



**INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA TEORIA DA RELATIVIDADE  
RESTRITA VIA PARADOXO DOS GÊMEOS: UMA PROPOSTA  
PARA O ENSINO MÉDIO**

**MARCELO LINHARES GATTI**

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

Orientador: Prof. Dr. LEONARDO MONDAINI

Rio de Janeiro,  
Agosto de 2018

**INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA TEORIA DA RELATIVIDADE  
RESTRITA VIA PARADOXO DOS GÊMEOS: UMA PROPOSTA  
PARA O ENSINO MÉDIO**

**MARCELO LINHARES GATTI**

Orientador: Prof. Dr. LEONARDO MONDAINI

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

Aprovada por:

---

Dr.Nome do Membro da Banca

---

Dr.Nome do Membro da Banca

---

Dr.Nome do Membro da Banca

Rio de Janeiro,  
Agosto de 2018

## MODELO de FICHA CATALOGRÁFICA

**CXXXc\*** Linhares Gatti, Marcelo  
**Introdução ao estudo da Teoria da Relatividade Restrita via paradoxo dos gêmeos: uma proposta para o ensino médio**  
/ Marcelo Linhares Gatti - Rio de Janeiro: UNIRIO / IBIO, 2018.  
Número de seções, Número de páginas; dimensões da encadernação.  
Orientador: Prof. Dr. Leonardo Mondaini  
Dissertação (mestrado) – UNIRIO / Instituto de Biociências / Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2018.  
Referências Bibliográficas: páginas inicial e final.  
1. Ensino de Física. 2. Teoria da Relatividade. 3. Relatividade Restrita. 4. Albert Einstein. 5. Aprendizagem significativa. 6. Ensino da Relatividade no ensino médio. 7. Paradoxo dos gêmeos. 8. Dilatação temporal. 9. Simulador de dilatação temporal.  
I. Prof. Dr. Leonardo Mondaini.  
II. Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Biociências, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física.  
III. Introdução ao estudo da Teoria da Relatividade Restrita via paradoxo dos gêmeos: uma proposta para o ensino médio.

\*Código da obra (fornecido pela biblioteca)

Consultar: <http://www.biblioteca.unirio.br/servicos-1/fichas-catalograficas>

Dedico essa dissertação à minha  
Família, especialmente a minha Mãe,  
minha Avó, Tia Targina e meu Avô.

## **Agradecimentos**

Agradeço a Albert Einstein, cujo trabalho revolucionou muito além de nossos conhecimentos sobre a física, mas também revolucionou a nossa percepção do Universo e de nós mesmos.

Agradeço a minha esposa, a professora Rosana da Silva Revelles, pois sempre incentivou o meu retorno ao meio acadêmico e foi quem me apresentou o Mestrado Profissional de Ensino em Física.

Agradeço ao Prof. Doutor Helayel que me apoiou em diversos momentos no decorrer do mestrado, desde o processo de seleção até na realização de trabalhos fora do mestrado, cuja conduta de vida e vontade em ajudar é um exemplo a ser seguido.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Doutor Leonardo Mondaini, cuja habilidade na arte de ensinar é uma inspiração para todo educador.

Agradeço ao meu irmão Marcos Linhares Gatti pelo exemplo de dedicação ao estudo e por todas as vezes que me incentivou e treinou.

Agradeço ao meu filho Chrystian Revelles Gatti que é para mim um grande exemplo a ser seguido de ser humano inteligente, dedicado e íntegro.

Agradeço à UNIRIO e a todos que me apoiaram.

A todos, minha gratidão e respeito

Agradeço a DEUS, por essa grande oportunidade.

*“Anyone who has never made a mistake has never tried anything new”*

*Albert Einstein*

## RESUMO

# INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA VIA PARADOXO DOS GÊMEOS: UMA PROPOSTA PARA O ENSINO MÉDIO

MARCELO LINHARES GATTI

Orientador: Prof. Dr. LEONARDO MONDAINI

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

O produto desenvolvido nesse trabalho visa atender as novas diretrizes dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), no sentido da inserção da Física Moderna no ensino médio (fonte: <<http://www.rj.gov.br>>).

Segundo Ausubel, despertar e ao mesmo tempo ir em direção aos interesses naturais do estudante é uma poderosa ferramenta para o educador alcançar seus objetivos (AUSUBEL, 1968).

Com o intuito de despertar o interesse e servir como base de conhecimentos para a aprendizagem da teoria da Relatividade de Einstein de uma maneira lúdica e divertida desenvolvi como produto do meu mestrado um simulador.

O produto aqui apresentado, batizado de “Simulador do Paradoxo dos Gêmeos” consiste em um simulador que mostra através de imagens impactantes o que ocorreria caso um de dois irmãos gêmeos recém-nascidos embarcasse em uma viagem de ida e volta numa nave capaz de alcançar velocidades extremamente altas e o outro ficasse no planeta Terra. O simulador permite a escolha de naves com velocidades e destinos diferentes, e seguindo os cálculos da Teoria da Relatividade Restrita, ele mostra através de imagens como o tempo passará diferentemente para cada um dos dois irmãos gêmeos.

O “Simulador do Paradoxo dos gêmeos” mostrou ser uma ferramenta eficaz para o ensino de física, especificamente para o ensino da Teoria da Relatividade Restrita de Einstein e pode ser facilmente disseminado em toda a rede pública de ensino.

Palavras-chave: 1. Ensino de Física. 2. Teoria da Relatividade. 3. Relatividade Restrita. 4. Albert Einstein. 5. Aprendizagem significativa. 6. Ensino da Teoria da Relatividade no ensino médio. 7. Paradoxo dos gêmeos. 8. Dilatação temporal. 9. Simulador de dilatação temporal.

Rio de Janeiro,  
Julho de 2018.

## **ABSTRACT**

### **INTRODUCTION TO THE STUDY OF EINSTEIN'S THEORY OF SPECIAL RELATIVITY THROUGH THE TWIN PARADOX: A PROPOSAL FOR SECONDARY SCHOOL.**

**MARCELO LINHARES GATTI**

Supervisor:  
Prof. Dr. LEONARDO MONDAINI

Abstract of Master's dissertation submitted to Graduate Program of Physics Education in the Professional Master's Course in Physics Education of Federal University of the State of Rio de Janeiro (PROFIS-UNIRIO) as a partial fulfillment of the requirements for Master's degree in Physics Education

The product developed in this work aims to meet the new guidelines of the National Curricular Parameters (NCP), in the sense of the insertion of Modern Physics in secondary school (source: <<http://www.rj.gov.br>>).

According to Ausubel, awakening and at the same time moving toward the natural interests of the student is a powerful tool for the educator to achieve his goals (AUSUBEL, 1968).

In order to develop the student interest and serve as a background for learning Einstein's theory of special relativity in a playful and amusing way, I developed, as an educational product of my master's, a simulator of the twin paradox.

The product presented here, called the "Twin Paradox Simulator", consists of a simulator which shows through impactful images what would happen if one of two newborn twin siblings embarked on a round trip in a spaceship capable of reaching extremely high speeds while the other remains on planet Earth. The simulator allows the selection of spaceships with different speeds and destinations and, following the calculations of Einstein's Theory of Special Relativity, it shows through images how time will pass differently for each of the two twin brothers.

The "Twin Paradox Simulator" has proved to be an effective tool for teaching physics, specifically for teaching Einstein's Theory of Special Relativity, and can be easily disseminated throughout the public school system.

Keywords: 1. Physics Teaching. 2. Theory of Relativity. 3. Special Relativity. 4. Albert Einstein. 5. Meaningful learning. 6. Teaching Einstein's Theory of Special Relativity in secondary school. 7. Twin paradox. 8. Temporal dilation. 9. Temporal dilation simulator.

Rio de Janeiro,  
July de 2018.

## Sumário

Capítulo 1	Introdução .....	1
Capítulo 2	Referencial teórico .....	3
2.1	- A escolha das estratégias de ensino .....	3
2.2	- A curiosidade estimula a aprendizagem .....	5
2.3	- A concepção de Piaget .....	6
2.4	- Jogos na concepção de Vygotsky .....	6
2.5	- De acordo com Bordenave e Pereira.....	7
Capítulo 3	Parâmetros Curriculares .....	8
3.1	- Parâmetros Curriculares Nacionais .....	8
3.2	- Currículo Mínimo da rede de ensino do estado do Rio de Janeiro...	9
Capítulo 4	Breve revisão da literatura .....	12
4.1	- Os primórdios da relatividade – Galileu Galilei (1564-1642) .....	12
4.2	- Ondas eletromagnéticas e as equações de Maxwell .....	14
4.3	- As transformações de Lorentz .....	16
4.4	- O Éter e o questionamento de sua existência .....	17
4.5	- Einstein e a solução do problema.....	18
4.6	- Einstein e a dilatação temporal.....	19
4.7	- Evidências experimentais da Teoria da Relatividade Restrita.....	20
4.8	- O paradoxo dos gêmeos.....	23
Capítulo 5	Aplicação e avaliação do produto.....	28
5.1	- Metodologia para a aplicação e avaliação do Produto .....	28
5.2	- Avaliação dos resultados .....	32
5.2.1	- Comentários sobre a 1ª avaliação, analisando por partes .....	32
5.2.2	- O segundo questionário.....	34
5.2.3	- Análise dos resultados do 2º questionário.....	37

5.3 - 5ª etapa: a etapa que não estava programada .....	43
5.4 - Conclusão sobre a aplicação e avaliação do produto.....	43
Capítulo 6 Como utilizar o Simulador do Paradoxo dos Gêmeos.....	44
Capítulo 7 Dicas para desenvolver o seu próprio Simulador.....	47
Capítulo 8 Conclusões.....	50
Referências Bibliográficas .....	51
<b>Apêndices:</b>	
Apêndice 1 Questionário preliminar .....	54
Apêndice 2 Mini apostila sobre a Teoria da Relatividade .....	55
Apêndice 3 2º questionário sobre a Teoria da Relatividade .....	59
Apêndice 4 Imagem da planilha com a calculadora de dilatação temporal ....	61
Apêndice 5 Slides do Power Point do Simulador do Paradoxo dos Gêmeos..	62
<b>Lista de Figuras:</b>	
Figura 4.1 Galileu-Galilei.....	12
Figura 4.2 O experimento de Michelson e Morley.....	17
Figura 4.3 Albert Einstein.....	18
Figura 4.4 “O trem de Einstein” .....	20
Figura 4.5 O experimento de Hafele-Keating.....	22
Figura 4.6 Movimento de Pêndulo em um referencial.....	25
Figura 4.7 Dois irmãos gêmeos recém-nascidos antes da viagem.....	26
Figura 4.8 Comparativo de 2 irmãos gêmeos após viagem.....	26
Figura 5.1 Foto do colégio Municipal Rui Barbosa.....	28
Figura 5.2 Alunos do colégio Municipal Rui Barbosa.....	31
Figura 5.3 Desenho da nave do questionário 2.....	36

Figura 6.1	Slide 01 do Simulador do Paradoxo dos Gêmeos.....	44
Figura 6.2	Para dar início a apresentação do Power Point.....	45
Figura 6.3	Imagem da planilha: “Calculadora de dilatação temporal.”.....	46
Figura 7.1	Dica 01 para desenvolver o seu próprio Simulador.....	47
Figura 7.2	Dica 02 para desenvolver o seu próprio Simulador.....	48
Figura 7.3	Dica 03 para desenvolver o seu próprio Simulador.....	48
Figura 7.4	Dica 04 para desenvolver o seu próprio Simulador.....	49
Figura A4.1	Imagem da planilha: “Calculadora de dilatação temporal.”.....	61

### **Lista de Gráficos:**

Gráfico 5.1	Comparativo da resposta da questão 1.....	32
Gráfico 5.2	Evolução das notas da turma de controle.....	38
Gráfico 5.3	Evolução das notas da turma experimental.....	38
Gráfico 5.4	Evolução das notas da turma de controle na prova toda.....	39
Gráfico 5.5	Evolução das notas da turma experimental na prova toda.....	40
Gráfico 5.6	Comparativo de evolução das notas da turma experimental e de controle.....	40
Gráfico 5.7	Comparativo de evolução das notas da turma experimental e de controle.....	41
Gráfico 5.8	Percentual de melhora das notas da turma de controle e da experimental.....	42
Gráfico 5.9	Percentual de melhora das notas da turma de controle e da experimental.....	42

### **Lista de Quadros:**

Quadro 4.1	Transformações de Galileu.....	13
Quadro 4.2	Equações de Maxwell em sua forma diferencial.....	15
Quadro 4.3	As transformações de Lorentz.....	16

**Lista de Siglas:**

SPG.....Simulador do Paradoxo dos Gêmeos  
TRR.....Teoria da Relatividade Restrita  
TR .....Teoria da Relatividade

**Observações:**

No capítulo 6: Temos material explicativo, que pode ser fornecido para professores e alunos sobre como usar o SPG.

Em anexo, segue CD com o Simulador do Paradoxo dos Gêmeos (SPG) e a planilha no programa Excel com a “Calculadora de Dilatação Temporal” vinculada ao arquivo Power Point com o SPG.

# Capítulo 1

## Introdução

Muitos educadores perguntam-se: como potencializar o aprendizado? Como despertar o interesse dos educandos por certo tema?

Ao mesmo tempo, pais, avós e familiares surpreendem-se ao verem uma criança, às vezes na mais tenra idade, ser capaz de memorizar e elencar nomes difíceis de serem pronunciados até mesmo por um adulto. Nomes como os dos diferentes tipos de dinossauros, ou de personagens de um desenho, mesmo que em outro idioma. Além de pronunciarem os nomes, esses jovens muitas vezes memorizam uma série de informações e características desses dinossauros, personagens, etc.

Assistindo a um fato desses, um educador deve perguntar-se: como isso é possível? E, caso encontre a resposta, a próxima pergunta é: como reproduzir isso nas escolas?

A resposta à primeira pergunta é: o que faz uma criança ou jovem ter esse desempenho excelente é o interesse natural. Essa é a razão pela qual uma criança memoriza nomes, datas, características, peso, força e mais uma série de outras informações de seus personagens prediletos.

E quanto à segunda pergunta: como trazer esse interesse para a escola? A resposta é simples, basta começarmos pelo interesse natural do educando e ativar ainda mais esse interesse, se possível de uma maneira lúdica e atual, e após isso (após ter despertado o interesse natural) o educador poderá expor os conceitos e ensinamentos que almeja transmitir aos educandos.

O tema escolhido nessa dissertação é: “Introdução ao Estudo da Teoria da Relatividade Restrita via Paradoxo dos Gêmeos: Uma Proposta para o Ensino Médio”.

Esse tema é muito exaltado em filmes, jogos de computador e textos de ficção científica, entre os filmes podemos citar, entre outros, “Intergaláctico” (2016); “Exterminador do Futuro”, que foi lançado em 1984, mas que teve diversas continuações em novos episódios chegando até o ano de 2017 com mais um lançamento com sucesso de bilheteria; “Planeta dos Macacos”, lançado inicialmente em 1968 e também, devido ao seu sucesso, relançado

posteriormente; “De volta para o Futuro”<sup>1, 2 e 3</sup>; “A Máquina do Tempo”, etc.

E para instigar a curiosidade e o interesse natural utilizar-se-á um simulador na qual o usuário ou estudante experimentará o que ocorreria quando um de dois gêmeos partisse em uma viagem de ida e volta até um destino longínquo (anos luz de distância) e retornasse à Terra, utilizando-se de uma nave extremamente veloz como as naves que vemos em filmes de ficção científica, enquanto o outro gêmeo permanece na Terra.

O simulador citado acima mostrará, com um forte apelo visual, o envelhecimento de um dos gêmeos em comparação com o outro, de acordo com as distâncias a serem percorridas e velocidades das naves escolhidas. Variando-se as distâncias e velocidades obteremos resultados diferentes, podendo até mesmo explorar o avanço da humanidade e o seu desenvolver histórico ao longo dos anos, indo além do tempo de vida do gêmeo que ficou. Enquanto para o gêmeo que viaja passam-se apenas alguns anos, para a humanidade que ficou no planeta Terra, teremos uma viagem pela linha do tempo da história da raça humana e do planeta, partindo, por exemplo, do nascimento de Cristo e chegando aos dias atuais, passando por diversos fatos históricos, conduzindo-nos a uma interessante interdisciplinaridade entre as disciplinas de Física e História.

Lembrando que o objetivo do Simulador do paradoxo dos Gêmeos é despertar o interesse dos estudantes, tendo como público alvo inicial os estudantes de nível médio, resolvi focar o presente trabalho e o Simulador do Paradoxo dos Gêmeos apenas na Teoria da Relatividade Restrita de Albert Einstein.

## Capítulo 2

### Referencial teórico

#### 2.1 – A escolha das estratégias de ensino

De acordo com David Ausubel (AUSUBEL, 1968), a aprendizagem significativa no processo de ensino necessita ter alguma acepção para o aprendiz e, nesse processo, o novo conhecimento deverá interagir e ancorar-se nas concepções relevantes já existentes na estrutura do educando.

O autor considera que a aprendizagem significativa de fato ocorre no momento em que o arcabouço de conhecimentos no plano mental do aluno se revela, através da aprendizagem por descoberta e por recepção.

Atualmente no processo de aprendizagem tem se considerado importante a utilização de estratégias que facilitem a consolidação do conhecimento. Como mencionado no artigo intitulado “*O papel docente na seleção das estratégias de ensino*”: “Os educadores responsabilizam-se por assegurar a qualidade do ensino selecionando conteúdos significativos, escolhendo metodologias adequadas, organizando as aulas” (MOREIRA, ANA ELISA DA COSTA, 2013).

O uso da tecnologia, da música, da Internet e de jogos tem sido utilizado como estratégia para educadores trabalharem conteúdos em sala de aula. Sejam eles complexos ou não. Assim, tem trazido para educação, nessa percepção, um conceito para a “Aprendizagem Significativa”.

Segundo Ausubel, para que haja aprendizagem significativa são necessárias duas condições: “Em primeiro lugar, o aluno precisa ter uma disposição para aprender: se o indivíduo quiser memorizar o conteúdo arbitrária e literalmente, então a aprendizagem será mecânica. Em segundo, o conteúdo escolar a ser aprendido tem que ser potencialmente significativo, ou seja, ele tem que ser lógico e psicologicamente significativo: o significado lógico depende somente da natureza do conteúdo, e o significado psicológico é uma experiência que cada indivíduo tem. Cada aprendiz faz uma filtragem dos conteúdos que têm significado ou não para si próprio” (AUSUBEL, 1968).

As novas informações, ou os novos significados, podem ser dados diretamente, em sua forma final, ao aprendiz. É a existência de uma estrutura

cognitiva prévia adequada (subsunçores especificamente relevantes) que vai permitir a aprendizagem significativa (relacionamento não arbitrário e substantivo ao conhecimento prévio). Mas a aprendizagem por recepção não é instantânea, requer intercâmbio de significados (AUSUBEL, 1968). Na ótica Vygotskyana temos que a internalização de significados depende da interação social (MOREIRA, M.A. e SOUSA, C.M.S.G,1996), mas, assim como na visão Ausubeliana, eles podem ser apresentados ao aprendiz em sua forma final. O indivíduo não tem que descobrir o que significam os signos ou como são usados os instrumentos. Ele se apropria (reconstrói internamente) dessas construções via interação social < <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigsubport.pdf>>.

O procedimento utilizado para as crianças menores é o de formação de conceito, englobando generalizações de interesses específicos a fim de que, na idade escolar já tenham confeccionado um grupamento de conceitos, de modo a propiciar o desenvolvimento da aprendizagem significativa. Essas concepções deverão ser contraídas através de assimilação, diferenciação progressiva e reconciliação integrativas de conceitos.

Dessa forma, David Ausubel indica para esse processo, o emprego de construtivos ou organizadores prévios para, com efeito, ancorar a nova aprendizagem, levando o educando ao desenvolvimento de conceitos subsunçores, a fim de facilitar a aprendizagem subsequente.

Mas o que são organizadores prévios? De acordo com Ausubel, são informações e recursos introdutivos, que devem ser expostos antes dos conteúdos da matriz curricular, em vista de ter a função de ser a ponte de ligação entre o que o aluno já conhece e aquilo que ele deverá saber para que o conteúdo seja realmente aprendido de forma significativa. Os organizadores serão mais eficazes caso sejam apresentados no início das tarefas de aprendizagem de modo que suas características possam integrar-se como elementos chamativos para o estudante, objetivando desencadear o interesse, a vontade e o desejo de aprender. A preparação do organizador deve ser feita com um vocabulário adequado e familiar ao educando, de maneira que, sua organização, assim como a sua aprendizagem sejam consideradas como material de importante valor pedagógico.

A fim de que a aprendizagem significativa de fato ocorra, o autor aponta duas condições indispensáveis:

- 1) Disposição do aluno para aprender;
- 2) O material didático desenvolvido que deve ser, sobretudo, significativo para o aluno.

Despertar e ao mesmo tempo ir em direção aos interesses naturais do estudante é, segundo Ausubel, uma poderosa ferramenta para o educador alcançar seus objetivos.

De acordo com essa metodologia, o produto educacional a ser apresentado nessa dissertação busca começar o processo de ensino pelo interesse natural do educando e ativar ainda mais esse interesse, de uma maneira lúdica e atual, e após isso (após ter despertado o interesse natural) o educador abordará os conceitos e ensinamentos que almeja ensinar aos educandos. Dessa forma ocorrerá a verdadeira compreensão de novos conceitos e proposições, o que conduz à obtenção de significados claros e intransferíveis.

## **2.2 – A curiosidade estimula a aprendizagem**

Estudo da Universidade da Califórnia mostra que manter os alunos instigados é tão importante para o desempenho quanto a inteligência.

Nada mais curioso, do que saber que efeitos o deslocamento a altas velocidades geraria e o que aconteceria com dois irmãos gêmeos caso um deles embarcasse em uma nave que se deslocasse em altíssima velocidade. Para instigar e ao mesmo tempo responder a esse fato curioso, desenvolvemos um simulador com apelo visual onde seguindo as leis da Relatividade Restrita demonstradas por Albert Einstein, poderemos visualizar os efeitos da passagem diferenciada do tempo em 2 irmãos gêmeos recém-nascidos submetidos a diferentes velocidades de deslocamento.

É do senso comum, que a curiosidade torna o aprendizado mais eficaz e agradável. Estudantes curiosos não apenas fazem perguntas, mas também procuram ativamente pelas respostas. Sem curiosidade, Isaac Newton nunca teria formulado importantes leis da física, Alexander Fleming, provavelmente, não teria descoberto a penicilina, e a pesquisadora Marie Curie não teria estudado a radioatividade. Inculcar nos estudantes um forte desejo de aprender

ou conhecer alguma coisa é sem dúvida forte apelo ao aprendizado. (STENGER, Marianne, 2014)

O pedagogo e escritor **Rubem Alves** falava que é possível instigar estudantes mostrando o quão incrível são as coisas que nos rodeiam. Uma maneira de fazer isso, dizia, é levar para a sala de aula a casca de um caramujo e mostrar que ela é um excelente exemplo de engenharia. Para o autor, o encantamento com o objeto é o primeiro passo para despertar a curiosidade. Dessa forma, o simulador proposto nesse mestrado visa levar ao aluno um diferencial para instigar no estudante a curiosidade e seu desejo de aprender sobre a teoria da relatividade de Albert Einstein.

### **2.3 – A concepção de Piaget**

O simulador do paradoxo dos gêmeos assemelha-se a um jogo, daí vamos citar a percepção da importância de jogos na concepção de Piaget (PIAGET,1978). Segundo Piaget, as origens das manifestações lúdicas acompanham o desenvolvimento da inteligência vinculando-se aos estágios do desenvolvimento cognitivo. Cada fase do desenvolvimento está relacionada a um tipo de atividade lúdica que se sucede da mesma maneira para todos os indivíduos (PIAGET,1978).

### **2.4 – Jogos na concepção de Vygotsky**

A partir de suas investigações sobre o progresso dos processos superiores do ser humano, Vygotski aponta reflexões sobre a importância psicológica de jogos para o desenvolvimento da criança (VYGOTSKI, 1991).

O autor realça a importância de se analisar as necessidades, motivações e tendências que os estudantes apresentam e como se realizam nos jogos, com o intuito de compreendermos os progressos nos diversos estágios de seu desenvolvimento.

Considerando o brincar da criança como imaginação em ação, Vygotsky aponta a situação imaginária como um dos elementos estruturantes das brincadeiras e jogos.

De acordo com Vygotsky, o jogo que comporta uma situação imaginária ao mesmo tempo apresenta uma regra intrínseca ao que está sendo representado. Assim, traz para a sua própria análise todo o arcabouço de conhecimentos

envolvidos naquele jogo, o que desenvolve sua inteligência e favorece o aprendizado.

É, portanto, na condição do brincar ou jogar (no nosso caso – o simulador do paradoxo dos gêmeos) que os estudantes se deparam com questões e desafios além de seu comportamento diário, levantando hipóteses, na tentativa de compreender os problemas que lhes são apresentados pela realidade na qual interagem. Dessa forma, ao brincarem, jogarem ou simularem realidades edificam a consciência da realidade e, simultaneamente, experimentam a possibilidade de transformá-la.

## **2.5 – De acordo com Bordenave e Pereira**

Realçando ainda mais a importância de jogos no processo de ensino/aprendizagem, temos que a qualidade do ensino reflete propriamente no envolver-se do aluno com o processo de aprendizagem. Conforme a atuação em sala de aula há um tipo de organização do espaço pedagógico, de interação cognitiva e afetiva, de referência de estrutura de aprendizagem (COLL, 1997). Bordenave e Pereira (2002) aponta a importância das estratégias de ensino do docente a fim de que o estudante realize diversas maneiras de interação e edifique o conhecimento conforme suas experiências individuais para entender as informações, experiências subjetivas e conhecimentos prévios.

Bordenave e Pereira (2002) esclarece que para educar necessitamos simultaneamente planejar, orientar e controlar a aprendizagem do aluno. As estratégias de ensino devem estimular diversas aptidões do aprendiz.

## Capítulo 3

### Parâmetros Curriculares

#### 3.1 - Parâmetros Curriculares Nacionais

Entre as inovações propostas pela nova grade curricular, descrita nos Parâmetros Curriculares Nacionais, temos o ensino da física moderna, onde destaca-se o tema: teoria da Relatividade Restrita, por essa razão, considera-se importante o desenvolvimento de estratégias para motivar o estudo da teoria da Relatividade, nesse contexto encaixa-se o simulador apresentado nessa dissertação, que visa uma introdução ao estudo da teoria da Relatividade Restrita via paradoxo dos gêmeos.

O ensino médio no Brasil deve acompanhar a evolução do ensino contemporâneo mundial, por isso, a reforma do mesmo, estabelecida pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN) de 1996, regulamentada em 1998 pelas Diretrizes do Conselho Nacional de Educação e pelos Parâmetros Curriculares Nacionais, buscou atender a reconhecida necessidade de atualização da educação brasileira, seja visando impulsionar uma democratização cultural e social mais concreta pelo aumento do quantitativo de jovens brasileiros que completam a educação básica, como para atender aos desafios impostos pelos processos globais, que têm excluído do mercado de trabalho os trabalhadores não-qualificados, por conta da elevação do nível mínimo de formação exigida no mercado atual de trabalho. Outra razão que justifica a demanda por transformações de qualidade no ensino brasileiro é o crescimento significativo do quantitativo de estudantes no ensino médio em nosso País, sendo a realidade atual, bem diferente daquela de há trinta anos, quando suas antigas diretrizes foram redigidas.

A própria evolução das tecnologias, o que tornou mais acessível o conhecimento, também tem seu papel na necessidade de atualização dos Parâmetros Curriculares Nacionais.

O novo ensino médio, hoje é visto, nos termos da lei, de sua regulamentação e de seu encaminhamento, como mais do que simplesmente preparatório para o ensino superior ou estritamente profissionalizante, mas com o intuito de necessariamente assumir a responsabilidade de completar a educação básica.

De forma a preparar para a vida, qualificar para a cidadania e capacitar para o aprendizado permanente, seja no prosseguimento dos estudos ou mesmo na absorção no mundo do trabalho.

Fonte: Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio – PCNEM  
<<http://portal.mec.gov.br/seb/index.php?option=content&task=view&id=408&Itemid=394>>

Perceber o papel da ciência e tecnologia na cultura contemporânea é perceber a tecnologia e a ciência como pontos integrantes da cultura humana contemporânea. E ao mesmo tempo, identificar e avaliar o crescimento tecnológico contemporâneo, suas afinidades com as ciências, sua atribuição na vida humana, sua presença no dia a dia e seus efeitos na vida social. Os novos Parâmetros Curriculares Nacionais devem nos levar a Compreender a Física como parte integrante da cultura contemporânea, reconhecendo sua presença em diversos âmbitos e setores, desde setores artísticos, filmes e outros, entretanto sem se esquecer de que a física é a ponte para o progresso de uma nação. Compreender formas pelas quais a Física e a tecnologia influenciam nossa interpretação do mundo atual, condicionando formas de pensar e interagir. Por exemplo, como a relatividade ou os conceitos da física quântica atualmente estão inseridos no imaginário da juventude mundial, ou mesmo conduzir a extrapolação dos conceitos da física para diversas outras áreas, como para a medicina, economia, biologia, agricultura, comunicações, tecnologias da informação, entre outras, e até mesmo para a sobrevivência da espécie humana.  
<<http://portal.mec.gov.br>>

### **3.2 - Currículo Mínimo da rede de ensino do estado do Rio de Janeiro.**

A Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro elaborou o Currículo Mínimo da rede de ensino desse estado. Tal documento visa nortear o ensino em todas as escolas do Rio de Janeiro, especificando as competências e habilidades que devem estar nos planos de curso e nas aulas. Seu propósito é orientar, de forma clara e objetiva, os itens que devem constar no processo de ensino/aprendizagem, em cada disciplina, de cada ano de escolaridade em cada bimestre. Dessa forma, espera-se assegurar uma essência básica comum a todos a qual esteja de acordo com as atuais necessidades de ensino, encontradas não somente nas legislações vigentes, diretrizes e parâmetros

curriculares nacionais, mas também as encontradas nas fontes de referência dos principais exames nacionais e estaduais. Também devem ser contempladas as considerações e principais tendências atuais das teorias científicas de cada área de conhecimento e da Educação e, principalmente, levando em consideração as condições e necessidades reais encontradas pelos docentes na prática cotidiana de suas funções. O Currículo Mínimo tem por objetivo obter harmonia em uma rede de ensino múltipla e diversa, através da proposta de um ponto de partida mínimo – a qual precisará ainda ser elaborado e preenchido em cada estabelecimento de ensino, por cada docente. (fonte <<http://www.rj.gov.br>>)

No ano de 2011, foram elaborados os Currículos Mínimos para os anos finais do Ensino Fundamental e para o Ensino Médio Regular, nas seguintes disciplinas: Matemática, Língua Portuguesa/Literatura, História, Geografia, Filosofia e Sociologia. Em 2012, foi realizada a revisão do Currículo Mínimo das disciplinas mencionadas, e confeccionado o Currículo Mínimo para outras seis disciplinas (Ciências/Biologia, Física, Química, Língua Estrangeira, Educação Física e Arte). (fonte: <<http://www.rj.gov.br>>)

Para a disciplina Física, foi feita a seguinte pergunta para nortear a elaboração do currículo mínimo: por que estudar Física no Ensino Médio? Trata-se de uma pergunta cuja resposta não é tão simples e nem unânime. Os PCN apontam que o ensino de Física no ensino médio deve formar indivíduos para o mundo contemporâneo. O ensino de Física deve ter vínculo com a realidade e visar preparar os estudantes de Ensino Médio para compreender o seu cotidiano, a sociedade e o mundo da qual fazem parte. Isso significa propor um ensino de Física que lhes permita entender como esta ajudou a construir o mundo em que vivemos. (fonte: <<http://www.rj.gov.br>>)

Nesse Currículo mínimo, temos no 3º bimestre da 1ª série do ensino médio, o tema Relatividade Restrita e Geral, como descrito a seguir:

- Compreender o conhecimento científico como resultado de uma construção humana, inserido em um processo histórico e social.
- Compreender que a Teoria da Relatividade constitui um novo modelo explicativo para o universo e uma nova visão de mundo.
- Reconhecer, utilizar, interpretar e propor modelos explicativos para fenômenos naturais ou sistemas tecnológicos.

- Reconhecer os modelos atuais do universo (evolução estelar, buracos negros, espaço curvo e Big Bang).
- Compreender que o tempo e o espaço são relativos devido à invariância da velocidade da luz.
- Reconhecer tecido espaço-tempo sendo o tempo a quarta dimensão.
- Construir conceito de energia.
- Identificar a relação entre massa e energia na relação  $E = m.c^2$ .

<[http://www.rj.gov.br/c/document\\_library/get\\_file?uuid=d34c3917-7d42-48be-a678-e6721ecdcca0&groupId=91317](http://www.rj.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=d34c3917-7d42-48be-a678-e6721ecdcca0&groupId=91317)>

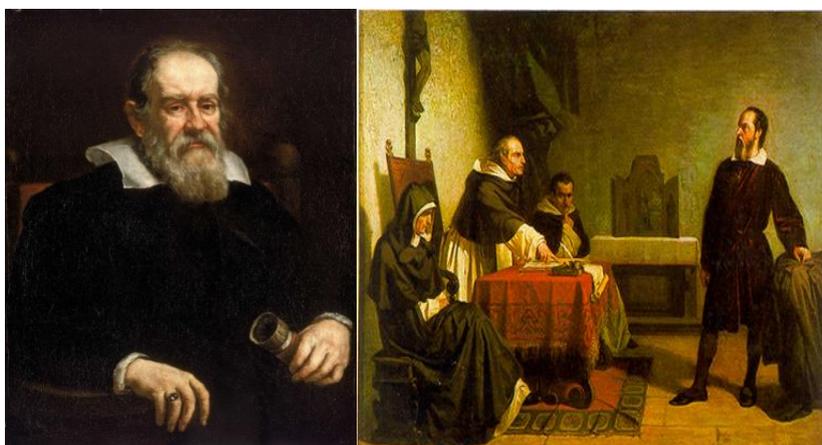
Podemos identificar, que o tema da dissertação em epígrafe é bem atual e vem a corroborar com as diretrizes acima expostas.

## Capítulo 4

### Breve revisão da literatura

#### 4.1 - Os primórdios da relatividade – Galileu Galilei (1564-1642)

Galileu Galilei foi um dos mais notáveis cientistas para o desenvolvimento da humanidade. Era matemático, físico e astrônomo e viveu em um período conturbado da história, nada favorável ao desenvolvimento das ciências, a chamada época da inquisição. Para os poderosos representantes da classe religiosa da época as ciências afrontavam a “verdade absoluta”, da qual essa classe considerava-se como guardiã e única detentora.



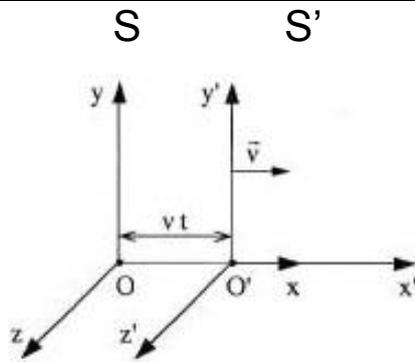
**Figura 4.1**

[https://pt.wikipedia.org/wiki/Galileu\\_Galilei](https://pt.wikipedia.org/wiki/Galileu_Galilei)

Galileu, entre diversas outras teorias, defendia a ideia de que se nenhuma força atuar sobre um sistema físico, ou ainda, se a resultante de todas as forças que atuam sobre esse sistema for nula, esse sistema permanecerá em repouso ou em movimento retilíneo com velocidade constante, constituindo assim o que é conhecido como referencial inercial, onde vale a posteriormente chamada “Lei da Inércia”.

As transformações de Galileu são utilizadas ao analisarmos dois referenciais que diferem um do outro apenas por um movimento relativo retilíneo com velocidade constante (movimento retilíneo uniforme).

## Transformações de Galileu



Coordenadas:

$$x' = x - vt$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

Velocidades:

$$U'_x = dx'/dt = U_x - v$$

$$U'_y = dy'/dt = U_y$$

$$U'_z = dz'/dt = U_z$$

Acelerações:

$$a'_x = dU'_x / dt = a_x$$

$$a'_y = a_y$$

$$a'_z = a_z$$

Relatividade do “Espaço” sim, mas do “tempo” não,  
logo “tempo” absoluto

$$t' = t$$

Quadro 4.1

No caso de um referencial  $S'$  mover-se ao longo da direção  $X$  com uma velocidade constante  $V$ , em relação a um referencial em repouso  $S$ , teremos, de acordo com as transformações de Galileu, a seguinte correspondência entre as coordenadas representando a posição de um determinado sistema físico com respeito a ambos os referenciais:

$$X' = X - Vt$$

$$Y' = Y$$

$$Z' = Z$$

$t' = t$  (O tempo é absoluto, não se altera.)

Essa relação entre sistemas de coordenadas proposto por Galileu ficou conhecido como “Transformações de Galileu” (Halliday; Resnick; Walker, 2009), e quando se observa tais transformações, conclui-se que os tempos medidos nos diferentes referenciais são idênticos, ou seja, consoante com as transformações de Galileu, o tempo é uma grandeza absoluta e consequentemente independe do referencial.

Esses conceitos foram aceitos por Isaac Newton, que os utilizou em sua mais importante obra: “PHILOSOPHIAE NATURALIS PRINCIPIA MATHEMATICA”, ou em português: “PRINCÍPIOS MATEMÁTICOS DA FILOSOFIA NATURAL”, publicada originalmente em 1687.

Newton, no tocante à invariância do tempo, afirmou: “(...) Da mesma forma como a ordem das partes do tempo é imutável, assim também o é a ordem das partes do espaço. (...) Todas as coisas são colocadas no tempo de acordo com uma ordem de sucessão...”

Entretanto, com o evoluir da ciência e os estudos sobre o eletromagnetismo, as transformações de Galileu mostraram-se incompatíveis com a teoria eletromagnética descrita pelas equações de Maxwell, o que levou a muitos estudos com o objetivo de tentar explicar essa incompatibilidade com a classe de transformações válida na Mecânica Newtoniana, descobrir onde estaria o eventual erro, ou ainda, qual linha de pensamento estaria errada.

## **4.2 - Ondas eletromagnéticas e as equações de Maxwell**

O físico e matemático escocês James Clerk Maxwell (1831 – 1879), baseando-se, dentre outros, no trabalho de Michael Faraday, unificou em 1864 as leis do

eletromagnetismo em quatro equações, que mais tarde viriam a ser conhecidas como as equações de Maxwell.

A seguir, temos as famosas quatro equações de Maxwell em sua forma diferencial:

Nome	Forma diferencial
Lei de Gauss	$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$
Lei de Gauss para o magnetismo	$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$
Lei de Faraday da indução	$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$
Lei de Ampère (com a correção de Maxwell)	$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \cdot \mathbf{J} + \mu_0 \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$

**Quadro 4.2** - Equações de Maxwell em sua forma diferencial

Através da análise das equações de Maxwell, chegou-se a conclusões extremamente importantes, dentre essas, a natureza ondulatória da luz, o que foi comprovado por Heinrich Hertz (1857-1894). Além disso, Hertz mostrou que outras ondas eletromagnéticas como as ondas de rádio e as micro-ondas apresentavam propriedades (reflexão, refração, interferência e difração) iguais às da luz visível, o que levou a conclusão de que todas essas ondas poderiam ser enquadradas como um único tipo de evento natural, as chamadas *ondas eletromagnéticas*.

Particularmente, através da análise das equações de Maxwell, pôde-se perceber que a velocidade da luz no vácuo dependeria apenas de  $\epsilon_0$  e  $\mu_0$ , ou seja, dependeria apenas do meio na qual propagam e não dependeriam da velocidade da fonte emissora da luz. O que contradizia as transformações de Galileu e o pensamento científico da época, pois acreditava-se que quando um emissor emitisse alguma coisa, a velocidade do emitido em relação a um outro referencial deveria ser igual à soma das velocidades do emissor com a do emitido, como no exemplo a seguir: o motorista de um carro que se desloca a 50 km/h arremessa para frente, na mesma direção e sentido do seu movimento, uma pedra a 30km/h (para o referencial do motorista a pedra estará a 30 km/h),

mas para um observador parado na calçada, a pedra estará a 80 km/h ( 50km/h + 30 km/h).

Entretanto, conforme concluímos através das equações de Maxwell, a velocidade da luz no vácuo será sempre a mesma, e igual a 299.792.458 m/s, independentemente de qual a velocidade da fonte emissora, de quem a observe ou de em qual referencial encontre-se esse observador.

Em vista dessa aparente contradição surgiram várias hipóteses, entre essas, a existência de um referencial absoluto, denominado éter ou éter luminífero, que seria um referencial preferencial que permearia todo o universo e em relação ao qual a luz viajaria sempre com velocidade constante.

### 4.3 – As transformações de Lorentz

Em 1904, Lorentz, por acreditar na existência do éter, buscou outra maneira de resolver essa incompatibilidade entre as teorias. Para isso, desenvolveu de maneira empírica, equações que tornavam compatíveis a teoria eletromagnética e a existência do éter, essas equações ficaram conhecidas como transformações de Lorentz. Apesar dessas transformações se encaixarem muito bem nas equações do eletromagnetismo para mudança de referencial, Lorentz não tinha uma interpretação física para elas.

<b><i>Transformação de Lorentz:</i></b>
$X' = \gamma (x - v t) = (x - v t) / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ $Y' = Y$ $Z' = Z$ $t' = \gamma (t - v x / c^2) = (t - v x / c^2) / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$
<p>onde:</p> $\gamma = 1 / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 1 / \sqrt{1 - \beta^2}$ $\beta = \frac{v}{c}$
<p>Observe que:  <math>\beta</math> varia entre 0 e 1  <math>\gamma</math> varia entre 1 e <math>\infty</math></p>

**Quadro 4.3 - Transformação de Lorentz**

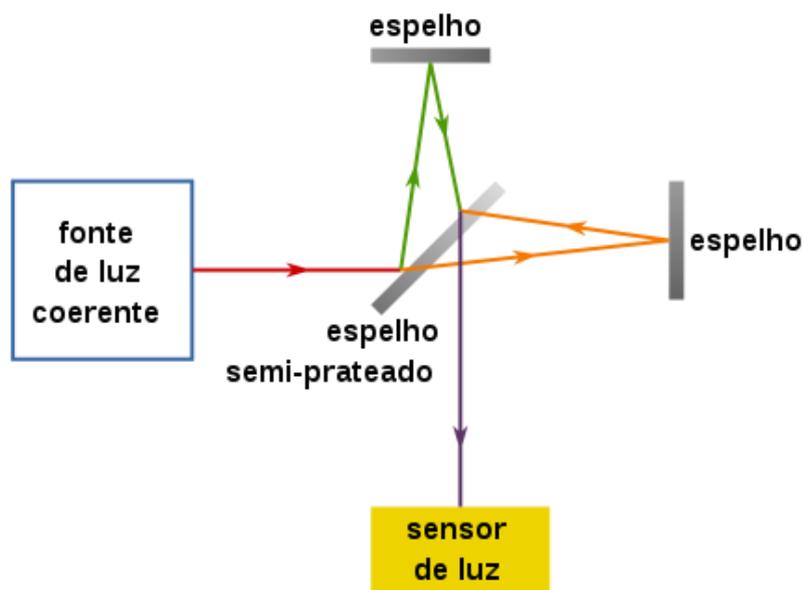
Matematicamente, o **fator de Lorentz** é determinado por:

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

#### 4.4 – O Éter e o questionamento de sua existência

Naquela época, haviam outras ideias, até mesmo a de que o éter acompanhasse o movimento da terra, o que foi logo descartado por perceber-se o exagero da mesma. Também foi cogitado o abandono às leis de Newton.

Entretanto, foram realizadas diversas experiências para averiguar o movimento da terra em relação ao éter. Entre essas, as experiências de Michelson e Morley, no final do século XIX, utilizando um interferômetro, ganharam destaque pela grande quantidade de tentativas e aperfeiçoamento dessas tentativas, e acabaram por concluir que a luz se propagaria em velocidade constante em qualquer direção, levando a conclusão de que não haveria nenhuma evidência confirmando a existência desse meio privilegiado denominado éter. Tal experimento rendeu o prêmio Nobel de Física em 1907.



**Figura 4.2** - O experimento de Michelson e Morley

[https://pt.wikipedia.org/wiki/Experi%C3%Aancia\\_de\\_Michelson-Morley](https://pt.wikipedia.org/wiki/Experi%C3%Aancia_de_Michelson-Morley)

## 4.5 - Einstein e a solução do problema



**Figura 4.3** - Albert Einstein

A teoria da relatividade restrita foi desenvolvida no final do século XIX e início do século XX, e publicada por Albert Einstein em 1905. Nessa publicação, Einstein apresentava percepções sobre o tempo e o espaço de forma tão surpreendente à época que somente puderam ser comprovadas anos depois e até hoje em dia desafiam o senso comum da maioria das pessoas, especialmente o daquelas que não estudaram a fundo a teoria da relatividade e suas implicações.

A Teoria da Relatividade Restrita de Einstein apresenta 2 postulados:

1º Postulado: As leis da Física são as mesmas para qualquer referencial inercial.  
2º Postulado: A velocidade de propagação da luz no vácuo (ou de qualquer onda eletromagnética) é constante e sempre igual a 299 792 458 m/s.

Einstein introduziu esses postulados, em seu artigo de 1905, da seguinte forma: [...] as tentativas sem sucesso de verificar que a Terra se move em relação ao “meio luminoso” [éter] levaram à conjectura de que, não apenas na mecânica, mas também na eletrodinâmica, não há propriedades observáveis associadas à ideia de repouso absoluto, mas as mesmas leis eletrodinâmicas e ópticas se aplicam a todos os sistemas de coordenadas nos quais são válidas as equações da mecânica [...]. Elevaremos essa conjectura (cujo conteúdo será daqui por diante chamado de “princípio da relatividade”) à posição de um postulado; e, além disso, introduziremos um outro postulado que é apenas aparentemente inconsistente com o primeiro, a saber, que a luz no espaço vazio sempre se propaga com uma velocidade definida  $v$  que é independente do estado de movimento do corpo que a emite. (EINSTEIN, 1905, p. 891-2)

Através de seus postulados, Einstein proclama que a luz possui uma velocidade constante e invariável, independentemente da velocidade da fonte que a emite.

Einstein também evidenciou que as transformações de Lorentz podem ser consequência de interpretações de um fenômeno físico, não apenas matemático.

As coordenadas representando a posição de um evento ou sistema físico medidas em relação a um referencial S', movendo-se ao longo da direção x com velocidade v em relação a um referencial em repouso S, estão relacionadas com as correspondentes coordenadas em relação a este último referencial por:

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

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = \gamma (t - vx/c)$$

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

Onde  $\gamma$  é o fator de Lorentz.

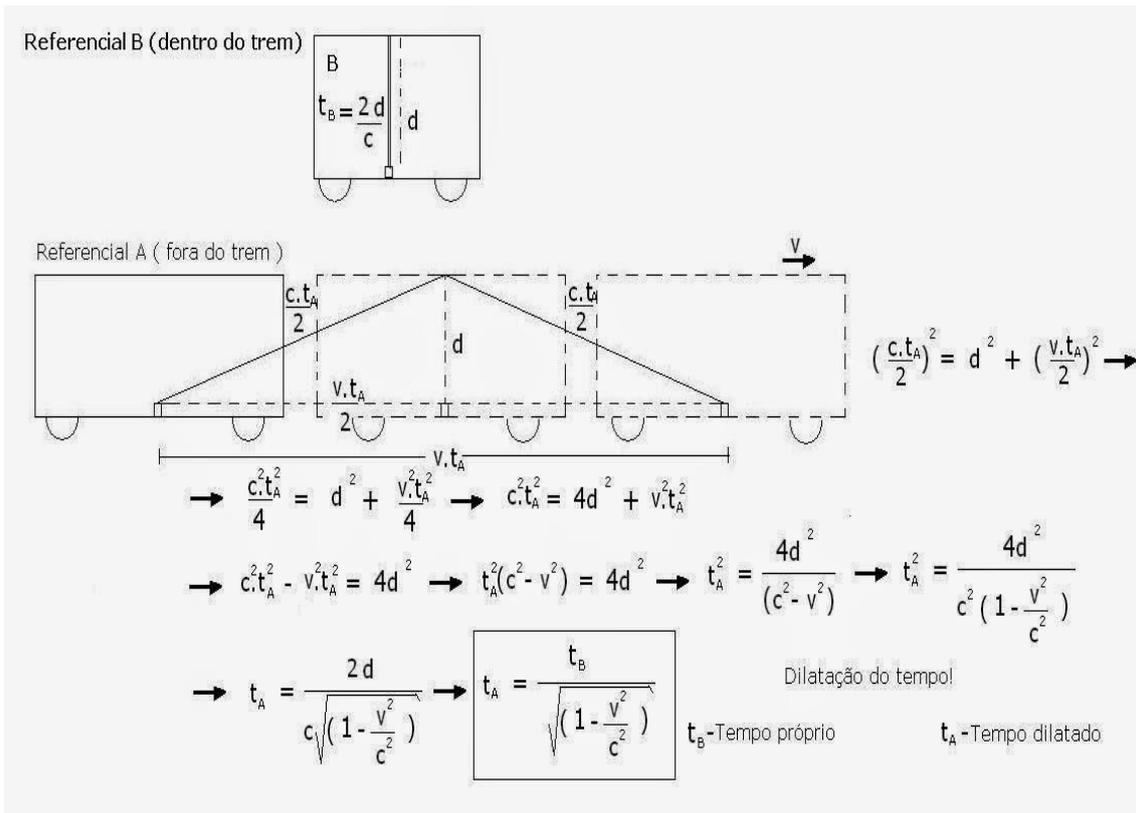
Os valores para y e z não se alteram, pois o movimento dá-se apenas na direção x.

Se  $v \ll c$ , estas equações transformam-se nas de Galileu, tornando a relatividade proposta por Galileu como um caso particular da relatividade restrita, válida somente para baixas velocidades.

Por essas equações de transformação pode-se verificar que as medidas de comprimento e intervalos de tempo são relativas para referenciais diferentes.

#### **4.6 - Einstein e a dilatação temporal**

Agora, de acordo com as equações de Maxwell e a teoria da relatividade de Einstein, onde a velocidade da luz é sempre constante, vamos analisar o que aconteceria se dois observadores que se situassem em referenciais distintos observassem um mesmo fenômeno: a propagação de um raio luminoso partindo de uma fonte emissora que se encontra em um vagão de um trem que se desloca a uma velocidade "v". O feixe de luz parte de um emissor e vai até um espelho refletor que se encontra no teto, a uma distância "d" do emissor e volta, por ter sido refletida por esse espelho.



**Figura 4.4 – “O trem de Einstein”**

<http://cursoalexfisica.blogspot.com.br/2015/02/relatividade-restrita.html>

Observe, que o tempo passa diferentemente para os dois observadores, para o que se encontra no referencial do trem, temos o tempo  $t_B$ , o tempo próprio, e para o que observa de um outro referencial, temos  $t_A$  (tempo dilatado ou tempo aumentado). Sendo que a relação entre  $t_A$  e  $t_B$ , é a seguinte:  $t_A = \gamma \cdot t_B$ , e como  $\gamma$  é sempre maior que 1 teremos que  $t_A$  será maior que  $t_B$ , portanto teremos tempos diferentes e haverá uma dilatação no tempo.

#### 4.7 - Evidências experimentais da Teoria da Relatividade Restrita

Um dos fatos mais interessantes da Teoria da Relatividade Restrita de Einstein é que ela consegue explicar uma série de fenômenos que não podem ser explicados no âmbito da física clássica e ao mesmo tempo prevê diversos fenômenos que até então eram desconhecidos, mas que posteriormente foram descobertos e comprovados. A seguir vamos abordar alguns destes.

A Teoria da Relatividade Restrita em seu 2º postulado afirma que a velocidade da luz é a mesma em qualquer direção, fato este comprovado por diversos pesquisadores, destacando-se os experimentos de Michelson e Morley, que fizeram ruir a crença na existência do referencial preferencial conhecido como éter luminífero.

A Relatividade de Einstein prevê alguns fenômenos como, por exemplo, a dilatação temporal e a contração dos espaços e fornece, através de cálculos, os resultados exatos do que deveria acontecer com uma partícula que se mova a velocidades muito elevadas, próximas à velocidade da luz. Obtemos uma comprovação disso ao analisarmos, por exemplo, as partículas chamadas de múons.

Os múons formam-se na atmosfera e deslocam-se a velocidades próximas a  $0,9c$  (90% da velocidade da luz), entretanto o tempo de sua meia-vida (tempo que leva para um múon decair e se alterar) é de cerca de  $2,2 \mu\text{s}$ . Mesmo viajando a uma velocidade tão alta, como seu tempo de meia-vida é muito pequeno, um múon dificilmente seria detectado na superfície terrestre, pois percorreria apenas cerca de 600 metros ( $2,2 \mu\text{s} \times 299\,792\,458 \text{ m/s}$ ) antes de decair. Contudo, devido aos efeitos relativísticos, essas partículas são encontradas em abundância na superfície terrestre e ainda vão mais além.

### **O experimento de Hafele-Keating**

Outra comprovação das teorias da relatividade de Einstein foi obtida através da observação do que ocorre com relógios atômicos ao serem colocados em aviões comerciais, o chamado experimento de Hafele-Keating (HAFELE e KEATING, 1972). Os relógios atômicos são relógios de extrema precisão, ou seja, após sincronizados, permaneceriam assim por até 100 mil anos, marcando o mesmo horário, entretanto relógios atômicos colocados em aviões acabaram ficando dessincronizados devido aos efeitos relativísticos decorrentes das altas velocidades de voo dos aviões.

Foi realizado o seguinte experimento utilizando relógios atômicos de Césio 133: Dois conjuntos constituídos por 4 relógios atômicos baseados nas oscilações do Césio 133 foram colocados a bordo de aviões a jato comerciais, sendo que um deles deu 2 voltas em torno do planeta Terra no mesmo sentido

de rotação da Terra, enquanto o outro viajou no sentido contrário de rotação. Um terceiro conjunto permaneceu no solo, especificamente no *United States Naval Laboratory*. Ao serem reunidos novamente, pôde-se comparar os resultados apresentados pelos três conjuntos.

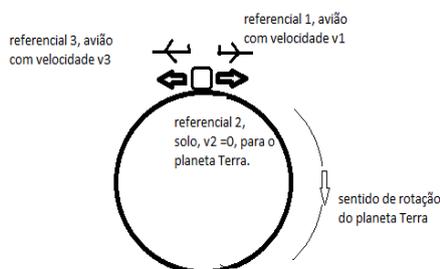


Figura 4.5 - O experimento de Hafele-Keating

De fato, após o experimento, constatou-se que os relógios marcavam horários diferentes. Tudo conforme os valores previstos matematicamente pela Teoria da Relatividade de Albert Einstein. Observou-se, na média, uma dilatação temporal maior para os relógios mais velozes (os que viajaram ao longo do sentido de rotação da Terra), de forma que, conforme previsto, quanto maior a velocidade de deslocamento, mais lentamente o tempo transcorre e mais lenta é a marcha dos ponteiros dos relógios tradicionais.

Segundo o experimento, os relógios mais velozes (os que estavam no referencial 1 da Figura 4.5, no avião que voava no mesmo sentido que a rotação da Terra) atrasaram um valor médio de 59 ns em relação aos que ficaram no solo. Já os relógios que viajaram no avião que voava contra o sentido de rotação da Terra (referencial 3, portanto o mais lento) adiantaram-se em relação ao referencial 2 (o referencial do solo, precisamente o do United States Naval Laboratory) em 273 ns, resultados que estavam de acordo com os valores previstos matematicamente através da Teoria da Relatividade de Einstein.

Neste ponto, vale a pena enfatizar que as diferenças encontradas foram muito pequenas, devido ao fato da velocidade média dos aviões (cerca de 250 m/s) ser muito pequena se comparada a velocidade da luz no vácuo (aproximadamente 300.000.000 m/s), o que justifica a utilização de relógios atômicos para que estas diferenças tornem-se perceptíveis.

Esse fenômeno de dilatação temporal está sempre ocorrendo quando nos deslocamos, ou seja, quando apresentamos uma velocidade não nula, mas pelo fato de nossas velocidades no dia a dia serem muito pequenas, os efeitos da dilatação temporal são completamente imperceptíveis.

*Quanto maior a velocidade mais significativa é a dilatação temporal.  
Da mesma forma, outro fenômeno que ocorre é a contração dos comprimentos.*

### **Outras Comprovações da Teoria da Relatividade de Einstein:**

Além dos exemplos citados acima, também temos: efeito Doppler relativístico; deflexão da luz pelo Sol; precessão do periélio do planeta Mercúrio; efeito de lentes gravitacionais (o que é muito usado em astronomia); *REDSHIFT* (desvio para o espectro do vermelho de galáxias muito distantes); ondas gravitacionais; relação entre massa e energia (o que é usado em usinas nucleares e até mesmo foi usado na bomba atômica); etc.

#### **4.8 – O Paradoxo dos Gêmeos**

Conforme já vimos acima, o tempo transcorre diferentemente quando medido com respeito a referenciais que se encontram em movimento relativo entre si.

Então, o que aconteceria se um de dois irmãos gêmeos embarcasse em uma nave capaz de alcançar velocidades muito altas, para uma viagem de ida e volta, para um lugar bem distante? Haveria uma dilatação temporal? E, se houvesse, qual dos gêmeos ficaria mais velho?

Imaginemos dois irmãos gêmeos, seus nomes serão Terrakner e Viagner. Viagner embarcará em uma nave capaz de alcançar velocidades altíssimas e realizará uma viagem de ida e volta a um local muito distante, enquanto isso Terrakner permanecerá no planeta Terra.

Esses nomes, Viagner e Terrakner, foram escolhidos para facilitar a didática. Como dito, Viagner é o nome do gêmeo que viajará e Terrakner é o nome do que ficará na Terra (Viagner – viaja e Terrakner – fica na Terra).

Então Viagner embarca na nave e parte em sua viagem a uma velocidade, por exemplo, de  $0,8c$ , enquanto Terrakner fica na Terra observando.

Quando Terrakner olha para Viagner vê seu irmão se afastando entretanto, quando Viagner olha para Terrakner, Viagner também vê seu irmão se afastando, pois há um movimento relativo entre eles, da mesma forma que Viagner viaja a  $0,8c$  em relação a Terrakner, Terrakner também está viajando a  $0,8c$  em relação a Viagner. Pelo menos a princípio, os efeitos da velocidade entre os dois deveriam ser os mesmos, pois da mesma forma que “um” afasta-se do outro, esse outro também se afasta desse “um”.

Sabemos, conforme foi demonstrado anteriormente, que o tempo passa mais lentamente para o referencial que se move mais rápido, mas nesse caso, quem se move mais rápido? O que acontecerá?

Então, quando se reencontrarem para qual dos gêmeos terá passado menos tempo? Quando Viagner regressa, eis a resposta, o gêmeo que viajou estará mais novo.

Mas se ambos se deslocam um em relação ao outro, porque um é afetado diferentemente do outro? Por isso chamamos esse fenômeno de “**Paradoxo dos Gêmeos**”.

Vamos analisar:

Em primeiro lugar, já foi comprovado através de diversos experimentos que o tempo passa mais lentamente para aquele que se desloca a velocidades mais elevadas, como exemplo disso temos o que ocorre com os múons.

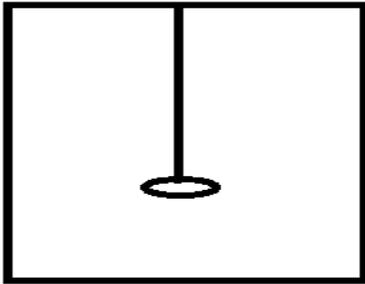
Mas poderia haver um questionamento sobre quem de fato está em movimento, pois Viagner vê Terrakner se afastando da mesma forma que Terrakner vê seu irmão se afastando. Então, qual dos dois referenciais deve ser considerado, de fato, em movimento? Felizmente há uma diferença entre esses dois referenciais e perceber essa diferença nos permite encontrar uma resposta para o Paradoxo dos Gêmeos.

Essa diferença é a aceleração. O que somente ocorreu no referencial de Viagner, e a aceleração pode ser incontestavelmente percebida.

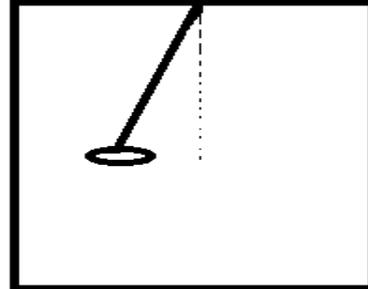
Imagine que você está em um ônibus o qual se desloca executando um movimento retilíneo e uniforme. Você não terá dificuldade nenhuma para beber um copo d’água, entretanto se o ônibus frear ou acelerar bruscamente, então você terá dificuldades para beber seu copo d’água. Isso demonstra que é possível detectar qual referencial que está sendo acelerado, pois isso causa efeitos perceptíveis e incontestáveis. Outro exemplo, imagine um pequeno

pêndulo pendurado no teto do ônibus, enquanto o seu meio de transporte estiver em movimento retilíneo e uniforme nada acontecerá, entretanto se houver aceleração ou curva no deslocar desse meio de transporte poderemos ver o pêndulo se mover, portanto é possível saber qual referencial está sendo acelerado.

**Pêndulo em um referencial com movimento retilíneo e uniforme**



**Pêndulo em um referencial com movimento acelerado**



**Figura 4.6**

Toda vez que um referencial altera a sua velocidade é possível identificar seja nesse próprio referencial ou em outro, que esse primeiro referencial alterou a sua velocidade (sofreu aceleração). Na figura acima, o movimento do pêndulo poderá ser visto por qualquer referencial.

Portanto, como a nave em que Viagner embarcou acelera (e freia já que ele deve retornar para encontrar o irmão na Terra), podemos concluir que o tempo passará mais lentamente para Viagner, na seguinte razão:

$$t_1 = t_2 * \gamma$$

$$\text{Onde } \gamma = 1 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

t1 = tempo para Terrakner

t2 = tempo para Viagner

v = velocidade da nave

c = velocidade da luz.

Por exemplo, para  $v = 0,8 * c$

$$\text{Teremos } \gamma = 1 / \sqrt{1 - (0,8 * c)^2 / c^2}$$

$$\gamma = 1 / \sqrt{1 - 0,64} = 1 / 0,6$$

Logo  $\gamma = 1,667$

$t_1 = 1,667 * t_2$  (portanto  $t_1$  é maior que  $t_2$ )

Então se para o gêmeo que ficar na terra passarem 16,67 anos, para o que viajou passaram apenas 10 anos.

Se fossem dois gêmeos recém-nascidos, quando Viagner voltar ele terá 10 anos de idade, enquanto que o gêmeo que ficou terá 16,67 anos.



Figura 4.7

Na Figura 4.8 Temos o gêmeo que viajou, que ao regressar terá 10 anos, enquanto que o gêmeo que ficou na Terra estará com quase 17 anos.



Figura 4.8

Conforme vimos acima, o tempo passará mais lentamente para o gêmeo que viajou, ou seja, para o que estiver se deslocando a uma maior velocidade. Tal fato sempre ocorre, entretanto somente torna-se perceptível quando a

velocidade do viajante for bem elevada, mas por que isso ocorre? Por que o gêmeo viajante envelhece menos do que o outro?

Para encontrarmos a resposta a essa questão, vamos analisar como ocorre o envelhecimento. O envelhecimento é consequência da ocorrência de processos bioquímicos que ocorrem em nosso corpo, no interior das células. Para que esses processos ocorram é necessário um tempo para cada processo. Agora, vamos recordar dos resultados obtidos com a experiência de **Hafele-Keating** (ver página 21), onde constatou-se que o tempo passará mais lentamente para o relógio que se deslocar em maior velocidade, dessa forma como as reações e processos bioquímicos de nosso corpo dependem da passagem do tempo e como em altas velocidades o tempo passará mais lentamente, conseqüentemente os processos bioquímicos em nosso corpo passarão mais lentamente quando estivermos em maior velocidade, por essa razão o gêmeo viajante envelhecerá menos do que o seu irmão que ficou na terra.

## Capítulo 5

### Aplicação e avaliação do produto

A principal finalidade e proposta do produto “Simulador do Paradoxo dos Gêmeos” é despertar o interesse dos alunos pelo estudo da física e, em particular, pelo estudo da Teoria da Relatividade Restrita.

Além disso, aproveitamos o próprio “Simulador do Paradoxo dos Gêmeos” como plataforma para a apresentação de conteúdos e para a vivência dos efeitos decorrentes do deslocamento em velocidades próximas à velocidade da luz.

#### 5.1 – Metodologia para a aplicação e avaliação do Produto

A aplicação do produto foi realizada nos dias 23 e 24 de maio de 2018, nas turmas 1002 e 1003 do 1º ano do ensino médio do Colégio Municipal Rui Barbosa, localizado à rua Rui Barbosa, 814 - Centro, Cabo Frio - RJ, CEP: 28907-420, telefone: (22) 2645-4262.



**Figura 5.1** – Colégio municipal Rui Barbosa

Foi estabelecido que o produto seria inicialmente apresentado à turma 1002 (grupo experimental), enquanto que a turma 1003 participaria das avaliações sem que o produto seja apresentado a mesma, dessa forma a turma 1003 seria o nosso grupo de controle.

*Grupo de controle - Grupo de indivíduos que em um experimento não recebe qualquer tratamento especial, a fim de servir como referência-padrão às variáveis a que se submete o grupo experimental.*

A turma 1002 (doravante chamada de turma experimental) é composta por 23 alunos ao todo, entretanto parte desses alunos (5 alunos) somente compareceram em um dia ou no outro das avaliações, por essa razão os resultados desses alunos foram descartados, de forma que foram considerados para a avaliação do produto somente os alunos que compareceram nos dois dias de avaliação (18 alunos), portanto somente as notas desses 18 alunos que compareceram em ambas as avaliações foram utilizadas.

A turma 1003 (doravante chamada de turma de controle) é composta por 25 alunos ao todo, entretanto parte desses alunos (5 alunos) somente compareceram em um dia ou no outro das avaliações, por essa razão os resultados desses alunos foram descartados, de forma que foram considerados para a avaliação do produto somente os alunos que compareceram nos dois dias de avaliação (20 alunos), portanto somente as notas desses 20 alunos que compareceram em ambas as avaliações foram utilizadas.

O processo de aplicação do produto foi inicialmente dividido em 4 etapas (sendo que as etapas 1, 2 e 3 foram realizadas no primeiro dia de apresentação, em 23/05/2018, e a 4ª etapa no 2º dia de apresentação. No entanto, no 2º dia de apresentação surgiu, a pedido dos próprios alunos, uma 5ª etapa, que não estava planejada, mas que foi um verdadeiro sucesso e foi muito gratificante, a qual será descrita no final desse capítulo), a seguir, descrevemos as etapas:

### **1ª etapa**

Aplicou-se, aos alunos das turmas 1002 e 1003, um breve questionário preliminar (APÊNDICE 1) com as perguntas a seguir:

1 – Você já ouviu falar da Teoria da Relatividade?

( ) sim ( ) Não

2 – Você alguma vez estudou ou leu algo sobre a Teoria da Relatividade?

( ) sim ( ) Não

3 – Qual dos cientistas abaixo é o autor da Teoria da Relatividade?

a) Isaac Newton b) Galileu c) Albert Einstein d) Arquimedes

4 – Para que os efeitos abordados na Teoria da Relatividade sejam significativamente percebidos são necessários alguns pré-requisitos, assinale a alternativa abaixo que apresenta alguns desses pré-requisitos:

- a) basta ter a sensação de que o tempo é relativo.
- b) utilizar a energia de uma usina nuclear.
- c) estar em uma nave que se desloca na velocidade do som.
- d) estar em uma nave que se desloca a uma velocidade próxima da velocidade da luz.

5 – Qual a velocidade do som no ar?

- a) 34.000 m/s
- b) 340 m/s
- c) 3.400 m/s
- d) 34 m/s

6 – Qual a velocidade da luz no vácuo (aproximadamente)?

- a) 300.000.000 m/s
- b) 300 m/s
- c) 340.000 m/s
- d) 300.000 m/s

7 - Em qual das opções abaixo os efeitos descritos na Teoria da Relatividade seriam mais significativos?

- a) num dia extremamente frio com temperaturas próximas de 0°C.
- b) voando numa nave com velocidade de 50% da velocidade da luz.
- c) voando numa nave com velocidade de 99% da velocidade da luz
- d) voando numa nave com velocidade de 99% da velocidade do som.

8 - Sobre a Teoria da Relatividade pode-se afirmar:

- a) trata-se apenas de uma teoria sem comprovação científica.
- b) foi escrita por Isaac Newton.
- c) é uma teoria comprovada por diversos experimentos, entre esses podemos citar as experiências feitas com relógios atômicos em aviões.
- d) é uma teoria comprovada por diversos experimentos, entretanto a maioria desses experimentos não são considerados válidos.

## **2ª etapa**

Foi distribuída em ambas as turmas a mini apostila sobre a Teoria da Relatividade Restrita composta por 4 páginas (APÊNDICE 2), sugeriu-se aos alunos que lessem a mesma, e foi avisado que eu voltaria no dia seguinte para conversar um pouco mais sobre o assunto e verificar sobre o que teriam entendido sobre a apostila, mas não disse explicitamente que haveria uma nova avaliação escrita.

### 3ª etapa

Essa etapa foi aplicada somente na turma experimental (turma 1002), e consistiu na aplicação do produto do mestrado em epígrafe: o “Simulador do Paradoxo dos Gêmeos”.



**Figura 5.2**

Turma 1002 do colégio municipal Rui Barbosa do município de Cabo frio (ano 2018), utilizando o Simulador do Paradoxo dos Gêmeos.

Apenas para a turma 1002, apresentou-se o “Simulador do Paradoxo dos Gêmeos”, utilizou-se o produto na sala de aula por cerca de 10 minutos, para isso utilizamos um computador portátil (laptop) conectado a uma smart TV através de cabo HDMI para que todos pudessem utilizar o simulador juntos, deixando que vários alunos escolhessem as naves e destinos que quisessem e mostrando aos mesmos os resultados obtidos em relação a passagem do tempo para os gêmeos de acordo com suas escolhas. Depois disso, passei meu contato telefônico para o representante de turma para que ele me adicionasse através do aplicativo de comunicação WhatsApp de forma que pude enviar para ele através do WhatsApp o arquivo com o “Simulador do Paradoxo dos Gêmeos” para que o representante de turma o distribuisse aos demais alunos da turma, o que ele de fato fez.

#### 4ª etapa

Realizada no segundo dia de visita a essas turmas, dia 24 de maio de 2018, voltei as salas de aula e apliquei uma nova avaliação, onde perguntei sobre o que acharam da mini apostila, perguntei quantos leram, quantas páginas foram lidas, repeti algumas questões da avaliação anterior (realizada no 1º dia) e acrescentei novas perguntas com um grau de dificuldade maior, a seguir vamos analisar alguns resultados.

### 5.2 – Avaliação dos resultados

#### 5.2.1 - Comentários sobre a 1ª avaliação, analisando por partes:

Questão 1: “Você já ouviu falar da Teoria da Relatividade?” ( ) sim ( ) Não

Turma 1002 (experimental) – Nenhum aluno marcou a opção SIM, ou seja, nunca tinham sequer ouvido falar sobre a Teoria da Relatividade de Einstein.

Turma 1003 (controle)– quatro alunos marcaram a opção SIM, ou seja, apenas 4 alunos tinham ouvido falar sobre a Teoria da Relatividade.

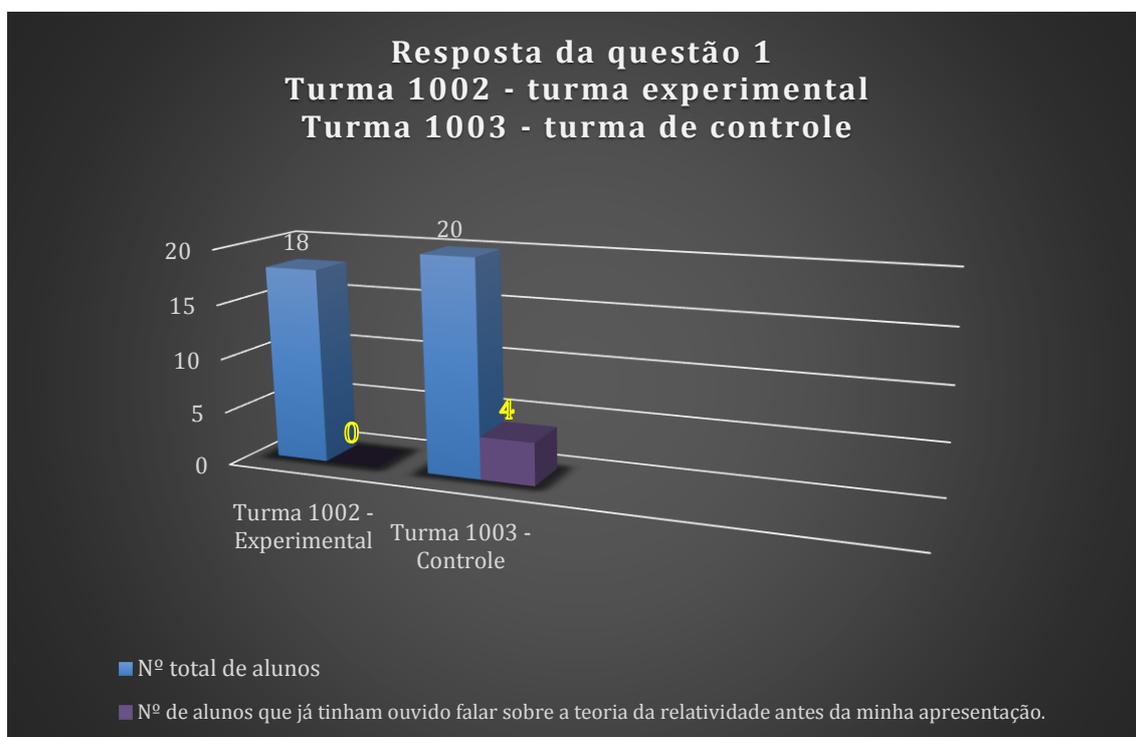


Gráfico 5.1 – Comparativo das respostas da questão 1

Conclui-se através dessa 1ª questão que em ambas as turmas o conhecimento prévio a respeito da Teoria da Relatividade de Einstein era bem modesto. Também se percebe que a turma 1002 - escolhida para ser a turma experimental – onde será aplicado o produto possui menos conhecimento prévio do que a turma 1003 escolhida para ser a turma de controle.

Questão 2: “Você alguma vez estudou ou leu algo sobre a teoria da relatividade?”  
( ) sim ( ) Não

Tanto na turma 1002 como na turma 1003, nenhum aluno marcou a opção SIM, ou seja, nenhum aluno em ambas as turmas sequer havia lido ou estudado alguma coisa sobre a Teoria da Relatividade antes da minha apresentação.

As questões 3 a 8 da primeira avaliação são questões que visam averiguar os conhecimentos dos alunos sobre a Teoria da Relatividade de Einstein.

Observação: estou me referindo de maneira genérica “Teoria da Relatividade de Einstein” sem distinguir entre Teoria da Relatividade Restrita ou Geral, devido ao grau simplista dessa avaliação e do próprio conhecimento dos alunos.

A média das notas da turma 1002 para essa parte da avaliação foi de 23 pontos numa escala de notas de 0 a 100.

A média das notas da turma 1003 para essa parte da avaliação foi de 24 pontos numa escala de notas de 0 a 100.

Observação: como tratava-se de prova de múltipla escolha com 4 opções (a,b,c,d) é de se esperar que mesmo sem conhecimentos prévios, a média das notas beirasse 25 (ou seja 25% de acerto) o que de fato ocorreu, comprovando que o conhecimento prévio dos alunos era bem incipiente.

Turma 1002(turma experimental) – 4 alunos dos 18 dessa turma leram a apostila, ou seja, cerca de 22,2% da turma.

Turma 1003(turma de controle) – 7 alunos dos 20 dessa turma leram a apostila, ou seja, cerca de 35% da turma.

Observação: repare que o número percentual de alunos que leram a apostila foi maior na turma de controle do que na turma experimental, tal fato já era previsível levando em conta o fato de que na turma de controle havia mais alunos que, segundo suas próprias palavras, já haviam ouvido falar sobre a teoria da relatividade, enquanto que na turma experimental nenhum aluno considerou já ter ouvido falar da teoria da relatividade, o que indica um maior interesse natural

pelo assunto na turma de controle do que na turma experimental. Tal percepção foi confirmada através de conversa com o professor de física das turmas estudadas.

Entretanto com relação ao número de páginas lidas ocorreu uma certa discrepância em relação ao que acabei de citar acima, pois na turma de controle o número médio de páginas lidas foi de 1 página por aluno que leu a mini apostila, entretanto na turma experimental a metade dos alunos que leram a apostila leram 2 ou 3 páginas, ao invés de apenas 1 página conforme ocorreu na turma de controle, o que pode ter sido resultado da motivação gerada pelo uso do Simulador do Paradoxo dos Gêmeos, entretanto como o número de alunos que participaram da pesquisa é muito pequeno não é possível garantir essa interpretação dos resultados.

### **5.2.2 - O segundo questionário:**

MNPEF – Mestrado Nacional de ensino em física.

UNIRIO – Universidade Federal do estado do Rio de Janeiro.

Pesquisa de conhecimentos prévios sobre a teoria da relatividade

Realizada no Colégio municipal Rui Barbosa em 23/05/2018

Aluno:

Turma:

#### **QUESTIONÁRIO SOBRE TEORIA DA RELATIVIDADE:**

1 – Você já ouviu falar da Teoria da Relatividade?

( ) Sim ( ) Não

2 – Você alguma vez estudou ou leu algo sobre a Teoria da Relatividade?

( ) Sim ( ) Não

3 – Você leu a mini apostila que o professor Marcelo distribuiu ontem?

a) não

b) li apenas um pouco, cerca de 1

página

c) li uma boa parte, cerca de 2 ou

3 páginas

d) li a apostila toda.

4 – Qual dos cientistas abaixo é o autor da Teoria da Relatividade?

a) Isaac Newton b) Galileu c) Albert Einstein d) Arquimedes

5 – Para que os efeitos abordados na teoria da relatividade sejam significativamente percebidos são necessários alguns pré-requisitos, assinale a alternativa abaixo que apresenta alguns desses pré-requisitos:

- a) basta ter a sensação de que o tempo é relativo.
- b) é indispensável utilizar a energia de uma usina nuclear.
- c) estar em uma nave que se desloca na velocidade do som.
- d) estar em uma nave que se desloca a uma velocidade próxima da velocidade da luz.

6 – Qual a velocidade do som no ar?

- a) 34.000 m/s   b) 340 m/s   c) 3.400 m/s   d) 34 m/s

7 – Qual a velocidade da luz no vácuo (aproximadamente)?

- a) 300.000.000 m/s   b) 300 m/s   c) 340.000 m/s   d) 300.000 m/s

8- Em qual das opções abaixo os efeitos descritos na Teoria da Relatividade seriam mais significativos?

- a) num dia extremamente frio com temperaturas próximas a 0°C
- b) voando numa nave com velocidade de 50% da velocidade da luz.
- c) voando numa nave com velocidade de 99% da velocidade da luz
- d) voando numa nave com velocidade de 99% da velocidade do som.

9 - Sobre a Teoria da Relatividade pode-se afirmar:

- a) trata-se apenas de uma teoria sem comprovação científica.
- b) foi escrita por Isaac Newton.
- c) é uma teoria comprovada por diversos experimentos, entre esses podemos citar as experiências feitas com relógios atômicos em aviões.
- d) é uma teoria comprovada por diversos experimentos, entretanto a maioria desses experimentos não são considerados válidos.

10 – Qual das opções abaixo apresenta uma comprovação ou experiência que comprove a Teoria da Relatividade de Einstein?

- a) encontrarmos partículas múons na superfície terrestre   b) princípio de Arquimedes
- c) o experimento do princípio de Pascal   d) temperatura de ebulição da água.

11 – O 2º postulado da Teoria da Relatividade Einstein afirma que:

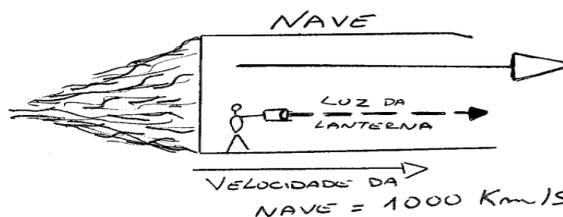
- a) A velocidade da luz no vácuo depende da velocidade da fonte emissora.
- b) A velocidade da luz emitida por uma fonte em movimento deve ser maior que a velocidade da luz emitida por uma fonte parada.
- c) Quanto mais intensa e brilhante for a luz, maior será sua velocidade.

d) a velocidade da luz no vácuo tem sempre o mesmo valor “c” ( $c = 300.000 \text{ km/s}$ ) para todos os sistemas referenciais inerciais e independe da velocidade da fonte emissora.

12 – Um passageiro de um trem que se desloca a  $100 \text{ km/h}$  da esquerda para a direita, arremessa uma bola a  $20 \text{ km/h}$  em relação a ele mesmo no mesmo sentido e direção do trem, qual será a velocidade da bola para um passageiro que observa de uma plataforma a passagem do trem?

- a)  $120 \text{ km/h}$
- b)  $80 \text{ km/h}$
- c)  $100 \text{ km/h}$
- d)  $20 \text{ km/h}$

13 - Um passageiro de uma nave que se desloca a  $1000 \text{ km/s}$  da esquerda para a direita, liga uma lanterna apontando na mesma direção e sentido da nave (ver figura abaixo), qual será a velocidade da luz da lanterna para um observador que observa de uma plataforma a passagem da nave?



**Figura 5.3**

- a)  $299.000 \text{ km/s}$
- b)  $1.000 \text{ km/s}$
- c)  $300.000 \text{ km/s}$
- d)  $301.000 \text{ km/s}$

14 – Podemos afirmar que os fenômenos abaixo são relacionados com a Teoria da Relatividade de Einstein, exceto um deles, qual?

- a) dilatação do tempo
- b) velocidade da luz aumentar de acordo com o aumento da velocidade da fonte emissora.
- c) velocidade da luz não se alterar
- d) contração do espaço

15 – Foi realizada a seguinte experiência com 2 irmãos gêmeos, um deles embarcou em uma nave que viaja a uma velocidade  $V=0,8c$ , e foi a um destino longínquo e depois retornou a terra, assinale a opção abaixo que está correta:

- a) teremos que o gêmeo que viajou na nave, quando retornar e se reencontrar com o gêmeo que ficou, estará mais velho do que o que ficou no planeta Terra.
- b) teremos que o gêmeo que viajou na nave, quando retornar e se reencontrar com o gêmeo que ficou, terá a mesma idade do que o que ficou no planeta Terra.
- c) teremos que o gêmeo que viajou na nave, quando retornar e se reencontrar com o gêmeo que ficou, terá menos idade do que o que ficou no planeta Terra.
- d) teremos que o gêmeo que viajou na nave, quando retornar e se reencontrar com o gêmeo que ficou, estará exatamente 1 ano mais velho do que o que ficou no planeta Terra.

16 – Se na experiência realizada na questão 15 (acima), a velocidade da nave fosse  $V=0,99c$ , ou seja, mais veloz que a de questão 15, teremos que:

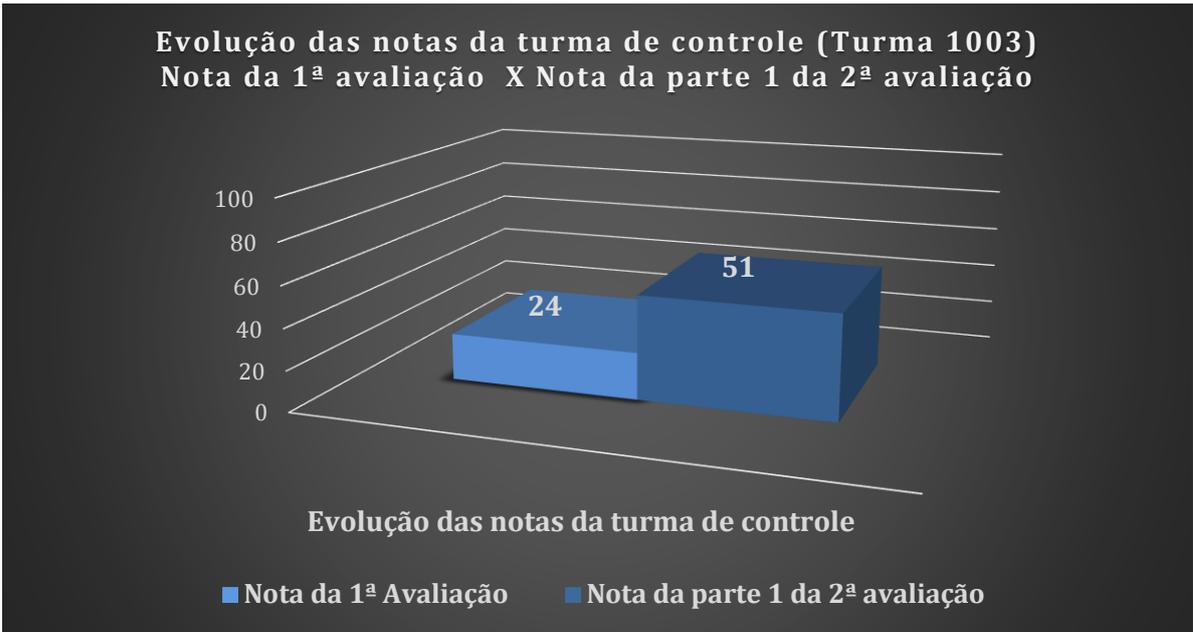
- a) o gêmeo que viajou na nave, quando retornar e se reencontrar com o gêmeo que ficou, terá mais idade do que teria caso tivesse viajado a  $0,8c$ .
- b) o gêmeo que viajou na nave com  $V=0,99c$ , quando retornar e se reencontrar com o gêmeo que ficou, terá a mesma idade que teria se tivesse viajado com  $V=0,8c$ .
- c) o gêmeo que viajou na nave, quando retornar e se reencontrar com o gêmeo que ficou, estará exatamente 99 anos mais velho do que o que ficou no planeta Terra.
- d) o gêmeo que viajou na nave, quando retornar e se reencontrar com o gêmeo que ficou, terá menos idade do que teria caso tivesse viajado a  $0,6c$ .

### **5.2.3 - Análise dos resultados do 2º questionário:**

A seguir, vamos analisar os resultados dessa segunda avaliação, dividindo a mesma em parte 1 e parte total, sendo a parte 1 composta pelas questões 4 a 9 que são questões fáceis e já foram abordadas no 1º questionário apresentado no 1º dia, lembrando que nessa ocasião (1º dia) o percentual de acertos dessas questões foi quase aleatório o que confirmou o natural despreparo dos alunos (pois ainda não haviam estudado os temas abordados), e chamamos de parte total a prova toda incluindo todas as questões da mesma, ou seja, da questão 4 a 16 (13 questões com grau de dificuldade mais elevado).

#### **Na Turma de Controle:**

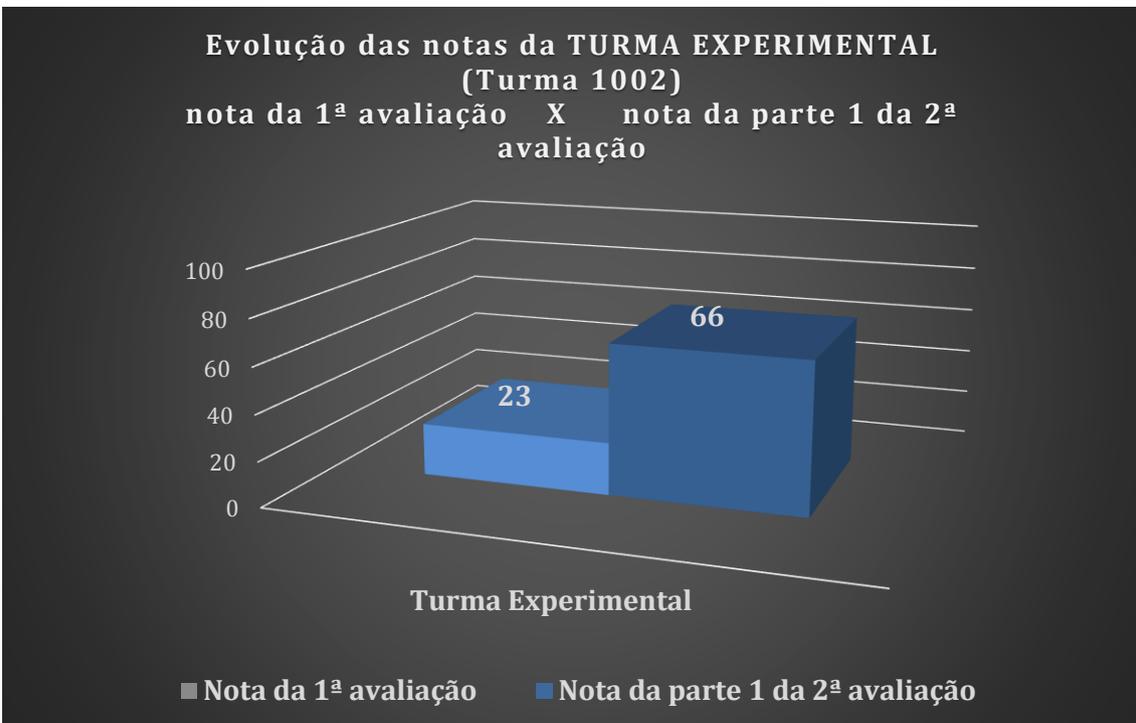
A média das notas da turma 1003 para a parte 1 da 2ª avaliação foi de 51 pontos numa escala de notas de 0 a 100. Observe que média das notas subiu de 24 para 51 pontos, o que representa uma melhora de 112%.



**Gráfico 5.2** – Evolução das notas da turma de controle

**Na Turma Experimental:**

A média das notas da turma 1002 (experimental) para a parte 1 da 2ª avaliação foi de 66 pontos numa escala de notas de 0 a 100. Observe que média das notas subiu de 23 para 66 pontos, o que representa uma melhora de 187%



**Gráfico 5.3** – Evolução das notas da turma experimental

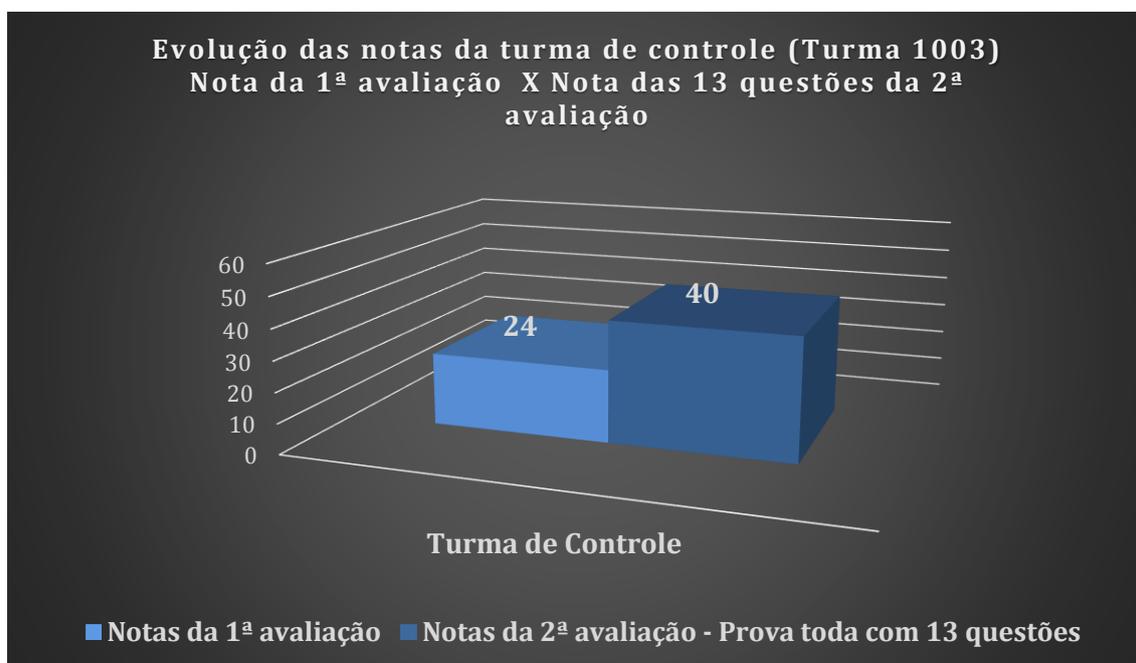
Observação: Encontramos percentuais de melhora bem significativos em ambas as turmas, mas devemos nos lembrar que essas questões da parte 1 da 2ª avaliação são a repetição das questões do 1º questionário. Entretanto pode-se constatar que o percentual de melhora obtido na turma experimental (187%) foi muito superior ao obtido na turma de controle (112%).

### **Avaliação do progresso das turmas, comparando a nota da 1ª avaliação com a nota total das 13 questões da 2ª avaliação:**

Observação: a nota da parte total da 2ª avaliação é naturalmente menor do que a nota da parte 1 da 2ª avaliação pois a parte 1 dessa avaliação engloba apenas a repetição das questões da 1ª avaliação realizada no dia anterior e que além de ser uma repetição também são questões mais fáceis do que as cobradas na totalidade da prova da 2ª avaliação.

#### **TURMA DE CONTROLE – MELHORA de 66%**

A média das notas da turma 1003 para a parte total da 2ª avaliação foi de 40 pontos numa escala de notas de 0 a 100. Observe que média das notas subiu de 24 para 40 pontos, o que representa uma melhora de 66%.



**Gráfico 5.4** – Evolução das notas da turma de controle na prova toda

### TURMA EXPERIMENTAL – MELHORA de 126%

A média das notas da turma 1002 (experimental) para a parte total da 2ª avaliação foi de 52 pontos numa escala de notas de 0 a 100. Observe que média das notas subiu de 23 para 52 pontos, o que representa uma melhoria de 126%.

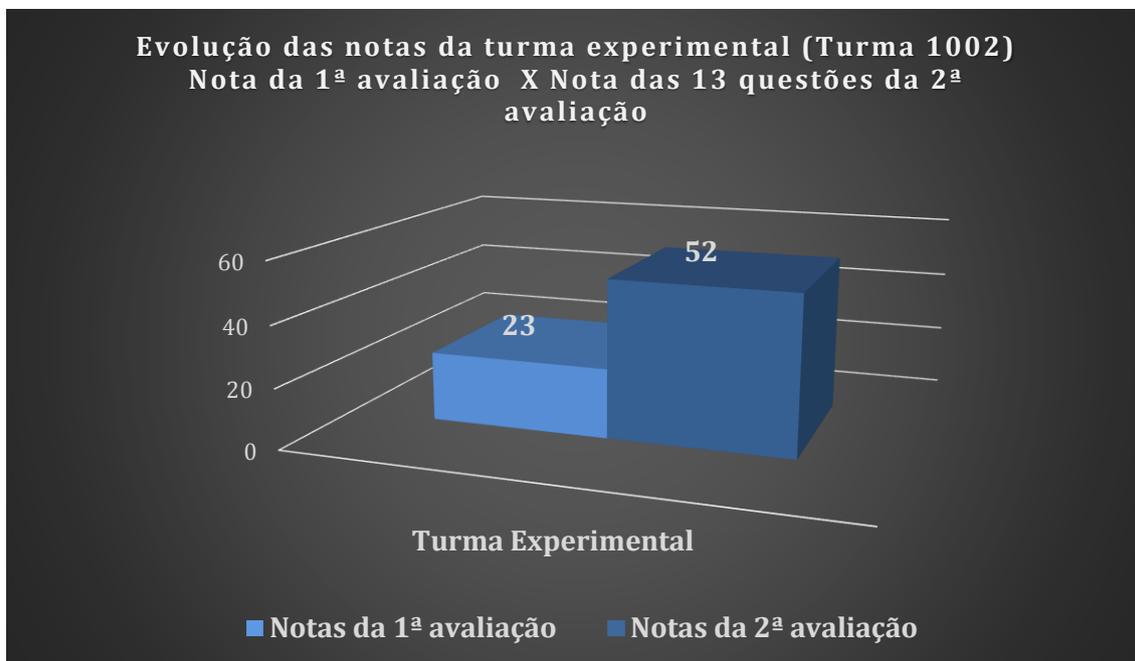


Gráfico 5.5 – Evolução das notas da turma experimental na prova toda

### Comparativo entre a evolução das turmas de controle e experimental:

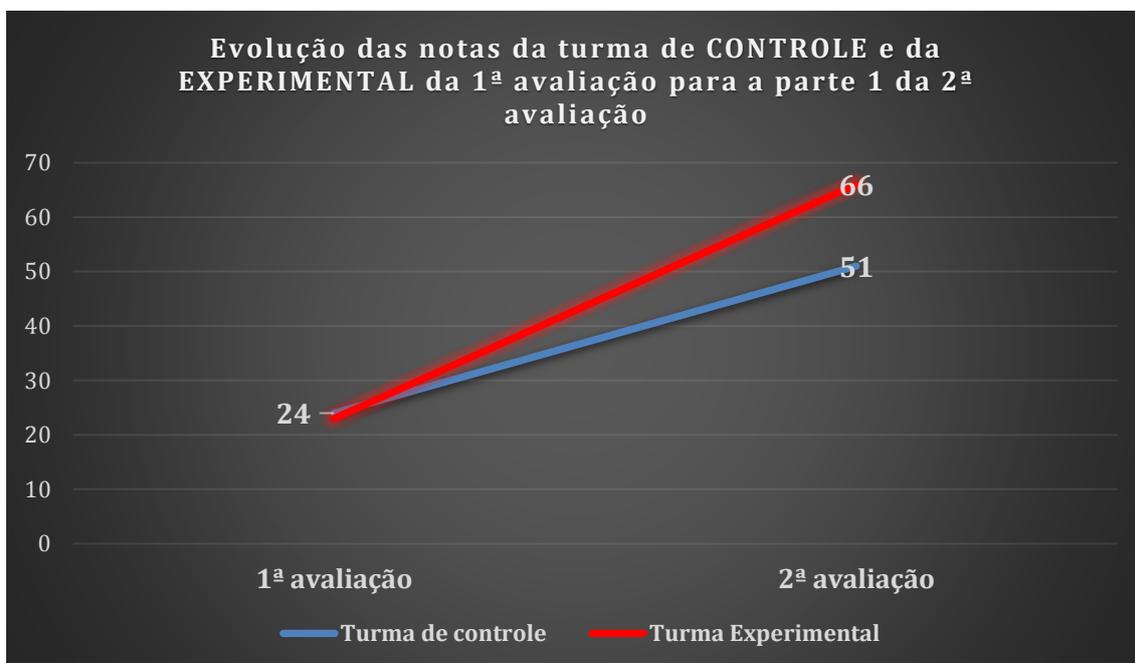
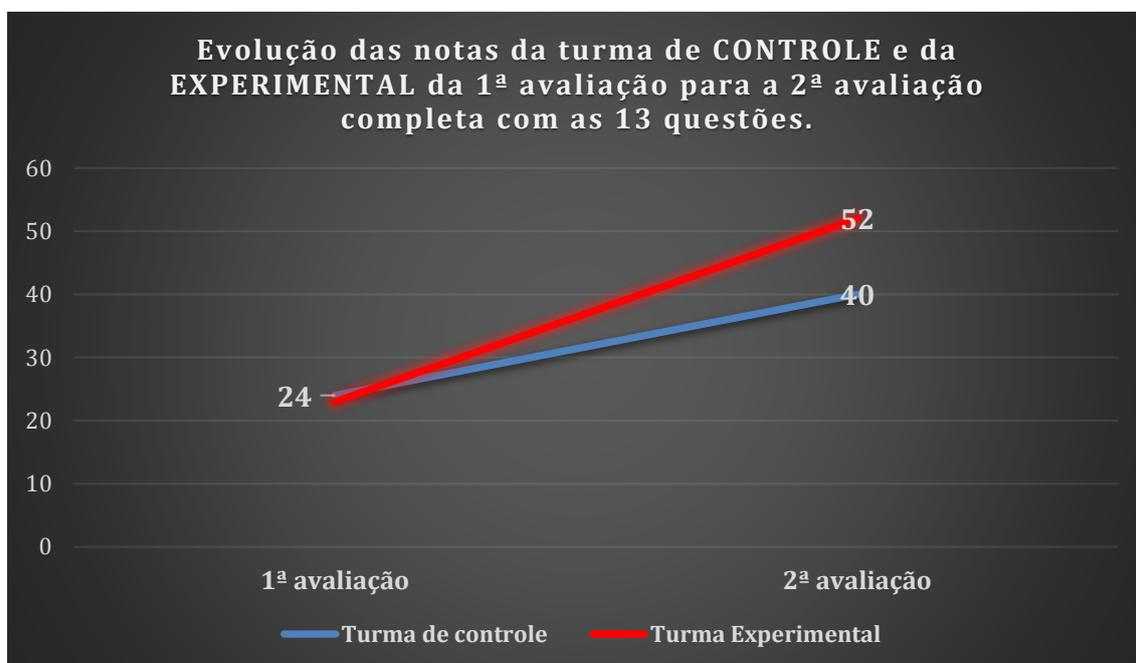


Gráfico 5.6 - Comparativo entre a evolução das turmas de controle e experimental

No gráfico 5.6, acima, temos a evolução das notas da turma de CONTROLE e da EXPERIMENTAL, comparando as notas da 1ª avaliação com a parte 1 da 2ª avaliação:

Ambas as turmas começaram com um percentual de acerto muito próximo na 1ª avaliação, 24 pontos para a turma de controle e 23 pontos para a turma experimental, lembrando que essas notas aproximam-se da nota esperada para alunos que fizessem a avaliação apenas no “chute”, (A expectativa de nota para uma prova múltipla escolha com 4 opções feita no “chute” é de 25% de acerto), ou seja, sem conhecimento prévio, o que de fato corresponde à realidade das turmas conforme assinalado pelos próprios alunos nas perguntas 1 e 2 da 1ª avaliação.

No gráfico abaixo, temos a evolução das notas da turma de CONTROLE e da EXPERIMENTAL comparando as notas da 1ª avaliação com as notas da 2ª avaliação completa (com todas as 13 questões), lembrando que, conforme já dito antes, a avaliação mencionada nesse gráfico abaixo é mais difícil que a avaliação retratada no gráfico acima, por essa razão os resultados obtidos nessa parte da 2ª avaliação são menores que os obtidos na parte 1 da 2ª avaliação.



**Gráfico 5.7**

Comparativo da evolução das notas da turma experimental e de controle da 1ª avaliação para a 2ª avaliação completa.

Um fato relevante a ser notado nos gráficos acima é que em ambas as avaliações do segundo dia, ou seja, nas avaliações de absorção do tema estudado, a turma experimental obteve notas superiores as da turma de controle.

Outro fato relevante é que o percentual de melhora obtidos ao se comparar a nota da 1ª avaliação com as notas da 2ª avaliação também foi maior na turma experimental do que na de controle, como pode ser visto nos gráficos abaixo.

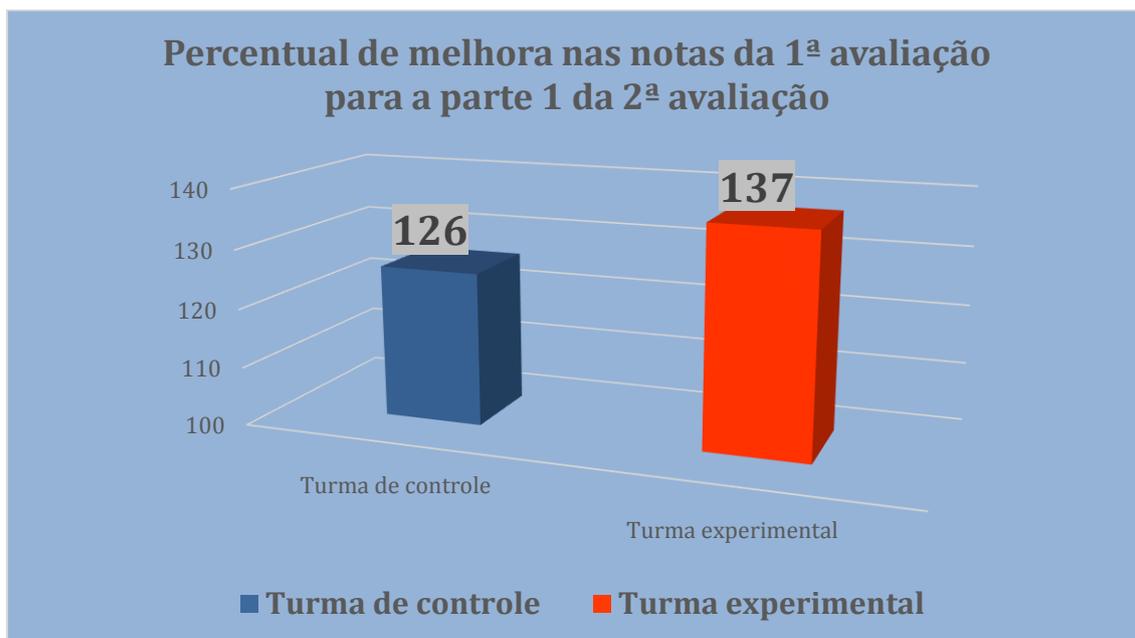


Gráfico 5.8 - Percentual de melhora das notas da 1ª avaliação para a parte 1 da 2ª avaliação.

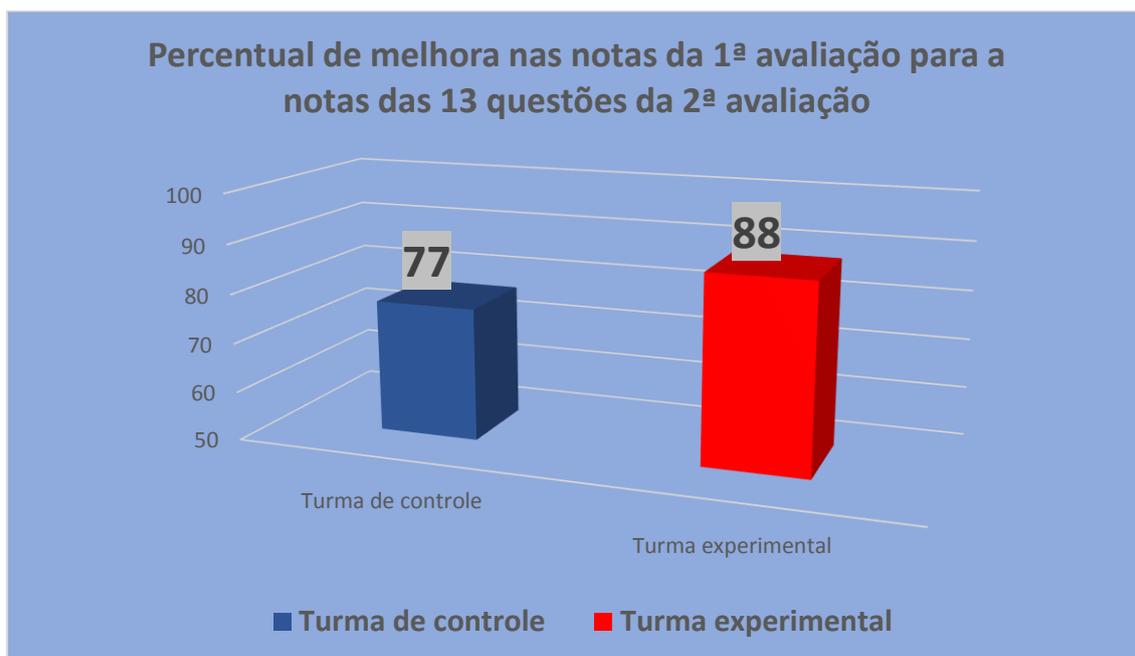


Gráfico 5.9 - Percentual de melhora das notas da 1ª avaliação para a 2ª avaliação completa.

Outro fato relevante, foi de que o simulador também se mostrou um método de ensino bem mais eficaz do que a mini apostila distribuída aos alunos, pois apesar de mais alunos da turma de controle terem lido a mini apostila que na turma experimental, mesmo assim as notas da turma experimental, que utilizou o simulador, tiveram um progresso significativamente maior do que as notas da turma de controle, 137% contra 126% na parte 1 da 2ª avaliação e 88% contra 77% na totalidade da 2ª avaliação.

### **5.3 – A 5ª etapa: a etapa que não estava programada**

Apesar da apresentação do simulador ter sido programada para ser realizada em apenas 4 etapas (já citadas acima) surgiu inesperadamente uma 5ª etapa, a pedido dos próprios alunos da turma de controle, pois eles ficaram sabendo por amigos da outra turma sobre a utilização do “Simulador do Paradoxo dos Gêmeos” na sala de aula, e eles ficaram muito curiosos e interessados em também utilizar o “Simulador do Paradoxo dos Gêmeos”, por essa razão o simulador foi apresentado para os mesmos, e os alunos ficaram utilizando o simulador permanecendo na sala mesmo após o término do horário regulamentar da aula de física, invadindo o horário do recreio. Tal resultado foi muito satisfatório para mim e para o professor de física que acompanhava as avaliações.

### **5.4 – Conclusão sobre a aplicação e avaliação do produto**

O “Simulador do Paradoxo dos gêmeos” mostrou ser uma eficaz ferramenta para o ensino de física, especialmente para o ensino da Teoria da Relatividade Restrita de Albert Einstein.

## Capítulo 6

### Como utilizar o Simulador do Paradoxo dos Gêmeos

A utilização do Simulador do Paradoxo dos Gêmeos (SPG) é bem simples.

O Simulador do Paradoxo dos Gêmeos foi desenvolvido no programa Power Point do pacote Office, foi escolhida essa plataforma devido a quantidade de animações disponíveis na mesma.

Para utilizar o SPG basta baixar o arquivo, que pode ser enviado por e-mail, WhatsApp ou simplesmente copiado e colado de um dispositivo para outro.

O SPG pode ser disponibilizado em PDF, a característica fundamental da utilização nesse programa (PDF) é de não poder ser alterado, entretanto muitos recursos de animação que existem no Power Point não funcionam no PDF.

Para utilizar o SPG basta baixar o programa, seja PDF ou Power Point. Um detalhe importante a ser lembrado em seu uso é que a passagem dos slides deve ser sempre através de clique em local previamente indicado, por exemplo, clicando somente onde está escrito: “Próximo Slide”; “Clique aqui” ou “Clique na imagem”. Pois para o funcionamento correto do SPG, os slides devem seguir a ordem exata pré-estabelecida que muitas vezes não é a ordem numérica sequencial dos slides, ou seja, não deve ser realizada a simples rolagem dos slides. Ao invés disso, deve-se sempre clicar nos locais indicados, tal conduta é sinalizada logo no 1º slide do SPG:

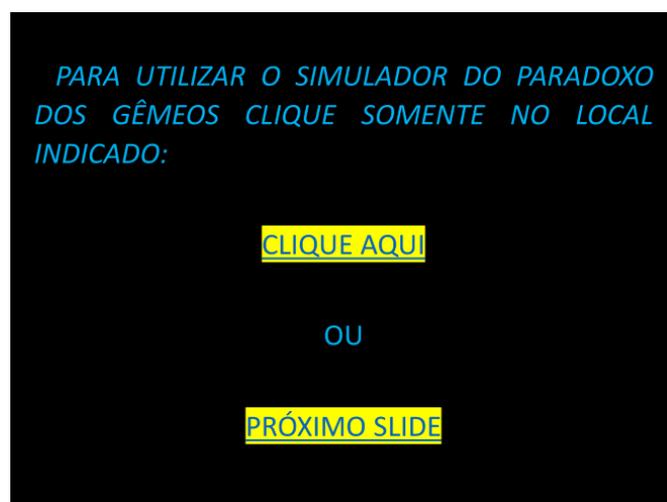


Figura 6.1 - Slide 01 do Simulador do Paradoxo dos Gêmeos

### Para abrir no Power Point:

Para dar início a apresentação no Power Point, seja no computador ou no celular, clique no ícone “iniciar do começo (F5)” ou simplesmente pressione a tecla de atalho “F5”, conforme indicado na figura abaixo:

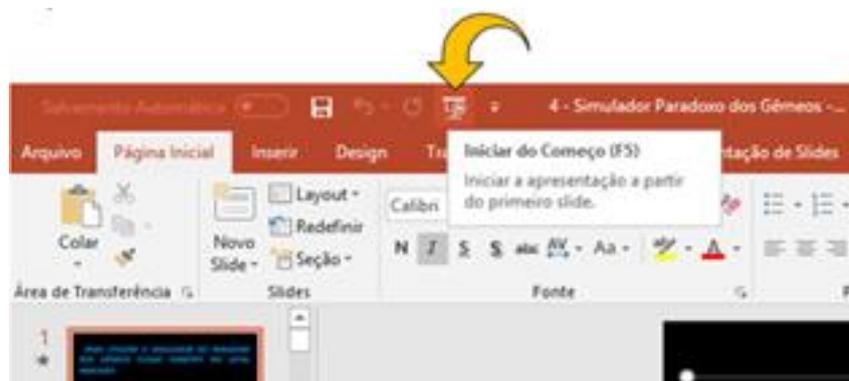


Figura 6.2 - Para dar início a apresentação no Power Point

### Para abrir em PDF:

Para dar início a apresentação em PDF, no computador basta dar o clique duplo no arquivo, entretanto no celular, talvez seja necessário usar a opção “abrir com” (geralmente essa opção é representada na parte superior direita da tela com 3 pontos verticais, mas isso pode variar de aparelho para aparelho) e escolha a opção “abrir com OFFICE”, pois se não for feito dessa maneira o SPG apesar de abrir não funcionará corretamente.

Em alguns celulares, ao abrir o SPG no PDF, pode acontecer de aparecerem 2 slides ao mesmo tempo no visor do celular, para evitar que isso ocorra o usuário teria que fazer alguns procedimentos, entretanto para burlar esse problema sem exigir esforço do usuário e facilitar o uso do SPG, a solução mais fácil que encontrei foi intercalar um slide na cor preta entre cada slide da apresentação, o que de fato funcionou, resolvendo o problema e sem atrapalhar o funcionamento do SPG tanto no PDF como no Power Point, pois no uso do SPG a passagem dos slides é feita apenas através de links e ações pré-determinadas.

O SPG pode ser utilizado para uma abordagem inicial do tema Teoria da Relatividade ou pode ser usado a qualquer momento da aula, seja para o ensino

médio ou de graduação, podendo até mesmo ser usado como vídeo aula pois muitos dos temas da Teoria da Relatividade são abordados no SPG.

Tem-se como objetivo do SPG despertar o interesse dos alunos e das pessoas em geral para o tema Teoria da Relatividade.

O SPG pode ser utilizado em computadores ou mesmo no celular o que torna bem abrangente a sua possibilidade de disseminação.

O SPG também remete a uma planilha feita no programa Excel que foi nomeada: “Calculadora de dilatação temporal”, nessa planilha pode-se explorar os efeitos da passagem diferenciada do tempo em função das variações de velocidade de deslocamento e da variação das distâncias percorridas. Nessa planilha o usuário poderá inserir a velocidade que quiser para sua nave e a distância que quiser para seu percurso. A planilha está vinculada a fórmulas e faz os cálculos exatos da passagem diferenciada do tempo levando em conta a Teoria da relatividade Restrita de Einstein e o fator de Lorentz.

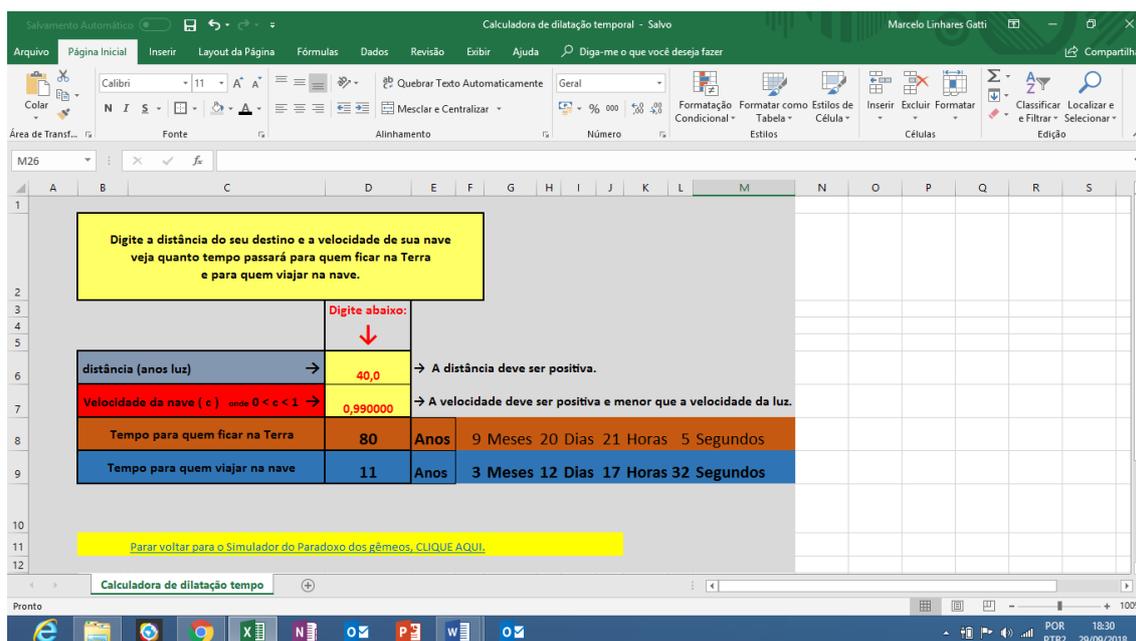


Figura 6.3 - Imagem da planilha: “Calculadora de dilatação temporal.”

## Capítulo 7

### Dicas para desenvolver o seu próprio Simulador.

O Simulador do Paradoxo dos Gêmeos foi desenvolvido no programa Power Point do pacote Office, foi escolhida essa plataforma devido a quantidade de animações disponíveis na mesma.

A utilização do SPG implica em que a exibição dos slides siga ordem determinada pelas escolhas do usuário, por exemplo: ao escolher uma determinada nave ou distância a ser percorrida o usuário será encaminhado a um slide diferente, de acordo com cálculos dos efeitos da relatividade sobre cada um dos gêmeos, pois o tempo passará diferentemente para o gêmeo que viaja e o que fica na Terra, portanto em muitas ocasiões a passagem dos slides não será na ordem meramente sequencial dos mesmos, então para conseguir-se esse efeito utilizou-se a ferramenta “inserir ação” do Power Point da seguinte maneira:

Coloque o cursor do mouse sobre o campo escolhido para acionar a ação, vamos exemplificar através do slide onde o usuário escolhe o destino, após já ter escolhido a nave, e nesse caso conforme as suas escolhas ele deverá ser levado para um slide diferente, onde encontrará o resultado correto de passagem do tempo para cada gêmeo conforme suas escolhas. Supondo que ele tenha escolhido o destino 1, coloque o cursor do mouse sobre a imagem do destino 1.

**Coloque o cursor do mouse sobre a imagem do destino escolhido:**

**Escolha seu destino, clique na imagem escolhida:**

**Destino 1 –**  
Estação espacial próxima ao planeta Próxima B, que orbita a estrela Próxima Centauri, distante cerca de **4,24 anos luz da Terra.**

**Destino 2 –**  
Estação espacial próxima ao planeta Gliese 832, distante cerca de **16 anos luz da Terra.**

**Destino 3 –** Estação espacial próxima ao planeta “e” do sistema planetário TRAPPIST-1, distante **40 anos luz da terra.**

Criado por M A R C E L O G A T T I

Figura 7.1 – Dica 01 para desenvolver o seu próprio Simulador

Em seguida, clique em inserir:

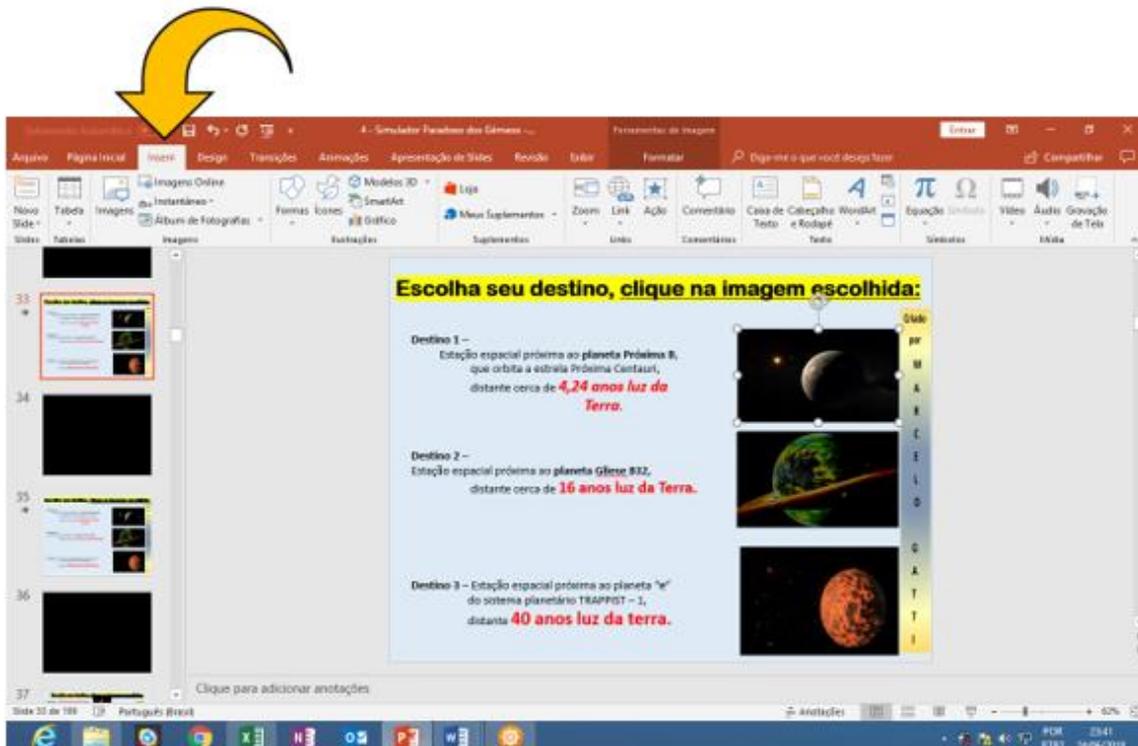


Figura 7.2 – Dica 02 para desenvolver o seu próprio Simulador

Depois, clique em ação:

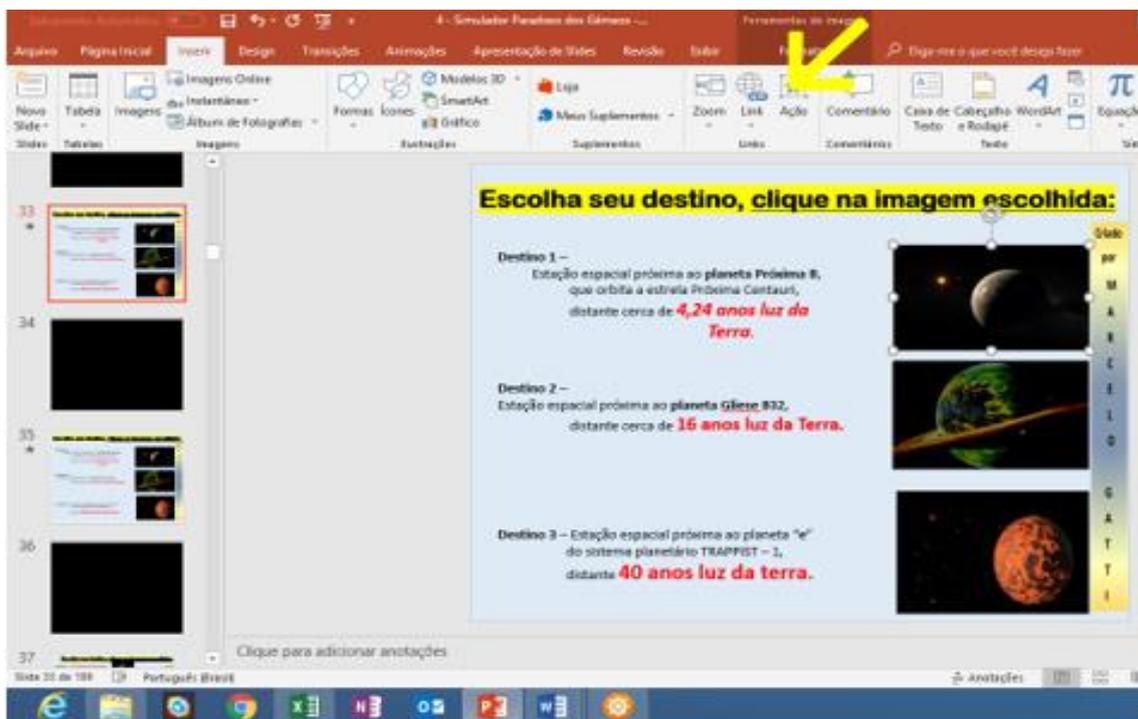


Figura 7.3 – Dica 03 para desenvolver o seu próprio Simulador

Com isso, irá abrir a caixa de diálogo: “**Configurações de ação**”

Selecione a opção: “**Hiperlink para:**”

Em seguida, marque a opção “**slide**”

E digite o número do slide para o qual deseja ir.

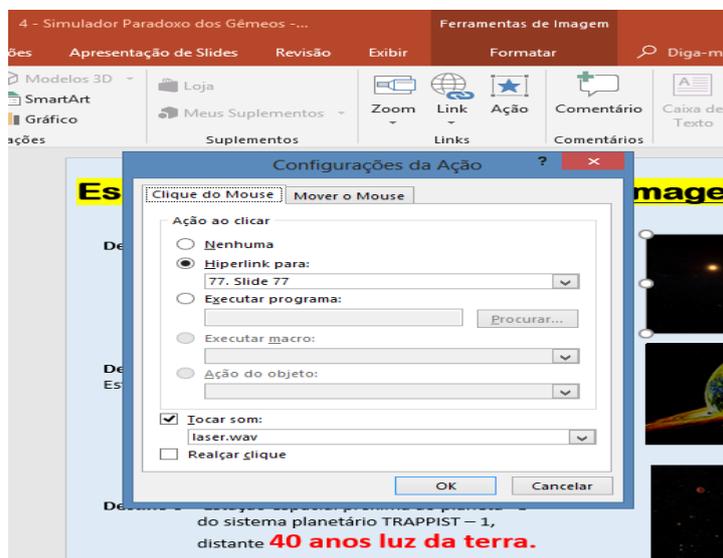


Figura 7.4 – Dica 04 para desenvolver o seu próprio Simulador

Para colocar efeitos de som, selecione na caixa de diálogo acima, a opção “**tocar som**”, e escolha o som desejado.

Para direcionar-se a um outro arquivo, como fizemos com a “**Calculadora de dilatação temporal**”, selecione na caixa de diálogo acima, “**Hiperlink para:**” e marque a opção: “**outro arquivo**”, e assim selecione o arquivo para o qual deseja ir. É importante saber que o arquivo com o “Simulador do Paradoxo dos Gêmeos” e o arquivo com a “Calculadora de dilatação temporal” devem estar vinculados entre si, como já estão no CD por mim fornecido, entretanto caso os arquivos sejam salvos em outra pasta será necessário refazer o vínculo entre eles, e isso é feito refazendo o mesmo procedimento indicado no início desse parágrafo.

Para inserir uma animação, primeiramente selecione o slide e em seguida clique em “**Transições**”, feito isso, abrirá uma opção de escolha com diversos tipos de transições, escolha a que mais lhe agrada.

Você também poderá inserir outros tipos de animações clicando na opção “**Animações**”, e em seguida escolher a animação que mais lhe agrada.

## Capítulo 8

### Conclusões

O processo de aplicação do produto “Simulador do paradoxo dos Gêmeos” (SPG) foi realizado com bastante facilidade, pois os alunos se mostraram bem interessados e pré-dispostos a interagir com uma abordagem diferenciada de ensino, especialmente por tratar-se de uma abordagem lúdica e que utiliza meios bastante visuais e modernos.

Também favoreceu a utilização do SPG, o fato do simulador abordar temas atuais e surpreendentes, como o paradoxo dos gêmeos, que é algo bem diferenciado do senso comum e de certa forma aborda o tema da viagem no tempo. Fatores esses que fascinam a todos nós, especialmente os jovens estudantes.

Os resultados puderam ser mensurados através de testes e foram positivamente notáveis, de fato o produto mostrou-se eficaz tanto no processo de aprendizagem como no de ensino, como podemos evidenciar através das notas dos alunos, onde os alunos da turma experimental obtiveram percentuais de melhora mais expressivos que os da turma de controle.

Outro fato interessante e positivo, foi que os alunos da turma de controle pediram para que o SPG lhes fosse apresentado e, feita a apresentação, ficaram utilizando o SPG durante a aula e além do término da mesma, permanecendo na sala de aula mesmo no horário do recreio.

Também devemos mencionar, como fato extremamente positivo, o fato do SPG ser de fácil disseminação, podendo ser disponibilizado facilmente, e praticamente sem custos para toda a rede de ensino, o que é um dos objetivos que pretendo alcançar.

Por essas razões, podemos afirmar que o SPG se mostra eficaz tanto no processo de aprendizagem como no de ensino, sendo também um eficaz recurso para despertar o interesse pela física moderna, especialmente pela Teoria da Relatividade de Einstein e o paradoxo dos gêmeos.

## Referências Bibliográficas:

APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: UM CONCEITO SUBJACENTE. Disponível em <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigsubport.pdf>>. Acesso em maio de 2018.

Ausubel, D.P. (1968). Educational psychology: a cognitive view. New York, Holt, Rinehart and Winston.

BORDENAVE, J.D.; PEREIRA, A. M. Estratégias de ensino-aprendizagem – Petrópolis, RJ: Vozes, 2002.

BORUCHOVITCH, E.; BZUNECK; J. A.; GUIMARÃES, S. É. R. (Orgs). Motivação para aprender. Petrópolis, RJ: Vozes, 2010, cap.1, p. 13 a 42.

BZUNECK, J.A. Uma abordagem sócio cognitivista à motivação do aluno: a Teoria de Metas de Realização. Psico-USF. Bragança Paulista, v.4, n.2, p. 51-66 jul-dez,1999.

CONCEPÇÕES DE JOGO CONFORME VYGOTSKY, PIAGET, WALLON. Disponível em: <<https://pedagogiaaopedaletra.com/concepcoes-de-jogo-conforme-vygotski-piaget-wallon>>

CURRÍCULO MÍNIMO 2012. Disponível em: <[http://www.rj.gov.br/c/document\\_library/get\\_file?uuid=d34c3917-7d42-48be-a678-e6721ecdcca0&groupId=91317](http://www.rj.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=d34c3917-7d42-48be-a678-e6721ecdcca0&groupId=91317)>

HAFELE, Joseph Carl e KEATING, Richard. Around-the-world atomic clocks: observed relativistic time gains. *Science*, Vol. 177, n. 4044, p. 168-170, 1972.

HERNÁNDEZ, F.; VENTURA, M. A organização do currículo por projetos de trabalho: o conhecimento é um caleidoscópio. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

MOREIRA, Marco Antônio. Uma abordagem cognitivista ao ensino de Física. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1983.

MOREIRA, Marco Antônio. Negociação de significados e aprendizagem significativa. Revista Ensino, Saúde e Ambiente, v. 1, n. 2, p. 2-13, 2008.

PAIS, Luiz Carlos. Didática da Matemática: uma análise da influência francesa. Belo Horizonte: Autêntica, 2002.

PERUZZO, Jucimar. Teoria Da Relatividade - Conceitos Básicos. Ed. Ciência Moderna Ltda, 2012.

POZO, J. I. and GOMEZ CRESPO, M. A. A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico. Porto Alegre: Artmed, 5. ed., 2009.

RESNICK, Robert and WATANABE, Shigeo. Introdução à Relatividade Especial. Ed. Universidade de São Paulo, 1971.

O PAPEL DOCENTE NA SELEÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE ENSINO.

Disponível em:

<<http://www.uel.br/eventos/semanaeducacao/pages/arquivos/ANAIS/ARTIGO/SABERES%20E%20PRATICAS/O%20PAPEL%20DOCENTE%20NA%20SELECAO%20DAS%20ESTRATEGIAS%20DE%20ENSINO.pdf>> Acesso em maio de 2018.

Parâmetros Curriculares e Currículo Mínimo Estadual. Disponível em <<http://www.rj.gov.br>> Acesso em maio de 2018.

PRIMATA FALANTE – Série Entenda a Relatividade. Disponível em:

<[https://www.youtube.com/watch?v=GHi2aT79Tbg&list=PL21g2c3lnZ1BcE97Znb-D1VayFSZBA tq\\_](https://www.youtube.com/watch?v=GHi2aT79Tbg&list=PL21g2c3lnZ1BcE97Znb-D1VayFSZBA tq_)> Acesso em junho de 2017.

TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA SEGUNDO AUSUBEL.

Disponível em:

<<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/materiais/0000012381.pdf>> Acesso em julho de 2017

VYGOTSKY, Lev Semenovich. Pensamento e Linguagem. Versão para eBook, 2001. cap. 6, p. 83-117.

ZABALA, Antoni. A Prática Educativa – Como ensinar. 1998. Porto Alegre: Artmed.

ZAMPERO, Andreia Freitas and LABUR´U, Carlos Eduardo. Atividades Investigativas no Ensino de Ciências: Aspectos históricos e diferentes abordagens. 2001. Revista Ensaio, v.13, n. 3, p. 67-80.

# APÊNDICE 1

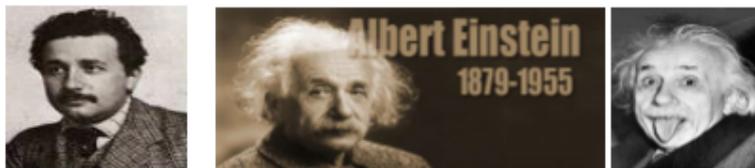
## Questionário preliminar

	Polo 30 do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física Departamento de Física / CCBS Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro	<b>MNPEF</b>
PESQUISA DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS SOBRE A TEORIA DA RELATIVIDADE REALIZADA NO COLÉGIO MUNICIPAL RUI BARBOSA EM 23/05/2018		
<b>ALUNO:</b>		<b>TURMA:</b>
<p>1 – Você já ouviu falar da teoria da relatividade? ( ) Sim ( ) Não</p> <p>2 – Você alguma vez estudou ou leu algo sobre a teoria da relatividade? ( ) Sim ( ) Não</p> <p>3 – Qual dos cientistas abaixo é o autor da teoria da relatividade? a) Isaac Newton b) Galileu c) Albert Einstein d) Arquimedes</p> <p>4 – Para que os fenômenos cinemáticos (movimento e velocidade) abordados pela teoria da relatividade restrita sejam <u>significativamente</u> percebidos são necessários alguns pré-requisitos. Assinale a alternativa abaixo que apresenta algum desses pré-requisitos: a) estar em uma nave a cerca de 500 m/s. b) que a temperatura do local esteja próxima a 40°C. c) estar em uma nave que se desloca na velocidade do som. d) estar em uma nave que se desloca a uma velocidade próxima da velocidade da luz.</p> <p>5 – Qual a velocidade do som no ar? a) 34.000 m/s b) 340 m/s c) 3.400 m/s d) 34 m/s</p> <p>6 – Qual a velocidade da luz no vácuo (aproximadamente)? a) 300.000.000 m/s b) 300 m/s c) 340.000 m/s d) 300.000 m/s</p> <p>7 - Em qual das opções abaixo os efeitos descritos na teoria da relatividade seriam mais significativos? a) num dia extremamente frio com temperaturas próximas de 0<sup>o</sup>C. b) voando numa nave com velocidade de 50% da velocidade da luz. c) voando numa nave com velocidade de 99% da velocidade da luz d) voando numa nave com velocidade de 99% da velocidade do som.</p> <p>8 - Sobre a teoria da relatividade pode-se afirmar: a) trata-se apenas de uma teoria sem comprovação científica. b) foi escrita por Isaac Newton. c) é uma teoria comprovada por diversos experimentos, entre esses podemos citar as experiências feitas com relógios atômicos em aviões. d) é uma teoria comprovada por diversos experimentos, entretanto a maioria desses experimentos não são considerados válidos.</p>		

## APÊNDICE 2

### Mini apostila sobre a Teoria da Relatividade

#### INFORMATIVO SOBRE A TEORIA DA RELATIVIDADE



Albert Einstein – autor da teoria da relatividade

A teoria da relatividade restrita foi desenvolvida no final do século XIX e início do século XX, e publicada por Albert Einstein em 1905. Nessa publicação, Einstein apresentava percepções sobre o tempo e o espaço de forma tão surpreendente à época que somente puderam ser comprovadas anos depois e até hoje em dia desafiam o senso comum da maioria das pessoas, especialmente o daquelas que não estudaram a fundo a teoria da relatividade e suas implicações.

A Teoria da Relatividade Restrita de Einstein apresenta 2 postulados:

*1º Postulado: As leis da Física são as mesmas para qualquer referencial inercial;*

*2º Postulado: A velocidade de propagação da luz no vácuo é constante e sempre igual a 299.792.458 m/s.*

A velocidade da luz no vácuo independe da velocidade da fonte que a emitiu.

Para explicar melhor, vamos comparar com o que ocorre ao lançarmos uma pedra de dentro de um carro:

O motorista de um carro que se desloca a 100 km/h arremessa para frente, na mesma direção e sentido do seu movimento, uma pedra a 50 km/h. No referencial do motorista a pedra estará a 50 km/h, ou seja, o motorista verá a pedra se deslocando a 50 km/h, mas para um observador parado na calçada, a pedra estará a 150 km/h, devido a somar a velocidade do carro (100 km/h) + velocidade da pedra (50 km/h). Nesse exemplo, repare que a velocidade da pedra dependerá de onde está quem a observa, pois para o motorista a pedra estará a 50 km/h enquanto que para um observador parado na estrada, a pedra estará a 150 km/h.

Entretanto, foi demonstrado que a velocidade da luz não se altera, ou seja, é sempre a mesma, tal fato foi evidenciado pelas equações do físico e matemático escocês James Clerk Maxwell (1831 – 1879).

Dessa forma, ao analisarmos um exemplo semelhante, onde o motorista desse mesmo carro liga uma lanterna apontando na mesma direção e sentido do carro, teremos que a velocidade da luz emitida pela lanterna será de 299.792.458 m/s para o motorista do carro a 100 km/h, entretanto a velocidade dessa luz emitida por essa lanterna em movimento (por estar dentro do carro) ao ser medida por um observador parado na estrada também deverá ser a 299.792.458 m/s. Repare que agora não somamos a velocidade do carro com a velocidade da luz, e mesmo que o carro estivesse a 50.000 km/h a velocidade da luz emitida pela lanterna dentro do carro não se alteraria

e seria vista com igual valor tanto para um observador dentro do carro como para um observador na estrada.

Através de seus postulados, Einstein proclama que a luz possui uma velocidade constante e invariável, independente da velocidade da fonte que a emitiu. A velocidade da luz no vácuo é igual a 299.792.458 m/s aproximadamente 300.000.000 m/s ou 300 mil quilômetros por segundo (o suficiente para dar quase 8 voltas completas em torno do equador da Terra em 1 segundo!), e costuma ser representada por “*c*”.

### **Evidências experimentais da Teoria da Relatividade Restrita**

Um dos fatos mais interessantes da teoria da relatividade restrita de Einstein é que ela consegue explicar uma série de fenômenos que não podem ser explicados no âmbito da física clássica e ao mesmo tempo prevê diversos fenômenos que até então eram desconhecidos, mas que posteriormente foram descobertos e comprovados. A seguir vamos abordar alguns destes fenômenos.

A teoria da relatividade restrita em seu 2º postulado afirma que a velocidade da luz é a mesma em qualquer direção, fato este comprovado por diversos pesquisadores, destacando-se os experimentos de **Michelson e Morley**, que fizeram ruir a crença na existência do referencial preferencial conhecido como éter luminífero.

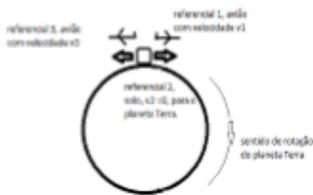
A relatividade de Einstein prevê alguns fenômenos como, por exemplo, a dilatação temporal e a contração dos comprimentos e fornece, através de cálculos, os resultados exatos do que deveria acontecer com uma partícula que se mova a velocidades muito elevadas, próximas à velocidade da luz.

Obtemos uma comprovação disso ao analisarmos, por exemplo, as partículas chamadas de múons.

As **partículas múons** formam-se na atmosfera e deslocam-se a velocidades próximas a 0,9 *c* (90% da velocidade da luz), entretanto o tempo de sua meia-vida (tempo que leva para um múon decair e se alterar) é de cerca de 2,2 μs. Mesmo viajando a uma velocidade tão alta, como seu tempo de meia-vida é muito pequeno, um múon dificilmente seria detectado na superfície terrestre, pois percorreria apenas cerca de 600 metros na atmosfera antes de decair. Contudo, devido aos efeitos relativísticos (**dilatação do tempo**), essas partículas são encontradas em abundância na superfície terrestre. O tempo passa mais devagar para a partícula múon durante sua viagem, devido a sua altíssima velocidade.

Outra comprovação das teorias da relatividade de Einstein foi obtida através da observação do que ocorre com relógios atômicos ao serem colocados em aviões (**experimento de Hafele-Keating**). Os relógios atômicos são relógios de extrema precisão, ou seja, após sincronizados, permaneceriam assim por até 100 mil anos, marcando o mesmo horário, entretanto relógios atômicos colocados em aviões acabaram ficando dessincronizados devido aos efeitos das altas velocidade de voo dos aviões.

Foi realizado o seguinte experimento utilizando relógios atômicos: 4 relógios foram colocados a bordo de um avião que deu 2 voltas em torno do planeta Terra, na primeira vez no mesmo sentido de rotação da Terra e em seguida no sentido contrário, enquanto que um relógio ficou no solo para comparar os resultados.



Após o experimento, constatou-se que os relógios marcavam horários diferentes. Tudo conforme os valores previstos matematicamente pela teoria da relatividade de Einstein. Houve uma dilatação temporal maior para o relógio mais veloz, quanto maior a velocidade de deslocamento, mais lento o tempo passa. CHAMA-SE ESSE FENÔMENO DE DILATAÇÃO TEMPORAL.

OBS. As diferenças encontradas foram muito pequenas, devido ao fato da velocidade do avião (cerca de 250 m/s) ser muito pequena se comparada a velocidade da luz (300.000.000 m/s).

Esse fenômeno de dilatação temporal está sempre ocorrendo quando nos deslocamos, ou seja, quando temos velocidade, mas pelo fato de nossas velocidades no dia a dia serem muito pequenas, os efeitos da dilatação temporal são completamente imperceptíveis.

*Quanto maior a velocidade mais significativa é a dilatação temporal.*

*Da mesma forma, outro fenômeno que ocorre é a contração dos comprimentos.*

### O Paradoxo dos Gêmeos

Conforme já vimos acima, o tempo transcorre diferentemente quando medido em referenciais que se encontram em movimento relativo entre si.

Portanto se um de dois irmãos gêmeos embarcar em uma nave capaz de alcançar velocidades muito altas, para uma viagem de ida e volta, para um lugar bem distante, haverá uma dilatação temporal para o gêmeo que viajar, ou seja, para esse gêmeo passará menos tempo do que para o gêmeo que ficar no planeta Terra, assim quando os dois gêmeos se reencontrarem, o gêmeo que viajou estará mais novo que o gêmeo que ficou no planeta Terra.

Quanto maior a velocidade do deslocamento maior será o efeito gerado, por exemplo, poderá passar apenas 1 ano para o gêmeo que viajar enquanto poderá passar 3 anos para o gêmeo que ficar na Terra, mas se aumentarmos ainda mais a velocidade da nave poderá passar apenas 1 ano para o gêmeo que viajar enquanto poderá passar 80 anos para o gêmeo que ficar na Terra, mas de qualquer forma esses efeitos somente serão significativos para altas velocidades próximas a velocidade da luz, e quanto mais próximo estiver da velocidade da luz, maior será o efeito gerado.

Percebe-se que a velocidade de deslocamento interfere na passagem do tempo para cada gêmeo, entretanto chama-se esse fenômeno de paradoxo dos gêmeos pois surge uma aparente contradição, afinal se o gêmeo que viaja olhar para a Terra ele poderá concluir que é a Terra que se afasta dele, já que não existe um referencial

preferencial e, portanto, para o viajante quem se move é a Terra, enquanto que o gêmeo na Terra discorda e diz que quem se afasta é o gêmeo na nave.

Sabemos, conforme já foi demonstrado anteriormente, que o tempo passa mais lentamente para o referencial que se move mais rápido, mas nesse caso, quem se move mais rápido?

Mas se ambos se deslocam um em relação ao outro, porque um é afetado diferentemente do outro? Por isso chamamos esse fenômeno de “**Paradoxo dos Gêmeos**”.

Vamos analisar:

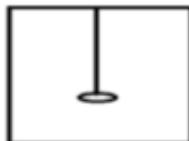
Em primeiro lugar, já foi comprovado através de diversos experimentos que o tempo passa mais lentamente para aquele que se desloca a velocidades mais elevadas, como exemplo disso temos o que ocorre com as partículas múons.

Mas poderia haver um questionamento sobre quem de fato está em movimento, pois o gêmeo que viaja vê o gêmeo na Terra se afastando da mesma forma que o que está na Terra vê seu irmão se afastando. Então, qual dos dois referenciais deve ser considerado, de fato, em movimento? Felizmente há uma diferença entre esses dois referenciais e perceber essa diferença nos permite encontrar uma resposta para o Paradoxo dos Gêmeos.

**Essa diferença é a aceleração.** O que somente ocorreu no referencial do gêmeo que viajou, e a aceleração pode ser incontestavelmente percebida.

Imagine que você está em um ônibus o qual se desloca executando um movimento retilíneo e uniforme, ou seja, sem aceleração, você não terá dificuldade nenhuma para beber um copo d’água, entretanto se o ônibus frear ou acelerar bruscamente, então você terá dificuldades para beber seu copo de água. Isso demonstra que é possível detectar qual referencial que está sendo acelerado, pois isso causa efeitos perceptíveis e incontestáveis. Outro exemplo, imagine um pequeno pêndulo pendurado no teto do ônibus, enquanto o seu meio de transporte estiver em movimento retilíneo e uniforme nada acontecerá, entretanto se houver aceleração ou curva no deslocar desse meio de transporte poderemos ver o pêndulo se mover, portanto é possível saber qual referencial está sendo acelerado. Portanto, como a nave em que o gêmeo embarcou acelera, isso poderá ser comprovado pelo movimento do pêndulo, é nela que há aumento da velocidade, podemos concluir que o tempo passará mais lentamente para o gêmeo que viaja.

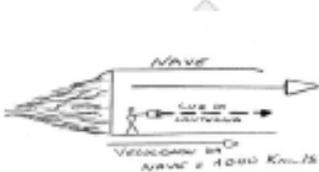
Pêndulo em um referencial  
com movimento retilíneo  
e uniforme.



Pêndulo em um referencial  
com movimento acelerado.





	<p style="text-align: center;"><b>Polo 30 do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física</b>  <b>Departamento de Física / CCBS</b>  <b>Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro</b></p>	
<p>12 – Um passageiro de um trem que se desloca a 100 km/h da esquerda para a direita, arremessa uma bola a 20 km/h em relação a ele mesmo no mesmo sentido e direção do trem, qual será a velocidade da bola para um passageiro que observa de uma plataforma a passagem do trem?</p> <p>a) 120 km/h  b) 80 km/h  c) 100 km/h  d) 20 km/h</p> <p>13 – Um passageiro de uma nave que se desloca a 1000 km/s da esquerda para a direita, liga uma lanterna apontando na mesma direção e sentido da nave (ver figura abaixo), qual será a velocidade da luz da lanterna para um observador que observa de uma plataforma a passagem da nave?</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>a) 299.000 km/s  b) 1.000 km/s  c) 300.000 km/s  d) 301.000 km/s</p> <p>14 – Podemos afirmar que os fenômenos abaixo são relacionados com a teoria da relatividade, exceto um deles, qual?</p> <p>a) dilatação do tempo  b) velocidade da luz aumentar de acordo com o aumento da velocidade da fonte emissora.  c) velocidade da luz não se alterar  d) contração do espaço</p> <p>15 – Foi realizada a seguinte experiência com 2 irmãos gêmeos, um deles embarcou em uma nave espacial que viaja a uma velocidade <math>V = 0,8 c</math>, foi a um destino longínquo e depois retornou à Terra. Assinale a opção abaixo que está correta:</p> <p>a) teremos que o gêmeo que viajou na nave, quando retornar e se reencontrar com o gêmeo que ficou, estará mais velho do que o que ficou no planeta Terra.  b) teremos que o gêmeo que viajou na nave, quando retornar e se reencontrar com o gêmeo que ficou, terá a mesma idade do que o que ficou no planeta Terra.  c) teremos que o gêmeo que viajou na nave, quando retornar e se reencontrar com o gêmeo que ficou, terá menos idade do que o que ficou no planeta Terra.  d) teremos que o gêmeo que viajou na nave, quando retornar e se reencontrar com o gêmeo que ficou, estará exatamente 1 ano mais velho do que o que ficou no planeta Terra.</p> <p>16 – Se na experiência realizada na questão 15 (acima), a velocidade da nave espacial fosse <math>V = 0,99 c</math>, ou seja, mais veloz que a de questão 15, teremos que:</p> <p>a) o gêmeo que viajou na nave, quando retornar e se reencontrar com o gêmeo que ficou, terá mais idade do que teria caso tivesse viajado a <math>0,8c</math>.  b) o gêmeo que viajou na nave com <math>V = 0,99 c</math>, quando retornar e se reencontrar com o gêmeo que ficou, terá a mesma idade que teria se tivesse viajado com <math>V = 0,8 c</math>.  c) teremos que o gêmeo que viajou na nave, quando retornar e se reencontrar com o gêmeo que ficou, estará exatamente 99 anos mais velho do que o que ficou no planeta Terra.  d) o gêmeo que viajou na nave, quando retornar e se reencontrar com o gêmeo que ficou, terá menos idade do que teria caso tivesse viajado a <math>0,6 c</math>.</p>		

## APÊNDICE 4

### Imagem da planilha com a calculadora de dilatação temporal

Digite a distância do seu destino e a velocidade de sua nave veja quanto tempo passará para quem ficar na Terra e para quem viajar na nave.

	Digite abaixo:		
	↓		
distância (anos luz) →	40,0		→ A distância deve ser positiva.
Velocidade da nave ( $c$ ) onde $0 < c < 1$ →	0,990000		→ A velocidade deve ser positiva e menor que a velocidade da luz.
Tempo para quem ficar na Terra	80	Anos	9 Meses 20 Dias 21 Horas 49 Minutos 5 Segundos
Tempo para quem viajar na nave	11	Anos	4 Meses 23 Dias 18 Horas 39 Minutos 56 Segundos

[Parar voltar para o Simulador do Paradoxo dos gêmeos, CLIQUE AQUI.](#)

Figura A4.1 - Imagem da planilha com a calculadora de dilatação temporal.

## **APÊNDICE 5**

### **Slides do Power Point do Simulador do Paradoxo dos Gêmeos**

#### **Observação:**

Os slides foram colocados no Apêndice 5 em uma ordem sequencial numérica, entretanto no momento do uso do Simulador do Paradoxo dos Gêmeos, a passagem dos slides não segue esta sequência, pois essa troca slides é feita seguindo as instruções programadas no Simulador através dos hyperlinks.

Por exemplo, no slide 39, você poderá escolher entre 6 opções de destino.

Ao escolher o destino 2, as instruções programadas no Simulador do Paradoxo dos Gêmeos te levarão para o Slide 45, entretanto, se escolher o destino 3, você será encaminhado para o slide 49, mas se resolver escolher o destino 6, você será levado para o slide 75.

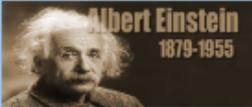
**Slide 1:**

Seja Bem-Vindo!

Você agora irá utilizar o “**Simulador do Paradoxo dos Gêmeos**”

Aqui, você poderá observar como o TEMPO passa diferentemente,  
conforme a VELOCIDADE com que nos deslocamos.

Fundamentado na Teoria da Relatividade Restrita de Albert Einstein.



[CLIQUE AQUI](#)

**Slide 2:**

*PARA UTILIZAR O SIMULADOR DO PARADOXO  
DOS GÊMEOS CLIQUE SOMENTE NO LOCAL  
INDICADO:*

[CLIQUE AQUI](#)

OU

[PRÓXIMO SLIDE](#)

Slide 3

 <p>UNIRIO</p>	<p>Polo 30 do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física Departamento de Física / CCBS Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro</p>	<p><b>MNPEF</b></p>
<p>TÍTULO:</p> <p><b>INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA VIA PARADOXO DOS GÊMEOS: UMA PROPOSTA PARA O ENSINO MÉDIO</b></p> <p>Mestrando: MARCELO LINHARES GATTI</p> <p>Orientador: Prof. Dr. LEONARDO MONDAINI</p> <p><b>Próximo Slide</b></p>		

Slide 4

**PROTEGIDO PELA LEI DE DIREITOS AUTORAIS**



**Presidência da República**  
Casa Civil  
Subchefia para Assuntos Jurídicos

[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19610.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19610.htm)

**Próximo Slide**

Slide 5

Olá, seja Bem Vindo!!!!

[Próximo Slide](#)

Slide 6

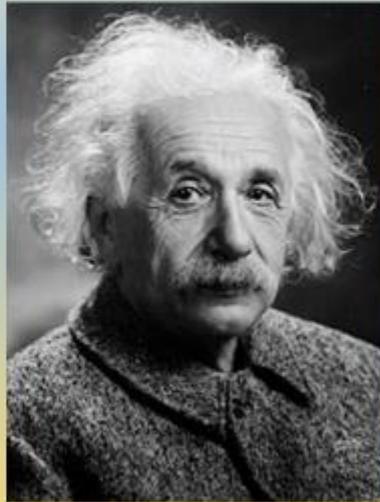
Você já ouviu falar sobre a

**TEORIA DA RELATIVIDADE?**

[Próximo Slide](#)

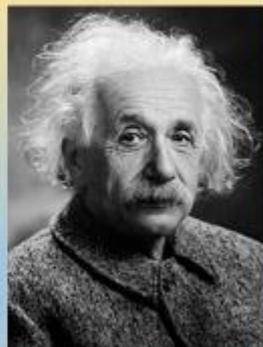
Slide 7

E de Albert Einstein?



[Próximo Slide](#)

Slide 8



*Albert Einstein foi um físico alemão.*

*Einstein desenvolveu a **TEORIA DA RELATIVIDADE.***

[Próximo Slide](#)

Slide 9

**A TEORIA DA RELATIVIDADE APRESENTA 2 POSTULADOS.**

**1º Postulado:**

***As leis da Física são as mesmas para qualquer referencial inercial.***

**Próximo Slide**

Slide 10

**2º Postulado:**

***A velocidade de propagação da luz no vácuo é constante e sempre igual a 299.792.458 m/s.***

**Próximo Slide**

Slide 11

Chamamos a velocidade da luz de “c”

Velocidade da luz  $\cong$  300.000.000 m/s

Velocidade do som no ar = 340 m/s

[Próximo Slide](#)

Slide 12

***Segundo a Teoria da Relatividade de Einstein: o tempo é relativo.***

***Mas isso só se torna perceptível quando viajamos a velocidades muito elevadas.***

[Próximo Slide](#)

Slide 13

*Você já ouviu falar do paradoxo dos gêmeos?*



[Próximo Slide](#)

Slide 14



Se apenas um deles embarcasse em uma nave capaz de alcançar velocidades próximas a da luz e o outro ficasse na terra.

*O que aconteceria?*

[Próximo Slide](#)

## Slide 15

Ainda não conseguimos desenvolver uma nave tão veloz,  
mas quem sabe,  
algum dia conseguiremos!



[Próximo Slide](#)

## Slide 16

*Vamos Viajar?*

Nos próximos Slides,  
escolha uma nave (velocidade)  
e depois um destino (distância).

[Próximo Slide](#)

Slide 17

O SIMULADOR DO PARADOXO DOS GÊMEOS  
fundamentado  
**NA TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA**  
DE ALBERT EINSTEIN

Fará os cálculos para você e mostrará os resultados

Caso você deseje se aprofundar ainda mais nos estudos, procure ler também  
sobre a TEORIA DA RELATIVIDADE GERAL DE ALBERT EINSTEIN.

**PRÓXIMO SLIDE**

Slide 18

**Escolha uma nave. Clique em cima dela e depois escolha seu destino!**

Nave A 269.812 km/s ou seja <b>0,9 c</b>		Criado por M A R C E L O G A T T I
Nave B 296.794 km/s ou seja <b>0,99 c</b>		
Nave C 296.794 km/s ou seja <b>0,9999999 c</b>		

## Slide 19

### Escolha seu destino, clique na imagem escolhida:

#### Destino 1 –

Estação espacial próxima ao planeta Próxima B, que orbita a estrela Próxima Centauri, distante cerca de **4,24 anos luz da Terra.**



#### Destino 2 –

Estação espacial próxima ao planeta Gliese 832, distante cerca de **16 anos luz da Terra.**



Destino 3 – Estação espacial próxima ao planeta “e” do sistema planetário TRAPPIST-1, distante **40 anos luz da terra.**



Criado  
por  
M  
A  
R  
C  
E  
L  
O  
G  
A  
T  
T  
I

## Slide 20

### Escolha seu destino, clique na imagem escolhida:

#### Destino 1 –

Estação espacial próxima ao planeta Próxima B, que orbita a estrela Próxima Centauri, distante cerca de **4,24 anos luz da Terra.**



#### Destino 2 –

Estação espacial próxima ao planeta Gliese 832, distante cerca de **16 anos luz da Terra.**



Destino 3 – Estação espacial próxima ao planeta “e” do sistema planetário TRAPPIST-1, distante **40 anos luz da terra.**



Criado  
por  
M  
A  
R  
C  
E  
L  
O  
G  
A  
T  
T  
I

## Slide 21

**Escolha seu destino, clique na imagem escolhida:**

Destino 1 – **4,24 anos luz da Terra.** 

Destino 2 – **16 anos luz da Terra.** 

Destino 3 – **40 anos luz da Terra.** 

Destino 4 – **500 anos luz da Terra.** 

Destino 5 – **1.009 anos luz da Terra.** 

Destino 6 – **5.000 anos luz da Terra.** 

Criado por MARCELO GATTI

## Slide 22

V = 0,999999 c      Planeta Próxima B – 4,24 anos luz de distância

*Você escolheu a opção C -1:*  

Para o gêmeo que viajou passaram apenas **4 dias e 7 horas**, ele estará assim:



como estará o gêmeo que ficou na Terra?

Clique **AQUI** para ver um ao lado do outro, e note a diferença!!!!

Criado por MARCELO GATTI

Slide 23

Gêmeo que **ficou na Terra**      Gêmeo que **viajou** na Nave

Terá **8 anos, 5 meses e 22 dias**      Terá cerca de **4 dias!!**



**Idades diferentes!**

Quer fazer mais uma viagem? Clique **AQUI**

Se quiser parar, clique **PARAR**.

Slide 24

$v = 0,999999 c$       16 anos luz da terra.

Você escolheu a opção C - 2:



Quando o gêmeo que viajou voltar a terra,  
**O QUE FICOU ESTARÁ ASSIM:**

Cerca de **32 anos!**



E o outro, o gêmeo que viajou, como estará?  
Clique **AQUI** para ver um ao lado do outro,  
e note a diferença!

Criado por M A R C E L O G A T T I

Slide 25

*Gêmeo que ficou na Terra*  
Terá cerca de **32 anos!!!**



*Gêmeo que Viajou na Nave*  
Terá cerca de **16 dias e 7 horas!!**



Quer fazer mais uma viagem? Clique **Aqui**

*Se quiser parar, clique **PARAR.***

Slide 26

$v = 0,999999 c$       40 anos luz da terra.

*Você escolheu a opção C - 3:*



**Quando o gêmeo que viajou voltar a terra,  
O QUE FICOU ESTARÁ ASSIM:**

**Cerca de 80 anos!**



E o outro, o gêmeo que viajou, como estará?  
Clique **AQUI** para ver um ao lado do outro,  
e note a diferença!

Criado  
por  
M  
A  
R  
C  
E  
L  
O  
G  
A  
T  
T  
I

Slide 27

Gêmeo que ficou na Terra  
Terá cerca de **80** anos!!!



Gêmeo que Viajou na Nave terá  
cerca de **1 mês e 10 dias!!**



Criado  
por  
M  
A  
R  
C  
E  
L  
O  
G  
A  
T  
T  
I

Quer fazer mais uma viagem? Clique [Aqui](#)

Se quiser parar, clique [PARAR](#).

Slide 28

$v = 0,999999 c$

500 anos luz da terra.

Você escolheu a opção C - 4:



Quando o gêmeo que viajou voltar, ele terá **1 ano 4 meses 29 dias.**



Criado  
por  
M  
A  
R  
C  
E  
L  
O  
G  
A  
T  
T  
I

E o outro, o gêmeo? [Clique Aqui](#)

Slide 29

***O Gêmeo que ficou na Terra já terá falecido,  
pois terão passado 1000 anos!***

***SUPONDO QUE A VIAGEM SE INICIOU NO ANO ZERO,  
NO NASCIMENTO DE JESUS.***



***Veja aqui algumas coisas que aconteceram no  
planeta Terra enquanto o gêmeo viajava:***

**[CLIQUE AQUI](#)**

Criado  
por  
M  
A  
R  
C  
E  
L  
O  
G  
A  
T  
T  
I

Slide 30



***Ano 33 - Jesus é crucificado.***



***Grande incêndio em Roma.  
Nero é um dos suspeitos.***



***Ano 476 – Queda do Império Romano do  
ocidente e Fim do Mundo Antigo.***



***Início da Idade Média  
Até os anos 1000, ainda na Idade Média.***

**[Quer fazer mais uma viagem? Clique \*\*Aqui\*\*](#)**

***Se quiser parar, clique [PARAR](#).***



## Slide 33

Crucificação de Jesus Cristo



Grande incêndio em Roma  
Nero é um dos suspeitos.



Expansão de Roma



Próximo slide

## Slide 34



<https://zuani1f.wordpress.com/roma/>

**Ano 476 – Queda do Império Romano do ocidente.**



<https://mundocolidem.com.br/madievo-rpg-na-baixa-idade-medieval/>

**Idade média de 476 até 1453**  
(quando os turcos otomanos tomaram a cidade de Constantinopla, capital do Império Bizantino, ou Império Romano do Oriente.)

Grandes Navegações 1500 - Descoberta do Brasil



1667 – Isac Newton e a gravidade



Próximo slide

## Slide 35

Independência do Brasil – 1822



A pintura retrata os Marechais, no campo de Ouraço, durante a proclamação da Independência

Thomas Alva Edison – 1879 – Lâmpada Elétrica



1ª Guerra Mundial – 1914 - 1918



2ª Guerra Mundial - 1939 a 1945



[Próximo slide](#)

## Slide 36

Início Guerra Fria - 1947



Chegada do homem à lua - 1969



Fim da guerra fria – década de 90



[Próximo slide](#)

Slide 37

Atentado torres gêmeas - 2001



Tsunami Indonésia 2004



Eleição Donald Trump 2016



[Próximo slide](#)

Slide 38

**Quando o gêmeo que viajou voltar, ele terá *2 ano e 10 meses*.**



<https://bebe.abril.com.br/maternidade/o-dois-achamento-de-cinco-de-3-anos/>



**Quer fazer mais uma viagem? Clique [Aqui](#)**

*Se quiser parar, clique [PARAR](#)*

Criado por **MARCELO GATTI**

Slide 39

$v = 0,999999 c$  **2000 anos luz da terra.**

Você escolheu a opção C - 6:



<http://Zforum.igoes.uol.com.br/Zbomba-nasa-choica-avistando>

Quando o gêmeo que viajou voltar, ele terá **5 anos, 7 meses e 26 dias.**



E o outro, o gêmeo? [Clique Aqui](#)

Criado por M A R C E L O G A T T I

Slide 40

***O Outro gêmeo já faleceu a milhares de anos atrás,  
e o planeta Terra estará no ano 4.000 dc.***

***Como nosso Planeta estará?***

***Tente adivinhar...***

[Quer fazer mais uma viagem? Clique \*\*Aqui\*\*](#)

Se quiser parar, clique [PARAR.](#)

Criado por M A R C E L O G A T T I

## Slide 41

V = 0,9c

Planeta Próxima B – 4,24 anos luz de distância

Você escolheu a opção A -1:



Quando o gêmeo que **viajou voltar a terra**, ele estará assim:  
**Cerca de 4 anos 1 mês e 8 dias**



como estará o gêmeo que ficou na Terra?  
Clique **AQUI** para ver um ao lado do outro,  
e note a diferença!!!!

Criado por M A R C E L O G A T T I

## Slide 42

Gêmeo que **ficou na Terra**

Terá cerca de **9 anos e 5 meses!!!**

Gêmeo que **viajou na Nave**

Terá cerca de **4 anos e 1 mês**

**Idades diferentes!**



Quer fazer mais uma viagem? Clique **AQUI**

Se quiser parar, clique **PARAR.**

Criado por M A R C E L O G A T T I

## Slide 43

Quer fazer mais uma viagem?  
Então responda:

Qual o nome do cientista que desenvolveu a  
teoria da relatividade?

Clique em cima da resposta:

- A) [Tomas Edison](#)
- B) [Isaac Newton](#)
- c) [Albert Einstein](#)

Se quiser parar, clique [PARAR](#).

## Slide 44

Você escolheu a opção A - 2:



Quando o gêmeo que *viajou voltar a terra*, ele estará assim:

**Cerca de 15 anos 5 meses e 29 dias**



E o outro, o gêmeo que ficou como estará???

Clique [AQUI](#) para ver um ao lado do outro,  
e note a diferença!!!!

Slide 45

Gêmeo que *ficou na Terra*

Terá cerca de **35 anos 6 meses 20 dias!!!**



Gêmeo que *Viajou na Nave*

Terá cerca de **15 anos 5 meses 29 dias!!!**



**Idades diferentes!**

Quer fazer mais uma viagem? Clique [Aqui](#)

Se quiser parar, clique [PARAR](#).

Slide 46

$v = 0,9 c$

40 anos luz da terra.

Você escolheu a opção A - 3:



Quando o gêmeo que viajou voltar a terra,  
O QUE **FICOU** ESTARÁ ASSIM:

Cerca de **88 anos 10 meses 19 dias!**



E o outro, o gêmeo que viajou, como estará???

Clique [AQUI](#) para ver um ao lado do outro,  
e note a diferença!!!!

Slide 47

*Gêmeo que ficou na Terra*  
Terá cerca de **88** anos e 10 meses!

*Gêmeo que Viajou na Nave*  
Terá cerca de **38** anos e 9 meses!



[Quer fazer mais uma viagem? Clique \*\*Aqui\*\*](#)

Se quiser parar, clique [PARAR](#).

Slide 48

Você escolheu a opção B - 1:



Quando o gêmeo que viajou voltar a terra, ele estará assim:  
**Cerca de 1 ano, 2 meses e 15 dias**



<http://www.semanaesemana.com.br/1-9anos/bebe-com-1-ano-e-2-meses-de-idade.htm>

E o outro, o gêmeo que ficou como estará?  
Clique [AQUI](#) para ver um ao lado do outro,  
e note a diferença!

Slide 49

**Gêmeo que ficou na Terra**

Terá cerca de **8 anos 6 meses 23 dias!**



**Gêmeo que Viajou na Nave**

Terá cerca de **1 ano 2 meses e 15 dias!**



Quer fazer mais uma viagem? Clique **Aqui**

Se quiser parar, clique **PARAR**.

Slide 50

Você escolheu a opção B - 2:



$V = 0,99 c$

O planeta Gliese 832,  
16 anos luz da Terra.



Quando o gêmeo que **viajou voltar** a terra, ele estará assim:

Cerca de **4 anos 6 meses e 21 dias**



E o outro, o gêmeo que ficou como estará???

Clique **AQUI** para ver um ao lado do outro, e note a diferença!!!!

Slide 51

**Gêmeo que ficou na Terra**

Terá cerca de **32 anos e 4 meses!**



**Gêmeo que Viajou na Nave**

Terá cerca de **4 anos 6 meses 21 dias!**



Quer fazer mais uma viagem? Clique [Aqui](#)

Se quiser parar, clique [PARAR](#).

Slide 52

V = 0,99 c

Destino 3 – O planeta "e" 40 anos luz da terra.

Você escolheu a opção B - 3:



Quando o gêmeo que **viajou** voltar a terra, ele estará assim:

Cerca de **11 anos 4 meses e 23 dias**



**E o outro, o gêmeo que ficou como estará???**

**Clique [AQUI](#) para ver um ao lado do outro, e note a diferença!!!!**

Slide 53

Gêmeo que **ficou** na Terra

Terá cerca de **80** anos e 10 meses!



Gêmeo que **Viajou** na Nave

Terá cerca de **11** anos e 5 meses!



Quer fazer mais uma viagem? Clique **Aqui**

Se quiser parar, clique **PARAR**.

Slide 54

ERRADO!!! Clique **AQUI** para tentar de novo.

## Slide 55

Ok, Parabéns!!

Agora, falta só mais uma pergunta:

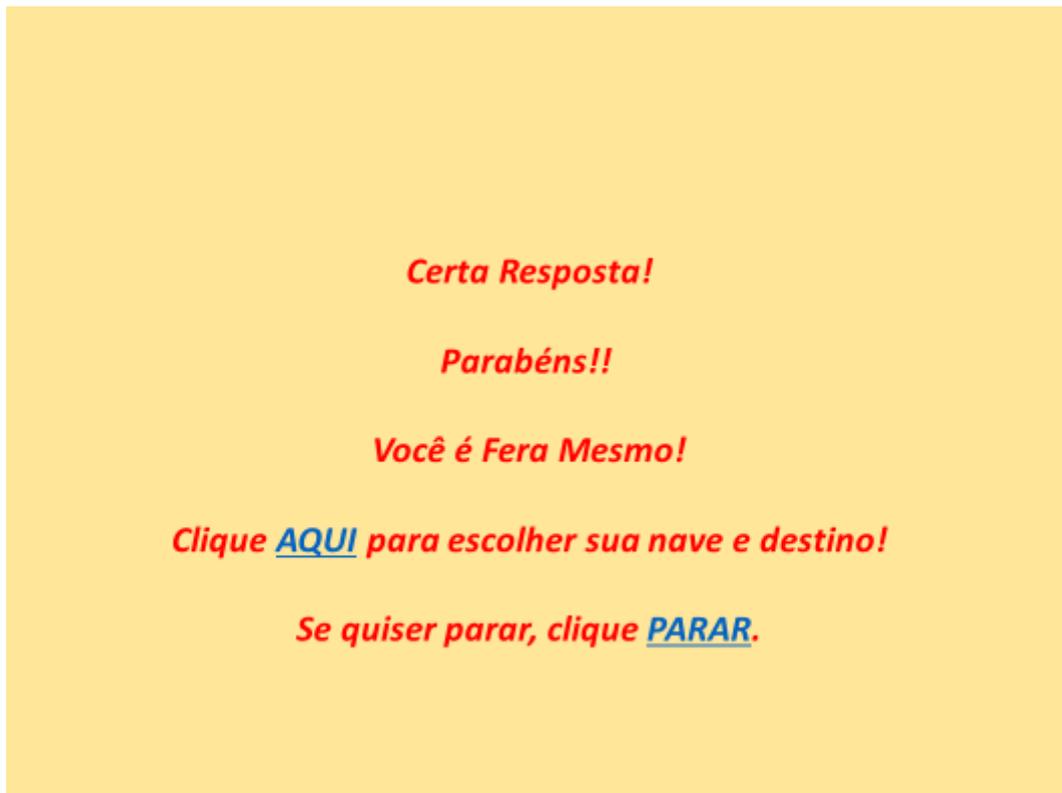
Qual o nome do cientista que inventou a lâmpada elétrica?

- A) [Thomas Edison](#)
- B) [Isaac Newton](#)
- C) [Albert Einstein](#)

## Slide 56

ERRADO!!! Clique [AQUI](#) para tentar de novo.

**Slide 57**



**Slide 58**



**Slide 59**

A velocidade da luz no vácuo nunca se altera.

A velocidade da luz no vácuo independe da velocidade da fonte que a emitiu.

[Clique aqui](#)

**Slide 60**

*A luz emitida pelo farol de um avião a 1000 km/h  
tem exatamente a mesma velocidade que a luz  
emitida pelo farol desse avião quando está parado.*

[clique AQUI](#)

Slide 61

*A Teoria da Relatividade Restrita em seu 2º postulado afirma que a velocidade da luz é a mesma em qualquer direção*

[Próximo Slide, clique AQUI](#)

Slide 62

*Isso foi comprovado por diversos pesquisadores, destacando-se os experimentos de Michelson e Morley.*

[clique AQUI](#)

## Slide 63

A relatividade de Einstein prevê alguns fenômenos como, por exemplo, a **dilatação temporal** e a **contração dos espaços**.

*[Próximo Slide, clique AQUI](#)*

## Slide 64

A Teoria da relatividade de Einstein fornece, através de cálculos, os resultados exatos do que acontece com uma partícula que se mova a velocidades muito elevadas, próximas à velocidade da luz

*[Próximo Slide, clique AQUI](#)*

## Slide 65

*Obtemos uma comprovação disso ao analisarmos, por exemplo, as **partículas múons**, pois essas somente podem ser encontradas na superfície terrestre devido a dilatação temporal gerada por sua altíssima velocidade igual a 90% da velocidade da luz.*

[Próximo Slide, clique \*\*AQUI\*\*](#)

## Slide 66

Outra comprovação das Teorias da Relatividade de Einstein foi obtida através da observação do que ocorre com relógios atômicos ao serem colocados em aviões (experimento de Hafele-Keating).

[clique \*\*AQUI\*\*](#)

Slide 67

Houve uma maior dilatação temporal para o relógio no avião mais veloz, ou seja, quanto maior a velocidade de deslocamento mais lento o tempo passa.

*CHAMA-SE ESSE FENÔMENO DE DILATAÇÃO TEMPORAL.*

[clique AQUI](#)

Slide 68

*Quanto maior a velocidade mais significativa é a **dilatação temporal.***

*Da mesma forma, outro fenômeno que ocorre é a **contração dos espaços.***

[clique AQUI](#)

## Slide 69

### O Paradoxo dos Gêmeos

O tempo transcorre diferentemente quando medido em referenciais que se encontram em movimento relativo entre si.

Portanto se um de dois irmãos gêmeos embarcar em uma nave para uma viagem de ida e volta, haverá uma dilatação temporal para o gêmeo que viajar, ou seja, para esse gêmeo passará menos tempo do que para o gêmeo que ficar no planeta Terra.

*Próximo Slide, clique **AQUI***

## Slide 70

Assim, quando os dois gêmeos se reencontrarem, o gêmeo que viajou estará mais novo que o Gêmeo que ficou no planeta Terra.

*Próximo Slide, clique **AQUI***

## Slide 71

*Quanto maior a velocidade do deslocamento maior será o efeito gerado!*

Poderá passar apenas **1 ano** para o gêmeo que viajar enquanto poderá passar **3 anos** para o gêmeo que ficar na Terra,

mas se aumentarmos ainda mais a velocidade da nave poderá passar apenas **1 ano** para o gêmeo que viajar enquanto poderá passar **80 anos** para o gêmeo que ficar na Terra.

[clique AQUI](#)

## Slide 72

mas de qualquer forma esses efeitos somente serão significativos para altas velocidades,

próximas a velocidade da luz,

**e quanto mais próximo estiver da velocidade da luz maior será o efeito gerado.**

[clique AQUI](#)

### Slide 73

O motorista de um carro que se desloca a 100 km/h arremessa para frente uma pedra a 50km/h na mesma direção e sentido do seu movimento.

*Próximo Slide, clique **AQUI***

### Slide 74

Para o referencial do motorista a pedra estará a 50 km/h, ou seja, o motorista verá a bola se deslocando a 50 km/h,

mas para um observador parado na calçada, a pedra estará a 150 km/h, devido a somar a velocidade do carro (100 km/h) com a velocidade da pedra (50 km/h).

*Próximo Slide, clique **AQUI***

## Slide 75

Repare que a velocidade da pedra dependerá de onde está quem a observa,  
pois para o motorista a pedra estará a 50km/h enquanto que para um observador parado na estrada, a pedra estará a 150km/h,

somou-se as velocidades do carro e da pedra.

**Essa soma de velocidades não ocorre para a luz!**

*Próximo Slide, clique **AQUI***

## Slide 76

A velocidade da luz não se altera, ou seja, é sempre a mesma, tal fato foi evidenciado pelas equações do físico e matemático escocês James Clerk Maxwell (1831 – 1879).

*Próximo Slide, clique **AQUI***

## Slide 77

A velocidade da luz não se altera, ou seja, é sempre a mesma, tal fato foi evidenciado pelas equações do físico e matemático escocês James Clerk Maxwell (1831 – 1879).

*Próximo Slide, clique **AQUI***

## Slide 78

O motorista de um carro em movimento liga uma lanterna apontando na mesma direção e sentido do carro, teremos que a velocidade da luz emitida pela lanterna será de aproximadamente 300.000 km/s para o motorista do carro.

A velocidade dessa luz emitida por essa lanterna ao ser medida por um observador parado na estrada também deverá ser a mesma.

*Próximo Slide, clique **AQUI***

## Slide 79

Repare que agora não somamos a velocidade do carro com a velocidade da luz, e mesmo que o carro estivesse a 50.000 km/h a velocidade da luz emitida pela lanterna dentro do carro não se alteraria e seria vista com igual valor tanto para um observador dentro do carro como para um observador parado na estrada.

**Então Einstein concluiu: quem vai se alterar é o TEMPO e o ESPAÇO!**

*Próximo Slide, clique [AQUI](#)*

## Slide 80

### Em 1 segundo:

O som percorre 340 metros.

A luz percorre 300.000.000 metros.

A luz dá quase 8 voltas em torno da Terra.

*Próximo Slide, clique [AQUI](#)*

**Slide 81**

***Quantos quilômetros a luz percorre em 10 segundos?***

***a) 300.000 km = 300 mil quilômetros***

***b) 3.000.000 km = 3 milhões de quilômetros***

***c) 30.000 km = 30 mil quilômetros***

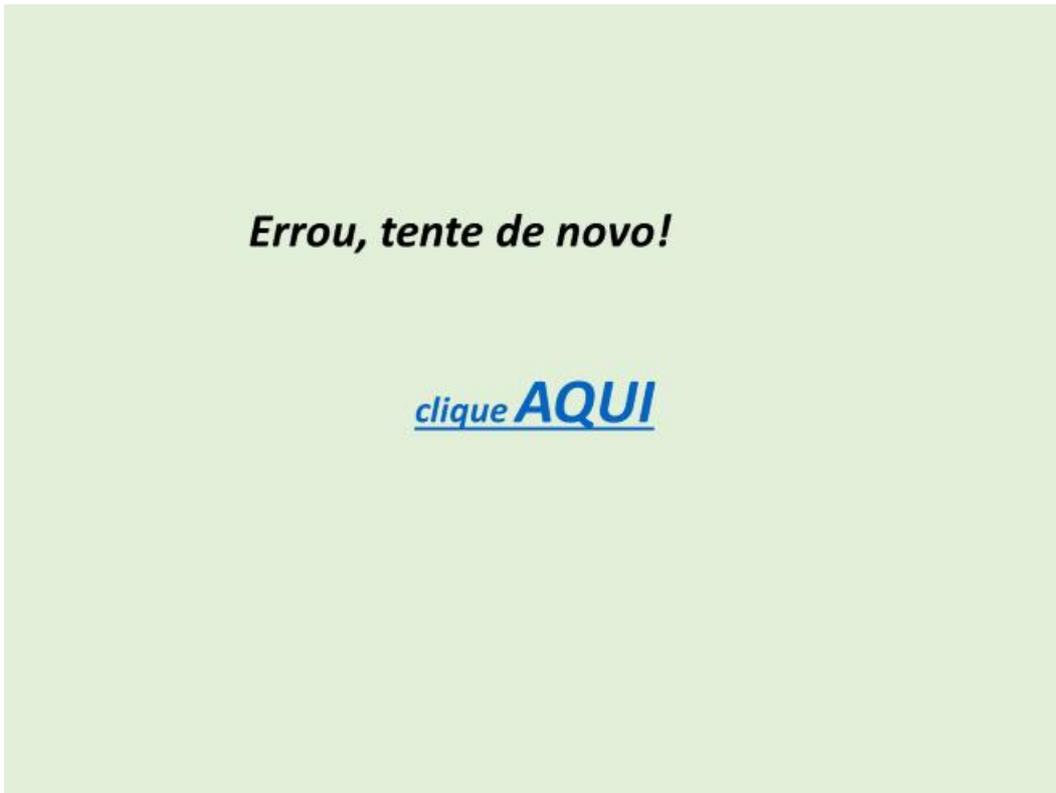
**Slide 82**

***Ok, parabéns!***

***Acertou!***

***Próximo Slide, clique [AQUI](#)***

Slide 83



Slide 84

**Para continuar, escolha uma letra:**

<u>( A )</u>	<u>( B )</u>	<u>( C )</u>
<u>( D )</u>	<u>( E )</u>	<u>( F )</u>
<u>( G )</u>	<u>( H )</u>	<u>( I )</u>
<u>( J )</u>	<u>( L )</u>	<u>( M )</u>
<u>( Calculadora de dilatação temporal )</u>	<u>( O )</u>	<u>( P )</u>
<u>( Ler mini apostila )</u>	<u>( Visualizar a contração do Espaço )</u>	<u>( Sobre o Autor )</u>

Criado por M A R C E L O G A T T I

Slide 85

Quanto maior a velocidade de deslocamento mais lento o tempo passa.

**CHAMA-SE ESSE FENÔMENO DE DILATAÇÃO TEMPORAL.**

Próximo Slide, clique **AQUI**

Slide 86

**Para calcular quanto tempo passará para o gêmeo viajante usa-se o fator de Lorentz ( $\gamma$ ):**

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

$$\Delta t = \gamma * \Delta t_0$$

$\Delta t$  = tempo para o gêmeo que fica na Terra

$\Delta t_0$  = tempo para o gêmeo que viaja

Próximo Slide, clique **AQUI**

## Slide 87

Quanto maior a velocidade de deslocamento mais lento o tempo passa.

**CHAMA-SE ESSE FENÔMENO DE DILATAÇÃO TEMPORAL.**

Próximo Slide, clique **AQUI**

## Slide 88

*Para uma viagem que percorra a distância de 80 anos luz, numa das naves abaixo.*

*Para o gêmeo que ficar passará entre 80 e 89 anos,*

*Mas dependendo da velocidade da nave, o tempo que passará para o gêmeo que viajar poderá variar bastante, pois escolhendo a:*

*Nave 1 com velocidade = **0,9c** para o viajante passará apenas **38,7 anos***

*Nave 2 com velocidade = **0,99c** para o viajante passará apenas **11,4 anos***

*Nave 3 com velocidade = **0,999999c** para o viajante passará apenas **1 mês e 10 dias***

Próximo Slide, clique **AQUI**

## Slide 89

**A teoria da Relatividade também apresenta o fenômeno da contração dos comprimentos.**

**Esse fenômeno, assim como a dilatação temporal sempre ocorre, entretanto somente é perceptível quando temos velocidades elevadas, e segue a fórmula:**

**Contração do comprimento:  $L = L_0 / \gamma$**

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

*$\gamma$  é o fator de Lorentz*

*v = velocidade da nave*

*c = velocidade da luz*

*$L_0$  = comprimento em repouso*

*L = comprimento em movimento*

**Próximo Slide, clique [AQUI](#)**

## Slide 90

**Os tamanhos**

**(na direção do deslocamento)**

**ficam menores!**

**Próximo Slide, clique [AQUI](#)**

## Slide 91

Escolha a velocidade de sua nave e a distância de sua viagem e veja quanto tempo passará para quem ficar na Terra e para quem viajar na nave.

[clique AQUI](#)

## Slide 92

*O avião mais rápido já construído (até 2018) foi o protótipo North American X-15 que conseguiu atingir 7.275 km/h, ou seja, cerca de 2 km/s ou 2.000 m/s.*

*Quanto tempo ele levaria para percorrer a distância que a luz percorre em 1 segundo?*

[a\) 10 segundos](#)

[b\) 41 horas e 40 minutos](#)

[c\) 2 segundos](#)

[d\) 540 horas](#)

Slide 93

***Parabéns, você acertou!***

***Para fazer mais uma viagem,***

***[Clique Aqui](#)***

Slide 94

***Errou!***

***Para tentar novamente,***

***[Clique aqui!](#)***

Slide 95

*A velocidade do som no ar é de 340 m/s, e a da luz é de 300.000.000m/s. Quanto tempo leva para que o som percorra a distância que a luz percorre em 1 segundo? (Aproximadamente)*

*[a\) 245 segundos](#)*

*[b\) 245 minutos](#)*

*[c\) 245 dias](#)*

*[d\) 245 horas](#)*

Slide 96

***Errou!***

***Para tentar novamente,***

***[Clique aqui!](#)***

Slide 97

*Sabe-se que a velocidade da luz é de 300.000 km/s e  
independe da velocidade da fonte emissora.*

*O piloto de uma nave (fictícia) que voa a 5.000 km/s acende  
uma lanterna.*

*Qual será, aproximadamente, a velocidade da luz emitida por  
essa lanterna?*

*[a\) 5.000 km/s](#)*

*[b\) 295.000 km/s](#)*

*[c\) 300.000 km/s](#)*

Slide 98

***Errou!***

***Para tentar novamente,***

***[Clique aqui!](#)***

## Slide 99

Para calcular quanto tempo passará para o gêmeo viajante usa-se o fator de Lorentz ( $\gamma$ ):

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

$$\Delta t = \gamma \cdot \Delta t_0$$

$\Delta t$  = tempo para o gêmeo que fica na Terra

$\Delta t_0$  = tempo para o gêmeo que viaja

Para acessar uma planilha que calcula, segundo a teoria da Relatividade Restrita, quanto tempo passará para o gêmeo que viaja e para o gêmeo que fica na Terra em função da velocidade da nave e da distância escolhida.

[CLIQUE AQUI](#)

## Slide 100

### INFORMATIVO SOBRE A TEORIA DA RELATIVIDADE



Albert Einstein – autor da teoria da relatividade

A teoria da relatividade restrita foi desenvolvida no final do século XIX e início do século XX, e publicada por Albert Einstein em **1905**. Nessa publicação, Einstein apresentava percepções sobre o tempo e o espaço de forma tão surpreendente à época que somente puderam ser comprovadas anos depois e até hoje em dia, desafiam o senso comum da maioria das pessoas, especialmente o daquelas que não estudaram a fundo a teoria da relatividade e suas implicações.

A Teoria da Relatividade Restrita de Einstein apresenta 2 postulados:

*1º Postulado: As leis da Física são as mesmas para qualquer referencial inercial;*

*2º Postulado: A velocidade de propagação da luz no vácuo é constante e sempre igual a 299.792.458 m/s.*

A velocidade da luz no vácuo independe da velocidade da fonte que a emitiu.

Para explicar melhor, vamos comparar com o que ocorre ao lançarmos uma pedra de dentro de um carro:

O motorista de um carro que se desloca a 100 km/h arremessa para frente, na mesma direção e sentido do seu movimento, uma pedra a 50km/h. No referencial do motorista a pedra estará a 50 km/h, ou seja, o motorista verá a pedra se deslocando a 50 km/h, mas para um observador parado na calçada, a pedra estará a 150 km/h, devido a somar a velocidade do carro (100 km/h) + velocidade da pedra (50 km/h). Nesse exemplo, repare que a velocidade da pedra dependerá de onde está quem a observa, pois para o motorista a pedra estará a 50km/h enquanto que para um observador parado na estrada, a pedra estará a 150km/h.

[CONTINUAR LENDO](#)

[REALIZAR NOVA VIAGEM](#)

## Slide 101

Entretanto, foi demonstrado que a velocidade da luz não se altera, ou seja, é sempre a mesma, tal fato foi evidenciado pelas equações do físico e matemático escocês James Clerk Maxwell (1831 – 1879).

Dessa forma, ao analisarmos um exemplo semelhante, onde o motorista desse mesmo carro liga uma lanterna apontando na mesma direção e sentido do carro, teremos que a velocidade da luz emitida pela lanterna será de 299.792.458 m/s para o motorista do carro a 100 km/h, entretanto a velocidade dessa luz emitida por essa lanterna em movimento (por estar dentro do carro) ao ser medida por um observador parado na estrada também deverá ser a 299.792.458 m/s. Repare que agora não somamos a velocidade do carro com a velocidade da luz, e mesmo que o carro estivesse a 50.000 km/h a velocidade da luz emitida pela lanterna dentro do carro não se alteraria e seria vista com igual valor tanto para um observador dentro do carro como para um observador na estrada.

Através de seus postulados, Einstein proclama que a luz possui uma velocidade constante e invariável, independente da velocidade da fonte que a emitiu. A velocidade da luz no vácuo é igual a 299.792.458 m/s aproximadamente 300.000.000 m/s ou 300 mil quilômetros por segundo (o suficiente para dar quase 8 voltas completas em torno do equador da Terra em 1 segundo!), e costuma ser representada por “**c**”.

[CONTINUAR LENDO](#)

[REALIZAR NOVA VIAGEM](#)

## Slide 102

### Evidências experimentais da Teoria da Relatividade Restrita

Um dos fatos mais interessantes da teoria da relatividade restrita de Einstein é que ela consegue explicar uma série de fenômenos que não podem ser explicados no âmbito da física clássica e ao mesmo tempo prevê diversos fenômenos que até então eram desconhecidos, mas que posteriormente foram descobertos e comprovados. A seguir vamos abordar alguns destes fenômenos.

A teoria da relatividade restrita em seu 2º postulado afirma que a velocidade da luz é a mesma em qualquer direção, fato este comprovado por diversos pesquisadores, destacando-se os experimentos de **Michelson e Morley**, que fizeram ruir a crença na existência do referencial preferencial conhecido como éter luminífero.

A relatividade de Einstein prevê alguns fenômenos como, por exemplo, a dilatação temporal e a contração dos comprimentos e fornece, através de cálculos, os resultados exatos do que deveria acontecer com uma partícula que se mova a velocidades muito elevadas, próximas à velocidade da luz.

Obtemos uma comprovação disso ao analisarmos, por exemplo, as partículas chamadas de múons.

**As partículas múons** formam-se na atmosfera e deslocam-se a velocidades próximas a 0,9 c (90% da velocidade da luz), entretanto o tempo de sua meia-vida (tempo que leva para um múon decair e se alterar) é de cerca de 2,2  $\mu$ s. Mesmo viajando a uma velocidade tão alta, como seu tempo de meia-vida é muito pequeno, um múon dificilmente seria detectado na superfície terrestre, pois percorreria apenas cerca de 600 metros na atmosfera antes de decair. Contudo, devido aos efeitos relativísticos (**dilatação do tempo**), essas partículas são encontradas em abundância na superfície terrestre. O tempo passa mais devagar para a partícula múon durante sua viagem, devido a sua altíssima velocidade.

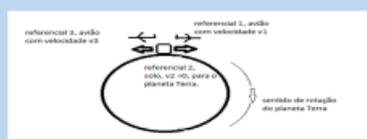
[CONTINUAR LENDO](#)

[REALIZAR NOVA VIAGEM](#)

## Slide 103

Outra comprovação das teorias da relatividade de Einstein foi obtida através da observação do que ocorre com relógios atômicos ao serem colocados em aviões (**experimento de Hafele-Keating**). Os relógios atômicos são relógios de extrema precisão, ou seja, após sincronizados, permaneceriam assim por até 100 mil anos, marcando o mesmo horário, entretanto relógios atômicos colocados em aviões acabaram ficando dessincronizados devido aos efeitos das altas velocidade de voo dos aviões.

Foi realizado o seguinte experimento utilizando relógios atômicos: 4 relógios foram colocados a bordo de um avião que deu 2 voltas em torno do planeta Terra, na primeira vez no mesmo sentido de rotação da Terra e em seguida no sentido contrário, enquanto que um relógio ficou no solo para comparar os resultados.



Após o experimento, constatou-se que os relógios marcavam horários diferentes. Tudo conforme os valores previstos matematicamente pela teoria da relatividade de Einstein. Houve uma dilatação temporal maior para o relógio mais veloz, quanto maior a velocidade de deslocamento, mais lento o tempo passa. **CHAMA-SE ESSE FENÔMENO DE DILATAÇÃO TEMPORAL.**

OBS. As diferenças encontradas foram muito pequenas, devido ao fato da velocidade do avião (cerca de 250 m/s) ser muito pequena se comparada a velocidade da luz (300.000.000 m/s).

Esse fenômeno de dilatação temporal está sempre ocorrendo quando nos deslocamos, ou seja, quando temos velocidade, mas pelo fato de nossas velocidades no dia a dia serem muito pequenas, os efeitos da dilatação temporal são completamente imperceptíveis.

*Quanto maior a velocidade mais significativa é a dilatação temporal.*

*Da mesma forma, outro fenômeno que ocorre é a contração dos comprimentos.*

[CONTINUAR LENDO](#)

[REALIZAR NOVA VIAGEM](#)

## Slide 104

### O Paradoxo dos Gêmeos

Conforme já vimos acima, o tempo transcorre diferentemente quando medido em referenciais que se encontram em movimento relativo entre si.

Portanto se um de dois irmãos gêmeos embarcar em uma nave capaz de alcançar velocidades muito altas, para uma viagem de ida e volta, para um lugar bem distante, haverá uma dilatação temporal para o gêmeo que viajar, ou seja, para esse gêmeo passará menos tempo do que para o gêmeo que ficou no planeta Terra, assim quando os dois gêmeos se reencontrarem, o gêmeo que viajou estará mais novo que o gêmeo que ficou no planeta Terra.

Quanto maior a velocidade do deslocamento maior será o efeito gerado, por exemplo, poderá passar apenas 1 ano para o gêmeo que viajar enquanto poderá passar 3 anos para o gêmeo que ficou na Terra, mas se aumentarmos ainda mais a velocidade da nave poderá passar apenas 1 ano para o gêmeo que viajar enquanto poderá passar 80 anos para o gêmeo que ficou na Terra, mas de qualquer forma esses efeitos somente serão significativos para altas velocidades próximas a velocidade da luz, e quanto mais próximo estiver da velocidade da luz, maior será o efeito gerado.

Percebe-se que a velocidade de deslocamento interfere na passagem do tempo para cada gêmeo, entretanto chama-se esse fenômeno de paradoxo dos gêmeos pois surge uma aparente contradição, afinal se o gêmeo que viaja olhar para a Terra ele poderá concluir que é a Terra que se afasta dele, já que não existe um referencial preferencial e, portanto, para o viajante quem se move é a Terra, enquanto que o gêmeo na Terra discorda e diz que quem se afasta é o gêmeo na nave.

Sabemos, conforme já foi demonstrado anteriormente, que o tempo passa mais lentamente para o referencial que se move mais rápido, mas nesse caso, quem se move mais rápido?

[CONTINUAR LENDO](#)

[REALIZAR NOVA VIAGEM](#)

## Slide 105

Mas se ambos se deslocam um em relação ao outro, porque um é afetado diferentemente do outro? Por isso chamamos esse fenômeno de “**Paradoxo dos Gêmeos**”.

Vamos analisar:

Em primeiro lugar, já foi comprovado através de diversos experimentos que o tempo passa mais lentamente para aquele que se desloca a velocidades mais elevadas, como exemplo disso temos o que ocorre com as partículas múons.

Mas poderia haver um questionamento sobre quem de fato está em movimento, pois o gêmeo que viaja vê o gêmeo na Terra se afastando da mesma forma que o que está na Terra vê seu irmão se afastando. Então, qual dos dois referenciais deve ser considerado, de fato, em movimento? Felizmente há uma diferença entre esses dois referenciais e perceber essa diferença nos permite encontrar uma resposta para o Paradoxo dos Gêmeos.

**Essa diferença é a aceleração.** O que somente ocorreu no referencial do gêmeo que viajou, e a aceleração pode ser incontestavelmente percebida.

Imagine que você está em um ônibus o qual se desloca executando um movimento retilíneo e uniforme, ou seja, sem aceleração, você não terá dificuldade nenhuma para beber um copo d’água, entretanto se o ônibus frear ou acelerar bruscamente, então você terá dificuldades para beber seu copo de água. Isso demonstra que é possível detectar qual referencial que está sendo acelerado, pois isso causa efeitos perceptíveis e incontestáveis. Outro exemplo, imagine um pequeno pêndulo pendurado no teto do ônibus, enquanto o seu meio de transporte estiver em movimento retilíneo e uniforme nada acontecerá, entretanto se houver aceleração ou curva no deslocar desse meio de transporte poderemos ver o pêndulo se mover, portanto é possível saber qual referencial está sendo acelerado. Portanto, como a nave em que o gêmeo embarcou acelera, isso poderá ser comprovado pelo movimento do pêndulo, é nela que há aumento da velocidade, podemos concluir que o tempo passará mais lentamente para o gêmeo que viaja.

Pêndulo em um referencial  
com movimento retilíneo  
e uniforme.



Pêndulo em um referencial  
com movimento acelerado.



[Se quiser parar, clique PARAR](#)

[REALIZAR NOVA VIAGEM](#)

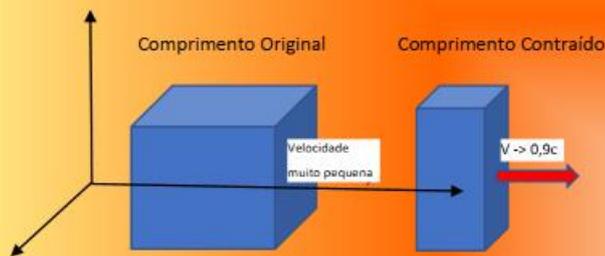
## Slide 106

Outro fenômeno descrito  
pela Teoria da Relatividade de Einstein  
é a **Contração do Comprimento!**

[Próximo Slide](#)

## Slide 107

A Contração do Comprimento sempre ocorrerá apenas no eixo de coordenadas do deslocamento.



[Próximo Slide](#)

## Slide 108

A contração do comprimento é determinada pelo fator de Lorentz, que depende da velocidade da nave.

Agora, escolha uma velocidade e veja como a nave abaixo que tem 100 metros de comprimento ficará:



$V_1=0,9 c$

$V_2=0,99c$

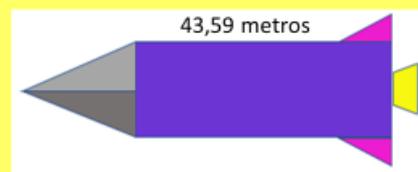
$V_3=0,999999c$

Slide 109

*Comprimento Original:*



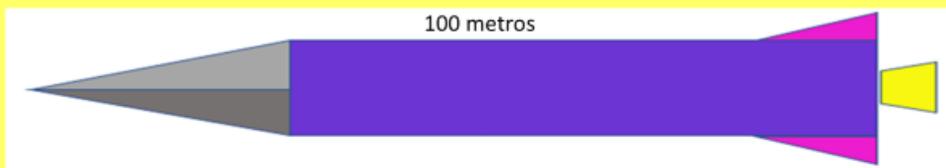
*Comprimento para  $V_1 = 0,9 c$*



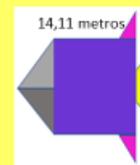
[Próximo Slide](#)

Slide 110

*Comprimento Original:*



*Comprimento para  $V_2 = 0,99 c$*



[Próximo Slide](#)

Slide 111

*Comprimento Original:*



*Comprimento para  $V_3 = 0,999999 c$*

0,14 metros

[Próximo Slide](#)

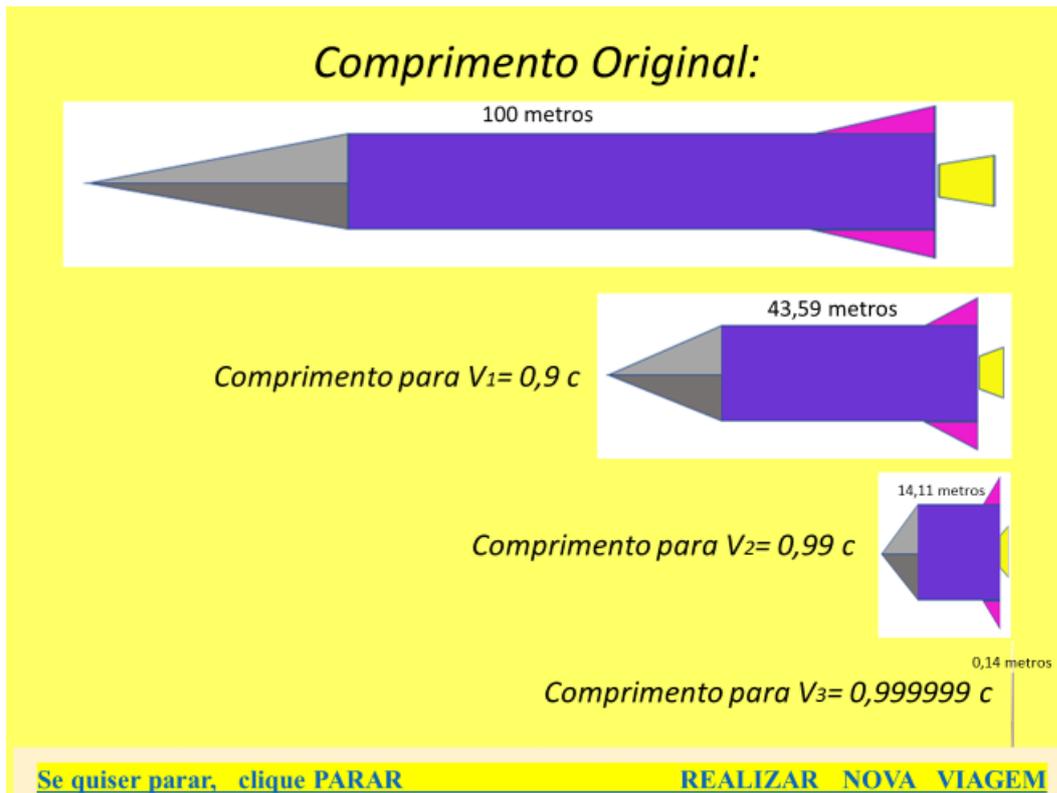
Slide 112

Para comparar o tamanho que a nave ficará  
conforme a velocidade escolhida:

$V_1 = 0,9c$  ou  $V_2 = 0,99c$  ou  $V_3 = 0,999999c$

[clique aqui](#)

Slide 113



Slide 114

**Marcelo Linhares Gatti - criador do SIMULADOR DO PARADOXO DOS GÊMEOS**



É formado em matemática com Mestrado em Física pela UNIRIO  
(Universidade Federal do estado do Rio de Janeiro).

[Continuar lendo sobre o Marcelo](#)

[Realizar nova viagem](#)

## Slide 115

Tem se destacado em concursos desde a época do ensino médio onde foi aprovado entre os primeiros colocados, em alguns concursos, como EPCAR – Escola Preparatória de Cadetes do Ar; Colégio Naval (onde veio a estudar) tendo sido aprovado em ambos com a maior nota em matemática de todo o Brasil, também esteve mais de uma vez entre os primeiros colocados em Olimpíadas de Matemática.

Jornal Folha dirigida 1982:



[Continuar lendo sobre o Marcelo](#)

[Realizar nova viagem](#)

## Slide 116

Atualmente dedica-se ao desenvolvimento de pesquisas e projetos na busca por soluções inovadoras que produzam impactos significativos na qualidade e sustentabilidade de nossa sociedade, sempre se preocupando com o meio ambiente, otimização de recursos e qualidade de vida das pessoas.

[Continuar lendo sobre o Marcelo](#)

[Realizar nova viagem](#)

## Slide 117

Amante da natureza e de esportes,

Marcelo obteve destaque na prática do Windsurfe,  
nas modalidades Wave e Slalow (vice-campeão carioca).



Marcelo velejando em Cabo frio – RJ com ventos de quase 72 km/h em setembro de 2018.

[Sair do Simulador](#)

[Realizar nova viagem](#)