



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física



A RELATIVIDADE DE GALILEU A EINSTEIN

Leandro Fabricio Ribeiro

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora:
Marta Feijó Barroso

Rio de Janeiro
Dezembro de 2018

A RELATIVIDADE DE GALILEU A EINSTEIN

Leandro Fabricio Ribeiro

Orientadora:
Marta Feijó Barroso

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Dr. Marta Feijó Barroso (Presidente)

Dr. Henrique Boschi Filho

Dr. Alexandre Carlos Tort

Dr. Eduardo Folco Capossoli

Rio de Janeiro
Dezembro de 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

R484r Ribeiro, Leandro Fabricio
A Relatividade de Galileu a Einstein / Leandro Fabricio Ribeiro
- Rio de Janeiro: UFRJ / IF, 2018.
viii, 81 f..
Orientador: Marta Feijó Barroso
Dissertação (mestrado) – UFRJ / Instituto de Física /
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2018.
Referências Bibliográficas: f. 60.
1. Ensino de Física. 2. Aplicativos computacionais. 3.
Relatividade Restrita. 4. Relatividade Galileana. I. Barroso, Marta
Feijó. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Física,
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. III. A Relatividade
de Galileu a Einstein.

Dedico esta dissertação à Danielle Teixeira Ribeiro
e ao meu irmão Fernando Ribeiro (in memoriam).

Agradecimentos

À minha esposa, Danielle Ribeiro, por toda parceria ao longo dessa trajetória, sempre me incentivando e me dando força nos momentos mais difíceis.

Aos meus sogros por estarem sempre presentes em todos os momentos da segunda fase da minha vida e pelo o exemplo de vida que me deram.

À minha orientadora, Marta Feijó Barroso, a quem admiro pela competência. Pela paciência, exigência e cuidado com que me orientou neste trabalho.

Aos membros da banca, pelas contribuições que possibilitaram a melhoria no trabalho.

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

RESUMO

A RELATIVIDADE DE GALILEU A EINSTEIN

Leandro Fabrício Ribeiro

Orientadora:
Marta Feijó Barroso

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Este trabalho apresenta a produção de quatro aplicativos computacionais criados para ajudar na visualização de determinados tipos de movimento e alguns fenômenos Físicos. As simulações computacionais estão relacionadas à Relatividade Galileana, propagação da luz em diferentes referenciais e Relatividade Restrita. Junto com esses aplicativos também foi elaborada uma sequência didática para introdução do ensino da Teoria da Relatividade Restrita, usando as simulações computacionais e adotando a estratégia *POE* (Previsão – Observação – Explicação). Essa sequência didática, baseada na estratégia *POE*, foi utilizada em sala de aula do 3º ano do ensino médio em uma escola do Rio de Janeiro, e foi bem recebida pelos estudantes. O material instrucional deste trabalho corresponde ao Guia do Professor com questionários e trabalhos para os alunos e roteiro de planejamento de aulas, além dos aplicativos computacionais criados.

Palavras-chave: Ensino de Física, Aplicativos Computacionais, Relatividade Restrita, Relatividade Galileana, Previsão-Observação-Explicação.

Rio de Janeiro
Dezembro de 2018

ABSTRACT

RELATIVITY FROM GALILEO TO EINSTEIN

Leandro Fabrício Ribeiro

Supervisor:
Marta Feijó Barroso

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

This paper presents the production of four computational applets designed to assist in the visualization of certain types of movement and some physical phenomena. The computational simulations are related to Galilean Relativity, propagation of light in different reference frames and Special Relativity. Along with these applications, a didactic sequence was elaborated in order to introduce the teaching of the Special Theory of Relativity, using computational simulations and adopting the POE (Prediction - Observation - Explanation) strategy. This didactic sequence, based on the POE strategy, was applied to students at the third grade on a public high school in Rio de Janeiro, and an assessment of its application is presented. The instructional materials produced correspond to a Teacher's Guide with questionnaires, the activities for students, in addition to the instructional applets created.

Keywords: Physics Education, Computational applets, Galilean Relativity, Special Relativity, Prediction-Observation-Explanation

Rio de Janeiro
December of 2018

Sumário

Capítulo 1.	Introdução	1
Capítulo 2.	A Teoria da Relatividade Restrita e o Ensino Médio	4
	2.1. O Ensino Médio e a Relatividade	5
	2.2. A estratégia POE	7
	2.3. O Enredo	10
	2.3.1 Parte 1: Mecânica Clássica	12
	2.3.2 Parte 2: O Impasse entre o Eletromagnetismo e as transformações de Galileu da Mecânica Clássica	15
	2.3.3 Parte 3: A Teoria da Relatividade Restrita	16
	2.3.4 Parte 4: As Transformações de Lorentz.	17
Capítulo 3 .	Construção dos aplicativos	19
	3.1. A Plataforma Unity	21
	3.2. Aplicativo: O Referencial de Galileu	24
	3.3. Aplicativo: A Relatividade da Simultaneidade	27
	3.4. Aplicativo: O Suspeito é o Tempo	30
	3.5. Aplicativo: A Relatividade Restrita	33
Capítulo 4.	Planejamento	37
	4.1. Primeiro Encontro	38
	4.2. Segundo Encontro	41
Capítulo 5.	Aplicação	44
	5.1. Perfil do Grupo Teste	44
	5.2. Aplicação: Primeiro Encontro	45
	5.3. Aplicação: Segundo Encontro	52
Capítulo 6.	Considerações Finais	58
	Referências Bibliográficas	60
Apêndice A.	Aplicativos computacionais	62
Apêndice B.	Guia do Professor: A Relatividade de Galileu a Einstein	65
Apêndice C.	Questionário para acompanhamento da sequência didática: A Relatividade de Galileu a Einstein	72

Capítulo 1

Introdução

Aprender Física no ensino médio é uma grande novidade para os alunos, pois eles começam a ter contato com uma ciência diferente da Biologia. Na Física os fenômenos naturais são observados e descritos com a utilização de uma linguagem matemática, com a elaboração de modelos, e essa nova abordagem se torna uma grande descoberta para os alunos. Porém ao longo dos três anos do ensino médio o estudo da física desenvolvida a partir do século XX não é contemplada.

O ensino de Física no nível médio é composto, basicamente, de temas da física clássica, e o estudo da chamada Física Moderna e Contemporânea praticamente não aparece na maioria dos currículos desse nível de escolarização.

Nos dias atuais, o aluno tem um maior contato com diversos tipos de informação, de forma rápida e superficial. É nesse contexto que ele costuma tomar conhecimento da Física Moderna e Contemporânea. Nomes como o de Einstein e assuntos como Física Quântica são extremamente explorados pela mídia, mas em geral associados a pouca discussão de conteúdos e muitas vezes são expostos de forma equivocada.

Essa informação recebida pela mídia deixa o aluno curioso a respeito de Física Moderna e Contemporânea [Oliveira 2007]:

“É comum, nas aulas de física, os alunos trazerem discussões sobre assuntos que leram ou ouviram em revistas, jornais e telejornais e que, por serem mais atuais e/ou estarem presentes no seu no dia a dia, despertam neles um interesse em conhecer e entender que princípios físicos explicam dado fenômeno.”

Observa-se que existe uma defasagem em termos de conteúdo do atual currículo de Física e aquilo que o aluno é informado, pela mídia escrita e falada, sobre os avanços e descobertas científicas no campo da Física no Brasil e no mundo [Oliveira 2007].

Nesse cenário, introduzir conteúdos relacionados à Física Moderna e Contemporânea nos currículos do ensino médio torna-se uma necessidade, para atender à demanda dos alunos, e transforma-se em um desafio para os professores. É preciso transformar o ensino de Física tradicionalmente oferecido nas escolas, limitado ao conhecimento físico construído até o início do século XX, em um ensino que contemple o desenvolvimento da Física Moderna e Contemporânea [Martins 2017].

Mas essa introdução deve ser cuidadosamente planejada, pois dependendo da maneira como esse conteúdo é abordado, o aprendizado não passará de meras memorizações de fenômenos físicos e equações matemáticas [Arons 1997].

Pensando em contribuir para o processo de introdução de tópicos de Física Moderna e Contemporânea no ensino médio, esse trabalho apresenta um conjunto de aplicativos computacionais associado a uma proposta pedagógica para o ensino da Teoria da Relatividade Restrita de Albert Einstein.

A proposta pedagógica é composta por uma sequência didática baseada na estratégia POE (Previsão, Observação e Explicação), acompanhada de um questionário para acompanhamento das atividades dos alunos durante as aulas; quatro aplicativos computacionais foram desenvolvidos com o objetivo de simular os fenômenos físicos ligados ao conteúdo abordado.

Esta dissertação está organizada em seis capítulos. Neste primeiro capítulo apresenta-se a introdução com as justificativas e os objetivos da elaboração desse trabalho e como o texto foi estruturado. O segundo capítulo apresenta como a Teoria da Relatividade Restrita é abordada nos currículos do ensino médio, nos livros didáticos e nos periódicos como revistas especializadas, artigos e congressos relacionados à área de ensino de física. No terceiro capítulo apresenta-se como foi feita a construção de cada aplicativo computacional para a simulação dos fenômenos físicos que esse trabalho aborda. O capítulo quatro descreve o planejamento da sequência didática com a estratégia POE. O quinto capítulo descreve o público alvo escolhido para

testar a sequência didática e como foi a aplicação dessa sequência, e no último capítulo são apresentadas as conclusões finais desse trabalho.

Como materiais instrucionais, foram elaborados aplicativos computacionais e uma sequência didática com o guia para o professor utilizando uma estratégia POE, utilizando objetos de aprendizagem na forma de aplicativos computacionais para o ensino da Teoria da Relatividade Restrita, elaborando os conceitos e ideias desde Galileu até Einstein.

Tem-se a expectativa que este trabalho contribua para a criação de objetos educacionais digitais e para o ensino da Teoria da Relatividade Restrita no ensino médio, aproximando os alunos da Física Moderna e Contemporânea.

Capítulo 2

A Teoria da Relatividade Restrita e o Ensino Médio

Em geral, os currículos de Física no Ensino Médio (EM) são recheados de conteúdos relacionados à Física tradicional desenvolvidos antes do século XX. Pouco se fala dos desenvolvimentos posteriores a 1900, em particular o que costuma ser conhecido por Física Moderna e Contemporânea (FMC).

Esses conhecimentos mais atuais da Física despertam muita curiosidade nos estudantes do EM, mas são pouco trabalhados em sala de aula. Segundo Osterman e Ricci [Osterman 2002], toda a Física desenvolvida do século XX em diante está excluída dos currículos escolares:

“a pobreza e a semelhança dos currículos de Física nas escolas brasileiras podem ser reconhecidas na divisão dos conteúdos em blocos tradicionais: Mecânica, Física Térmica, Ondas, Óptica e Eletromagnetismo que seguem, basicamente, a sequência dos capítulos nos livros didáticos.”

Mas o fato do ensino da FMC estar longe dos currículos do EM não significa que não exista a vontade de pesquisadores e de docentes para incluí-lo. Ostermann e Moreira [Osterman 2000 apud Oliveira 2007], após uma pesquisa realizada com físicos, pesquisadores em ensino de Física e professores de Física do EM, elaboraram uma lista consensual sobre os tópicos de FMC que deveriam ser abordados no EM para atualizar os currículos de Física deste nível. Os tópicos mais importantes na opinião dos entrevistados apresentados na lista foram: efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, leis de conservação, radioatividade, forças fundamentais, dualidade onda-partícula, fissão e fusão nuclear, origem do universo, raios-X, metais e isolantes, semicondutores, lasers, supercondutores, partículas elementares, relatividade restrita, big bang, estrutura molecular e fibras óticas.

Em contrapartida, Arons [Arons 1997] afirma que existe um desejo compreensível, porém precoce, da comunidade de Física para a introdução de estudantes em FMC. O autor duvida que o aprendizado e a compreensão de FMC em níveis introdutórios sejam genuínos, e argumenta que a inclusão desses temas pode resultar apenas em uma memorização deficiente de resultados finais.

Mas não é porque o aprendizado de FMC em níveis introdutórios possa ser superficial que Arons descarta essa possibilidade. Ele sugere como viáveis explorar os *insights* obtidos na Física do início do século XX como a existência de elétrons, fótons, núcleos, da estrutura atômica e (talvez) os primeiros aspectos qualitativos da relatividade.

Esse trabalho propõe uma sequência didática para o ensino da Teoria da Relatividade Restrita (TRR), pois considera viável e interessante o ensino de aspectos de FMC. Para ajudar na elaboração dessa sequência didática, buscaram-se trabalhos relacionados ao ensino da TRR para o EM realizados por professores e pesquisadores em periódicos de Física e Ensino de Física.

2.1 O Ensino Médio e a Relatividade

Um dos assuntos que mais desperta interesse nos alunos de EM é a Relatividade de Einstein. Geralmente eles têm seu primeiro contato com as ideias desse cientista em outros meios de informação, como documentários ou a própria internet; praticamente nenhum deles se aprofunda no assunto, e ficam surpresos quando descobrem que existem dois trabalhos de Einstein ligados à Relatividade.

Os currículos do EM não costumam abordar esse conteúdo. Ostermann [Ostermann 2002] realizou uma consulta aos livros didáticos de Física para o EM, à época, e revelou que a Relatividade Restrita simplesmente não é abordada na maioria das obras e, quando o tema é tratado, muitas vezes a abordagem utilizada deixa a desejar, pela superficialidade com que é

introduzido. Os livros didáticos adotados pelo MEC dentro do Programa Nacional do Livro Didático também são superficiais ao abordar o tema, ou não o abordam [Dominguini 2012].

Sabe-se que no EM a cinemática é largamente trabalhada; em alguns casos os currículos dedicam um ano inteiro para esse assunto. Por esse motivo, a Relatividade de Galileu é constantemente trabalhada, pois é fácil encontrar material didático para esse assunto, mas também pelo fato do Referencial Galileano estar presente em nosso cotidiano e que as mudanças de sistemas de referência podem ser exploradas com recursos visuais.

Porém a situação muda quando o assunto é a Teoria da Relatividade de Einstein. Apesar dos livros didáticos apresentarem pouco conteúdo para se trabalhar com TRR, podemos encontrar materiais e boas propostas para o ensino desse tema. Esses materiais são desde debates em sala de aula a simulações computacionais.

Silva e Errobidart [Silva 2017] fizeram uma pesquisa sobre o material produzido para o ensino de TRR, consultando artigos em periódicos e em congressos. Classificaram esses materiais em três categorias:

1. TRR e o ensino de ciências.
- 2, TRR e Novas Tecnologias da Informação e Comunicação.
3. TRR e a História e Filosofia da Ciência.

Sobre TRR e o ensino de ciências, foram encontrados dez artigos apresentando discussões relacionadas a sequências de ensino ou atividades de ensino desenvolvidas no contexto de sala de aula ou materiais didáticos utilizados. Em TRR e Novas Tecnologias da Informação e Comunicação três artigos foram encontrados, e neles era apresentada uma discussão relacionada à utilização de softwares ou outras ferramentas tecnológicas no ensino da Teoria da Relatividade. E em TRR e a História e Filosofia da Ciência foram encontrados quatro artigos nos quais a abordagem tem um caráter histórico-filosófico.

Desse levantamento [Silva e Errobidart 2017], três artigos são importantes para a produção desse trabalho e ajudaram na sua concepção.

O primeiro tem por título “Relatividades no ensino médio: o debate em sala de aula” [Karam 2006]. O autor apresenta uma sequência didática que aborda tópicos da TRR, e em seguida propõe debates com o objetivo de avaliar a assimilação dos conceitos explorados com os alunos do ensino médio.

No segundo artigo, “A construção de um perfil para o conceito de referencial em Física e os obstáculos epistemológicos a aprendizagem da teoria da relatividade restrita” [Ayala Filho 2010], o autor utiliza a noção de perfil conceitual como instrumento para investigar a aprendizagem da TRR e possíveis obstáculos epistemológicos dos alunos. Para isso, examinou o senso comum dos alunos em relação a conceitos de Física Newtoniana e da TRR.

No terceiro artigo, “Construção e validação de um sistema hipermídia para o ensino de Física Moderna” [Machado e Nardi 2007], os autores discutem sobre os resultados associados à produção e utilização de um software educacional para o estudo de conceitos da TRR e fenômenos nucleares.

A sequência didática aqui apresentada foi montada pensando em discutir a TRR a partir dos próprios conceitos dos alunos, e a metodologia com avaliação da assimilação dos conteúdos utilizou a estratégia POE (Previsão – Observação – Explanação) [White 1992]. Uma das etapas desse tipo de aula é a observação do fenômeno científico. Para essas observações foram criados aplicativos computacionais.

No próximo tópico será apresentada a estratégia POE, e, em seguida, os assuntos escolhidos para a composição da sequência didática.

2.2 A estratégia POE

A sequência didática proposta nesse trabalho para o ensino de TRR adota a estratégia POE (Previsão – Observação - Explanação) para avaliar o processo de aprendizado dos alunos durante as aulas planejadas. A escolha

dessa estratégia se deve ao fato de sua dinâmica ser direta, na qual o professor consegue visualizar o resultado de sua aula praticamente no mesmo tempo em que ele está trabalhando o conteúdo com os alunos.

POE é uma estratégia de aprendizado proposta por White e Gunstone [White 1992] que tem como objetivo investigar ou aprofundar a compreensão de determinado conteúdo que o professor esteja trabalhando com seus alunos, solicitando aos aprendizes a execução de tarefas. Para os autores, “Um propósito importante da educação é fazer o aluno aprender como usar a informação adquirida para interpretar eventos e experiências.”

Esse tipo de tarefa é mais direto do que o estilo usual de perguntas usando comandos como: “Explique porquê”. Geralmente nessas situações tradicionais, o resultado do evento, da descrição do fenômeno, é dado na própria questão; os alunos precisam apenas descrever o fenômeno que já foi apresentado para eles, e a resposta não exige que o aluno desenvolva um raciocínio relacionando o que ele conhece sobre o assunto com o que a aula pode apresentar de novo para ele. Isto frequentemente envolve uma reprodução de conhecimento de livros textos e didáticos. Usar uma proposta metodológica que envolva pedir aos alunos uma previsão do fenômeno a ser apresentado pelo professor possibilita que o aluno tenha que apresentar uma resposta mais genuína, que represente melhor aquilo que conhece e pense.

A execução desse tipo de aula é simples e clara, uma vez que a técnica para sua execução envolve o formato de resposta para questões diretas. A franqueza deste procedimento vem do seu foco em um evento específico que pode ou não ser observado, possibilitando a aplicabilidade em qualquer disciplina e conteúdo como história, literatura e matemática.

Para aplicar uma tarefa POE os alunos devem realizar três tarefas:

Previsão, observação e explicação.

Cada uma delas é apresentada a seguir [White 1992].

Previsão: No primeiro momento o professor deve apresentar um tema ou um fenômeno e pedir para os alunos uma previsão do que vai acontecer. Ao

planejar uma aula com esse tipo de metodologia deve-se assegurar que todos os alunos entendam a natureza da situação sobre a qual eles estão sendo solicitados a fazer uma previsão.

A previsão pode ser feita tanto em uma folha preparada para aquela aula específica ou em um formato mais aberto, ou seja, solicitar que alunos descrevam a atividade com suas próprias palavras. Há dois motivos [White 1992] que justificam a necessidade dos alunos descreverem as previsões antes da observação:

- i. Primeiro, todos os alunos devem se comprometer com uma posição através da decisão de qual conhecimento é apropriado para ser aplicado e, posteriormente, aplicá-lo.
- ii. Segundo, nenhum aluno pode estar ausente à observação do evento sobre o qual eles certamente estarão escrevendo ou pensando.

Observação: nessa etapa os alunos devem observar um fenômeno físico proposto pelo professor. Essa observação pode ser feita por meio de um experimento, um vídeo ou uma simulação computacional. Após a observação do fenômeno, os alunos devem escrever as suas percepções sobre o que observaram ou responder perguntas elaboradas para o tema trabalhado. Essa descrição deve ser individual e todos eles devem executar essa etapa da tarefa ao mesmo tempo. Essa última condição é estabelecida porque há relatos de situações nas quais alunos diferentes terão visões diferentes [White 1992]. Se as observações não forem escritas no momento que elas são pensadas, alguns alunos vão modificá-las em função da influência do que outros possam mencionar ou afirmar.

Explicação: o último passo é fazer com que os alunos ajustem ou conciliem qualquer discrepância entre o que eles previram e o que eles observaram. Há relatos [White 1992] de que é comum os alunos acharem este processo difícil e tudo que pode ser feito é encorajá-los a considerar

qualquer possibilidade que eles possam pensar sobre o fenômeno observado. Este encorajamento é importante porque as explicações que os alunos fornecem neste momento revelam muito sobre o nível de compreensão de todo o processo.

A sequência didática proposta aqui utiliza a estratégia POE pelo fato de ser uma dinâmica rápida e por obter informações sobre o aprendizado dos alunos durante as aulas. Em todos os temas trabalhados, é solicitada uma previsão dos alunos; após a previsão, o fenômeno físico é simulado com o uso de um aplicativo computacional onde os alunos fazem a observação. Após a descrição da previsão e da observação o professor confronta as duas respostas, e abre-se um debate para discutir o tema e a formalização do conteúdo trabalhado.

Junto com essa estratégia de aula, uma série de conteúdos foram pensados para ser possível abordar a TRR. Um enredo¹ foi montado para construir uma linha de raciocínio no decorrer da aula; assim o aluno pode ter a noção de que a TRR não foi desenvolvida do zero e que muitos cientistas inspiraram e até trabalharam com Einstein no desenvolvimento de suas teorias.

2.3 O Enredo

Arons sugere que, quando se busca ensinar FMC em níveis introdutórios, pode-se obter um aprendizado superficial, com meras memorizações deficientes de teorias ou postulados a serem usados em exercícios artificiais. Para que possa existir um aprendizado significativo, é sugerido que o professor elabore um enredo segundo o qual o aluno evolua de conceitos fundamentais até o novo conceito.

¹ Termo utilizado por Arons [Arons 1997] para elaborar uma sequência didática com tópicos relacionados ao tema de FMC que o professor deseja ensinar.

O enredo selecionado deve conter os fundamentos necessários e deixar de fora os tópicos que não são essenciais para entender o ponto principal da discussão. É impossível incluir todos os tópicos convencionais da Física introdutória em sua elaboração. Outra estratégia que pode ser usada ao elaborar esse plano de aula é injetar, ao longo do caminho, muitas perguntas e exercícios que preparam os alunos para o pensamento e o raciocínio que serão encontrados até o final. Arons [Arons 1997] apresenta um exemplo de enredo que pode ser adotado para ensino de átomo de Bohr:

Se alguém quiser, por exemplo, chegar ao átomo de Bohr, deve identificar os conceitos e conteúdos fundamentais da mecânica, eletricidade e magnetismo que tornarão compreensíveis os experimentos e o raciocínio que definiram o elétron, o núcleo atômico e o fóton. O enredo selecionado desenvolveria os fundamentos necessários e deixaria de fora os tópicos que não são essenciais para entender o clímax. (p. 265)²

É importante destacar que durante esse planejamento os alunos precisam de tempo para absorver e compreender as inferências extraídas de experimentos clássicos que levaram aos *insights* profundos que constituem as bases da FMC.

Neste trabalho foi montado um enredo para o ensino de TRR para estudantes da terceira série do EM, que já tenham cursado os conteúdos de cinemática e dinâmica do currículo desse nível de escolarização. O enredo foi dividido em quatro partes.

² No original, “If one wishes, say, to get to the Bohr atom, one should identify the fundamental concepts and subject matter from mechanics, electricity, and magnetism that will make understandable the experiments and reasoning that defined the electron, the atomic nucleus, and the photon. The selected story line would develop the necessary underpinnings and would leave out those topics not essential to understanding the climax.”

2.3.1 Parte 1: Mecânica Clássica

O primeiro conteúdo a ser trabalhado com os alunos é princípio da relatividade de Galileu. Nessa parte da sequência didática, o objetivo é relembrar um pouco da mecânica clássica, mostrando que conceitos de cinemática e dinâmica são válidos em um referencial inercial e para velocidades não-relativísticas³.

Para mostrar que as Leis de Newton são válidas em qualquer referencial inercial, o professor pode trabalhar com as transformações de Galileu na passagem de um referencial inercial **S** para um outro referencial **S'**, em movimento em relação a **S**.

Para essa discussão, pode-se ler a apresentação feita, de forma clara, em Nussenzveig [Nussenzveig 2013]. A apresentação para estudantes de nível médio, porém, deve ser feita uma cuidadosa transposição didática focando nas ideias e não no formalismo matemático.

Seja um referencial inercial **S** composto de um sistema cartesiano de eixos (**x**, **y**, **z**) que podem ser medidos através de comprimentos unitários para medida das coordenadas e um relógio para medida de tempo, conforme mostra a Figura 2.1.

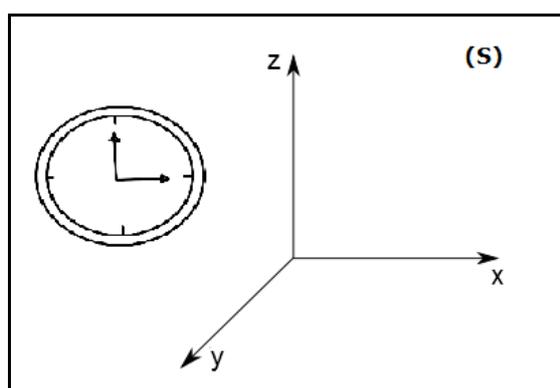


Figura 2.1. Referencial inercial S.

³ Pode-se considerar velocidade não-relativística aquela com valor menor ou igual a 10% da velocidade da luz.

Se um segundo referencial S' (Figura 2.2) se desloca-se com velocidade constante \vec{v} em relação a S , e supondo que os pontos de referência dos dois sistemas de referência coincidam no instante inicial t_0 , pode-se escrever para a relação entre a posição \vec{r} de um objeto num ponto P observada em S e a posição \vec{r}' observada em S'

$$\vec{r}' = \vec{r} - \vec{v}t.$$

Se a velocidade \vec{v} tiver a direção x , as coordenadas do ponto P em um determinado instante podem ser transformadas de um sistema de referência para outro por meio das seguintes equações:

$$x' = x - vt$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = t$$

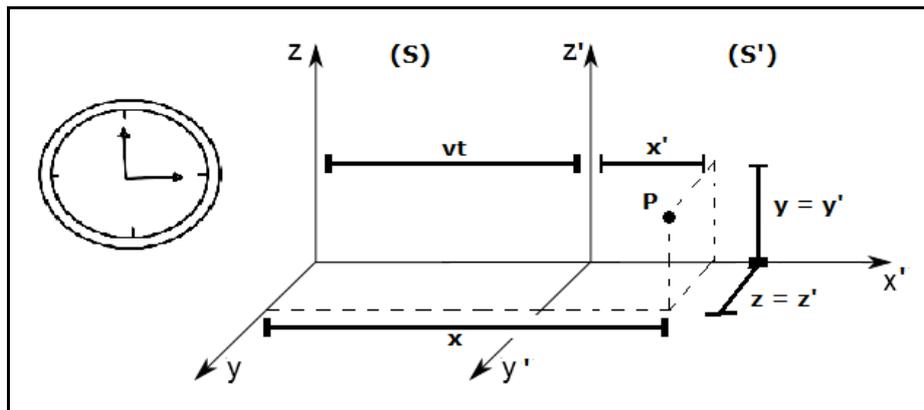


Figura 2.2. Referencial S' em movimento em relação a S .

Essas equações são conhecidas como as transformações de Galileu. As componentes da velocidade e da aceleração podem ser obtidas a partir da definição dessas grandezas, fazendo a hipótese clássica que o intervalo de tempo é medido de forma idêntica nos dois sistemas de referência.

As transformações para a velocidade são

$$v'_x = \frac{dx'}{dt'} = \frac{dx}{dt} - v = v_x - v$$

$$v'_y = v_y$$

$$v'_z = v_z$$

e as transformações para a aceleração

$$a'_x = \frac{d^2 x'}{dt^2} = a_x$$

$$a'_y = a_y$$

$$a'_z = a_z$$

Obtém-se que a aceleração é a mesma nos referenciais S e S'. Com a hipótese usual que a massa inercial é a mesma para os dois observadores,

$$m' = m$$

é necessário apenas observar a relação entre as forças observadas nos dois sistemas. A interação entre duas partículas depende, em quase todos os casos, apenas da posição e da velocidade relativas entre essas partículas; a posição e a velocidade relativas são as mesmas nos dois sistemas de referência. Pode-se então afirmar que

$$\vec{F}'(\vec{r}'_2 - \vec{r}'_1; \vec{v}'_2 - \vec{v}'_1) = \vec{F}(\vec{r}_2 - \vec{r}_1; \vec{v}_2 - \vec{v}_1)$$

Então, se em S pode-se escrever a segunda lei de Newton como

$$\vec{F} = m \vec{a}$$

em S' pode-se escrever também que

$$\vec{F}' = m' \vec{a}'$$

indicando que a segunda lei de Newton é invariante em sua forma nos dois referenciais.

2.3.2 Parte 2: O Impasse entre a Eletrodinâmica e as Transformações de Galileu da Mecânica Clássica

Após discutir que as leis da Mecânica Newtoniana são as mesmas em quaisquer referenciais inerciais, a segunda parte do enredo corresponde a contar parte da história da evolução das ideias da Física, na qual o Eletromagnetismo entra em contradição com as transformações de Galileu da Mecânica Newtoniana.

James Clark Maxwell, em 1864, formulou as leis fundamentais do Eletromagnetismo e com esse trabalho estabeleceu que através da oscilação de campos elétricos e campos magnéticos as ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo com velocidade constante.

Essa descoberta gerou uma dificuldade com a Mecânica Newtoniana e as transformações de Galileu. No fim do século XIX e início do século XX a visão mecânica da Física dominava o pensamento dos físicos, por isso era inconcebível aceitar que um pulso de luz pudesse se propagar no vácuo e com velocidade constante e igual a $c = 2,99 \times 10^8$ m/s.

Para tentar explicar essa incompatibilidade, os físicos teorizaram um meio no qual as ondas eletromagnéticas pudessem se propagar. Esse meio foi chamado de “éter”, que seria por hipótese um sistema privilegiado de referência no qual as equações de Maxwell são válidas e a luz se propaga com velocidade c .

Nesse momento histórico, acreditava-se que o princípio da relatividade Galileana fosse aplicável às leis de Newton da Mecânica, mas não às leis de Maxwell para o Eletromagnetismo. As possibilidades eram [Resnick 1971]:

1 – Um princípio da relatividade existe para mecânica, mas não para a eletrodinâmica. Em eletrodinâmica existe um sistema inercial preferencial, denominado o sistema do éter.

2 – Um princípio de relatividade existe tanto na mecânica quanto na eletrodinâmica, mas as leis da eletrodinâmica dadas por Maxwell não estão corretas.

3 – Um princípio de relatividade existe tanto para a mecânica como para a eletrodinâmica, porém as leis da mecânica dadas por Newton não são corretas.

2.3.3 Parte 3: A Teoria da Relatividade Restrita

Nessa última etapa do enredo, o objetivo é mostrar os postulados de TRR de Einstein. Para desconstruir o impasse entre o Eletromagnetismo e a Mecânica Clássica, Einstein estabelece que não existe um sistema de referência privilegiado ou absoluto. Todo movimento é relativo em relação a qualquer sistema de referência arbitrário. Para o físico não parece haver necessidade da existência do meio chamado de “éter” (e não há indicação experimental do movimento da Terra em relação ao éter).

Assim pode-se apresentar o primeiro postulado da TRR:

1 – As leis da Física são as mesmas em todos os sistemas inerciais. Não existe nenhum sistema inercial preferencial.

O segundo postulado da TRR estabelece as condições para a propagação da velocidade da luz:

2 – A velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor em módulo em todos sistemas inerciais.

Com esse postulado, Einstein estabelece que o módulo da velocidade da luz no vácuo é constante e igual a c para qualquer referencial arbitrário.

Esses dois postulados indicam que não há incompatibilidade entre o princípio da relatividade e a lei da propagação da luz. Porém as transformações entre as grandezas que descrevem os movimentos, estabelecidas por Galileu, não satisfazem às condições para o espaço e o tempo em corpos viajando a velocidades próximas a c . Nessas situações, as transformações que atendem às condições estabelecidas por Einstein em seus postulados são as

transformações de Lorentz. Essas equações foram propostas por Lorentz como as que deixavam as equações de Maxwell invariantes sob mudanças de referenciais; no entanto, a transformação para o tempo foi interpretada como um artifício matemático. Einstein redescobriu essas transformações de Lorentz a partir de seus postulados e forneceu uma interpretação física para transformação em t como transformação da coordenada temporal.

2.3.4. Parte 4: As Transformações de Lorentz

Assim como os trabalhos desenvolvidos por Galileu foram importantes para as Leis de Newton, Hendrik Lorentz teve a sua parcela de importância para a TRR de Einstein.

Hendrik Antoon Lorentz (físico-matemático holandês nascido em Arnhem) foi um dos primeiros estudiosos a se defrontar com as dificuldades levantadas pelas novas descobertas da física. Suas relações matemáticas sobre a relação entre as coordenadas espaciais e o tempo são conhecidas como as Transformações de Lorentz (1904) e forneceram a base da teoria da relatividade de Albert Einstein.

As Transformação de Lorentz são fundamentais no estudo da relatividade, pois elas relacionam as coordenadas do movimento de referenciais que se movimentam um em relação ao outro com velocidades que se aproximam da velocidade da luz c .

As Transformações de Lorentz são dadas por:

$$x' = \gamma(x - vt)$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = \gamma \left[t - \left(v / c^2 \right) x \right]$$

onde o coeficiente γ , chamado de fator de Lorentz, é dado por

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

Estas equações podem ser obtidas a partir dos postulados de Einstein para TRR, uma vez que a velocidade da luz é a mesma em qualquer referencial. As transformações de Lorentz permitem calcular, de forma simples, a contração do comprimento na direção do movimento de um corpo e a dilatação temporal em relação ao tempo próprio do corpo em movimento.

A sequência didática deste trabalho foi montada conforme o enredo descrito, e é destinada a estudantes que estejam familiarizados com os conceitos básicos de cinemática e dinâmica. Geralmente esses alunos já estão cursando a terceira série do EM, mas o professor tem a liberdade de aplicar essa proposta de ensino para estudantes que já tenham aprendido esses conceitos em séries anteriores.

Para compor a sequência didática, foram desenvolvidos quatro aplicativos computacionais para ilustrar os fenômenos físicos relacionados no enredo descrito. O próximo capítulo irá detalhar a construção e o objetivo de cada aplicativo criado.

Capítulo 3

A Produção dos Aplicativos

Um dos desafios permanentes dos docentes é de despertar o interesse dos estudantes para que o processo de ensino-aprendizagem se dê de maneira significativa [Moreira 2011]. Um bom aliado para essa tarefa é o uso da informática, já que hoje em dia um aluno pode estar permanentemente conectado à internet por meio de um celular, computador ou tablet. Estar conectado permite que o estudante tenha acesso a todo tipo de informação, seja ela útil ou não para a aprendizagem. A rede mundial de computadores disponibiliza uma enorme possibilidade de conteúdos e ferramentas como textos, simulações, jogos, vídeos e gifs, que podem ajudar na formação de um estudante. Existem plataformas totalmente dedicadas ao ensino, como por exemplo o Google Education¹. Nesse ambiente a interação entre docentes e discentes fica mais rápida, como numa rede social, e o professor encontra várias ferramentas que podem ajudar em suas aulas.

Com base nesse cenário, esse trabalho apresenta quatro aplicativos que foram criados para simular fenômenos físicos ligados à relatividade galileana, ao estudo da simultaneidade do tempo e à relatividade restrita. Esses aplicativos podem ser considerados objetos de aprendizagem, conceito definido por (Wiley, 2000) como:

objeto de aprendizagem (learning object) é todo recurso (digital ou não digital) que pode ser utilizado e reutilizado, durante processos de aprendizagem apoiados em uso de tecnologias, em contextos múltiplos. Sua "granularidade" não é definida: isto é, podem se constituir de pequenos aplicativos ou de temas completos, de caráter aberto (permitindo intervenções do usuário) ou mais fechados.

¹ https://edu.google.com/intl/pt-BR/k-12-solutions/classroom/?modal_active=none - Plataforma disponibilizada pela Google onde os professores encontram diversos tipos de ferramentas para uso educacional.

Com a utilização dessa definição, os quatro recursos digitais (aplicativos) criados não foram concebidos como estando ligados a um tipo particular de sequência didática. Todos eles são reutilizáveis, ou seja, todos os aplicativos permitem que um professor encaixe esse recurso digital em diferentes métodos, metodologias e sequências de ensino.

Também foram observadas, na construção dos objetos de aprendizagem apresentados aqui, as características elencadas por Barroso, Felipe e Silva [Barroso 2006],

- i. **Reusabilidade** - podem ser utilizados de diferentes maneiras, em diferentes tipos de cursos e atividades.
- ii. **Portabilidade** - podem ser operados em diferentes tipos de hardware e software.
- iii. **Acessibilidade** - podem ser indexados para obtenção a partir de padrões de metadados.
- iv. **Durabilidade** - podem permanecer intactos em diversas atualizações de hardware e software.

Adicionalmente, os aplicativos apresentados nesse trabalho têm como objetivo ajudar na visualização de fenômenos físicos para os quais a visualização e a experimentação são difíceis em sala de aula, como o princípio da Relatividade Galileana e a TRR.

A ferramenta utilizada para a construção dos aplicativos foi a plataforma Unity, disponível em versões gratuitas para estudantes e versões pagas para profissionais da área de informática.

3.1 A Plataforma Unity

A Unity² é uma plataforma de criação de jogos, simulações, animações e desenhos, entre outras funções, com muitos recursos que ajudam na programação do produto. A empresa Unity Technologies disponibiliza o programa gratuitamente para estudantes ou em versão paga para profissionais da área de programação que trabalham na criação de jogos e animações. Hoje em dia essa plataforma é usada largamente na produção de jogos para celulares. Neste trabalho a versão usada foi a gratuita para estudantes.

Vários fatores levaram à escolha dessa plataforma: a quantidade de ferramentas e recursos que ela disponibiliza para criação é enorme, o fato da programação ser mais simples, pois o próprio programa de desenvolvimento disponibiliza alguns fenômenos e elementos físicos sem a necessidade de utilizar um código de programação.

Podem-se encontrar alguns recursos e grandezas físicas na tela de programação. O programa disponibiliza a definição de grandezas como massa, gravidade, força, coeficiente de atrito e resistência do ar. Na Figura 3.1, apresenta-se uma tela de criação do Unity onde são encontradas essas atribuições. Na janela “Inspector”, vista à direita da imagem, pode-se adicionar o comando Physics e ter acesso as características físicas mencionadas.

Todos esses recursos podem ser ajustados conforme a necessidade da animação a ser criada, como por exemplo, variar a gravidade para simular a queda de um objeto em outro planeta.

Apesar da plataforma Unity apresentar todos esses recursos de simulações e de grandezas físicas, algumas simulações podem exigir programação. A linguagem de programação usada nos aplicativos desse trabalho foi o *C# Script*.

² Disponível em <https://unity3d.com/pt>

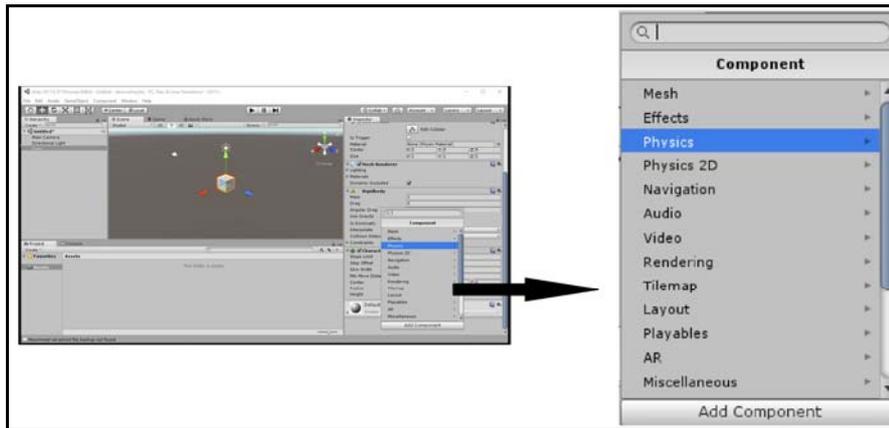


Figura 3.1. Na tela de programação observa-se um cubo em 3D; na janela Inspector pode-se adicionar o comando Physics e atribuir ao cubo grandezas como massa, posição, gravidade etc.

Para construir um aplicativo na plataforma Unity, deve-se escolher um cenário base. Esses cenários podem ser em 3D e 2D, conforme a figura 3.2 e 3.3 respectivamente.

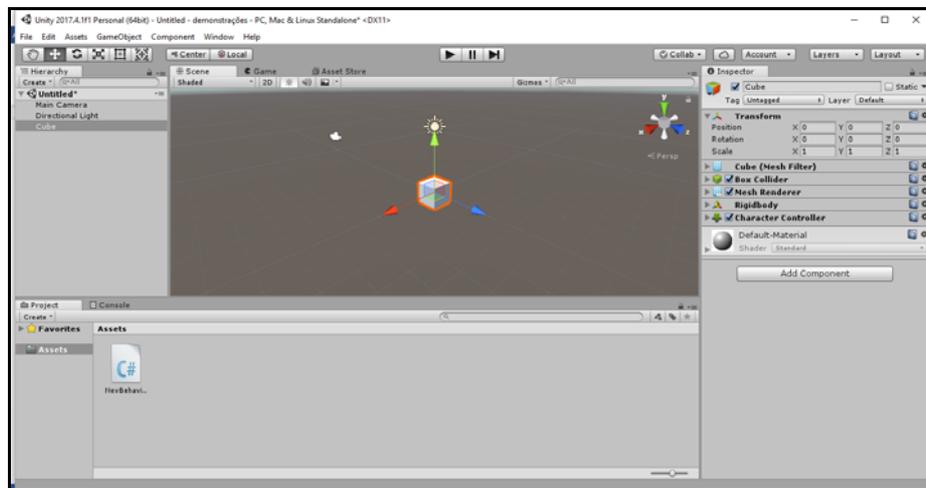


Figura 3.2. Cena em 3D, na tela Scene as três dimensões do cubo e ao lado na tela de Inspector as posições X, Y e Z atribuídas a ele.

As opções em 3D e 2D permitem que a pessoa que vai construir um aplicativo tenha uma liberdade de escolha do melhor cenário para simular o fenômeno físico. Um cenário em 3D é ideal para uma simulação na qual seja necessário trocar de sistema de referência e colocar-se na posição do observador. Já cenários em 2D podem ser usados em situações onde não há

necessidade de trocar de sistema de referências. Um bom exemplo para uma simulação em 2D é a observação do funcionamento de um circuito elétrico.

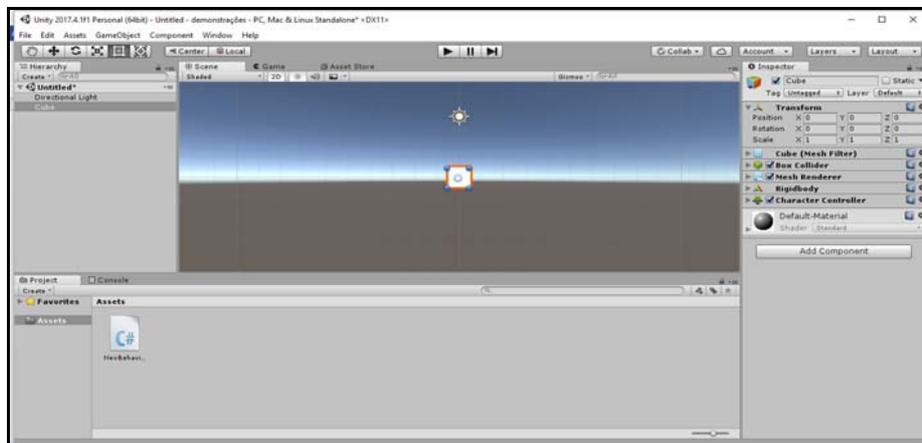


Figura 3.3 - Cena em 2D, a mesma cena da figura 2 agora em 2D. Nessa tela podemos trabalhar apenas com as coordenadas X e Y.

Uma dificuldade encontrada na criação dos aplicativos é elaborar modelos para os objetos e adequá-los à simulação que se deseja fazer. É possível encontrar na rede internacional de computadores objetos em 3D; a própria Unity disponibiliza alguns para criação de aplicativos que serão usados em estudos ou aplicativos que serão disponibilizados gratuitamente. Neste trabalho são utilizados objetos e figuras gratuitas dentro do próprio programa Unity.

Também é possível executar os aplicativos criados em qualquer plataforma como Android, IOs e Windows. Porém, caso haja interesse em disponibilizar o material para computadores e celulares, o programador deve fazer os ajustes nas dimensões do cenário.

Os aplicativos construídos nesse trabalho buscam atender requisitos como *granularidade*, abordando o menor conjunto de conceitos físicos possível por aplicativo, para privilegiar uma discussão conceitual do assunto, e *recombinação*, que possibilita a combinação dos aplicativos por parte do professor que o utiliza, de forma a adaptá-los à sua proposta de trabalho, à sua visão pedagógica e ao seu plano de curso e de aula [Neumann 2005; Felipe 2005; Barroso 2006].

Foram construídos quatro aplicativos para cada parte da sequência didática elaborada para essa dissertação. São:

- i. **O Referencial de Galileu**
- ii. **A Relatividade da Simultaneidade**
- iii. **O Suspeito é o Tempo**
- iv. **A Relatividade Restrita**

Os próximos tópicos apresentam o objetivo de cada simulação e como foi realizada a construção de cada aplicativo.

3.2 Aplicativo: O Referencial de Galileu

O primeiro aplicativo construído teve como objetivo ilustrar a Relatividade Galileana. Tentou-se criar uma adaptação de um trecho do livro de Galileu, “Diálogo sobre os Dois Principais Sistemas do Mundo”, mencionado em Nussenzveig [Nussenzveig 2013]:

Encerre-se com um amigo na cabine principal sob o convés de um navio grande, levando consigo moscas, borboletas e outros animaizinhos voadores. Leve também um grande aquário com alguns peixes, pendure uma garrafa pingando gota a gota num recipiente largo debaixo dela. Com o navio parado, observe cuidadosamente como os animaizinhos voam com a mesma velocidade em todas as direções da cabine. Os peixes nadam indiferentemente em todas as direções; as gotas caem em baixo do recipiente da garrafa; e, ao jogar algo em seu amigo, não é preciso jogar com mais força numa direção do que na outra, as distâncias sendo iguais; ao saltar de pés juntos, você atravessa distâncias iguais em qualquer direção. Depois de observar cuidadosamente todas essas coisas (embora não haja dúvida de que têm de ocorrer desta forma com o navio parado), faça o navio deslocar-se com a velocidade que quiser, contanto que o movimento seja uniforme e não flutue para um lado ou outro. Você não perceberá a mínima alteração em qualquer

dos efeitos mencionados, e será impossível dizer por qualquer um deles se o navio está parado ou em movimento. (p. 351)

Moscas e borboletas voando, peixes nadando em um aquário e garrafas pingando gota a gota são ótimos exemplos para a visualização mental do fenômeno, mas não para a criação de um objeto de aprendizado digital – que ficaria visualmente poluído e não intuitivo. Para ilustrar esse fenômeno escolheu-se um cenário em 3D simplificado com cores de tonalidades próximas para evitar o chamado “ruído tecnológico” [Felipe, 2010]; dessa forma o simulador não apresenta um excesso de informação desnecessária para visualização do fenômeno físico.

No aplicativo “O referencial de Galileu”, temos alguns elementos visuais básicos e de fácil entendimento: os aviões (em um deles existe uma bola que será abandonada), a plataforma onde se encontra um dos observadores e os botões para escolha do referencial de observação do fenômeno físico, como mostrado na Figura 3.4.

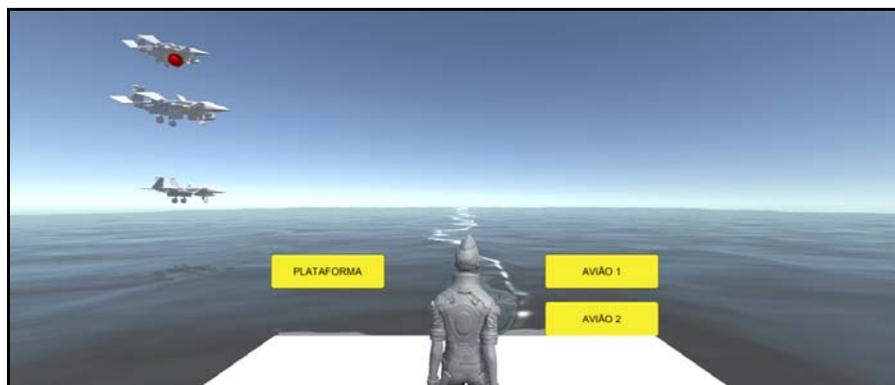


Figura 3.4 - Tela inicial do aplicativo onde há botões em amarelo para escolha do referencial de visualização do fenômeno.

O destaque da cor da bola no cenário se deve ao fato de que a compreensão do aplicativo deve ser precisa e rápida, sem que seja necessário investir tempo na explicação a respeito do seu funcionamento. Assim o professor ou o aluno que esteja usando o aplicativo consegue visualizar o fenômeno físico em destaque.

Os mesmos princípios foram adotados para os botões de controle da simulação. A cor amarela tem como objetivo destacar os botões e estimular a intuição do usuário de como ele pode colocar o aplicativo em funcionamento. Os botões também são sensíveis ao clique do mouse ou toque na tela touch (Figura 3.4).

Os botões em amarelo da Figura 3.4 levam a cenários diferentes, e o usuário pode escolher em qual referencial ele visualiza o fenômeno.

No botão “Plataforma”, o usuário pode simular o fenômeno visto de um referencial fora do avião, ou seja, um referencial no qual observa-se o avião em movimento com velocidade constante; deste avião, é solta a bolinha vermelha (Figura 3.5).

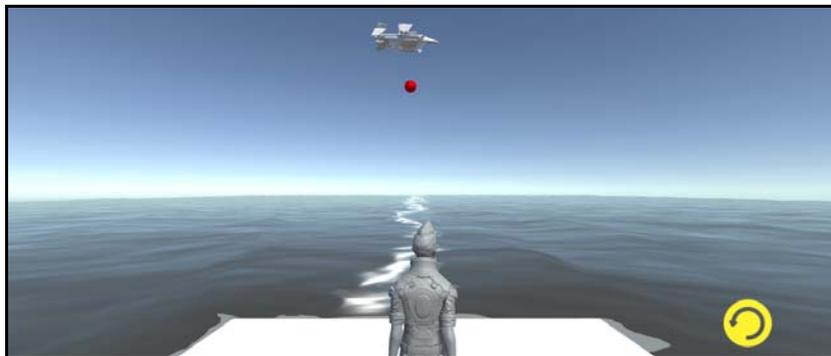


Figura 3.5. Lançamento visto de um observador em pé em uma plataforma.

Na Figura 3.6 pode-se observar a segunda visualização, para a qual utilizou-se o botão “Avião 1” da Figura 3.4. O fenômeno é simulado como o que é visto de um avião que se movimenta ao lado e com a mesma velocidade do avião que lança a bolinha.



Figura 3.6. Fenômeno observado de dentro de um avião que voa ao lado e com a mesma velocidade do avião que abandona a bolinha.

Na terceira visualização, mostrada na Figura 3.7, o fenômeno é simulado tal como visto do ponto de vista de um avião que se movimenta abaixo e com a mesma velocidade do avião que lança a bolinha. O usuário pode escolher essa simulação com o botão “Avião 2” da figura 3.4.

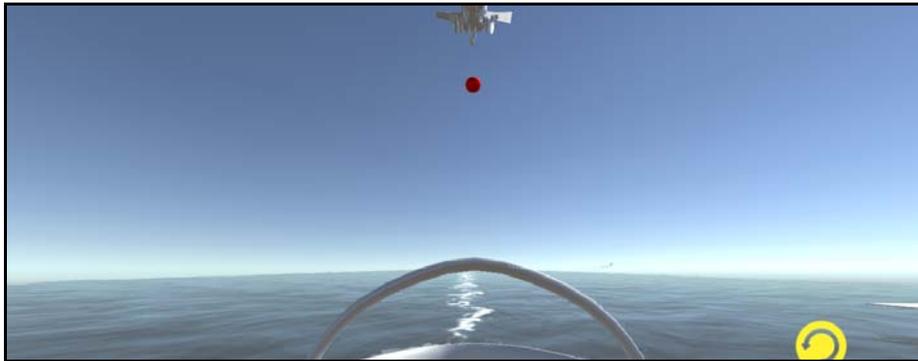


Figura 3.7. Fenômeno observado de dentro de um avião que voa a baixo e com a mesma velocidade do avião que abandona a bolinha.

Esse aplicativo, portanto, busca ilustrar a relatividade galileana abordada constantemente no EM nas aulas de mecânica. O aplicativo é totalmente *reutilizável* em qualquer metodologia e planejamento pedagógico que o professor esteja trabalhando e pode ser manuseado tanto por docentes como pelos discentes.

3.3 Aplicativo: A Relatividade da Simultaneidade

Nesse aplicativo também houve o cuidado de explorar todos os conceitos para criação de um aplicativo computacional elencados no item 3.2. Com isso, espera-se que o professor privilegie uma discussão conceitual e que o aplicativo possa ser reaplicável em diferentes planos de curso.

Como o fenômeno a ser observado não requer mudança de referencial do observador, criou-se uma simulação em 2D; as figuras que representam os raios foram criadas em um editor de imagens simples como por exemplo o *software* Paint e as imagens representando Einstein são figuras gratuitas

retiradas da internet. A figura de Einstein em cima de uma prancha com rodinhas serve para referenciar o movimento na horizontal desse personagem.

Para controle da simulação colocam-se botões sensíveis ao clique do mouse ou toque na tela touch. O usuário pode escolher entre a simulação com o Einstein em movimento (Figura 3.9), com o Einstein parado (Figura 3.10) ou com ambos (Figura 3.11).

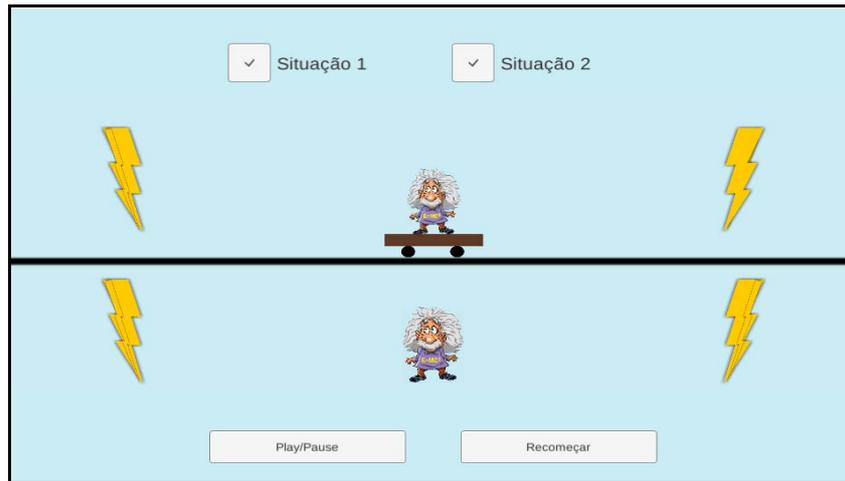


Figura 3.8. Tela inicial do aplicativo Simultaneidade.

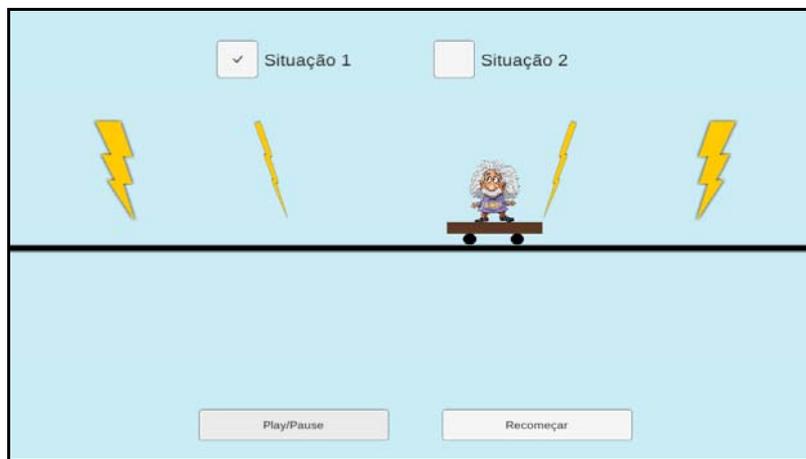


Figura 3.9. Simulação com Einstein em movimento para direita.

O professor ou aluno, ao usar o aplicativo, tem a opção de usar o botão play/pause. Quando essa função é acionada pela primeira vez, os raios de cada lado são disparados e se movimentam na direção da imagem de Einstein com velocidade constante. Ao acionar o mesmo botão pela segunda vez, a tela

é congelada, pausando a animação. Dessa forma o professor tem a opção de parar o desenvolvimento da simulação que descreve o fenômeno e debater com seus alunos durante a aula.

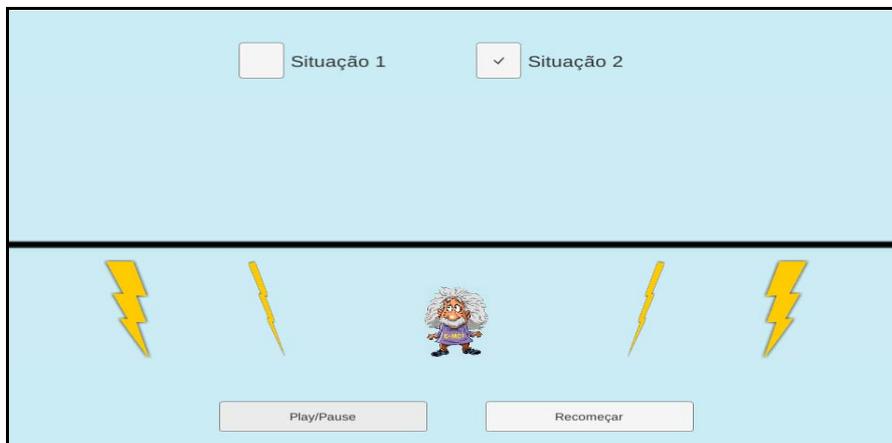


Figura 3.10 - Simulação com Einstein em repouso

Para essa simulação, as velocidades dos raios e da imagem de Einstein que se movimenta para direita, foi necessário a programação de um código em C# Script.

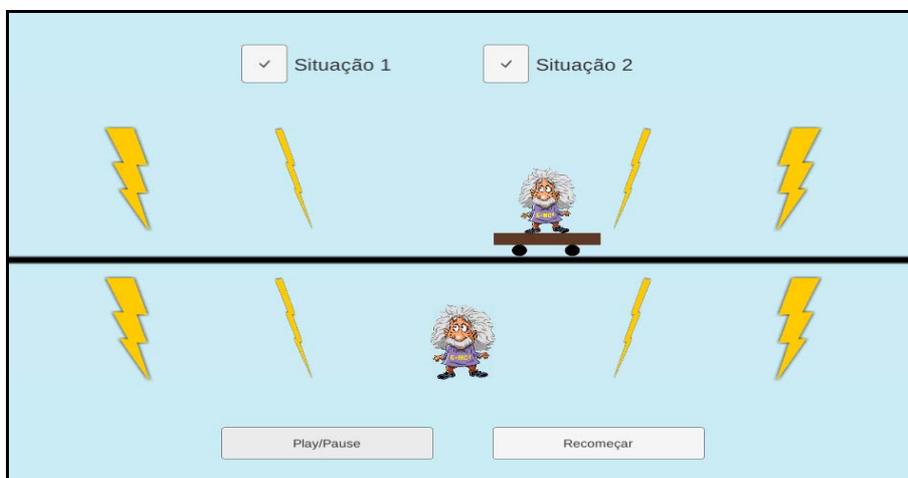


Figura 3.11 – Simulação com as duas opções: Einstein em movimento e Einstein em repouso.

Esse segundo aplicativo permite uma discussão sobre a simultaneidade do tempo independentemente de qualquer tipo sequência didática, e atende aos princípios de *Resuabilidade* e a *Portabilidade* de

simulações computacionais [Barroso 2006]. A ideia de criação dessa forma de visualização do fenômeno tem origem em um exemplo do livro de Einstein, “A Teoria da Relatividade Especial e Geral” [Einstein 1999], no qual o autor descreve esse fenômeno com um trem em movimento e dois raios caindo nos extremos dos trilhos sobre os quais o trem se movimenta.

3.4 Aplicativo: O Suspeito é o Tempo

Esse aplicativo visa reconstruir uma simulação computacional criada por Felipe e Barroso [Felipe 2005; Felipe 2010]³. O aplicativo tem como objetivo discutir o experimento imaginário proposto por Einstein sobre a relatividade da simultaneidade, e sua tela está apresentada na Figura 3.12.

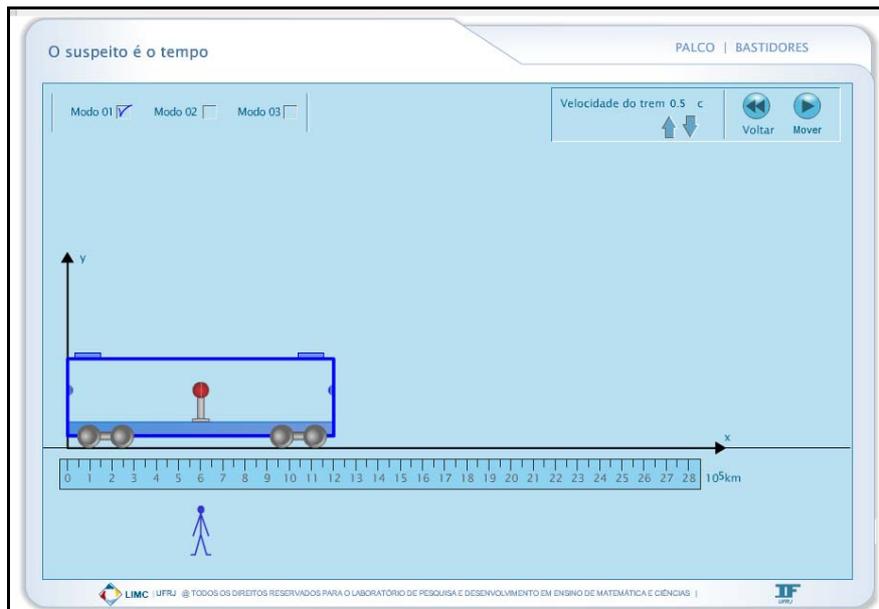


Figura 3.12. Aplicativo criado em 2010 por Geraldo Felipe e Marta Barroso.

Por ter sido um programa feito com a plataforma Flash, o aplicativo pode não rodar mais em alguns computadores. Aqui, é criada uma versão

³ O aplicativo pode ser encontrado na página <http://www.if.ufrj.br/~marta/aplicativos/>

desse aplicativo na plataforma Unity, que pode ser redimensionado para tablets e celulares.

A dinâmica do aplicativo permaneceu a mesma, porém a arte não pode ser aproveitada. Os desenhos e animações criados para essa versão foram em 2D através do editor de imagens Paint.

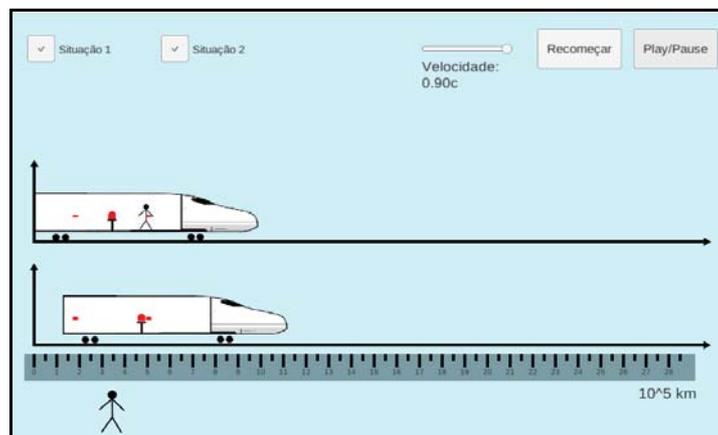


Figura 3.13. Aplicativo “O Suspeito é o Tempo” criado na plataforma Unity.

Esse aplicativo apresenta a possibilidade do professor simular o evento em dois referenciais separadamente. O fenômeno físico que se deseja mostrar é o caminho, representado pelos “tracinhos vermelhos”, que a luz percorre e o tempo para que os raios luminosos atinjam a parede interna do trem. Essa dinâmica pode ser vista com o trem parado na Figura 3.14, com o trem em movimento como na Figura 3.15 ou com as duas possibilidades como na Figura 3.13.

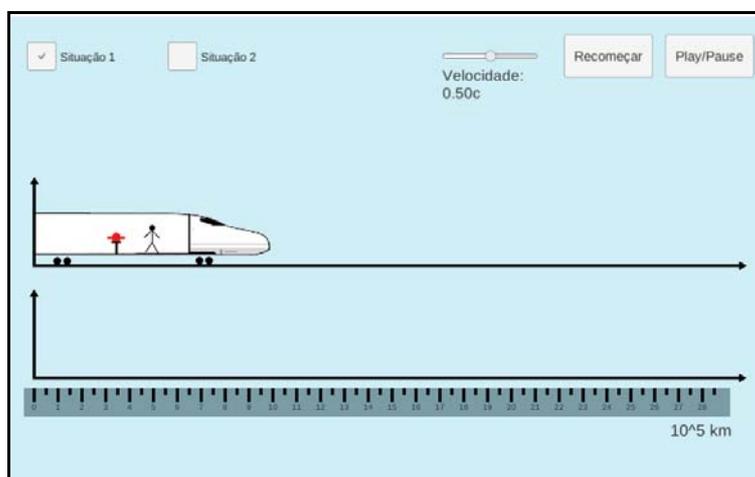


Figura 3.14 - Observação escolhendo o referencial dentro do trem.

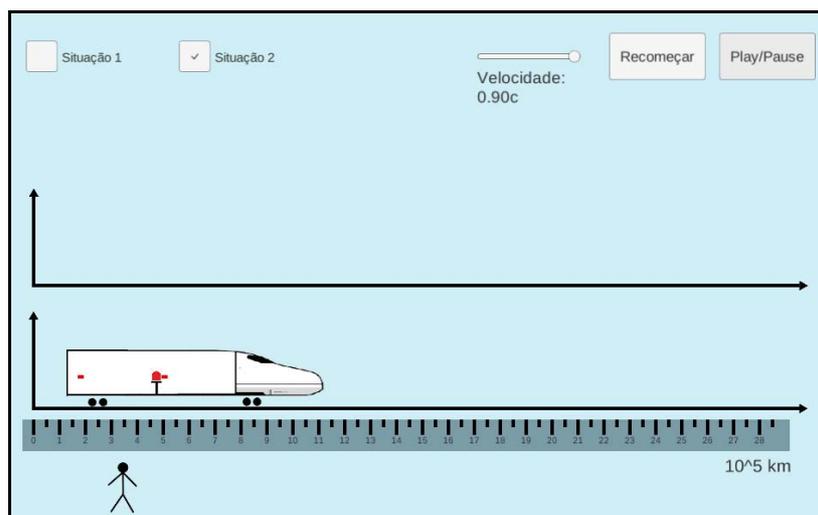


Figura 3.15. Observação do fenômeno físico escolhendo o referencial de fora do Trem.

O usuário do aplicativo também pode definir a velocidade com que o trem pode se deslocar. A velocidade é apresentada em unidades de fração da velocidade da luz c , e o máximo possível para a velocidade do trem é de 90% da velocidade da luz.

Também é possível medir as distâncias percorridas através de uma régua, colocando o mouse em cima das medidas conforme a Figura 3.16.

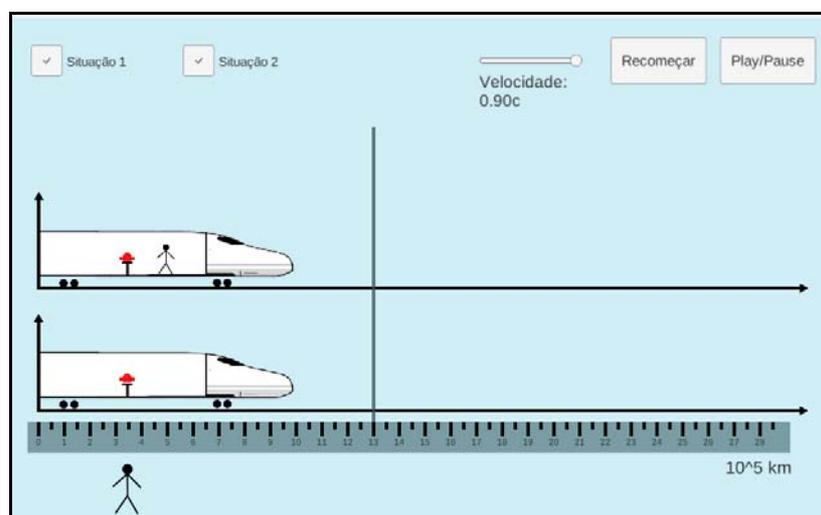


Figura 3.16. Colocando o mouse em cima da régua o usuário consegue uma reta de referência na vertical para medir distâncias percorridas pelos raios luminosos e pelos trens.

Esse aplicativo possibilita que o professor discuta com seus estudantes um grande número de conceitos, como a simultaneidade do tempo, o postulado

que o módulo da velocidade da luz é a mesma em diferentes referenciais, e abre caminho para introduzir o ensino de TRR tanto no EM como no ensino superior.

3.5 Aplicativo: A Relatividade Restrita

Um dos exemplos mais comuns que se pode encontrar para ensinar TRR e as transformações de Lorentz é o exemplo do feixe de luz disparado na vertical dentro de um trem ou foguete em movimento, conforme mostra a Figura 3.17.

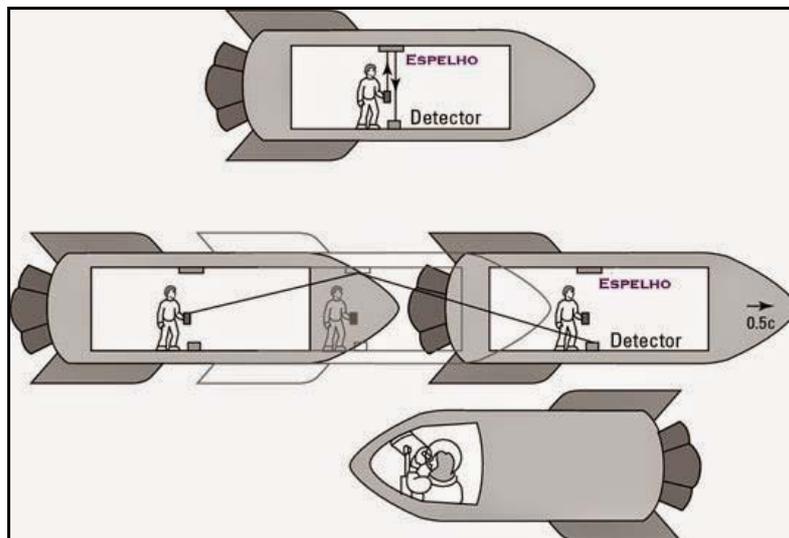


Figura 3.17. Ilustração usada para ensinar TRR.

Podem-se encontrar ilustrações parecidas em diversos livros didáticos e foi exatamente a dinâmica desse exemplo que foi referência para o aplicativo “A Relatividade Restrita”.

O aplicativo “A Relatividade Restrita” tem como objetivo simular a trajetória da luz para os dois referenciais diferentes; o disparo do feixe luminoso é realizado na direção vertical e sua trajetória é mantida para que seja possível visualizar o caminho realizado pelo feixe de luz, como mostra a Figura 3.18.

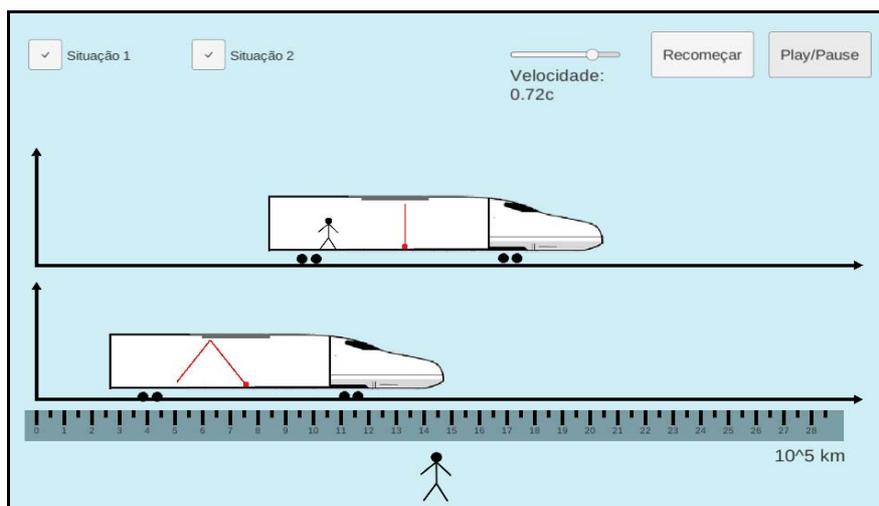


Figura 3.18. Aplicativo “A Relatividade Restrita”.

A mesma arte e a mesma programação usadas no aplicativo “O Suspeito é o Tempo” foram aproveitadas para a criação dessa simulação.

As mesmas funções do aplicativo do item 3.4 também podem ser usadas no simulador “A Relatividade Restrita”. O professor pode escolher em qual referencial ele deseja visualizar a trajetória da luz: dentro do trem (Figura 3.19), fora do trem (Figura 3.20), ou nos dois referenciais (Figura 3.18).

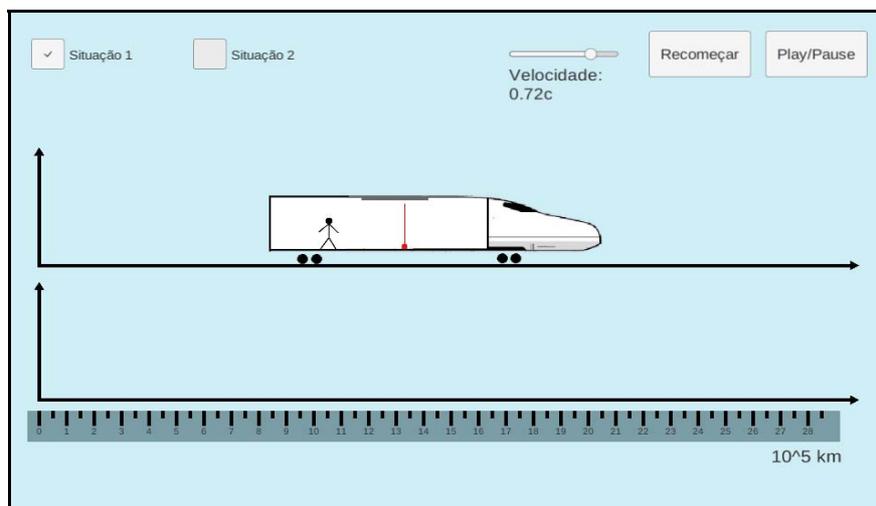


Figura 3.19. Visualização da trajetória da luz pelo referencial dentro do trem.

Também é possível escolher a velocidade do trem em relação à velocidade da luz, e o usuário tem à sua disposição a reta vertical de

referencial para medidas de distância - basta posicionar o mouse na régua do aplicativo (Figura 3.21).

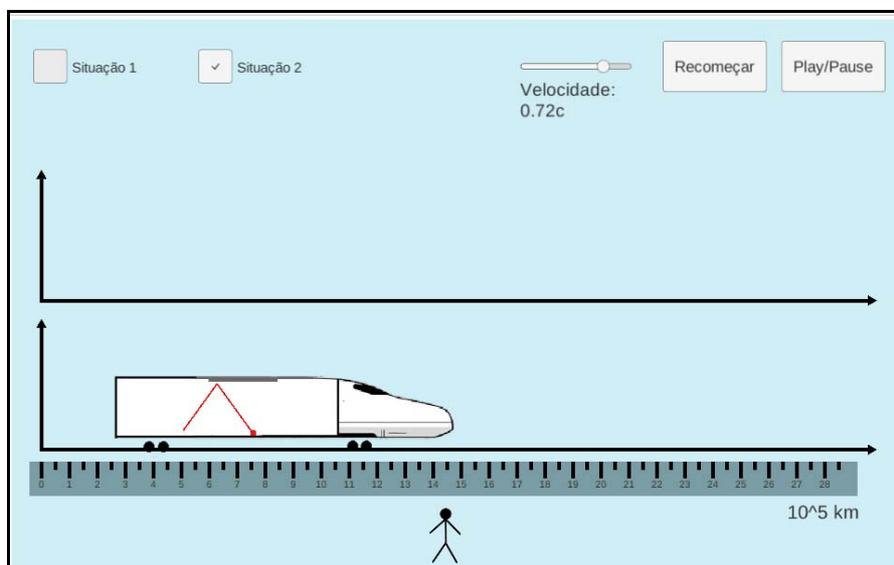


Figura 3.20. Visualização da trajetória da luz pelo referencial fora do trem.

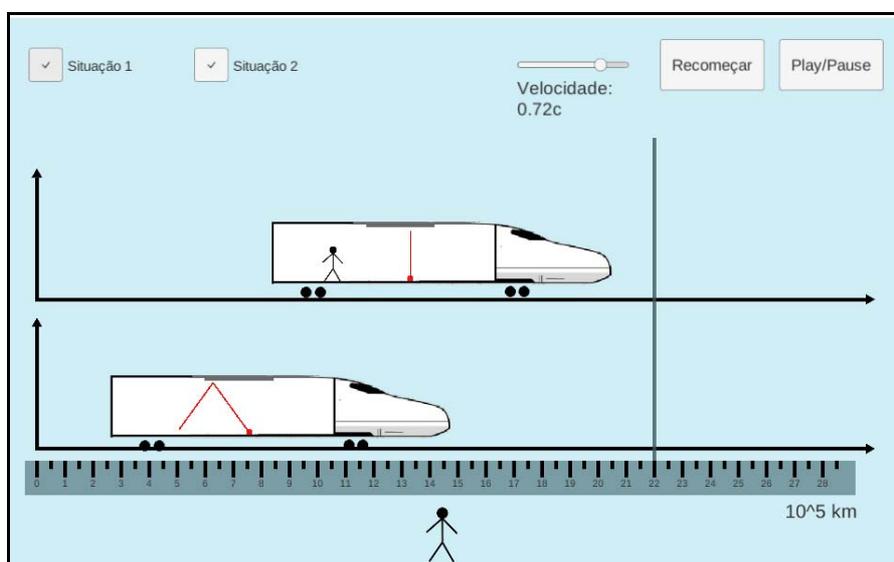


Figura 3.21. Colocando o mouse em cima da régua o usuário consegue uma reta de referência na vertical para medir distâncias percorridas na direção horizontal.

Esse aplicativo é uma ferramenta de animação que pode ser usada como introdução ao ensino de TRR. Ele permite que o aluno possa visualizar o

fenômeno de dilatação temporal, e o professor pode formalizar o conteúdo discutindo as transformações de Lorentz.

Todos os aplicativos mencionados nesse capítulo estão disponíveis gratuitamente na página http://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/material_didatico.html (ou em www.if.ufrj.br/~marta/produto_LFR).

Este capítulo apresenta quatro objetos educacionais que podem ser usados em qualquer planejamento pedagógico para aulas de TRR. As simulações criadas foram usadas para compor a sequência didática deste trabalho. O próximo capítulo tem como objetivo detalhar a sequência didática planejada nesse trabalho e expor a aplicação desse trabalho em duas turmas de terceiro ano do ensino médio.

Capítulo 4

Planejamento

Esse capítulo tem como objetivo descrever como foi planejada a sequência didática para o ensino da Teoria de Relatividade Restrita (*TRR*) em uma escola particular do Rio de Janeiro.

A sequência didática foi planejada para utilizar dois encontros presenciais de dois tempos, totalizando 180 minutos. No primeiro encontro, o professor deve retomar conceitos de mecânica e comentar sobre a história do desenvolvimento das ideias da *TRR*, e no segundo encontro explorar os postulados da *TRR* e as transformações de Lorentz.

As aulas foram estruturadas no formato de atividades POE (Previsão / Observação / Explicação), descritas no capítulo 2, e as observações dos fenômenos relacionados ao tema foram feitas utilizando os aplicativos produzidos neste trabalho.

A sequência didática foi montada conforme o enredo descrito no capítulo 2, e é destinada a alunos que estejam familiarizados com os conceitos básicos de cinemática e dinâmica. Geralmente esses alunos já estão cursando a terceira série do ensino médio (EM), mas o professor pode aplicar essa proposta de ensino para alunos que já tenham sido expostos a esses conceitos em séries anteriores. O cronograma pensado foi de dois encontros com aproximadamente noventa minutos cada. Essas aulas foram elaboradas com estratégia POE, e o professor pode acompanhar o desenvolvimento dos seus alunos durante as aulas através de um questionário elaborado para essa sequência didática. Esse questionário é composto por oito atividades no formato simples de pergunta direta, e os alunos vão respondendo conforme são solicitados.

O questionário montado tem como objetivo conciliar a previsão com a observação de cada tema abordado. O aluno responde inicialmente com base em seus conhecimentos prévios (previsão) e em seguida, após a visualização

de uma simulação computacional, voltam a responder à nova pergunta (observação).

4.1. Primeiro Encontro

Para esse primeiro encontro foi planejada uma aula de 90 minutos; esse tempo é equivalente a dois tempos de aula no EM. Essa aula tem como objetivo explorar o chamado Princípio da Relatividade de Galileu e percorrer alguns aspectos da evolução das ideias da física, introduzindo e discutindo fenômenos relacionados à velocidade da luz.

Conteúdo Programado:

- i. Princípio da relatividade de Galileu.
- ii. Referencial Inercial.
- iii. História da Física: Maxwell e a incompatibilidade de suas equações com as transformações de Galileu.

Usando a estratégia POE os alunos devem fazer uma previsão relativa à relatividade Galileana apresentada pelo professor através da atividade 1, apresentada na Figura 4.1.

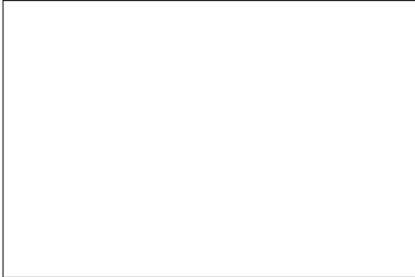
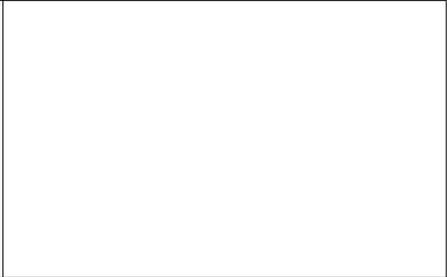
Atividade 1	
Você está de pé em uma praia e observa no horizonte um avião passando da esquerda para direita. De repente, um pacote cai do avião. Desenhe a trajetória que você vê o pacote descrever - imagine que a resistência do ar é desprezível. Justifique o seu desenho em palavras.	
	

Figura 4.1. Atividade 1 do questionário dessa sequência didática.

Após a previsão, é apresentado o aplicativo “O referencial de Galileu”, e os alunos devem observar e relatar o que foi observado no aplicativo; em seguida responder à atividade 2 do questionário conforme mostra a figura 4.2.

Depois da realização dessas duas tarefas, o professor deve realizar um debate para explicar e explanar a diferença ou semelhança entre o previsto e o observado relatado nas respostas dos alunos.

Após o debate deve-se fazer uma formalização da Relatividade Galileana, e se necessário retomar conceitos de dinâmica e cinemática.

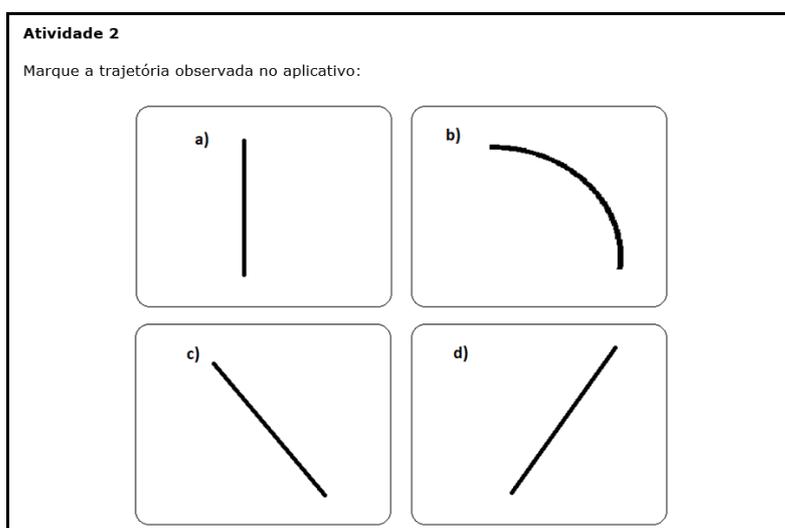


Figura 4.2 - Atividade 2 do questionário dessa sequência didática.

No segundo momento dessa aula, o objetivo é discutir, de forma conceitual, o impasse trazido ao princípio da relatividade Galileana do movimento pelo desenvolvimento das equações de Maxwell, que não se apresentavam invariantes sob transformações de Galileu. Nesse momento da aula o professor também pode abordar, historicamente, a importância que Maxwell teve no desenvolvimento do eletromagnetismo.

Após a breve passagem pela evolução das ideias da física, o professor deve pedir para que os alunos respondam à atividade 3, mostrada na Figura 4.3 do questionário, e, após todos os alunos terem respondido às questões da atividade, aplicar o simulador “O Suspeito é o Tempo”. Em seguida, o professor deve abrir um debate sobre o tema e pedir para que os alunos realizem a atividade 4 mostrada na Figura 4.4.

Atividade 3

Você está viajando, à noite, em um trem bala com velocidade constante e em linha reta, e resolve ligar uma lanterna apontando o feixe de luz na mesma direção e no mesmo sentido do movimento do trem. A velocidade da luz vale c . Qual será a medida que você faria para a velocidade do feixe de luz que sai da lanterna?

- a) Menor que c
- b) Igual a c
- c) Maior que c

Justifique sua Resposta:

Figura 4.3 - Atividade 3 do questionário dessa sequência didática.

Atividade 4

Você está observando um trem bala viajando com velocidade constante e em linha reta, e percebe que uma pessoa dentro do trem liga uma lanterna apontando o feixe de luz na mesma direção e no mesmo sentido do movimento do trem. A velocidade da luz vale c . Qual será a medida que você faria da velocidade do feixe de luz que sai da lanterna?

- a) Menor que c
- b) Igual a c
- c) Maior que c

Justifique sua Resposta:

Figura 4.4 - Atividade 4 do questionário dessa sequência didática.

Esse primeiro encontro é finalizado com a discussão entre as duas respostas apresentadas pelos alunos e a formalização relativa à descrição dos fenômenos relacionados com a velocidade da luz em diferentes referenciais e uma abordagem sobre a simultaneidade do tempo.

4.2. Segundo Encontro

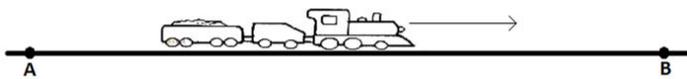
O segundo encontro tem previsão de 90 minutos e também foi elaborado com estratégia POE. Essa segunda aula tem como objetivo explorar a relatividade da simultaneidade com o aplicativo “A Relatividade da Simultaneidade” e trabalhar a TRR através do aplicativo “A relatividade Restrita”.

Conteúdo Programado:

- i. Teoria da Relatividade Restrita.
- ii. Transformações de Lorentz

Usando a estratégia POE, os alunos devem fazer uma previsão da relatividade da simultaneidade. Essa previsão é feita a partir de uma atividade 5 do questionário, mostrado na Figura 4.5.

Atividade 5
Você está viajando em um trem com velocidade v numa ferrovia.



Dois raios luminosos caem ao mesmo tempo (SIMULTANEAMENTE) em dois pontos da ferrovia – A e B. Você, de dentro do trem, observa que os raios caíram ao mesmo tempo?

- a) Sim
- b) Não

Justifique sua Resposta:

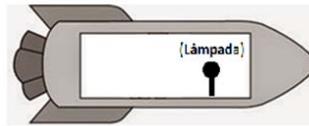
Figura 4.5 - Atividade 5 do questionário dessa sequência didática.

Após a previsão dos alunos sobre o fenômeno, o aplicativo “A Simultaneidade do Tempo” é apresentado. Os alunos devem observar e relatar o que foi visto no simulador e em seguida resolver a atividade 6 do questionário, apresentado na figura 4.6.

Depois da realização dessas duas tarefas, o professor deve realizar um debate para explicar o conteúdo trabalhado e explanar a diferença ou semelhança entre as respostas de previsão e a observação dos alunos.

Atividade 6

Imagine uma lâmpada no interior de uma nave espacial posicionada mais próxima da extremidade frontal do que da extremidade traseira do compartimento, de modo que um observador dentro do compartimento da nave vê a luz chegar à frente antes de alcançar a traseira.



Seria possível que um observador externo veja a luz chegar primeiro na traseira do compartimento? Justifique sua resposta.

Figura 4.6 - Atividade 6 do questionário dessa sequência didática.

O segundo momento tem como objetivo explorar a TRR. O professor pode fazer uma introdução do tema e pedir uma previsão, respondendo à atividade 7 do questionário, apresentada na figura 4.7.

Atividade 7

Vamos imaginar um experimento com a luz e observá-lo em dois referenciais diferentes.

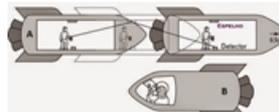
O experimento se passa dentro de uma nave que viaja com velocidade de $0,5c$ na direção horizontal e para direita



1 - Na primeira observação, você está dentro de uma espaçonave A, o referencial A, viajando horizontalmente, e um feixe de luz é disparado de uma lanterna em direção ao teto da nave, na direção vertical. No teto existe um espelho que reflete esse raio de luz (exatamente a 90°), conforme mostra a figura (a representação não é perfeitamente fiel, não considerando o princípio da reversibilidade, para fins de visualização mais clara do experimento):



2 - Na segunda situação, um outro observador está do lado de fora da nave, na nave B, o referencial B. Este segundo observador está parado e observa a nave A viajar com velocidade $0,5c$, horizontalmente. A figura abaixo mostra o observador da nave B presenciando o mesmo experimento.



De acordo com a figura acima, claramente a trajetória que a luz percorre é diferente para os dois observadores. Lembrando que $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$, então podemos concluir que a velocidade da luz é diferente para os dois observadores?

Justifique sua resposta.

Figura 4.7 - Atividade 7 do questionário dessa sequência didática.

Após a previsão será apresentado o aplicativo “A Relatividade Restrita”. O professor deve formalizar o conteúdo de TRR e das transformações de Lorentz.

Para finalizar o segundo encontro, o professor deve pedir para os alunos responderem à atividade 8 do questionário conforme mostra a figura 4.8. Nessa última etapa o professor pode também abrir um debate para tirar dúvidas e curiosidades que possam surgir dos alunos.

Após a previsão será apresentado o aplicativo “A Relatividade Restrita”, e os alunos devem observar e relatar o que foi visto no simulador; em seguida, devem responder à atividade 8 do questionário mostrado na figura 4.8.

Atividade 8

Imagine um futuro em que as pessoas viajam em expressos interplanetários com velocidades próximas a da luz. Um passageiro nesse expresso tira uma soneca de 5 minutos, pelo seu relógio de pulso. Essa soneca do ponto de vista de um planeta considerado fixo é:

- a) Menor que cinco minutos
- b) Igual a cinco minutos
- c) Maior que cinco minutos

Justifique sua Resposta:

Figura 4.8 - Atividade 8 do questionário dessa sequência didática.

Esse capítulo descreve uma sugestão de planejamento para os temas abordados. Os aplicativos e o próprio questionário podem ser reutilizados em qualquer outro planejamento pedagógico elaborado por outros professores. Esse material também é granular, ou seja, ele não precisa ser utilizado na íntegra; o professor pode utilizar parte do material, adaptando-a ao seu planejamento pedagógico.

O próximo capítulo relata como foi a aplicação dessa sequência em uma escola particular do estado do Rio de Janeiro, as impressões dos alunos ao visualizarem os aplicativos e a comparação das previsões e observações dos alunos durante as aulas.

Capítulo 5

Aplicação

A aplicação dessa sequência didática foi realizada em um colégio particular da cidade do Rio de Janeiro. Duas turmas de terceiro ano do ensino médio (EM) foram escolhidas para participar do trabalho. Essa escolha se deve ao fato de que durante o ano letivo de 2018 um grupo grande da turma apresentou interesse em aprender conteúdos de Física Moderna e Contemporânea (FMC). Durante o primeiro semestre desse ano, os alunos pediram para o professor ministrar aulas sobre as Teorias da Relatividade de Einstein e Física Quântica, porém não foi possível elaborar aulas para todos esses temas.

O trabalho foi desenvolvido nos tempos regulares de Física II para ambas as turmas e foram usados dois tempos consecutivos, totalizando noventa minutos, para cada encontro. As duas turmas eram compostas de 30 alunos e 31 alunos. Todos os discentes participaram voluntariamente do trabalho, mas apenas 51 alunos entregaram o questionário proposto pelo professor.

Os alunos não tiveram acesso aos simuladores computacionais. Todas as projeções das simulações foram realizadas pelo professor em um único computador localizado na mesa do docente. As simulações foram projetadas no quadro por um *datashow*, e ficaram à disposição caso algum aluno apresentasse interesse em ele mesmo simular o fenômeno no aplicativo.

5.1 Perfil do Grupo Teste

Esse trabalho foi aplicado em duas turmas do terceiro ano do ensino médio de uma escola particular do município do Rio de Janeiro. A escola fica situada na Zona Oeste da cidade e atende um público de classe média alta da região.

Os alunos ficam na escola em tempo integral e têm sete tempos de física por semana na grade horária. Os tempos de Física são divididos em três tempos para Física I, três tempos para Física II e um tempo de aprofundamento

em Física. Esse último tempo visa a preparação para as provas do ENEM e vestibulares pelo país e no exterior. As aulas são dadas por dois professores de física diferentes, cada um abordando uma frente.

Como a maior parte do conteúdo de física do EM já foi dada na primeira e na segunda série, o professor no terceiro ano passa praticamente todo o ano letivo fazendo revisão e aprofundamento dos assuntos para os concursos.

Os alunos também contam com aulas regulares de laboratório de Física em sua grade curricular no primeiro e o segundo ano do EM. O laboratório de Física oferecido para os alunos trabalha em paralelo com a teoria; o professor de laboratório realiza experimentos de acordo com o conteúdo que o professor de Física teórica trabalha em sala de aula. As aulas de laboratório fazem parte da avaliação dos alunos, e é feita através de relatórios dos experimentos.

Os livros didáticos de Física adotado na escola são *Física: Mecânica*, *Física: Termologia, Óptica e ondas*, *Física: Eletricidade e Magnetismo*, todos eles dos autores Luiz Alberto Guimarães e Marcelo Fonte Boa, da editora Galera. Esses livros não oferecem nenhum tipo de conteúdo relacionado a FMC, logo o material oferecido nesse trabalho para os alunos foi o primeiro contato formal com a FMC que eles tiveram.

O conteúdo abordado nessa sequência didática não teve sua compreensão verificada em nenhum tipo de avaliação para o trimestre e as duas aulas programadas ocorreram nos tempos regulares de física II das turmas.

5.2 Aplicação: Primeiro Encontro

Esse primeiro encontro teve como objetivo retomar os conceitos de mecânica (cinemática e dinâmica) trabalhados na primeira e na segunda séries do EM para formalizar a relatividade Galileana, e contar parte da história da evolução das ideias da Física, quando o eletromagnetismo entra em contradição com as transformações de Galileu da Física clássica; e a partir desse marco histórico, relatar o surgimento da Teoria da Relatividade Restrita.

Nessa passagem histórica o professor se preocupou em descrever os cientistas que participaram e colaboraram com todo o desenvolvimento científico da época.

A aula começou com o professor descrevendo exemplos de objetos sendo abandonados em situações distintas; os alunos deveriam imaginar a situação descrita e responder as perguntas sobre o tipo de movimento que eles observariam em cada situação.

O primeiro exemplo proposto pelo professor foi da seguinte situação: “*se uma pessoa deixasse cair uma bolinha para fora da janela de um carro em movimento retilíneo uniforme, como você, estando dentro do carro, observaria a trajetória da bolinha?*”. A maioria dos alunos respondeu que a bolinha cairia para trás do carro. Logo em seguida, um outro grupo levantou a hipótese de que a bolinha só fica para trás devido à resistência do ar, porém, também não disseram o que ocorreria se desprezássemos a resistência do ar.

O segundo exemplo proposto foi: “*e se você, ainda dentro desse mesmo carro, observasse a pessoa soltar a bolinha dentro do carro, como você observaria a trajetória da bolinha?*”. Nesse momento, os alunos ficaram bem divididos, entre responder que a bolinha iria cair em uma trajetória em linha reta e na vertical, ou que a bolinha iria cair para trás. Houve uma grande discussão entre eles, mas não chegaram a um consenso.

Os dois exemplos propostos foram apenas para introduzir o conteúdo que seria abordado. Não houve nenhum tipo de coleta das respostas dos alunos. O professor também não fez qualquer tipo de intervenção nas discussões entre eles.

Após essa introdução o professor pediu para que os alunos respondessem à atividade 1 do questionário em anexo, obtendo as respostas conforme a tabela 5.1.

Atividade 1

Você está de pé em uma praia e observa no horizonte um avião passando da esquerda para direita. De repente, um pacote cai do avião. Desenhe a trajetória que você vê o pacote descrever – imagine que a resistência do ar é desprezível. Justifique o seu desenho em palavras.

--	--

Respostas da atividade 1	Alunos	%
Desenhou um arco parábola	35	68,6%
Desenhou uma reta na vertical	9	17,6%
Desenhou uma reta inclinada	3	5,9%
Resposta em branco	4	7,8%
Total	51	100,0%

Tabela 5.1 – Resultado das respostas da Atividade 1.

Pode-se observar que 69% dos alunos apresentaram conhecimento no tipo de trajetória seria descrita na atividade 1. Esse parâmetro pode ter sido obtido porque o problema colocou a condição de ausência da resistência do ar. Diferentemente de quando foi solicitado que eles imaginassem uma situação do seu cotidiano, como o primeiro exemplo do professor, um grupo respondeu exatamente aquilo que se observa, a trajetória do objeto sendo influenciada pela resistência do ar.

O resultado da primeira atividade demonstrou que o grupo apresenta uma base satisfatória de cinemática; os próprios alunos lembraram que o movimento descrito na atividade 1 era um lançamento horizontal.

Após responderem à atividade 1, o professor mostrou o aplicativo “A Relatividade de Galileu”. Durante a apresentação o docente mostrou todas as possibilidades de visualização do aplicativo e pediu para que os alunos observassem e respondessem a atividade 2 do questionário, analisando o

movimento visto na opção “Plataforma” do aplicativo, cuja imagem é apresentada na Figura 5.1.

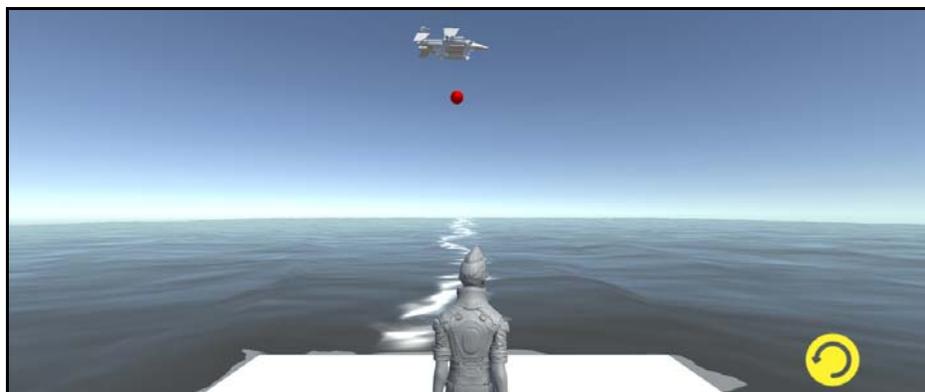
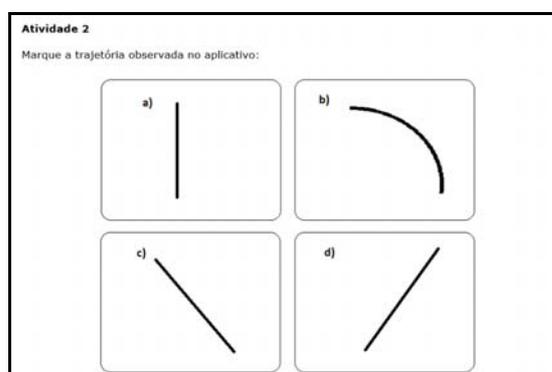


Figura 5.1 - Referencial visto de um observador em pé em uma plataforma.

Durante a apresentação os alunos solicitaram a repetição da simulação várias vezes.

Após várias demonstrações, e os alunos terem respondido à atividade 2, pode-se observar o resultado das respostas na tabela 5.2.



Atividade 2	Alunos	%
Opção A	0	0,0%
Opção B	28	54,9%
Opção C	22	43,1%
Opção D	0	0,0%
Resposta em branco	1	2,0%
Total	51	100,0%

Tabela 5.2. Resultado das respostas da Atividade 2.

A observação dos alunos do aplicativo e os resultados da tabela 5.2 revelam que houve uma perda e não um ganho no aprendizado desse grupo.

Esse resultado foi causado pela falta de clareza da simulação. A trajetória da bolinha no simulador não ficou clara para os alunos. Parte dos alunos disseram que apesar de saber que a trajetória era um arco de parábola, eles estavam observando uma trajetória em linha reta e na diagonal.

A dúvida foi sanada quando o professor traçou a trajetória da bolinha com a caneta em cima da projeção do simulador no quadro.

Nessa situação, o simulador influenciou bastante nas respostas dos alunos. Na etapa da previsão (atividade 1) a reta inclinada representava apenas 5,9% das respostas e pulou para 43,1% na observação (atividade 2).

Dois pontos são importantes nessa comparação: o primeiro é que a observação tem papel fundamental para entender e descrever o fenômeno trabalhado, e o segundo é de que o simulador precisa de ajustes. Pode-se deixar o arco de parábola mais curvo e acrescentar a opção do usuário escolher visualizar a trajetória do movimento.

O próximo passo da aula foi a formalização da Relatividade Galileana. Nesse momento, os próprios alunos fizeram a ligação com movimentos aprendidos na cinemática e as forças, aprendidas em dinâmica, que atuam no corpo.

O segundo momento desse primeiro encontro ocorre quando o professor começa a contar parte da história da Física, começando por Maxwell, de sua origem, e da importância dos seus trabalhos para o eletromagnetismo. Nesse momento os alunos tiveram uma atitude mais passiva, apenas ouvindo a história sem interagir com a aula.

O interesse e as dúvidas dos alunos começaram a aparecer quando o professor relatou que o desenvolvimento do eletromagnetismo revelou um impasse com a mecânica clássica.

Nessa etapa da aula um debate se formou sobre os fenômenos relacionados à velocidade da luz, mas o professor ainda não tinha relacionado a velocidade da luz com referenciais arbitrários. Muitos alunos relataram o fato da velocidade da luz ser constante no vácuo, mas não mencionaram de onde tiraram essa informação. Também não houve nenhum comentário relacionando esse fenômeno com os trabalhos de Einstein. Essa informação ainda estava vaga e imprecisa para esse grupo.

Após essa discussão o professor pediu para que os alunos respondessem à atividade 3, obtendo o resultado exposto na tabela 5.3.

Atividade 3

Você está viajando, à noite, em um trem bala com velocidade constante e em linha reta, e resolve ligar uma lanterna apontando o feixe de luz na mesma direção e no mesmo sentido do movimento do trem. A velocidade da luz vale c . Qual seria a medida que você poderia realizar para a velocidade do feixe de luz que sai da lanterna?

a) Menor que c
 b) Igual a c
 c) Maior que c

Justifique sua Resposta:

Atividade 3	Alunos	%
Opção A	6	11,8%
Opção B	38	74,5%
Opção C	3	5,9%
Declarou não saber responder	3	5,9%
Resposta em branco	1	2,0%
Total	51	100,0%

Tabela 5.3 – Resultado das respostas da Atividade 3.

O resultado obtido nessa atividade demonstra que uma boa parte do grupo sabe que a luz se propaga com a mesma velocidade, porém essa porcentagem de 74,5% de acerto pode ter sido influenciada pela discussão realizada antes dos alunos terem respondido a atividade 3.

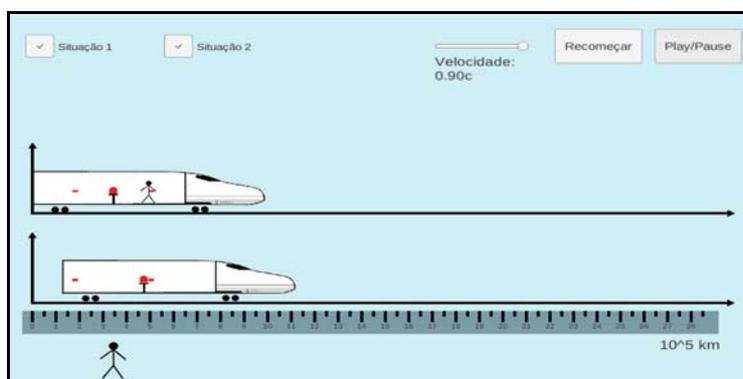


Figura 5.2 - Aplicativo O Suspeito é o Tempo.

Após os alunos terem respondido à atividade 3, o professor apresentou o aplicativo “O Suspeito é o Tempo” e simulou os vários cenários possíveis no aplicativo para o disparo do feixe de luz dentro e fora do trem, como mostra a Figura 5.2. Em seguida, pediu para respondessem à atividade 4, obtendo o seguinte resultado descrito na tabela 5.4.

Atividade 4

Você está observando um trem bala viajando com velocidade constante e em linha reta, e percebe que uma pessoa dentro do trem liga uma lanterna apontando o feixe de luz na mesma direção e no mesmo sentido do movimento do trem. A velocidade da luz vale c . Qual será a medida que você faria da velocidade do feixe de luz que sai da lanterna?

a) Menor que c
 b) Igual a c
 c) Maior que c

Justifique sua Resposta:

Atividade 4	Alunos	%
Opção A	0	0,0%
Opção B	48	94,1%
Opção C	1	2,0%
Declarou não saber responder	0	0,0%
Resposta em branco	2	3,9%
Total	51	100,0%

Tabela 4.4. Resultado das respostas da Atividade 4.

Nesse resultado, pode-se observar que a simulação cumpriu o seu propósito. Um número expressivo de alunos conseguiu observar que não importa se o disparo do feixe de luz é realizado com o trem parado ou em movimento, a velocidade de propagação da luz vai sempre ser a mesma para qualquer referencial.

Porém o professor conseguiu observar que alguns alunos simplesmente repetiram as afirmações colocadas pelo grupo na discussão antes da atividade 3 e não conseguiram assimilar a ideia de que a velocidade da luz é a mesma em qualquer referencial arbitrário. Esse grupo ainda aplicava as transformações de Galileu, somando ou subtraindo a velocidade do trem conforme o sentido do deslocamento. O professor mencionou que essa discussão tem grande relevância, pois nesse momento pode-se observar como os cientistas da época estavam pensando no assunto.

Para terminar o primeiro encontro o professor fez uma pequena introdução sobre a próxima aula, perguntando se um mesmo evento pode ser observado em momentos distintos. As respostas foram automáticas e rápidas: não. O professor não corrigiu os alunos e nem discutiu o tema. Também informou que no próximo encontro revelaria como Einstein resolveu o impasse do eletromagnetismo com as transformações de Galileu da mecânica clássica.

5.3 Aplicação: Segundo Encontro

O segundo encontro tem como objetivo formalizar os postulados da Teoria da Relatividade Restrita e as transformações de Lorentz. Para essa etapa, o professor começa a aula discutindo a simultaneidade da relatividade com o propósito de desconstruir a ideia da física clássica de tempo absoluto, ou seja, que para a física clássica intervalos de tempo não dependeriam do estado de movimento do corpo de referência.

O professor começa a aula perguntando se um mesmo evento pode ser observado por referenciais diferentes em tempos diferentes. A maioria dos alunos respondeu automaticamente que não, que não é possível que um mesmo evento seja observado em tempos diferentes. Em seguida o professor pede para que os alunos respondam a atividade 5 do questionário obtendo as respostas expressas na tabela 5.5.

Atividade 5
 Você está viajando em um trem com velocidade v numa ferrovia.



Dois raios luminosos caem ao mesmo tempo (SIMULTANEAMENTE) em dois pontos da ferrovia – A e B. Você, de dentro do trem, observa que os raios caíram ao mesmo tempo?

a) Sim
 b) Não

Justifique sua Resposta:

Atividade 5	Alunos	%
Opção A	21	41,2%
Opção B	23	45,1%
Declarou não saber responder	3	5,9%
Resposta em branco	4	7,8%
Total	51	100,0%

Tabela 5.5 – Resultado das respostas da Atividade 5.

Apesar da maioria dos alunos responder à pergunta do professor dizendo que um mesmo evento não pode ser visto em tempos diferentes, as respostas da atividade 5 demonstram que o grupo, nesse momento da aula, se encontra dividido. A maioria afirma que o mesmo evento não pode ser observado em tempos diferentes, mas 21 alunos responderam que sim, sem apresentar explicação para a resposta.



Figura 5.3 - Simulação: Figura do Einstein em movimento e Figura do Einstein em repouso

Após os alunos responderem à atividade 5, o professor apresentou o aplicativo “A Simultaneidade da Relatividade” (Figura 5.3), e simulou as duas situações possíveis no aplicativo: a figura do Einstein em movimento para direita e a figura do Einstein parado no centro. As duas figuras recebiam a imagem dos raios que se movimentavam das extremidades da tela para o centro.

Após a observação das simulações pelos alunos o professor pediu para respondessem a atividade 6. A tabela 5.6 apresenta os resultados.

Atividade 6

Imagine uma lâmpada no interior de uma nave espacial posicionada mais próxima da extremidade frontal do que da extremidade traseira do compartimento, de modo que um observador dentro do compartimento da nave vê a luz chegar à frente antes de alcançar a traseira.



Seria possível que um observador externo veja a luz chegar primeiro na traseira do compartimento? Justifique sua resposta.

Atividade 6	Alunos	%
Sim	23	45,1%
Não	17	33,3%
Depende	2	3,9%
Declarou não saber responder	2	3,9%
Declarou que não entendeu	4	7,8%
Resposta em branco	3	5,9%
total	51	100,0%

Tabela 5.6 – Resultado das respostas da Atividade 6.

Pode-se observar um pequeno ganho no aprendizado dos alunos a partir da observação do simulador, mas ainda representa menos de 50% dos alunos. As respostas: “depende” apareceu duas vezes, “não entendeu” apareceu quatro vezes, “não sabe responder” apareceu duas vezes e “em branco” apareceu três vezes. Essas respostas somadas representam um percentual de 21,5% dos alunos, o que indica que a simulação ainda não ficou clara e precisa de ajustes. Uma solução que pode ser testada é que a Relatividade da Simultaneidade ser formalizada antes da simulação e depois simular o fenômeno para a observação dos alunos.

Após os alunos responderem à atividade 6, o professor formaliza a ideia de Relatividade da Simultaneidade com o objetivo de introduzir os postulados da TRR e as transformações de Lorentz.

Tendo discutido a ideia de Relatividade da Simultaneidade, o professor pede para que os alunos respondam à atividade 7 do questionário e os resultados são expressos na tabela 5.7.

Atividade 7

Vamos imaginar um experimento com a luz e observá-lo em dois referenciais diferentes.

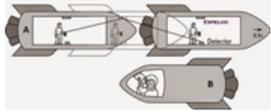
O experimento se passa dentro de uma nave que viaja com velocidade de $0,5c$ na direção horizontal e para direita



1 - Na primeira observação, você está dentro de uma espaçonave A, o referencial A, viajando horizontalmente, e um feixe de luz é disparado de uma lanterna em direção ao teto da nave, na direção vertical. No teto existe um espelho que reflete esse raio de luz (exatamente a 90°), conforme mostra a figura (a representação não é perfeitamente fiel, não considerando o princípio da reversibilidade, para fins de visualização mais clara do experimento):



2 - Na segunda situação, um outro observador está do lado de fora da nave, na nave B, o referencial B. Este segundo observador está parado e observa a nave A viajar com velocidade $0,5c$, horizontalmente. A figura abaixo mostra o observador da nave B presenciando o mesmo experimento.



De acordo com a figura acima, claramente a trajetória que a luz percorre é diferente para os dois observadores. Lembrando que $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ então podemos concluir que a velocidade da luz é diferente para os dois observadores?

Justifique sua resposta.

Atividade 7	Alunos	%
Sim	5	9,8%
Não	31	60,8%
Declarou não saber responder	1	2,0%
Declarou que não entendeu	3	5,9%
Resposta em branco	11	21,6%
total	51	100,0%

Tabela 5.7 - Resultado das respostas da Atividade 7.

Nessa tabela observa-se que a ideia da velocidade da propagação luz ser a mesma em qualquer referencial arbitrário foi bem absorvida pelos alunos.

Em seguida o professor apresenta o aplicativo “A Relatividade Restrita”; durante a apresentação o docente explora as simulações oferecidas pelo objeto educacional computacional mostrado na Figura 5.4.

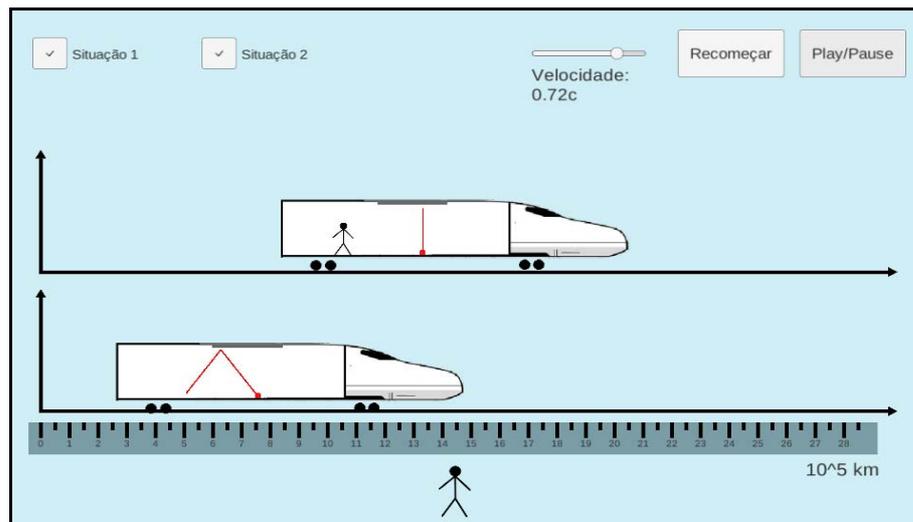


Figura 5.4 - Aplicativo “A Relatividade Restrita”.

Após as simulações, o professor formalizou os postulados da TRR e as transformações de Lorentz, e em seguida pediu para que os alunos respondessem à atividade 8. As respostas estão presentes na tabela 5.8.

Atividade 8

Imagine um futuro em que as pessoas viajam em expressos interplanetários com velocidades próximas a da luz. Um passageiro nesse expresso tira uma soneca de 5 minutos, pelo seu relógio de pulso. Essa soneca do ponto de vista de um planeta considerado fixo é:

- Menor que cinco minutos
- Igual a cinco minutos
- Maior que cinco minutos

Justifique sua Resposta:

Atividade 8	Alunos	%
Opção A	6	12%
Opção B	10	20%
Opção C	31	61%
Declarou não saber responder	0	0%
Resposta em branco	4	8%
Total	51	100%

Tabela 5.8 - Resultado das respostas da Atividade 7.

O resultado apresentado na tabela 5.8 demonstra que os conceitos relacionados às Transformações de Lorentz, e especificamente em relação à dilatação temporal, foram bem assimilados pelos alunos. A contração do espaço não despertou o mesmo interesse que a dilatação temporal. As dúvidas, perguntas e curiosidades foram direcionadas à dilatação temporal com a velocidade de movimento dos corpos.

Ficou claro que a ideia de dilatação do tempo e contração do comprimento não são conceitos de fácil aceitação e compreensão para os alunos do EM. Essa dificuldade de assimilar os postulados de TRR pode ser elencada em dois fatores:

1 – Referenciais arbitrários e movimentos próximos à velocidade da luz estão bem distantes do cotidiano do aluno. Conseqüentemente, ele pode apresentar dificuldade de abstração para visualizar o fenômeno físico.

2 – A falta de maturidade, tanto etária como acadêmica, de um aluno do EM pode dificultar a compreensão do conteúdo.

Muitos alunos não conseguiram abandonar o conceito de transformações Galileanas. Para esse grupo, o segundo postulado da TRR contradiz o primeiro. Um grupo ainda insistiu em trabalhar com a velocidade relativa da luz em relação ao referencial em movimento.

Esse foi o primeiro contato desse grupo com um conteúdo formal de FMC. Apesar da dificuldade de compreensão da TRR, as aulas e o tema despertaram a curiosidade e o interesse de alguns alunos em buscar mais informação sobre o assunto.

Esse trabalho mostra que é possível trazer o ensino de Física do EM um pouco mais próximo da ciência do século XX e XXI.

No próximo capítulo, serão apresentadas as considerações finais deste trabalho.

Capítulo 6

Considerações finais

Esse trabalho teve como objetivo inicial a construção de objetos educacionais digitais ligados ao ensino de Relatividade Galileana, Relatividade Restrita e a Relatividade da Simultaneidade. Esses aplicativos foram criados na plataforma Unity, disponível gratuitamente na internet para estudantes.

Em paralelo com a construção dos aplicativos, foi elaborada uma sequência pedagógica com estratégia POE, com intuito de ajudar no ensino da Teoria da Relatividade Restrita no ensino médio, e que serviu também como teste da aplicabilidade dos simuladores. Junto com essa sequência também foi elaborado um questionário para os alunos responderem durante as aulas, de forma que o professor pudesse acompanhar o desenvolvimento dos alunos.

No capítulo 2, apresentaram-se trabalhos relacionados ao ensino de Física Moderna e Contemporânea no nível médio, e em especial o ensino da Teoria da Relatividade Restrita, que ajudaram na elaboração dessa dissertação. Esses trabalhos mostram como o ensino desse conteúdo é abordado nesse nível de escolarização, como os livros didáticos apresentavam o assunto e os diversos tipos de materiais que podem ser encontrados em periódicos para o professor usar em sala de aula. Nesse mesmo capítulo também foi relatado todo o conteúdo explorado na sequência didática desse trabalho.

Esse conteúdo foi elaborado obedecendo a um determinado “enredo”. O termo “enredo” foi proposto por Arons [Arons 1997], no qual ele sugere que o professor faça uma escolha de conteúdos específicos para o ensino de algum tema relacionado à Física Moderna e Contemporânea.

Foram criados quatro aplicativos para o ensino dos temas abordados, denominados de: O Referencial de Galileu, A Relatividade da Simultaneidade, A Relatividade Restrita, O Suspeito é o Tempo. Este último aplicativo é uma reconstrução de um aplicativo criado em 2010 por Felipe e Barroso. A descrição de como os aplicativos foram construídos e o funcionamento de cada um deles estão descritos no capítulo 3 desse trabalho.

Todo o planejamento da sequência didática, baseada na estratégia POE, e como os aplicativos foram usados se encontram no capítulo 4.

O capítulo 5 descreve a aplicação e as conclusões da aplicabilidade desse material. As respostas ao questionário proposto foram analisadas e catalogadas após os dois encontros planejados. De acordo com essas respostas, observa-se que, com alguns cuidados, é possível ensinar no ensino médio as ideias básicas da Teoria Relatividade Restrita.

Além disso, as respostas dos estudantes indicaram a necessidade de melhorias (já presentes no material final) no aplicativo “O Referencial de Galileu” – é necessária a opção para visualizar a trajetória da bolinha.

Como material instrucional, apresentam-se os aplicativos desenvolvidos (no Apêndice A), e um guia de aplicação da sequência didática aqui utilizada, no Apêndice B. No apêndice C, é apresentado o questionário para acompanhamento da sequência didática utilizando a metodologia POE.

Os aplicativos e a sequência didática não estão amarrados a esse trabalho. Todos os objetos educacionais criados podem ser usados de forma independente conforme o planejamento adotado pelo professor.

O objetivo dos aplicativos é de ajudar na visualização de movimentos relativos e o da sequência didática é de acompanhar o desenvolvimento dos alunos durante as aulas. Dessa forma, espera-se que este trabalho e estes materiais possam ajudar no ensino da Teoria da Relatividade Restrita no ensino médio.

Referências

- ARONS, A.B. **Teaching Introductory Physics**. New York: John Wiley & Sons. 1997.
- AYALA FILHO, Álvaro Leonardi. **A CONSTRUÇÃO DE UM PERFIL PARA O CONCEITO DE REFERENCIAL EM FÍSICA E OS OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS A APRENDIZAGEM DA TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA**. Investigações em Ensino de Ciências, Pelotas, Rs, v. 15, n. 1, p.155-179, 2010. Quadrimestral.
- BARROSO, M. F.; BEVILAQUA, D; FELIPE, G. **Visualização e Interatividade no Ensino de Física e a Produção de Aplicativos Computacionais**. Atas do XVIII SNEF – Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2009, Vitória. Disponível em <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xviii/sys/resumos/T0082-1.pdf>
- BARROSO, M. F.; FELIPE, G.; SILVA, T. **Aplicativos Computacionais e Ensino de Física**. Atas do IX EPEF – Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2006, Londrina.
- EINSTEIN, Albert. **A Teoria da Relatividade Especial e Geral**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1999.
- FELIPE, G., BARROSO, M. F., PORTO, C. M. **Simulações Computacionais no Ensino de Relatividade Restrita**. Anais do XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física, Rio de Janeiro, 2005.
- KARAM, Ricardo Avelar Sotomaior et al. Relatividades no ensino médio: o debate em sala de aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 29, n. 1, p.105-114, 2006.
- MACHADO, Daniel Iria; NARDI, Roberto. **Construção e validação de um sistema hipermídia para o ensino de Física Moderna**. Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias, [s.i.], v. 6, n. 1, p.90-115, 2007.
- MARTINS, Claudinéia de Oliveira et al. UM ESTUDO SOBRE O ENSINO DE RELATIVIDADE ESPECIAL NO ENSINO MÉDIO. In: XI ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS – XI ENPEC, 11., 2017, Florianópolis. 2017. p. 1 - 9.
- MOREIRA, Marco Antonio. APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: UM CONCEITO SUBJACENTE. **Aprendizagem Significativa em Revista**, Porto Alegre, v. 1, n. 3, p.25-46, 2011. Quadrimestral. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/asr/>>. Acesso em: 14 nov. 2017.

- MOREIRA, Marco Antonio; VEIT, Eliane Angela. O Plano de Ensino e o Plano de Aula. In: MOREIRA, Marco Antonio; VEIT, Eliane Angela. **Ensino Superior: Bases Teóricas e Metodológicas**. [s.i.]: Editora Pedagógica e Universitária Ltda, 1983. p. 209-225.
- NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de Física Básica 1 Mecânica**. 5. ed. Rio de Janeiro: Blucher, 2013.
- OLIVEIRA, Fabio Ferreira de et al. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 3, p.447-454, 2007. Disponível em: <www.sbfisica.org.br>. Acesso em: 14 nov. 2017.
- OSTERMANN, Fernanda; RICCI, Trieste F.. RELATIVIDADE RESTRITA NO ENSINO MÉDIO: CONTRAÇÃO DE LORENTZ-FITZGERALD E APARÊNCIA VISUAL DE OBJETOS RELATIVÍSTICOS EM LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 19, n. 2, p.176-190, 2002.
- SILVA, Alanah Garcia da; ERROBIDART, Nádia Cristina Guimaraes. O ensino da Teoria da Relatividade Restrita. In: XI ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS – XI ENPEC, 2017, Florianópolis, 2017. p. 1 - 10.
- RESNICK, Robert. **Introdução à Relatividade Especial**. São Paulo: Polígono, 1971.
- SOUZA FILHO, Geraldo Felipe de. **SIMULADORES COMPUTACIONAIS PARA O ENSINO DE FÍSICA BÁSICA: UMA DISCUSSÃO SOBRE PRODUÇÃO E USO**. 2010. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. Cap. 6.
- WHITE, Richard; GUNSTONE, Richard. Prediction - Observation - Explanation. In: WHITE, Richard; GUNSTONE, Richard. **Probing Understanding**. New York: Routledge, 1992. Cap. 3. p. 44-64.
- WILEY, D. A. **Connecting learning objects to instructional design theory: A definition, a metaphor, and a taxonomy**. In D. A. Wiley (Ed.), *The Instructional Use of Learning Objects: Online Version*, 2000. Disponível em <http://reusability.org/read/chapters/wiley.doc>, consultado em 25 de março de 2006.

APÊNDICE A



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física



APLICATIVOS COMPUTACIONAIS

Leandro Fabricio Ribeiro

Marta Feijó Barroso

Material instrucional associado à dissertação de mestrado
de Leandro Fabricio Ribeiro, apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da
Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro
Dezembro de 2018

Os aplicativos desenvolvidos nesse trabalho estão descritos no Capítulo 3 da dissertação de mestrado de Leandro Fabricio Ribeiro.

São:

O referencial de Galileu

A relatividade da simultaneidade

O suspeito é o tempo

A relatividade restrita

Para utilizá-lo, entre na página

http://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes.html

ou em

www.if.ufrj.br/~marta/produto_LFR

Baixe o arquivo comprimido de cada um dos aplicativos, e descomprima-o em seu computador. Em cada aplicativo há uma pasta com três arquivos; para que o aplicativo seja utilizável, deve-se clicar no arquivo .exe com os outros arquivos presentes na mesma pasta.

APÊNDICE B



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física



**GUIA DO PROFESSOR
A RELATIVIDADE DE GALILEU A EINSTEIN**

Leandro Fabricio Ribeiro

Marta Feijó Barroso

Material instrucional associado à dissertação de mestrado
de Leandro Fabricio Ribeiro, apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da
Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro
Dezembro de 2018

Capítulo 1

Introdução

Este material contém uma sequência didática baseada na estratégia POE (Previsão – Observação – Explanação), onde o objetivo é introduzir o estudo da Teoria da Relatividade Restrita no ensino médio.

A sequência didática desse guia é dividida em duas aulas de noventa minutos cada, as demonstrações dos fenômenos são realizadas com os aplicativos apresentados no apêndice A, B, C e D.

Capítulo 2

Planejamento

Esse capítulo apresenta o planejamento de cada aula da sequência didática do presente trabalho, os conteúdos a serem trabalhados em cada encontro e a dinâmica da aula a ser seguida.

Esse planejamento foi elaborado com base no artigo *O Plano de Ensino e o Plano de Aula* [Moreira 1983].

2.1 Planejamento: Primeiro Encontro

Cronograma: 90 minutos

Objetivos:

Explorar o Princípio da Relatividade de Galileu, percorrer alguns aspectos da história das ideias da física para introduzir e discutir o impasse entre o eletromagnetismo e as transformações de Galileu da mecânica clássica.

Conteúdo Programático:

1. Princípio da relatividade de Galileu.
2. Referencial Inercial.
3. História da Física: Maxwell e a incompatibilidade do eletromagnetismo com as transformações de Galileu da mecânica clássica.

Estratégia de Ensino:

Usando a estratégia POE (Previsão-Observação-Explicação), os alunos devem fazer uma previsão relativa à um fenômeno físico. Após a previsão será apresentado um aplicativo com uma simulação do tema abordado; os alunos devem observar e relatar. Em seguida realizar um debate para explicar e explicar a diferença ou semelhança entre o previsto e o observado.

Dinâmica da aula:

1 – Previsão: Os alunos devem responder à atividade 1.

2 – Observação: Após os alunos terem respondido à atividade 1, apresentar o aplicativo: “A Relatividade de Galileu” (essa apresentação pode ser feita através de uma projeção pelo próprio professor ou, dependendo da estrutura do colégio, o professor pode pedir para os alunos baixarem o aplicativo em seus celulares ou Tablets). Após os alunos se familiarizarem e explorarem o aplicativo, solicitar que respondam a atividade 2.

3 – Explicação: Discutir a diferença ou semelhança entre o previsto e o observado. Apresentar a justificativa resultante da discussão por escrito.

4 – Formalização: Relatividade Galileana: explicar o princípio, retomar conceitos de dinâmica e cinemática.

No segundo momento dessa aula o objetivo é discutir o impasse trazido ao Princípio da Relatividade Galileana do movimento pelo

desenvolvimento das equações de Maxwell, que não se apresentavam invariante sob transformações de Galileu. Nesse momento da aula o professor também pode abordar, historicamente, a importância que Maxwell teve no desenvolvimento do eletromagnetismo.

Usando a estratégia POE (Previsão-Observação-Explicação), os alunos devem fazer uma previsão relativa a um fenômeno físico. Após a previsão será apresentado um aplicativo com uma simulação do tema abordado; os alunos devem observar e relatar. Em seguida realizar um debate para explicar e explicar a diferença ou semelhança entre o previsto e o observado.

1 – Previsão: Os alunos devem responder à atividade 3.

2 – Observação: Após os alunos terem respondido à pergunta da atividade 3, apresentar o aplicativo: “O Suspeito é o Tempo” (essa apresentação pode ser feita através de uma projeção pelo próprio professor ou, dependendo da estrutura do colégio, o professor pode pedir para os alunos baixarem o aplicativo em seus celulares ou Tablets). Após os alunos se familiarizarem e explorarem o aplicativo, solicitar que respondam a atividade 4.

3 – Explicação: discutir a diferença ou semelhança entre o previsto e o observado.

4 – Apresentação e explicação das respostas: apresentar e explicar as respostas corretas. Possibilidade de abrir uma nova discussão para tirar as dúvidas que ainda persistirem na turma.

2.2 Planejamento: Segundo Encontro

Cronograma: 90 minutos

Objetivos

Introduzir e explorar os conceitos da Relatividade da Simultaneidade, Teoria da Relatividade Restrita e as Transformações de Lorentz.

Conteúdo Programático:

1. Teoria da Relatividade Restrita.
2. Transformações de Lorentz.

Estratégia de Ensino:

Usando a estratégia POE (Previsão-Observação-Explicação), os alunos devem fazer uma previsão relativa a um fenômeno físico. Após a previsão será apresentado um aplicativo com uma simulação do tema abordado; os alunos devem observar e relatar. Em seguida realizar um debate para explicar e explicar a diferença ou semelhança entre o previsto e o observado.

Dinâmica da aula:

1 – Previsão: Os alunos devem responder à atividade 5.

2 –Observação: Após os alunos terem respondido à atividade 5, apresentar o aplicativo: “A Relatividade da Simultaneidade” (essa apresentação pode ser feita através de uma projeção pelo próprio professor ou, dependendo da estrutura do colégio, o professor pode pedir para os alunos baixarem o aplicativo em seus celulares ou Tablets). Após os alunos se familiarizarem e explorarem o aplicativo, solicitar que respondam a atividade 6.

3 – Explicação: discutir a diferença ou semelhança entre o previsto e o observado.

4 –Apresentação e explicação das respostas: apresentar e explicar as respostas corretas. Possibilidade de abrir uma nova discussão para tirar as dúvidas que ainda persistirem na turma.

5 – Formalização: A Simultaneidade da Relatividade

O segundo momento tem como objetivo explorar a Teoria da Relatividade Restrita e as Transformações de Lorentz. O professor pode fazer uma introdução do tema e pedir uma previsão respondendo a atividade 7.

Usando a estratégia POE os alunos devem fazer uma previsão de um fenômeno físico. Após a previsão será apresentado um aplicativo e em seguida realizar um debate da diferença ou semelhança entre o previsto e o observado.

1 – Previsão: Os alunos devem responder à atividade 7.

2 – Formalização: Teoria da Relatividade Restrita de Einstein e as Transformações de Lorentz.

3 – Observação: Após os alunos terem respondido à pergunta apresentar o aplicativo: “A Relatividade Restrita” (essa apresentação pode ser feita através de uma projeção pelo próprio professor ou, dependendo da estrutura do colégio, o professor pode pedir para os alunos baixarem o aplicativo em seus celulares ou Tablets). Após os alunos se familiarizarem e explorarem o aplicativo, solicitar que respondam a atividade 8.

4 – Explicação: Discutir a diferença ou semelhança entre o previsto e o observado.

5 – Apresentação e explicação das respostas: apresentar e explicar as respostas corretas. Possibilidade de abrir uma nova discussão para tirar as dúvidas que ainda persistirem na turma.

APÊNDICE C



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física



Questionário para acompanhamento da sequência didática:
A Relatividade de Galileu a Einstein

Leandro Fabricio Ribeiro

Marta Feijó Barroso

Material instrucional associado à dissertação de mestrado
de Leandro Fabricio Ribeiro, apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da
Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro
Dezembro de 2018

**Questionário para acompanhamento da sequência didática:
Relatividade de Galileu a Einstein**

Atividade 1

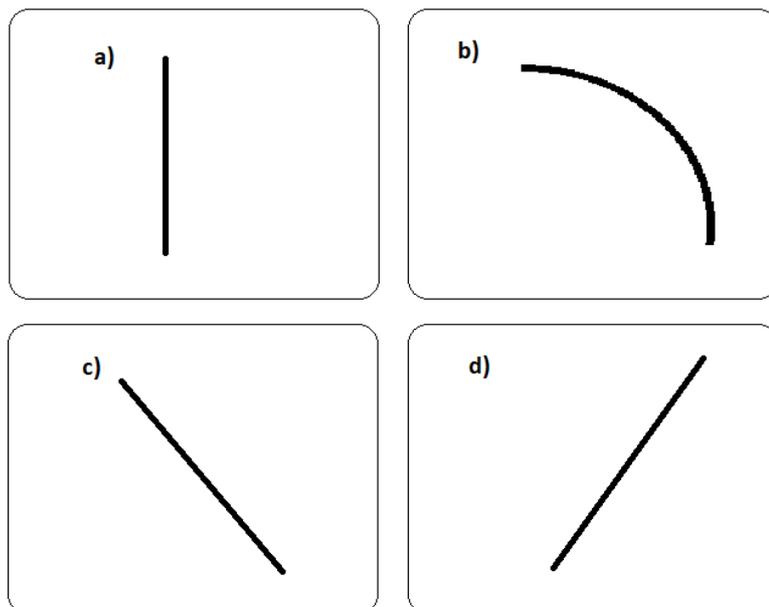
Você está de pé em uma praia e observa no horizonte um avião passando da esquerda para direita. De repente, um pacote cai do avião. Desenhe a trajetória que você vê o pacote descrever – imagine que a resistência do ar é desprezível.

Justifique o seu desenho em palavras.

--	--

Atividade 2

Marque a trajetória observada no aplicativo:



Atividade 3

Você está viajando, à noite, em um trem bala com velocidade constante e em linha reta, e resolve ligar uma lanterna apontando o feixe de luz na mesma direção e no mesmo sentido do movimento do trem. A velocidade da luz vale c . Qual seria a medida que você poderia realizar para a velocidade do feixe de luz que sai da lanterna?

- a) Menor que c
- b) Igual a c
- c) Maior que c

Justifique sua Resposta:

Atividade 4

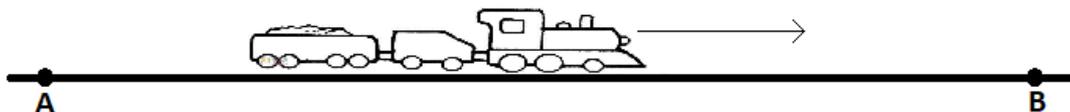
Você está observando um trem bala viajando com velocidade constante e em linha reta, e percebe que uma pessoa dentro do trem liga uma lanterna apontando o feixe de luz na mesma direção e no mesmo sentido do movimento do trem. A velocidade da luz vale c . Qual será a medida que você faria da velocidade do feixe de luz que sai da lanterna?

- a) Menor que c
- b) Igual a c
- c) Maior que c

Justifique sua Resposta:

Atividade 5

Você está viajando em um trem com velocidade v numa ferrovia.



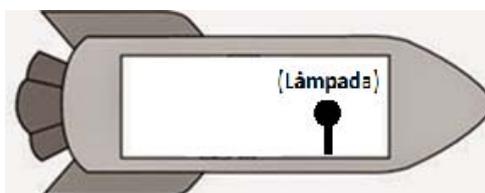
Dois raios luminosos caem ao mesmo tempo (SIMULTANEAMENTE) em dois pontos da ferrovia – A e B. Você, de dentro do trem, observa que os raios caíram ao mesmo tempo?

- a) Sim
- b) Não

Justifique sua Resposta:

Atividade 6

Imagine uma lâmpada no interior de uma nave espacial posicionada mais próxima da extremidade frontal do que da extremidade traseira do compartimento, de modo que um observador dentro do compartimento da nave vê a luz chegar à frente antes de alcançar a traseira.

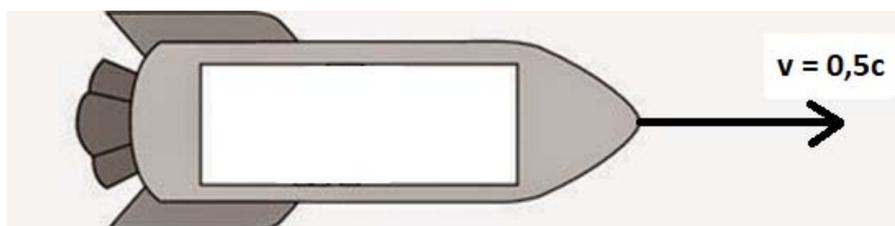


Seria possível que um observador externo veja a luz chegar primeiro na traseira do compartimento? Justifique sua resposta.

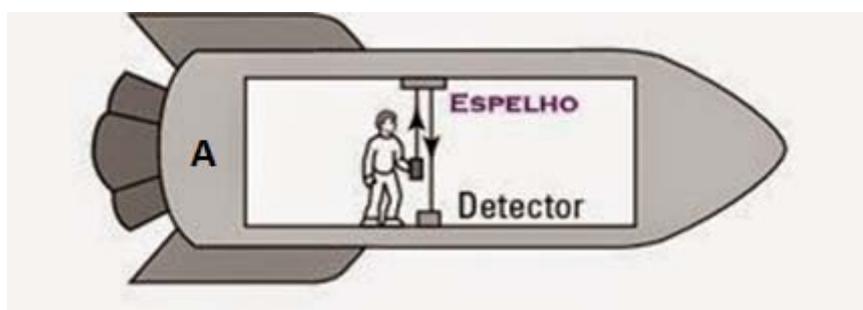
Atividade 7

Vamos imaginar um experimento com a luz e observá-lo em dois referenciais diferentes.

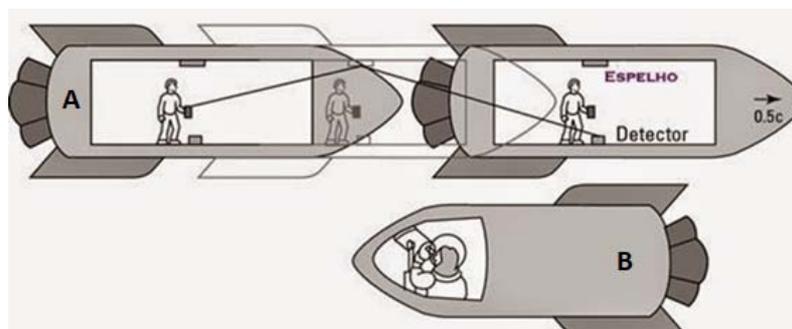
O experimento se passa dentro de uma nave que viaja com velocidade de $0,5c$ na direção horizontal e para direita



1 - Na primeira observação, você está dentro de uma espaçonave **A**, o referencial **A**, viajando horizontalmente, e um feixe de luz é disparado de uma lanterna em direção ao teto da nave, na direção vertical. No teto existe um espelho que reflete esse raio de luz (exatamente a 90°), conforme mostra a figura (a representação não é perfeitamente fiel, não considerando o princípio da reversibilidade, para fins de visualização mais clara do experimento):



2 - Na segunda situação, um outro observador está do lado de fora da nave, na nave **B**, o referencial **B**. Este segundo observador está parado e observa a nave **A** viajar com velocidade $0,5c$, horizontalmente. A figura abaixo mostra o observador da nave B presenciando o mesmo experimento.



De acordo com a figura acima, claramente a trajetória que a luz percorre é diferente para os dois observadores. Lembrando que $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ então podemos concluir que a velocidade da luz é diferente para os dois observadores?

Justifique sua resposta.

Atividade 8

Imagine um futuro em que as pessoas viajam em expressos interplanetários com velocidades próximas a da luz. Um passageiro nesse expresso tira uma soneca de 5 minutos, pelo seu relógio de pulso. Essa soneca do ponto de vista de um planeta considerado fixo é:

- a) Menor que cinco minutos
- b) Igual a cinco minutos
- c) Maior que cinco minutos

Justifique sua Resposta: