



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CATALÃO (UFCAT)
UNIDADE ACADÊMICA INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

RAFAEL HENRIQUE DOS REIS

OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS E O USO DE JOGOS COMO
FACILITADORES DO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM DA
RELATIVIDADE RESTRITA DE EINSTEIN

CATALÃO (GO)

2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE FÍSICA

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

☒ Dissertação ☐ Tese ☐ Outro*: _____

*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

2. Nome completo do autor

Rafael Henrique dos Reis

3. Título do trabalho

OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS E O USO DE JOGOS COMO FACILITADORES DO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM DA RELATIVIDADE RESTRITA DE EINSTEIN

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento ☒ SIM ☐ NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

- a)** consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);
- b)** novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Eduardo Gonçalves De Assis, Professor do Magistério Superior**, em 06/06/2023, às 16:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **RAFAEL HENRIQUE DOS REIS, Discente**, em 07/06/2023, às 14:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3806525** e o código CRC **08D0AB9F**.

RAFAEL HENRIQUE DOS REIS

OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS E O USO DE JOGOS COMO
FACILITADORES DO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM DA
RELATIVIDADE RESTRITA DE EINSTEIN

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, da Unidade Acadêmica Instituto de Física, da Universidade Federal de Catalão (UFCAT), como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Educação Básica. Linha de pesquisa: Física no Ensino Médio. Orientador:
Dr. Paulo Eduardo Gonçalves de Assis

CATALÃO (GO)

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Reis, Rafael Henrique dos
Os Três Momentos Pedagógicos e o uso de jogos como
facilitadores do processo de ensino e aprendizagem da Relatividade
Restrita de Einstein / Rafael Henrique dos Reis - **Catalão**: UFCat / IF,
2023.

xiv, 119f.

Orientador: Dr. Paulo Eduardo Gonçalves de Assis
Dissertação (mestrado) – UFCat / Instituto de Física /
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2023.

1. Ensino de Física. 2. Jogos. 3. Relatividades Restrita. I.
Assis, Paulo Eduardo Gonçalves de. II. Universidade Federal de
Catalão, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino
de Física. III. Os Três Momentos Pedagógicos e o uso de jogos como
facilitadores do processo de ensino e aprendizagem da Relatividade
Restrita de Einstein.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE FÍSICA

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº 4 da sessão de Defesa de Dissertação de **RAFAEL HENRIQUE DOS REIS**, que confere o título de **Mestre em Ensino de Física**, na área de concentração em **Física na Educação Básica**.

Aos vinte e sete dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e três, a partir das 09:00, na sala virtual, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada “OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS E O USO DE JOGOS COMO FACILITADORES DO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM DA RELATIVIDADE RESTRITA DE EINSTEIN”, nas dependências da Universidade Federal de Catalão, onde os programas de pós-graduação stricto sensu em funcionamento encontram-se provisoriamente vinculados à Universidade Federal de Goiás, em virtude de procedimentos técnicos relacionados à CAPES, já sendo realizada a transferência da Biblioteca Digital de Dissertações e Teses (BDTD). Assim, justifica-se os nomes das instituições neste documento, uma no cabeçalho (UFG), outra no corpo do texto (UFCAT). Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor **PAULO EDUARDO GONÇALVES DE ASSIS (PPGEF/UFCAT)**, com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor **ESLEY SCATENA GONÇALES (UFSC)**, membro titular externo; Professor Doutor **MARCIONILIO TELES DE OLIVEIRA SILVA (PPGEF/UFCAT)**, membro titular interno, Professor Doutor **MAURO ANTÔNIO ANDREATA (PPGEF/UFCAT)**, membro titular interno, cuja participação ocorreu através de videoconferência. Durante a arguição, os membros da banca não fizeram sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato **APROVADO** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor **PAULO EDUARDO GONÇALVES DE ASSIS (PPGEF/UFCAT)**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos vinte e sete dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e três.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Esley Scatena Gonçalves, Usuário Externo**, em 27/06/2023, às 15:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcionilio Teles De Oliveira Silva, Professor do Magistério Superior**, em 27/06/2023, às 16:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Eduardo Gonçalves De Assis, Professor do Magistério Superior**, em 30/06/2023, às 15:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Mauro Antonio Andreato, Professor do Magistério Superior**, em 03/07/2023, às 18:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3806217** e o código CRC **B8B4BD0E**.

Referência: Processo nº 23070.030155/2023-47

SEI nº 3806217

OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS E O USO DE JOGOS COMO
FACILITADORES DO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM DA
RELATIVIDADE RESTRITA DE EINSTEIN

Rafael Henrique dos Reis

Orientador:

Dr. Paulo Eduardo Gonçalves de Assis

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovado em 27 de fevereiro de 2023.

Dr. Esley Scatena Gonçalves

Dr. Marcionilio Teles de Oliveira Silva

Dr. Mauro Antônio Andreatta

CATALÃO (GO)

2023

Dedico esta dissertação à minha família, aos meus amigos e ao corpo docente da UFCat que tanto contribuíram para essa formação profissional.

AGRADECIMENTOS

Ao professor orientador Dr. Paulo Eduardo Gonçalves de Assis por abraçar as minhas ideias e muito colaborar no desenvolvimento de cada uma delas;

À SBF e ao MNPEF por oferecer esse curso de Mestrado;

Aos professores que fizeram parte da minha trajetória durante o programa, tanto na questão de ensino e aprendizagem quanto na questão de convivência;

Aos colegas que caminharam juntos comigo durante o curso e trocando experiências;

Aos meus familiares e amigos que estiveram ao meu lado durante o curso;

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

RESUMO

Nesta dissertação, apresenta-se o processo de concepção, desenvolvimento, aplicação e avaliação de um produto educacional para o ensino de Física, voltado a estudantes do Ensino Médio interessados em aprender os fundamentos básicos da teoria da Relatividade Restrita de Einstein por meio de atividades lúdicas. Além de ser um tema que chama bastante atenção e que se faz presente no cotidiano, é um assunto da Física Moderna que contribuiu para uma evolução significativa da ciência e da tecnologia. Nesse sentido, o trabalho foi desenvolvido com os alunos logo após a pandemia, em regime completamente presencial, e foram levadas em consideração as dificuldades enfrentadas durante os dois anos de aulas online, em que muitos não conseguiram se adaptar a modalidade de ensino e outros por não conseguirem assistir por falta de equipamentos ou internet.

Palavras-chave: Ensino de Física, Jogos, Relatividade Restrita.

ABSTRACT

In this dissertation, we present the process of conception, development, application and evaluation of an educational product for teaching Physics, aimed at high school students interested in learning the basics of Einstein's theory of Special Relativity through playful activities. In addition to being a topic that draws a lot of attention and is present in everyday life, it is a subject of Modern Physics that has contributed to a significant evolution of science and technology. In this sense, the work was developed with students right after the pandemic, in a completely face-to-face regime, and the difficulties faced during the two years of online classes were taken into account, in which many were unable to adapt to the teaching modality and others unable to attend due to lack of equipment or internet.

Keywords: Physics Teaching, Games, Special Relativity.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. RELATIVIDADE ESPECIAL COMO UMA ABORDAGEM DE NOVOS ASPECTOS DE MECÂNICA NO ENSINO MÉDIO.....	4
2.1 O pensamento aristotélico, o Princípio da Relatividade de Galileu e a Mecânica Newtoniana.....	4
2.2 Relatividade de Einstein.....	10
2.3 A velocidade da luz.....	11
2.4 A constância da velocidade da luz no vácuo.....	14
2.5 Relatividade da simultaneidade.....	14
2.6 Transformação de Lorentz.....	17
2.7 Adição de velocidades.....	19
2.8 Dilatação do tempo.....	20
2.9 Contração do comprimento.....	21
3. OS MOMENTOS PEDAGÓGICOS DE DELIZOICOV PARA O ENSINO DE RELATIVIDADE.....	24
3.1 O ensino de Física Moderna no Ensino Médio.....	24
3.2 Os Três Momentos Pedagógicos de Demétrio Delizoicov.....	25
3.2.1 Problematização inicial.....	27
3.2.2 Organização do conhecimento.....	28
3.2.3 Aplicação do conhecimento.....	29
3.3 O uso de jogos lúdicos no processo de ensino-aprendizagem.....	30
4. COMO ENSINAR RELATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO.....	32
4.1 Problematização, organização e aplicação do conhecimento.....	32
4.2 Aprender brincando.....	33
4.3 Planejamento de execução das aulas.....	34
5. A CONSTRUÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL.....	36
6. APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL.....	41
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
APÊNDICE.....	54

Apêndice A – Questionário relacionado a Teoria da Relatividade de Galileu e a Restrita de Einstein.....	54
Apêndice B – Produto Educacional.....	61

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A Física é uma ciência fascinante, seja pelos seus feitos e contribuições para o desenvolvimento de diversas áreas do conhecimento e da própria sociedade, ou mesmo pela complexidade de algumas de suas ideias. O avanço de tecnologias está intrinsecamente ligado à evolução dessa ciência. Sendo assim, percebe-se a necessidade em ensinar novos conteúdos aos alunos e de forma eficiente, de modo que eles realmente compreendam o assunto e não apenas o decore para a realização de uma avaliação.

Para ensinar, é necessário, além de domínio do conteúdo, habilidade em como estabelecer essa ponte entre o conhecimento e o educando. Essa tarefa tem chamado a atenção de muitos pesquisadores que se preocupam em encontrar metodologias de ensino que facilitem o processo de ensino e aprendizagem de diversas áreas do conhecimento.

Em toda a história, sabe-se que o tipo de ensino adotado na maioria das escolas, sempre foi o tradicional, algumas vezes apelidado de “ensino bancário”, em que os alunos ficam sentados em fila e o professor fica na frente expondo e explicando o conteúdo na lousa, sem muita interação com os aprendizes. Esse tipo de ensino ainda é o mais utilizado nas escolas e em instituições de ensino superior, ainda que para estas últimas, esse método tenha um bom resultado, dada a maturidade dos alunos, a sua bagagem intelectual e o seu compromisso com o conhecimento, ou seja, muitos conseguem se adaptar a essa forma de ensino.

Entretanto, a maior dificuldade é encontrada no Ensino Fundamental e Médio, em que muitos alunos não tiveram um bom alicerce educacional. Além disso, os estudantes dispõem de muita informação e até tecnologia que competem pela sua atenção quando o assunto da aula não lhes parece interessante. Sendo assim, é imprescindível procurarmos formas mais eficazes de ensino e que despertem, nos educandos, o prazer em aprender.

Nesse sentido, a utilização de jogos no processo de ensino-aprendizagem pode ser considerada uma ferramenta de grande potencial, pois desperta a curiosidade dos alunos primeiramente por se tratar de um jogo. Isso torna a aula mais dinâmica e o professor deixa de ser o principal personagem da aula, passando a vez para os estudantes e permitindo maior interação entre

os educandos. Sendo assim, os jogos tornam a aula mais lúdica, ou seja, mais prazerosa para o aluno, fazendo-o se envolver mais e aprendendo o conteúdo.

A Física está em constante evolução. Muitos são os estudiosos que dedicaram, e outros que ainda dedicam, grande parte de suas vidas a pesquisas que levam a novas descobertas e, posteriormente, ao desenvolvimento de novas tecnologias. Sabe-se que a Teoria da Relatividade Especial já existe há mais de um século e, a partir de sua formulação, a curiosidade científica de muitos pesquisadores contribuiu para seu progresso, a ponto de hoje estarmos rodeados de tecnologias que possuem algum laço com essa teoria proposta por Einstein, em 1905, como por exemplo, sistemas de GPS (Global Positioning System). No entanto, percebe-se que, apesar de tão presente em nosso dia a dia, grande parte da população não sabe nada sobre esse tema.

Na sala de aula, esse assunto costuma chamar a atenção dos alunos, quando comentado ou trabalhado, e é conhecido também como a Teoria da Relatividade Restrita. Eles enchem os professores de perguntas e ficam muito instigados com as explicações e, muitas vezes, não aceitam facilmente as respostas apresentadas, pois, para eles, baseados em seus conhecimentos, não fazem sentido algum.

Sendo assim, ensinar a Teoria da Relatividade Especial não é uma tarefa fácil, apesar de ser um assunto fundamental para a Física Moderna e que já consta em documentos oficiais, como a Lei número 9.394, de 20 de dezembro de 1996, intitulada de Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) e nos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM), divulgado em 2000 pelo Ministério da Educação e Cultura (MEC).

Além da maior complexidade teórica, o ensino de Física Moderna no Ensino Médio é encarado como um grande desafio por parte dos professores. Alguns apresentam dificuldade em entender a teoria, elaborar metodologias para realizar a transposição didática de tais assuntos e muitas vezes até ao pouco tempo para tratar de tais temas, já que existe um cronograma imenso de conteúdos a ser cumprido antes de chegar à Física Moderna.

Assim, nesta dissertação, será apresentada uma sequência metodológica para o ensino da Relatividade Restrita de Einstein com base nos Três Momentos Pedagógicos de Demétrio Delizoicov e a utilização de jogos

como facilitadores da transposição didática sobre esse assunto. Ela tem como objetivo a elaboração, desenvolvimento, aplicação e avaliação de um produto educacional que visa facilitar o processo de ensino e aprendizagem, de forma lúdica, sobre o tema Relatividade Restrita de Einstein, abordado no Ensino Médio. Serão apresentados alguns temas como referenciais inerciais e não-inerciais, Transformações de Galileu, Transformações de Lorentz, contração espacial e dilatação temporal.

O capítulo 2 trata da parte histórica da evolução da Física e foca no tema Relatividade de Galileu e a Restrita de Einstein. Na sequência dos capítulos, é explorado os Três Momentos Pedagógicos de Demétrio Delizoicov e uma proposta didática para o ensino da Relatividade Especial de Einstein para o Ensino Médio. Por fim, é analisado um produto educacional elaborado com base nesse referencial teórico.

CAPÍTULO 2

RELATIVIDADE ESPECIAL COMO UMA ABORDAGEM DE NOVOS ASPECTOS DE MECÂNICA NO ENSINO MÉDIO

Desde os tempos antigos, a humanidade tem buscado compreender os fenômenos da natureza que ocorrem tanto na Terra quanto nos céus. Muitos pensadores dedicaram-se a elaborar teorias para tentar explicar o porquê da ocorrência de tais eventos e como eles ocorriam.

Com o passar do tempo, novas teorias foram surgindo de modo a trazer uma melhor explicação para os fenômenos. Porém, tais teorias não surgiam de forma independente. Elas levavam em conta as teorias propostas anteriormente e, a partir dos estudos já estabelecidos, elaboravam-se novas propostas a fim de ampliar ainda mais o leque de conhecimento, deixando a base mais sólida para a explicação e compreensão de tais eventos.

Muitos nomes contribuíram para a evolução da ciência, como por exemplo, Aristóteles, Arquimedes, Nicolau Copérnico, Johannes Kepler, Galileu Galilei, Isaac Newton, Hans Oersted, Michael Faraday, James Maxwell, Hendrik Lorentz, Max Planck, Albert Einstein, dentre outros.

O entendimento do processo histórico e da teoria apresentada por esses pensadores é fundamental para a continuação dessa evolução. A Física Clássica é muito trabalhada no Ensino Médio, porém a Física Moderna é pouco abordada. Segundo Landau e Rumer (1970), a Teoria da Relatividade de Einstein pareceu um devaneio para muitos estudiosos, porém se mostrou uma peça fundamental para a Física Moderna, pois amadureceu conceitos e tem resultado em aplicações tecnológicas.

Sendo assim, há a necessidade de envolver os estudantes com esses assuntos, já que fazem tanta parte do nosso dia a dia e muito contribuem para o avanço da Ciência e da Tecnologia.

2.1 O pensamento aristotélico, o Princípio da Relatividade de Galileu e a Mecânica Newtoniana

A vontade em entender os fenômenos que ocorrem na Terra e nos céus vêm desde a antiguidade e Aristóteles (384 a.C. – 332 a.C.), filósofo grego, teve grande destaque ao propor explicações para o movimento dos corpos que perduraram por aproximadamente dois milênios.

Uma das ideias defendidas por ele foi a imobilidade da Terra, pois somente assim faria sentido estarmos em equilíbrio sobre ela. Se o planeta estivesse em movimento, teríamos dificuldade em nos equilibrar sobre a sua superfície. Nesse sentido, nosso planeta estaria imóvel no centro do Universo e os outros planetas e astros estariam orbitando ao nosso redor (geocentrismo).

O mundo dos céus e o mundo da Terra eram diferentes e portanto deveriam apresentar constituições físicas diferentes. Isto ainda era reforçado pelo fato de que a Terra parecia ocupar um lugar de destaque neste cenário, a julgar-se pela constatação de que todos os corpos celestes pareciam girar ao seu redor. A própria imobilidade da Terra podia ser constatada por um fato bastante corriqueiro: lançando-se um objeto para cima este retornava, rigorosamente, ao mesmo lugar de onde partira. Se, por outro lado, a Terra estivesse em movimento (de rotação, ou de translação, ou de ambos, simultaneamente) isto, de acordo com o pensamento da época, não deveria acontecer porque enquanto o objeto estivesse no ar a Terra se deslocaria e, desta forma, o objeto cairia num ponto afastado em relação àquele do lançamento. (PEDUZZI, 1996, p. 50 - 51)

Outro argumento a favor da imobilidade da Terra foi observado nas estrelas, em que a posição relativa entre elas não variava, passando a impressão de que a “abóboda” de estrelas ficava somente girando ao redor do nosso planeta.

A Terra ser o centro do Universo e estar imóvel estava atrelada a argumentos lógicos propostos por Aristóteles. Tais argumentos faziam sentido e respondiam a vários fenômenos observados pelas pessoas.

Para Aristóteles, havia dois tipos de movimento: o natural e o violento/forçado. O primeiro é aquele que faz com que o corpo volte para o seu lugar natural, ou seja, se ele apresenta maior quantidade de terra em sua composição, ele tenderá a voltar sempre para a Terra, enquanto outros corpos, como vapores, tenderiam ir em direção ao céu. Os materiais encontrados na Terra poderiam ser compostos de até quatro elementos fundamentais: terra, fogo, água e ar. O primeiro seria o mais denso dos elementos, explicando o porquê um objeto sólido, ao ser solto, vai em direção à Terra, se movimentando verticalmente para baixo. A água seria o elemento acima da terra por apresentar densidade menor. O ar ficaria sobre a água e, o fogo, o mais leve deles, ficaria acima de todos. O movimento violento é aquele que necessita de um agente causador, como por exemplo, lançar uma pedra verticalmente para

cima. Como o elemento de maior pedrominância em uma pedra é o elemento terra, ao soltá-la, é natural ela movimentar-se verticalmente para baixo, porém se a lançarmos verticalmente para cima, o movimento é considerado forçado.

Aristóteles acreditava que o movimento natural ocorria somente na vertical. Portanto, para um objeto se movimentar horizontalmente sobre uma superfície, um agente causador (uma força) deveria atuar de forma contínua sobre o objeto, caso contrário, o mesmo pararia. Nesse sentido, o repouso é uma condição espontânea, ou seja, se o objeto estiver em seu lugar natural e for solto, tenderá a ficar em repouso e, para que se movimente, será necessário estar fora de seu lugar natural ou estar sujeito a um agente causador para forçar o movimento.

Estes fatos fizeram com que Aristóteles, ao organizar o seu sistema filosófico natural, retomasse a concepção de Empédocles segundo a qual a terra, a água, o ar e o fogo se combinariam entre si para formar todas as coisas. Ele, no entanto, colocou a restrição de que esses elementos comporiam apenas as coisas da Terra. Os corpos celestes, diferentemente, eram compostos, exclusivamente, de uma quinta substância, o éter, um elemento puro, inalterável, transparente e sem peso, que contrastava com os encontrados na Terra, que estão sujeitos a mudanças e que portanto são corruptíveis. Com isso explicava Aristóteles a decadência, o nascimento e a morte das coisas etc. na Terra e a permanência dos objetos celestes. (PEDUZZI, 1996, p. 51)

Segundo o pensamento aristotélico, durante a Idade Média, surgiu a ideia do impetus, em que o agente causador do movimento forçado transmite ao objeto uma substância que o permita continuar se movimentando por algum tempo até acabar completamente. Isso explica o fato de um objeto continuar se movimentando até parar ao o empurrarmos e perdermos o contato com ele. O impetus vai sendo consumido e, quando ele acaba, o objeto para de se movimentar.

Após um longo período, novas ideias começaram a ser propostas por diversos pensadores, de modo a colocar o pensamento aristotélico em dúvida. Galileu Galilei (1564-1642), em meados de 1600 d.C., inicia pesquisas que sustentam a ideia de mobilidade da Terra. Ele fez muitas observações, algumas das quais fazendo o uso de telescópio para fazer observações celestes, que iam no sentido oposto às ideias de Aristóteles, apresentando inconsistências nas ideias aristotélicas quanto ao movimento.

Com a utilização do telescópio, Galileu pôde apresentar algumas observações que contradiziam o fato dos corpos celestes serem perfeitamente esféricos e lisos, dos quais podemos citar a irregularidade no formato do planeta Saturno e a superfície da Lua. Em relação à ideia de que no mundo celeste, externa à órbita da Lua, os astros observados eram eternos e imutáveis, Galileu conseguiu observar uma supernova e manchas no Sol que apareciam a cada 11 anos, apresentando o argumento de que os céus sofriam modificações. Combateu também o geocentrismo, observando que luas ficavam orbitando o planeta Júpiter e registrou as fases do planeta Vênus observadas daqui da Terra, algo que poderia ser explicado considerando o Sol como sendo o centro do Universo.

Com seu telescópio, Galileu viu que existiam muito mais estrelas do que aquelas visíveis a olho nu. Viu que a Lua estava longe de ser perfeita e etérea: sua superfície era esburacada por milhares de crateras e salpicada de enormes montanhas e vales. A Lua parecia-se muito mais com a Terra do que com os objetos celestes dos aristotélicos, perfeitos e eternos. A Via Láctea, que aparentava ser um veio nebuloso de luz atravessando o céu noturno, era na verdade composta por um número incontável de estrelas. (GLEISER, 2006, p. 70)

Galileu concordava com a ideia de Aristóteles, em que o repouso é uma condição espontânea, porém diferia ao acreditar que o movimento uniforme, com velocidade constante, também seria uma condição espontânea. Ele defendia a ideia de que se um corpo é deixado em repouso, espontaneamente ele continuará em repouso, e se ele for deixado em movimento, ele espontaneamente continuará em movimento, ou seja, não será necessário a atuação de um agente causador de modo contínuo para que o objeto permaneça em movimento.

Nesse cenário, Galilei tenta entender e explicar o que causa essas condições espontâneas de repouso e movimento (BASSALO, 1997). Sendo assim, ele atribui aos corpos uma propriedade que os mesmos possuem denominada de inércia e que explica o fato dos objetos tenderem a permanecer no mesmo estado em que se encontravam, ou seja, se estava em repouso tende a continuar em repouso e, se estava em movimento, tende a continuar em movimento. Essa propriedade foi desenvolvida e aprimorada por ele, porém seu conceito mais completo e sofisticado foi apresentado por Isaac Newton.

Em relação aos objetos que paravam ao serem empurrados em uma superfície horizontal, Galileu argumentou que o mesmo ocorria porque existia atrito, ou seja, que as superfícies não eram perfeitamente lisas e isso provocava a diminuição da velocidade. E se as superfícies fossem perfeitamente lisas, o que aconteceria? Para desenvolver as ideias, Galileu desenvolveu experimentos mentais lógicos, já que naquele período não haviam tantos recursos para fazer o estudo de forma mais precisa.

Com essa ideia de inércia e de corpos em movimento continuar movimentando-se, Galileu tenta argumentar o fato de que observarmos astros orbitando a Terra e não o contrário é apenas uma questão de relatividade de movimento e, o fato de não sentirmos a Terra se movimentando, é porque estamos nos movimentando junto a ela. Dessa forma, dizer que a Terra gira em torno do Sol é equivalente a dizer que o Sol gira em torno da Terra, ou seja, os movimentos podem ser considerados relativos.

Outra situação em que podemos perceber a relatividade é a de duas pessoas que correm no mesmo sentido e com a mesma velocidade. Nesse caso, podemos afirmar que a velocidade relativa entre elas é nula, pois o tempo passa e a distância entre elas não varia, ou seja, elas estão em repouso entre si, porém em movimento em relação a uma pessoa que esteja parada em relação ao solo.

Como a ideia de inércia proposta por Galileu estava ganhando força entre os pensadores, Isaac Newton (1643-1727) se aprofundou nesse estudo e o aprimorou até o tornar uma lei, conhecida como a Primeira Lei de Newton ou a Lei da Inércia. De acordo com seus estudos, a inércia é uma propriedade dos corpos em se manter em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme (MRU). Nesse sentido, um corpo livre de interações, se estiver em repouso tende a continuar em repouso ou se estiver movimento retilíneo e uniforme tende a permanecer se movimentando em linha reta e com velocidade constante.

De acordo com a primeira lei de Newton, se o livro está em repouso sobre a mesa, ele deve permanecer em repouso. O mesmo princípio pode ser aplicado a um disco de hóquei se deslocando sobre uma superfície horizontal sem atrito: a soma vetorial da reação de apoio da superfície para cima e da força da gravidade para baixo é igual a zero. Uma vez iniciado o movimento do disco, ele deve continuar com velocidade

constante porque a força *resultante* atuando sobre ele é igual a zero. (YOUNG e FREEDMAN, 2016, p.115)

A Lei da Inércia estabelece os referenciais considerados inerciais, ou seja, que tendem a preservar o estado de repouso ou de movimento retilíneo e uniforme em que se encontrava. Caso o referencial esteja sujeito a variações de velocidade ou de direção, ele deixa de ser considerado inercial. Um ônibus no qual a Segunda Lei é válida e a aceleração resultante não depende apenas das forças que atuam sobre o sistema, devendo ser incluídas forças chamadas inerciais, um avião, um trem e até um navio nas mesmas condições é considerado um referencial inercial. Suponha um ônibus, cujas janelas estejam completamente vedadas, de modo a não conseguir enxergar nada do ambiente externo, trafegando numa pista horizontal, perfeitamente lisa e com velocidade constante. Uma pessoa que se encontra dentro desse ônibus não pode afirmar se o mesmo encontra-se em repouso em relação à Terra ou em movimento, pois tudo que ela consegue fazer parada sobre a superfície ela também consegue fazer com o ônibus em MRU. Sendo assim, nessa situação, o ônibus é considerado um referencial inercial.

Quando o referencial deixa de ser inercial, temos a impressão de que há uma força atuando sobre nosso corpo, fazendo-nos movimentar, porém é uma força dita fictícia. Imagine você se segurando em pé dentro de um ônibus que se movimenta com velocidade constante quando o motorista, repentinamente, pisa no freio até pará-lo completamente. Nesse momento da frenagem, você sente como se uma força o empurrasse para a parte da frente do ônibus, forçando-o a se movimentar. Essa força que você sente é uma força espúria, ou seja, ela não tem um agente causador em seu referencial, como seria o caso de uma força de contato (tensão na corda) ou de uma força à distância (interações fundamentais). O que você experimenta nesse momento é a inércia atuando. Como você estava em movimento retilíneo e uniforme, a tendência do seu corpo é permanecer nesse estado de movimento em que se encontrava e, como o ônibus que reduziu a velocidade, você continuou a se movimentar mais rápido do que ele, tendo a impressão de que uma força que estava te empurrando para frente. Para um observador de fora do ônibus e parado no solo, você se movimentou o tempo todo com a mesma velocidade e em linha reta.

A importância da Primeira Lei de Newton, atribuída por ele a Galileu, reside também no fato de que as outras leis de Newton, que governam o movimento dos corpos, tenham validade apenas para os referenciais inerciais, e para qualquer referencial inercial.

De acordo com o Princípio da Relatividade de Galileu, as leis da Física são as mesmas independentemente do referencial inercial adotado, sejam as observações feitas de um sistema em repouso ou em movimento com velocidade constante. Dessa forma, a mecânica newtoniana, cujas leis estão atreladas ao movimento, são válidas para referenciais em repouso ou em movimento uniforme, satisfazendo a transformação de Galileu

$$x' = x - v t \quad (1)$$

$$t' = t \quad (2)$$

As equações 1 e 2 são as Transformações de Galileu (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009) e mostram a relação existente entre dois sistemas de coordenadas, um em repouso (representado pela posição x e pelo tempo t) e o outro em movimento (representado pela posição x' e pelo tempo t') com velocidade constante v em relação ao que está em repouso, alterando as coordenadas espaciais de um corpo mas mantendo o intervalo tempo como um parâmetro universal. Nas situações em que a Relatividade de Galileu é válida, a Mecânica Newtoniana também é válida.

No entanto, no século XIX, foi observado que a luz não apresentava um comportamento que se adequava à teoria galileana. Independentemente do referencial a que um observador se encontrava, o mesmo veria a luz sempre com a mesma velocidade. A descrição da propagação de feixes de luz evidenciava uma discrepância das leis de movimento de Galileu e Newton com respeito às leis do eletromagnetismo, obtidas independentemente e comprovadas experimentalmente com grande precisão. Esse problema levou a uma necessidade de se repensar sobre os limites de validade do Princípio de Relatividade Galileana.

2.2 Relatividade de Einstein

Existem dois tipos de relatividade associadas a Einstein: a Relatividade Especial, apresentada em 1905, e a Relatividade Geral, concluída em 1915. Na primeira, o observador encontra-se em repouso ou em movimento retilíneo

uniforme, ou seja, em um referencial inercial, de modo que os efeitos de aceleração e gravitacionais são considerados situações descritas pela teoria geral. Em ambos os casos, um importante pilar é a universalidade da velocidade da luz, que passaria a se propagar com a mesma rapidez em quaisquer referenciais inerciais, em concordância com as leis do eletromagnetismo. Na formulação de 1915, o observador encontra-se acelerado, de modo que os efeitos gravitacionais e de aceleração são considerados, havendo uma equivalência entre ambos efeitos, levando-se à conclusão de que a gravidade dos objetos massivos afeta o tempo e o espaço.

2.3 A velocidade da luz

Em 1864, a eletricidade e o magnetismo foram unificados matematicamente sob a forma das equações de Maxwell, que previam a existência de ondas eletromagnéticas que viajavam a uma velocidade determinada por algumas características do material, como sua permissividade elétrica e sua permeabilidade magnética. Os valores teóricos obtidos para essa velocidade de propagação no vácuo coincidiam com os valores obtidos experimentalmente para a luz nesse mesmo meio, levando então à conclusão de que a luz é uma onda eletromagnética e que apresentava velocidade constante, dependendo apenas do material, sem fazer referência a estados de movimento (NETO; RIBEIRO; FILHO, 2005). Atualmente, no vácuo, o valor aceito de propagação da velocidade da luz é 299.792.458 m/s, ou aproximadamente 300.000 km/s, valor representado pela letra c .

Mas em relação ao que essa velocidade é considerada constante?

Primeiramente, vamos analisar uma situação de acordo com a mecânica newtoniana. Vamos supor que um observador esteja em repouso em uma Estação Espacial observando um foguete que se desloca com velocidade constante de 10 km/s carregando um míssil. Após um tempo, o foguete lança o míssil, na mesma direção e sentido em que se desloca, afastando-se dele a uma velocidade de 10 km/s. Dessa forma, o míssil, quando observado do foguete, apresenta velocidade de 10 km/s, enquanto que, quando observado da Estação Espacial, apresenta velocidade de 20 km/s, como indicado na figura 2.1. As ilustrações a seguir, que envolvem foguete, tiveram como inspiração as apresentadas por Keita Takatsu, no Guia Mangá Relatividade.

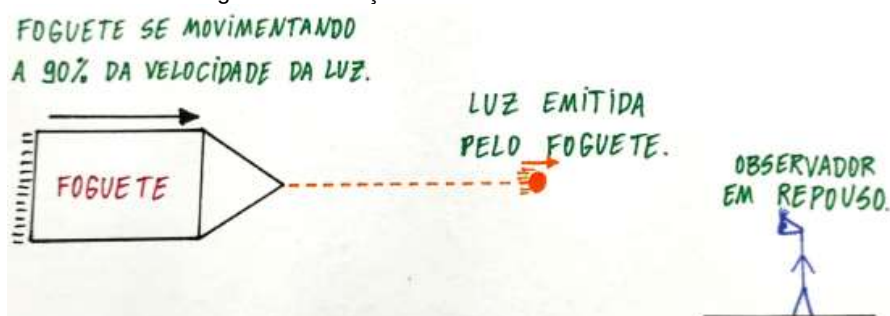
Figura 2.1 – Adição não relativística de velocidades.



Fonte: do autor (2022).

Quando analisamos essa mesma situação, porém considerando velocidades relativísticas (próxima a velocidade da luz), algo impressionante acontece. Vamos supor que um observador continua em repouso na Estação Espacial e observa um foguete se deslocando a uma velocidade que corresponde a 90% da velocidade da luz, ou seja 270.000 km/s, como mostrado na figura 2.2. A partir desse momento, o foguete emite um feixe de luz, na mesma direção e sentido de deslocamento, que se afasta dele a aproximadamente 300.000 km/s. Dessa forma, a luz, quando observada do foguete, apresenta velocidade de 300.000 km/s e, quando observada da Estação Espacial, também apresenta velocidade de 300.000 km/s, ficando em desacordo com a mecânica newtoniana, em que deveria se somar as velocidades e chegar ao valor de 570.000 km/s.

Figura 2.2 – Adição relativística de velocidades.



Fonte: do autor (2022).

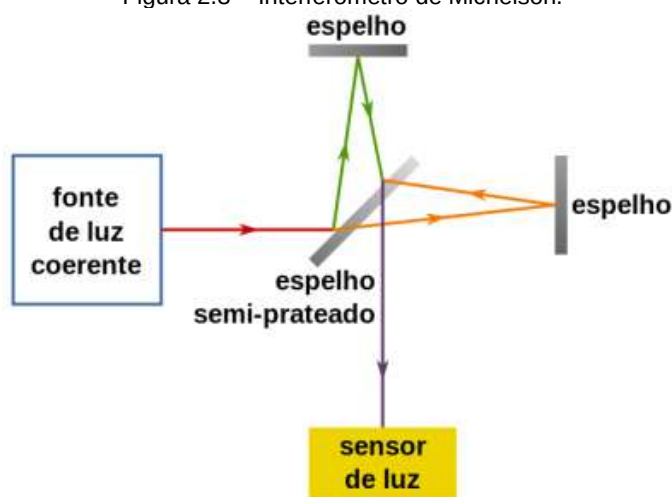
Para tentar solucionar esse problema, foi levantada a ideia de que todo o Universo era preenchido por um meio absoluto, estacionário e que apresentava

velocidade constante, chamado éter, pelo qual a luz conseguia se propagar assim como ondas mecânicas se propagam por um material.

Os físicos Morley e Michelson procuraram descobrir a relação do vento etéreo, utilizando equipamentos que permitiam detectar a velocidade da luz com precisão (NUSSENZVEIG, 1998). Se tudo ocorresse como planejado, eles conseguiriam determinar a velocidade da Terra em relação ao éter estacionário, comprovando a sua existência.

A figura 2.3 representa o experimento realizado por eles, em que um feixe de luz foi emitido por uma fonte e incidiu sobre um espelho semi-transparente, tendo parte de sua luz refletida e outra transmitida. Cada uma dessas parcelas incidiu em outros dois espelhos equidistantes ao primeiro e retornou a este, tendo novamente mais uma parcela refletida e outra refratada. Por fim, esses raios chegaram a um sensor em que poderia ser identificado qual parcela teria percorrido com maior velocidade devido ao vento etéreo, porém os resultados obtidos eram sempre os mesmos para os raios de luz, independentemente da posição em que o aparato era montado.

Figura 2.3 – Interferômetro de Michelson.



Fonte: [https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Michelson-Morley_experiment_\(pt\).svg](https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Michelson-Morley_experiment_(pt).svg)

Como os resultados obtidos para a velocidade da luz permaneciam sempre iguais, mesmo com a Terra mudando o seu movimento constantemente, a teoria do éter perdeu força e a Teoria da Relatividade de Galileu ficou em xeque, pois o fenômeno da luz não poderia ser explicada por ela.

2.4 A constância da velocidade da luz no vácuo

Albert Einstein, observando o problema apresentado pela luz que estava em desacordo com a mecânica newtoniana, decidiu considerar a velocidade da luz como sendo constante em uma nova teoria.

Chamamos isso de o segundo postulado de Einstein: a velocidade da luz no vácuo é sempre a mesma em qualquer sistema de referência inercial e não depende da velocidade da fonte. (YOUNG e FREEDMAN, 2016, p.160)

Nessa teoria, ele teve que se desvincular dos princípios da Teoria Galileana e postulou que a velocidade da luz era a mesma, independentemente do referencial observado. Além disso, ele propôs que todas as leis físicas, inclusive aquelas relacionadas à luz, como as do eletromagnetismo, deveriam continuar sendo válidas para referenciais inerciais. Essa é a essência da Teoria da Relatividade Especial proposta por Einstein.

Como os planetas e todo o Universo estão em constante movimento, não há como definir algo que esteja em repouso absoluto. Sendo assim, a ideia de um referencial inercial absoluto foi descartado por Einstein. Ele considerou que a luz assumia o valor de 300.000 km/s independentemente de quem a observasse e mesmo que simultaneamente.

Dessa forma, partindo desse princípio da velocidade constante para todos os referenciais, grandezas como o tempo e comprimento, que eram consideradas absolutas na mecânica newtoniana, sofreriam mudanças, pois estariam sujeitas a variações. Agora, a grandeza realmente absoluta era a velocidade da luz, ao passo que medidas referentes ao tempo e ao espaço sofreriam alterações dependendo do movimento relativo ao observador e passariam a ser unificados em um sistema de coordenadas conhecido como espaço-tempo.

2.5 Relatividade da simultaneidade

Quando consideramos que a velocidade da luz é constante, alguns fenômenos parecem se tornar estranhos. Um desses fenômenos é o da Relatividade da Simultaneidade, em que algum par de eventos que é

simultâneo para um observador pode não ser para outro (TIPLER; LLEWELLYN, 2017). Nas figuras 2.4 a 2.7, temos um comparativo para o caso da adição de velocidades de acordo com a mecânica newtoniana e outro cuja velocidade da luz é considerada constante.

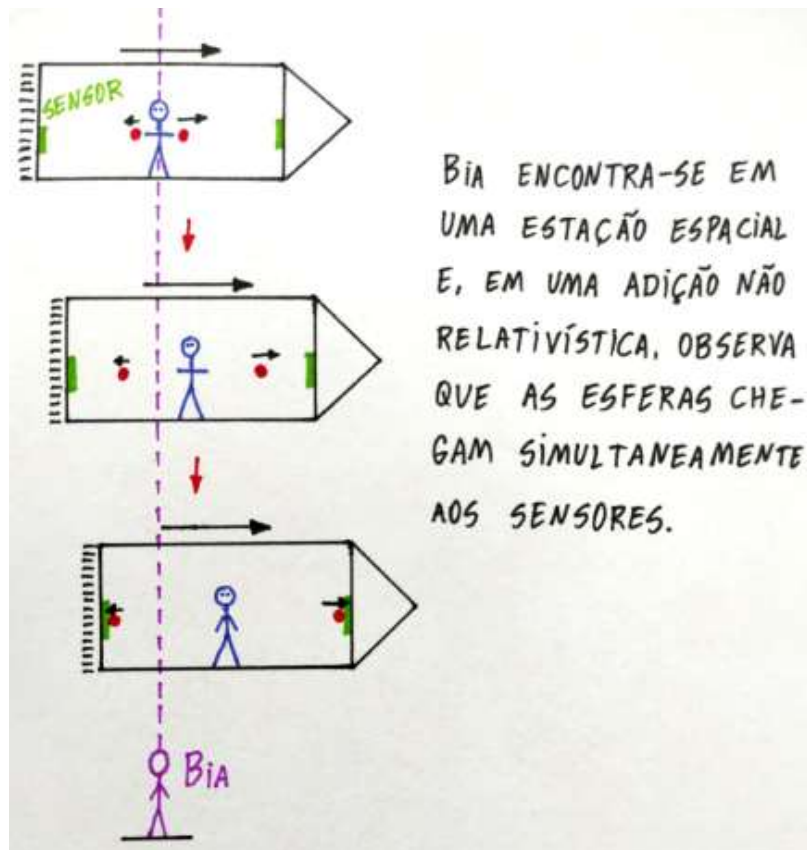
Nas figuras 2.4 e 2.5, vamos considerar que o personagem Alan esteja no meio do foguete e viajando com uma velocidade constante, enquanto a personagem Bia está em uma estação estacionária observando Alan. Duas esferas foram lançadas por Alan de modo a atingirem a parte da frente e a parte de trás do foguete e sensores indicariam o momento do impacto de cada bola. Nas figuras 2.6 e 2.7, assumiremos que Alan lançará feixes de luz que deverão atingir a parte da frente e a traseira do foguete.

Figura 2.4 – Esferas sendo observadas a partir do referencial de Alan.



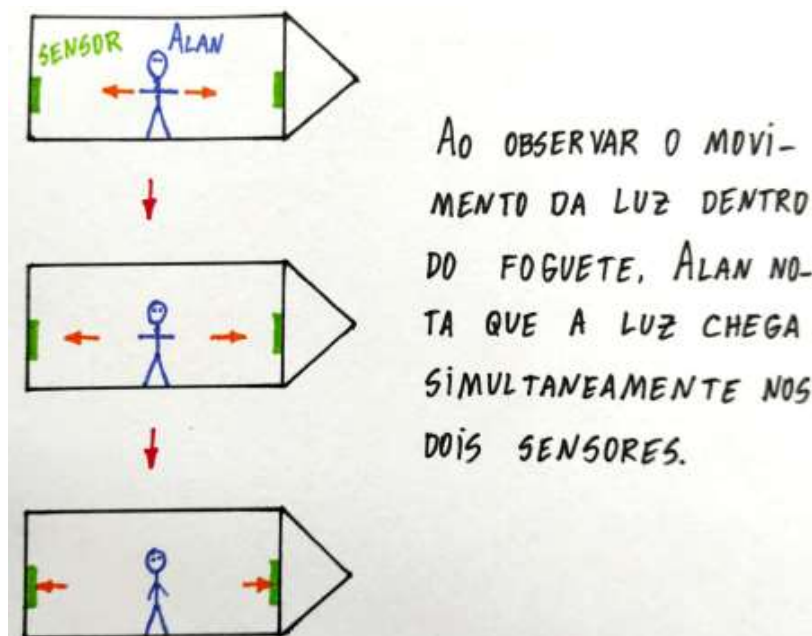
Fonte: do autor (2022).

Figura 2.5 – Esferas sendo observadas a partir do referencial de Bia.



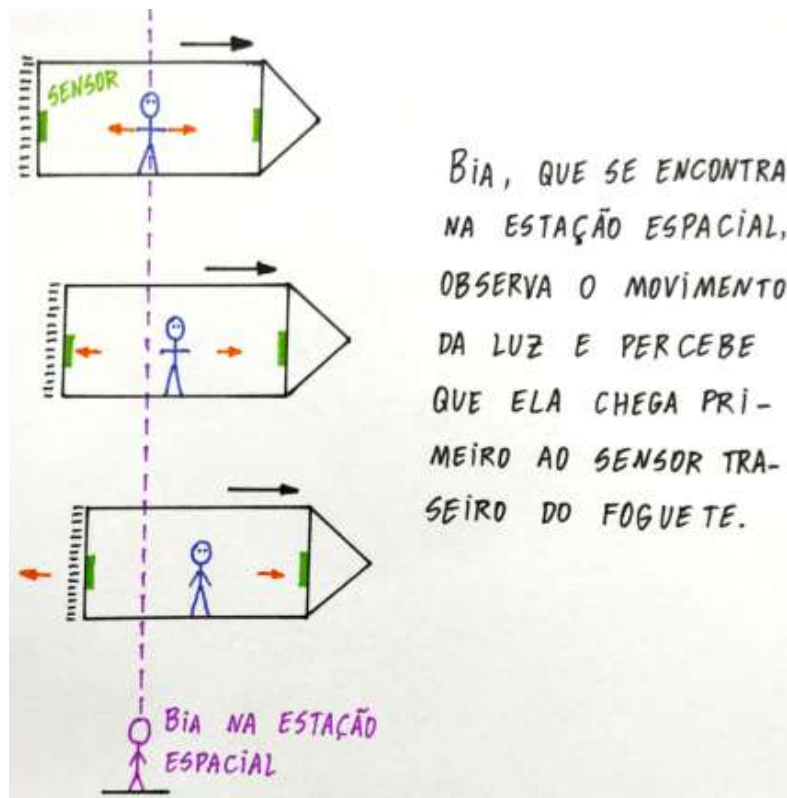
Fonte: do autor (2022).

Figura 2.6 – Feixes de luz sendo observados a partir do referencial de Alan.



Fonte: do autor (2022).

Figura 2.7 – Feixes de luz sendo observados a partir do referencial de Bia.



Fonte: do autor (2022).

Essa situação nos mostra a Relatividade da Simultaneidade, em que um evento que é simultâneo para um observador pode não ser para outro.

2.6 Transformação de Lorentz

A ideia de que a velocidade da luz permanecia constante, independentemente de quem a observasse, forçou uma reformulação em relação as Transformações Galileanas para a Relatividade. Esses ajustes ficaram conhecidos como Transformações de Lorentz (TIPLER; LLEWELLYN, 2017).

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (3)$$

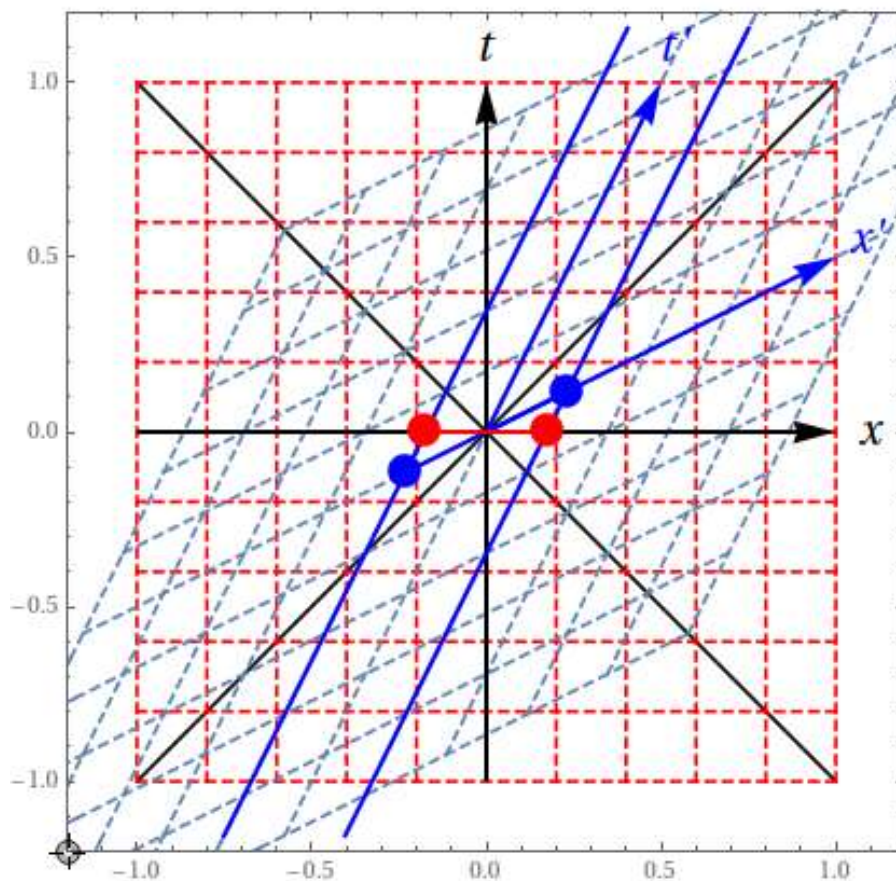
$$t' = \frac{t - \frac{v}{c^2} \cdot x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (4)$$

As grandezas x' e t' , nas equações 3 e 4, representam a posição e o tempo medidos a partir do referencial que está em movimento, enquanto que x e t representam a posição e o tempo medidos a partir do referencial que está em repouso.

A figura 2.8 contribui para compreender o efeito das Transformações de Lorentz sobre a estrutura do espaço-tempo, onde os eventos são representados.

Por meio dessa transformação relativística de referencial, o quadriculado original (x,t) em termos de linhas perpendiculares é deformado de forma que as novas coordenadas de espaço e tempo (x',t') apontam graficamente em outras direções, não mais perpendiculares. Visto dessa maneira, as diferenças de comprimentos e intervalos de tempo passam a ter uma boa representação visual.

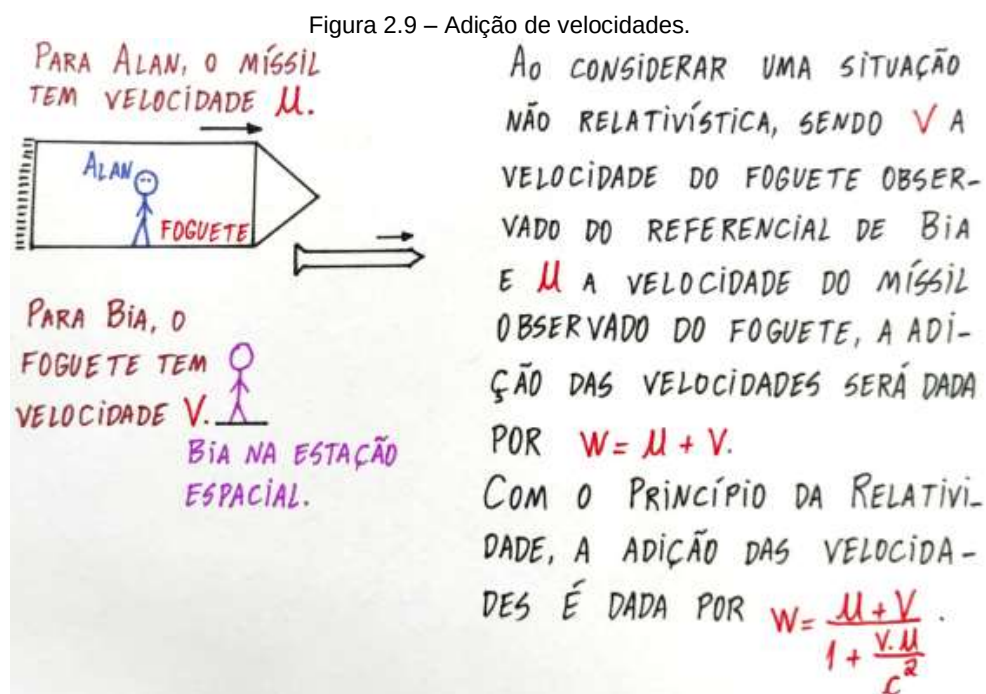
Figura 2.8 – Efeito das Transformações de Lorentz sobre a estrutura espaço-tempo.



Fonte: "Understanding Special Relativity: The Lorentz Transformation, Time Dilation, and Length Contraction", Frederick W. Strauch.

2.7 Adição de velocidades

Na figura 2.9, temos as equações da adição de velocidades considerando uma situação não relativística e outra relativística, em que v representa a velocidade do foguete, u representa a velocidade do míssil observada a partir do foguete e w é a velocidade do míssil observada por Bia.



Fonte: do autor (2022).

Vamos considerar uma situação em que a velocidade v do foguete seja de $0,5c$ (50% da velocidade da luz) e a velocidade do míssil u também seja de $0,5c$. Nessa situação, a velocidade w do míssil observada por Bia será de $0,8c$, como podemos observar a partir dos cálculos a abaixo.

$$w = \frac{u+v}{1 + \frac{v \cdot u}{c^2}} = \frac{0,5c + 0,5c}{1 + \frac{0,5c \cdot 0,5c}{c^2}} = \frac{c}{1,25} = 0,8c$$

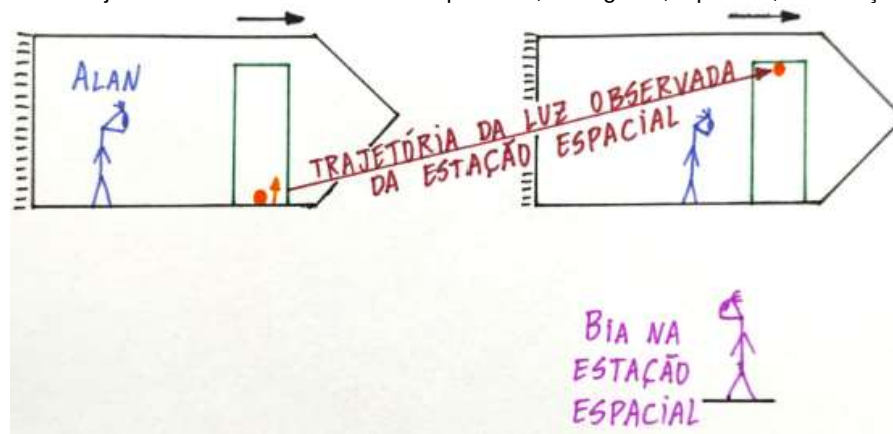
Mesmo que adotemos o valor máximo da velocidade da luz para v e u , a velocidade w do míssil observada por Bia não excederá a velocidade da luz c , conforme percebe-se a seguir.

$$w = \frac{u+v}{1+\frac{v \cdot u}{c^2}} = \frac{c+c}{1+\frac{c \cdot c}{c^2}} = \frac{2c}{2} = c$$

2.8 Dilatação do tempo

Para os objetos que se encontram em movimento, o tempo vai passando de maneira mais lenta do que para aqueles que se encontram em repouso em outro referencial inercial, os comprimentos se contraem e a massa é aumentada.

Figura 2.10 – Trajetória do raio de luz observado por Alan, no foguete, e por Bia, na Estação Espacial.



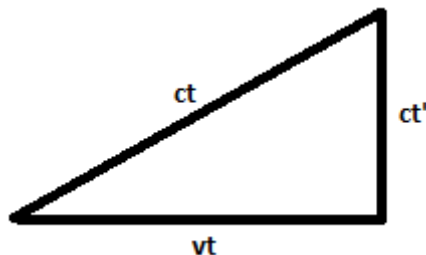
Fonte: do autor (2022).

Para demonstrar essa dilatação temporal utilizaremos o Teorema de Pitágoras com base nas informações da situação representada na figura 2.10, em que t indicará o tempo decorrido no relógio do observador que se encontra na Estação Espacial (Bia) e t' aquele observado no relógio do homem que se encontra deslocando junto ao foguete (Alan) com uma velocidade v .

Quando Alan analisa a trajetória dos raios de luz emitidos pelo relógio, percebe que este apenas sobe e desce, após refletir em um espelho no teto, pois o relógio está se deslocando juntamente com o foguete, deslocando ct' .

Ao analisar os pontos pelos quais a luz passa a partir da Estação Espacial, percebe-se que ela descreve uma trajetória na diagonal e com velocidade c , que é o seu limite. Sendo assim, ela percorre uma distância ct , enquanto que a sua componente horizontal percorre uma distância vt (devido a velocidade horizontal do foguete) e ct' na vertical, a partir do referencial do homem que se encontra dentro do foguete. Podemos observar no triângulo da figura 2.11 esses deslocamentos e aplicar o Teorema de Pitágoras.

Figura 2.11 – Trajetória dos raios de luz e suas componentes.



Fonte: do autor (2022)

$$c^2 t^2 = c^2 t'^2 + v^2 t^2$$

$$c^2 t^2 - v^2 t^2 = c^2 t'^2$$

$$c^2 t'^2 = (c^2 - v^2) t^2$$

$$t'^2 = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) t^2$$

$$t' = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot t \quad (5)$$

em que t' é o tempo observado no referencial do foguete e t no referencial de quem está na Estação Espacial.

A partir da equação 5, percebe-se que o tempo passa mais lentamente no referencial daquele que se encontra se deslocando junto ao foguete (YOUNG; FREEDMAN, 2016).

Considerando um foguete que se movimenta a 90% da velocidade da luz ($v = 0,9c$) quando observado do referencial que se encontra numa Estação Espacial e que o tempo decorrido nesse referencial seja de 4,6 anos (t), podemos calcular o tempo que se passou no referencial do foguete (t') da seguinte forma:

$$t' = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot t = \sqrt{1 - \frac{(0,9c)^2}{c^2}} \cdot 4,6 = 2 \text{ anos}$$

2.9 Contração do comprimento

Vamos considerar a situação da figura 2.12 em que uma pessoa (Alan) está viajando juntamente com um foguete que se desloca com uma velocidade constante v . Ao medir a distância que separa a frente do foguete (x_2') até a

parte de trás do mesmo (x_1'), chega-se a conclusão de que a espaçonave tem um comprimento $l_0 = x_2' - x_1'$, conforme pode-se observar na figura 2.13.

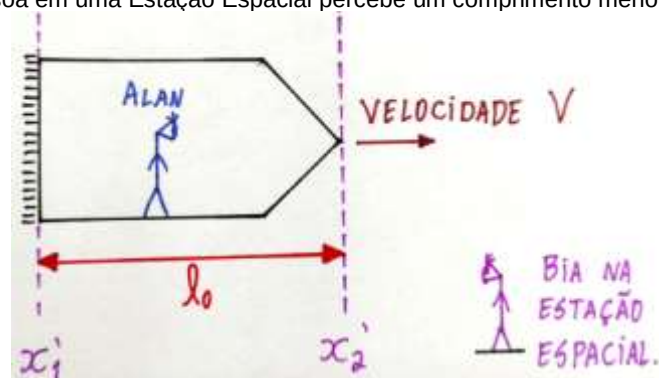
Figura 2.12 – Uma pessoa em repouso em relação ao foguete faz a medição do comprimento entre as extremidades da nave.



Fonte: do autor (2022).

Se essa medição fosse realizada por uma pessoa que se encontra em uma Estação Espacial, o valor que esta encontraria seria menor do que aquele registrado por Alan. Esse efeito é conhecido como contração relativística do comprimento e é percebido para velocidades próximas à velocidade da luz.

Figura 2.13 – Uma pessoa em uma Estação Espacial percebe um comprimento menor para o foguete.



Fonte: do autor (2022).

Podemos demonstrar essa relação dos comprimentos a partir da Transformação de Lorentz.

$$x_1' = \frac{x_1 - vt_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad x_2' = \frac{x_2 - vt_2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Sendo $l = x_2 - x_1$ o comprimento do foguete a partir da Estação Espacial, temos para o lado de dentro a seguinte situação:

$$l_0 = x_2' - x_1' = \frac{x_2 - vt_2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - \frac{x_1 - vt_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{(x_2 - x_1) - (t_2 - t_1)v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Ao considerar a medição sendo realizada ao mesmo tempo, $t_1 - t_2 = 0$ e l_0 é obtido da seguinte forma:

$$l_0 = \frac{(x_2 - x_1) - (t_2 - t_1)v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{(x_2 - x_1)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$l = l_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (6)$$

em que l_0 é o comprimento observado no referencial do foguete e l no referencial de quem está na Estação Espacial. A equação 6 refere-se à contração do comprimento (YOUNG; FREEDMAN, 2016).

Considerando um foguete que se movimenta a 90% da velocidade da luz ($v = 0,9c$) quando observado de uma Estação Espacial e que possui um comprimento de 100 metros ($l_0 = 100$ m) quando medido por uma pessoa que se encontra no mesmo referencial que o foguete, o comprimento do foguete observado a partir da Estação Espacial pode ser calculado da seguinte forma:

$$l = l_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = l = 100 \cdot \sqrt{1 - \frac{(0,9c)^2}{c^2}} = 43,6 \text{ metros}$$

CAPÍTULO 3

OS MOMENTOS PEDAGÓGICOS DE DELIZOICOV PARA O ENSINO DE RELATIVIDADE

3.1 O Ensino de Física Moderna no Ensino Médio

Apesar da Teoria da Relatividade Especial já fazer parte dos Parâmetros Curriculares Nacionais, ainda há uma dificuldade no que tange ao seu ensino. Fatores que podemos destacar são a complexidade do assunto, a falta de preparo do professor em relação a esse tema devido este não ter sido bem trabalhado durante a sua formação, professores de outras áreas lecionando esse conteúdo e o fato do educador não chegar a esse tópico por não conseguir concluir os conteúdos da Física Clássica.

Apesar das dificuldades encontradas no momento para o ensino dessa teoria, é fundamental desenvolver pesquisas na área de ensino, visando a encontrar um facilitador desse processo de ensinar, pois ao sair do Ensino Médio, as pessoas devem entender o que os cerca e tem o direito de participar do que está acontecendo.

Neste nível de escolaridade devemos estar formando um cidadão, pronto para sua participação na sociedade. Sua formação deve ser global, pois sua capacidade de intervenção na realidade em que está imerso tem relação direta com sua capacidade de compreensão desta mesma realidade. (TERRAZZAN, 1992, p.213)

É fundamental que o estudante tenha contato com assuntos de Física Moderna, já que este se faz cada vez mais presente com os avanços tecnológicos.

É imprescindível que o estudante do segundo grau conheça os fundamentos da tecnologia atual, já que ela atua diretamente em sua vida e certamente definirá o seu futuro profissional. Daí a importância de se introduzir conceitos básicos de Física Moderna e, em especial, de se fazer uma ponte entre a física da sala de aula e a física do cotidiano. (VALADARES e MOREIRA, 1998, p.121)

Com a facilidade de acessar informações pela internet, assistir vídeos e filmes através de canais digitais tem se tornado frequente e uma boa parte dos alunos já tiveram algum contato com algum tema de Física Moderna. Normalmente, esses temas despertam o interesse deles, pois é algo bem diferente da realidade que costumam estudar na escola e são assuntos cuja

parte teórica é motivadora. Dessa forma, deve-se aproveitar dessa curiosidade para elaborar aulas com metodologias apropriadas para fazer com que esse conhecimento tenha um significado para quem o aprende e não trabalhá-lo de forma bancária, em que são depositados conceitos e equações de forma mecanizada e sem conexão com o cotidiano (MOREIRA, 2011). O educando deve ser instigado, pois assim desenvolverá prazer em aprender.

É necessário resgatar o interesse dos alunos pela Física. Cada um de nós que está ligado de uma forma ou de outra ao ensino de Física sabe que o seu estudo permite uma compreensão básica da natureza, além de desenvolver nos estudantes uma série de habilidades que podem dar vazão à sua criatividade, proporcionando prazer, alegria e desafios. (VALADARES e MOREIRA, 1998, p.122)

Ostermann, Ferreira e Cavalcanti (1998) enumeram vários motivos para se inserir tópicos de Física Moderna e Contemporânea no currículo do Ensino Médio.

São inúmeras as razões para a introdução de tópicos contemporâneos na escola média. Dentre elas pode-se citar:

- despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano e portanto mais próxima a eles;
- os estudantes não têm contato com o excitante mundo da pesquisa atual em Física pois não veem nenhuma Física além de 1900. Esta situação é inaceitável em um século no qual ideias revolucionárias mudaram a ciência totalmente;
- é do maior interesse atrair jovens para a carreira científica. Serão eles os futuros pesquisadores e professores de Física.

É notório que a Ciência e a Tecnologia fazem parte do dia a dia das pessoas e, é fundamental fazer com que estas tenham uma compreensão básica daquilo que as cercam e possam fazer as suas contribuições. Para isso, é necessário dar-lhes suporte para que descubram e desenvolvam essas habilidades e, a escola, é o local em que essas ferramentas devem lhes ser apresentadas. Sendo assim, é imprescindível inserir tópicos de Física Moderna no Ensino Médio e estudar formas eficazes de ensiná-los.

3.2 Os Três Momentos Pedagógicos de Demétrio Delizoicov

Para fazer com que um novo conhecimento tenha significado para quem o aprende, é necessário estabelecer uma conexão entre ele e o conhecimento

prévio do aprendiz. Quando o professor expõe um novo conteúdo ao seu aluno sem uma abordagem que o associe a algo que ele já conhece, o resultado pode não ser tão satisfatório, pois o educando pode não conseguir enxergar ao que aquela teoria está associada e, conseqüentemente, acabar ficando desmotivado, se perder com a explicação e, muitas vezes, criando uma aversão de tal conteúdo ou até da disciplina.

A proposta de um ensino baseado na problematização requer que haja uma reestruturação dos conteúdos programáticos trabalhados pelo professor, pois é necessário que a abordagem dos temas esteja em sintonia com as situações significativas em que vivem os estudantes. Para que tal proposta seja bem sucedida é necessário que o professor busque levantar as concepções dos estudantes para através delas conseguir gerar a problematização. (MARENGÃO, 2012, p.26)

Dessa forma, é necessário pensar numa estratégia de como abordar determinado conteúdo ao aluno e de modo a ter um significado ao mesmo, mesclando o seu conhecimento pré-existente com a necessidade de aprender um novo. Nesse sentido, o levantamento de problemas é um convite ao novo conhecimento e, segundo Delizoicov¹, problematizar é

a escolha e formulação adequada de problemas, que o aluno não se formula, de modo que permitam a introdução de um *novo conhecimento* (para o aluno), ou seja, os conceitos, modelos, leis e teorias da Física, sem as quais os problemas formulados não podem ser solucionados. Não se restringe, portanto, apenas a apresentação de problemas a serem resolvidos com a conceituação abordada nas aulas, uma vez que esta ainda não foi desenvolvida! São, ao contrário, problemas que devem ter o potencial de gerar no aluno a necessidade de apropriação de um conhecimento que ele ainda não tem e que ainda não foi apresentado pelo professor. É preciso que o problema formulado tenha uma significação para o estudante, de modo a conscientizá-lo que a sua solução exige um conhecimento que, para ele, é inédito. (DELIZOICOV, 2001, p.6)

Ensinar requer estratégia e problematizar é uma opção que se demonstra muito útil nesse processo, pois permite que o professor tenha um diálogo com os alunos, induzindo-os a pensar a respeito das questões levantadas e levando-os a uma situação em que não conseguirão responder de imediato, mas que sentirão a necessidade de aprender algo novo que os ajude a solucioná-lo. Nessa perspectiva, os problemas levantados se tornam uma

¹ Demétrio Delizoicov cursou licenciatura em Física e doutorado em Educação na Universidade de São Paulo (USP) e, atualmente, é professor da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). É considerado uma referência na Educação em Ciências.

ferramenta que tem o potencial de ajudar na estruturação do tema a ser trabalhado, pois permitem selecionar os conceitos que deverão ser desenvolvidos e que sejam significativos ao educando (DELIZOICOV, 2008).

A partir de pesquisas realizadas, Demétrio Delizoicov elaborou Os Três Momentos Pedagógicos, que são etapas que professor deve seguir para que o aluno tenha uma aprendizagem significativa.

3.2.1 *Problematização inicial*

Este primeiro momento pedagógico é aquele em que o professor passa a conhecer melhor o seu aluno a partir das respostas que esse lhe dá às perguntas que lhes são feitas.

A problematização inicial poderá ocorrer pelo menos em dois sentidos. De um lado, pode ser que o aluno já tenha noções sobre as questões colocadas, fruto da sua aprendizagem anterior, na escola ou fora dela. Suas noções poderão estar ou não de acordo com as teorias e as explicações das Ciências, caracterizando o que se tem chamado de “concepções alternativas” ou “conceitos intuitivos” dos alunos. A discussão problematizada pode permitir que essas concepções apareçam. De outro lado, a problematização poderá permitir que o aluno sinta necessidade de adquirir outros conhecimentos que ainda não detém. (DELIZOICOV, ANGOTTI e PERNAMBUCO, 2002, p.32)

O educador, para estabelecer uma ponte entre o seu aluno e o conhecimento que este deverá desenvolver, levanta situações que fazem parte do dia a dia do estudante e que estão relacionadas ao tema, e as problematizam, dando oportunidade ao aprendiz de demonstrar o que já sabe sobre aquele assunto e convidando-o, implicitamente, para a aula, pois agora ela já está mais atrativa.

Apresentam-se situações reais que os alunos conhecem e presenciam, e que estão envolvidas nos temas, e que também exigem a introdução dos conhecimentos contidos nas teorias físicas para interpretá-las. Neste momento problematiza-se o conhecimento que os alunos vão expondo, de modo geral a partir de poucas questões propostas, inicialmente discutidas num *pequeno grupo*, para após explorarem-se as posições dos vários grupos com toda a classe, no *grande grupo*. (DELIZOICOV, 2001, p.12)

Durante o diálogo inicial, o professor deve seguir problematizando sobre as situações abordadas, induzindo o aluno a chegar a uma pergunta em que não saberá responder naquele momento, forçando-o a pensar e a sentir a

necessidade que de precisa aprender algo novo para conseguir enxergar a solução daquele problema levantado. Delizoicov destaca que

O ponto culminante desta problematização é fazer com que o aluno sinta a necessidade da aquisição de outros conhecimentos que ainda não detém, ou seja, procura-se configurar a situação em discussão como um *problema* que precisa ser enfrentado. (DELIZOICOV, 2001, p.13)

Após despertar o interesse do educando e fazê-lo sentir a necessidade da apropriação de um novo conhecimento, partimos então para o segundo momento pedagógico.

3.2.2 Organização do conhecimento

Este momento pedagógico é destinado a ajudar o educando a desenvolver o conhecimento científico necessário para solucionar o problema levantado no primeiro momento. O professor deve ajudá-lo no entendimento da teoria, levando em conta o que ele já sabia, fazendo-o enxergar com clareza o que ele estava pensando de maneira errada e reforçando o que ele estava pensando corretamente.

Este momento tem como finalidade a inter-relação entre os temas e as situações vivenciadas pela comunidade com os conteúdos a serem trabalhados, buscando, com isso, a compreensão da realidade. (ARAÚJO, 2015, p.40)

À medida que o professor o ajuda a desenvolver a sua base teórica, o aluno deve começar a conectar o que ele não conseguiu responder na problematização inicial com o que ele está aprendendo. O professor, em hipótese alguma, deve dar a resposta do problema ao aluno.

Os conhecimentos selecionados como necessários para a compreensão dos temas e da problematização inicial são sistematicamente estudados neste momento sob a orientação do professor. As mais variadas atividades são empregadas neste momento de modo que o professor possa desenvolver a conceituação física identificada como fundamental para uma compreensão científica das situações que estão sendo problematizadas. (DELIZOICOV, 2001, p.13)

Durante a organização do conhecimento, além de ajudar o aluno a desenvolver a sua base teórica, o professor ainda pode trabalhar com exercícios que o ajude a assimilar e a acomodar melhor os conceitos

trabalhados. Vale ressaltar que existe diferença entre problemas e exercícios e, segundo Peduzzi,

De uma forma bastante genérica, pode-se dizer que uma dada situação, quantitativa ou não, caracteriza-se como um problema para um indivíduo quando, procurando resolvê-la, ele não é levado à solução (no caso dela ocorrer) de uma forma imediata ou automática. Isto é, quando, necessariamente, o solucionador se envolve em um processo que requer reflexão e tomada de decisões sobre uma determinada seqüência de passos ou etapas a seguir.

Em um exercício, por outro lado, independentemente de sua natureza, o que se observa é o uso de rotinas automatizadas como consequência de uma prática continuada. Ou seja, as situações ou tarefas com que o indivíduo se depara já são dele conhecidas, não exigindo nenhum conhecimento ou habilidade nova, podendo, por isso mesmo, ser superadas por meios ou caminhos habituais. (PEDUZZI, 1997, p.229 - 230)

Apesar dos exercícios não exigirem um grande esforço cognitivo para serem realizados, eles desempenham um papel muito importante na consolidação do conhecimento, pois é através deles que o educando internaliza os conceitos envolvidos.

É oportuno, aqui, destacar, e não desmerecer ou relevar a um segundo plano, o papel do exercício nas tarefas escolares. É através dele que o estudante desenvolve e consolida habilidades. Este fato, no entanto, nem sempre fica claro ao aluno, que muitas vezes considera enfadonho, cansativo e sem propósito a repetição continuada de uma certa prática.

Neste sentido, cumpre ao professor realçar a importância e a função dos exercícios e dos problemas em sua disciplina. Ao se empenhar nisso ele pode contribuir para que seu aluno veja com outros olhos os exercícios e também se prepare melhor, tanto do ponto de vista cognitivo como emocional, para se envolver em atividades mais elaboradas, como as que caracterizam a resolução de problemas. (PEDUZZI, 1997, p.230)

Quando o professor finaliza os assuntos teóricos que considerava relevantes para a sua aula, o aluno já estará munido de capacidade teórica para chegar à solução do problema que o deixou instigado. Nesse instante, partimos para o terceiro momento pedagógico.

3.2.3 Aplicação do conhecimento

Neste terceiro momento, o professor retoma as problematizações iniciais, permitindo que o educando analise novamente os problemas, pensando no que havia respondido, se manteria ou mudaria algumas respostas

e até tentando responder ao problema que foi o motivo de fazê-lo perceber a necessidade de adquirir um novo conhecimento.

Destina-se, sobretudo, a abordar sistematicamente o conhecimento que vem sendo incorporado pelo aluno para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram seu estudo, como outras situações que, embora não estejam diretamente ligadas ao motivo inicial, podem ser compreendidas pelo mesmo conhecimento. (DELIZOICOV, 2001, p.13)

Este momento pedagógico é onde ocorre a consolidação do conhecimento, pois é nele que o educando consegue fazer a conexão entre o que acabara de aprender e os problemas que foram levantados inicialmente a ponto de instigá-lo. A partir daí, ele se torna capaz de solucionar exercícios e problemas cuja resposta esteja relacionada a teoria que agora já se encontra internalizada.

3.3 O uso de jogos lúdicos no processo de ensino-aprendizagem

A partir do Século XX, com os estudos dos cognitivistas, o jogo passou a ser visto como uma ferramenta útil no processo de ensino-aprendizagem. Sendo assim, quando uma pessoa é chamada a jogar, fica implícito que esta foi convidada a se divertir com alguma atividade. Este ato está relacionado a um momento de descontração, relaxamento e prazer em realizar uma determinada atividade, apesar de nem sempre atender a essas expectativas. Nesse contexto, o indivíduo é estimulado a aprender e obedecer regras, interagir com objetos e outros participantes, se houver, e desenvolver habilidades motoras e cognitivas.

Por exemplo, no faz-de-conta, há forte presença da situação imaginária; no jogo de xadrez, regras padronizadas permitem a movimentação das peças. Brincar na areia, sentir o prazer de fazê-la escorrer pelas mãos, encher e esvaziar copinhos com areia requer a satisfação da manipulação do objeto. Já a construção de um barquinho exige não só a representação mental do objeto a ser construído, mas também a habilidade manual para operacionalizá-lo. (KISHIMOTO, 2008, p.13)

Essas brincadeiras ajudam o indivíduo a desenvolver o seu universo através da socialização com os demais participantes, compreender que todos devem obedecer às mesmas regras, a formação de personalidade e liderança, além de trabalhar o respeito mútuo.

À medida que a criança vai se desenvolvendo fisicamente, as brincadeiras vão tomando dimensão mais socializadora, os participantes se encontram, numa atividade comum e ao mesmo aprendem a coexistência, contudo lhes possibilita aprender, como lhe dar com respeito mútuo, bem como partilhar brinquedos, dividir tarefas e tudo aquilo que implica uma tarefa coletiva no seu dia-a-dia. (BUENO, 2010, p.22)

A utilização de jogos no processo de ensino-aprendizagem se mostra como sendo uma ferramenta de grande potencial no que se refere ao desenvolvimento motor e cognitivo de quem o aprende, pois desperta o interesse do educando por ser algo prazeroso e divertido.

Nesse sentido, jogos, brinquedos e brincadeiras não são apenas um entretenimento, mas uma atividade que possibilita a aprendizagem de várias habilidades e, portanto, é com esse desenvolvimento prazeroso da criança que o educador deverá interagir com o lúdico, concretizando os jogos, brinquedos e brincadeiras não apenas como recursos pedagógicos decorrente dos diversos níveis do conhecimento. (BUENO, 2010, p.10)

A conexão do tema a ser trabalhado juntamente com as atividades a serem realizadas faz com que o conhecimento seja internalizado de forma significativa e não apenas aprendido de forma bancária.

Com esse cenário, vem à tona a vontade de ensinar a Relatividade a partir de um jogo, porém é necessário pensar em uma sequência metodológica que facilite esse processo de transposição didática. Tal proposta é desenvolvida no Capítulo 4.

CAPÍTULO 4

COMO ENSINAR RELATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO

4.1 Problematização, organização e aplicação do conhecimento

A relatividade é um tema que muitos estudantes já ouviram falar, porém nem todos conseguem ter acesso a aulas sobre esse tema, devido a este ser um dos conteúdos finais do cronograma curricular para o Ensino Médio. Sendo assim, muitos acabam ingressando na Universidade, em cursos de diversas áreas e vão ficando cada vez mais distante desse conhecimento.

Estudar a relatividade é fundamental no desenvolvimento cognitivo das pessoas, pois os permitem raciocinar e a aceitar mudanças que acreditavam ser imutáveis. Um exemplo disso é o fato de fazê-los compreender que o tempo e o comprimento são grandezas que podem sofrer variações quando analisadas em termos relativísticos. Porém, esse conhecimento não pode ser simplesmente jogado ao estudante. Ele precisa ser trabalhado de forma dialogada de modo a manter acesa a rebeldia do educando sobre o assunto, permitindo-lhe indagações e atiçando a sua curiosidade (FREIRE, 1996). É necessário ajudá-lo a construir passo a passo, de forma que ele possa entender, aceitar e ver um significado no que acabara de aprender. Para isso, a metodologia de ensino tem uma grande importância nesse processo de ensino-aprendizagem.

Inicialmente, como uma forma de chamar a atenção dos alunos, a problematização será a ferramenta utilizada, pois serão lançadas algumas indagações referentes a situações que, com o conhecimento prévio, serão capazes de responder. Novas perguntas irão surgindo até chegar o momento em que eles perceberão que não conseguem solucionar tal problema apenas com o conhecimento que possuem, sentindo a necessidade de aprender algo a mais para solucionar tal questão.

Então, devemos começar nossas aulas sondando o conhecimento prévio dos alunos. Para isso, usaremos o diálogo. O ato inicial de cada aula será, portanto, descobrir o que o educando já sabe, o que realmente aprendeu nas aulas anteriores. Conduziremos o processo de ensino aprendizagem de acordo com o que o aluno já sabe. Devemos colocar em prática a ideia de aprender com nossos alunos. (ANDREATA, 2019, p.715)

Esse é o momento de começar a organizar o conhecimento que eles devem construir. O conteúdo é, então, explanado passo a passo através da utilização do quadro, explicações, diálogos, análise de situações e exemplos de aplicação. Logo após esse momento, o educando já terá uma base mais estruturada para conseguir solucionar aquela questão levantada na problematização inicial e que lhe gerou dúvidas.

4.2 Aprender brincando

O jogo, de forma geral, é algo atrativo às pessoas, pois as envolvem naquele universo, todos querem ganhar e se divertem enquanto isso. Com todo esse potencial, utilizar uma brincadeira para aprender ou internalizar um novo conhecimento é algo genial, pois os participantes se envolvem no jogo, se divertem e aprendem.

Nesse sentido, o jogo elaborado tem como objetivo fazer com que o estudante compreenda melhor o tema relatividade. Nele apresentam-se questões e situações relacionadas a Relatividade de Galileu e a Restrita de Einstein.

Os estudantes são representados por peças que devem percorrer o tabuleiro e, o que concluir primeiro o percurso, torna-se o vencedor. Durante o jogo, os participantes utilizam um dado para andar determinada quantidade de casas e ver qual é o comando daquela em que parou. Se for a letra “G”, ele saca uma carta do monte de Galileu e responde uma questão de múltipla escolha sobre a Relatividade de Galileu. Se for “E”, a carta deve ser retirada do monte de Einstein e o participante responde uma questão de múltipla escolha relacionada a Relatividade Restrita de Einstein. Se a carta for “?”, o jogador puxa uma carta do monte que leva esse mesmo nome e responde se a frase escrita está relacionada à Relatividade de Galileu ou Einstein. Por fim, se o comando for “P”, o competidor não pega nenhuma carta e apenas passar a vez.

Quando o comando for “G”, “E” ou “?” e o estudante acertar ou errar a questão, ele deve abrir a segunda parte da carta para verificar qual é o comando, ou seja, se ele avança uma ou duas casas, se ele retorna uma ou duas casas, dentre outros.

4.3 Planejamento de execução das aulas

Por ser uma pesquisa qualitativa de caráter participativo, a elaboração de um questionário ajudará o investigador a registrar as suas preocupações e traçar o perfil daquilo que mais será observado durante as aulas. Tendo como base a observação e interpretação, segundo Hanson (1975), observar não é somente aquilo que os nossos olhos veem, ou seja, indivíduos que se encontram sujeitos a uma mesma situação podem ter interpretações diferentes da mesma. Isso acontece pelo fato de cada pessoa passar por experiências e situações diferentes durante a vida, formando uma bagagem única.

Sendo assim, com a intenção de verificar os conhecimentos prévios dos estudantes, aplica-se a eles um questionário (Apêndice A) com questões objetivas que envolvam os seguintes assuntos: Relatividade de Galileu, Relatividade Restrita de Einstein, a velocidade luz, movimento e repouso, adição de velocidades, simultaneidade, contração dos comprimentos e dilatação do tempo. Para a realização deste, utiliza-se uma aula para a sua aplicação.

No segundo momento, tem-se a inserção dos assuntos relevantes à aprendizagem da Relatividade Restrita, utilizando um total de quatro aulas (Apêndice B). Na primeira, são trabalhadas a Relatividade de Galileu, o mistério da luz e a Relatividade de Einstein. Na segunda, os assuntos são os postulados da Relatividade Restrita e a Relatividade da Simultaneidade. Na terceira, estudam-se a dilatação do tempo e a contração dos comprimentos e, na quarta, desenvolvem-se alguns exercícios de aplicação para maior assimilação do conhecimento.

Por fim, no terceiro momento, durante uma aula, é aplicado o mesmo questionário (Apêndice A) para a verificação da aprendizagem.

A tabela 4.1 mostra as etapas de execução das aulas, o número de aulas previstas e o que deve ser trabalhado em cada momento.

Tabela 4.1 – Cronograma de execução das aulas.

MOMENTOS	NÚMERO DE AULAS	DESENVOLVER
1º	1	Questionário para verificação dos conhecimentos prévios.
2º	4	Os conteúdos sobre a Relatividade de Galileu e a Restrita de Einstein.
3º	1	Questionário para verificação da aprendizagem.
4º	2	O produto educacional

Fonte: do autor (2022).

Finalizadas as etapas de ensino e aprendizagem com base nos Três Momentos Pedagógicos de Demétrio Delizoicov e a aplicação dos questionários, foi utilizada duas aulas para apresentar o produto educacional aos alunos e permitir-lhes a interação com o jogo e entre eles.

CAPÍTULO 5

A CONSTRUÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

A primeira etapa de construção do produto educacional foi pensar no formato do jogo e, com a intenção de promover a interação entre os participantes e de gerar uma competição entre eles, o circuito de corrida em tabuleiro foi o escolhido.

Tal circuito, que possui o formato da letra R como referência ao assunto estudado, foi dividido em 42 casas e, em cada uma delas, há um comando a ser seguido. Após definido o formato do jogo, foram elaboradas as regras e a forma como seria inserido o assunto relatividade.

O tabuleiro foi construído com dimensões de 89 cm x 66 cm e os materiais utilizados na sua construção foram papel cartão, cola, tesoura, régua e canetinha.

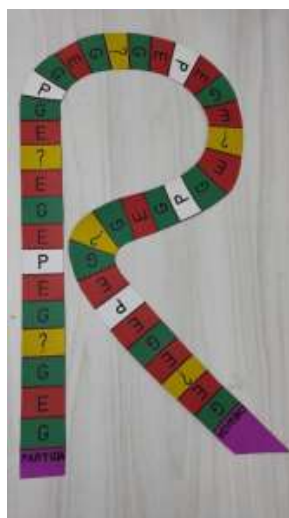
As figuras 5.1 a 5.4 mostram as etapas de construção do tabuleiro.

Figura 5.1 – Construção do formato do circuito e das cartas.



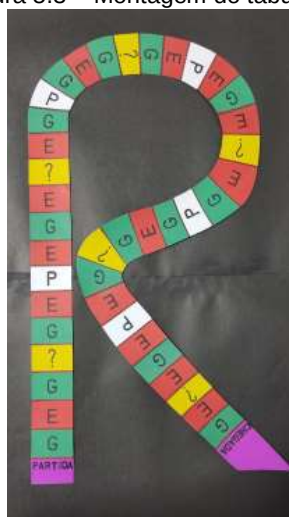
Fonte: do autor (2022)

Figura 5.2 – Identificação das casas.



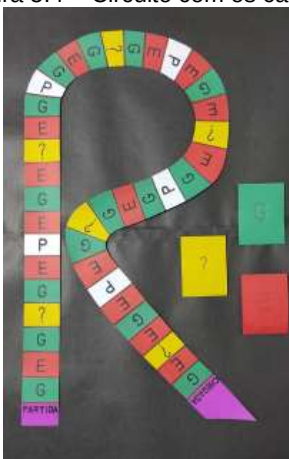
Fonte: do autor (2022).

Figura 5.3 – Montagem do tabuleiro.



Fonte: do autor (2022).

Figura 5.4 – Circuito com os cartões.



Fonte: do autor (2022).

As regras do jogo foram digitadas, impressas e coladas em cartolina de dimensões 25 cm x 7 cm. As figuras 5.5 a 5.9 apresentam o passo a passo dessa montagem.

Figura 5.5 – Formato dos cartões.



Fonte: do autor (2022)

Figura 5.6 – Dobrados em duas partes.



Fonte: do autor (2022).

Figura 5.7 – Escolha dos tipos de cartões.



Fonte: do autor (2022).

Figura 5.8 – Apresentação da pergunta de cada cartão.



Fonte: do autor (2022).

Figura 5.9 – Apresentação da resposta de cada cartão.



Fonte: do autor (2022).

Na elaboração das perguntas, foram utilizados os seguintes materiais: cartolinas, cola, tesoura, lápis, borracha, régua e canetinha. As cartolinas foram recortadas em várias partes de dimensões 25 cm x 7 cm no formato demonstrado na figura 5.5. As perguntas, as respostas e o comando de CERTO ou ERRADO foram digitados, impressos e colados nos pedaços de cartolina. Na sequência, eles foram dobrados em duas partes até ficarem na forma como é mostrado na figura 5.6.

Neste processo de construção, os estudantes podem ajudar ativamente na montagem do tabuleiro, das regras e, principalmente, na elaboração das perguntas relacionadas ao tema.

O Apêndice B contém as perguntas elaboradas para a aplicação do jogo. As figuras 5,10 a 5.12 apresentam algumas dessas questões utilizadas.

Figura 5.10 - Pergunta do cartão "?".

<u>RELATIVIDADE DE GALILEU OU EINSTEIN?</u> De acordo com a teoria da relatividade, o tempo passa mais devagar para objetos em movimento. <u>RESPOSTA</u> CERTA: Einstein → Avance uma casa. ERRADA: Galileu → Volte uma casa.

Fonte: do autor (2022).

Figura 5.11 - Pergunta do cartão "E".

<u>QUAL ALTERNATIVA ESTÁ DE ACORDO COM A RELATIVIDADE DE EINSTEIN?</u> A) tempo é uma grandeza absoluta. B) o comprimento é uma grandeza absoluta. C) a velocidade da luz é constante para qualquer referencial. <u>RESPOSTA</u> CERTA: Letra C → Avance uma casa. ERRADA: Letras A e B → Volte uma casa.
--

Fonte: do autor (2022).

Figura 5.12 - Pergunta do cartão "G".

<u>QUAL ALTERNATIVA ESTÁ DE ACORDO COM A RELATIVIDADE DE GALILEU?</u> A) tempo é uma grandeza absoluta. B) o comprimento é uma grandeza variável. C) a velocidade é uma grandeza não dependente do tempo. <u>RESPOSTA</u> CERTA: Letra A → Avance uma casa. ERRADA: Letras B e C → Volte uma casa.

Fonte: do autor (2022).

Após a elaboração e confecção do tabuleiro, das regras do jogo e dos cartões com as respectivas perguntas e respostas, é chegado o momento de aplicar o produto educacional e analisar os resultados.

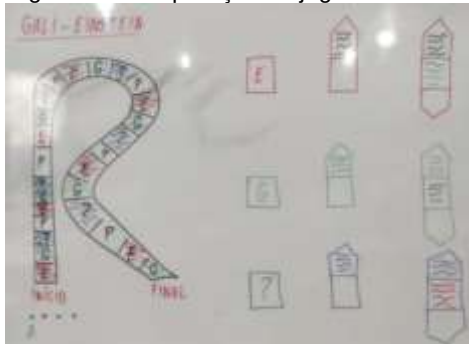
CAPÍTULO 6

APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

O produto educacional desenvolvido foi aplicado com doze alunos de uma turma regular da 1ª Série do Ensino Médio de um colégio público da Rede Estadual de Goiás, município de Goiânia, no período compreendido entre 29 de agosto de 2022 a 08 de setembro do mesmo ano.

Para que os educandos compreendessem as regras do jogo, foi esquematizado no quadro branco da sala de aula, figura 6.1, o formato do tabuleiro e as suas características, como quantidade de casas e o significado de cada uma delas. Em seguida, houve a explicação de como proceder com os cartões durante o jogo no instante de ver a pergunta e, posteriormente, a resposta com o comando a seguir.

Figura 6.1 – Explicação do jogo aos alunos.



Fonte: do autor (2022).

Após informadas todas as regras do jogo, a turma se dividiu em grupos de 4 pessoas para dar início aos jogos. As figuras 6.2 a 6.5 registram o jogo em andamento.

Figura 6.2 – Jogo iniciado.



Fonte: do autor (2022).

Figura 6.3 – Jogo em andamento.



Fonte: do autor (2022).

Figura 6.4 – Chegando na primeira curva.



Fonte: do autor (2022).

Figura 6.5 – Na reta final do circuito.



Fonte: do autor (2022).

Todos compreenderam bem as regras do jogo, houve bastante interação entre os participantes e diversão enquanto aprendiam mais sobre a Relatividade ao ler as perguntas presentes nos cartões. Muitas vezes houveram discussões entre os competidores em relação às questões que lhes eram apresentadas e que promoveram um desenvolvimento dos conceitos sobre o tema. As perguntas foram elaboradas trazendo situações que podem ser vistas pelos estudantes no dia a dia ou mesmo em filmes e séries. A intenção delas é gerar a problematização e, posteriormente, uma discussão entre os envolvidos no jogo de modo a desenvolver ideias e compreender o porquê daquelas respostas.

A sequência metodológica apresentada no produto educacional com base nos Três Momentos Pedagógicos de Demétrio Delizoicov foi trabalhada com os alunos durante 4 aulas e foram analisados o desempenho desses em dois questionários. O Capítulo 7 apresenta os resultados e discussões em relação ao trabalho desenvolvido em sala de aula com os educandos.

CAPÍTULO 7

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao analisar os dados obtidos durante a realização da pesquisa, temos que levar em consideração alguns pontos que foram relevantes no processo de ensino-aprendizagem, como a pandemia, fatores econômicos e sociais.

A Educação Pública Estadual de Goiás, durante os anos mais graves da pandemia, 2020 e 2021, passou por um momento muito delicado pois, para evitar a maior proliferação do vírus da COVID-19, as aulas passaram a ocorrer remotamente, o que acarretou em um declínio em relação ao aproveitamento da maior parte dos alunos quanto a aprendizagem.

Muitos professores tiveram que testar novas metodologias, comprar equipamentos para que as aulas online fossem possíveis, melhorar o acesso a internet e aprender a manusear algumas plataformas e programas. Foi um período conturbado, de adaptação, porém de muito crescimento.

Os alunos da rede pública foram a parte mais sensível desse processo, pois muitos não tinham acesso à internet, seja wifi ou dados móveis, além de muitos não possuírem computadores, notebooks e até celulares. Nesse cenário, o processo de transposição didática ficou dificultado. As formas mais utilizadas para tentar fazer o contato do conteúdo com os aprendizes foram através de aplicativos, como o Whatsapp e o Telegram e através da plataforma da Google, o Classroom. Ainda assim, muitos só conseguiam acessar os materiais no período da noite, momento em que os pais retornavam do serviço e emprestavam o celular aos filhos, já outros conseguiam acessar somente quando visitavam lugares em que havia rede wifi e inúmeros não conseguiam acessar os materiais por não terem um aparelho ou por não ter acesso a internet.

Esses fatores desmotivaram grande parte dos estudantes e acabou resultando em um aumento da evasão escolar. Houve relatos de alunos que até pararam de estudar para poder trabalhar e contribuir com a renda em suas famílias. Muitos estavam necessitados financeiramente e precisando de auxílio até para a alimentação.

Nesse cenário, percebe-se que os estudantes foram bastante prejudicados durante esses dois anos mais intensos da pandemia, só retornando às escolas em 2022 e em sistema de rodízio, em que durante uma

semana comparecia um grupo composto por 50% do total de alunos e, na outra semana, somente os outros 50% dos matriculados. A base educacional desses alunos estava prejudicada e, nesse sentido, as escolas promoveram aulas voltadas à retomada de conteúdos com o intuito de amenizar os danos e capacitá-los para a recepção e aprendizagem de temas do ensino regular em que se encontravam.

Tendo uma vista panorâmica da realidade dos estudantes e sabendo da importância do tema deste trabalho para a continuação do desenvolvimento da Ciência e Tecnologia, foi elaborada uma sequência metodológica cujo objetivo era promover uma aprendizagem significativa para os educandos. Sendo assim, foi aplicado o mesmo questionário, com 32 questões, para os discentes antes e depois da sequência metodológica elaborada com base nos Três Momentos Pedagógicos de Demétrio Delizoicov.

A tabela 7.1 consta a quantidade de acertos e erros que cada aluno obteve nos dois questionários (Apêndice A).

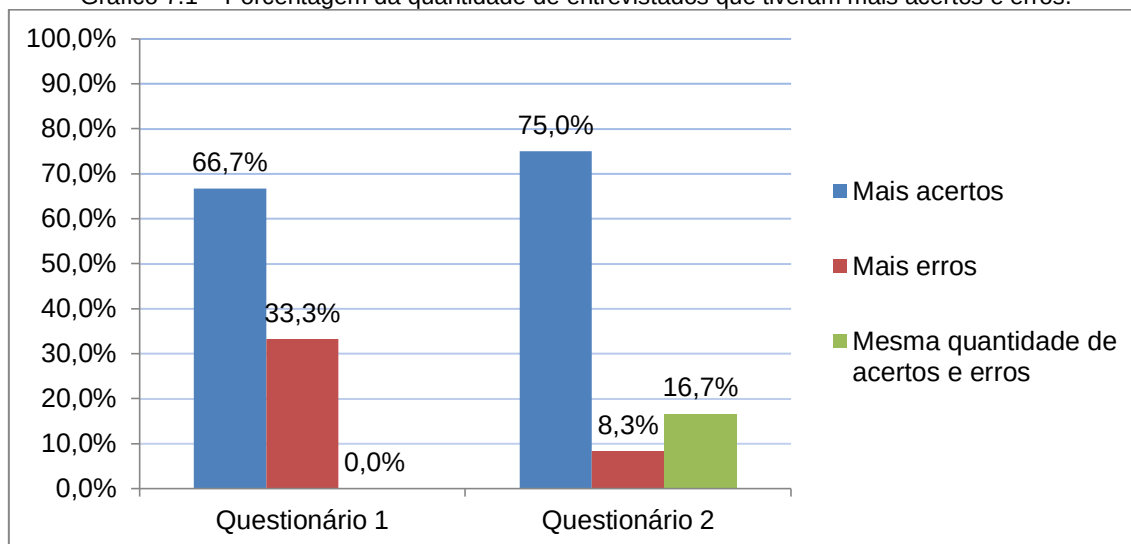
Tabela 7.1 - Quantidade de acertos e erros nos questionários.

Aluno	Questionário 1		Questionário 2	
	Acertos	Erros	Acertos	Erros
1	13	19	17	15
2	13	19	15	17
3	14	18	19	13
4	14	18	20	12
5	18	14	16	16
6	19	13	24	8
7	19	13	18	14
8	18	14	23	9
9	18	14	16	16
10	19	13	19	13
11	18	14	20	12
12	17	15	24	8

Fonte: do autor (2022).

O gráfico 7.1 mostra a porcentagem da quantidade de entrevistados que tiveram mais acertos e mais erros nos dois questionários.

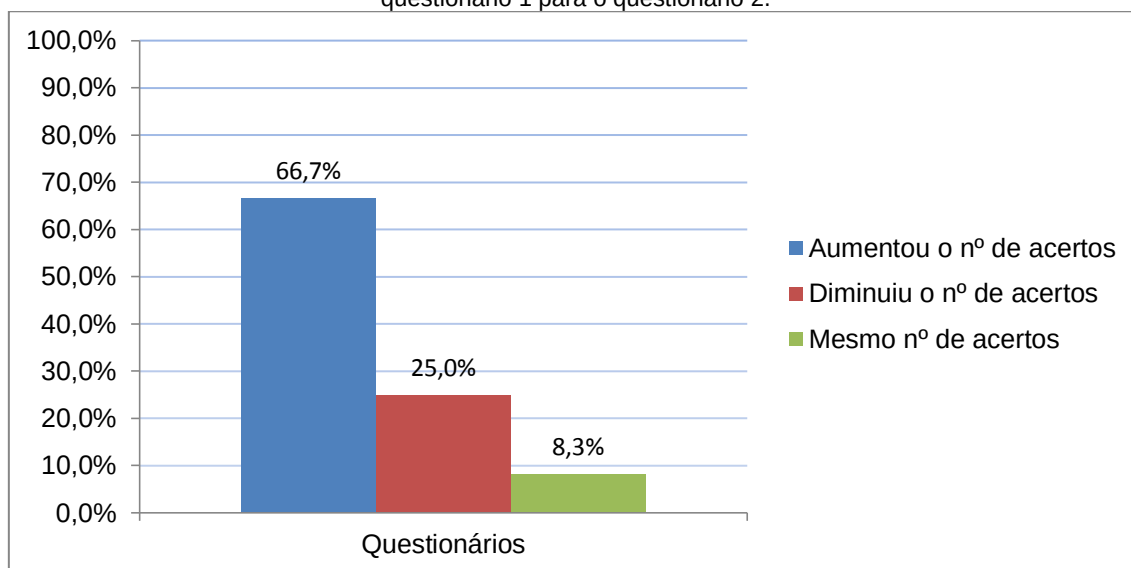
Gráfico 7.1 – Porcentagem da quantidade de entrevistados que tiveram mais acertos e erros.



Fonte: do autor (2022).

Analisando o rendimento dos 12 pesquisados, observa-se no gráfico 7.2 que 8 deles apresentaram maior número de acertos no segundo questionário, correspondendo a, aproximadamente, 66,7%, do total, enquanto 3 tiveram menos acertos, representando 25% dos envolvidos. Houve apenas 1 estudante que acertou a mesma quantidade de questões nos dois momentos.

Gráfico 7.2 - Porcentagem da quantidade de alunos que aumentou ou diminuiu o número de acertos do questionário 1 para o questionário 2.



Fonte: do autor (2022).

As tabelas 7.2 e 7.3 mostram quais foram as perguntas que tiveram as respostas marcadas corretamente pelos alunos.

Tabela 7.2 - Acertos de cada aluno por questão no questionário 1.

Questão	Aluno											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	X						X		X	X		X
3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4			X		X	X	X		X	X		X
5			X	X		X		X	X	X	X	X
6						X		X	X		X	
7	X				X		X	X	X	X		
8	X	X	X			X					X	X
9	X		X	X	X	X	X				X	X
10		X				X	X	X		X	X	X
11		X			X		X	X	X	X	X	X
12					X		X	X	X	X		X
13						X		X	X	X	X	X
14	X	X	X	X	X	X						
15	X	X	X		X	X	X	X		X		
16			X					X			X	X
17									X	X		X
18				X		X		X				
19			X		X	X						
20		X	X	X	X	X	X	X		X		
21			X		X		X	X	X			X
22		X		X			X	X		X		
23	X	X	X	X	X		X	X	X		X	
24	X			X		X		X		X	X	X
25	X		X		X	X			X	X		
26				X			X		X	X	X	
27		X			X						X	
28	X	X		X	X		X		X	X		
29	X		X			X	X		X		X	
30				X	X						X	X
31	X	X		X		X	X	X	X		X	
32					X	X	X			X	X	X

Fonte: do autor (2022).

Tabela 7.3 - Acertos de cada aluno por questão no questionário 2

Questão	Aluno											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X
3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	X		X	X	X	X	X	X	X	X		X
5	X	X	X	X		X	X	X			X	X
6						X		X	X		X	X
7	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
8	X	X	X			X				X	X	X
9	X		X	X		X	X	X	X			X
10		X			X	X	X	X		X	X	X
11	X	X		X				X		X	X	X
12					X			X				X
13						X	X	X	X	X	X	X
14	X	X	X	X	X	X	X	X				
15	X	X	X	X	X	X	X		X	X		
16			X			X		X		X	X	X
17					X			X	X	X		X
18				X		X		X			X	
19			X		X	X						
20		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
21			X		X				X			X
22				X		X	X	X		X	X	
23	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X
24	X		X			X		X			X	X
25	X		X	X	X	X			X	X		X
26							X	X	X	X	X	
27					X						X	
28	X	X	X	X			X		X	X	X	X
29	X			X		X	X	X	X			
30		X		X	X					X	X	X
31	X	X	X	X		X		X			X	X
32				X		X	X			X	X	X

Fonte: do autor (2022).

Ao analisar as tabelas 7.2 e 7.3, percebe-se que a quantidade de alunos que acertaram as perguntas relacionadas a Relatividade Restrita de Einstein aumentou no segundo questionário para as questões 13, 14, 15, 28 e 30, enquanto que os acertos permaneceram os mesmos para os números 29, 31 e 32, diminuindo apenas para a 27. Nota-se que houve uma evolução quanto ao entendimento do tempo e do comprimento serem grandezas relativas e da velocidade da luz no vácuo ser uma constante para todos os referenciais. Outro ponto em que os alunos apresentaram mais acertos foi em relação à contração

do comprimento, porém demonstraram maior dificuldade na compreensão da dilatação temporal.

Durante a execução das aulas, baseadas nos Três Momentos Pedagógicos, houveram comentários instigadores por parte dos alunos relacionados à Relatividade Restrita de Einstein e que demonstravam a sua curiosidade e o seu conhecimento prévio, como “Professor, o tempo passa igual em todos os lugares.”, “Dez metros medidos aqui é igual a dez metros medidos em qualquer outro lugar.”, “A velocidade da luz é mais rápida que a velocidade do som.”, “Não aceito que a velocidade da luz não possa passar de 300.000 km/s. Não faz sentido.”, “Como o foguete pode ter o seu comprimento diminuído? Tem que ser igual para os dois observadores.” e “Não tem lógica o tempo passar de forma diferente. Tinha que ser igual para todos. Não faz sentido na minha cabeça.”

A partir do desenvolvimento das aulas, pôde-se perceber uma mudança e amadurecimento dos educandos em relação aos conceitos que já estavam consolidados em sua estrutura cognitiva. Um ponto que chamou bastante atenção foi o fato da velocidade da luz no vácuo apresentar sempre o mesmo valor para qualquer que seja o referencial da pessoa que a observa. Como os estudantes estão mais familiarizados com a Relatividade Galileana, eles ficaram bastante instigados com a luz, mas foram assimilando esse fato da velocidade à medida que mais situações lhes eram apresentadas. Pôde-se observar comentários como “É difícil aceitar, mas entendi que a velocidade da luz no vácuo é igual para qualquer pessoa que a observa e em qualquer referencial.”, “É por causa desse comportamento da luz que o tempo e o comprimento são grandezas relativas, não é?”, “Compreendi os exemplos da dilatação temporal e contração espacial, mas é difícil de aceitar.” e “A velocidade da luz no vácuo é uma constante para todos os referenciais e o tempo e o comprimento são grandezas relativas.”.

Muitos que acreditavam que o tempo e o comprimento eram grandezas absolutas conseguiram desconstruir essas ideias e modificá-las. Inicialmente ficavam em choque, pois era uma mudança de algo que era imutável para eles, mas achavam muito interessante, ficavam curiosos e queriam entender como isso seria possível.

Durante o desenvolvimento da sequência metodológica, ficou claro o interesse dos alunos pelo tema, pois é algo que os instiga devido a sua complexidade e os deixam entusiasmados quando relacionamos com o dia a dia e com filmes de ficção científica. A utilização dos Três Momentos Pedagógicos foi fundamental para gerar uma problematização inicial, ganhar a atenção dos envolvidos, promover um amadurecimento em relação aos conceitos a serem desenvolvidos e aplicá-los em situações-problemas mencionados.

Após as etapas para o ensino da Relatividade Restrita de Einstein com base na metodologia de Delizoicov, foi apresentado aos estudantes o produto educacional. Eles estavam ansiosos para conhecer o jogo, as regras e, finalmente, poder brincar. Esse momento gerou muita diversão e interação entre eles, que é fundamental para o desenvolvimento de habilidades e socialização. Pôde-se observar comentários como “Professor, quando o senhor apresentará o jogo pra gente?”, “Poderemos jogar com 4 pessoas?”, “Ficou muito legal esse circuito.”, “Curti esses cartões com as perguntas e respostas desse jeito.”, “Vou te explicar porque você errou.”, “De acordo com a Relatividade de Einstein, o tempo é uma grandeza relativa”, “A velocidade da luz é uma constante.” e “De acordo com a Relatividade de Galileu o comprimento é uma grandeza absoluta, mas de acordo com a de Einstein ela é uma grandeza relativa.”

O produto educacional foi elaborado em forma de jogo com o intuito de promover uma interação entre os envolvidos de forma lúdica e ajudando-os a desenvolver suas habilidades. Como a problematização é uma ferramenta muito útil na interação entre as pessoas e o conteúdo a ser trabalhado, foram criadas as perguntas nos cartões para promover essa dinâmica entre os participantes. Ao ler a questão de um cartão, após a reflexão do que pode ser a resposta correta, a solução é verificada e é discutida entre os participantes o porquê dela, promovendo um amadurecimento dos conceitos envolvidos até chegarem à compreensão da solução do problema levantado inicialmente.

CAPÍTULO 8

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensino de temas que antecedem a Física Moderna para alunos de Ensino Médio é fundamental para entender a evolução da ciência além de ajudar a construir a sua base educacional e desenvolver habilidades nessa e em outras áreas do conhecimento, porém é notável o interesse deles por temas atuais, pois tem muita aplicação em seu cotidiano além de ser algo que os instiga.

Nesse sentido, esta dissertação visou trabalhar o assunto Relatividade Restrita de Einstein passando por uma sequência metodológica com base nos Três Momentos Pedagógicos de Demétrio Delizoicov e criando um jogo baseado nessa metodologia de ensino-aprendizagem, sendo este o produto educacional desenvolvido nessa pesquisa.

Como o assunto é de interesse dos estudantes e foi problematizado de forma a trazê-los para a aula, houve bastante interação e um amadurecimento dos mesmos com base nos conceitos trabalhados. A teoria foi discutida durante as aulas e houve a assimilação entre o conhecimento desenvolvido com as situações-problemas levantadas inicialmente.

Os Três Momentos de Delizoicov é uma proposta didática de grande potencial em diversos temas da Física, pois faz com que o educando crie expectativa e sinta a necessidade em desenvolver um novo conhecimento para ele. Nesse sentido, o produto educacional foi elaborado baseado nessa metodologia, em que as perguntas dos cartões provocam essa problematização trazendo situações que fazem parte do cotidiano ou mesmo que se apresentam em séries ou filmes contemporâneos, além de gerar uma discussão construtiva entre os jogadores a fim de entender o porquê das respostas de cada uma das perguntas que lhes eram apresentadas. Além disso, promove a internalização do conhecimento de forma lúdica e significativa, desenvolve habilidades, interação e prazer entre os participantes. Sendo assim, a metodologia empregada aliada ao jogo pode ser considerada como uma ferramenta educativa com grande potencial no processo de ensino-aprendizagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREATA, M. A. **Aula expositiva e Paulo Freire**. Ensino Em Re-Vista, v. 26, n. 3, p. 700-724, 2019.

ARAÚJO, L. B. **Os Três Momentos Pedagógicos como estruturantes de currículos**. 2015. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências: Química e Saúde) – Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2015.

BASSALO, J. M. S. **Aspectos históricos das bases conceituais das relatividades**. Revista Brasileira do Ensino de Física. São Paulo, vol. 19, no .2, junho, 1997.

BRASIL. Lei nº 9.394, 20 de dezembro de 1996. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB). Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, 23 de dezembro de 1996.

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM)**. Brasília: MEC, Secretaria de Educação Básica, 2000.

BUENO, E. **Jogos e Brincadeiras na educação infantil: ensinando de forma lúdica**. Londrina – PR, 2010.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. P.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de ciências: Fundamentos e Métodos**. São Paulo: Cortez, 2002.

DELIZOICOV, D. **Ensino de Física – conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora - problemas e problematizações**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.

DELIZOICOV, D. La Educación em Ciencias y la Perspectiva de Paulo Freire. **Alexandria – Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v.1, n.2, p.37 a 62, 2008.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

GLEISER, M. **Poeira das estrelas**. São Paulo: Globo, 2006.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física vol. 4** - Rio de Janeiro LTC, 2009.

HANSON, N. R. **“Observação e interpretação”**. In: Morgenbesser, Sidney. (org.). Filosofia da Ciência. São Paulo, Cultrix, 1975. pp. 127-138.

KISHIMOTO, T. M. (Org.) **Jogo, brinquedo, brincadeira e a educação**. 8ª Ed., São Paulo: Cortez, 2008.

LANDAU, L.; RUMER, Y. **Aprenda a Teoria da Relatividade Brincando**. São Paulo: Hemus, 1970.

MARENGÃO, L. S. L. **Os três momentos pedagógicos e a elaboração de problemas de física pelos estudantes**. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemáticas). Goiânia. Universidade Federal do Goiás. 2012. 82p.

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. 2. ed. ampl. São Paulo: EPU, 2011.

NETO, P. A. M.; RIBEIRO, P. H. S.; FILHO, R. L. M. **Aula 1 – As Equações de Maxwell - Física 4a – Módulo 1**, Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2005.

NITTA, H., YAMAMOTO, M. e TAKATSU, K. **Guia mangá relatividade** – Ohmsha, Tokyo, 2011.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica – Volume 4: Ótica, Relatividade e Física Quântica** – São Paulo: Blucher, 1998.

OSTERMANN, F.; FERREIRA, L.M.; CAVALCANTI, C.J.H. **Temas de Física Contemporânea no Ensino Médio: um Texto para Professores sobre Supercondutividade**. Rev. Bras. Ens. Fis. 20, 3 (1998).

PEDUZZI, L. O. Q., **Física aristotélica: Por que não considera-la no ensino de mecânica?** Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 13, n. 1, p. 48-63, abril 1996.

PEDUZZI, L. O. Q., Sobre a resolução de problemas no ensino da física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, 13(3), 229-253, 1997.

STRAUCH, FREDERICK W., **Understanding Special Relativity: The Lorentz Transformation, Time Dilation, and Length Contraction**. Wolfram Demonstrations Project, 2011. Disponível em: <<https://demonstrations.wolfram.com/UnderstandingSpecialRelativityTheLorentzTransformationTimeDi/#more>>. Acesso em: 16 de maio de 2022.

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A. **Física moderna**, 6ª edição, Rio de Janeiro, LTC, 2017.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A., **Física I – Mecânica**, 14ª edição, São Paulo, Pearson, 2016.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A., **Física IV – Ótica e Física Moderna**, 14ª edição, São Paulo, Pearson, 2016.

TERRAZZAN, E. A. **A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 209-214, dez. 1992.

VALADARES, E. C., MOREIRA, A. M. **Ensinando física moderna no segundo grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro.** *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 15, n. 2, p. 121-135, ago. 1998.

APÊNDICE**Apêndice A – Questionário relacionado à Teoria da Relatividade de Galileu e a Restrita de Einstein**

1) A Terra encontra-se estática no centro do Universo e o Sol, as estrelas e planetas giram ao seu redor?

- ☐ Sim
- ☐ Não

2) Ao olhar para as estrelas no céu durante a noite, estamos observando o presente, o passado ou o futuro?

- ☐ Presente
- ☐ Passado
- ☐ Futuro

3) Em relação ao som e a luz, qual deles apresenta maior velocidade de propagação?

- ☐ Som
- ☐ Luz

4) Um objeto é considerado em repouso em relação a outro quando a distância entre eles não varia com o passar do tempo?

- ☐ Sim
- ☐ Não

5) Um objeto é considerado em movimento em relação a outro quando a distância entre eles varia com o passar do tempo?

- ☐ Sim
- ☐ Não

6) Um objeto é considerado em repouso em relação a outro somente quando apresenta velocidade zero em relação ao solo?

- ☐ Sim
- ☐ Não

7) Uma pessoa está sentada em uma poltrona no fundo do ônibus que se desloca em linha reta e com velocidade constante. O ônibus está em movimento em relação a essa pessoa?

- ☐ Sim
- ☐ Não

8) Uma pessoa está sentada em uma poltrona no fundo do ônibus que se desloca em linha reta e com velocidade constante. Essa pessoa está em movimento em relação ao ônibus?

- ☐ Sim
- ☐ Não

9) Uma pessoa está sentada em um poltrona de um ônibus que se desloca em linha reta e com velocidade constante. Em determinado instante essa pessoa joga um objeto verticalmente para cima. Esse objeto voltará para a mão da pessoa?

- ☐ Sim
- ☐ Não

10) Um objeto conseguirá se movimentar somente se houver uma força atuando sobre o mesmo?

- ☐ Sim
- ☐ Não

11) Um objeto pode continuar em movimento mesmo que não haja uma força atuando sobre ele?

- ☐ Sim
- ☐ Não

12) Dois observadores movendo-se com velocidades constantes, mas distintas, na mesma direção e sentido, serão descritos pelas mesmas leis físicas para todos os experimentos realizados?

- ☐ Sim
- ☐ Não

13) O tempo é uma grandeza absoluta ou relativa?

- ☐ Absoluta
- ☐ Relativa

14) O comprimento é uma grandeza absoluta ou relativa?

- ☐ Absoluta
- ☐ Relativa

15) A velocidade da luz no vácuo é uma grandeza absoluta ou relativa?

- ☐ Absoluta
- ☐ Relativa

16) Dois objetos, A e B, com massas diferentes, serão soltos no mesmo instante e da mesma altura em um local onde há gravidade e a resistência do ar é desprezível. Em relação ao tempo de queda dos objetos, podemos afirmar que

- A) o mais pesado chegará primeiro ao solo.
- B) o mais leve chegará primeiro ao solo.
- C) os dois chegarão ao solo no mesmo instante.

17) Um objeto em repouso adquire velocidade ao ser empurrado sobre uma superfície horizontal, plana e sem atrito. Sabendo que não há resistência do ar, quando a força para de atuar sobre o objeto, o mesmo

- A) permanecerá se movimentando com velocidade constante e em linha reta.
- B) continuará se movimentando até parar completamente após percorrer uma certa distância.
- C) irá parar imediatamente.

18) Um trem se desloca sobre os trilhos com velocidade constante de 72 km/h. Paralelo à linha do trem, um carro se desloca sobre uma rodovia no mesmo sentido que a locomotiva e com a mesma velocidade. Podemos afirmar que

- A) o trem está em movimento em relação ao carro.
- B) o carro está em movimento em relação ao trem.
- C) o trem está em repouso em relação ao carro.

19) Um trem se desloca sobre os trilhos com velocidade constante de 80 km/h. Paralelo à linha do trem, um carro se desloca sobre uma rodovia no mesmo sentido que a locomotiva e com a mesma velocidade. Podemos afirmar que

- A) o trem está em repouso, independentemente do referencial.
- B) o trem está em movimento, independentemente do referencial.
- C) o trem pode estar em movimento ou em repouso, dependendo do referencial.

20) Um trem se desloca sobre os trilhos com velocidade constante de 70 km/h. Paralelo à linha do trem, um carro se desloca sobre uma rodovia no mesmo sentido que a locomotiva e com a mesma velocidade. Podemos afirmar que

- A) o trem está em movimento em relação ao carro.
- B) o trem está em movimento em relação ao solo.
- C) o carro está em movimento em relação ao trem.

21) Uma pessoa está sentada em um poltrona de um ônibus que se desloca em linha reta e com velocidade constante. Em determinado instante essa pessoa joga um objeto verticalmente para cima. A trajetória descrita pelo objeto do referencial de uma pessoa que se encontra parada na calçada será

- A) uma reta.
- B) uma parábola.
- C) um triângulo.

22) Uma pessoa está sentada em um poltrona de um ônibus que se desloca em linha reta e com velocidade constante. Em determinado instante essa pessoa joga um objeto verticalmente para cima. A trajetória descrita pelo objeto do referencial de uma pessoa que se encontra sentada em outra poltrona dentro do ônibus será

- A) uma reta.
- B) uma parábola.
- C) um triângulo.

23) Uma aeronave se desloca com velocidade de 1000 km/h, em relação à superfície da Terra, quando lança um míssil, na mesma direção e sentido, e que se afasta do mesmo a uma velocidade de 500 km/h. Pode-se afirmar que após o lançamento

- A) o míssil está em movimento em relação a aeronave.
- B) o míssil está em repouso em relação a aeronave.
- C) a aeronave está em repouso em relação ao solo.

24) Uma aeronave se desloca com velocidade horizontal de 1000 km/h, em relação à superfície da Terra, quando lança um míssil, na mesma direção e sentido, e que se afasta do mesmo a uma velocidade de 500 km/h. Pode-se afirmar que após o lançamento

- A) o míssil se afasta da aeronave a uma velocidade horizontal de 1500 km/h.
- B) o míssil se afasta da aeronave a uma velocidade horizontal de 1000 km/h.
- C) o míssil se afasta da aeronave a uma velocidade horizontal de 500 km/h.

25) Uma aeronave se desloca com velocidade horizontal de 1000 km/h, em relação à superfície da Terra, quando lança um míssil, na mesma direção e sentido, e que se afasta do mesmo a uma velocidade de 500 km/h. Pode-se afirmar que após o lançamento

- A) a velocidade horizontal do míssil em relação ao solo é de 500 km/h.
- B) a velocidade horizontal do míssil em relação ao solo é de 1500 km/h.
- C) a velocidade horizontal da aeronave em relação ao solo é de 500 km/h.

26) Uma aeronave se desloca com velocidade de 1000 km/h, em relação à superfície da Terra, quando lança um míssil, na mesma direção e sentido, e que se afasta do mesmo a uma velocidade de 500 km/h. Pode-se afirmar que após o lançamento

- A) a velocidade relativa entre a aeronave e o míssil é de aproximação.
- B) a velocidade relativa entre a aeronave e o míssil é de afastamento.
- C) a velocidade relativa entre a aeronave e o míssil é de aproximação e igual a 500 km/h.

27) Uma pessoa A encontra-se dentro de um foguete espacial que se movimenta a 50% da velocidade da luz, enquanto uma pessoa B está em repouso em uma Estação Espacial.

- A) O tempo passará mais lentamente no referencial do observador A.
- B) O tempo passará mais lentamente no referencial do observador B.
- C) O tempo passará igualmente no referencial dos dois observadores.

28) Uma pessoa A que se encontra em repouso em uma Estação Espacial observa uma espaçonave passando em linha reta com 50% da velocidade da luz. O comprimento da espaçonave, na direção do movimento, visto pelo observador A, quando comparado por outra pessoa que se encontra dentro da espaçonave, será

- A) menor.
- B) maior.
- C) de mesmo tamanho.

29) Um observador A se encontra em repouso em uma Estação Espacial observando uma espaçonave passando em linha reta com 40% da velocidade da luz. Um observador B encontra-se dentro da espaçonave e em repouso em relação a ela. O comprimento da espaçonave, na direção perpendicular ao deslocamento, visto pelo observador B, quando comparado ao observado por A, será

- A) menor.
- B) maior.
- C) de mesmo tamanho.

30) Um observador A encontra-se dentro de uma nave espacial que se desloca a 200.000 km/s enquanto um observador B encontra-se em repouso em uma Estação Espacial. Um raio de luz é acionado da nave na mesma direção e sentido do deslocamento. A velocidade do raio de luz visto pelo observador A será

- A) menor que 300.000 km/s.
- B) maior que 300.000 km/s.
- C) igual a 300.000 km/s.

31) Um observador A encontra-se dentro de uma nave espacial que se desloca a 100.000 km/s enquanto um observador B encontra-se em repouso em uma Estação Espacial. Um raio de luz é acionado da nave na mesma direção e sentido do deslocamento. A velocidade do raio de luz visto pelo observador B será

- A) igual a 300.000 km/s.
- B) maior que 300.000 km/s.
- C) menor que 300.000 km/s.

32) Uma Estação Espacial A se desloca a 150.000 km/s. Uma nave será lançada dessa estação, na mesma direção e sentido, com velocidade de 200.000 km/s. Um observador que se encontra em repouso em uma Estação Espacial B verá essa nave com velocidade

- A) maior que 300.000 km/s.
- B) menor que 300.000 km/s.
- C) igual a 300.000 km/s.

Apêndice B – Produto Educacional



OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS E O USO DE JOGOS COMO
FACILITADORES DO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM DA
RELATIVIDADE RESTRITA DE EINSTEIN

Rafael Henrique dos Reis

Produto Educacional

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Dr. Paulo Eduardo Gonçalves de Assis

Catalão, GO
Fevereiro de 2023

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	64
2. O USO DE JOGOS PARA O ENSINO DA RELATIVIDADE ESPECIAL COM BASE NOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS DE DEMÉTRIO DELIZOICOV.....	65
2.1 O jogo associado aos Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov.....	65
2.2 Plano de aula problematizadora.....	66
2.3 Apresentação e regras do jogo.....	88
2.4 Construção do jogo	89
2.5 Perguntas elaboradas para o jogo.....	93
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	105

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A busca por metodologias que visam facilitar o processo de ensino-aprendizagem de conteúdos tem ganhado mais atenção de estudiosos nas últimas décadas. Ensinar não é uma tarefa fácil e gera resultados diferentes para cada pessoa devido às experiências acumuladas que elas carregam consigo. Sendo assim, não há um método ideal para se ensinar algum conteúdo e que seja o melhor para todos, porém sequências didáticas são testadas com o intuito de analisar os resultados, ver o engajamento, o envolvimento e o aprendizado dos estudantes com tal metodologia.

Este produto educacional apresenta um plano de ensino e um jogo com base nos Três Momentos Pedagógicos de Demétrio Delizoicov, visando facilitar o processo de transposição didática sobre a Teoria da Relatividade Restrita de Einstein. O segundo, que é um tabuleiro e possui o formato de circuito de corrida, gera uma competição entre os participantes e tem como vencedor aquele que completa primeiramente todo o percurso. As perguntas confeccionadas para os cartões tem a função de problematizar e gerar uma discussão construtiva entre os participantes e são de situações que podem ser analisadas no cotidiano ou em filmes e séries de ficção científica.

Além dos estudantes aprenderem de forma lúdica sobre o assunto tratado, eles ainda podem contribuir ativamente na elaboração de mais perguntas acerca do assunto, enriquecendo cada vez mais o repertório. O jogo ainda tem o potencial de promover a interação entre os estudantes, ajudando-os na socialização e no desenvolvimento de habilidades.

CAPÍTULO 2

O USO DE JOGOS PARA O ENSINO DA RELATIVIDADE ESPECIAL COM BASE NOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS DE DEMÉTRIO DELIZOICOV

2.1 O jogo associado aos Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov

A ciência está em constante evolução e, no último século, houve um avanço significativo em pesquisas em que muitos estudiosos dedicaram grande parte de suas vidas e outros ainda dedicam para esse constante progresso. Nesse cenário, a Teoria da Relatividade Especial amadureceu e hoje podemos enxergar com mais facilidade suas contribuições para a tecnologia, além de ser um assunto que desperta a curiosidade dos alunos. Sendo assim, é relevante as pessoas terem acesso à informação e compreenderem mais sobre o tema, apesar de sua complexidade. Na Física Moderna, é um tema fundamental e que já é apresentado na Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) e nos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM).

Nesse sentido, ensinar o assunto por meio de um jogo torna o processo de ensino-aprendizagem mais prazeroso para o educando, permitindo-o interagir com mais pessoas, melhorando a socialização, além de ajudá-lo a desenvolver habilidades. Porém, o Ensino de Física não é uma tarefa simples e que é facilmente passada de forma bancária. É necessário de uma abordagem metodológica para torná-lo mais significativo para quem o aprende. Sendo assim, a proposta de Delizoicov somada ao jogo de tabuleiro em forma de circuito possuem um grande potencial para o processo de transposição didática.

No decorrer do jogo, a problematização ocorre no momento em que cada participante, em sua vez, saca o cartão que apresenta uma situação que deve ser respondida por ele. Na sequência, a resposta correta é verificada e todos os envolvidos discutem sobre o porquê dela até chegarem a um consenso, passando então por uma organização do conhecimento sobre o assunto e, posteriormente, a aplicação desse conhecimento na situação em questão. Esse momento em que há o diálogo entre os estudantes é enriquecedor, pois compartilham experiências e conhecimento, ajudando uns aos outros.

2.2 Plano de aula problematizadora

PROFESSOR Rafael Henrique dos Reis	TEMA CENTRAL Teoria da Relatividade Restrita de Einstein
OBJETIVOS Apresentar aos estudantes a Relatividade Restrita de Einstein, explicar o desenvolvimento histórico e científico que o levou a realizar esse estudo e fazer a transposição didática entre esse conhecimento e os educandos.	
CONTEÚDOS Pensamento Aristotélico, Princípio da Relatividade de Galileu e a Mecânica Newtoniana, Relatividade da Simultaneidade, Transformações de Lorentz, adição de velocidades, dilatação do tempo e contração do comprimento.	
RECURSOS Diálogo com os estudantes, quadro branco e data show.	
TEMPO Quatro aulas.	

PROCEDIMENTOS	
Problematização inicial	Alguém sabe qual é a velocidade média de propagação do som no ar, a nível do mar? E na água? Será que ele se propaga mais rapidamente no ar ou na água? E a luz? Será que ela tem velocidade de propagação também ou apenas preenche o lugar instantaneamente? Existe algo que seja mais rápido que a luz? A luz emitida pelo Sol nesse exato momento chega aqui na Terra instantaneamente ou demora um tempo para fazer essa viagem pelo Espaço? Falando em viajar pelo Espaço, vocês gostam de assistir filmes, séries e desenhos? Já assisti alguns filmes, séries e até desenhos de ficção científica e que envolviam viagens espaciais e notei algo

	que achei bem curioso. Em alguns deles, como Star Wars, Star Trek, Dragon Ball, Rick and Morty, dentre outros, os personagens viajavam numa velocidade próxima à da luz para locais que se encontravam em outra galáxia e depois retornavam para o local do qual haviam saído e as pessoas não haviam envelhecido quase nada, parecendo que o tempo havia passado exatamente da mesma forma para os dois referenciais. Porém, no filme Interestelar, alguns personagens fazem uma viagem espacial numa velocidade próxima à da luz e, quando retornam à Terra, notam que haviam se passado vários anos no planeta enquanto para eles, que estavam viajando, não havia se passado um ano ainda. Achei muito intrigante. Qual dos dois casos faz mais sentido lógico? Será que o tempo passa igual para todos os referenciais ou será que ele é relativo? Como poderíamos explicar o fenômeno observado no filme Interestelar de modo a fazer sentido? Será que tem uma explicação científica para isso? Será que algo a mais é afetado nessas viagens com velocidades próximas à da luz?
Organização do conhecimento	O pensamento aristotélico, o Princípio da Relatividade de Galileu e a Mecânica Newtoniana Desde os tempos antigos, a humanidade tem buscado compreender os fenômenos da natureza que ocorrem tanto na Terra quanto nos céus. Muitos pensadores dedicaram-se a elaborar teorias para tentar explicar o porquê da ocorrência de tais eventos e como eles ocorriam. Com o passar do tempo, novas teorias foram surgindo de modo a trazer uma melhor explicação para os fenômenos. Porém, tais teorias não surgiam de forma independente. Elas levavam em conta as teorias propostas anteriormente e, a partir dos estudos já estabelecidos, elaboravam-se novas propostas a fim de ampliar ainda mais o leque de conhecimento, deixando a base mais sólida para a explicação e compreensão de tais eventos. Muitos nomes contribuíram para a evolução da ciência, como por exemplo, Aristóteles, Arquimedes, Nicolau Copérnico, Johannes

Kepler, Galileu Galilei, Isaac Newton, Hans Oersted, Michael Faraday, James Maxwell, Hendrik Lorentz, Max Planck, Albert Einstein, dentre outros.

A vontade em entender os fenômenos que ocorrem na Terra e nos céus vêm desde a antiguidade e Aristóteles (384 a.C. – 322 a.C.), filósofo grego, teve grande destaque ao propor explicações para o movimento dos corpos que perduraram por aproximadamente dois milênios.

Uma das ideias defendidas por ele foi a imobilidade da Terra, pois somente assim faria sentido estarmos em equilíbrio sobre ela. Se o planeta estivesse em movimento, teríamos dificuldade em nos equilibrar sobre a sua superfície. Nesse sentido, nosso planeta estaria imóvel no centro do Universo e os outros planetas e astros estariam orbitando ao nosso redor (geocentrismo).

Outro argumento a favor da imobilidade da Terra foi observado nas estrelas, em que a posição relativa entre elas não variava, passando a impressão de que a “abóboda” de estrelas ficava somente girando ao redor do nosso planeta.

A Terra ser o centro do Universo e estar imóvel estava atrelada a argumentos lógicos propostos por Aristóteles. Tais argumentos faziam sentido e respondiam a vários fenômenos observados pelas pessoas.

Para Aristóteles, havia dois tipos de movimento: o natural e o violento/forçado. O primeiro é aquele que faz com que o corpo volte para o seu lugar natural, ou seja, se ele apresenta maior quantidade de terra em sua composição, ele tenderá a voltar sempre para a Terra, enquanto outros corpos, como vapores, tenderiam ir em direção ao céu. Os materiais encontrados na Terra poderiam ser compostos de até quatro elementos fundamentais: terra, fogo, água e ar. O primeiro seria o mais denso dos elementos, explicando o porquê um objeto sólido, ao ser solto, vai em direção à Terra, se movimentando verticalmente para baixo. A água seria o elemento acima da terra por apresentar densidade menor. O ar ficaria sobre a água e, o fogo, o mais leve deles, ficaria acima de todos. O

movimento violento é aquele que necessita de um agente causador, como por exemplo, lançar uma pedra verticalmente para cima. Como o elemento de maior pedrominância em uma pedra é o elemento terra, ao soltá-la, é natural ela movimentar-se verticalmente para baixo, porém se a lançarmos verticalmente para cima, o movimento é considerado forçado.

Aristóteles acreditava que o movimento natural ocorria somente na vertical. Portanto, para um objeto se movimentar horizontalmente sobre uma superfície, um agente causador (uma força) deveria atuar de forma contínua sobre o objeto, caso contrário, o mesmo pararia. Nesse sentido, o repouso é uma condição espontânea, ou seja, se o objeto estiver em seu lugar natural e for solto, tenderá a ficar em repouso e, para que se movimente, será necessário estar fora de seu lugar natural ou estar sujeito a um agente causador para forçar o movimento.

Segundo o pensamento aristotélico, durante a Idade Média, surgiu a ideia do impetus, em que o agente causador do movimento forçado transmite ao objeto uma substância que o permita continuar se movimentando por algum tempo até acabar completamente. Isso explica o fato de um objeto continuar se movimentando até parar ao o empurrarmos e perdermos o contato com ele. O impetus vai sendo consumido e, quando ele acaba, o objeto para de se movimentar.

Após um longo período, novas ideias começaram a ser propostas por diversos pensadores, de modo a colocar o pensamento aristotélico em dúvida. Galileu Galilei (1564-1642), em meados de 1600 d.C., inicia pesquisas que sustentam a ideia de mobilidade da Terra. Ele fez muitas observações, algumas das quais fazendo o uso de telescópio para fazer observações celestes, que iam no sentido oposto às ideias de Aristóteles, apresentando inconsistências nas ideias aristotélicas quanto ao movimento.

Com a utilização do telescópio, Galileu pôde apresentar algumas observações que contradiziam o fato dos corpos celestes serem perfeitamente esféricos e lisos, dos quais podemos citar a irregularidade no formato do planeta Saturno e a superfície da Lua.

Em relação à ideia de que no mundo celeste, externa à órbita da Lua, os astros observados eram eternos e imutáveis, Galileu conseguiu observar uma supernova e manchas no Sol que apareciam a cada 11 anos, apresentando o argumento de que os céus sofriam modificações. Combateu também o geocentrismo, observando que luas ficavam orbitando o planeta Júpiter e registrou as fases do planeta Vênus observadas daqui da Terra, algo que poderia ser explicado considerando o Sol como sendo o centro do Universo.

Galileu concordava com a ideia de Aristóteles, em que o repouso é uma condição espontânea, porém diferia ao acreditar que o movimento uniforme, com velocidade constante, também seria uma condição espontânea. Ele defendia a ideia de que se um corpo é deixado em repouso, espontaneamente ele continuará em repouso, e se ele for deixado em movimento, ele espontaneamente continuará em movimento, ou seja, não será necessário a atuação de um agente causador de modo contínuo para que o objeto permaneça em movimento.

Nesse cenário, Galilei tenta entender e explicar o que causa essas condições espontâneas de repouso e movimento. Sendo assim, ele atribui aos corpos uma propriedade que os mesmos possuem denominada de inércia e que explica o fato dos objetos tenderem a permanecer no mesmo estado em que se encontravam, ou seja, se estava em repouso tende a continuar em repouso e, se estava em movimento, tende a continuar em movimento. Essa propriedade foi desenvolvida e aprimorada por ele, porém seu conceito mais completo e sofisticado foi apresentado por Isaac Newton.

Em relação aos objetos que paravam ao serem empurrados em uma superfície horizontal, Galileu argumentou que o mesmo ocorria porque existia atrito, ou seja, que as superfícies não eram perfeitamente lisas e isso provocava a diminuição da velocidade. E se as superfícies fossem perfeitamente lisas, o que aconteceria? Para desenvolver as ideias, Galileu desenvolveu experimentos

mentais lógicos, já que naquele período não haviam tantos recursos para fazer o estudo de forma mais precisa.

Com essa ideia de inércia e de corpos em movimento continuar movimentando-se, Galileu tenta argumentar o fato de que observarmos astros orbitando a Terra e não o contrário é apenas uma questão de relatividade de movimento e, o fato de não sentirmos a Terra se movimentando, é porque estamos nos movimentando junto a ela. Dessa forma, dizer que a Terra gira em torno do Sol é equivalente a dizer que o Sol gira em torno da Terra, ou seja, os movimentos podem ser considerados relativos.

Outra situação em que podemos perceber a relatividade é a de duas pessoas que correm no mesmo sentido e com a mesma velocidade. Nesse caso, podemos afirmar que a velocidade relativa entre elas é nula, pois o tempo passa e a distância entre elas não varia, ou seja, elas estão em repouso entre si, porém em movimento em relação a uma pessoa que esteja parada em relação ao solo.

Como a ideia de inércia proposta por Galileu estava ganhando força entre os pensadores, Isaac Newton (1643-1727) se aprofundou nesse estudo e o aprimorou até o tornar uma lei, conhecida como a Primeira Lei de Newton ou a Lei da Inércia. De acordo com seus estudos, a inércia é uma propriedade dos corpos em se manter em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme (MRU). Nesse sentido, um corpo livre de interações, se estiver em repouso tende a continuar em repouso ou se estiver movimento retilíneo e uniforme tende a permanecer se movimentando em linha reta e com velocidade constante.

A Lei da Inércia estabelece os referenciais considerados inerciais, ou seja, que tendem a preservar o estado de repouso ou de movimento retilíneo e uniforme em que se encontrava. Caso o referencial esteja sujeito a variações de velocidade ou de direção, ele deixa de ser considerado inercial. Um ônibus no qual a Segunda Lei é válida e a aceleração resultante não depende apenas das forças que atuam sobre o sistema, devendo ser incluídas forças chamadas inerciais, um avião, um trem e até um navio nas mesmas

condições é considerado um referencial inercial. Suponha um ônibus, cujas janelas estejam completamente vedadas, de modo a não conseguir enxergar nada do ambiente externo, trafegando numa pista horizontal, perfeitamente lisa e com velocidade constante. Uma pessoa que se encontra dentro desse ônibus não pode afirmar se o mesmo encontra-se em repouso em relação à Terra ou em movimento, pois tudo que ela consegue fazer parada sobre a superfície ela também consegue fazer com o ônibus em MRU. Sendo assim, nessa situação, o ônibus é considerado um referencial inercial.

Quando o referencial deixa de ser inercial, temos a impressão de que há uma força atuando sobre nosso corpo, fazendo-nos movimentar, porém é uma força dita fictícia. Imagine você se segurando em pé dentro de um ônibus que se movimenta com velocidade constante quando o motorista, repentinamente, pisa no freio até pará-lo completamente. Nesse momento da frenagem, você sente como se uma força o empurrasse para a parte da frente do ônibus, forçando-o a se movimentar. Essa força que você sente é uma força espúria, ou seja, ela não tem um agente causador em seu referencial, como seria o caso de uma força de contato (tensão na corda) ou de uma força à distância (interações fundamentais). O que você experimenta nesse momento é a inércia atuando. Como você estava em movimento retilíneo e uniforme, a tendência do seu corpo é permanecer nesse estado de movimento em que se encontrava e, como o ônibus que reduziu a velocidade, você continuou a se movimentar mais rápido do que ele, tendo a impressão de que uma força que estava te empurrando para frente. Para um observador de fora do ônibus e parado no solo, você se movimentou o tempo todo com a mesma velocidade e em linha reta.

A importância da Primeira Lei de Newton, atribuída por ele a Galileu, reside também no fato de que as outras leis de Newton, que governam o movimento dos corpos, tenham validade apenas para os referenciais inerciais, e para qualquer referencial inercial.

De acordo com o Princípio da Relatividade de Galileu, as leis

da Física são as mesmas independentemente do referencial inercial adotado, sejam as observações feitas de um sistema em repouso ou em movimento com velocidade constante. Dessa forma, a mecânica newtoniana, cujas leis estão atreladas ao movimento, são válidas para referenciais em repouso ou em movimento uniforme, satisfazendo a transformação de Galileu

$$x' = x - v t \quad (1)$$

$$t' = t \quad (2)$$

As equações 1 e 2 mostram a relação existente entre dois sistemas de coordenadas, um em repouso (representado pela posição x e pelo tempo t) e o outro em movimento (representado pela posição x' e pelo tempo t') com velocidade constante v em relação ao que está em repouso, alterando as coordenadas espaciais de um corpo mas mantendo o intervalo tempo como um parâmetro universal. Nas situações em que a Relatividade de Galileu é válida, a Mecânica Newtoniana também é válida.

No entanto, no século XIX, foi observado que a luz não apresentava um comportamento que se adequava à teoria galileana. Independentemente do referencial a que um observador se encontrava, o mesmo veria a luz sempre com a mesma velocidade. A descrição da propagação de feixes de luz evidenciava uma discrepância das leis de movimento de Galileu e Newton com respeito às leis do eletromagnetismo, obtidas independentemente e comprovadas experimentalmente com grande precisão. Esse problema levou a uma necessidade de se repensar sobre os limites de validade do Princípio de Relatividade Galileana.

Relatividade de Einstein

Existem dois tipos de relatividade associadas a Einstein: a Relatividade Especial, apresentada em 1905, e a Relatividade Geral, concluída em 1915. Na primeira, o observador encontra-se em repouso ou em movimento retilíneo uniforme, ou seja, em um

referencial inercial, de modo que os efeitos de aceleração e gravitacionais são considerados situações descritas pela teoria geral. Em ambos os casos, um importante pilar é a universalidade da velocidade da luz, que passaria a se propagar com a mesma rapidez em quaisquer referenciais inerciais, em concordância com as leis do eletromagnetismo. Na formulação de 1915, o observador encontra-se acelerado, de modo que os efeitos gravitacionais e de aceleração são considerados, havendo uma equivalência entre ambos efeitos, levando-se à conclusão de que a gravidade dos objetos massivos afeta o tempo e o espaço.

A velocidade da luz

Em 1864, a eletricidade e o magnetismo foram unificados matematicamente sob a forma das equações de Maxwell, que previam a existência de ondas eletromagnéticas que viajavam a uma velocidade determinada por algumas características do material, como sua permissividade elétrica e sua permeabilidade magnética. Os valores teóricos obtidos para essa velocidade de propagação no vácuo coincidiam com os valores obtidos experimentalmente para a luz nesse mesmo meio, levando então à conclusão de que a luz é uma onda eletromagnética e que apresentava velocidade constante, dependendo apenas do material, sem fazer referência a estados de movimento. Atualmente, no vácuo, o valor aceito de propagação da velocidade da luz é 299.792.458 m/s, ou aproximadamente 300.000 km/s, valor representado pela letra c .

Mas em relação ao que essa velocidade é considerada constante?

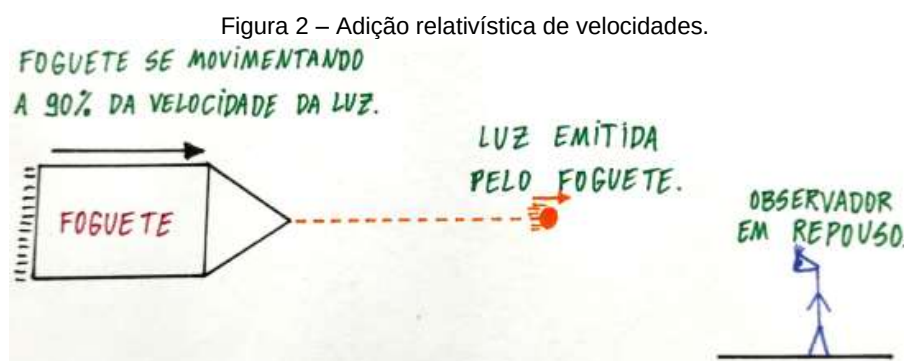
Primeiramente, vamos analisar uma situação de acordo com a mecânica newtoniana. Vamos supor que um observador esteja em repouso em uma Estação Espacial observando um foguete que se desloca com velocidade constante de 10 km/s carregando um míssil. Após um tempo, o foguete lança o míssil, na mesma direção e sentido em que se desloca, afastando-se dele a uma velocidade de 10 km/s. Dessa forma, o míssil, quando observado do foguete,

apresenta velocidade de 10 km/s, enquanto que, quando observado da Estação Espacial, apresenta velocidade de 20 km/s, como indicado na figura 1.



Fonte: do autor (2022).

Quando analisamos essa mesma situação, porém considerando velocidades relativísticas (próxima a velocidade da luz), algo impressionante acontece. Vamos supor que um observador continua em repouso na Estação Espacial e observa um foguete se deslocando a uma velocidade que corresponde a 90% da velocidade da luz, ou seja 270.000 km/s, como mostrado na figura 2. A partir desse momento, o foguete emite um feixe de luz, na mesma direção e sentido de deslocamento, que se afasta dele a aproximadamente 300.000 km/s. Dessa forma, a luz, quando observada do foguete, apresenta velocidade de 300.000 km/s e, quando observada da Estação Espacial, também apresenta velocidade de 300.000 km/s, ficando em desacordo com a mecânica newtoniana, em que deveria se somar as velocidades e chegar ao valor de 570.000 km/s.



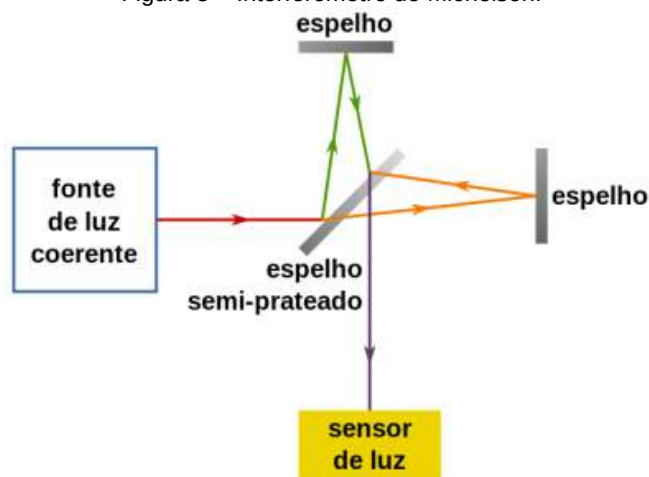
Fonte: do autor (2022).

Para tentar solucionar esse problema, foi levantada a ideia de que todo o Universo era preenchido por um meio absoluto, estacionário e que apresentava velocidade constante, chamado éter, pelo qual a luz conseguia se propagar assim como ondas mecânicas se propagam por um material.

Os físicos Morley e Michelson procuraram descobrir a relação do vento etéreo, utilizando equipamentos que permitiam detectar a velocidade da luz com precisão. Se tudo ocorresse como planejado, eles conseguiriam determinar a velocidade da Terra em relação ao éter estacionário, comprovando a sua existência.

A figura 3 representa o experimento realizado por eles, em que um feixe de luz foi emitido por uma fonte e incidiu sobre um espelho semi-transparente, tendo parte de sua luz refletida e outra transmitida. Cada uma dessas parcelas incidiu em outros dois espelhos equidistantes ao primeiro e retornou a este, tendo novamente mais uma parcela refletida e outra refratada. Por fim, esses raios chegaram a um sensor em que poderia ser identificado qual parcela teria percorrido com maior velocidade devido ao vento etéreo, porém os resultados obtidos eram sempre os mesmos para os raios de luz, independentemente da posição em que o aparato era montado.

Figura 3 – Interferômetro de Michelson.



Fonte: [https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Michelson-Morley_experiment_\(pt\).svg](https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Michelson-Morley_experiment_(pt).svg)

Como os resultados obtidos para a velocidade da luz permaneciam sempre iguais, mesmo com a Terra mudando o seu movimento constantemente, a teoria do éter perdeu força e a Teoria da Relatividade de Galileu ficou em xeque, pois o fenômeno da luz não poderia ser explicada por ela.

A constância da velocidade da luz no vácuo

Albert Einstein, observando o problema apresentado pela luz que estava em desacordo com a mecânica newtoniana, decidiu considerar a velocidade da luz como sendo constante em uma nova teoria.

Nessa teoria, ele teve que se desvincular dos princípios da Teoria Galileana e postulou que a velocidade da luz era a mesma, independentemente do referencial observado. Além disso, ele propôs que todas as leis físicas, inclusive aquelas relacionadas à luz, como as do eletromagnetismo, deveriam continuar sendo válidas para referenciais inerciais. Essa é a essência da Teoria da Relatividade Especial proposta por Einstein.

Como os planetas e todo o Universo estão em constante movimento, não há como definir algo que esteja em repouso absoluto. Sendo assim, a ideia de um referencial inercial absoluto foi descartado por Einstein. Ele considerou que a luz assumia o valor de 300.000 km/s independentemente de quem a observasse e mesmo que simultaneamente.

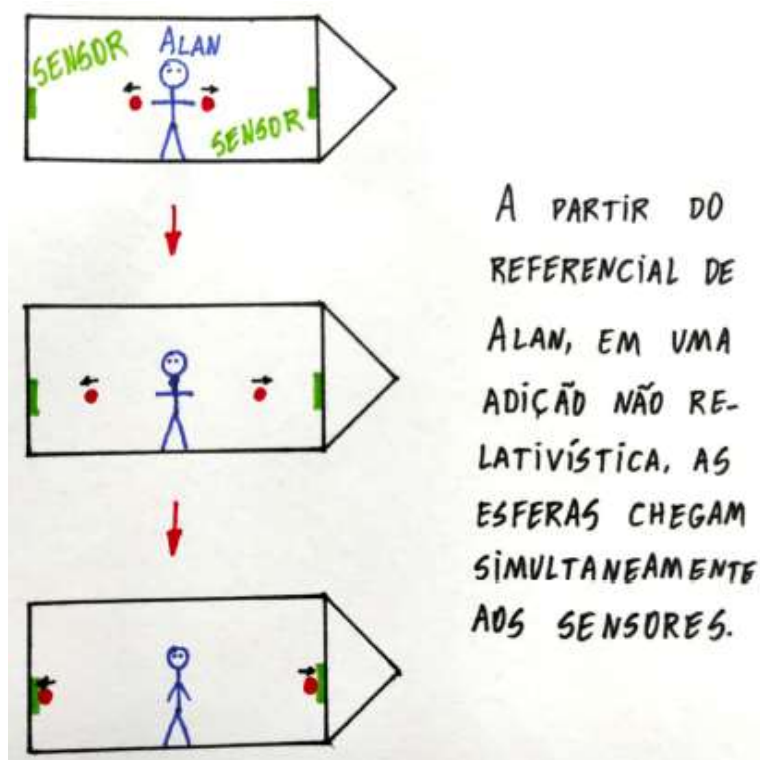
Dessa forma, partindo desse princípio da velocidade constante para todos os referenciais, grandezas como o tempo e comprimento, que eram consideradas absolutas na mecânica newtoniana, sofreriam mudanças, pois estariam sujeitas a variações. Agora, a grandeza realmente absoluta era a velocidade da luz, ao passo que medidas referentes ao tempo e ao espaço sofreriam alterações dependendo do movimento relativo ao observador e passariam a ser unificados em um sistema de coordenadas conhecido como espaço-tempo.

Relatividade da simultaneidade

Quando consideramos que a velocidade da luz é constante, alguns fenômenos parecem se tornar estranhos. Um desses fenômenos é o da Relatividade da Simultaneidade, em que algum par de eventos que é simultâneo para um observador pode não ser para outro. Nas figuras 4 a 7, temos um comparativo para o caso da adição de velocidades de acordo com a mecânica newtoniana e outro cuja velocidade da luz é considerada constante.

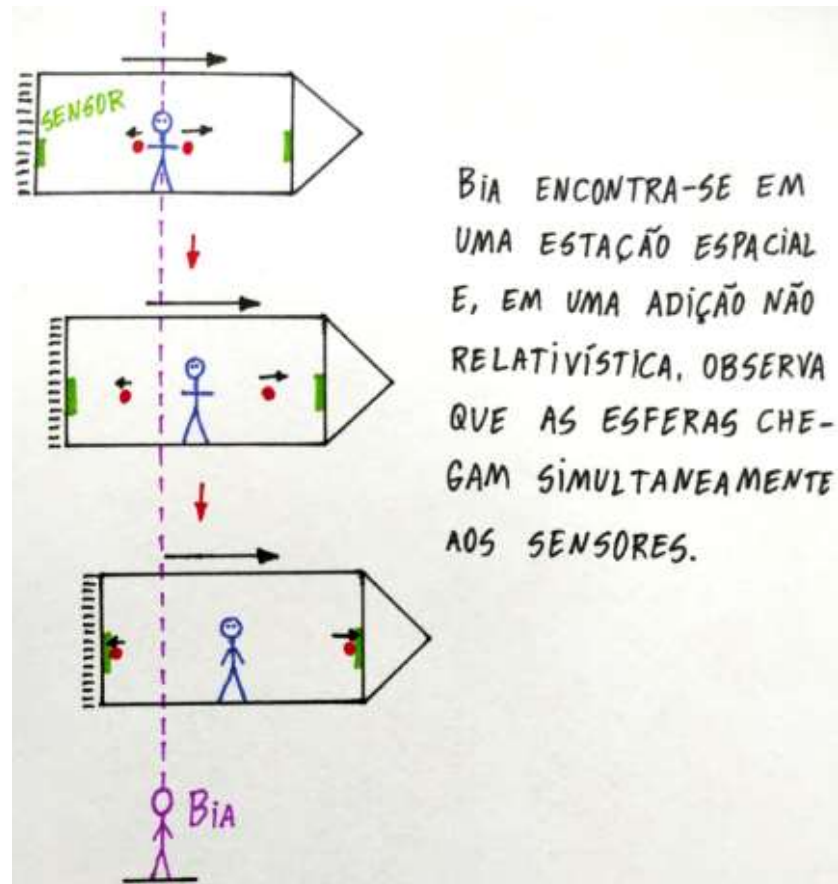
Nas figuras 4 e 5, vamos considerar que o personagem Alan esteja no meio do foguete e viajando com uma velocidade constante, enquanto a personagem Bia está em uma estação estacionária observando Alan. Duas esferas foram lançadas por Alan de modo a atingirem a parte da frente e a parte de trás do foguete e sensores indicariam o momento do impacto de cada bola. Nas figuras 6 e 7, assumiremos que Alan lançará feixes de luz que deverão atingir a parte da frente e a traseira do foguete.

Figura 4 – Esferas sendo observadas a partir do referencial de Alan.



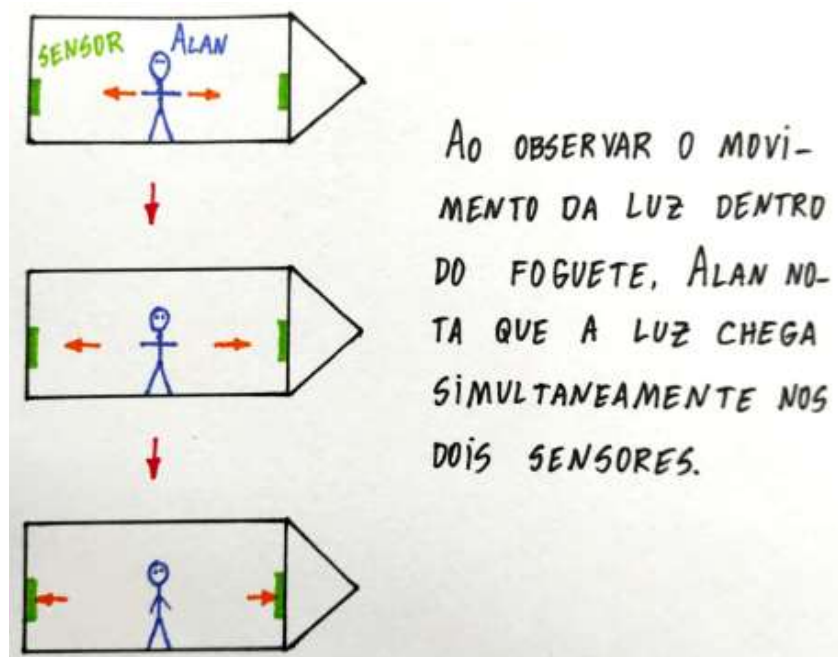
Fonte: do autor (2022).

Figura 5 – Esferas sendo observadas a partir do referencial de Bia.



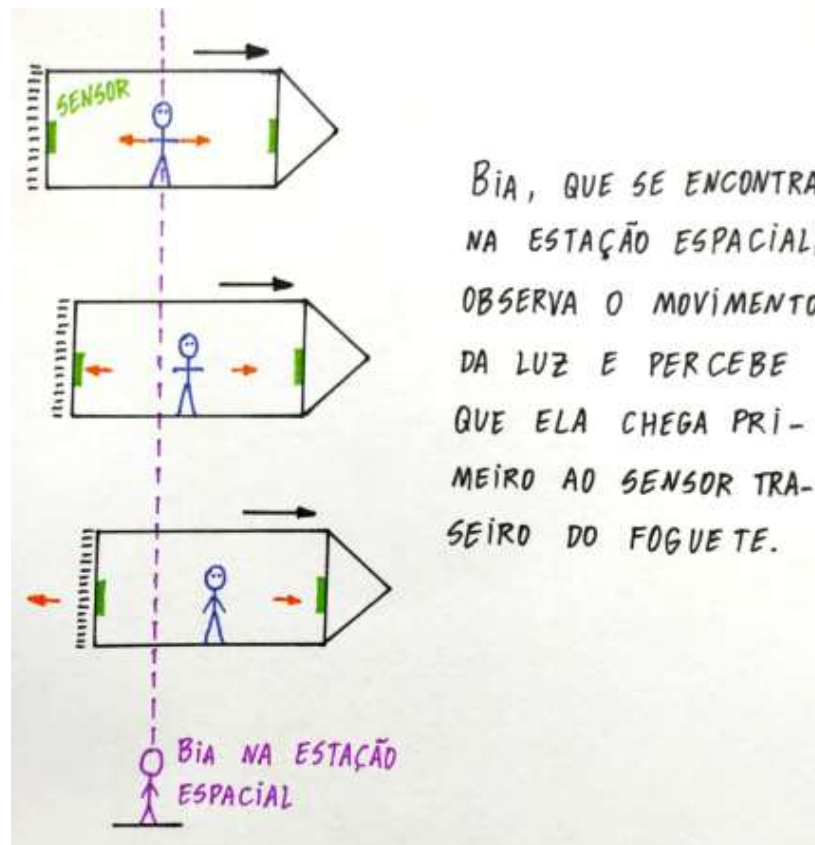
Fonte: do autor (2022).

Figura 6 – Feixes de luz sendo observados a partir do referencial de Alan.



Fonte: do autor (2022).

Figura 7 – Feixes de luz sendo observados a partir do referencial de Bia.



Fonte: do autor (2022).

Essa situação nos mostra a Relatividade da Simultaneidade, em que um evento que é simultâneo para um observador pode não ser para outro.

Transformação de Lorentz

A ideia de que a velocidade da luz permanecia constante, independentemente de quem a observasse, forçou uma reformulação em relação as Transformações Galileanas para a Relatividade. Esses ajustes ficaram conhecidos como Transformações de Lorentz.

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (3)$$

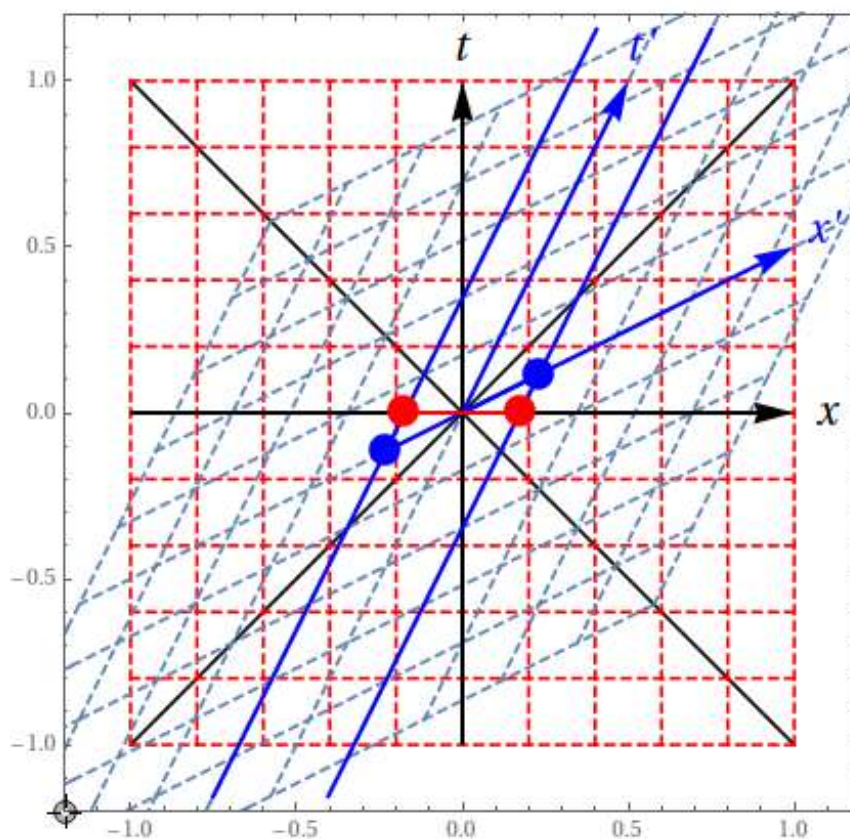
$$t' = \frac{t - \frac{v}{c^2} \cdot x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (4)$$

As grandezas x' e t' , nas equações 3 e 4, representam a posição e o tempo medidos a partir do referencial que está em movimento, enquanto que x e t representam a posição e o tempo medidos a partir do referencial que está em repouso.

A figura 8 contribui para compreender o efeito das Transformações de Lorentz sobre a estrutura do espaço-tempo, onde os eventos são representados.

Por meio dessa transformação relativística de referencial, o quadriculado original (x,t) em termos de linhas perpendiculares é deformado de forma que as novas coordenadas de espaço e tempo (x',t') apontam graficamente em outras direções, não mais perpendiculares. Visto dessa maneira, as diferenças de comprimentos e intervalos de tempo passam a ter uma boa representação visual.

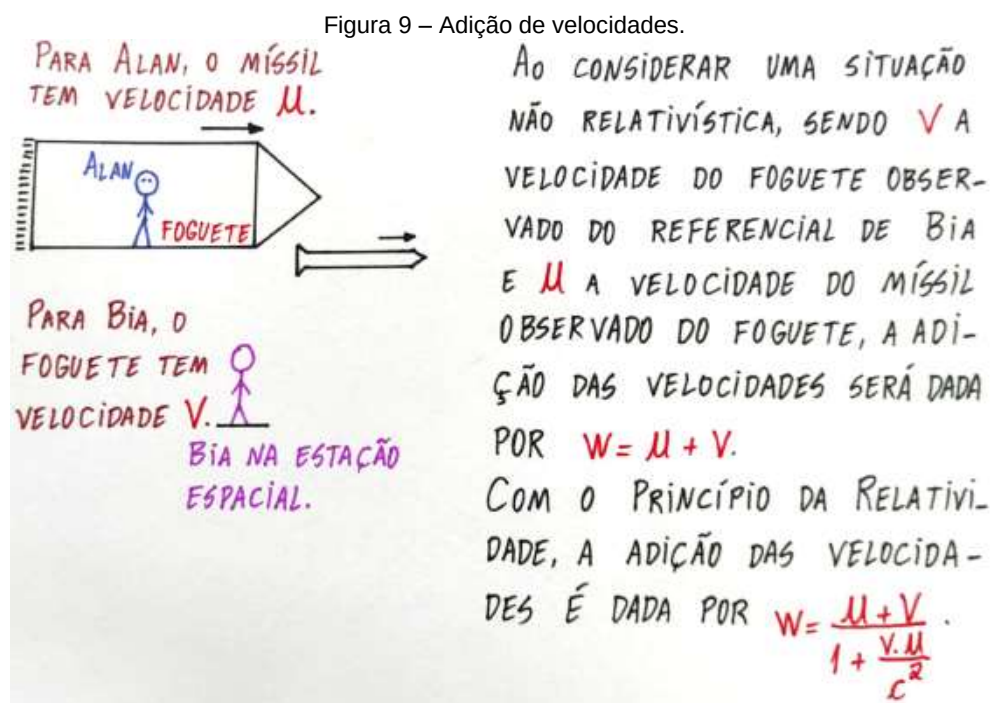
Figura 8 – Efeito das Transformações de Lorentz sobre a estrutura espaço-tempo.



Fonte: "Understanding Special Relativity: The Lorentz Transformation, Time Dilation, and Length Contraction", Frederick W. Strauch.

Adição de velocidades

Na figura 9, temos as equações da adição de velocidades considerando uma situação não relativística e outra relativística, em que v representa a velocidade do foguete, u representa a velocidade do míssil observada a partir do foguete e w é a velocidade do míssil observada por Bia.



Fonte: do autor (2022).

Vamos considerar uma situação em que a velocidade v do foguete seja de $0,5c$ (50% da velocidade da luz) e a velocidade do míssil u também seja de $0,5c$. Nessa situação, a velocidade w do míssil observada por Bia será de $0,8c$, como podemos observar a partir dos cálculos a abaixo.

$$w = \frac{u+v}{1+\frac{v \cdot u}{c^2}} = \frac{0,5c+0,5c}{1+\frac{0,5c \cdot 0,5c}{c^2}} = \frac{c}{1,25} = 0,8c$$

Mesmo que adotemos o valor máximo da velocidade da luz para v e u , a velocidade w do míssil observada por Bia não excederá a velocidade da luz c , conforme percebe-se a seguir.

$$w = \frac{u+v}{1+\frac{vu}{c^2}} = \frac{c+c}{1+\frac{c \cdot c}{c^2}} = \frac{2c}{2} = c$$

Dilatação do tempo

Para os objetos que se encontram em movimento, o tempo vai passando de maneira mais lenta do que para aqueles que se encontram em repouso em outro referencial inercial, os comprimentos se contraem e a massa é aumentada.

Figura 10 – Trajetória do raio de luz observado pelo homem do foguete e pelo homem da Estação Espacial.



Fonte: do autor (2022).

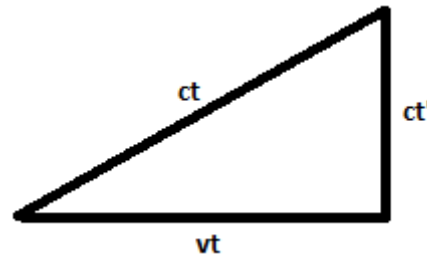
Para demonstrar essa dilatação temporal utilizaremos o Teorema de Pitágoras com base nas informações da situação representada na figura 10, em que t indicará o tempo decorrido no relógio do observador que se encontra na Estação Espacial (Bia) e t' aquele observado no relógio do homem que se encontra deslocando junto ao foguete (Alan) com uma velocidade v .

Quando o homem do foguete analisa a trajetória dos raios de luz emitidos pelo relógio, percebe que este apenas sobe e desce, após refletir em um espelho no teto, pois o relógio está se deslocando juntamente com o foguete, deslocando ct' .

Ao analisar os pontos pelos quais a luz passa a partir da Estação Espacial, percebe-se que ela descreve uma trajetória na diagonal e com velocidade c , que é o seu limite. Sendo assim, ela

percorre uma distância ct , enquanto que a sua componente horizontal percorre uma distância vt (devido a velocidade horizontal do foguete) e ct' na vertical, a partir do referencial do homem que se encontra dentro do foguete. Podemos observar no triângulo da figura 11 esses deslocamentos e aplicar o Teorema de Pitágoras.

Figura 11 – Trajetória dos raios de luz e suas componentes.



Fonte: do autor (2022)

$$c^2t^2 = c^2t'^2 + v^2t^2$$

$$c^2t^2 - v^2t^2 = c^2t'^2$$

$$c^2t'^2 = (c^2 - v^2)t^2$$

$$t'^2 = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)t^2$$

$$t' = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot t \quad (5)$$

em que t' é o tempo observado no referencial do foguete e t no referencial de quem está na Estação Espacial.

A partir da equação 5, percebe-se que o tempo passa mais lentamente no referencial daquele que se encontra se deslocando junto ao foguete.

Considerando um foguete que se movimenta a 90% da velocidade da luz ($v = 0,9c$) quando observado do referencial que se encontra numa Estação Espacial e que o tempo decorrido nesse referencial seja de 4,6 anos (t), podemos calcular o tempo que se passou no referencial do foguete (t') da seguinte forma:

$$t' = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot t = \sqrt{1 - \frac{(0,9c)^2}{c^2}} \cdot 4,6 = 2 \text{ anos}$$

Contração do comprimento

Vamos considerar a situação da figura 12 em que uma pessoa (Alan) está viajando juntamente com um foguete que se desloca com uma velocidade constante v . Ao medir a distância que separa a frente do foguete (x_2') até a parte de trás do mesmo (x_1'), chega-se a conclusão de que a espaçonave tem um comprimento $l_0 = x_2' - x_1'$, conforme pode-se observar na figura 13.

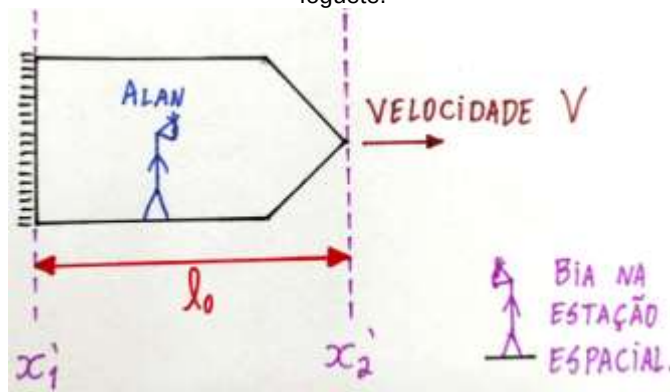
Figura 12 – Uma pessoa em repouso em relação ao foguete faz a medição do comprimento entre as extremidades da nave.



Fonte: do autor (2022).

Se essa medição fosse realizada por uma pessoa que se encontra em uma Estação Espacial, o valor que esta encontraria seria menor do que aquele registrado por Alan. Esse efeito é conhecido como contração relativística do comprimento e é percebido para velocidades próximas à velocidade da luz.

Figura 13 – Uma pessoa em uma Estação Espacial percebe um comprimento menor para o foguete.



Fonte: do autor (2022).

Podemos demonstrar essa relação dos comprimentos a partir da Transformação de Lorentz.

$$x_1' = \frac{x_1 - vt_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad x_2' = \frac{x_2 - vt_2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Seendo $l = x_2 - x_1$ o comprimento do foguete a partir da Estação Espacial, temos para o lado de dentro a seguinte situação:

$$l_0 = x_2' - x_1' = \frac{x_2 - vt_2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - \frac{x_1 - vt_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{(x_2 - x_1) - (t_2 - t_1)v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Ao considerar a medição sendo realizada ao mesmo tempo, $t_1 - t_2 = 0$ e l_0 é obtido da seguinte forma:

$$l_0 = \frac{(x_2 - x_1) - (t_2 - t_1)v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{(x_2 - x_1)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$l = l_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (6)$$

em que l_0 é o comprimento observado no referencial do foguete e l no referencial de quem está na Estação Espacial. A equação 6 refere-se à contração do comprimento.

Considerando um foguete que se movimenta a 90% da velocidade da luz ($v = 0,9c$) quando observado de uma Estação Espacial e que possui um comprimento de 100 metros ($l_0 = 100$ m) quando medido por uma pessoa que se encontra no mesmo referencial que o foguete, o comprimento do foguete observado a partir da Estação Espacial pode ser calculado da seguinte forma:

	$l = l_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = l = 100 \cdot \sqrt{1 - \frac{(0,9c)^2}{c^2}} = 43,6 \text{ metros}$
Aplicação do conhecimento	Alguém sabe qual é a velocidade média de propagação do som no ar, a nível do mar? E na água? Será que ele se propaga mais rapidamente no ar ou na água? E a luz? Será que ela tem velocidade de propagação também ou apenas preenche o lugar instantaneamente? Existe algo que seja mais rápido que a luz? A luz emitida pelo Sol nesse exato momento chega aqui na Terra instantaneamente ou demora um tempo para fazer essa viagem pelo Espaço? Falando em viajar pelo Espaço, vocês gostam de assistir filmes, séries e desenhos? Já assisti alguns filmes, séries e até desenhos de ficção científica e que envolviam viagens espaciais e notei algo que achei bem curioso. Em alguns deles, como Star Wars, Star Trek, Dragon Ball, Rick and Morty, dentre outros, os personagens viajavam numa velocidade próxima à da luz para locais que se encontravam em outra galáxia e depois retornavam para o local do qual haviam saído e as pessoas não haviam envelhecido quase nada, parecendo que o tempo havia passado exatamente da mesma forma para os dois referenciais. Porém, no filme Interestelar, alguns personagens fazem uma viagem espacial numa velocidade próxima à da luz e, quando retornam à Terra, notam que haviam se passado vários anos no planeta enquanto para eles, que estavam viajando, não havia se passado um ano ainda. Achei muito intrigante. Qual dos dois casos faz mais sentido lógico? Será que o tempo passa igual para todos os referenciais ou será que ele é relativo? Como poderíamos explicar o fenômeno observado no filme Interestelar de modo a fazer sentido? Será que tem uma explicação científica para isso? Será que algo a mais é afetado nessas viagens com velocidades próximas à da luz?

2.3 Apresentação e regras do jogo

O jogo é uma corrida em que os participantes são representados por peças que deverão percorrer as casas do circuito no tabuleiro. Os participantes jogam com um dado e devem andar o número de casas que aparecer no mesmo. A pista é dividida em casas e cada uma possui um comando: “G”, “E”, “P” ou “?”.

Se o comando for “G”, o participante pega uma carta do monte “G” e responde a pergunta que está relacionada à Relatividade de Galileu (múltipla escolha).

Se o comando for “E”, o participante saca uma carta do monte “E” e responde a pergunta que está relacionada à Relatividade de Einstein (múltipla escolha).

Se o comando for “?”, o participante deve pegar uma carta do monte “?”, analisar a afirmação e dizer se o que está escrito na frase tem relação com a Relatividade de Galileu ou de Einstein.

Se o comando for “P”, o participante não puxa nenhuma carta e passa a vez.

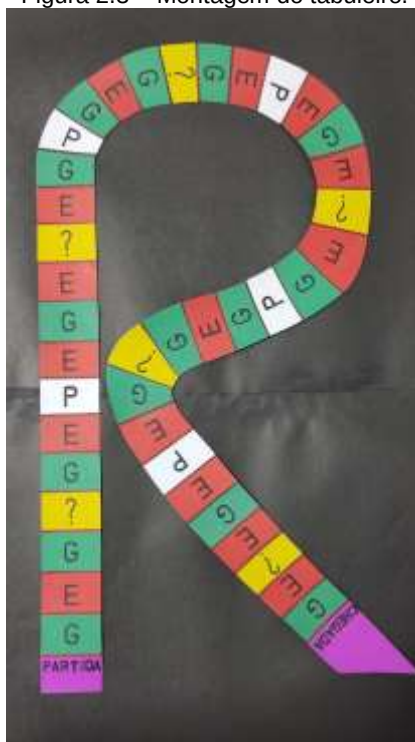
Se o participante tiver caído em “G”, “E” ou “?”, deve pegar a carta, abrir a primeira parte, ler a pergunta e responder em voz alta qual acredita ser a resposta correta. Em seguida, o jogador da sequência deve pegar essa carta e abrir a segunda parte da mesma para verificar se a resposta está CERTA ou ERRADA.

Se estiver CERTA, o participante deve seguir o comando estabelecido no final da segunda parte aberta da carta (exemplos: avance uma casa; avance duas casas; jogue novamente; seu adversário deve retornar uma casa...).

Se estiver ERRADA, o participante deve seguir o comando estabelecido no final da segunda parte aberta da carta (exemplos: volte uma casa; volte duas casas; perca a vez na próxima rodada; volte para a última parada...).

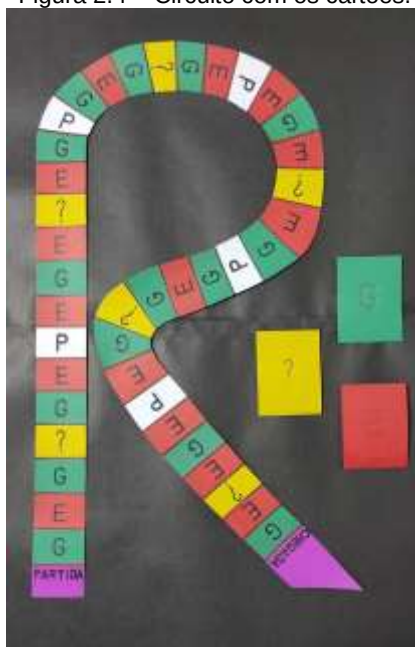
O primeiro participante a completar totalmente o circuito, será o vencedor.

Figura 2.3 – Montagem do tabuleiro.



Fonte: do autor (2022).

Figura 2.4 – Circuito com os cartões.



Fonte: do autor (2022).

As regras do jogo devem ser digitadas, impressas e coladas em cartolina de dimensões 25 cm x 7 cm. As 2.5 a 2.9 apresentam o passo a passo dessa montagem.

Figura 2.5 – Formato dos cartões.



Fonte: do autor (2022)

Figura 2.6 – Dobrados em duas partes.



Fonte: do autor (2022).

Figura 2.7 – Escolha dos tipos de cartões.



Fonte: do autor (2022).

Figura 2.8 – Apresentação da pergunta de cada cartão.



Fonte: do autor (2022).

Figura 2.9 – Apresentação da resposta de cada cartão.



Fonte: do autor (2022).

Na elaboração das perguntas, utiliza-se os seguintes materiais: cartolinas, cola, tesoura, lápis, borracha, régua e canetinha. Recortam-se as cartolinas em várias unidades de dimensões 25 cm x 7 cm no formato demonstrado na figura 2.5. As perguntas, as respostas e o comando de CERTO ou ERRADO devem ser digitados, impressos e colados nos pedaços de cartolina. Na sequência, são dobrados em duas partes até ficarem na forma como é demonstrado na figura 2.6.

Neste processo de construção, os estudantes podem ajudar ativamente na montagem do tabuleiro, das regras e, principalmente, na elaboração das perguntas relacionadas ao tema.

2.5 Perguntas elaboradas para o jogo

Perguntas relativas ao cartão “?” → São afirmações e é apenas para indicar se elas se encaixam na Relatividade de Galileu ou de Einstein.

RELATIVIDADE DE GALILEU OU EINSTEIN?

O tempo passa mais lentamente para objetos que estão em movimento, quando medido por um observador em um referencial em repouso.

RESPOSTA

CERTA: Einstein → Avance uma casa.

ERRADA: Galileu → Volte uma casa.

RELATIVIDADE DE GALILEU OU EINSTEIN?

O tempo é uma grandeza absoluta e comum a todos os referenciais.

RESPOSTA

CERTA: Galileu → Pegue uma carona em um foguete e avance duas casas.

ERRADA: Einstein → A Millennium Falcon apresenta problemas no reator e precisa ser reparada. Volte duas casas.

RELATIVIDADE DE GALILEU OU EINSTEIN?

O tempo e o espaço são grandezas absolutas.

RESPOSTA

CERTA: Galileu → Você encontrou um buraco de minhoca. Avance até a próxima casa G.

ERRADA: Einstein → Volte até chegar a uma casa E ou beba um copo d'água.

RELATIVIDADE DE GALILEU OU EINSTEIN?

O tempo e o espaço são grandezas que dependem do referencial.

RESPOSTA

CERTA: Einstein → Avance uma casa.

ERRADA: Galileu → Volte até chegar a uma casa G ou responda mentalmente, em 10 segundos, o resultado da raiz quadrada de 121.

RELATIVIDADE DE GALILEU OU EINSTEIN?

A velocidade da luz é uma grandeza absoluta e comum a todos os referenciais.

RESPOSTA

CERTA: Einstein → Avance duas casas.

ERRADA: Galileu → Fique uma rodada sem jogar ou responda mentalmente, em 10 segundos, o resultado de 14 vezes 15.

RELATIVIDADE DE GALILEU OU EINSTEIN?

A velocidade é uma grandeza dependente do espaço e do tempo.

RESPOSTA

CERTA: Galileu → Você acaba de ganhar um combustível extra. Jogue novamente.

ERRADA: Einstein → Volte uma casa.

RELATIVIDADE DE GALILEU OU EINSTEIN?

Quando visto em movimento a partir de um referencial em repouso, o comprimento do objeto diminui na direção do deslocamento.

RESPOSTA

CERTA: Einstein → Pegue uma carona em um foguete e avance até a próxima casa E.

ERRADA: Galileu → Você está viajando na Millennium Falcon e ela precisa de reparos. Volte duas casas.

RELATIVIDADE DE GALILEU OU EINSTEIN?

As leis da Física são as mesmas para todos os referenciais inerciais.

RESPOSTA

CERTA: Einstein → Seu foguete ainda tem combustível. Jogue novamente.

ERRADA: Galileu → Volte até chegar a uma casa G ou responda mentalmente, em 10 segundos, o resultado da soma entre 18 e 37.

RELATIVIDADE DE GALILEU OU EINSTEIN?

Dois observadores movendo-se com velocidades constantes, na mesma direção e sentido, terão os mesmos resultados físicos para todos os experimentos mecânicos realizados.

RESPOSTA

CERTA: Galileu → Avance uma casa.

ERRADA: Einstein → Volte uma casa.

RELATIVIDADE DE GALILEU OU EINSTEIN?

Independente da velocidade, o comprimento do objeto permanece constante.

RESPOSTA

CERTA: Galileu → Você encontrou um buraco de minhoca. Avance até a próxima casa P.

ERRADA: Einstein → Volte até chegar a uma casa E ou beba um copo d'água.

RELATIVIDADE DE GALILEU OU EINSTEIN?

A velocidade de propagação da luz é constante e independe do sistema de referência.

RESPOSTA

CERTA: Einstein → Avance uma casa.

ERRADA: Galileu → Fique uma rodada sem jogar ou responda mentalmente, em 10 segundos, qual é o resultado de 8 vezes 16.

RELATIVIDADE DE GALILEU OU EINSTEIN?

O intervalo de tempo medido por um relógio, a partir do referencial em que se encontra, ao ver um foguete espacial se deslocando com uma velocidade relativa de $0,6c$ é maior do que o intervalo de tempo medido por outro relógio que se encontra no mesmo referencial que o foguete espacial.

RESPOSTA

CERTA: Einstein → Avance duas casas.

ERRADA: Galileu → Volte uma casa.

RELATIVIDADE DE GALILEU OU EINSTEIN?

Um objeto impulsionado por uma força e que adquire movimento só para em razão de forças externas, como por exemplo, o atrito. Caso contrário, o corpo seguiria em linha reta e com velocidade constante (MRU).

RESPOSTA

CERTA: Galileu → Ao utilizar a gravidade de um planeta em uma manobra, você economizou combustível. Jogue novamente.

ERRADA: Einstein → Você passou muito perto do horizonte de eventos de um buraco negro e quase não consegue escapar. Volte duas casas.

RELATIVIDADE DE GALILEU OU EINSTEIN?

O comprimento de um ônibus em movimento visto por um observador em repouso no solo é igual a aquele medido por um observador que está dentro do ônibus e se movendo junto a ele.

RESPOSTA

CERTA: Galileu → Você encontrou um buraco de minhoca. Avance até a próxima casa G.

ERRADA: Einstein → Volte até chegar a uma casa E ou beba um copo d'água.

RELATIVIDADE DE GALILEU OU EINSTEIN?

O comprimento de um ônibus espacial em movimento visto por um observador em repouso em uma estação é menor do que o medido por um observador que está dentro do ônibus e se deslocando junto a ele.

RESPOSTA

CERTA: Einstein → Você encontrou a espaçonave Enterprise e ganhará uma carona. Avance até a próxima casa E.

ERRADA: Galileu → Volte até chegar a uma casa G ou faça 5 flexões de braço.

RELATIVIDADE DE GALILEU OU EINSTEIN?

O intervalo de tempo medido a partir do referencial de um observador que se encontra em repouso no solo é igual ao intervalo de tempo medido no referencial de um outro observador que se desloca junto a um trem bala.

RESPOSTA

CERTA: Galileu → Você fez uma manobra utilizando a gravidade de uma estrela e economizou combustível. Jogue novamente.

ERRADA: Einstein → Fique uma rodada sem jogar ou responda mentalmente, em 10 segundos, o resultado da raiz quadrada de 256.

Perguntas relativas ao cartão “E” → Verificar qual das alternativas está de acordo com a Relatividade de Einstein.

QUAL ALTERNATIVA ESTÁ DE ACORDO COM A RELATIVIDADE DE EINSTEIN?

- A) tempo é uma grandeza absoluta.
- B) o comprimento é uma grandeza absoluta.
- C) a velocidade da luz no vácuo é constante para qualquer referencial.

RESPOSTA

CERTA: Letra C → Avance uma casa.

ERRADA: Letras A e B → Volte uma casa.

QUAL ALTERNATIVA ESTÁ DE ACORDO COM A RELATIVIDADE DE EINSTEIN?

Uma pessoa A encontra-se dentro de um foguete espacial que se movimenta a 50% da velocidade da luz, enquanto uma pessoa B está em repouso em uma Estação Espacial.

- A) A partir do referencial da Estação Espacial, B perceberá uma dilatação temporal no referencial de A.
- B) A partir do referencial da Estação Espacial, B perceberá uma contração temporal no referencial de A.
- C) A partir do referencial da Estação Espacial, B perceberá que o tempo no referencial de A não sofre alteração.

RESPOSTA

CERTA: Letra A → Você encontrou um buraco de minhoca. Avance até a próxima casa E.

ERRADA: Letras B e C → Fique uma rodada sem jogar ou responda mentalmente, em 10 segundos, o resultado de 58 menos 23.

QUAL ALTERNATIVA ESTÁ DE ACORDO COM A RELATIVIDADE DE EINSTEIN?

- A) tempo é uma grandeza relativa.
- B) o comprimento é uma grandeza absoluta.
- C) a velocidade da luz no vácuo varia de acordo com o referencial.

RESPOSTA

CERTA: Letra A → Avance duas casas.

ERRADA: Letras B e C → Você passou muito perto do horizonte de eventos de um buraco negro e quase não consegue escapar. Volte duas casas.

QUAL ALTERNATIVA ESTÁ DE ACORDO COM A RELATIVIDADE DE EINSTEIN?

- A) tempo é uma grandeza absoluta.
- B) o comprimento é uma grandeza relativa.
- C) a velocidade da luz no vácuo varia de acordo com o referencial.

RESPOSTA

CERTA: Letra B → Você fez uma manobra utilizando a gravidade de uma estrela e economizou combustível. Jogue novamente.

ERRADA: Letras A e C → Volte até chegar a uma casa E ou beba um copo d'água.

QUAL ALTERNATIVA ESTÁ DE ACORDO COM A RELATIVIDADE DE EINSTEIN?

Uma pessoa A que se encontra em repouso em uma Estação Espacial observa uma espaçonave passando em linha reta com velocidade de $0,5c$ (50% da velocidade da luz). O comprimento da espaçonave, na direção do movimento, visto pelo observador A, quando comparado por outra pessoa que se encontra dentro da espaçonave, será

- A) menor.
- B) maior.
- C) de mesmo tamanho.

RESPOSTA

CERTA: Letra A → Avance duas casas.

ERRADA: Letras B e C → Volte duas casas.

QUAL ALTERNATIVA ESTÁ DE ACORDO COM A RELATIVIDADE DE EINSTEIN?

Um observador A se encontra em repouso em uma Estação Espacial observando uma espaçonave passando em linha reta com velocidade de $0,6c$ (60% da velocidade da luz). Um observador B encontra-se dentro da espaçonave e em repouso em relação a ela. O comprimento da espaçonave, na direção do movimento, visto pelo observador B, quando comparado ao observado por A, será

- A) menor.
- B) maior.
- C) de mesmo tamanho.

RESPOSTA

CERTA: Letra B → Jogue novamente.

ERRADA: Letras A e C → Volte até chegar a uma casa E ou faça 10 polichinelos.

QUAL ALTERNATIVA ESTÁ DE ACORDO COM A RELATIVIDADE DE EINSTEIN?

- A) As leis físicas não são válidas para referenciais inerciais.
- B) A velocidade da luz é constante para qualquer referencial.
- C) A velocidade da luz não tem limite.

RESPOSTA

CERTA: Letra B → Jogue novamente.

ERRADA: Letras A e C → Volte até chegar a uma casa E ou responda mentalmente, em 10 segundos o resultado da raiz quadrada de 169.

QUAL ALTERNATIVA ESTÁ DE ACORDO COM A RELATIVIDADE DE EINSTEIN?

Um observador A se encontra em repouso em uma Estação Espacial observando uma espaçonave passando em linha reta com velocidade de $0,4c$ (40% da velocidade da luz). Um observador B encontra-se dentro da espaçonave e em repouso em relação a ela. O comprimento da espaçonave, na direção perpendicular ao deslocamento, visto pelo observador B, quando comparado ao observado por A, será

- A) menor.
- B) maior.
- C) de mesmo tamanho.

RESPOSTA

CERTA: Letra C → Você conseguiu encontrar a espaçonave Millennium Falcon e conseguiu uma carona. Avance até a próxima casa E.

ERRADA: Letras A e B → Fique uma rodada sem jogar ou responda mentalmente, em 10 segundos, o resultado da divisão de 180 por 5.

QUAL ALTERNATIVA ESTÁ DE ACORDO COM A RELATIVIDADE DE EINSTEIN?

Um observador A se encontra em repouso em uma Estação Espacial observando uma espaçonave passando em linha reta com velocidade de $0,3c$ (30% da velocidade da luz). Um observador B encontra-se dentro da espaçonave e em repouso em relação a ela. O comprimento da espaçonave, na direção perpendicular ao deslocamento, visto pelo observador A, quando comparado ao observado por B, será

- A) de mesmo tamanho.
- B) menor.
- C) maior.

RESPOSTA

CERTA: Letra A → Avance uma casa.

ERRADA: Letras B e C → Volte uma casa.

QUAL ALTERNATIVA ESTÁ DE ACORDO COM A RELATIVIDADE DE EINSTEIN?

Um observador A encontra-se dentro de uma nave espacial que se desloca a 200.000 km/s enquanto um observador B encontra-se em repouso em uma Estação Espacial. Um raio de luz é acionado da nave na mesma direção e sentido do deslocamento. A velocidade do raio de luz visto pelo observador A será

- A) menor que 300.000 km/s .
- B) maior que 300.000 km/s .
- C) igual a 300.000 km/s .

RESPOSTA

CERTA: Letra C → Avance duas casas.

ERRADA: Letras A e B → Volte duas casas.

QUAL ALTERNATIVA ESTÁ DE ACORDO COM A RELATIVIDADE DE EINSTEIN?

Um observador A encontra-se dentro de uma nave espacial que se desloca a 100.000 km/s enquanto um observador B encontra-se em repouso em uma Estação Espacial. Um raio de luz é acionado da nave na mesma direção e sentido do deslocamento. A velocidade do raio de luz visto pelo observador B será

- A) igual a 300.000 km/s.
- B) maior que 300.000 km/s.
- C) menor que 300.000 km/s.

RESPOSTA

CERTA: Letra A → Você ainda tem combustível para impulsionar a sua espaçonave. Jogue novamente.

ERRADA: Letras B e C → Volte até chegar a uma casa E ou beba um copo d'água.

QUAL ALTERNATIVA ESTÁ DE ACORDO COM A RELATIVIDADE DE EINSTEIN?

Uma Estação Espacial se desloca a 150.000 km/s. Uma nave será lançada dessa estação, na mesma direção e sentido, com velocidade de 200.000 km/s. Um observador que se encontra em repouso dentro dessa estação verá essa nave com velocidade

- A) de 200.000 km/s.
- B) de 300.000 km/s.
- C) de 350.000 km/s.

RESPOSTA

CERTA: Letra A → Avance uma casa.

ERRADA: Letras B e C → Volte uma casa.

QUAL ALTERNATIVA ESTÁ DE ACORDO COM A RELATIVIDADE DE EINSTEIN?

Uma Estação Espacial A se desloca a 150.000 km/s. Uma nave será lançada dessa estação, na mesma direção e sentido, com velocidade de 200.000 km/s. Um observador que se encontra em repouso em uma Estação Espacial B verá essa nave com velocidade

- A) maior que 300.000 km/s.
- B) menor que 300.000 km/s.
- C) igual a 300.000 km/s.

RESPOSTA

CERTA: Letra B → Parabéns! Você encontrou um atalho ao atravessar um buraco de minhoca. Avance até a próxima casa E.

ERRADA: Letras A e C → Fique uma rodada sem jogar ou responda mentalmente, em 10 segundos, o resultado da soma entre 63 e 59.

QUAL ALTERNATIVA ESTÁ DE ACORDO COM A RELATIVIDADE DE EINSTEIN?

- A) As leis físicas são as mesmas para todos os referenciais inerciais.
- B) Toda ação gera uma reação de mesma intensidade, mesma direção e sentido oposto.
- C) Na natureza nada se cria ou se perde, tudo se transforma.

RESPOSTA

CERTA: Letra A → Avance duas casas.

ERRADA: Letras B e C → O campo gravitacional de um buraco negro o atingiu. Volte duas casas.

Perguntas relativas ao cartão “G” → Verificar qual das alternativas está de acordo com a Relatividade de Galileu.

QUAL ALTERNATIVA ESTÁ DE ACORDO COM A RELATIVIDADE DE GALILEU?

- A) tempo é uma grandeza absoluta.
- B) o comprimento é uma grandeza dependente do referencial.
- C) a velocidade é uma grandeza não dependente do tempo.

RESPOSTA

CERTA: Letra A → Avance uma casa.

ERRADA: Letras B e C → Volte uma casa.

QUAL ALTERNATIVA ESTÁ DE ACORDO COM A RELATIVIDADE DE GALILEU?

- A) Um objeto conseguirá se movimentar somente se houver uma força atuando sobre o mesmo.
- B) Um objeto pode continuar em movimento mesmo que não haja uma força atuando sobre ele.
- C) Enquanto não houver força atuando sobre o objeto, ele permanecerá em equilíbrio estático, ou seja, obrigatoriamente em repouso.

RESPOSTA

CERTA: Letra B → Sua espaçonave tem um compartimento extra de combustível. Jogue novamente.

ERRADA: Letras A e C → Volte até chegar a uma casa G ou beba um copo d'água.

QUAL ALTERNATIVA ESTÁ DE ACORDO COM A RELATIVIDADE DE GALILEU?

- A) Dois observadores movendo-se com velocidades constantes, na mesma direção e sentido, terão os mesmos resultados físicos para todos os experimentos mecânicos realizados.
- B) Dois observadores movendo-se com velocidades constantes, na mesma direção e sentido, não terão os mesmos resultados físicos para todos os experimentos mecânicos realizados.
- C) Dois observadores, um em MU e outro em MUV, movendo-se na mesma direção e sentido, terão os mesmos resultados físicos para todos os experimentos mecânicos realizados.

RESPOSTA

CERTA: Letra A → Avance duas casas.

ERRADA: Letras B e C → Volte duas casas.

QUAL ALTERNATIVA ESTÁ DE ACORDO COM A RELATIVIDADE DE GALILEU?

Um objeto em repouso adquire velocidade ao ser empurrado sobre uma superfície horizontal, plana e sem atrito. Sabendo que não há resistência do ar, quando a força para de atuar sobre o objeto, o mesmo

- A) permanecerá se movimentando com velocidade constante e em linha reta.
- B) continuará se movimentando até parar completamente após percorrer uma certa distância.
- C) irá parar imediatamente.

RESPOSTA

CERTA: Letra A → Avance uma casa.

ERRADA: Letras B e C → Volte uma casa.

QUAL ALTERNATIVA ESTÁ DE ACORDO COM A RELATIVIDADE DE GALILEU?

A) Um objeto é considerado em repouso em relação a outro quando a distância entre eles não varia com o passar do tempo.

B) Um objeto é considerado em repouso em relação a outro quando a distância entre eles varia com o passar do tempo.

C) Um objeto é considerado em repouso em relação a outro somente quando se encontra parado sobre o planeta.

RESPOSTA

CERTA: Letra A → Avance duas casas.

ERRADA: Letras B e C → Você foi pego por um buraco negro. Volte duas casas.

QUAL ALTERNATIVA ESTÁ DE ACORDO COM A RELATIVIDADE DE GALILEU?

Dois objetos, A e B, com massas diferentes, serão soltos no mesmo instante e da mesma altura em um local onde há gravidade e a resistência do ar é desprezível. Em relação ao tempo de queda dos objetos, podemos afirmar que

- A) o mais pesado chegará primeiro ao solo.
- B) o mais leve chegará primeiro ao solo.
- C) os dois chegarão ao solo no mesmo instante.

RESPOSTA

CERTA: Letra C → Ao aproveitar a gravidade de um planeta, você conseguiu mais impulso. Avance até a próxima casa G.

ERRADA: Letras A e B → Fique uma rodada sem jogar ou responda mentalmente, em 10 segundos o resultado da divisão de 91 por 7.

QUAL ALTERNATIVA ESTÁ DE ACORDO COM A RELATIVIDADE DE GALILEU?

- A) Um objeto é considerado em movimento em relação a outro quando a distância entre eles não varia com o passar do tempo.
- B) Um objeto é considerado em movimento em relação a outro quando a distância entre eles varia com o passar do tempo.
- C) Um objeto é considerado em movimento somente quando se desloca sobre a superfície do planeta.

RESPOSTA

CERTA: Letra B → Jogue novamente.

ERRADA: Letras A e C → Volte até chegar a uma casa G ou responda mentalmente, em 10 segundos, o resultado da soma entre 34 e 27.

QUAL ALTERNATIVA ESTÁ DE ACORDO COM A RELATIVIDADE DE GALILEU?

Um trem se desloca sobre os trilhos com velocidade constante de 80 km/h. Paralelo à linha do trem, um carro se desloca sobre uma rodovia no mesmo sentido que a locomotiva e com a mesma velocidade. Podemos afirmar que

- A) o trem está em repouso, independentemente do referencial.
- B) o trem está em movimento, independentemente do referencial.
- C) o trem pode estar em movimento ou em repouso, dependendo do referencial.

RESPOSTA

CERTA: Letra C → Avance uma casa.

ERRADA: Letras A e B → Você entrou em um buraco de minhoca. Volte uma casa.

QUAL ALTERNATIVA ESTÁ DE ACORDO COM A RELATIVIDADE DE GALILEU?

Um trem se desloca sobre os trilhos com velocidade constante de 72 km/h. Paralelo à linha do trem, um carro se desloca sobre uma rodovia no mesmo sentido que a locomotiva e com a mesma velocidade. Podemos afirmar que

- A) o trem está em movimento em relação ao carro.
- B) o carro está em movimento em relação ao trem.
- C) o trem está em repouso em relação ao carro.

RESPOSTA

CERTA: Letra C → Avance até a próxima casa G.

ERRADA: Letras A e B → Fique uma rodada sem jogar ou responda mentalmente, em 10 segundos, o resultado de 74 menos 36.

QUAL ALTERNATIVA ESTÁ DE ACORDO COM A RELATIVIDADE DE GALILEU?

Um trem se desloca sobre os trilhos com velocidade constante de 70 km/h. Paralelo à linha do trem, um carro se desloca sobre uma rodovia no mesmo sentido que a locomotiva e com a mesma velocidade. Podemos afirmar que

- A) o trem está em movimento em relação ao carro.
- B) o trem está em movimento em relação ao solo.
- C) o carro está em movimento em relação ao trem.

RESPOSTA

CERTA: Letra B → Avance duas casas.

ERRADA: Letras A e C → Volte duas casas.

QUAL ALTERNATIVA ESTÁ DE ACORDO COM A RELATIVIDADE DE GALILEU?

Uma aeronave se desloca com velocidade de 1000 km/h, em relação à superfície da Terra, quando lança um míssil, na mesma direção e sentido, e que se afasta da mesma a uma velocidade de 500 km/h. Pode-se afirmar que após o lançamento

- A) o míssil está em movimento em relação a aeronave.
- B) o míssil está em repouso em relação a aeronave.
- C) A aeronave está em repouso em relação ao solo.

RESPOSTA

CERTA: Letra A → Jogue novamente.

ERRADA: Letras B e C → Você foi pego por um burado negro. Volte até chegar a uma casa G ou beba um copo d'água.

QUAL ALTERNATIVA ESTÁ DE ACORDO COM A RELATIVIDADE DE GALILEU?

Uma aeronave se desloca com velocidade de 1000 km/h, em relação à superfície da Terra, quando lança um míssil, na mesma direção e sentido, e que se afasta da mesma a uma velocidade de 500 km/h. Pode-se afirmar que após o lançamento

- A) a velocidade do míssil em relação ao solo é de 500 km/h.
- B) a velocidade do míssil em relação ao solo é de 1500 km/h.
- C) a velocidade da aeronave em relação ao solo é de 500 km/h.

RESPOSTA

CERTA: Letra B → Avance uma casa.

ERRADA: Letras A e C → Volte uma casa.

QUAL ALTERNATIVA ESTÁ DE ACORDO COM A RELATIVIDADE DE GALILEU?

Uma aeronave se desloca com velocidade de 1000 km/h, em relação à superfície da Terra, quando lança um míssil, na mesma direção e sentido, e que se afasta do mesmo a uma velocidade de 500 km/h. Pode-se afirmar que após o lançamento

- A) o míssil se afasta da aeronave a uma velocidade de 1500 km/h.
- B) o míssil se afasta da aeronave a uma velocidade de 1000 km/h.
- C) o míssil se afasta da aeronave a uma velocidade de 500 km/h.

RESPOSTA

CERTA: Letra C → Avance até a próxima casa G.

ERRADA: Letras A e B → Fique uma rodada sem jogar ou responda mentalmente, em 10 segundos, o resultado de 9 vezes 16.

QUAL ALTERNATIVA ESTÁ DE ACORDO COM A RELATIVIDADE DE GALILEU?

Uma aeronave se desloca com velocidade de 1000 km/h, em relação à superfície da Terra, quando lança um míssil, na mesma direção e sentido, e que se afasta do mesmo a uma velocidade de 500 km/h. Pode-se afirmar que após o lançamento

- A) a velocidade relativa entre a aeronave e o míssil é de aproximação.
- B) a velocidade relativa entre a aeronave e o míssil é de afastamento.
- C) a velocidade relativa entre a aeronave e o míssil é de aproximação e igual a 500 km/h.

RESPOSTA

CERTA: Letra B → Avance duas casas.

ERRADA: Letras A e C → Volte duas casas.

CAPÍTULO 3

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensino de teorias que antecedem a Física Moderna aos alunos do Ensino Médio é muito importante para a compreensão da evolução da Ciência, ajuda-os a desenvolver uma base educacional, o pensamento científico e desenvolve habilidades tanto no campo da Física quanto em outras áreas do conhecimento. Porém, é perceptível o interesse deles por assuntos atuais e que se relacionam com a Física Moderna.

Sendo assim, este produto educacional foi elaborado de modo a facilitar a transposição didática sobre a Relatividade Restrita de Einstein, com base nos Três Momentos Pedagógicos de Demétrio Delizoicov, por meio de um plano de aula e através de um jogo de tabuleiro.

Como o assunto é de interesse por uma boa parte dos educandos, eles podem compartilhar experiências e conhecimentos durante o desenrolar do jogo, além de socializar e desenvolver habilidades.

Da maneira como o jogo foi pensado, os participantes podem contribuir ativamente na construção do jogo e na elaboração de mais perguntas sobre o tema, enriquecendo ainda mais o repertório de problematizações.

O aprendizado sobre a Relatividade Especial pode ser bem mais significativo se ocorrer de forma lúdica e a proposta metodológica de Delizoicov tem um potencial muito grande em promovê-lo e aumentar o interesse dos estudantes pelo tema.