem procurar caminhos para investigar suas questões de pesquisa, o principal papel do professor é observar o trabalho dos grupos, procurando não interferir. É nessa etapa, na interação aluno-aluno, que as hipóteses serão propostas. Existirá uma negociação de significado muito importante para a construção do conhecimento nesse momento;

- c. *A etapa de os alunos apresentarem o que fazem* — Esse momento é muito importante na construção do conhecimento científico, pois, ao demonstrarem o que fizeram para seus colegas e para o professor e como resolveram o problema, os alunos podem desenvolver um raciocínio metacognitivo que os levam a tomarem consciência de suas ações e o porquê destas;
- d. *Etapa da procura de uma explicação causal ou de sistematização* — Neste momento os alunos precisam entender que a Ciência, e a Física em particular, não são apenas descritivas, mas principalmente propositiva. Elas propõem conceitos novos para o seu entendimento e esses conceitos são construídos justamente para dar sentido à realidade;
- e. *A escrita do relatório individual* — A escrita é uma atividade complementar à argumentação que ocorre nas etapas anteriores, principalmente em grupos pequenos e, depois, na relação professor/turma, onde ambas são fundamentais em um ensino de Ciências que procura criar nos alunos as principais habilidades do mundo das Ciências. De acordo com Carvalho (2010), discussões entre alunos e professor são importantes para gerar, classificar, compartilhar e distribuir ideias entre o grupo, enquanto o uso da escrita destaca a construção pessoal do conhecimento.

Ressaltamos que esses momentos propostos, são passíveis de mudanças, adaptações e incrementações, de maneira a potencializar o ensino através da perspectiva investigativa, ou seja, os passos não são algo pré-definidos como os roteiros de laboratórios tipo receita de cozinha, mas são flexíveis. Tais momentos servem para que o professor possa ter algo prévio, e com tempo, aprimorando sua sequência de atividade investigativa, até atingir uma aprendizagem satisfatória.

Outros autores também propõem alguns passos para realização de atividades investigativas, como Perez e Castro (1996). Esses autores abordam alguns aspectos das atividades científicas que podem ser exploradas em atividades investigativas, dentre elas, destacamos as seguintes: apresentar situações problemáticas abertas; considerar a elaboração de hipóteses como atividade crucial da investigação científica, sendo esse processo capaz de orientar o tratamento das situações e de fazer explícitas as concepções prévias dos estudantes; considerar as análises, com atenção nos resultados, de acordo com os conhecimentos disponíveis, das hipóteses manejadas e dos resultados das demais equipes de estudantes; ressaltar a dimensão coletiva do trabalho científico, por meio de grupos de trabalho, que interajam entre si (Perez e Castro, 1996).

No Ensino por Investigação, percebe-se que existem algumas características da fenomenologia, onde buscam se as concepções próprias dos alunos sobre os fenômenos estudados nas Ciências Naturais, sugerindo colocar entre parênteses, todo o conhecimento construído até aqui por tais Ciências (Triviños, 2015).

No entanto, fica clara a ideia de que o aluno deve possuir, mesmo que ínfimo, algum conhecimento prévio a respeito de um conteúdo estudado. De acordo com Borges (2002), pesquisas sobre ensino-aprendizagem de Ciências produziram evidências de que os estudantes trazem para a escola um conjunto de concepções sobre vários aspectos do mundo, mesmo antes de qualquer introdução à ciência escolar. Tais concepções, são adquiridas a partir de suas experiências culturais e do cotidiano, e frequentemente, interferem com a aprendizagem das ideias científicas (Borges, 2002).

Ressaltamos que através de atividades investigadas, permite-se não somente a aprendizagem de práticas científicas, mas também, dos conceitos físicos envolvidos. Zompero e Laburú (2011), admitem que as atividades de investigação permitem promover a aprendizagem dos conteúdos conceituais, e também dos conteúdos procedimentais que envolvem a construção do conhecimento científico. Já para Stuart et. al. (2010), as atividades experimentais investigativas têm o potencial de aumentar as relações sociais, atitudinais e o crescimento cognitivo, e o ambiente informal do laboratório, contribui para interações mais construtivas entre os alunos e professores, criando melhor ambiente de aprendizagem.

Apesar do Ensino por Investigação ser apontado como uma das vertentes do construtivismo, ele carece de uma significativa interferência do professor, durante as atividades investigativas, este deve ter o papel de não só observar, mas de reger as atividades, seja em sala de aula ou laboratório. É nesse ponto que esta estratégia de ensino se relaciona com a teoria de Vygotsky, onde o professor é o orientador/mediador no processo de aprendizagem do aluno, é aquele elemento mais capaz na resolução dos problemas de tal sorte que os alunos podem imitá-lo.

Devido a isso, o professor não pode permitir aquela total liberdade ao aluno como vemos nas abordagens construtivistas mais radicais. O processo investigativo que admitimos aqui neste trabalho, é um processo guiado pelo professor. Assim, tanto o assunto quanto o problema foram propostos pelo professor.

Há também outras variáveis que inviabilizam a aplicação à risca dessa teoria. A despeito disso, Zompêro e Laburú (2011) consideram que a apresentação do problema pelo professor é mais oportuna nas escolas, devido às condições do trabalho desenvolvido e ao número de alunos

nas salas de aula. Sendo assim, a apresentação do problema pelos alunos individualmente dificultaria o desenvolvimento de tais atividades.

Carvalho et. al. (2010) classifica a atuação do professor e dos alunos em diferentes níveis em uma atividade investigativa. Classificou em cinco graus de liberdade intelectual que o professor oferece aos alunos em uma atividade investigativa<sup>4</sup>. O Quadro 1 nos mostra esses graus de liberdade.

Quadro 1 – Graus de Liberdade

	Grau I	Grau II	Grau III	Grau IV	Grau V
Problema	P	P	P	P	A
Hipóteses	P	P	P	A	A
Plano de trabalho	P	P	A	A	A
Obtenção de dados	A	A	A	A	A
Conclusões	P	A	A	A	A

Fonte: Carvalho et. al. (2010).

O grau I de liberdade, é quando o aluno só tem a liberdade intelectual de obter dados, caracteriza bem a aula do tipo receita de cozinha, ou seja, o aluno apenas segue um roteiro pré-estruturado, pois o problema, as hipóteses, o plano de trabalho e as próprias conclusões sobre os dados a serem obtidos já estão propostos.

O grau II de liberdade é caracterizado por dar aos alunos a liberdade para tirarem conclusões a partir de seus próprios dados e observações feitas. Neste grau, não deve haver a proposição de problemas em que as respostas são fechadas. No grau III de liberdade, não é mais o professor ou o manual que irá propor aos alunos o que deverá ser feito. Os próprios alunos são convidados a elaborar o plano de trabalho para obtenção dos seus dados que os levarão às conclusões do grupo.

O grau IV de liberdade, caracteriza-se pelas atividades em que os alunos só recebem do professor o problema e ficam responsáveis por todo o trabalho intelectual e operacional. Já o grau V, é quando até o problema deve ser elaborado pelos alunos. Os alunos que se encaixam no grau IV e V são caracterizados como jovens cientistas. Algo muito difícil de acontecer segundo Carvalho et. al. (2010).

<sup>4</sup> P = proposto pelo Professor; A = proposto pelo Aluno.

## 6. METODOLOGIA DA PESQUISA

A proposta que encaminhamos aqui neste projeto teve forte cunho social, porque pretende descrever a realidade de uma única escola pública desvendando alguns de seus problemas acerca do ensino e da aprendizagem em Física.

A pesquisa é do tipo qualitativa baseada no que propõe Sampieri et. al (2013), mas combina instrumentos inerentes a pesquisa quantitativa, como as medidas estatísticas, e os instrumentos de geração de dados qualitativos como os questionários, mas, sobretudo, porque o objeto de investigação que é o processo de ensino e aprendizagem de acordo com os atributos descritos — vide as seções da Introdução — autorizam este tipo de pesquisa.

### 6.1 O LOCAL E OS SUJEITOS DA PESQUISA

O estabelecimento de ensino que este trabalho foi aplicado é uma escola da rede estadual do Amazonas, localizada na zona oeste de Manaus, no bairro Nova Esperança. Trata-se de uma escola cujo público é, majoritariamente, de alunos provenientes de famílias de baixa renda e carentes em diversos sentidos. A escola funciona nos três turnos, sendo o Ensino Médio exclusivo do Vespertino contando com 4 turmas de 1º ano, 3 turmas de 2º ano e 3 turmas de 3º ano.

A pesquisa foi realizada na turma 01 do 3º ano, que conta com aproximadamente 28 aluno. De modo geral são mais assíduos nas aulas que as demais turmas. Quanto ao nível de conhecimento em Física e Matemática, podemos dizer que estão aquém do ideal para aplicação de um trabalho com tratamento matemático aprofundado. Existem na turma poucos alunos que demonstram interesse efetivo pelos estudos seja de Física ou outras disciplinas. No entanto, são muito engajados em trabalhos de grupo, e em sua maioria, dependentes do celular e de tudo que ele oferece no âmbito da internet.

Algo notável nesse público é a falta de interesse em fazer curso superior, pois a maior parte deles não está escrito nos processos seletivos seriados da UEA (Universidade do Estado do Amazonas) e UFAM (Universidade Federal do Amazonas). Eles também não demonstram interesse em estudar para vestibulares como ENEM (Exame Nacional do Ensino Médio) e macro da UEA, o que implica o não direcionamento desta pesquisa as questões de vestibulares.

### 6.2 OS INSTRUMENTOS DE COLETA, GERAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

Na medida que importa avaliar os resultados da SEI aplicada nessa pesquisa, utilizamos como instrumento de avaliação uma prova cujo objetivo foi determinar se houve ou não a aquisição de conhecimento conceitual sobre os tópicos de Relatividade Restrita que serão

abordados, além de aspectos como a participação e empenho dos alunos na realização da atividade investigativa que foi proposta.

Além disso, com o objetivo de identificar os canais do YouTube mais assistidos pelos alunos participantes da pesquisa, aplicamos o Questionário 1, não estruturado, seguindo os pressupostos de Sampieri, Collado e Lucio (2013). As respostas obtidas permitiram direcionar a investigação, proporcionando um caminho mais definido para o estudo. O objetivo específico do questionário 1 foi tomar ciência dos principais elementos que fazem dos vídeos, séries e filmes de ficção/divulgação científica tão atrativos aos alunos de modo a questionarem até mesmo a autoridade intelectual do professor em defesa dos *Youtubers*. De fato, o critério de inclusão de canais do YouTube, séries e filmes serão aqueles indicados pelos alunos neste referido questionário.

Outro instrumento de coleta de dados foi o segundo questionário 2, que serviu para averiguarmos a opinião dos alunos sobre os elementos presentes na aplicação da pesquisa, pois consideramos que compreender a percepção dos estudantes é um elemento essencial para validar as ações realizadas em sala de aula, avaliar se fizeram sentido para eles e verificar se houve progresso no aprendizado e mudanças de pensamento em relação aos temas abordados. O questionário 2 foi composto por 10 questões, divididas em quatro blocos que abrangiam os temas de interesse.

Os dados provenientes da prova que fora aplicada após as aulas e atividade investigativa, foram analisados conforme as métricas da estatística básica. Utilizamos médias aritméticas para comparar as notas alcançadas na prova com aquelas de antes de nossa intervenção. Outro instrumento importante usado foi o programa Excel, que nos auxiliou na construção e análise dos gráficos.

Para os questionários aplicados, as análises dos dados foram diferentes da utilizada na prova. Para estes instrumentos, fizemos uma análise interpretativa das falas/escritas dos alunos. A ideia consistiu em colocá-los em categorias conceituais de análise (Sampieri, Collado, Lucio, 2013). Tais categorias serão determinadas pelo método dedutivo conforme ensina Smith (2019).

### 6.3 AS FASES DA PESQUISA

Abaixo descrevemos as fases em que planejamos o desenvolvimento desta investigação.

*Fase 1.* — Nesta fase teremos como tarefa aplicar e corrigir o questionário 1. Aqui não foi abordado nem minimamente o tema Relatividade Restrita. Como metas, fizemos o cálculo das médias, percentuais e avaliamos as respostas dos alunos. A partir dos dados obtidos, definimos as características que tornam um vídeo sobre temas científicos atrativo para os alunos.

*Fase 2.* — Após identificar as características dos vídeos na primeira fase, a segunda etapa consistiu no levantamento e na classificação desses materiais. Para isso, investigamos as características mencionadas no Questionário 1 utilizando os meios digitais mais comuns entre os alunos para assistir a vídeos, como canais do YouTube, filmes e séries de ficção científica, além de produções voltadas para a divulgação científica. Após a coleta, classificamos o material em um ranking baseado em categorias conceituais, considerando a precisão e a qualidade conceitual. As categorias definidas foram: **Apropriado**, **Pouco Apropriado** e **Inapropriado**.

*Fase 3.* — Diante das metas das fases anteriores, a fase três foi dedicada à elaboração da intervenção pedagógica. Aqui foi o momento onde elaboráramos a SEI, onde tivemos o apoio para a ministração das aulas, de vídeos, imagens selecionadas acerca do tema, simulações e *Gifs*. Logo, na fase três procurarmos por estes materiais e a meta foi decidir quais iremos usar na elaboração da SEI.

*Fase 4.* — Em consequência da elaboração da SEI, as metas da fase quatro foram aplicá-la que consistiu em fazer a atividade investigativa com os grupos de alunos, aplicar a prova, analisar e corrigir as respostas de ambas. O número de aulas da SEI será dito logo mais à frente.

*Fase 5.* — Por fim, chegamos à última fase da investigação. Aqui a meta foi fazer as análises pertinentes aos objetivos específicos e geral desta investigação, quais sejam: determinar se houve ganho de aprendizagem através das análises dos resultados da atividade investigativa, da prova e do questionário de verificação da percepção dos alunos sobre a prática (questionário 2).

### 6.4 A SEQUENCIA DIDÁTICA INVESTIGATIVA

Para definir os papéis do professor e dos alunos na atividade investigativa realizada, baseamo-nos na proposta apresentada no quadro 1 de Carvalho et al. (2010). Considerando as particularidades da turma, os recursos materiais disponíveis e as condições do ambiente escolar em que a pesquisa foi aplicada, adaptamos o quadro 1 à nossa realidade. O quadro 2 apresenta

a definição dos papéis dos alunos (A) e do professor (P) em cada etapa do processo investigativo.

Quadro 2 – Graus de Liberdade de nossa SEI

	Grau I	Grau II	<b>Grau II-III</b>	Grau III	Grau IV	Grau V
Problema	P	P	P	P	P	A
Hipóteses	P	P	A	P	A	A
Ficha da atividade investigativa	P	P	P	A	A	A
Observações e discussões	A	A	A/P	A	A	A
Justificativas e conclusões	P	A	A	A	A	A

Fonte: autor com base em Carvalho et. al. (2010).

Podemos observar no quadro 2, a presença de um grau intermediário (Grau II-III) entre o grau II e o grau III. Este grau foi criado especificamente para a nossa sequência didática, com objetivo de desenvolver a atividade investigativa proposta. Procedemos da seguinte forma:

- O problema foi proposto pelo professor aos alunos
- As hipóteses para a resolução do problema serão elaboradas pelos alunos;
- A ficha da atividade investigativa contendo as instruções, problemas e links dos vídeos foi fornecida pelo professor;
- Observações e discussões sobre o problema ficaram em primeiro momento a cargo dos alunos e em segundo momento houve a intervenção do professor.
- A elaboração de justificativas das hipóteses e conclusões ficaram a cargo dos alunos.

A atividade investigativa realizada, se encontra dentro da sequência didática aplicada nesse trabalho. Dividimos as atividades que foram propostas a turma em cinco passos, conforme o quadro 3. Ressaltamos que as atividades da SEI, foram apresentadas previamente aos estudantes, para que pudessem conhecer como seriam suas aulas a partir daquele momento.

<b>Passos</b>	<b>Atividades</b>	<b>Aulas<sup>5</sup></b>
1°	Questionário 1	1
	Definição dos grupos	
2°	Aulas de conteúdo	4
3°	Instruções aos grupos	2
	Início atividade investigativa (1° momento)	
	Intervenção do professor	

<sup>5</sup>O tempo de cada aula será de 48 minutos, totalizando uma carga horária de 6 horas e 24 minutos.

4°	Reformulação de hipóteses e justificativas (2° momento)	1
	Fim atividade investigativa	
5°	Aplicação da prova	1

Os passos expostos no quadro 3, evidenciam a metodologia empregada do início ao fim das atividades propostas aos alunos de uma turma de 3° ano do Ensino Médio. A partir daqui iremos descrever os cinco passos, e isso trará uma maior visão de como foi desenvolvido o presente trabalho. Consta no quadro também, a quantidade de aulas em cada momento (coluna Aulas). Ressaltamos que foi elaborado um plano de aula detalhando com mais rigor cada passo (Apêndice F).

O primeiro passo foi a elaboração e aplicação do Questionário 1, que nos permitiu identificar os elementos que mais atraem a atenção dos alunos em vídeos de divulgação científica, especialmente aqueles que abordam temas de Física, como a Relatividade. Nesse momento, também realizamos a divisão dos alunos em grupos e os inserimos em um ambiente digital, destinado ao compartilhamento de informações e materiais que seriam utilizados nas aulas.

O segundo passo foi a ministração das aulas em slides onde utilizando elementos gráficos, simulações, vídeos e animações. Aqui foram apresentados alguns problemas e situações da Relatividade que evoluíam especificamente dilatação do tempo e contração do comprimento.

Já no terceiro passo, foi onde os alunos começaram a realizar as atividades propostas. Inicialmente entregamos a ficha do 1° momento (Apêndice A) da atividade e prestou-se instruções aos grupos. O professor forneceu a cada grupo dois vídeos curtos, previamente classificados, para que analisassem os conteúdos de Física presentes neles. O objetivo era identificar possíveis inconsistências, superficialidades, elementos desnecessários ou equívocos conceituais. Para isso, os alunos utilizaram a ficha, que continha os links dos vídeos em *QR code* e os problemas elaborados pelo professor para cada vídeo. Nessa ficha, deveriam registrar suas observações, levantar hipóteses para a resolução dos problemas e justificá-las de forma adequada.

No quarto passo, ocorreu a intervenção do professor, que dialogou individualmente com os grupos sobre os problemas identificados nas observações, as hipóteses levantadas e as justificativas apresentadas. Durante essa etapa, o professor avaliou se o grupo estava seguindo o caminho correto ou se havia necessidade de ajustes, oferecendo orientações pontuais. Cuidou, no entanto, para não revelar a solução dos problemas dos vídeos, incentivando os alunos a reformularem suas hipóteses e justificativas quando necessário, além de sugerir melhorias para aquelas que já estavam alinhadas com a explicação correta. Neste passo também foi entregue a

ficha do 2º momento (Apêndice B) da atividade investigativa, onde deveriam preenche-la elencando apenas uma hipótese e sua justificativa para cada vídeo e fazer as correções propostas.

No quinto e último passo, foi aplicada uma prova (Apêndice C), que teve como objetivo avaliar a aprendizagem dos conceitos relacionados aos seguintes tópicos de Relatividade Restrita: contexto histórico de seu surgimento; conceito de referencial; contribuições de Albert Einstein para a Física e o significado dos seus postulados; simultaneidade relativa; dilatação do tempo; contração do comprimento e sua aparência visual. Nesse passo tivemos também o objetivo de verificar se a atividade investigativa contribuiu para a construção desses conhecimentos. A avaliação consistiu em dez questões de múltipla escolha, contemplando tanto cálculos quanto aspectos teóricos.

## 7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 7.1 QUESTIONÁRIO 1: IDENTIFICAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS QUE TORNAM UM VÍDEO SOBRE TEMAS CIENTÍFICOS ATRATIVO PARA OS ALUNOS

A sala de aula é um ambiente onde temos que lidar com tipos de alunos que possuem características diversas quanto a aprendizagem. Alguns aprendem melhor lendo um livro, outros assistindo as aulas do professor, e existem aqueles que alcançam melhor rendimento em seu aprendizado, ao assistirem vídeos sobre o tema que precisam estudar. As redes sociais e os vídeos nelas veiculados, são pertencentes ao cotidiano do jovem contemporâneo. Baseado em Vygotsky (2007), consideramos que esses elementos exercem influência na aprendizagem dos alunos por fazerem parte de seu contexto sociocultural, sendo os vídeos, um dos meios pelo qual eles mais interagem diariamente com o meio digital. O que percebemos com as observações na turma, foi que, quase em sua totalidade os alunos utilizam vídeos tanto para se entreterem como para estudarem. Logo, nos surgiu a seguinte questão: quais as características que tornam o estudo por vídeos tão atrativo para os alunos?

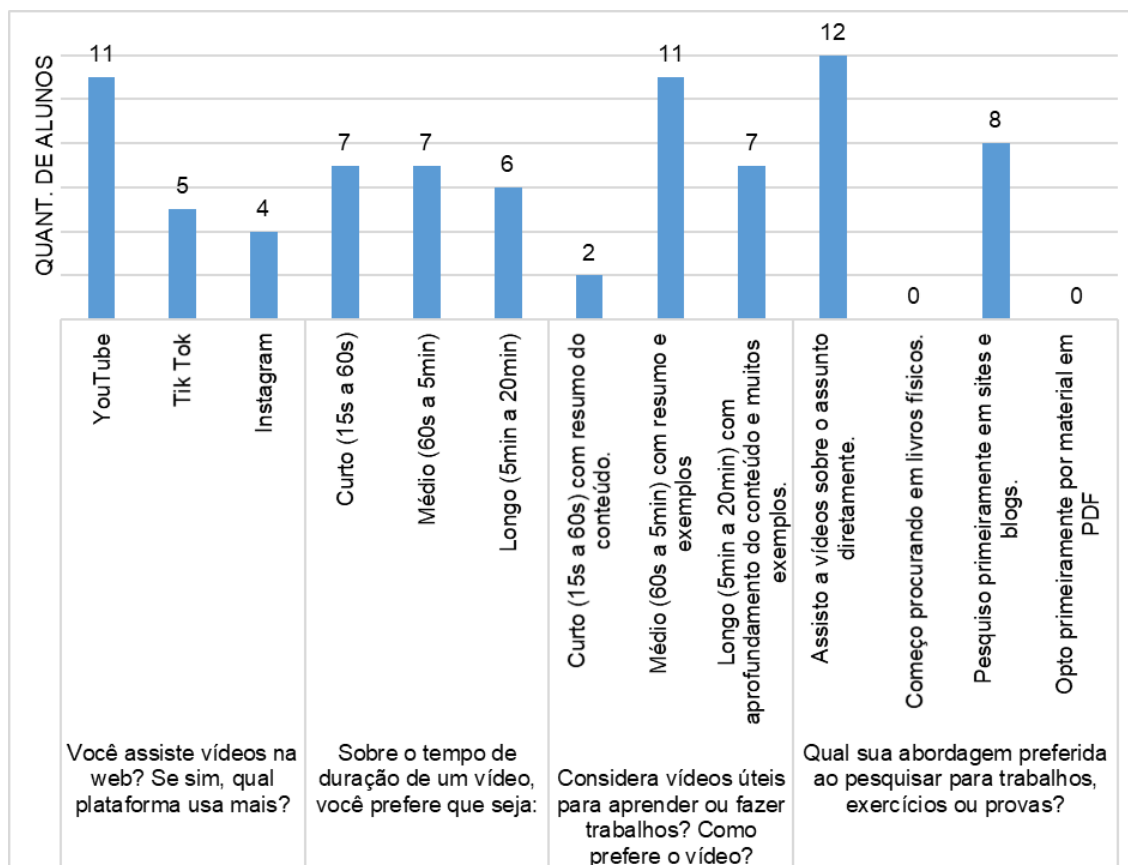
Para responder à questão, foi elaborado um questionário (Apêndice D) com dez perguntas fechadas divididas em três blocos. No bloco 1, foram quatro perguntas sobre: Plataformas mais usada para assistir vídeos, tempo de duração, tipo de material preferido para estudo. No bloco 2 as duas questões foram relacionadas a: canal, inscritos, curtidas, forma de apresentação. Já no bloco 3, tivemos quatro questões que versaram sobre: conceitos científicos presentes no vídeo, domínio, clareza e confiança nas informações. Ao todo, vinte alunos da turma responderam ao questionário. As respostas por bloco estão representadas nos gráficos 1, 2 e 3. Por uma questão de conveniência e estética textual, os enunciados das perguntas são apresentados de forma resumida.

Um dos objetivos do questionário era definir a preferência pelo tempo de duração dos vídeos que os alunos assistem, dessa forma consideramos três categorias de vídeos:

- Curto – de 15s a 60s;
- Médio – de 60s a 5min;
- Longo – de 5min a 20 min.

Com relação as plataformas de vídeos, a questão foi que optassem entre *YouTube*, *Tik Tok* e *Instagram*. Essas três são as mais populares dentre os jovens. Destacamos que ao elaborar o questionário, não focamos exclusivamente em videoaulas de canais educacionais, mas principalmente nos de divulgação científica e seus cortes, pois são estes que tendem a aparecer no *feed* da rede social e da plataforma de vídeos usada pelos alunos.

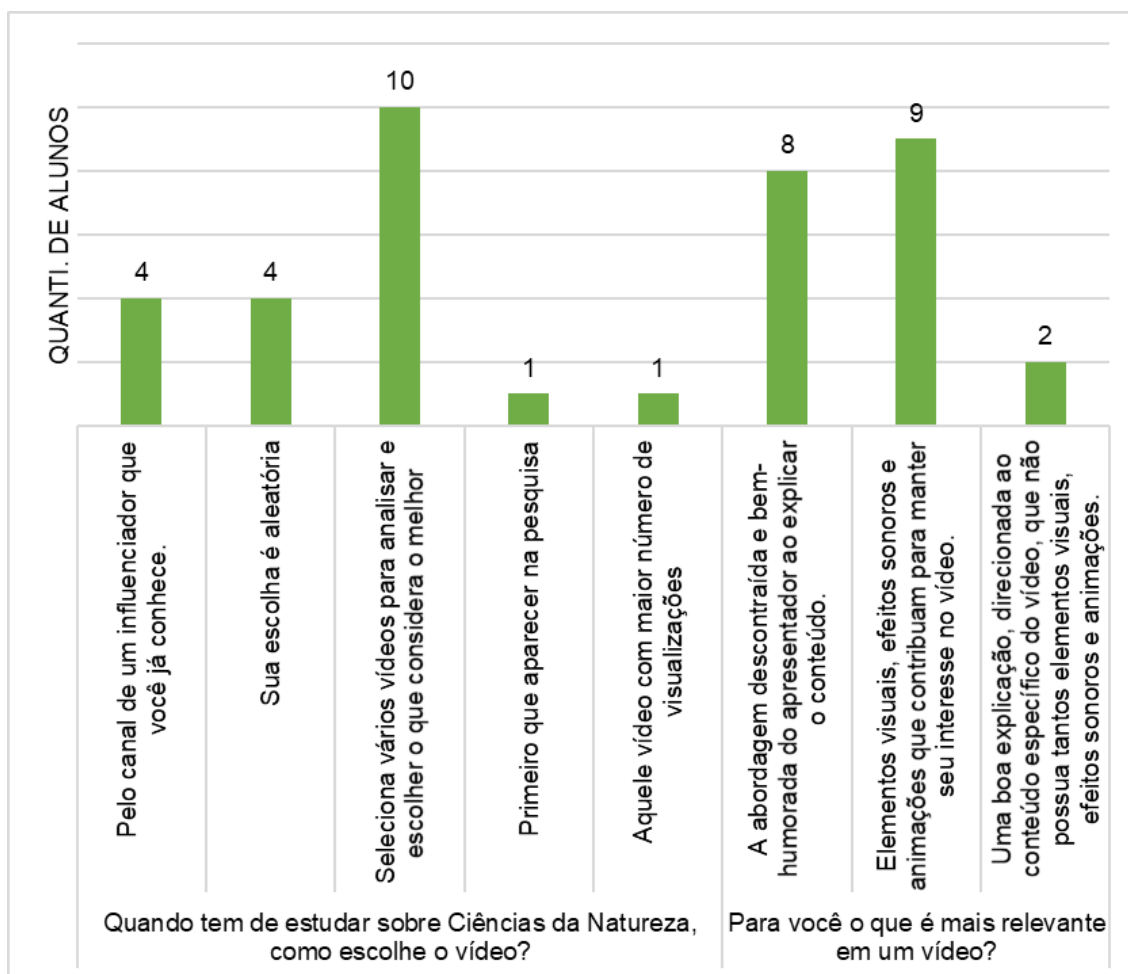
Gráfico 1 – Plataformas mais usadas para assistir vídeos, tempo de duração, tipo de material preferido para estudo



Fonte: autores (2024).

Conforme observado no gráfico 1, três plataformas de vídeos foram disponibilizadas para escolha. Dos alunos, 11 responderam que utilizam o *YouTube* com maior frequência, representando 55% do total, o que já era esperado, dado que essa é a plataforma de vídeo mais popular. Quanto à duração dos vídeos, 7 alunos preferem vídeos curtos, 7 preferem vídeos de média duração e 6 optam por vídeos longos. Assim, percebe-se que a preferência recai sobre vídeos curtos e médios, que juntos somam 70% das respostas. Em relação à escolha do tempo de duração para esclarecer conceitos ou realizar trabalhos escolares, 11 alunos (55%) preferem vídeos de média duração, 7 (35%) optam por vídeos longos e apenas 2 (10%) escolhem vídeos curtos. O gráfico também revela que, ao pesquisarem temas de estudo, 12 alunos (60%) buscam diretamente por vídeos, 8 (40%) utilizam sites, e nenhum recorre a livros físicos ou material em PDF. Esse dado reflete uma certa aversão dos estudantes a materiais escritos, além da falta de hábito de leitura e pesquisa em fontes mais tradicionais.

Gráfico 2 – Bloco 2: canal, inscritos, curtidas, forma de apresentação

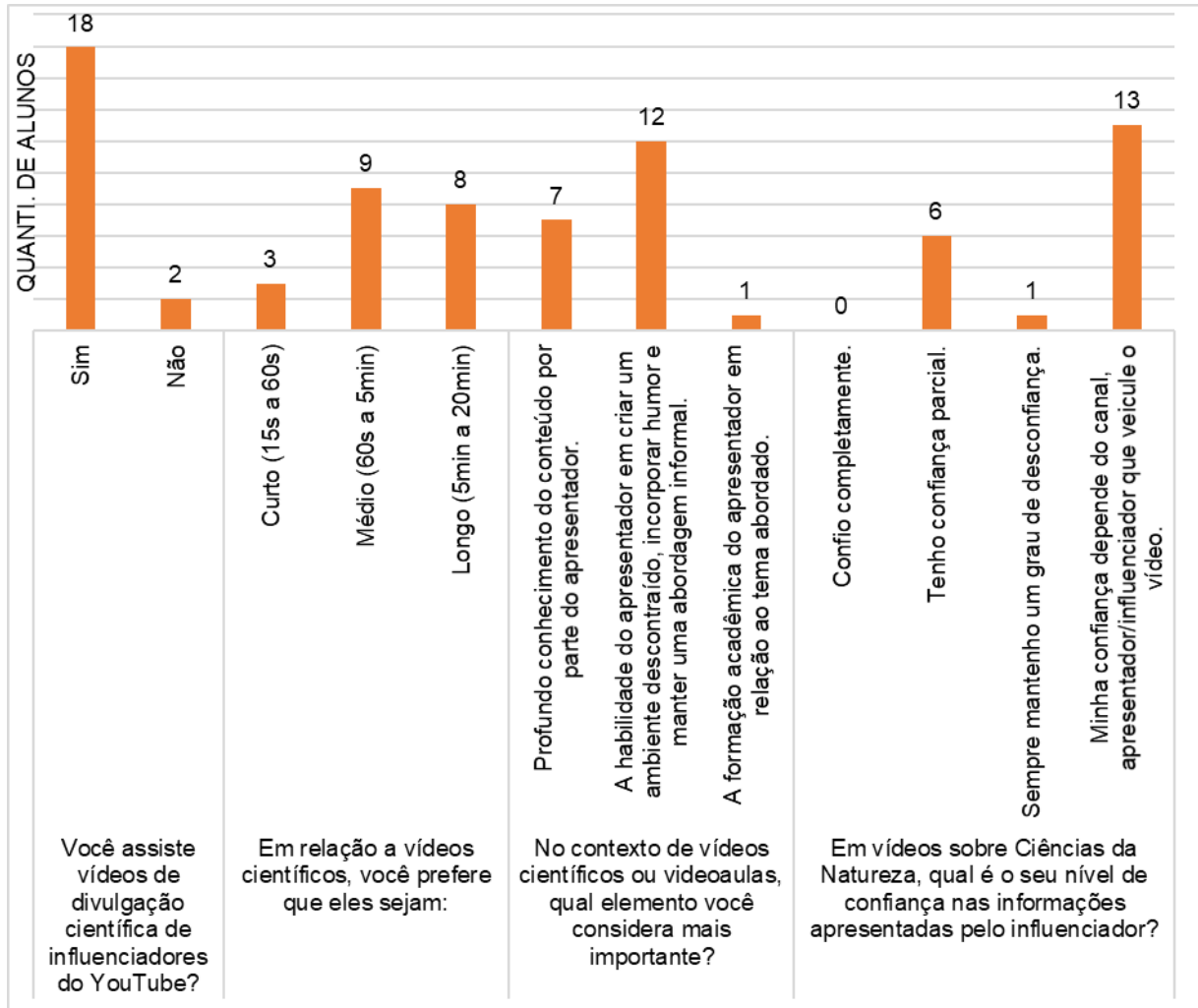


Fonte: autores (2024).

Nas duas questões do bloco 2, o objetivo foi identificar como os alunos escolhem um vídeo relacionado a tópicos científicos e quais elementos presentes no vídeo são mais relevantes para eles. Quando pesquisam uma videoaula, 10 alunos (50%) responderam que selecionam vários vídeos para analisar o melhor, 4 (20%) optam por escolher vídeos de influenciadores conhecidos, e outros 4 (20%) fazem a escolha de forma aleatória. Um dado que chama atenção é que, combinados, quase metade dos alunos realiza a escolha aleatória ou com base no influenciador.

Na outra questão, 9 alunos (45%) consideram os aspectos visuais, sonoros e animações como mais relevantes, enquanto 8 (40%) priorizam a abordagem do apresentador. Apenas 2 alunos (10%) preferem explicações mais sólidas e focadas no conteúdo específico dos vídeos. As respostas mostram que, para os alunos, o fato de o canal ser conhecido, o vídeo conter vários efeitos visuais e o apresentador adotar um tom cômico, mesmo que nem sempre fiel aos aspectos teóricos do tema, pesa mais na escolha do que um vídeo mais específico, direcionado ao conteúdo teórico explicado de maneira tradicional pelo professor.

Gráfico 3 – Bloco 3: divulgação científica, preferências, importância, confiança



Fonte: autores (2024).

O objetivo das quatro questões do bloco 3 do questionário era verificar a relação dos alunos com vídeos de divulgação científica e videoaulas sobre temas científicos, suas preferências em relação à duração desses e a confiança nas informações científicas apresentadas. Dos 20 alunos que responderam ao questionário, 18 (90%) afirmaram já ter assistido a vídeos de divulgação científica produzidos por influenciadores. Isso indica que tais influencers podem estar desempenhando um papel significativo na formação dos conceitos científicos e cognitivos dos alunos, especialmente em temas relacionados às ciências da natureza.

Quanto à duração preferida de vídeos científicos, 9 (45%) optam por vídeos de duração média e 8 (45%) por de duração longa. Apenas 3 alunos (15%) demonstraram preferência por vídeos curtos. Ao serem questionados sobre o que consideram mais importante em vídeos sobre temas científicos, 12 alunos (60%) responderam que aspectos como descontração, humor e informalidade são os mais relevantes. Somente 7 alunos (35%) indicaram que o conhecimento

do conteúdo por parte do apresentador é mais importante, e apenas 1 aluno (5%) valorizou a formação acadêmica de quem veicula o conteúdo. Esse resultado revela que os alunos tendem a valorizar mais a forma como a informação é transmitida, deixando em segundo plano o conhecimento profundo sobre o tema e a formação do criador do conteúdo. Esse fato é preocupante, pois o influenciador pode estar publicando um vídeo com o objetivo de ganhar likes e visualizações e, por falta de conhecimento técnico e acadêmico, pode nem perceber que seu material contém erros e equívocos que precisam ser corrigidos. Assim, ele acaba replicando esses erros conceituais, que podem ser absorvidos por jovens estudantes que assistem aos seus vídeos.

Em relação à confiança nas informações científicas apresentadas nos vídeos, 13 alunos (65%) afirmaram que a confiança depende do canal e do influenciador que veicula o conteúdo. Outros 6 alunos (30%) indicaram ter confiança parcial, enquanto apenas 1 aluno (5%) sempre desconfia das informações. Esse dado destaca a grande influência que determinados influenciadores que abordam temas científicos podem exercer sobre a aprendizagem dos alunos.

Se as informações transmitidas forem corretas, essa influência pode ser positiva, permitindo que o professor utilize os vídeos como complemento às suas aulas. Esses vídeos podem funcionar como instrumentos ou signos dentro da ZDP, potencializando o aprendizado dos alunos. No entanto, se o foco do canal for apenas aumentar visualizações e engajamento nas redes sociais, o impacto pode ser negativo e prejudicial para a aprendizagem de Ciências, em especial da Física.

De acordo com os resultados do questionário, podemos considerar uma situação em que o professor, ao ministrar aulas de Física, sugere à turma que assistam a vídeos sobre o tema da aula, sem oferecer indicações específicas de canais ou professores/influenciadores. Se a turma tiver o perfil daqueles que responderam ao questionário, os alunos podem acabar sendo influenciados de forma negativa, aprendendo o conteúdo com erros e equívocos, tanto conceituais quanto históricos, já que muitos dos canais a que assistirem não possuem objetivos educacionais, mas focam apenas na divulgação científica e no entretenimento — algo de que os alunos podem não estar cientes. Como consequência, eles não terão uma compreensão adequada dos assuntos, e o professor poderá enfrentar dificuldades para corrigir esses erros. Isso ocorre especialmente quando a afinidade dos alunos com o influenciador é tão forte que eles começam a questionar a veracidade das explicações do professor, principalmente quando estas divergem das apresentadas pelo influenciador. O fato de este último ser famoso na internet, com milhões de seguidores em seu canal ou redes sociais, pode levar os alunos a

acreditar que suas explicações têm mais credibilidade, simplesmente por alcançar um público maior, enquanto o professor, por não ter essa mesma visibilidade, acaba sendo subestimado.

## 7.2 LEVANTAMENTO DE VÍDEOS SOBRE RELATIVIDADE RESTRITA

Com base no resultado do **questionário 1**, foi possível estabelecer critérios para realização do levantamento de vídeos sobre Relatividade Restrita, que apresentem características que o tornam atrativos aos alunos. De acordo com os resultados apresentados nos gráficos 1, 2 e 3, estabeleceu-se os seguintes critérios de seleção:

- Plataforma a ser realizada a busca: YouTube;
- Tempo de duração dos vídeos: no geral médios entre 60s e 5min, podendo ser um pouco maior pois houve também preferência por vídeos de duração entre 5min e 20min, devido a isso estabelecemos um limite de no máximo 10 min de duração para a busca;
- Filtro de cronologia: preferencialmente os produzidos nos últimos 5 anos;
- Canais de influenciadores conhecidos preferencialmente;
- Vídeos com algum efeito visual, sonoro e animação;
- Tema de pesquisa: Relatividade Restrita.

Para realizar o levantamento, foram inseridos comandos de pesquisa como "Relatividade Restrita", "Einstein", "dilatação do tempo", "contração do espaço", "paradoxo dos gêmeos" e "viagem no tempo". A partir dos resultados da pesquisa, aplicou-se os critérios estabelecidos no questionário, e, ao todo, selecionamos 14 vídeos para classificação. Quanto ao tipo de vídeo, foram consideradas videoaulas, mas principalmente vídeos de divulgação científica, já que esses tendem a aparecer primeiro nas pesquisas e nas sugestões do algoritmo do YouTube. Por exemplo, quando alguém pesquisa sobre Relatividade em seu navegador e, em seguida, acessa o YouTube, vídeos relacionados ao tema são sugeridos na tela inicial e nos "shorts". Por outro lado, videoaulas bem estruturadas nem sempre aparecem na tela inicial da plataforma. No quadro 4 temos a relação dos 14 vídeos selecionados.

Quadro 3 – Relação de vídeos do YouTube

Título do vídeo	Duração	Canal	Links
<i>Tudo sobre contração espacial</i>	8min33s	Prof André Astro	<a href="https://abrir.link/YgKSp">https://abrir.link/YgKSp</a>
<i>Por que o tempo não existe na velocidade da luz</i>	5min43s	Ciência Todo Dia	<a href="https://abrir.link/LJSxA">https://abrir.link/LJSxA</a>
<i>Teoria da Relatividade: o tempo não existe</i>	60s	Bruno Farias da Silva	<a href="https://abrir.link/WExEs">https://abrir.link/WExEs</a>
<i>Dilatação do tempo e contração do espaço</i>	60s	João Justo Pires	<a href="https://abrir.link/ibqrc">https://abrir.link/ibqrc</a>

<i>Entenda a teoria da relatividade em 6 frases</i>	60s	Desvendando o universo	<a href="https://abrir.link/czhpj">https://abrir.link/czhpj</a>
<i>Resumo da teoria da relatividade</i>	1min38s	Cortes do Ciência sem Fim	<a href="https://abrir.link/bSUHM">https://abrir.link/bSUHM</a>
<i>Dilatação do tempo explicada</i>	8min19s	Ciência Narrada	<a href="https://abrir.link/MIHSJ">https://abrir.link/MIHSJ</a>
<i>O que é a contração do espaço?</i>	60s	Bariogênese	<a href="https://abrir.link/PdSoT">https://abrir.link/PdSoT</a>
<i>Entenda a teoria da relatividade de uma forma simples</i>	8min15s	Tinocando TV	<a href="https://abrir.link/JVkmn">https://abrir.link/JVkmn</a>
<i>O tempo não existe para a luz</i>	60s	Como é bom ser nerd - Pura Física	<a href="https://abrir.link/nkEWV">https://abrir.link/nkEWV</a>
<i>Teoria da Relatividade de Albert Einstein</i>	9min12s	Portal da Ciência	<a href="https://abrir.link/nKqUW">https://abrir.link/nKqUW</a>
<i>Teoria da Relatividade Especial ou Restrita</i>	9min27s	Brasil Escola Oficial	<a href="https://abrir.link/nWfnU">https://abrir.link/nWfnU</a>
<i>Relatividade Restrita em 1 Minuto</i>	60s	Ciência Todo Dia	<a href="https://abrir.link/fuspu">https://abrir.link/fuspu</a>
<i>FÍSICA / DILATAÇÃO DO TEMPO</i>	60s	TEÓRICA MENTE	<a href="https://abrir.link/yMWAC">https://abrir.link/yMWAC</a>

Fonte: autores (2023).

Além dos 14 vídeos do quadro 4, foram selecionados mais 7 com intuito de usá-los durante a ministração do conteúdo de Relatividade em sala de aula e como sugestão para que os alunos assistissem em casa. Os vídeos foram: 1 filme; 1 trecho de documentário; 5 trechos da primeira temporada da série "Genius", que conta a história de Albert Einstein. Foi, inclusive, sugerido aos alunos que assistissem a tal série antes das aulas, como forma de introduzi-los ao contexto histórico do tema e oferecer uma visão mais ampla sobre a vida de Einstein, como ele desenvolveu suas teorias, sua trajetória acadêmica e sua importância na história do século XX. No quadro 5 podemos ver o título dos vídeos e outras informações.

Quadro 4 – relação de vídeos para serem usados nas aulas

Título do vídeo	Duração	Canal/plataforma	Links
Filme: <i>Passageiros</i>	1h56	Prime Vídeo	<a href="https://abrir.link/sjzrh">https://abrir.link/sjzrh</a>
<i>O legado eterno de Albert Einstein   A MENTE DE EINSTEIN   History</i>	5min37s	Canal History Brasil	<a href="https://abrir.link/uwQlu">https://abrir.link/uwQlu</a>
<i>Quebrando o paradigma educacional - Genius - A vida de Einstein</i>	1min44s	Ideias casuais	<a href="https://abrir.link/ldoVa">https://abrir.link/ldoVa</a>
<i>O que é o tempo? Genius - A vida de Einstein</i>	2min29s	Ideias casuais	<a href="https://abrir.link/Qppra">https://abrir.link/Qppra</a>
<i>Albert Einstein (série genius) - maior gênio da humanidade</i>	2min52s	Passa Tempo	<a href="https://abrir.link/cLnqq">https://abrir.link/cLnqq</a>

- teoria da relatividade vídeo emocionante			
<i>Genius</i> / Explicação da Relatividade Restrita e da Relatividade Geral	4min45s	Educação Científica IFSP-Caraguatatuba	<a href="https://abrir.link/VATjA">https://abrir.link/VATjA</a>
<i>Einstein fala sobre o Éter e a propagação da luz - Genius</i>	2min30s	Howard Armstrong	<a href="https://abrir.link/rIGHi">https://abrir.link/rIGHi</a>

Fonte: autores (2023).

Com base na análise dos critérios estabelecidos para a seleção dos vídeos sobre Relatividade Restrita, foi possível identificar conteúdos que atendem às preferências dos alunos. A utilização de plataformas como o YouTube, com filtros temporais e foco em influenciadores conhecidos, assegurou uma seleção adequada ao perfil da turma objeto deste trabalho.

A seleção do filme *passageiros*, do trecho de documentário sobre o legado de Einstein e dos trechos da série *Genius*, serviram para dar mais ênfase e contextualização ao conteúdo ministrado nas aulas teóricas. Esses vídeos tem o potencial de ampliar o entendimento de como o tema poderá ser usada em um futuro distante e também sobre o contexto histórico e científico em que foi concebida a teoria da Relatividade restrita, oferecendo uma visão mais completa para os alunos.

Na próxima seção, classificaremos a qualidade dos vídeos selecionados, levando em conta principalmente a precisão conceitual do conteúdo, os aspectos visuais, sonoros e o uso de animações.

### 7.3 CLASSIFICAÇÃO DOS VÍDEOS

Como demonstrado no questionário 1, cujos critérios de seleção dos vídeos foram baseados em seus resultados (gráfico 1, 2 e 3), os alunos são ávidos consumidores de conteúdos digitais em formato de vídeos. Antes de realizada a seleção dos vídeos dos quadros 03 e 04, foi feita uma sondagem para verificar se os alunos conheciam determinados influenciadores de divulgação científica. Muitos responderam que já conheciam ou tinham ouvido falar desses influenciadores ou de seus canais.

Outra provocação feita a turma antes de serem ministradas as aulas, foi se eles já haviam ouvido falar do tema, e obtivemos algumas respostas positivas, como: "Já assisti vídeos sobre viagem no tempo", "Vi um sobre buracos negros", "Assisti ao filme Interestelar", entre outras. Essas respostas indicaram que alguns alunos já possuíam algum conhecimento prévio sobre o assunto, e que, estão em contato com uma gama de conteúdos não tratados em sala de aula. Isso pode ser considerado algo positivo, porém, do ponto de vista educacional, é essencial analisar

como esses vídeos, em especial os do YouTube, abordam o tema quanto à precisão conceitual e fidelidade aos conceitos.

Para responder à questão sobre a qualidade conceitual dos vídeos, realizamos uma análise dos 14 vídeos selecionados (listados no quadro 4), classificando-os em três categorias: apropriados; pouco apropriados; inapropriados. As referências utilizadas para essa classificação foram obras de autores consagrados no estudo da Física, como Tipler e Llewellyn (2014), Caruso e Oguri (2016), Nussenzveig (1998), Halliday et. al. (2016), Griffiths (2011) e Ramalho et. al. (2015).

As características de cada uma das três categorias classificadas são as seguintes:

- **Apropriados** – são os vídeos que estão em consonância com os maiores percentuais do questionário 1. Apresentam uma interpretação conceitual correta dos fenômenos da Relatividade, com exemplos de fácil compreensão e duração adequada. Além disso, as explicações do apresentador devem estar alinhadas com o a teoria de forma clara e precisa;
- **Pouco Apropriados** – são aqueles que, embora estejam de acordo com a teoria, apresentam as informações de forma incompleta o que pode gerar interpretações equivocadas por parte dos alunos. Os equívocos na compreensão do tema podem ser influenciados por fatores como a fama do apresentador e do canal, tipos de efeitos, forma de edição e animações presentes no vídeo.
- **Inapropriados** – são vídeos contêm erros teóricos evidentes, equívocos conceituais facilmente perceptíveis, inconsistência matemática e a supressão de informações importantes. Essas falhas podem resultar em uma compreensão equivocada do tema, levando os alunos a acreditarem nas informações veiculadas no vídeo como verdades absolutas. A crença no vídeo pode ser influenciada por fatores que, eventualmente conferem uma falsa credibilidade, como o elevado número de visualizações e a fama do apresentador.

Separou segundo esses critérios estabelecidos 05 inapropriados, 05 pouco apropriados e 04 apropriados. Segue a separação por categorias com o título e a análise de cada vídeo.

### 7.3.1 INAPROPRIADOS

**Título do vídeo:** *Tudo sobre Contração Espacial*

**Link:** <https://abrir.link/YgKSp>

Existe uma inconsistência matemática na definição da expressão da contração do comprimento. O professor troca as variáveis próprias pelas não próprias, dando uma interpretação diferente da que se costuma encontrar nos livros, apesar de sua explicação teórica ser correta na maioria do vídeo. Ao analisar o problema do vídeo ele define a seguinte equação:

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

Escrevendo em função de  $\gamma$ , algo que o apresentador do vídeo não faz, como mostra a equação 21, ficamos com:

$$L' = \frac{L}{\gamma}$$

No exercício, procura-se saber o comprimento do túnel em que um trem passa. O trem que está em movimento é considerado um ponto material. Assim, o termo  $L$  ele denomina como sendo o comprimento próprio, algo distinto de todas as literaturas de Física consultadas neste trabalho de mestrado. Consultando as referências utilizadas em na fundamentação teórica de Física de nossa pesquisa, constatamos que os autores usam a expressão da contração do comprimento nas seguintes formas:

$$(1) L = \frac{L_0}{\gamma} \quad (2) L = \frac{L'}{\gamma} \quad (3) l = l' \sqrt{1 - \beta^2} \quad (4) L = \frac{L_p}{\gamma} \quad (5) \Delta \bar{x} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Delta x$$

A equação (1) é escrita em Caruso e Oguri (2016) e Halliday et. al. (2016). A (2) é vista em Ramalho et. al. (2015). O formato em que é escrito a equação (3) encontramos em Nussenzveig (1998). A equação (4) em Tipler e Llewellyn (2014). Já a notação da equação (5) iremos encontrar em Griffiths (2011). Sabendo que o fator  $\gamma$  pode ser escrito de acordo com a equação 21, todas essas maneiras de escrever a equação da contração do comprimento são equivalentes. As notações (1) e (2) são as mais comuns de serem utilizadas por professores tanto de nível superior quanto de nível médio. Verificamos também que na maioria dos livros de ensino médio consultados eles utilizam usam as equações no formato (1) e (2) ou uma mescla de ambas como em Barreto Filho e Silva (2016), mas nenhum igual ao mostrado no vídeo em análise.

Portanto, consideramos este material inapropriado, pois a maneira distinta de apresentar as equações pode dificultar o entendimento de um aluno que está estudando com as aulas do professor ou com um livro e, posteriormente, busca revisar o tema por meio deste vídeo para esclarecer dúvidas e reforçar seu conhecimento. Vale ressaltar que o vídeo carece de efeitos visuais, sonoros e animações, elementos que são valorizados pelos alunos, conforme apontado nos resultados do questionário 1.

**Título do vídeo:** *Dilatação do tempo explicada*

**Link:** <https://abrir.link/MIHSJ>

O vídeo começa abordando o primeiro postulado de Einstein, porém o exemplo utilizado para explicá-lo (um balde d'água e um carro em uma pista molhada) poderia ser mais eficaz. Há exemplos mais claros para ilustrar que, independentemente de quem está em movimento, desde que em repouso ou em movimento retilíneo uniforme, ambos os observadores medirão a mesma velocidade e observarão o mesmo fenômeno físico em seus referenciais. Um exemplo mais claro destacaria que o movimento relativo entre observadores não altera a observação das leis físicas.

A explicação para a dilatação do tempo apresentada no vídeo não está totalmente alinhada com a teoria nem com sua descrição matemática. O paradoxo dos gêmeos é utilizado como exemplo, mas esse caso só é plenamente válido ao considerar o trajeto de ida e volta do gêmeo viajante. Como afirma Falciano (2007, p. 24), “Só podemos atribuir significado físico à idade do gêmeo viajante antes do começo da viagem e no instante do seu retorno.” A supressão deste detalhe pode gerar uma compreensão equivocada do paradoxo dos gêmeos, especialmente para estudantes que busquem no vídeo uma fonte de estudo sobre relatividade.

Outra incoerência no vídeo ocorre quando o apresentador afirma que a diferença nos tempos entre o gêmeo viajante e o gêmeo na Terra pode ser explicada pela equação de velocidade média da cinemática clássica, o que não é correto. Embora os comentários sobre essa equação sejam coerentes, seu uso aqui é inadequado e pode confundir um aluno. A explicação correta envolveria as equações da cinemática relativística, como as equações 35 e 36 que incluem o fator de Lorentz para refletir a dilatação temporal.

O vídeo também apresenta um exemplo visual confuso para o conceito de éter, utilizando barras para representá-lo. Seria mais claro ilustrar o éter com a analogia de um rio ou outro corpo de água. Além disso, a luz é representada como uma partícula em movimento, quando o ideal seria destacá-la como uma onda. Existem representações visuais do interferômetro mais claras e intuitivas que poderiam ter sido usadas.

Quanto aos efeitos e edições, muitos estão fora do contexto e podem desviar a atenção do tema central. Seria mais apropriado utilizar imagens ou trechos de vídeos diretamente relacionados à Relatividade, como raios de luz, naves espaciais ou objetos em alta velocidade, o que manteria o foco na Física da Relatividade.

Portanto, considerando os problemas e incoerências do vídeo, o classificamos como inadequado para o estudo de Relatividade Restrita por um aluno de ensino médio.

**Título do vídeo:** *O que é a contração do espaço?*

**Link:** <https://abrir.link/PdSoT>

O vídeo inicia com a seguinte exemplo: "Você sabia que, a uma velocidade muito alta, seu carro poderia diminuir de tamanho? Mas calma! Isso só seria perceptível se você conseguisse viajar próximo à velocidade da luz.". O exemplo apresentado no vídeo leva a crer que, ao dirigir um carro a velocidades próximas à da luz, o motorista veria o carro encolher, o que não é verdade. A contração de comprimento só seria percebida por um observador externo. No referencial do motorista, não há contração, porém, ele veria o comprimento de objetos no referencial do observador externo se contraírem. Esse fenômeno é previsto pelo primeiro postulado e depende do referencial adotado.

Outra inconsistência está na imagem usada para ilustrar a contração do comprimento, com um trem e um observador. A imagem sugere (equivocadamente) que os sinais luminosos, que permitem a visualização o comprimento do trem, chegam simultaneamente ao observador. Segundo Tipler e Llewellyn (2014, p. 22), Nussenzveig (1998, p. 193-194) e Ostermann e Ricci (2002), a percepção da contração de comprimento depende da perspectiva visual do observador, pois esses sinais chegam em instantes distintos, somente após a passagem do vagão, e não simultaneamente, como mostra a imagem.

No exemplo do vídeo sobre a visão de um carro comprimido em velocidade relativística, Nussenzveig (1998, p. 193) afirma que essa ideia é "inteiramente falsa". Segundo ele, isso ocorre porque a imagem de um objeto é formada por raios de luz que chegam ao mesmo tempo ao observador, mas partem do objeto em momentos diferentes. Devido ao movimento do objeto, a imagem resultante é distorcida, representando posições distintas em instantes variados. O correto, segundo o autor, seria dizer que a projeção visual do carro parece menor devido à perspectiva angular e à rotação da imagem.

Consideramos o vídeo inapropriado, pois um aluno pode facilmente acreditar que, ao viajar em velocidades próximas à da luz, veria o carro encolher com ele dentro — o que não ocorre. Como discutido acima, a contração do comprimento está relacionada à não

simultaneidade na recepção dos sinais luminosos das extremidades do objeto para um observador externo, o que altera a perspectiva visual do objeto para esse observador, mas não para quem está no referencial em movimento.

**Título do vídeo:** *Entenda a teoria da relatividade de uma forma simples.*

**Link:** <https://abrir.link/JVkmm>

Para este vídeo analisamos somente os primeiros 5 minutos, pois o restante trata da Relatividade Geral. O vídeo apresenta uma série de inconsistências, informações incompletas e afirmações equivocadas.

A primeira afirmação errônea do apresentador foi dizer que Maxwell foi quem provou que a eletricidade e magnetismo andam juntas. Quando Maxwell desenvolveu sua teoria, a partir da segunda metade do século XIX, a relação entre eletricidade e magnetismo já era conhecida desde 1820 quando Hans Christian Oersted, “observando a deflexão da agulha de uma bússola colocada próxima de um condutor percorrido por corrente, foi o primeiro a notar que uma corrente elétrica produz um campo magnético no espaço que a circunda” (Alonso e Finn, 2015, p. 105).

Outra afirmação incorreta no vídeo é atribuir a Maxwell a ideia da constância da velocidade e também a afirmação de que ele provou que Newton estava errado sobre essa questão. No vídeo não é evidenciado que a velocidade a qual ele está falando é a da luz, mas presumindo que seja dela ao qual ele se refere, tal afirmação se deve a Einstein no seu segundo postulado da Relatividade Restrita. Ao consultarmos o trabalho de Bezerra (2006) em que faz uma síntese dos artigos de Maxwell do eletromagnetismo, não encontramos registros de afirmações feitas por ele de que a luz seria uma onda eletromagnética. É sabido que Maxwell previu a existência das ondas eletromagnéticas, cuja velocidade seria constante no éter, uma previsão confirmada experimentalmente por Hertz em 1887. A definição sobre a natureza da luz de onda-partícula veio apenas em 1905, com o estudo do efeito fotoelétrico de Einstein. Portanto, embora Newton estivesse incorreto ao afirmar que a velocidade da luz variava conforme o meio, viajando mais rápido em meios mais densos, não era a intenção de Maxwell refutá-lo, o que torna desnecessário afirmar que ele “provou” que Newton estava errado.

Também há outro equívoco quando diz que foi Maxwell quem descobriu que a velocidade da luz não depende do referencial. A ideia do éter só começou a ser verdadeiramente refutada em 1887 com experimento de Michelson e Morley, logo em 1865 quando ele publicou seu artigo contendo as equações, o éter era algo real. Maxwell elaborou seu trabalho do eletromagnetismo baseado “nas ideias de Faraday sobre um éter cheio de linhas de força, que

transmitiria as ações eletromagnéticas” (Caruso e Oguri, 2016, p.148). Logo, não tem como Maxwell ter afirmado que a velocidade da luz não depende de um referencial, pois para ele as ondas eletromagnéticas se propagariam no espaço através do éter. Como já vimos neste trabalho, quem fez tal afirmação foi Einstein.

Observa-se que não há uma explicação clara sobre o ponto de partida de Einstein para a teoria da relatividade. O vídeo não aborda a experiência eletrodinâmica, a questão da simultaneidade ou a relação de causa e efeito que culminaram na formulação da Relatividade Restrita. A edição também deixa a desejar: há muitos cortes, poucos efeitos visuais, ausência de gráficos e falta de exemplos matemáticos, mesmo que simples. Esses elementos poderiam tornar a mensagem do apresentador mais clara e relevante. Considerando o exposto, classificamos o vídeo como inapropriado para propósitos educacionais.

**Título do vídeo:** *Resumo da teoria da relatividade*

**Link:** <https://abrir.link/bSUHM>

O vídeo é intitulado como um resumo da teoria da relatividade, o que não condiz com seu conteúdo. Trata-se de uma abordagem muito superficial, uma conversa descontraída, tanto que o influenciador começa o vídeo reconhecendo que um físico especializado seria mais adequado para tratar do assunto.

É mencionada apenas um aspecto da Relatividade Geral, a curvatura do espaço, e comenta brevemente sobre a Relatividade Restrita no final. O conteúdo é tão superficial que não pode ser considerado um resumo, nem da Relatividade Geral, tampouco da restrita. Ao final, o influenciador destaca a complexidade do tema, dando a entender que não é a pessoa adequada para tratá-lo em profundidade. Afirma ainda que no curso que ministra sobre astronomia não é abordado a relatividade.

Esse tipo de vídeo, que costuma ser cortes de podcasts sobre ciência, muitas vezes é postado em canais que não são do próprio criador, e o título atribuído ao vídeo acaba sendo usado como *clickbait*<sup>6</sup> — uma técnica para atrair visualizações. Há outros vídeos curtos que cumprem o papel de resumo com mais precisão. A fama do apresentador, no entanto, traz credibilidade, sendo possível que um aluno ao visualizar este conteúdo pode acabar achando que, ao assisti-lo já compreendeu as ideias centrais do tema.

Portanto, baseado nos critérios preestabelecidos e na análise realizada, para fins de aprendizado sobre relatividade, consideramos esse vídeo inapropriado.

---

<sup>6</sup> *Clickbait* é uma técnica usada para atrair cliques com títulos ou imagens exagerados e sensacionalistas, muitas vezes enganosos, visando aumentar o engajamento ou tráfego, mas nem sempre entregando o conteúdo prometido.

### 7.3.2 POUCO APROPRIADOS

**Título do vídeo:** *por que o tempo não existe na velocidade da luz*

**Link:** <https://abrir.link/LJSxA>

É um típico vídeo que o aluno ao assisti-lo se encanta devido a boa edição e carisma do apresentador, e nem nota a ausência de determinados aspectos. Não atoa possui mais de 1 milhão de visualizações. Para um conhecedor do assunto, é possível entender a mensagem com bastante clareza.

O vídeo começa afirmando que, se alguém viajasse em uma nave com velocidade próxima à da luz, veria o mundo acelerado. No entanto, o segundo postulado da Relatividade Restrita de Einstein, na formulação de Caruso e Oguri (2016), afirma que “a velocidade de propagação da luz no vácuo tem um valor constante dado por  $c=299.792.458$  m/s independente do estado de movimento da fonte.” Se a velocidade da luz é constante, espera-se que a velocidade desse observador também seja constante, pois, como sabemos pelo primeiro postulado, se o mundo está acelerado, quem se move também deve estar igualmente acelerado — algo inconcebível na Relatividade Restrita que trata apenas de referenciais inerciais.

Em nossa análise, o vídeo também carece de uma explicação matemática mais detalhada para fundamentar essa “inexistência” do tempo, que deveria ser abordada por meio das equações de dilatação temporal e contração do comprimento. Essas equações, ao evidenciar o fator de Lorentz, explicam matematicamente os efeitos relativísticos. No entanto, o vídeo não menciona esse fator.

Para um aluno do ensino médio sem familiaridade com o tema, a ideia da inexistência do tempo à velocidade da luz pode parecer mágica, como em filmes onde o tempo é pausado. Eles também podem acreditar que a matemática do problema apresentado se resume a dividir “zero por zero” como é mencionado.

Devido aos fatores mencionados, consideramos o vídeo pouco apropriado para fins educacionais, já que existem evidenciam melhor o tratamento matemático.

**Título do Vídeo:** *O tempo não existe para a luz*

**Link:** <https://abrir.link/nkEWV>

O influenciador não distingue o tema do vídeo entre Relatividade Geral e restrita, nem menciona o nome de Albert Einstein como criador da teoria da relatividade. Embora o vídeo seja pertinente, é evidente que seu objetivo é tanto informar quanto atrair visualizações e curtidas.

No vídeo, é apresentado um exemplo que utiliza dados numéricos para ilustrar a diferença de tempos medidos por um observador no referencial da Terra e por outro em uma nave que viaja a 90% da velocidade da luz. Consideramos que seria mais eficaz se o influenciador aplicasse a fórmula da dilatação do tempo a esse exemplo, demonstrando como obter os 3,5 minutos para o observador na nave. Ele poderia incluir a seguinte expressão em alguns quadros do vídeo:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \rightarrow \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(0,9c)^2}{c^2}}} \rightarrow \gamma \cong 2,29$$

$$\Delta t = \gamma \Delta t_0 \rightarrow 8.60 = 2,3 \cdot \Delta t_0 \rightarrow \Delta t_0 \cong 3,5 \text{ min}$$

Assim, quem estivesse assistindo poderia pausar para tentar entender os cálculos que ele apenas verbaliza, verificando que não são tão complexos.

Outra questão importante é a explicação sobre a ausência do tempo para quem viaja à velocidade da luz. Ele poderia utilizar o fator de Lorentz para apresentar essa afirmação de forma numérica, pois, embora o problema leve a uma indeterminação matemática, seria possível tentar explicar esse "tempo zero" por meio do conceito de limite.

Apesar de relevante em caráter informativo e de entretenimento, classificamos o vídeo como pouco apropriado para fins educacionais, considerando as observações mencionadas. De acordo com os critérios estabelecidos pelos resultados do questionário 1, o vídeo também carece de melhor edição de imagem e animações.

**Título do Vídeo:** *Teoria da Relatividade de Albert Einstein.* (0min a 4min)

**Link:** <https://abrir.link/nKqUW>

No vídeo é afirmado ser fisicamente impossível saber se estamos em movimento ou parados, pois o movimento é relativo. No contexto da Relatividade Restrita, essa afirmação é correta, mas não é especificado a qual teoria da relatividade estão se referindo neste momento. Para alguém que conhece do assunto, é fácil identificar que se trata da Relatividade Restrita. Entretanto, para leigos como a maioria dos alunos, essa distinção pode não ser clara. Diferenciar as duas teorias é importante, pois a afirmação sobre a impossibilidade de determinar o movimento só é válida para referenciais inerciais. Em referenciais não inerciais, existem experimentos, como o pêndulo de Foucault, que podem comprovar o movimento.

Em determinado trecho do vídeo, é feita a afirmação: “à medida que aceleramos, o tempo passa mais lentamente para nós e nosso comprimento diminui.” Embora não esteja incorreta, a afirmação é incoerente, pois neste trecho estão se referindo a fenômenos da

Relatividade Restrita, que considera apenas referenciais inerciais e, portanto, não contempla acelerações.

Segundo nossos critérios, faltou também no vídeo a apresentação das expressões para o cálculo da dilatação do tempo e contração do espaço, já que aborda o assunto. Consideramos importante incluir a parte matemática, mesmo que em exemplos básicos, pois isso pode ajudar a combater a ideia de que a abordagem quantitativa do tema é excessivamente complexa e inacessível para quem não é físico.

Considerando as observações feitas acerca do conteúdo do vídeo, classificamos como pouco apropriados para propósitos educacionais.

**Título do Vídeo:** *Teoria da Relatividade Especial ou Restrita - Brasil Escola*

**Link:** <https://abrir.link/nWfnU>

O vídeo apresenta um equívoco ao explicar o contexto histórico em que Einstein concebeu a Relatividade Restrita, levando a crer que ele a formulou com base nos resultados do experimento de Michelson e Morley. Ao consultar Griffiths (2011, p. 333-335) e o próprio artigo de Einstein (1905a), onde ele detalha sua teoria, encontramos discussões mais aprofundadas sobre o problema que realmente levou ao desenvolvimento da Relatividade Restrita.

O fenômeno da indução eletromagnética foi um ponto inicial para o desenvolvimento da teoria da Relatividade Restrita. Nesse contexto, Einstein (1905a) observou que a eletrodinâmica de Maxwell, quando aplicada a corpos em movimento, gerava assimetrias que não refletiam os fenômenos observados, como a interação entre um ímã e um condutor, que depende apenas do movimento relativo entre eles, independentemente de qual corpo está em movimento. Com base nessa questão, Einstein buscou determinar qual seria o referencial correto para medir a corrente elétrica e demonstrou que tanto o movimento do ímã quanto o do condutor produzem o mesmo efeito, embora por caminhos diferentes.

Embora as explicações teóricas apresentadas pelo professor no vídeo sejam pertinentes, ele comete o equívoco de sugerir ser o experimento de Michelson e Morley que levou Einstein a conceber a teoria da Relatividade Restrita. Um estudante que assista a esse conteúdo pode interpretar que esse experimento foi o ponto de partida para a formulação da teoria. Diante disso, classificamos o vídeo como pouco apropriado em relação a essa questão específica, embora seja apropriado no restante.

**Título do Vídeo:** *Entenda a teoria da relatividade em 6 frases*

**Link:** <https://abrir.link/czhpj>

Embora o vídeo apresente colocações pertinentes e enfatize a dificuldade para o entendimento da teoria relatividade, cabe a pergunta: é possível compreender a teoria da relatividade em apenas seis frases? Considerando a complexidade dos fenômenos envolvidos, o tratamento matemático e o grau de abstração da teoria, a resposta é não.

A curta duração do vídeo, seu caráter superficial, cômico e descontraído faz com que dificilmente seja possível entender a relatividade de forma completa nesse formato, como sugere o título — que, aliás, é um claro exemplo de clickbait. O que o vídeo realmente oferece são algumas ideias centrais da teoria. Isso não significa que a relatividade seja impossível de compreender, pois com uma explicação adequada, ela pode, de fato, parecer simples. Um título mais apropriado seria “Ideias Centrais da Relatividade” ou “Princípios Fundamentais da Relatividade.”

A teoria da relatividade não é nem excessivamente simples nem extremamente complicada, mas vídeos como este a tratam como se fosse algo trivial. Para um aluno típico de ensino médio embora o entendimento seja possível, não é tão fácil quanto título faz parecer, é preciso de explicações mais aprofundadas e exemplos melhores, mostrados de preferência por alguém que tenha domínio do tema. Apesar do vídeo ser interessante para divulgar o assunto na internet, consideramos que ele é pouco apropriado para fins educacionais.

### 7.3.3 APROPRIADOS

Os vídeos classificados como apropriados, em nossa análise, apresentam uma interpretação conceitual e tratamento matemático adequados, considerando a mensagem que o apresentador pretende transmitir dentro do tempo disponível. Outro aspecto analisado é a correspondência entre as imagens e animações usadas para ilustrar o tema, no caso, a Relatividade Restrita.

Como este grupo de vídeos atende aos critérios estabelecidos, as análises não são extensas, pois cumprem os requisitos predefinidos. Limitamo-nos, portanto, a realizar apenas observações pontuais sobre seus conteúdos e efeitos.

**Título do Vídeo:** *Teoria da Relatividade: o tempo não existe*

**Link:** <https://abrir.link/WExEs>

O vídeo cumpre seu propósito dentro do tempo proposto. Apesar de curto, é mais explicativo que muitos conteúdos longos, aborda corretamente os referenciais e explica a dilatação do tempo com a fórmula adequada.

Embora o vídeo não justifique ou explore seu título (que é um clickbait), ele trata de forma sucinta o conceito de dilatação do tempo, usando o exemplo do paradoxo dos gêmeos. A fórmula da dilatação do tempo é apresentada, e cada personagem do exemplo é corretamente associado aos referenciais próprios e não próprios. Dados numéricos também são apresentados, o que permite que o vídeo seja utilizado como exemplo didático por um professor durante suas aulas ou como exercício prático para alunos verificarem cálculos.

Ao final, o apresentador sugere uma visita ao canal para conferir uma versão completa, onde há uma série de vídeos sobre relatividade com exemplos ilustrados e exercícios resolvidos. Considerando as características que atendem aos critérios preestabelecidos, classificamos este vídeo como apropriado.

**Título do Vídeo:** *Relatividade Restrita em 1 Minuto*

**Link:** <https://abrir.link/fuspu>

O apresentador inicia o vídeo esclarecendo qual teoria da relatividade será abordada, algo que a maioria dos vídeos curtos desse tipo não costuma fazer. Seu objetivo é apresentar os dois postulados da Relatividade Restrita, o que é realizado de forma concisa, com exemplos de fácil compreensão para cada postulado.

Dadas as características do vídeo e por se trata de um influencer conhecido, possui potencial de despertar o interesse dos alunos ao ser utilizado em uma aula para introduzir os postulados de Einstein ou como um recurso de revisão para os que já estudaram o tema e desejam reforçar esse ponto específico. Assim, consideramos o conteúdo apropriado segundo nossos critérios.

**Título do Vídeo:** *Física | Dilatação do tempo*

**Link:** <https://abrir.link/yMWAC>

O vídeo apresenta um exemplo de dilatação do tempo, incluindo a parte matemática, a expressão para o cálculo e o efeito resultante, que seria uma forma de "viagem ao futuro".

A interpretação de Einstein sobre o tema é brevemente introduzida, com ênfase na expressão para o cálculo da dilatação do tempo. Dados numéricos são apresentados, e os referenciais do viajante e do observador na Terra são definidos com clareza. Ao final, o apresentador explica o significado da diferença entre os tempos de cada observador, destacando a dilatação do tempo ocorrida.

O formato deste vídeo é ideal para que um professor de Física o utilize em uma aula sobre relatividade, pois permite exemplificar o tema com cálculos de forma direta e rápida,

graças à sua curta duração. Para os alunos, serve como um recurso para aprender a diferenciar e aplicar cada termo da fórmula, além de funcionar como revisão ao reproduzirem o cálculo apresentado. Considerando essas características, classificamos o vídeo como apropriado.

**Título do Vídeo:** *Dilatação do tempo e contração do espaço*

**Link:** <https://abrir.link/ibqrc>

O vídeo exemplifica como uma nave pode alcançar o centro da galáxia em 36 anos, embora ele esteja a 26 mil anos-luz da Terra. Usando a animação de um "relógio de luz," o apresentador ilustra como a passagem do tempo é registrada de forma diferente para um observador dentro da nave e para outro externo, que vê o tempo e o espaço se expandirem. É enfatizada a constância da velocidade da luz para ambos, mas o espaço-tempo é percebido de maneira distinta em cada referencial, e como consequência para quem viaja na nave a viagem parece durar menos, enquanto para quem observa da Terra a duração é muito maior.

O apresentador resume bem o conceito de dilatação do tempo, apresentando a teoria e um cálculo da viagem para ambos os observadores, tudo em apenas um minuto. Esse formato o torna útil como exemplo ou exercício em uma aula de Física sobre Relatividade Restrita. Considerando esses pontos, classificamos o vídeo como apropriado, já que conta com bons efeitos gráficos, edição de qualidade e um exemplo claro de dilatação do tempo, explicando como se chegam aos resultados apresentados.

#### 7.4 IMPLEMENTAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA

Nesta seção do trabalho, descreveremos a sequência didática aplicada assim como aos detalhes de sua atividade investigativa realizada com a turma. Os passos da sequência aplicada estão descritos no quadro 3 da seção 6.4.

##### 7.4.1 PASSO 1: APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO DE VERIFICAÇÃO E DEFINIÇÃO DOS GRUPOS

Na primeira aula da aplicação desta pesquisa de mestrado com os alunos, aplicou-se o questionário 01, cujo os dados já foram discutidos na seção 7.1. Na mesma aula foi realizado a divisão dos alunos em grupos que realizariam, posteriormente a atividade investigativa. A quantidade de integrantes em cada grupo ficou da seguinte forma:

- Grupo 1 – 5 integrantes;
- Grupo 2 – 4 integrantes;
- Grupo 3 – 4 integrantes;
- Grupo 4 – 5 integrantes.

Com os grupos divididos, foi elegido um dos alunos para compartilhar com a turma os avisos e materiais do professor.

Na primeira aula destinada à ministração do conteúdo, os alunos foram informados de que haveriam duas avaliações: uma prática (atividade investigativa) e outra escrita. Para que pudessem compreender o tratamento matemático aplicado na Relatividade Restrita, foi disponibilizada uma lista de exercícios contendo apenas substituições de dados em expressões típicas desse tema, sem enunciados, com o objetivo de familiarizá-los com as fórmulas que seriam usadas posteriormente na resolução de problemas.

Como material complementar, recomendou-se que estudassem em casa o capítulo 18 do livro Os fundamentos da Física, vol. 3, 10ª edição, e que tentassem resolver as questões relacionadas aos tópicos abordados ao longo das aulas.

#### 7.4.2 PASSO 2: MINISTRAÇÃO DAS AULAS

As aulas, que foram preparadas em slides para dar agilidade e fluidez ao assunto. Dessa forma foi possível inserir várias imagens, elementos gráficos, pequenas simulações e os vídeos do quadro 5. Conforme o conteúdo das lâminas da apresentação iam sendo mostradas aos alunos, eram feitas provocações acerca do tema e também comentários sobre exemplos reais e fictícios presentes em filmes e séries sobre relatividade.

Ao começar a abordagem dos tópicos sobre Relatividade Restrita, inserimos links de acesso aos vídeos do quadro 5. Assim, pôde-se prender a atenção dos alunos ao conteúdo deixando mais interessante e menos monótono. Após os alunos assistirem aos trechos de vídeos, era aberto o espaço para perguntas e comentários dos alunos, e nesse momento alguns mostravam interesse no vídeo completo e perguntavam onde podiam assistir.

Tínhamos planejado 3 aulas, mas ao todo foram utilizadas 4 aulas para ministração de conteúdo. Esse aumento se deu devido a atrasos de alunos e problemas com o projetor multimídia utilizado. Os tópicos de relatividade das aulas ministradas na turma foram: contexto histórico (conceitos de tempo e espaço); referencial; relatividade clássica; o éter luminífero; experimento de Michelson e Morley; o início da Física Moderna; Relatividade Restrita; simultaneidade; dilatação do tempo; contração do comprimento; aparência visual da contração do comprimento; considerações; exemplos.

#### 7.4.3 PASSOS 3 E 4: APLICAÇÃO DA ATIVIDADE INVESTIGATIVA

Tendo ministrado as aulas, partiu se para a aplicação da atividade investigativa. É sabido que experimentos físicos sobre relatividade é algo impossível de se conceber numa sala de aula, dessa forma ao planejar esta estratégia de ensino baseada no Ensino por Investigação, surgiu a

questão de como elaborar um problema baseado num experimento sobre um tema que não pode ser feito em sala?

Após refletir sobre a interação e a influência que o ambiente social e cultural exerce sobre os alunos, percebeu-se que eles são grandes consumidores de vídeos em redes sociais e plataformas digitais. Muitas vezes, passam longos períodos assistindo a esse tipo de conteúdo, inclusive em sala de aula, e demonstram preferência por aprender por meio de vídeos em vez de métodos mais tradicionais, como indicado pelo questionário 1. Diante disso, surgiu a ideia de utilizar vídeos como uma ferramenta estratégica no processo de ensino.

Como mostrou nossa classificação, (apropriado, inapropriados e pouco apropriados) nem todos os vídeos são adequados a propósitos educacionais e apresentam problemas conceituais. Levando isso em consideração, optamos por utilizar os equívocos conceituais e as inconsistências dos vídeos para elaborar os problemas que os alunos deveriam resolver. Para essa abordagem na elaboração dos problemas, nos baseamos em Solino e Sasseron (2018) que chamou este tipo de problema de “problemas didáticos”, que estão presentes em uma sequência de ensino investigativa e são elaborados previamente pelo professor com base em critérios conceituais e servem como ponto de partida para iniciar o processo de ensino e de aprendizagem. Também nos embasamos em Carvalho (2013) para a construção dos problemas relacionados aos vídeos, que a autora chama de problemas não experimentais.

De acordo com Solino e Sasseron (2018) os problemas didáticos quando analisados no contexto da estruturação ou planejamento de SEI cumprem o papel de motivar os alunos na tarefa e assumem uma função de mediadores de segunda ordem. Na perspectiva do sociointeracionismo de Vygotsky, o problema mediador de segunda ordem deve situar-se em torno daquilo que os estudantes já sabem e dominam e daquilo que eles poderão vir a conhecer, ou seja, dentro da ZDP.

Na abordagem investigativa utilizada neste trabalho, o problema didático não serviu apenas como um elemento mediador na promoção da conceituação científica, mas também como forma de vincular à aprendizagem dos processos que envolvem a ciência presentes na atividade investigativa dos alunos como: observações; hipóteses; testes. Justificativas.

Dessa forma para cada vídeo foi elaborado pelo professor, baseado nos equívocos conceituais e as inconsistências, um problema didático que serviu como mediador de segunda ordem dentro da sequência didática elaborada.

### 7.4.3.1 INSTRUÇÕES AOS GRUPOS PARA REALIZAÇÃO DA ATIVIDADE INVESTIGATIVA

Para cada grupo de alunos foram entregues, em momentos distintos, duas fichas contendo o problema relacionado a cada vídeo (que estava em um código *QR CODE*), espaços para anotar as observações realizadas acerca do vídeo e espaço para anotar as hipóteses e justificativas. Após intervenção do professor, foi entregue a segunda ficha para que o grupo reestruturasse suas observações, e que elaborassem com base nas dicas dadas pelo professor, apenas uma hipótese e uma justificativa para o problema de cada vídeo, podendo ainda unir as duas do 1º momento em apenas uma, descartar as incoerentes com o problema ou elaborar uma nova. No momento da intervenção do professor, também foi entregue uma folha com links em *QR CODE* dos vídeos classificados como apropriado. Seguimos com a análise das respostas preenchidas nas fichas de cada um dos grupos antes e após a intervenção do professor.

### 7.4.3.2 ANÁLISES E DISCUSSÕES DOS MOMENTOS DA ATIVIDADE INVESTIGATIVA REALIZADA PELOS GRUPOS

#### GRUPO 1

##### 1º momento

O grupo 1 foi composto por 5 alunos. Diferentemente dos outros grupos a qual apresentaremos os dois momentos da atividade investigativa, este só teremos o 2º momento devido a um erro de compreensão de como seria realizado a atividade pelo grupo. Ao receberem a ficha do 1º momento os alunos entenderam que era para elaborar apenas uma hipótese e uma justificativa para cada vídeo e assim o fizeram.

##### 2º momento

Quadro 5 – Atividade 2º momento do grupo 1

Grupo 1	
<b>Título do 1º vídeo:</b> tudo sobre contração espacial	
<b>Problema:</b> o vídeo contém uma inconsistência matemática e também uma interpretação equivocada das variáveis ligadas aos referenciais, que pode acarretar erro no cálculo da contração do comprimento.	
<b>Hipótese dos alunos</b>	<b>Justificativa dos alunos</b>
<i>“Nós achamos que um de seus erros foi no cálculo e na hora de diferenciar os comprimentos. O outro erro foi na explicação dos L’s.”</i>	<i>“No vídeo L’ e L são invertidos. A fórmula seria: <math>L = L' \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}</math>. No vídeo, ele também inverte o conceito dos L’s. Ele fala que L está em repouso e L’ está em movimento. O certo é: L’ está em repouso e L está em movimento.”</i>
<b>Título do 2º vídeo:</b> o tempo não existe para a luz	
<b>Problema:</b> No vídeo 2, o apresentador omite detalhes que podem causar uma interpretação errônea para quem assistiu, sobre o fenômeno que ele se propõe a explicar.	
<b>Hipótese dos alunos</b>	<b>Justificativa dos alunos</b>

<p>“Não especificação de qual teoria da relatividade e falta de exemplos matemáticos.”</p>	<p>“O erro dele é não especificar qual a relatividade ele se refere, pois existem duas: restrita e geral. Além disso, as explicações dele são rasas do ponto de vista matemático, sem uso de cálculos, fórmulas etc. Ele poderia usar as seguintes fórmulas:  <math display="block">\Delta t = \gamma \Delta t_0 \text{ e } L = \frac{L_0}{\gamma}.</math>”</p>
--	---

Fonte: alunos do grupo 1 (2023).

As informações do quadro 6 foram exatamente as mesmas daquelas do 1º momento da atividade, como já explicado. Analisando a hipótese e a justificativa construída pelo grupo para o 1º vídeo, podemos notar que os alunos acertaram na solução do problema já que estão coerentes com a análise feita na classificação do referido vídeo. Como já mencionado, o 1º vídeo apresenta uma inconsistência matemática, uma notação incomum nos livros e aulas sobre o tema e, o grupo conseguiu perceber isso, inclusive escreveram qual seria a inconsistência como podemos ver no quadro.

Com respeito ao 2º vídeo, trata-se de um vídeo curto de 60s onde o apresentador realmente fala da relatividade sem especificar de qual se trata, como apontado na hipótese do grupo. Outra questão apontada, mas desta vez na justificativa foi o fato de ser muito superficial no que se trata da matemática, exatamente um dos pontos levantados na análise do vídeo feita previamente, e podemos notar que o grupo sugeriu as fórmulas que poderiam ter sido demonstradas no vídeo.

Apesar de o grupo não ter feito os dois momentos da atividade da maneira que foi orientado, as suas hipóteses e justificativas se mostraram coerentes nos dois casos, o que é um resultado satisfatório para aprendizagem do nosso tema.

## GRUPO 2

### 1º momento

Quadro 6 – Atividade 1º momento do grupo 2

Grupo 2	
<b>Título do 1º vídeo:</b> dilatação do tempo explicada	
<b>Problema:</b> Apesar da fala em cima das imagens e animações mostradas no vídeo serem coerentes em algumas partes, tentam explicar a dilatação do tempo com uma descrição matemática inadequada. No exemplo do paradoxo dos gêmeos também é omitido um detalhe que pode causar interpretação errada.	
<b>Observações realizadas a respeito do vídeo:</b> “a duração do vídeo é certamente muito longa para um assunto que pode ser explicado mais detalhadamente com edições melhores e vídeo mais curto. Além dos cálculos que estão fora de contexto e que certamente são inadequados.”	
<b>Hipóteses dos alunos</b>	<b>Justificativas dos alunos</b>
<b>Hip. 1:</b> “efeitos visuais, imagens não apropriadas e fora de contexto.”	<b>Just. 1:</b> “poderia ter feito um vídeo mais curto, porém com explicações, efeitos e imagens melhores e fáceis para se entender.”
<b>Hip. 2:</b> “os cálculos não estão adequados para a explicação.”	<b>Just. 2:</b> “os cálculos mostrados no vídeo não são coerentes com a explicação.”

<b>Título do 2º vídeo:</b> entenda a teoria da relatividade em 6 frases	
<b>Problema:</b> Apesar de pertinente as colocações do vídeo, nos cabe fazer a pergunta: é possível entender a teoria da relatividade em 6 frases?	
<b>Observações realizadas a respeito do vídeo:</b> “vídeo muito curto para um assunto muito complicado para compreender em 6 frases.”	
<b>Hipóteses dos alunos</b>	<b>Justificativas dos alunos</b>
<b>Hip. 1:</b> “muito difícil entender a teoria da relatividade em um vídeo muito curto com uma explicação muito superficial”	<b>Just. 1:</b> “poderia ser feito um vídeo mais longo, porém mais explicativo para compreender melhor.”
<b>Hip. 2:</b> “explicação muito superficial.”	<b>Just. 2:</b> “a relatividade necessita de exemplos teóricos práticos e que mostre as formulas do tempo e do espaço para ser compreendida”

Fonte: alunos do grupo 2 (2023).

Para este grupo, o 1º vídeo pertence a classificação Inapropriado e o 2º Pouco Adequado. Como pode-se constatar no problema do 1º vídeo, a intenção era que os alunos descobrissem uma inconsistência matemática e um detalhe omitido sobre o paradoxo dos gêmeos, como apontado na classificação do referido vídeo.

Como podemos perceber nas observações, e hipóteses e suas justificativas os alunos não conseguiram descobrir o detalhe omitido sobre o paradoxo dos gêmeos a qual o problema se refere (que este exemplo só é plenamente válido em viagem de ida e volta). Porém, eles apontam em suas hipóteses que no vídeo há efeitos visuais e imagens fora de contexto e que “os cálculos não estão adequados para a explicação”, segundo suas palavras. Eles justificam essas hipóteses com argumentos muitos semelhantes ao que foi apontado na classificação deste vídeo, porém quanto a parte que se referem aos cálculos inadequados eles não produziram uma justificativa coerente com a hipótese, como podemos ver no quadro 7.

Com respeito ao 2º vídeo, a intenção era instigar o grupo a pensar o porquê de não ser possível entender a relatividade em 6 frases, já que tinham acabado de assistir nos dias anteriores várias aulas sobre o tema. Nas observações do grupo, foram enfáticos sobre a duração curta do vídeo para entender o tema, algo já mencionado em nossa análise sobre o referido vídeo. Como podemos constatar no quadro 7, as duas hipóteses falam da superficialidade do conteúdo do vídeo. Na justificativa 1, eles acreditam até que o vídeo poderia ser mais longo e com melhores explicações estando tal justificativa em coerência com a hipótese criada. Na justificativa 2, eles comentam a falta de exemplos práticos e das fórmulas de espaço e tempo justificando o porquê de o acharem superficial.

2º momento

Quadro 7 – Atividade 2º momento do grupo 2

Grupo 2	
<b>Título do 1º vídeo:</b> dilatação do tempo explicada	
<b>Hipótese dos alunos</b>	<b>Justificativa dos alunos</b>

<p>“Efeitos visuais e imagens fora de contexto e fórmulas apresentadas não são adequadas para o assunto.”</p>	<p><i>“Poderia ter feito um vídeo mais curto, porém com explicações, efeitos e imagens melhores e fáceis para se entender. As expressões matemáticas adequadas para o assunto, seriam: <math>\Delta t = \gamma \Delta t_0 \rightarrow</math> dilatação do tempo <math>L = \frac{L_0}{\gamma} \rightarrow</math> contração do espaço. As explicações matemáticas usadas no vídeo podem confundir alguém que vá ver o vídeo a procura de uma boa explicação.”</i></p>
<p><b>Título do 2º vídeo:</b> entenda a teoria da relatividade em 6 frases</p>	
<p><b>Hipótese dos alunos</b></p>	<p><b>Justificativa dos alunos</b></p>
<p>“Muito difícil entender a teoria da relatividade em um vídeo muito curto com uma explicação muito superficial”</p>	<p><i>“Poderia ter feito um vídeo mais explicativo e se aprofundado mais no assunto para que, para quem está assistindo o conteúdo entenda melhor, poderia ter adicionado cálculos no vídeo explicando o assunto.”</i></p>

Fonte: alunos do grupo 2 (2023).

Após o grupo finalizar de preencher a ficha do 1º momento da atividade, foi solicitado que entregassem para o professor. Foram lidas cada uma das hipóteses, justificativas e observações produzidas para cada um dos vídeos, e neste momento passou-se a questionar o porquê as teriam escolhido. Os alunos começaram a tentar explicar com as mesmas palavras que tinham escrito na ficha. Foram dadas pistas sobre qual seria o detalhe omitido no paradoxo dos gêmeos mencionado no problema do 1º vídeo. Também foi solicitado que consultassem as anotações das aulas no caderno sobre qual eram as fórmulas utilizadas no assunto, os exemplos dados, os efeitos, os paradoxos e suas consequências, e a partir daí compararem com as informações veiculadas nos dois vídeos.

Após deixar o grupo por alguns minutos refletindo, foi entregue a ficha do 2º momento da atividade e a folha com os links dos vídeos apropriados para que pudessem assisti-los e compara-los com os vídeos de sua atividade. Ao analisarmos as novas hipóteses e justificativas para os problemas de cada vídeo constantes no quadro 8, percebe-se que a nova hipótese elaborada para o 1º vídeo consiste em uma junção das duas anteriores, mas a justificativa é mais completa incluindo até as fórmulas que seriam adequadas para serem mostradas no vídeo, já que no vídeo é mostrada em determinado momento a fórmula da velocidade média.

No 2º vídeo, o problema não foi respondido diretamente, mas os alunos melhoraram a hipótese e a justificativa, mesclando as criadas anteriormente e sugerindo pontos de melhoria como melhor explicação e tratamento matemático, algo que possivelmente chegaram a essa conclusão ao assistirem os vídeos classificados como apropriados e compara-los com o que estavam analisando. Apesar de não oferecem uma resposta direta, pode se perceber que os pontos apontados no vídeo pelo grupo, possuem relação com os da classificação do referido vídeo.

Analisando a reformulação das repostas das fichas do 1º e 2º momento, percebe-se que os problemas não foram plenamente respondidos, mas foram apontadas outras questões fora deles, como a hipótese e justificativa do 1º vídeo, que constam nos comentários feitos na classificação. Levando isso em consideração, acreditamos que o grupo teve um desempenho de regular para bom nesta atividade.

### GRUPO 3

#### 1º momento

Quadro 8 – Atividade 1º momento do grupo 3

Grupo 3	
<b>Título do 1º vídeo:</b> <i>entenda a teoria da relatividade de forma simples</i>	
<b>Problema:</b> O apresentador comete equívocos na explicação do contexto histórico do surgimento da teoria da relatividade restrita, atribuindo concepções a um cientista que não são dele e também omiti informações importantes para compreensão de como surgiu essa teoria.	
<b>Observações realizadas a respeito do vídeo:</b> “em certa parte do vídeo ele comete um equívoco ao afirmar que a velocidade é constante.”	
Hipóteses dos alunos	Justificativas dos alunos
<b>Hip. 1:</b> “o apresentador comete um equívoco ao afirmar que Maxwell que teria descoberto que a velocidade da luz é constante.”	<b>Just. 1:</b> “o autor desta tese é Albert Einstein.”
<b>Hip. 2:</b> “o apresentador comete outro equívoco ao dizer que Maxwell provou que a eletricidade e o magnetismo “andam juntos”.”	<b>Just. 2:</b> “essa tese é atribuída a Hans Christian Oersted.”
<b>Título do 2º vídeo:</b> <i>o que é a contração do espaço?</i>	
<b>Problema:</b> A apresentadora comete um deslize ao falar da contração do espaço de acordo com o referencial de seu exemplo e também se equivoca na forma como mostra a aparência visual da contração do espaço para um observador externo, o que pode causar um erro de interpretação teórica.	
<b>Observações realizadas a respeito do vídeo:</b> “ela comete um erro ao falar que seu carro muda de tamanho quando na verdade o tamanho só muda para quem tá vendo de fora.”	
Hipóteses dos alunos	Justificativas dos alunos
<b>Hip. 1:</b> “ela diz que seu carro pode mudar de tamanho.”	<b>Just. 1:</b> “ela comete um erro ao falar que seu carro muda de tamanho quando na verdade o tamanho só muda para quem tá vendo de fora.”
<b>Hip. 2:</b> “ela mostra uma imagem equivocada de como é a contração de movimento.”	<b>Just. 2:</b> “ela comete um erro grave ao mostrar uma imagem que não explica de forma correta como é a contração de comprimento podendo fazer com que o entendimento teórico esteja errado.”

Fonte: alunos do grupo 3 (2023).

Os dois vídeos da ficha de atividade do grupo 3 foram classificados como inapropriados. Por apresentarem inconsistências, espera-se que essas sejam mais facilmente identificadas pelos alunos, presumindo que os conteúdos das aulas anteriores tenham sido devidamente assimilados.

O primeiro vídeo apresenta a maior quantidade de equívocos e inconsistências históricas relacionadas ao surgimento da teoria da Relatividade Restrita. Ao formular o problema para

este vídeo, a intenção era que o grupo identificasse os erros e incoerências no contexto histórico cometidos pelo influenciador.

Embora o grupo não tenha feito muitas observações, identificou dois dos equívocos, como indicado no quadro 9. Com relação às hipóteses formuladas, percebe-se que ambas são coerentes, cada uma apontando para um problema distinto do vídeo. As justificativas, apesar de concisas, estão alinhadas com as hipóteses apresentadas.

No entanto, apesar de as hipóteses apontarem para dois problemas diferentes, o grupo não identificou a inconsistência na explicação do apresentador sobre o éter, tampouco a ausência de uma explicação mais adequada de como Einstein concebeu a teoria da relatividade.

Nas aulas ministradas antes da atividade, ao abordar o tema da contração do comprimento, não o apresentamos apenas sob a perspectiva matemática, mas também discutimos seu significado físico. Durante a resolução de exemplos, surgiram questionamentos sobre se o comprimento dos objetos realmente diminuía. Para esclarecer, explicamos o fenômeno sob a perspectiva visual de um observador externo, detalhando como a imagem do objeto se forma na visão desse observador (figura 13).

O segundo vídeo foi selecionado com o objetivo de que os alunos identificassem equívocos ou omissões de partes importantes do assunto que haviam aprendido em nossas aulas. Com base nos problemas apresentados no vídeo, eles deveriam elaborar hipóteses sobre o que estava certo ou errado em relação à contração do comprimento.

Nas primeiras observações sobre o vídeo, notou-se que os alunos tiveram dificuldades em identificar problemas relacionados ao conteúdo. Eles chegaram a solicitar a presença do professor para afirmar que não havia nada de errado no vídeo. Diante dessa dificuldade, orientei-os a revisar o tema utilizando o PDF dos slides das aulas, que havia sido previamente disponibilizado à turma. Dessa forma, poderiam comparar as afirmações e imagens do vídeo com os conteúdos estudados.

Para esse grupo, a relação de vídeos apropriados foi entregue antecipadamente, já que eles demonstraram bastante dificuldade com o segundo vídeo. Após um longo período de debates entre os integrantes do grupo, revisando o conteúdo, assistindo aos vídeos apropriados e realizando várias tentativas de obter dicas do professor, os alunos conseguiram analisar o problema com maior profundidade. Com isso, foram capazes de construir suas observações e elaborar hipóteses e justificativas, registradas no quadro 9.

*2º momento*

Quadro 9 – Atividade 2º momento do grupo 3

<b>Grupo 3</b>	
<b>Título do 1º vídeo:</b> <i>entenda a teoria da relatividade de forma simples</i>	
<b>Hipótese dos alunos</b>	<b>Justificativa dos alunos</b>
“A afirmação de que Maxwell teria descoberto que a velocidade da luz é constante e que descobriu a relação da eletricidade e do magnetismo.”	“Quem afirmou que a velocidade da luz é constante foi Albert Einstein em 1905 no seu trabalho. 2 postulados da relatividade restrita. E quem descobriu a relação da eletricidade com magnetismo foi Hans Christian Oersted em 1820 experimentalmente.”
<b>Título do 2º vídeo:</b> <i>o que é a contração do espaço?</i>	
<b>Hipótese dos alunos</b>	<b>Justificativa dos alunos</b>
“Contração do espaço e sua visualização.”	“Ele comete um erro ao falar que seu carro muda de tamanho, quando na verdade só muda de tamanho para quem observa de fora”

Fonte: alunos do grupo 3 (2023).

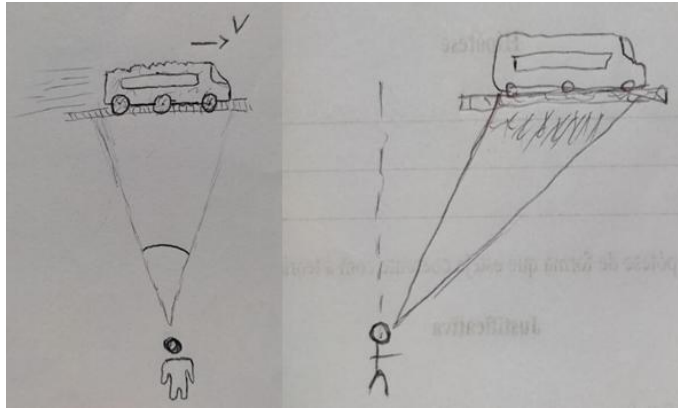
Ao recolher a ficha do primeiro momento da atividade do grupo 3 para analisar o que haviam feito, os alunos expressaram insatisfação com o formato da avaliação, afirmando que preferiam provas escritas, pois as consideravam mais fáceis. De fato, nas avaliações escritas dos bimestres anteriores, constatei que os integrantes do grupo obtiveram as melhores notas nesse tipo de avaliação.

Ao questionar o motivo das hipóteses criadas, os alunos demonstraram certa dificuldade em explicar suas escolhas. Ainda assim, ao receberem a ficha de atividade do segundo momento, afirmaram que consideravam as hipóteses e justificativas elaboradas no primeiro momento coerentes em relação aos problemas apresentados nos vídeos.

Após realizar algumas perguntas e oferecer instruções sobre como deveriam proceder na parte final da atividade, orientei-os a aprimorar as hipóteses. Sugeri que unissem as duas hipóteses do primeiro vídeo em uma única, uma vez que ambas eram coerentes com os problemas do vídeo. Em relação ao segundo vídeo, ao comparar o quadro 9 com o quadro 10, percebe-se que a hipótese reformulada ficou mais curta, assim como a justificativa.

Apesar de insistir para que as explicações fossem mais completas, os alunos optaram por focar nos desenhos da figura 15.

Figura 15 – Desenho dos alunos do grupo 3 para o problema do 2º vídeo



Fonte: alunos do grupo 3 (2023).

Os alunos escreveram a seguinte frase junto as imagens: “Nesta imagem mostra como se pudéssemos ver passando na velocidade da luz quando na verdade só podemos ver quando já passou.”

Portanto, considerando que o referido grupo foi o que apresentou maior dificuldade e levou mais tempo para concluir a atividade, sendo os últimos a entregá-la, avaliamos que as hipóteses reformuladas para o primeiro vídeo, assim como suas justificativas, estão coerentes e apontam os mesmos problemas identificados na análise desse vídeo.

Em relação ao segundo vídeo, apesar das dificuldades enfrentadas, considero que o grupo conseguiu elaborar uma hipótese e sua justificativa de forma aceitável, de acordo com os pontos levantados na análise. Isso é evidenciado pelo esforço em reproduzir, no desenho, o erro da imagem apresentado no vídeo.

## GRUPO 4

### 1º momento

Quadro 10 – Atividade 1º momento do grupo 4

Grupo 4	
<b>Título do 1º vídeo:</b> teoria da relatividade especial ou restrita – Brasil escola	
<b>Problema:</b> o problema desse vídeo, consiste em um equívoco na explicação do contexto histórico relacionado ao problema estudado por Einstein para conceber a relatividade restrita.	
<b>Observações realizadas a respeito do vídeo:</b> “o professor dá a entender que Einstein se baseou-se nos experimentos de Michelson e Morley, sendo que Einstein sabia que as cargas em movimento produzem um campo magnético e que cargas em repouso não, o professor passou uma afirmação errada.”	
Hipóteses dos alunos	Justificativas dos alunos
<b>Hip. 1:</b> “o ponto de partida da teoria da relatividade restrita foi a partir da indução eletromagnética.”	<b>Just. 1:</b> “a teoria da relatividade se deu a partir de um ponto de partida da indução eletromagnética. Einstein sabia que cargas em movimento produzem um campo magnético e que cargas em repouso não, ele também tinha noção que o movimento relativo entre um ímã e uma espira, induz uma corrente na espira”
<b>Hip. 2:</b> “ele falou que em altas velocidades o tempo passa mais rapidamente”	<b>Just. 2:</b> “de acordo com os estudos de Einstein, o tempo vai passando cada vez mais devagar até que

	<i>se atinja a velocidade da luz de 1,08 bilhão de Km/h, o valor mais rápido do universo.”</i>
<b>Título do 2º vídeo:</b> por que o tempo não existe na velocidade da luz	
<b>Problema:</b> Observe as afirmações do início do vídeo (0 à 10s) e identifique se há inconsistências na fala do apresentador e também aponte algum aspecto que ajudaria no melhor entendimento das explicações matemáticas dadas.	
<b>Observações realizadas a respeito do vídeo:</b> <i>“no vídeo observamos que ele diz que alguém na velocidade da luz em 0,0 segundos sendo cientificamente isso não é comprovado, matematicamente é comprovado, nenhum tipo de experimento foi testado.”</i>	
<b>Hipóteses dos alunos</b>	<b>Justificativas dos alunos</b>
<b>Hip. 1:</b> <i>“no vídeo ele estimou um valor que não é comprovado e que quebra um postulado da relatividade restrita.”</i>	<b>Just. 1:</b> <i>“ele quebraria o postulado 2 da invariância da velocidade da luz, o éter não interfere na velocidade da luz.”</i>
<b>Hip. 2:</b> <i>“no vídeo, o trecho fala que não importa sua velocidade, a velocidade da luz é a mesma, ela é absoluta.”</i>	<b>Just. 2:</b> <i>“o tempo não é absoluto, nada é mais rápido que a luz.”</i>

Fonte: alunos do grupo 4 (2023).

Os dois vídeos incluídos na ficha de atividade do grupo 4 foram classificados na categoria 'Pouco Adequado'. Embora não apresentem erros graves, contêm inconsistências que podem levar a uma compreensão equivocada do tema, seja pela forma como o assunto é apresentado, seja pela omissão de partes importantes da teoria da relatividade.

Ao analisarmos o quadro 11, percebe-se que, para o primeiro vídeo, a Hipótese 1 está coerente com o problema proposto, com as observações realizadas e com sua justificativa, além de apontar a principal inconsistência identificada na análise do vídeo. Em contrapartida, a Hipótese 2 e sua justificativa não se mostram coerentes para a solução do problema, tampouco apresentam conexão com as inconsistências apontadas na análise desse vídeo.

Com relação ao segundo vídeo, pode-se afirmar que, pelo conteúdo e pela forma de apresentação, ele poderia ser classificado como 'Adequado', não fosse por um pequeno erro no início da apresentação e pela omissão das equações corretas usadas no exemplo dado. O vídeo apresenta boa edição de imagem e som, efeitos adequados, e o influenciador se expressa bem. Além disso, ele é muito conhecido e possui milhões de inscritos em seu canal no YouTube. Essa popularidade torna mais difícil para os alunos identificarem problemas no conteúdo, o que exigiu uma abordagem mais sugestiva no problema didático relacionado a esse vídeo.

As observações feitas pelos alunos sobre o segundo vídeo estão confusas, como se pode verificar no quadro 11. Entre as duas hipóteses formuladas, a mais coerente é a Hipótese 1 e sua justificativa. Observa-se que os alunos conseguiram interpretar que haveria uma violação (ou 'quebra', como escreveram) do segundo postulado da Relatividade Restrita, mas não souberam justificar de forma mais completa. Já a Hipótese 2 não é coerente, e sua justificativa apresenta uma conexão confusa e pouco alinhada com o problema proposto.

2º momento

Quadro 11 – Atividade 2º momento do grupo 4

<b>Grupo 4</b>	
<b>Título do 1º vídeo:</b> teoria da relatividade especial ou restrita – Brasil escola	
<b>Hipótese dos alunos</b>	<b>Justificativa dos alunos</b>
<i>“O equívoco do vídeo foi não afirmar que o ponto de partida da teoria da relatividade restrita se deu a partir da indução eletromagnética.”</i>	<i>“A teoria da relatividade se deu a partir de um ponto de partida da indução eletromagnética. Einstein sabia que as cargas em movimento produzem um campo magnético e que cargas em repouso não, ele também tinha noção que o movimento relativo entre um ímã e uma espira induz uma corrente na espira.”</i>
<b>Título do 2º vídeo:</b> por que o tempo não existe na velocidade da luz	
<b>Hipótese dos alunos</b>	<b>Justificativa dos alunos</b>
<i>“No vídeo ele estimou um valor que não é comprovado e que quebra um postulado da relatividade restrita.”</i>	<i>“De acordo com a explicação, para se viajar na velocidade da luz precisa quebrar o segundo postulado da invariância da velocidade da luz. Ele deveria ter mostrado matematicamente tal efeito, usando a seguinte expressão: <math>\Delta t = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \Delta t_0</math>. Pois quando <math>v</math> será igual a <math>c</math> o termo dentro da raiz zera.”</i>

Fonte: alunos do grupo 4 (2023).

Este grupo demorou um tempo considerável para concluir o primeiro momento da atividade, cerca de 30 minutos, pois dedicaram-se a debates intensos, assistiram aos vídeos várias vezes e consultaram o material das aulas.

Durante a intervenção do professor, foi questionado o motivo das hipóteses apresentadas e suas justificativas para os problemas relacionados aos vídeos. Os alunos conseguiram fornecer uma boa explicação para o primeiro vídeo, justificando suas respostas ao afirmar que perceberam que o professor do vídeo não mencionou 'ímãs, espiras e o referencial da corrente elétrica', conteúdos abordados nas aulas. Após essa conversa inicial, foi solicitado que escolhessem uma das hipóteses, e, por unanimidade, optaram pela Hipótese 1. Em seguida, foi pedido que melhorassem a escrita, acrescentassem novas informações e comentassem sobre o significado do experimento de Michelson e Morley para a Relatividade Restrita, destacando que Einstein não desenvolveu sua teoria a partir dele. No entanto, como podemos observar no quadro 12, o grupo não implementou essas melhorias.

A intenção era que os alunos identificassem, no vídeo, o equívoco relacionado ao contexto histórico do surgimento da teoria da Relatividade Restrita e apresentassem a forma correta de abordar o tema. Pelas observações, hipóteses e justificativas, percebe-se que os alunos identificaram esse equívoco e buscaram corrigi-lo, oferecendo uma resposta adequada ao problema didático do primeiro vídeo. Considerando as respostas do grupo, avalio que, para o primeiro vídeo, a atividade foi concluída de forma satisfatória.

Como podemos observar no quadro 12, no segundo vídeo, os alunos tentaram aprimorar sua hipótese e justificativa após receberem orientações. No entanto, conseguiram identificar

apenas a questão da violação do segundo postulado ao abordar a viagem na velocidade da luz. Isso ocorreu mesmo após serem orientados a assistir novamente ao vídeo, consultar o material e revisar a relação de vídeos apropriados fornecida no início da intervenção.

No segundo vídeo, a intenção era que os alunos identificassem a afirmação feita pelo influenciador sobre 'ver o mundo acelerado', explicando por que essa declaração é inadequada no contexto da Relatividade Restrita, que só é aplicável a referenciais inerciais. Outro ponto a ser destacado era o uso inadequado de equações matemáticas (como a da velocidade média utilizada no vídeo), que não demonstravam o fator de Lorentz como nas equações da dilatação do tempo e contração do comprimento, já que também foi abordado esses fenômenos no exemplo do vídeo.

Contudo, consideramos que, para o segundo vídeo, a hipótese e a justificativa final apresentadas são aceitáveis, mas não estão consistentes com o que se esperava como solução do problema didático, nem com a análise prévia do vídeo, que apontava seus equívocos e inconsistências teóricas.

#### 7.4.3.3 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO E NOTAS ATRIBUÍDAS AOS GRUPOS

Durante a realização da atividade investigativa observou-se critérios de avaliação pré-definidos para a atribuição da nota aos grupos. Os critérios classificados em ordem de relevância foram os seguintes:

- 1º - elaboração das observações, hipóteses e justificativas de forma mais coerente possível com o problema relacionado ao vídeo;
- 2º - respostas aos questionamentos feitos durante a intervenção no 2º momento.
- 3º - quantidades de vezes que o grupo solicitou a presença do professor para tirar dúvidas de algo já explicado anteriormente;
- 4º - tempo que o grupo levou para finalizar a atividade investigativa;

As notas atribuídas a cada um dos quatro grupos de alunos que realizaram a atividade investigativa constam no quadro 13.

Quadro 12 – Notas dos grupos

<b>Grupos</b>	<b>Notas</b>
1	6,2
2	7,2
3	6,4
4	7,2

Fonte: autores (2024).

Em relação às notas dos grupos, destacam-se as do 1 e 3, que foram as mais baixas.

O grupo 1 realizou apenas o 2º momento da atividade investigativa devido a um equívoco na compreensão das instruções. Ao receberem a ficha do 1º momento, entenderam erroneamente que deveriam elaborar apenas uma hipótese e uma justificativa para cada vídeo. Embora as respostas apresentadas estivessem coerentes com os problemas propostos, uma parte essencial da atividade não foi feita.

O grupo 3, por sua vez, demonstrou grande dificuldade em compreender a dinâmica da atividade. Tiveram um desempenho lento na elaboração da hipótese e justificativa para o problema do 2º vídeo, além de solicitar constantemente a presença do professor. Além disso, não responderam corretamente à maioria dos questionamentos apresentados, o que impactou negativamente na nota do grupo.

#### 7.4.4 PASSO 5: PROVA

Após a conclusão da atividade investigativa, os alunos foram informados de que, na aula seguinte, seria realizada a prova. Recomendou-se que estudassem utilizando o PDF com os slides das aulas, os vídeos classificados como apropriados e o livro indicado como material complementar. A prova aplicada, consistia em dez questões de múltipla escolha abrangendo conceitos de referencial, espaço e tempo na relatividade, além de tópicos sobre dilatação do tempo e contração do comprimento, tanto em seus aspectos qualitativos quanto quantitativos.

Quanto aos resultados da prova, consideramos que os alunos demonstraram um desempenho satisfatório em comparação com as provas dos bimestres anteriores. A pesquisa foi aplicada no 4º bimestre, sendo que, desde o início do ano letivo, as notas de cada bimestre eram compostas por: (1) um trabalho ou lista de exercícios e (2) uma prova escrita. Nos bimestres anteriores, os alunos apresentaram baixo rendimento nas provas, exigindo recuperações paralelas para quase todos da turma. O quadro 14 apresenta um comparativo entre os percentuais de notas abaixo da média em cada bimestre para os 17 alunos que participaram efetivamente da pesquisa.

Quadro 13 – Comparativo entre notas baixas de cada bimestre

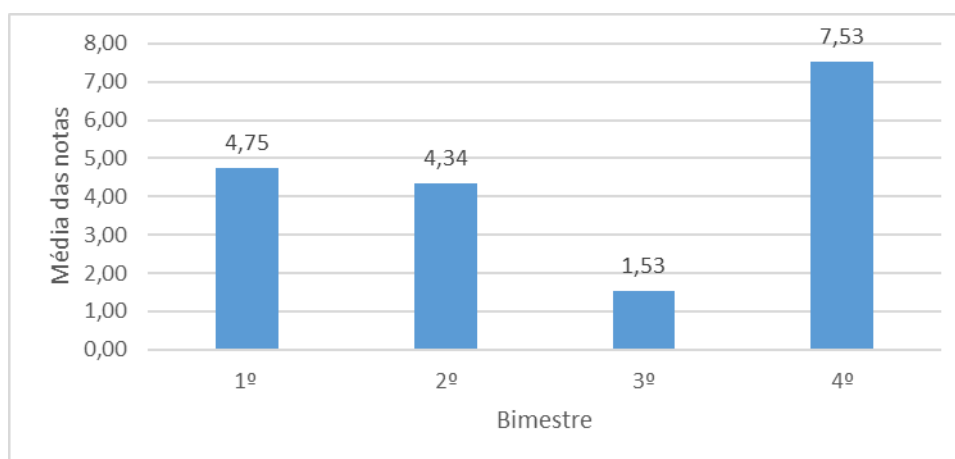
<b>Bimestre</b>	<b>Percentual de notas abaixo da média</b>
1º	88%
2º	100%
3º	100%
4º	17%

Fonte: autores (2025).

Os dados apresentados no quadro 14 indicam uma redução significativa no percentual de notas abaixo da média no 4º bimestre, contexto em que a pesquisa foi realizada. Apenas 17% dos alunos, o equivalente a 3 estudantes, obtiveram notas de 4,0 cada.

Para avaliar a melhoria nas notas da prova bimestral aplicada durante o período da pesquisa, elaboramos o gráfico 4, que apresenta a comparação entre as médias aritméticas das notas obtidas em cada bimestre.

Gráfico 4 – Média das notas dos bimestres



Fonte: autores (2025).

Considerando que, nos bimestres anteriores à aplicação da pesquisa, foram realizadas provas no mesmo formato, mas sobre conteúdos menos complexos, e que a média aritmética das notas ficou abaixo de 6,0, observa-se um avanço significativo no desempenho dos alunos na avaliação sobre os temas de Relatividade Restrita. Nesse caso, mesmo tratando-se de conteúdos mais complexos, a média aritmética alcançou 7,53, sendo necessária a recuperação paralela para apenas três alunos. Esses dados indicam que a intervenção obteve resultados satisfatórios sob a ótica quantitativa.

A análise do gráfico reforça a evidente melhoria nas notas dos alunos. Esse avanço pode ser atribuído à abordagem utilizada ao trabalhar o conteúdo, que seguiu os passos da sequência didática proposta. Tal metodologia incorporou vídeos como elementos contextualizados ao ambiente social e cultural dos estudantes, além de utilizar a prática investigativa para favorecer a aprendizagem dos seguintes tópicos de Relatividade Restrita, que se fizeram presentes nos problemas didáticos dos vídeos e na prova: contexto histórico de seu surgimento; conceito de referencial; contribuições de Albert Einstein para a Física e o significado dos seus postulados da relatividade; simultaneidade relativa; dilatação do tempo; contração do comprimento e sua aparência visual.

## 7.5. QUESTIONÁRIO 2: PERCEPÇÕES DOS ALUNOS ACERCA DOS ELEMENTOS DA PESQUISA REALIZADA

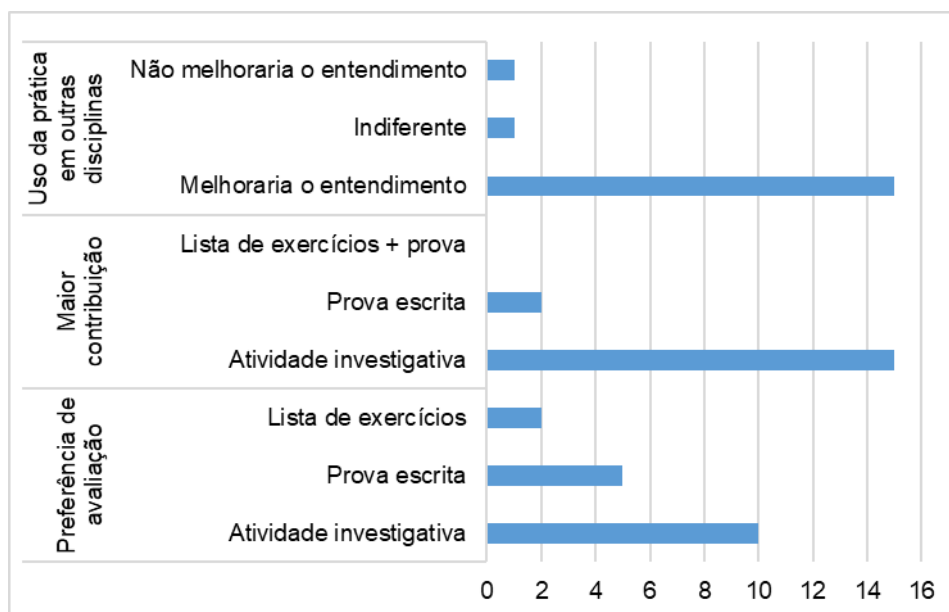
Nas seções anteriores, foi realizada a análise das atividades desenvolvidas pelos alunos durante a pesquisa, incluindo aulas, a atividade investigativa e a prova, sob a perspectiva do professor. No entanto, qual seria a opinião dos alunos sobre os elementos presentes na aplicação da pesquisa? Consideramos que compreender a percepção dos estudantes é um elemento essencial para validar as ações realizadas em sala de aula, avaliar se fizeram sentido para eles e verificar se houve progresso no aprendizado e mudanças de pensamento em relação aos temas abordados.

Para coletar essa percepção, foi aplicado o questionário 2 (Apêndice E) composto por 10 questões, divididas em quatro blocos que abrangiam os temas de interesse. A seguir, apresentamos os resultados das respostas de cada bloco, acompanhados dos respectivos gráficos. Os enunciados das questões e as alternativas foram resumidas para que pudessem se adequar aos gráficos.

### 7.5.1. PERCEPÇÕES DOS ALUNOS QUANTO A PRÁTICA COM ENSINO POR INVESTIGAÇÃO

O bloco 1 contou com três questões onde o objetivo era verificar como os alunos perceberam a atividade prática investigativa realizada, se foi melhor estudar Física da maneira como foi trabalhado nas aulas e se o modelo de prática poderia ser estendido a outras disciplinas.

Gráfico 5 – Percepções sobre a atividade investigativa



Fonte: autores (2025).

Ao analisar o gráfico 5, percebe-se claramente a preferência dos alunos pela atividade investigativa como avaliação, em comparação com os métodos tradicionais, como provas e

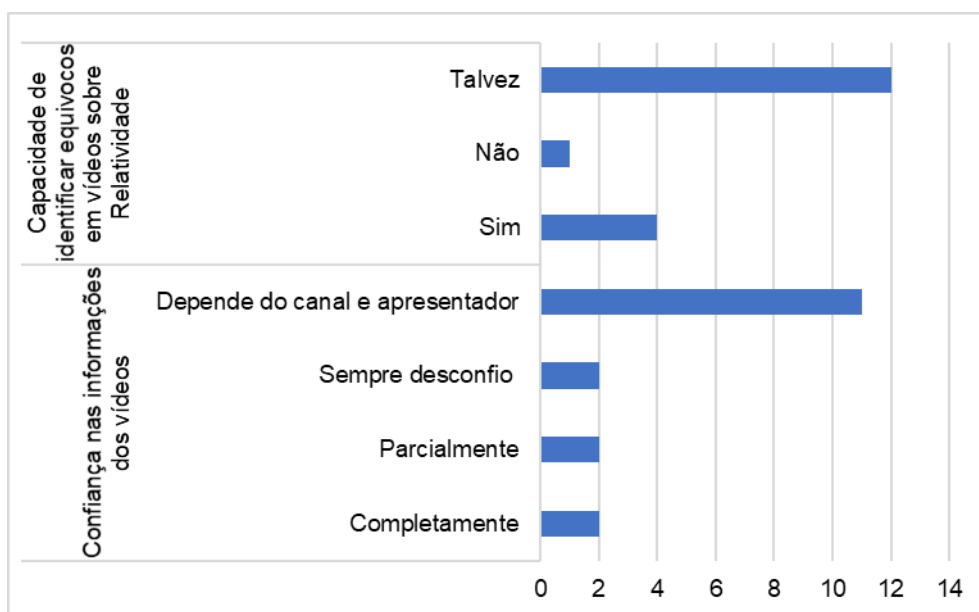
listas de exercícios, utilizados nos bimestres anteriores. A maioria dos estudantes optou que esse tipo de atividade contribuiu mais para o aprendizado de Física do que a prova escrita e indicou que ela também poderia ser adaptada para outras disciplinas, conforme apontado pela maioria das respostas.

Esses dados evidenciam as potencialidades do Ensino por Investigação. Com a utilização de elementos dessa abordagem metodológica em nossa pesquisa, os alunos tiveram determinado grau de liberdade intelectual (quadro 2), o que favoreceu seu engajamento nas atividades e facilitou a construção do conhecimento que contou com a participação do professor atuando como agente ativo no processo de aprendizagem. Esses avanços só foram possíveis devido ao planejamento fundamentado nos pressupostos teóricos de Carvalho (2013), que oferece os passos que foram adaptados a nossa sequência didática.

#### 7.5.2. PERCEPÇÕES DOS ALUNOS QUANTO AO USO DE VÍDEOS.

O bloco 2 foi composto por duas questões com o objetivo de verificar o nível de confiança dos alunos nas informações apresentadas por influenciadores em vídeos sobre tópicos de Ciências da Natureza e averiguar se os alunos se consideram capazes, após a intervenção, de identificar equívocos significativos relacionados à teoria da Relatividade Restrita.

Gráfico 6 – Percepções sobre vídeos



Fonte: Autores.

A questão da confiança nas informações apresentadas nos vídeos de ciências da natureza já havia sido abordada no questionário 1, cujas respostas apresentaram as seguintes porcentagens: 65% afirmaram que sua confiança depende do canal e do influenciador; 30%

declararam confiar parcialmente; 5% indicaram que sempre desconfiam; e 0% respondeu confiar completamente.

Ao analisar o gráfico 6, observa-se que, no questionário 2, 64% mantiveram a opinião de que sua confiança depende do canal e do influenciador, enquanto as porcentagens dos que confiam completamente, parcialmente e dos que sempre desconfiam ficaram em 12% cada.

Ao comparar os resultados dos dois questionários, percebe-se que não houve alteração significativa na percepção de que a confiança está vinculada ao canal e ao apresentador. Entretanto, seria desejável um aumento na porcentagem dos que sempre desconfiam, o que, infelizmente, não ocorreu. Outro aspecto que chama atenção é o crescimento do número de alunos que declararam confiar completamente após a aplicação da sequência didática.

Esse resultado pode ser explicado, em parte, por uma possível falta de atenção ao responder o questionário, considerando que a atividade investigativa destacou erros conceituais presentes nos vídeos analisados, inclusive em produções de influenciadores renomados. Outra explicação pode estar relacionada à resistência aos direcionamentos do professor, que pode ser vista como uma perda de autoridade intelectual em comparação à influência exercida por *youtubers*.

Embora o resultado da questão não tenha evidenciado a mudança de pensamento desejada, é fundamental que nós, como professores, continuemos empenhados em conscientizar os alunos sobre os problemas presentes no conteúdo de alguns vídeos. Isso se torna ainda mais relevante considerando que, em plataformas como o *YouTube*, o objetivo principal não é educacional, mas sim o lucro gerado por meio de publicidade vinculada às visualizações. Negumo et. al. (2020) corrobora com nossa afirmação ao afirmar que, embora o *YouTube* ofereça conteúdo educativo gratuito, é importante lembrar que a plataforma busca gerar fluxo e lucro, assim como os criadores de conteúdo que aparentemente demonstram o objetivo de ensinar, mas seus verdadeiros interesses são retornos financeiros.

Na outra questão deste bloco, os dados apontam para um resultado positivo. Cerca de 70% dos alunos afirmaram que talvez sejam capazes de identificar erros graves relacionados ao tema estudado, 23% declararam sentir-se plenamente capazes, e apenas 6% responderam que não se consideram aptos a identificar equívocos significativos.

Esses resultados podem ser atribuídos às duas etapas da atividade investigativa, que permitiram aos alunos realizar discussões em grupo, assistir repetidamente aos vídeos para identificar problemas, e aprofundar, ainda que de forma inconsciente, a compreensão de outras partes do conteúdo sem erros evidentes. Além disso, os estudantes tiveram a oportunidade de expor suas hipóteses ao professor, que forneceu feedback essencial para validação ou descarte

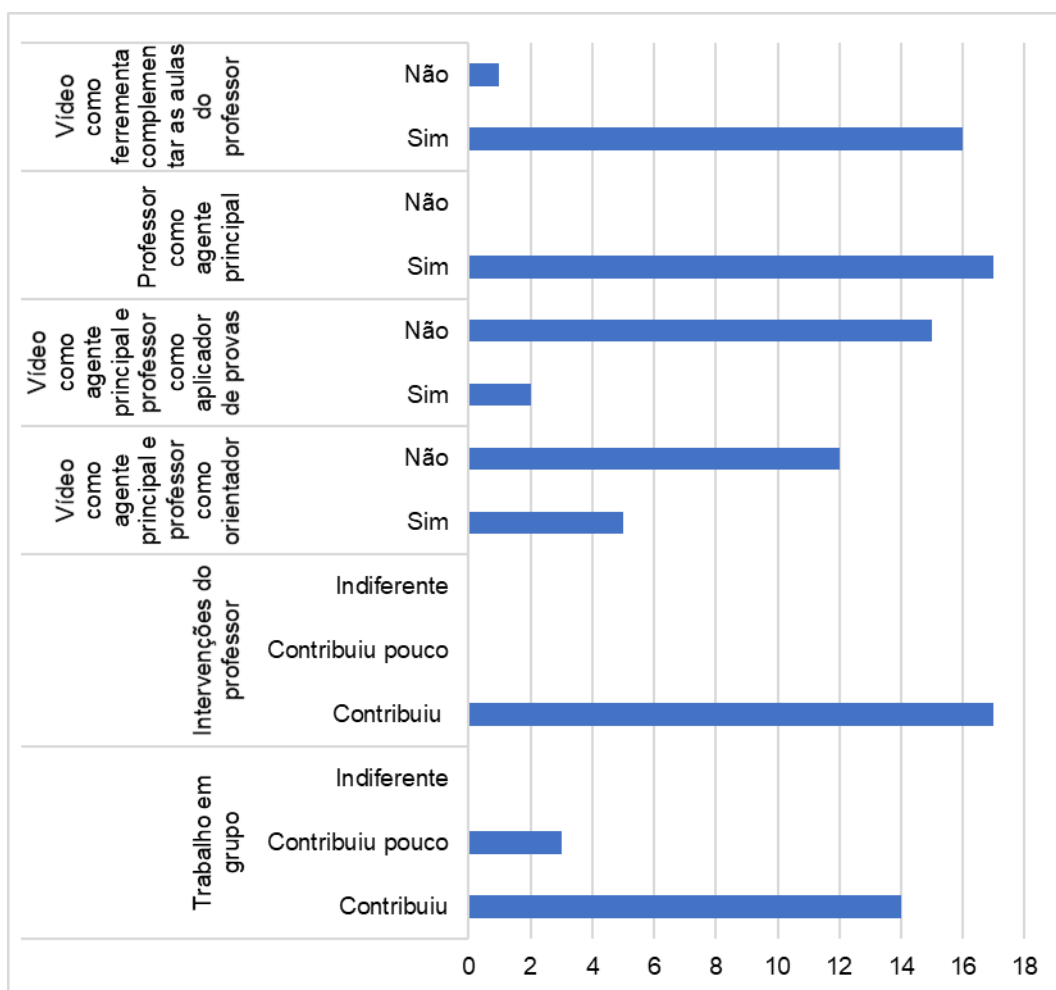
das ideias apresentadas. O formato das aulas, estruturado de maneira a incentivar a reflexão e o aprendizado ativo, também contribuiu para aumentar a confiança parcial dos alunos.

Os dados dessa questão indicam que, por meio de nossa intervenção, foi possível promover a construção de conceitos fundamentais da Relatividade Restrita no âmbito cognitivo dos estudantes, conforme evidenciado nas seções em que discutimos os resultados da atividade investigativa e da prova, refletindo o impacto positivo da metodologia aplicada.

### 7.5.3. PERCEPÇÕES QUANTO AS INTERAÇÕES ALUNO-ALUNO E ALUNO-PROFESSOR

O bloco 3 consistiu em três questões que tinham como objetivo verificar a percepção dos alunos acerca das interações em sala de aula e da relevância dos diferentes elementos envolvidos no desenvolvimento da atividade investigativa.

Gráfico 7 – Percepções quanto as interações



Fonte: autores (2025).

Na primeira questão do bloco, o objetivo foi avaliar as contribuições proporcionadas pela realização da atividade investigativa em grupos. A análise do gráfico 7 revela que 82% (14

alunos) afirmaram que a atividade contribuiu para a resolução do problema devido à troca de ideias entre os integrantes do grupo, enquanto cerca de 18% (3 alunos) indicaram que a contribuição foi pouca, pois houve divisão de tarefas entre os membros. Nenhum aluno selecionou a opção "indiferente". Esses resultados destacam a relevância do trabalho em grupo para os alunos, que promove a interação social, um dos pilares centrais do sociointeracionismo de Vygotsky. De acordo com De Sousa (2018), nessa teoria o conhecimento é construído por meio das interações dos sujeitos com o ambiente e com outros indivíduos, sendo essas interações as principais promotoras da aprendizagem.

Na segunda questão do bloco 3, o objetivo foi identificar se, na percepção dos alunos, as intervenções do professor durante a atividade investigativa contribuíram. O gráfico 7 demonstra de forma clara, que 100% dos alunos consideraram as intervenções do professor como contribuições essenciais. Esse resultado evidencia a importância do docente como um agente ativo em sala de aula, pois em atividades investigativas como a aplicada, o professor assume o papel de "parceiro mais capaz", conforme descrito por Vygotsky (2007), direcionando os alunos de maneira a ajudá-los a compreender se estão seguindo o caminho adequado durante o processo de aprendizagem.

Na terceira questão do bloco 3, buscou-se avaliar, sob a perspectiva dos alunos, a importância do papel do professor em sala de aula e a relevância das inconsistências identificadas nos vídeos utilizados na atividade. A questão foi estruturada em quatro subperguntas, nas quais os alunos deveriam optar entre "sim" ou "não", conforme apresentado de forma resumida no gráfico.

Na primeira subpergunta, buscou-se avaliar se os alunos acreditavam que as aulas do professor poderiam ser substituídas por videoaulas, relegando ao docente apenas a função de orientador, ou seja, um agente passivo. Conforme ilustrado no gráfico 7, 29% (5 alunos) responderam positivamente, enquanto 71% (12 alunos) discordaram dessa ideia.

Seguindo essa linha de análise, a segunda subpergunta investigou se os alunos achavam que as aulas deveriam ser completamente substituídas por videoaulas, deixando ao professor apenas a tarefa de aplicar provas. Os resultados indicaram que 88% não concordaram com essa substituição, enquanto 12% responderam favoravelmente.

Na terceira subpergunta, o objetivo era verificar se os alunos consideravam a figura de autoridade intelectual do professor, em comparação às videoaulas, essencial para o processo de aprendizagem. De acordo com os dados, 100% dos alunos responderam positivamente, demonstrando uma preferência clara por aulas que valorizem a presença ativa do professor, em

oposição a formatos totalmente baseados em vídeos, como ocorre em muitos cursos de educação a distância.

Por fim, a última subpergunta avaliou se os alunos viam os vídeos como uma ferramenta complementar de aprendizado, mas acreditavam que as aulas presenciais do professor continuam sendo fundamentais. Nessa questão, 94% (16 alunos) concordaram, enquanto apenas 6% (1 aluno) discordaram, reforçando a importância do professor no ensino presencial.

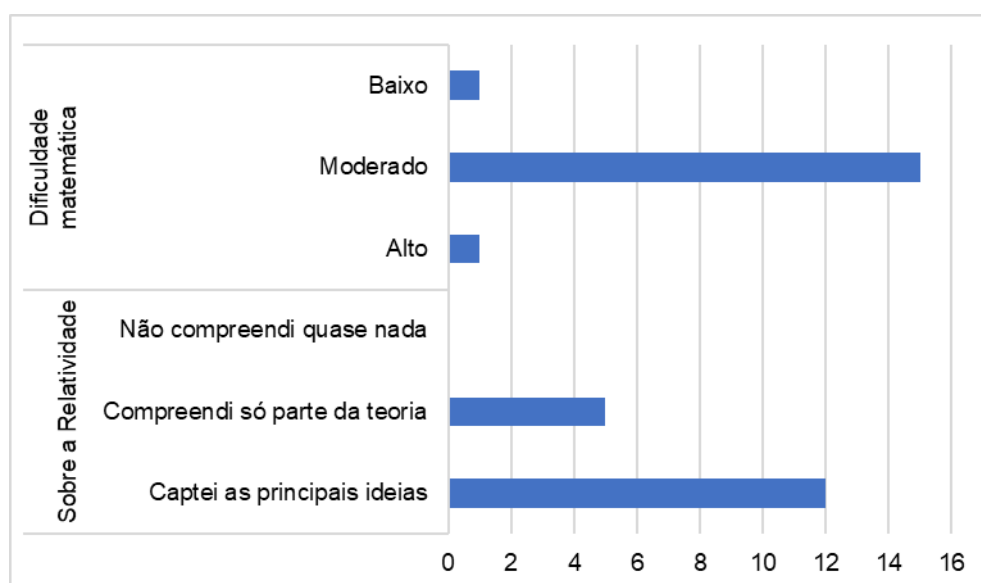
Os dados apresentados no gráfico 7 evidenciam a preferência dos estudantes participantes desta pesquisa por aulas presenciais, que valorizam tanto a interação professor-aluno quanto a troca de ideias entre os próprios alunos. Esse resultado é particularmente relevante diante do crescimento de plataformas de ensino online adquiridas por redes estaduais, frequentemente motivadas por interesses econômicos e políticos disfarçados de educacionais. Apesar desse cenário, os alunos demonstraram uma clara aversão a aulas baseadas exclusivamente em vídeos.

Outro aspecto que pode ser inferido a partir dos dados é a valorização das interações presenciais e o reconhecimento do papel fundamental do professor como autoridade intelectual em relação aos conteúdos apresentados em vídeo. Esse dado está em consonância com o que dizem Solino e Sasseron (2018), que o professor exerce uma função de autoridade social e epistêmica, ao representar, sistematizar e validar os conhecimentos científicos em sala de aula.

#### 7.5.4. PERCEPÇÕES DOS ALUNOS QUANTO AO TEMA RELATIVIDADE

O bloco 4 contou com duas questões onde o objetivo era verificar como os alunos perceberam o tema da e seu formalismo matemático.

Gráfico 8 –Percepções sobre a relatividade



Fonte: autores (2025).

Com a primeira questão deste bloco, buscou-se verificar a opinião dos alunos sobre o tema abordado, avaliando se eles o compreenderam plenamente, parcialmente ou quase nada. De acordo com o gráfico 08, a maioria dos estudantes, cerca de 70% (12), considerou o tema interessante e conseguiu captar as principais ideias. Aproximadamente 30% (5) afirmaram ter entendido apenas parte da teoria, enquanto nenhum aluno indicou não ter compreendido nada.

Esses resultados evidenciam o êxito obtido no ensino de um tema considerado complexo e frequentemente negligenciado por professores de Física. A complexidade do assunto pode ser reduzida com um planejamento pedagógico adequado, que leve em conta o perfil do público-alvo e integre elementos da realidade social dos estudantes, tornando o aprendizado mais significativo. No contexto desta pesquisa de mestrado, esses elementos foram os vídeos, com os quais os alunos já estavam familiarizados em seu cotidiano.

Os dados da segunda questão do bloco 4, apresentados no gráfico 8, indicam que aproximadamente 88% (15) dos alunos consideraram o grau de dificuldade do formalismo matemático moderado, enquanto cerca de 6% (1) avaliaram como alto e outros 6% (1) como baixo. Esses resultados são positivos, especialmente considerando que esse tema é tradicionalmente associado a um alto grau de complexidade matemática. No entanto, foi possível mitigar essas dificuldades por meio de um planejamento cuidadoso, elaborado com base nas características específicas da turma estudada.

No contexto do tema de Física abordado nesta pesquisa, observa-se uma possível resistência por parte de muitos professores de Física do ensino médio em tratar da teoria da relatividade e de outros tópicos da Física Moderna. Essa resistência costuma estar vinculada ao formalismo matemático, frequentemente visto como um desafio para os alunos devido à sua aparente complexidade.

No entanto, de acordo com os dados da segunda questão do bloco 4, é possível superar as dificuldades associadas ao formalismo matemático por meio de uma preparação adequada da turma nas semanas que antecedem as aulas. Essa preparação pode incluir listas de exercícios com tratamentos matemáticos similares aos utilizados nas questões sobre relatividade, além de uma adaptação do conteúdo ao nível de compreensão dos estudantes por parte do professor. Com essas estratégias, a maioria dos alunos pode alcançar êxito na resolução de problemas envolvendo expressões como as de dilatação do tempo e contração do comprimento, como foi evidenciado em nossa pesquisa, na qual uma parcela significativa conseguiu resolver questões que exigiam cálculos na prova aplicada.



## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A internet oferece inúmeras facilidades, como o acesso a vídeos em diversas plataformas. Alunos podem assistir a conteúdos curtos que resumem aulas extensas e consultá-los fora do ambiente escolar em seus celulares. Embora pareça um cenário ideal, onde o professor seria apenas um mediador, surge uma questão crucial: quem garante a qualidade e a precisão conceitual dos conteúdos apresentados nos vídeos? Em nossa pesquisa, isso foi papel do professor, essencial para orientar e validar o aprendizado dos alunos.

Considerando que os alunos assistiam esporadicamente a vídeos sobre relatividade em suas redes sociais, geralmente curtos, como os chamados "shorts", que não possuíam o hábito de leitura ou escrita, mas tinham acesso à internet, que o tema da Relatividade Restrita é viável para o ensino devido à popularidade de alguns conceitos e à possibilidade de simplificar o tratamento matemático, além de representar um desafio para o professor do ensino médio, formulamos a seguinte pergunta de pesquisa: como uma sequência didática investigativa, utilizando recursos como videoaulas curtas, vídeos de divulgação científica, séries e filmes de ficção científica, pode contribuir para a aprendizagem conceitual de tópicos da Relatividade Restrita?

Focando na ideia de um aprendizado conceitual, que as atividades desenvolvidas relacionassem os vídeos como elemento sociocultural, já conhecendo as potencialidades da metodologia do Ensino por Investigação e da teoria sociointeracionista, como objetivo geral investigamos as contribuições para a aprendizagem conceitual de tópicos de Relatividade Restrita que podem ser obtidas pela implementação de uma Sequência de Ensino Investigativa, com alunos do 3º ano do Ensino Médio de uma escola da rede pública do Amazonas, quando associada a elementos socioculturais como videoaulas curtas e vídeos de divulgação científica.

Para tanto, primeiramente precisávamos investigar como que ocorria a relação dos alunos com os vídeos, principalmente os de temas científicos. Logo, identificamos por meio de um questionário dividido em três blocos de perguntas, as características que tornam um vídeo sobre temas científicos atrativo para os alunos.

Consideramos que as características identificadas com o questionário foram importantes pois nortearam nossa busca pelos vídeos na etapa posterior da pesquisa. Com ela, comprovamos que os alunos preferem o *YouTube* para estudar, priorizam vídeos médios com resumos e exemplos, enquanto evitam livros físicos e PDFs. Na escolha de vídeos científicos, valorizam efeitos visuais, sonoros e apresentadores descontraídos. Identificamos também que optando por

influenciadores ou escolhem seu material de estudo de maneira aleatória e que aspectos conceituais não são considerados importantes pela maioria.

A partir dos resultados obtidos com o questionário, foi possível estabelecer critérios para realizar o levantamento dos vídeos sobre Relatividade Restrita no *YouTube*, em séries e documentários de divulgação científica, que apresentem as características que o tornam atrativo para os alunos.

Foram selecionados 22 vídeos sobre Relatividade Restrita no *YouTube*. 14 foram para a atividade investigativa e tinham duração entre 60s e 5min, filtro temporal de 5 anos, eram de canais de influenciadores conhecidos preferencialmente e continham algum efeito visual, sonoro ou animações. Os outros 7 foram selecionados com intuito de usá-los durante a ministração das aulas e também como sugestão para que os alunos assistissem em casa.

Consideramos que, com os critérios estabelecidos para a seleção dos vídeos sobre Relatividade Restrita, foi possível identificar conteúdos que atendessem às preferências dos alunos. A seleção do filme “*Passageiros*”, do trecho de documentário sobre o legado de Einstein e dos trechos da série “*Genius*”, serviu para dar ênfase e contextualização ao conteúdo ministrado nas aulas teóricas de relatividade.

Com a relação escolhida, classificamos a qualidade e a precisão conceitual dos vídeos de Relatividade Restrita em uma escala qualitativa simples, utilizando as categorias “Apropriado”, “Pouco Apropriado” e “Inapropriado”.

Com a classificação, identificamos que os vídeos “Inapropriados” apresentavam equívocos matemáticos, conceituais e históricos sobre a teoria da Relatividade Restrita, como fórmulas incorretas, variáveis trocadas, explicações inadequadas para a dilatação do tempo e contração do comprimento. Os “Pouco Apropriados” destacaram-se por informações incompletas, ausência de exemplos matemáticos básicos e falhas ao creditar corretamente pontos da teoria a seus autores. Também identificamos edições e imagens fora do contexto da explicação do apresentador. Os “Apropriados”, demonstraram ser de grande relevância. Com eles comprovamos que é possível explicar satisfatoriamente a Relatividade Restrita de forma conceitual, com exemplos matemáticos simples com duração entre 60 segundos e 5 minutos.

Consideramos que a classificação segundo esses parâmetros foi essencial para a pesquisa, pois as inconsistências nos vídeos “Inapropriados” e “Pouco Apropriados” fundamentaram os problemas didáticos da atividade investigativa, enquanto os vídeos “Apropriados” serviram de suporte para os grupos na elaboração das respostas.

Com o material classificado, partimos para a estratégia de ensino, onde desenvolvemos e aplicamos uma Sequência de Ensino Investigativa sobre Relatividade Restrita imbuída com vídeos, filmes e séries sobre o tema.

No início da sequência didática foram ministradas aulas que enfatizaram aspectos históricos, conceituais e matemáticos da Relatividade Restrita, utilizando imagens, simulações e trechos de vídeos que contribuíram para tornar o processo de ensino mais dinâmico. As questões levantadas durante as aulas fomentaram reflexões e discussões significativas, proporcionando uma base sólida para as etapas subsequentes. Os conhecimentos adquiridos serviram como suporte para a resolução dos problemas que foram propostos, evidenciando avanços no aprendizado do tema.

Entendemos que a prática investigativa integrou o Ensino por Investigação com o sociointeracionismo, permitindo que os alunos, ao resolverem problemas didáticos associados aos vídeos, realizassem observações, levantassem hipóteses e construíssem justificativas. Dessa forma, houve a criação de um ambiente investigativo onde pôde-se conduzir os alunos em um processo científico, mesmo que simplificado, como proposto por Carvalho (2013).

Interpretamos que a interação entre os alunos, professor e os vídeos – considerados artefatos socioculturais do cotidiano – foi um elemento essencial nesse processo. Essa dinâmica criou uma ZDP, na qual o professor atuou como mediador e as questões como signos que conectavam os conceitos discutidos às estruturas cognitivas dos alunos, oferecendo pistas e direcionamentos para a solução dos problemas.

Consideramos que as contribuições para a aprendizagem se evidenciaram através do desempenho dos grupos na atividade investigativa e pelos resultados obtidos na prova. Corroborando com isso, estão as percepções dos alunos registradas no segundo questionário. Nele, indicaram que o Ensino por Investigação, associado ao uso de vídeos como ferramenta sociocultural, **contribuiu** para a compreensão das principais ideias da Relatividade Restrita e para a interação entre os participantes durante a atividade investigativa.

Por fim, as reflexões geradas pelos resultados desta pesquisa possibilitaram a criação de um produto educacional intitulado "Relatividade Restrita em vídeos do *YouTube*: o ensino através da investigação", que visa auxiliar outros professores na aplicação de estratégias similares para o ensino da Relatividade Restrita no ensino médio.



## REFERÊNCIAS

- AMAZONAS. Ministério da Educação. **Referencial Curricular Amazonense: ensino médio**, 2021a. 292 f. Disponível em: <http://www.cee.am.gov.br/wp-content/uploads/2021/08/RCA-Ensino-Medio.pdf>. Acesso: 17 março 2023.
- AMAZONAS. Secretaria de Estado de Educação e Desporto. **Proposta Curricular e Pedagógica do Ensino Médio**, 2021b. 463 f. Disponível em: <https://www.sabermais.am.gov.br/pagina/gestao-do-curriculo>. Acesso em: 17 março de 2023.
- AZEVEDO, M.C.P.S.. **Ensino por Investigação: Problematizando as atividades em sala de aula**. In: CARVALHO, A. M. P. (org.). *Ensino de Ciências: Unindo a Pesquisa e a Prática*, São Paulo: Thomson, 2004.
- BARBOSA, R. G.; De LOURDES BATISTA, I.. **Vygotsky: um referencial para analisar a aprendizagem e a criatividade no ensino da Física**. *Revista Brasileira de pesquisa em Educação em Ciências*, p. 49-67, 2018.
- BEZERRA, V. A.. **Maxwell, a teoria do campo e a desmecanização da física**. *Scientiae Studia*, v. 4, p. 177-220, 2006.
- BORGES, A. T.. **Novos rumos para o laboratório escolar de ciências**. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 19, n. 3, p. 291-313, 2002.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base nacional comum curricular**. Brasília, DF: MEC, 2018. Disponível em: [http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC\\_EI\\_EF\\_110518\\_versaofinal\\_site.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf). Acesso em: 17 março 2023.
- CAPELARI, D.. **Uma sequência didática para ensinar relatividade restrita no ensino médio com o uso de TIC**. Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Polo I, 2016.
- CARUSO, F.; OGURI, V.. **Física Moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- CARVALHO, A. M. P. et al.. **Ensino de Física**. São Paulo, SP: Cengage Learning, 2010. Acesso em: 07 jan. 2025.
- CARVALHO, A. M. P.. **As práticas experimentais no ensino de Física**. São Paulo: Cengage Learning, p. 53-77, 2010.
- CARVALHO, A. M. P.. **Fundamentos teóricos e metodológicos do Ensino por Investigação**. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, p. 765-794, 2018.
- CARVALHO, A. M. P.. **O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, v. 1, p. 1-19, 2013.
- DA CUNHA, E. L.; DICKMAN, A. G.. **O estudo da Óptica na modalidade de Educação para Jovens e Adultos (EJA) por meio de uma sequência didática diversificada**. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 35, n. 1, p. 262-289, 2018.

DA SILVA NETTO, J.; OSTERMANN, F.; DE HOLANDA CAVALCANTI, C. J.. **Fenômenos intermediários de interferência e emaranhamento quânticos:** o interferômetro virtual de Mach-Zehnder integrado a atividades didáticas. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 35, n. 1, p. 185-234, 2018.

DE PAULA, J.; FIGUEIREDO, N.; DE ALCANTARA FERRAZ, D. P. **Peer Instruction e Vygotsky:** uma aproximação a partir de uma disciplina de astronomia no ensino superior. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 37, n. 1, p. 127-145, 2020.

DE SOUSA, F. L.; ELIAS, J. M.; GONÇALVES, J. E.; PINTO, E. S.. **A física aplicada ao corpo humano:** uma intervenção interdisciplinar no ensino médio. REVISTA DYNAMIS. FURB, BLUMENAU, V 24, N. 2 – P. 96 – 108, 2018.

EINSTEIN, A. Zur Elektrodynamik bewegter Körper. Annalen der Physik 17, p. 891–921, 1905a. Traduzido por Oliver F. Piattella com título **Sobre a Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento**. Publicado em: *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 2005.

FALCIANO, F. T.. **Cinemática relativística:** paradoxo dos gêmeos. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, p. 19-24, 2007.

FERREIRA, M.; FILHO, O. L. S.; STRAPASSON, A.; PORTUGAL, K. O.; MACIEL, A. C.. **Simuladores digitais no contexto epistemológico de Gagné e Vygotsky:** uma proposta de intervenção didática sobre eletricidade e circuitos elétricos. 2021.

FOSSILE, D. K.. **Construtivismo versus sociointeracionismo:** uma introdução às teorias cognitivas. Revista Alpha, n. 11, p. 105-117, 2010.

GASPAR, A. **Atividades experimentais no ensino de física:** uma visão baseada na teoria de Vygotsky. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

GASPAR, A.. **Cinquenta anos de ensino de física:** muitos equívocos, alguns acertos e a necessidade de recolocar o professor no centro do processo educacional. Educação: Revista de Estudos da Educação, v. 13, n. 21, p. 71-91, 2004.

GAZZINELLI, R.. **Teoria da Relatividade Especial**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2009.

GEHLEN, S. T.; DELIZOICOV, D.. **A função do problema: aproximações entre Vygotsky e Freire para a educação em ciências.** Investigações em Ensino de Ciências, v. 25, n. 2, 2020.

GRIFFITHS, D. J.. **Eletrodinâmica**. 3 ed. São Paulo: Pearson, 2011.

LIMA, G. C.. **A ficcionalização da ciência como recurso didático no ensino médio:** investigando tópicos de relatividade do Delorean à USS Discovery. Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Polo I, 2019.

MOREIRA, M. A.. **Aprendizagem significativa**. Brasília. Editora da UnB, 1999.

MOREIRA, M. A.. **Mapas conceituais e diagramas V**. Porto Alegre. Ed. do Autor, 2006.

MOREIRA, M. A.. **Metodologias de pesquisa em ensino**. São Paulo. Editora Livraria da Física, 2011.

- MOREIRA, M. A.. **Teorias de aprendizagem**. São Paula. EPU, 1999.
- MOREIRA, M. A.; MANSINI, E. A. F. S.. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo. Editora Moraes, 1982
- NAGUMO, E.; TELES, L. F.. **Checagem da veracidade do conteúdo de vídeos do Youtube que universitários utilizam para estudar**. Scielo preprints, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.3609>>. Acesso em 2 de abril de 2024.
- NAGUMO, E.; TELES, L. F.; DE ALMEIDA SILVA, L.. **A utilização de vídeos do Youtube como suporte ao processo de aprendizagem**. Revista Eletrônica de Educação, v. 14, p. e3757008, 2020.
- NETTO, J. S.; CAVALCANTI, C. J. de H.; OSTERMANN, F.. **Dificuldades e estratégias para compreensão do conceito de emaranhamento quântico: um estudo na formação inicial de professores de Física**. Revista brasileira de pesquisa em educação em ciências. Porto Alegre. Vol. 19 (2019), p. 1-36, 2019.
- NUSSENZVEIG, H. M.. **Curso de Física Básica: vol. 4. Óptica, Relatividade, Física Quântica**. 1 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1998.
- OLIVEIRA, C. M. A.; CARVALHO, A. M. P.. **Escrevendo em aulas de Ciência**. Ciência & Educação, Bauru. v. 11, n. 3, 2005.
- OSTERMANN, F.; RICCI, T. S. F.. **Relatividade restrita no ensino médio: contração de Lorentz-Fitzgerald e aparência visual de objetos relativísticos em livros didáticos de Física**. Caderno brasileiro de ensino de física. Florianópolis. Vol. 19, n. 2 (ago. 2002), p. 176-190, 2002.
- PEREIRA, A.; JUNIOR, P. L.. **Implicações da perspectiva de Wertsch para a interpretação da teoria de Vygotsky no ensino de Física**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 31, n. 3, p. 518-535, 2014.
- PEREZ, D. G.; CASTRO, P. V.. **La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo**. Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas, v. 14, n. 2, p. 155-163, 1996.
- Rego, T. C.. **Vygotsky: uma perspectiva histórico-cultural da educação**. 2. ed. Petrópolis: Vozes, 1995.
- SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. del. P. B.. **Metodologia da Pesquisa**. 5 ed. Porto Alegre: Penso, 2013.
- SMITH, J. A.. **Psicologia Qualitativa**. 1 ed. Petrópolis: Vozes, 2019.
- SOLINO, A. P.; SASSERON, L. H.. **Investigando a significação de problemas em sequências de ensino investigativa**. Investigações em ensino de ciências, v. 23, n. 2, p. 104-129, 2018.
- STUART, R. C.; MARCONDES, M. E. R.; LAMAS, M. F. P.. **A estratégia “Laboratório Aberto” para a construção do conceito de temperatura de ebulição e a manifestação de habilidades cognitivas**. Química Nova na escola, v. 32, n. 3, p. 200-207, 2010.

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A.. **Física Moderna**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

TRIVIÑOS, A. N. S.. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: pesquisa qualitativa em educação**. 1 ed.. São Paulo: Atlas, 2015.

Vygotsky, L. S.. **A Construção do Pensamento e da Linguagem**. Tradução de Paulo Bezerra. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2009.

Vygotsky, L. S.. **A formação social da mente**. Tradução de José Copolla Neto, Luís Silveira Menna Barreto e Solange Castro Afeche. 7. Ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

Vygotsky, L. S.. **Pensamento e Linguagem**. Tradução de Jefferson Luiz Camargo. 4. Ed. São Paulo: Martins Fontes, 2008.

WATSON, F. R.. **Students discussions in practical scientific inquires**. In: International Journal Science Education, vol. 26, p. 25-45, 2004.

ZÔMPERO, A. F.; LABURÚ, C. E.. **Atividades investigativas no ensino de ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens**. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, v. 13, n. 3, p. 67-80, 2011.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A: FICHA DO 1º MOMENTO DA ATIVIDADE INVESTIGATIVA

#### Atividade Investigativa

Disciplina de Física

Relatividade Restrita

1º momento

**Turma:** \_\_\_\_\_ **Data:** \_\_\_\_\_

#### Grupo 1

Aluno 1: \_\_\_\_\_

Aluno 2: \_\_\_\_\_

Aluno 3: \_\_\_\_\_

Aluno 4: \_\_\_\_\_

**Vídeo 1:** *“Tudo sobre Contração Espacial”*



**Observações a respeito do vídeo** (erros, acertos, explicação, edição, tempo de duração, apresentação etc.).

---

---

---

---

---

---

---

---

**Problema:** O vídeo contém uma inconsistência matemática e também uma interpretação equivocada das variáveis ligadas aos referenciais, que pode acarretar erros no cálculo da contração do comprimento.

Crie hipóteses pra tentar encontrar o problema no vídeo.

### **Hipóteses**

Hip. 1:

---

---

---

---

Hip. 2:

---

---

---

---

Crie as justificativas de suas hipóteses de forma que estejam coerentes com a teoria da Relatividade Restrita.

### **Justificativas**

Just. 1:

Just. 2:

**Vídeo 2:** “*O tempo não existe para a luz*”



**Observações a respeito do vídeo** (erros, acertos, explicação, edição, tempo de duração, apresentação etc.).

---

---

---

---

---

---

---

---

**Problema:** No vídeo 2, o apresentador omiti detalhes que podem causar uma interpretação errônea, para quem assisti, sobre o fenômeno que ele se propõe a explicar.

Crie hipóteses pra tentar encontrar o problema no vídeo.

**Hipóteses**

Hip. 1:

---

---

---

---

Hip. 2:

---

---

---

---

Crie as justificativas de suas hipóteses de forma que estejam coerentes com a teoria da Relatividade Restrita.

### **Justificativas**

Just. 1:

Just. 2:

## APÊNDICE B: FICHA DO 2º MOMENTO DA ATIVIDADE INVESTIGATIVA

**Atividade Investigativa**

Disciplina de Física

Relatividade Restrita

2º momento

**Turma:** \_\_\_\_\_ **Data:** \_\_\_\_\_**Grupo 1**

Aluno 1: \_\_\_\_\_

Aluno 2: \_\_\_\_\_

Aluno 3: \_\_\_\_\_

Aluno 4: \_\_\_\_\_

**Vídeo 1:** *“Tudo sobre Contração Espacial”*

**Problema:** O vídeo contém uma inconsistência matemática e também uma interpretação equivocada das variáveis ligadas aos referenciais, que pode acarretar erros no cálculo da contração do comprimento.

Escreva sua hipótese mais coerente sobre o problema no vídeo.

**Hipótese**

---

---

---

---

Escreva a justificativa de sua hipótese de forma que esteja coerente com a teoria da Relatividade Restrita.

**Justificativa**

**Vídeo 2:** *“O tempo não existe para a luz”*

**Problema:** No vídeo 2, o apresentador omiti detalhes que podem causar uma interpretação errônea, para quem assisti, sobre o fenômeno que ele se propõe a explicar.

Escreva sua hipótese mais coerente sobre o problema no vídeo.

**Hipótese**

---

---

---

---

Escreva a justificativa de sua hipótese de forma que esteja coerente com a teoria da Relatividade Restrita.

**Justificativa**

## APÊNDICE C: PROVA

SECRETARIA DE EDUCAÇÃO E DESPORTO ESCOLAR DO AMAZONAS – SEDUC–AM  
 ESCOLA ESTADUAL MARECHAL HERMES  
 DISCIPLINA DE FÍSICA

## AVALIAÇÃO 2 – 4º BIMESTRE

ALUNO (A): \_\_\_\_\_

TURMA: \_\_\_\_\_ . DATA: \_\_\_\_\_ . NOTA: \_\_\_\_\_

## RELATIVIDADE RESTRITA

**1)** Imagine que você está em um trem sem janelas, que se desloca suavemente pelos trilhos. Usando uma corda com uma esfera de massa  $m$  presa na ponta, como você determinaria seu estado de movimento:

**a)** Segurando a esfera em uma mão e a ponta da corda em outra, se a corda fica frouxa, sou um referencial inercial e se a corda fica tensa sou um referencial não inercial.

**b)** Pendurando a outra ponta da corda no teto do vagão, se a esfera não se mexer estarei em repouso ou se movendo com velocidade constante e se a esfera formar um ângulo com a vertical estarei acelerando.

**c)** É impossível determinar meu estado de movimento nessas condições.

**d)** Pendurando a outra ponta da corda no teto do vagão, se a esfera não se mexer estarei acelerando e se a esfera formar um ângulo com a vertical estarei em repouso ou se movendo com velocidade constante.

**2)** De acordo com nossas aulas, assinale a alternativa que descreve corretamente qual era o objetivo do experimento de Michelson e Morley.

**a)** Provar que a velocidade da luz é a mesma em qualquer referencial, independente do movimento da fonte.

**b)** obter dados que provassem que as leis da Física são as mesmas em todos os referenciais inerciais.

**c)** Provar que o éter é uma função orgânica oxigenada, volátil e altamente inflamável.

**d)** Provar a existência do Éter através da medida da velocidade da Terra em relação a luz.

**3)** Indique qual das alternativas enuncia corretamente o conceito de Referencial Inercial.

**a)** É todo e qualquer referencial onde é válida a 2ª lei de Newton.

**b)** É todo e qualquer referencial que esteja em rotação com relação aos demais referenciais.

**c)** São os referenciais onde a lei da inércia (1ª lei de Newton) não é válida.

**d)** São referenciais onde a lei da inércia é válida, ou seja, todo e qualquer referencial que esteja em repouso ou se movendo com velocidade constante em relação aos demais.

**4)** Com o advento da teoria da relatividade de Einstein, alguns conceitos básicos da Física de Newton, entre eles o espaço e o tempo, tiveram de ser revisitos. Qual a diferença substancial desses conceitos para as duas teorias?

**a)** Na a Física de Newton, espaço e tempo são absolutos. Na relatividade restrita o espaço se dilata e o tempo se contrai.

**b)** Na Física de Newton, o espaço se dilata e o tempo é absoluto. Na relatividade restrita o espaço se contrai e o tempo se dilata.

**c)** Na Física de Newton, o espaço é absoluto e o tempo se contrai. Na relatividade restrita, o espaço se dilata e o tempo é absoluto.

**d)** Na Física de Newton, o espaço é absoluto e o tempo é absoluto. Na relatividade restrita o espaço se contrai e o tempo se dilata.

**e)** Na Física de Newton, o espaço se contrai e o tempo se dilata. Na relatividade restrita o espaço é absoluto e o tempo é absoluto.

**5)** Einstein publicou a teoria da Relatividade Restrita em 1905. De acordo com o que foi visto em nossas aulas, é correto afirmar que o problema investigado por Einstein para que ele concebesse a Relatividade Restrita foi:

**a)** Na indução eletromagnética, qual seria o referencial correto para medir a corrente induzida produzida em uma espira condutora, pelo movimento relativo entre o ímã e a espira circular.

**b)** O resultado negativo do experimento de Michelson e Morley que acabou por provar que a velocidade da luz era constante independente do referencial e do movimento da fonte.

**c)** O problema da observação de eventos que são simultâneos em um referencial, mas que não são simultâneos quando observados de outro referencial.

**d)** O problema do paradoxo dos gêmeos.

6) Considere o parágrafo abaixo.

Uma nave espacial, aproximando-se da Terra com uma velocidade constante  $V$ , emite um sinal luminoso na direção da superfície da Terra. Um observador dentro da nave mede a velocidade da luz e encontra o valor  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ . Um observador na Terra, por sua vez, por achar que se trata apenas de um caso comum de soma de velocidades, encontra  $c + V$ . Hoje sabemos que a medida do observador na Terra estaria errada, pois este deveria ter encontrado o mesmo valor  $c$ , graças aos experimentos de Michelson e Morley, de 1887, e, fundamentalmente, devido aos famosos trabalhos de Albert Einstein, realizados em 1905.

Dentre as alternativas abaixo, assinale aquela que corresponde ao enunciado do segundo postulado da relatividade especial de Einstein.

- a) A aceleração da luz no vácuo é sempre a mesma em qualquer sistema de referência inercial e não depende do movimento do observador ou da fonte.
- b) A velocidade da luz no ar é sempre a mesma em qualquer sistema de referência inercial e não depende do movimento do observador ou da fonte.
- c) A quantidade de movimento da luz no vácuo é variável em qualquer sistema de referência acelerado e depende do movimento do observador ou da fonte.
- d) A velocidade da luz no vácuo é sempre a mesma em qualquer referencial inercial e não depende do movimento do observador ou da fonte.
- e) A aceleração da luz no éter é diferente em qualquer sistema de referência inercial e não depende do movimento do observador ou da fonte.

7) Nos dias atuais, há um sistema de navegação de alta precisão que depende de satélites artificiais em órbita (*GPS*), em torno da Terra. Para que não haja erros significativos nas posições fornecidas por esses satélites, é necessário corrigir relativisticamente o intervalo de tempo medido pelo relógio a bordo de cada um desses satélites. A teoria da relatividade especial prevê que, se não for feito esse tipo de correção, um relógio a bordo não marcará o mesmo intervalo de tempo que outro relógio *em repouso* na superfície da Terra, mesmo sabendo-se que ambos os relógios estão sempre em perfeitas condições de funcionamento e foram sincronizados antes de o satélite ser lançado.

Se não for feita a correção relativística para o tempo medido pelo relógio de bordo:

- a) ele se adiantará em relação ao relógio em terra enquanto ele for acelerado em relação à Terra.
- b) ele ficará cada vez mais adiantado em relação ao relógio em terra.
- c) ele se atrasará em relação ao relógio em terra durante metade de sua órbita e se adiantará durante a outra metade da órbita.
- d) ele ficará cada vez mais atrasado em relação ao relógio em terra.

8) Imagine que daqui alguns anos, o telescópio James Webb descubra um planeta que reúna todas os requisitos para sustentar a vida. Foi calculado que com a nave mais rápida já construída, o tempo de viagem seria de 20.000 anos medido a partir da Terra e de apenas 20 anos quando medido no referencial próprio da nave em movimento. Determine a velocidade dessa nave.

- a)  $V = 0,9999962c$
- b)  $V = 0,9999867c$
- c)  $V = 0,8999695c$
- d)  $V = 0,9999995c$

9) Duas irmãs, Samilly com 17 anos e Jamile com 15 anos, se encontram na Terra no momento em que a irmã mais velha inicia uma viagem de ida e volta até um planeta do sistema Alpha Centauri. Para a irmã mais nova que ficou na Terra, a viagem terá uma duração de 8 anos. Sabendo que a nave espacial tem uma velocidade de  $V = 0,968c$ , é correto afirmar ao fim da viagem, sobre a idade das irmãs, que

- a) Samilly terá 19 anos e Jamile 23 anos
- b) Samile terá 23 anos e Jamile 23 anos
- c) Samilly terá 23 anos e Jamile 19 anos
- d) Samilly terá 40 anos e Jamile 27 anos

10) Suponha estar vendo uma barra de 100 m de comprimento passando com uma velocidade  $V = 0,8c$  em relação a você. Qual seria a sua medida do comprimento da barra?

- a) 60 m.
- b) 56 m
- c) 10 m
- d) 64 m

## APÊNDICE D

*Observação: os destaques em vermelho não constavam na versão respondida pelos alunos*

## QUESTIONÁRIO 1

- **BLOCO 1: Tipo de material, tempo de duração, edição, elementos gráficos, animações, qualidade de áudio e vídeo.**

1. Você costuma assistir vídeos na web?  
 Sim  Não   
 Se sim, indique qual plataforma você utiliza com mais frequência:  
 a) You Tube  
 b) Instagram  
 c) Tik Tok  
 d) Outro: \_\_\_\_\_
2. Sobre o tempo de duração de um vídeo, você prefere que seja:  
 a) Curto (15s a 60s)  
 b) Médio (60s a 5min)  
 c) Longo (5min a 20min)
3. Você considera os vídeos como uma ferramenta útil para esclarecer algum conceito que tenha sido difícil de entender em sala de aula ou para auxiliar na elaboração de trabalhos escolares?  
 Sim  Não   
 Se sim, você prefere que o vídeo seja:  
 a) Curto (15s a 60s) com resumo do conteúdo.  
 b) Médio (60s a 5min) com resumo e exemplos  
 c) Longo (5min a 20min) com aprofundamento do conteúdo e maior quantidade de exemplos.
4. Quando você precisa pesquisar sobre um determinado assunto para elaborar um trabalho, estudar para prova, resolver exercícios e fazer atividades, qual é a sua abordagem preferida? Marque a opção que melhor descreve sua preferência:  
 a) Assisto a vídeos sobre o assunto diretamente.  
 b) Começo procurando em livros físicos.  
 c) Pesquiso primeiramente em sites e blogs.  
 d) Opto primeiramente por material em PDF
- **BLOCO 2: Canal, inscritos, curtidas, forma de apresentação.**
5. Quando deseja encontrar um vídeo relacionado a tópicos de Ciências, seja para resolver um exercício, realizar um trabalho, estudar para uma prova ou apenas por curiosidade, como costuma fazer a sua escolha?  
 a) pelo canal de um influenciador que você já conhece.  
 b) sua escolha é aleatória  
 c) seleciona vários vídeos para analisar e escolher o que considera o melhor  
 d) primeiro que aparecer na pesquisa  
 e) aquele vídeo com maior número de visualizações

6. Se tratando de aspectos como edição, conteúdo e apresentação, ao selecionar um vídeo, qual fator você considera mais relevante?"
- A abordagem descontraída e bem-humorada do apresentador ao explicar o conteúdo.
  - Elementos visuais, efeitos sonoros e animações que contribuam para manter seu interesse no vídeo.
  - Uma explicação teórica sólida, direcionada ao conteúdo específico do vídeo, que não possua tantos elementos visuais, efeitos sonoros e animações.
- **BLOCO 3: Conceitos científicos presentes no vídeo, domínio, clareza e confiança nas informações.**
7. Você já teve a oportunidade de assistir ou costuma acompanhar vídeos de divulgação científica, tais como os produzidos por *YouTubers* ou influenciadores que exploram uma gama diversificada de temas científicos com o intuito de informar o público?  
Sim  Não
8. Em relação a vídeos que tratem sobre temas científicos, sua preferência é que seja:
- Curto (15s a 60s)
  - Médio (60s a 5min)
  - Longo (5min a 20min)
9. No contexto da apresentação de um vídeo, seja ele de divulgação científica ou uma videoaula, qual desses elementos você considera mais importante?
- Profundo conhecimento do conteúdo por parte do apresentador.
  - A habilidade do apresentador em criar um ambiente descontraído, incorporar humor e manter uma abordagem informal.
  - A formação acadêmica do apresentador em relação ao tema abordado.
10. Em vídeos que abordam tópicos relacionados às ciências da natureza, indique o seu nível de confiança nas informações científicas apresentadas pelo apresentador ou influenciador:
- Confio completamente.
  - Tenho confiança parcial.
  - Sempre mantenho um grau de desconfiança.
  - Minha confiança depende do canal, apresentador/influenciador que veicule o vídeo.

## APÊNDICE E

*Observação: os destaques em vermelho não constavam na versão respondida pelos alunos*

### Questionário 2

- **Percepções dos alunos quanto a prática com Ensino por Investigação**

1. Em relação as avaliações realizadas, qual foi melhor para você?

a) Atividade investigativa

b) Prova escrita

b) Lista de Exercícios

2. Sobre avaliações práticas, como a Atividade Investigativa realizada, e o aprendizado de Física, você acha que:

a) A atividade investigativa contribui mais do que uma prova escrita.

b) A prova escrita contribui mais do que a atividade investigativa.

c) Uma lista de exercícios e uma prova contribui mais do que a atividade investigativa.

3. Sobre esse modelo de avaliação (Atividade Investigativa), se adotado em outras disciplinas como por exemplo Química, Biologia, Matemática, Língua Portuguesa e História

a) Poderia melhorar seu entendimento acerca de tópicos dessas disciplinas.

b) Seria indiferente, pois os outros professores já trabalham dessa forma.

c) Não iria melhorar o entendimento, pois os assuntos de outras disciplinas não podem ser abordados com atividade investigativa.

- **Percepções dos alunos quanto ao uso de vídeos**

4. Em vídeos que abordam tópicos relacionados às ciências da natureza, indique o seu nível de confiança nas informações científicas apresentadas pelo apresentador ou influenciador:

a) Confio completamente.

b) Tenho confiança parcial.

c) Sempre mantenho um grau de desconfiança.

d) Minha confiança depende do canal, apresentador/influenciador que veicule o vídeo.

5. Após o que foi visto em nossas aulas, atividade investigativa e prova, você se acha capaz de identificar **graves equívocos** sobre a teoria da relatividade restrita na fala de alguém ou em algum vídeo sobre o tema.

Sim  Não  Talvez

- **Percepções dos alunos quanto as interações entre aluno-aluno aluno-professor na prática realizada.**

6. Sobre o fato de a atividade investigativa ter sido realizada em grupo.

a) Contribuiu para a resolução do problema devido a troca de ideias entre os integrantes do grupo.

b) Contribuiu pouco, já que as tarefas (etapas do trabalho) foram divididas para cada integrante.

c) Indiferente, não faria diferença nenhuma caso não tivesse sido em grupo já que não houve contribuição dos outros integrantes do grupo.

7. Sobre as intervenções do professor durante a realização da atividade investigativa.

a) Contribuíram muito, pois nos permitiu saber se estávamos no caminho certo da atividade.

b) Contribuiu pouco, pois já tínhamos captado a ideia de como deveria ser realizado a atividade.

b) Foi indiferente, pois não consegui entender a atividade nem as explicações do professor

8. Considerando o papel do professor em sala de aula e as inconsistências encontradas nos vídeos em nossa atividade investigativa, responda sim ou não para os questionamentos.

Você acredita que as aulas do professor podem ser substituídas por aulas em vídeo, sendo o papel do professor apenas de orientador em sala de aula?

Sim  Não

Você acredita que a figura de autoridade intelectual do professor, em relação a uma vídeo aula, ainda é fundamental para o processo de aprendizagem?

Sim  Não

Você acredita que os vídeos podem ser uma ferramenta a mais de aprendizado, mais que as aulas do professor em sala (presenciais) ainda são fundamentais?

Sim  Não

Você acredita que as aulas em sala deveriam ser substituídas completamente por vídeo aulas, sendo o papel do professor apenas de aplicar provas?

Sim  Não

• **Percepções dos alunos quanto ao tema de Relatividade**

9. Sobre o tema da Física abordado em nossas aulas (Relatividade Restrita) responda.

a) Achei o tema interessante, pois consegui captar as principais ideias da teoria.

b) Achei interessante, mas compreendi só parte da teoria.

b) Indiferente, pois não consegui compreender quase nada da teoria.

10. Sobre o formalismo matemático usado na relatividade, indique o que você achou do grau de dificuldade para o entendimento.

a) Alto

b) Moderado

c) Baixo

## APÊNDICE F: PLANO DE AULA

Professor: Kennedy Rufino Batista

Metodologia de ensino: Ensino por Investigação

Período: 16 de outubro à 10 de novembro de 2023.

COMPONENTE CURRICULAR		Física							
UNIDADE TEMÁTICA		Terra e Universo							
COMPETÊNCIA ESPECÍFICA		Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.							
HABILIDADE	PASSOS	OBJETIVO	CONHECIMENTO PRÉVIO	C.H	OBJETO DE CONHECIMENTO	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO		RECURSOS	AVALIAÇÃO
						PROFESSOR	ALUNO		
(EM13CNT205) Interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas noções de probabilidade e incerteza, reconhecendo os limites explicativos das ciências.	1º	Organizar a turma para os demais passos.	Vídeos de divulgação científica; Conhecer ambientes digitais de compartilhamento de dados como WhatsApp e Google sala de aula.	1	Aspectos gerais e superficiais de Relatividade Restrita	Aplicar os questionários.	Responder os questionários.	Projetor Multimídia;  Animações e imagens que melhorem a percepção dos alunos sobre o tema;  Vídeos com links em Qr code.  Celular para assistirem os vídeos;	A avaliação será contínua, onde consideraremos a participação do aluno em cada etapa, e também:  Questionários de verificação  Ficha do plano de trabalho preenchida;  Relatório final;
						Orientar a turma para formação dos grupos.	Se organizarem em grupos de quatro integrantes e repassar os nomes para o professor.		
						Criar um ambiente para compartilhamento de materiais.	Informar o e-mail para serem inseridos no ambiente criado pelo professor		
(EM13CNT204) Elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito dos movimentos de	2º	Compreender o contexto do surgimento da Teoria da Relatividade Restrita, os postulados, a	Definição de movimento em relação a um referencial. Velocidade. Lei da inércia.	3	Contexto Histórico da Teoria da Relatividade Restrita. Postulados da Relatividade Restrita.	Elaborar e ministrar aulas em slides com maior clareza possível.	Assistir as aulas, anotando o que acharem importante e questionar o professor no caso de dúvidas.	Pincel;  Apagador;	Prova.  Questionário final.

objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros).		simultaneidade, a dilatação do tempo e a contração do espaço.			Relatividade da Simultaneidade. Dilatação do tempo. Contração do espaço.	Apresentar exemplos de situações sobre dilatação do tempo e contração do espaço, com imagens e vídeos.	Observar os exemplos com atenção e fazer perguntas ao professor	Quadro.	
						Questionar os alunos para saber sua opinião sobre a Relatividade	Responder as provocações do professor.		
	3º		Analisar, nos vídeos, aspectos conceituais, edição, apresentação, tempo de duração, clareza nas informações.	Contexto Histórico da Teoria da Relatividade Restrita. Postulados da Relatividade Restrita. Relatividade da Simultaneidade. Dilatação do tempo. Contração do espaço.	2	Simultaneidade. Dilatação do tempo. Contração do espaço. Aspectos que melhorem a qualidade do vídeo.	Orientar os alunos para realização das atividades dessa etapa.		Ficar atento as orientações dadas aos grupos e anota-las se necessário.
							Entregar a ficha do plano de trabalho aos grupos.		Receber a ficha do plano de trabalho e fazer seus questionamentos sobre.
							Orientar os grupos quanto aos procedimentos que devem seguir, como apontar um problema, elaborar hipóteses e justificativas para resolução deste.		Identificar equívocos ou acertos conceituais dos vídeos, elaborar hipóteses e justificativas para a solução/melhoria do problema identificado pelo

							grupo nos vídeos.		
						Entregar a relação de vídeos apropriados e explicar a sua função.	Questionar o professor em caso de dúvidas.		
	4º	Melhorar a escrita das hipóteses e justificativas, apontando inconsistências e acertos dos vídeos.	Contexto Histórico da Teoria da Relatividade Restrita. Postulados da Relatividade Restrita. Relatividade da Simultaneidade. Dilatação do tempo. Contração do espaço.	1	Simultaneidade. Dilatação do tempo. Contração do espaço. Aspectos que melhorem a qualidade do vídeo.	Atender os grupos individualmente para verificar o que fizeram.	Mostrar ao professor suas respostas, hipóteses justificativas.		
						Apontar de maneira sucinta melhorias que podem ser feitas para que suas hipóteses e justificativas fiquem coerentes com a teoria.	Se atentar as orientações do professor e com base nelas, realizar as melhorias sugeridas.		
						Entregar uma nova ficha para os grupos para que possam passar fazer as devidas melhorias.	Receber a nova ficha e fazer as correções sugeridas pelo professor.		

	5°	Aplicar uma prova com questões de Relatividade restrita. Aplicar o questionário para verificar as percepções dos alunos.	Contexto Histórico da Teoria da Relatividade Restrita. Postulados da Relatividade Restrita. Relatividade da Simultaneidade. Dilatação do tempo. Contração do espaço.	1	Contexto Histórico da Teoria da Relatividade Restrita. Postulados da Relatividade Restrita. Relatividade da Simultaneidade. Dilatação do tempo. Contração do comprimento.	Orientar os grupos quanto realização da prova.	Receber com atenção as orientações do professor sobre a prova.		
						Aplicar a prova com questões de Relatividade Restrita e orientar os alunos quanto a resolução das questões.	Tirar dúvidas quanto a realização da prova.		
						Aplicar um questionário para saber a percepção que os alunos tiveram da prática realizada e da Relatividade Restrita.	Responder o questionário proposto pelo professor.		