

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE FÍSICA**

432 HORAS DE RELATIVIDADE:

UMA INVESTIGAÇÃO ACERCA DA UTILIZAÇÃO DE MANGÁ NO ENSINO DE FÍSICA

Lucas Diovani Lopes Narciso

Trabalho de Conclusão da Licenciatura Plena em Física

**Porto Alegre
2014**

LUCAS DIOVANI LOPES NARCISO

432 HORAS DE RELATIVIDADE:

UMA INVESTIGAÇÃO ACERCA DA UTILIZAÇÃO DE MANGÁ NO ENSINO DE FÍSICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do grau de Licenciado em Física pela Faculdade de Física da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Me. Marcelo Vettori

**Porto Alegre
2014**

LUCAS DIOVANI LOPES NARCISO

432 HORAS DE RELATIVIDADE:

UMA INVESTIGAÇÃO ACERCA DA UTILIZAÇÃO DE MANGÁ NO ENSINO DE FÍSICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do grau de Licenciado em Física pela Faculdade de Física da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Aprovada em: ____ de _____ de _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Marcelo Vettori
Faculdade de Física – PUCRS

Profa. Me. Maria do Carmo Baptista Lagreca
Faculdade de Física – PUCRS

Profa. Me. Maria Emília Baltar Bernasiuk
Faculdade de Física – PUCRS

Profa. Dra. Maria Eulália Pinto Tarragó
Faculdade de Física – PUCRS

Porto Alegre
2014

*Dedico este trabalho aos amigos
que sempre estiveram ao meu lado,
em especial à Samara.*

AGRADECIMENTOS

O último semestre da minha graduação surgiu e eu estava sem idéia para qualquer assunto para um trabalho de conclusão de curso. Foi um curto intervalo de tempo desesperador, mas logo essa idéia surgiu entre as muitas visitas à biblioteca.

Antes de tudo, agradeço muito meus pais *Fátima* e *João* por mais uma vez estarem ao meu lado e por todo o apoio durante esse semestre! Que este semestre tenha servido de lição de vida para meus irmãos, em especial ao *Vladimir*.

Diversos foram os professores do curso de Licenciatura em Física inspiradores durante meus anos de graduação. Primeiramente agradeço ao meu orientador, prof. *Marcelo Vettori*, pelo suporte e por acreditar em mim. Gostaria também de agradecer, com muito carinho, os professores *Rigoni*, *Délcio*, *João Harres*, *João Bernardes*, *Maria do Carmo*, *Maria Emília* e *Maria Eulália*, por terem me guiado tão bem durante todos esses anos para que eu me tornasse professor. Minha admiração por vocês apenas cresce! Deixo aqui também meu agradecimento aos demais professores que contribuíram de alguma forma nos conhecimentos construídos durante minha formação.

A todos vocês, muito obrigado!

There was a girl named Miss Bright
Who could travel much faster than light
She departed one day,
In an Einsteinian way,
And came back on the previous night.
(BRENNAN, 2003, p. 58)

Havia uma garota chamada Senhorita Brilhante
Que podia viajar muito mais rápido que a luz
Ela partiu um dia,
De uma maneira Einsteiniana,
E voltou na noite anterior.
(BRENNAN, 2003, p. 58, tradução nossa)

RESUMO

Usualmente não há abordagem da Física Moderna no Ensino Médio, o que justifica a existência diversas contribuições experimentais de pesquisadores que visam auxiliar os professores no ensino desse conteúdo. Estudos mostram que entre as razões pelas quais o ensino dessa parte da Física é negligenciado estão o despreparo e falta de conhecimento por parte do professor. Dessa forma, o objetivo desse estudo é investigar os benefícios da utilização de um mangá no ensino de Relatividade. Para isso, foram elaboradas e aplicadas aulas em duas turmas do último ano do Ensino Médio, comparando-se dois métodos didáticos: aquele no qual se utilizou o material (mangá) e o tradicional. As análises dos resultados evidenciaram vantagens na utilização do mangá, uma vez que 83% dos alunos que utilizaram o mangá compreenderam satisfatoriamente o conteúdo, contra 73% dos alunos da outra turma. Além disso, o nível geral de satisfação da turma que utilizou o mangá foi alto, indicando que os alunos gostaram do material e das aulas. Por fim, esse estudo recomenda a utilização do mangá no ensino da Física Moderna como ferramenta de auxílio aos professores.

Palavras-chave: *Relatividade Geral, Relatividade Especial, Mangá, Ensino de Física, Ensino Médio.*

ABSTRACT

432 hours of relativity: an investigation regarding manga usage on physics teaching

Usually Modern Physics is not discussed during High School, what justifies several experimental researchers' contributions to help teachers to teach this content. Researches demonstrate that teachers' lack of preparation and knowledge are some reasons why this Physics content is neglected. Therefore, the aim of the study is to investigate the benefits of the use of a manga on Relativity teaching. For this purpose, lectures were prepared and applied on two last year High School classes, comparing two teaching methods: the one which the material (manga) was used and the traditional. The results analyses demonstrate manga usage advantages, since 83% of the students who used the manga understood satisfactorily the content, against 73% of the students in the other class. Furthermore, the general satisfaction level of the students who used the manga was high, indicating that these students enjoyed the material and the lectures. Finally, this study recommends the manga usage on Modern Physics teaching as teachers' complementary tool.

Keywords: *General Relativity, Special Relativity, Manga, Physics Teaching, High School.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sequência temporal dos marcos significativos da evolução da ciência.	25
Figura 2 - Esquema do experimento de Michelson e Morley.....	29
Figura 3 – Ilustração da curvatura unidimensional do espaço.....	38

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva da relação massa-velocidade.	36
Gráfico 2 – Respostas dos alunos para a questão 1 – primeira aplicação.	67
Gráfico 3 – Respostas dos alunos para a questão 2 – primeira aplicação.	68
Gráfico 4 – Respostas dos alunos para a questão 3 – primeira aplicação.	68
Gráfico 5 – Respostas dos alunos para a questão 4 – primeira aplicação.	69
Gráfico 6 – Respostas dos alunos para a questão 5 – primeira aplicação.	70
Gráfico 7 – Respostas dos alunos para a questão 7 – primeira aplicação.	72
Gráfico 8 – Respostas dos alunos da turma 302 para a questão 1.	73
Gráfico 9 – Respostas dos alunos da turma 304 para a questão 1.	73
Gráfico 10 – Respostas dos alunos da turma 302 para a questão 2.	73
Gráfico 11 – Respostas dos alunos da turma 304 para a questão 2.	74
Gráfico 12 – Respostas dos alunos da turma 302 para a questão 3.	74
Gráfico 13 – Respostas dos alunos da turma 304 para a questão 3.	74
Gráfico 14 – Respostas dos alunos da turma 302 para a questão 4.	75
Gráfico 15 – Respostas dos alunos da turma 304 para a questão 4.	75
Gráfico 16 – Respostas dos alunos da turma 302 para a questão 5.	76
Gráfico 17 – Respostas dos alunos da turma 304 para a questão 5.	77
Gráfico 18 – Respostas dos alunos da turma 302 para a questão 7.	78
Gráfico 19 – Respostas dos alunos da turma 304 para a questão 7.	79
Gráfico 20 – Frequência absoluta simples de progresso dos alunos	80
Gráfico 21 – Nível de satisfação dos alunos, assertiva 1.	82
Gráfico 22 – Nível de satisfação dos alunos, assertiva 2.	83
Gráfico 23 – Nível de satisfação dos alunos, assertiva 3.	83
Gráfico 24 – Nível de satisfação dos alunos, assertiva 4.	84
Gráfico 25 – Nível de satisfação dos alunos, assertiva 5.	84
Gráfico 26 – Nível de satisfação dos alunos, assertiva 6.	84
Gráfico 27 – Nível de satisfação dos alunos, assertiva 7.	85
Gráfico 28 – Nível de satisfação dos alunos, assertiva 8.	85

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Perfil biográfico de Albert Einstein.....	32
Quadro 2 – Cronograma da turma na qual se utilizou mangá.	52
Quadro 3 – Cronograma da turma 304.	53
Quadro 4 – Questões de caracterização das turmas.....	53
Quadro 5 – Questões de investigação dos subsunçores.....	54
Quadro 6 – Questões do instrumento avaliativo principal.	56
Quadro 7 – Respostas das questões do instrumento avaliativo principal.....	58
Quadro 8 – Assertivas para a turma na qual se utilizou o mangá.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Subsunoçores relacionados ao espaço.	64
Tabela 2 – Subsunoçores relacionados ao tempo.	64
Tabela 3 – Subsunoçores relacionados à velocidade.	65
Tabela 4 – Subsunoçores relacionados à velocidade.	66
Tabela 5 – Respostas dos alunos para a questão 4 – primeira aplicação.	69
Tabela 6 – Resumo das justificativas da turma 302 para a questão 6 – primeira aplicação.	71
Tabela 7 – Resumo das justificativas da turma 304 para a questão 6 – primeira aplicação.	71
Tabela 8 – Respostas dos alunos para a questão 4.	76
Tabela 9 – Resumo das justificativas da turma 302 para a questão 6.	77
Tabela 10 – Resumo das justificativas da turma 304 para a questão 6.	78
Tabela 11 – Nível de concordância para as assertivas 1, 2, 4 e 10.	81
Tabela 12 – Nível de concordância para as assertivas 5, 7, 8 e 9.	81
Tabela 13 – Nível de concordância para as assertivas 3 e 6.	82

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

<i>c</i>	Velocidade da luz no vácuo ($c = 299.792.458$ m/s, aproximadamente $3,0 \times 10^8$ m/s).
m	Metro
s	Segundo
km	Quilômetro
h	Hora
CPA	Construção Parcial de Aprendizagem
CRA	Construção Restrita de Aprendizagem
CSA	Construção Satisfatória de Aprendizagem
HQs	Histórias em Quadrinhos
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. PROBLEMA DE PESQUISA E OBJETIVOS.....	17
2.1. PROBLEMA DE PESQUISA	17
2.2. OBJETIVO GERAL	17
2.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
3.1. O ENSINO DE FÍSICA NO BRASIL	18
3.2. RELATIVIDADE	24
3.2.1. Breve Histórico	24
3.2.2. Teoria da Relatividade Especial.....	32
3.2.3. Teoria da Relatividade Geral	37
3.3. UTILIZAÇÃO DE HISTÓRIAS EM QUADRINHOS NO ENSINO	39
3.4. TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	41
3.5. MUDANÇA DE PERFIL CONCEITUAL.....	46
3.6. ANÁLISE TEXTUAL DISCURSIVA	48
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	50
4.1. MATERIAL ALTERNATIVO – MANGÁ.....	50
4.2. AULAS	52
4.3. REALIDADE DA ESCOLA E DOS ALUNOS.....	53
4.3.1. Caracterização das Turmas	53
4.4. SUBSUNÇORES	54
4.5. AVALIAÇÃO	55

4.5.1. Instrumento Avaliativo Principal	56
4.6. AVALIAÇÃO DE CONCORDÂNCIA E SATISFAÇÃO DO ESTUDO.....	59
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
5.1. REALIDADE DA ESCOLA E DOS ALUNOS.....	60
5.1.1. Caracterização das Turmas	60
5.2. SUBSUNÇORES	63
5.3. INSTRUMENTO AVALIATIVO PRINCIPAL.....	66
5.3.1. Primeira Aplicação.....	67
5.3.2. Segunda Aplicação.....	72
5.4. AVALIAÇÃO DE CONCORDÂNCIA E SATISFAÇÃO DO ESTUDO.....	80
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	87
REFERÊNCIAS	89
APÊNDICE A	91
APÊNDICE B.....	96
APÊNDICE C	101
ANEXO A.....	135

1. INTRODUÇÃO

Se longe enxerguei é porque estive apoiado em ombros de gigantes. Newton (ROCHA, 2002, p. 23)

Propôs-se que se embarcasse em uma nave espacial capaz de atingir velocidades próximas à velocidade da luz. Embarcaram nessa nave alunos de uma turma de estudantes do terceiro ano do Ensino Médio com um professor de Física. A diretora da escola onde estudam esses alunos orienta apenas que os estudantes devam estar de volta em 30 dias. A viagem inicia e o professor de Física conversa com seus alunos e concluem juntos que o tempo total de viagem, para eles, não será de 30 dias. O professor verifica que a nave está viajando com uma velocidade de $0,8c$, isto é, 80 % do valor da velocidade da luz (aproximadamente 240.000 km/s). O cálculo seguinte é realizado com os alunos:

$$t' = t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (01),$$

onde t' é o tempo que se passa para os viajantes na nave; t é o tempo que se passa no planeta Terra; v é a velocidade que os viajantes possuem; e c é a constante cujo valor representa o valor da velocidade da luz no vácuo.

Substituindo o valor da velocidade da nave espacial, obtém-se:

$$t' = t \sqrt{1 - \frac{(0,8c)^2}{c^2}} = t \sqrt{1 - \frac{(0,8)^2 c^2}{c^2}} = t \sqrt{1 - 0,8^2} \quad (02),$$

$$t' = t \times 0,6 \quad (03)$$

Com isso o professor explica aos seus alunos que o tempo será 60 % menor para eles, viajando nessa alta velocidade. Substituindo os 30 dias nos quais eles devem retornar para a escola, eles verificam que, para eles, passarão apenas 18 dias, ou seja, 432 horas, como mostra:

$$t' = 30 \times 0,6 = 18 \text{ dias} = 432 \text{ horas} \quad (04)$$

Enfim os viajantes concluem que viverão 432 horas de Relatividade.

Descreveu-se a justificativa para o título desse trabalho, exemplo inicial utilizado na aula sobre dilatação do tempo.

Atualmente o ensino de Física no terceiro ano do Ensino Médio ocorre majoritariamente com o ensino da Eletricidade e do Magnetismo, seguindo a sequência cronológica de livros didáticos elaborados como versões simplificadas dos livros utilizados nos cursos de Graduação em Física. Essa abordagem resulta na exclusão parcial ou total do ensino da Física Moderna (KESSLER, 2008).

As teorias mais recentes da Física (a chamada Física Moderna) constam nos documentos e legislações nacionais e estaduais como conteúdo a ser abordado no Ensino Médio. Além disso, é importante que os estudantes conheçam o processo de evolução da ciência, sem facilitar as falsas ideias de que os conhecimentos estudados são frutos de cientistas gênios que possuem sabedoria infinitamente maior àquela dos seres humanos normais, concepção existente entre os alunos do Ensino Médio (BRASIL, 1999; BRASIL, 2002; RIO GRANDE DO SUL, 2009; KESSLER, 2008).

As teorias relativísticas propostas por Albert Einstein no início do século XX foram importantes contribuições para a Física Moderna. Entretanto, estudos como o de Kessler (2008) mostram que esses conteúdos não são abordados no Ensino Médio por diversas razões, como a falta de conhecimento e despreparo do professor para lidar com esse tipo de teoria.

O objetivo deste estudo é analisar os benefícios da utilização de um mangá no ensino de Relatividade, comparando-se aulas nas quais se utilizou mangá com aulas tradicionais. A metodologia tradicional de ensino utilizada foi aquela na qual as aulas foram ministradas, essencialmente, através da facilitação do conhecimento e resolução de exercícios. Rigoni (ROCHA FILHO, 2011, p. 42) em seu artigo enfatiza que “o ensino tradicional constitui-se em bela alternativa na didática das ciências, por ele a transmissão do conhecimento resulta em modelo coerente, comprovadamente positivo e funcional até os dias de hoje”, desse modo a comparação das duas metodologias induz a equidade nos resultados esperados ou melhores resultados para a metodologia que envolve a utilização do mangá.

Para a comparação entre os métodos utilizados, foram elaboradas e aplicadas aulas em duas turmas de terceiro ano do Ensino Médio: uma turma com a utilização dos capítulos de um mangá; e outra na qual se utilizou o método tradicional de ensino. O mangá utilizado foi o Guia Mangá de Relatividade, desenvolvido por Nitta e colaboradores (2011). Este estudo foi realizado em um período de 30 dias (o equivalente a oito aulas). Ao final do trabalho, pretende-se apresentar uma orientação aos professores de Física do terceiro ano do Ensino Médio para que utilizem o mangá como material alternativo no ensino da Física Moderna.

2. PROBLEMA DE PESQUISA E OBJETIVOS

O ensino deveria ser assim: quem o receba o recolha como um dom inestimável, mas nunca como uma obrigação penosa. Einstein (KESSLER, 2008, p. 34)

2.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Quais são os benefícios da utilização de um mangá no ensino de Relatividade para alunos do terceiro ano do Ensino Médio?

2.2. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste estudo é analisar os benefícios da utilização de um mangá no ensino de Relatividade para alunos do terceiro ano do Ensino Médio.

2.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar os subsunçores e os conhecimentos prévios dos alunos com relação à Relatividade;
- Desenvolver planos de aulas utilizando um mangá sobre Relatividade, de forma a abordar de maneira sucinta, porém substancial, as Teorias da Relatividade com uma turma de terceiro ano do Ensino Médio em um período de oito aulas (30 dias, caso 2 aulas semanais);
- Desenvolver planos de aulas utilizando método tradicional de ensino, visando abordar as Teorias da Relatividade com uma turma de terceiro ano do Ensino Médio em um período de oito aulas (30 dias, caso duas aulas semanais);
- Analisar o desenvolvimento do processo de construção do conhecimento dos alunos das turmas utilizadas neste estudo através da análise do progresso dos alunos, comparando-se os dois métodos didáticos;
- Avaliar as opiniões dos alunos sobre o mangá através de entrevista de concordância e satisfação.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Dizia, em tom de brincadeira, que não se contentaria com nenhuma resposta parcial, e que queria descobrir as ideias na mente de Deus. Einstein (KESSLER, 2008, p. 31).

Com base nos objetivos desse trabalho, esta seção descreve as teorias utilizadas em seu desenvolvimento. As subdivisões desta seção descrevem, primeiramente, o ensino de Física no Brasil; a Teoria da Relatividade, incluindo um breve histórico; a descrição da utilização de histórias em quadrinhos no ensino; a teoria da aprendizagem significativa; a teoria da mudança de perfil conceitual; e finaliza com uma ferramenta de análise textual.

3.1. O ENSINO DE FÍSICA NO BRASIL

O novo Ensino Médio [...] deixa de ser [...] simplesmente preparatório para o ensino superior ou estritamente profissionalizante, para assumir necessariamente a responsabilidade de completar a educação básica. Em qualquer de suas modalidades, isso significa preparar para a vida, qualificar para a cidadania e capacitar o aprendizado permanente, em eventual prosseguimento dos estudos ou diretamente no mundo de trabalho (BRASIL, 2002, p. 8).

As Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais, ou PCN+ (Parâmetros Curriculares Nacionais +), deixam claro que o ensino tradicional voltado ao ensino preparatório para o vestibular deve ser abandonado, devendo ser substituído para um ensino para a vida. Essa metodologia de ensino voltada ao vestibular é a que vem sendo utilizada na grande maioria das escolas da rede pública do país. Entretanto, os alunos, formados na Educação Básica, precisam ser capazes de “saber se informar, comunicar-se, argumentar, compreender e agir” (BRASIL, 2002, p. 9), portadores de atitudes que os habilitem a enfrentar problemas e capazes de formar pensamento crítico e propor soluções. É importante, ainda, possuir atitude e desejo de constante aprendizagem (BRASIL, 2002).

Uma formação com tal ambição exige métodos de aprendizado compatíveis, ou seja, condições efetivas para que os alunos possam: comunicar-se e argumentar; defrontar-se com problemas, compreendê-los e enfrentá-los; participar de um convívio social que lhes dê oportunidades de se realizarem como cidadãos; fazer escolhas e proposições; tomar gosto pelo conhecimento, aprender a aprender (BRASIL, 2002, p. 9).

Aqui se salientam os obstáculos enfrentados nesse processo de aprimoramento do Ensino Médio, como a divisão estritamente disciplinar, direcionando a um ensino fora de contexto, onde os estudantes são submetidos a listas de exercícios preparatórios para exames

de admissão no Ensino Superior (ROCHA FILHO, 2011, p. 21). Esse formato de ensino está enraizado nas escolas e é passado geração após geração de professores, insatisfeitos com as condições de trabalho e demais problemas enfrentados. Outro importante obstáculo é a visão quase geral de que o professor é o principal agente no processo de aprendizagem, aquele que entrega o conhecimento pronto aos receptores – os estudantes – que não participam da construção do seu próprio conhecimento, sendo a escola o local dessa transmissão (BRASIL, 2002).

É de conhecimento geral o fato que as metodologias de ensino empregadas devem direcionar a formação de jovens pensantes e participantes da sociedade, sem que o conhecimento seja transferido ao sujeito passivo, receptor do conhecimento. No processo de aprendizagem “[...] é imprescindível considerar o mundo vivencial dos alunos, sua realidade próxima ou distante, os objetos e fenômenos com que efetivamente lidam, ou os problemas e indagações que movem sua curiosidade” (BRASIL, 1999, p. 23). Por isso o conhecimento deve ser facilitado de forma contextualizada e integrada ao contexto de cada aprendiz (BRASIL, 1999).

Em sua essência como ciência, a Física deve ser ensinada visando que o aprendiz seja capaz de interpretar fatos, fenômenos e processos naturais, contribuindo para a formação da cultura científica do indivíduo. Sua importância se deve à sua presença em grande parte dos acontecimentos do cotidiano dos aprendizes, possuindo propriedade investigativa dos fatos e contribuindo com um pensamento crítico, devendo seu conhecimento ser entendido como instrumento para compreensão do mundo (BRASIL, 1999). Ainda conforme consta nos Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 1999, p. 22) “[...] a Física revela também uma dimensão filosófica, com uma beleza e importância que não devem ser subestimadas no processo educativo”.

Tem-se verificado como uma grande dificuldade no ensino de Física a utilização de uma metodologia rígida com a “[...] apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciando do mundo vivido pelos alunos e professores e não só, mas também por isso, vazio de significado” (BRASIL, 1999, p. 22). Esse ensino se torna matemático e sem sentido, com o empreendimento de um conjunto de equações em situações artificiais, distanciando o significado físico (BRASIL, 1999). Relatos dos alunos do Ensino Médio revelam a utilização extensiva de fórmulas como sendo um dos motivos pela Física ser um componente curricular pouco apreciado. Entretanto, aos poucos o ensino tem deixado de ser mera memorização e os professores tem se preocupado com um modelo voltado à

contextualização (BRASIL, 1999). Contudo, essa modificação exige esforço por parte dos professores, e as dificuldades na própria realidade das escolas se tornam obstáculos, o que “os professores de Física têm ousado mudar, mas se sentem, muitas vezes, inseguros, desamparados e pouco confiantes quanto aos resultados obtidos” (BRASIL, 2002, p. 60).

As orientações que constam nos PCN+ descrevem as competências gerais de todas as disciplinas, de forma que o aluno seja capaz de “informar e informar-se, comunicar-se, expressar-se, argumentar logicamente, aceitar ou rejeitar argumentos, manifestar preferências, apontar contradições, fazer uso adequado de diferentes nomenclaturas, códigos e meios de comunicação” (BRASIL, 2002, p. 15), por isso cada componente curricular deve facilitar o desenvolvimento dessas competências. Esse desenvolvimento parece ser possível com metodologias aprimoradas de ensino, uma vez que claramente “aprende a comunicar, quem se comunica; a argumentar quem argumenta” (BRASIL, 2002, p. 15), sendo a escola ambiente facilitador da comunicação e da argumentação.

O Ensino Médio também visa formar cidadãos capazes de lidar com situações de seu contexto, tanto no presente quanto no futuro, sendo muitas delas inéditas. Uma importante ferramenta para desenvolver o sentido crítico nos alunos são os espaços de debates que devem ocorrer tanto na escola como em sala de aula (BRASIL, 2002). Os Referenciais Curriculares do Estado do Rio Grande do Sul (2009, p. 85) também abordam essa questão:

Essa consciência crítica também deve ser incentivada nos alunos, por exemplo, na solução de situações-problema. Isso é extremamente importante, pois quem é crítico para elaborar um modelo teórico, para propor soluções a uma situação-problema, pode ser crítico para avaliar outras situações, no campo social, político, econômico ou cultural.

Essas orientações discutidas para o Ensino Médio incluem todos os componentes curriculares, de forma que a Física deve também ter em vista esta formação de um cidadão pensante e atuante.

Trata-se de construir uma visão de Física voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade. Nesse sentido, mesmo os jovens que, após a conclusão do ensino médio, não venham a ter mais qualquer contato escolar com o conhecimento em Física, em outras instâncias profissionais ou universitárias, ainda terão adquirido formação necessária para compreender e participar do mundo em que vivem (BRASIL, 2002, p. 59).

As orientações presentes nos PCN+ constam que a Física deve promover “[...] a construção das abstrações, indispensáveis ao pensamento científico e à vida” (BRASIL, 2002, p. 62), importante característica desse componente curricular. O ensino de Física é rico em abstrações, mas elas exigem um nível elevado de pensamento para que sua compreensão seja

efetiva. Costuma-se ser necessária dedicação e paciência para que a construção das abstrações e generalizações seja rica, prática e conceitualmente corretas (BRASIL, 1999).

Apresentar a história da evolução da ciência também é importante, pois “[...] a Física deve vir a ser reconhecida como um processo cuja construção ocorreu ao longo da história da humanidade, impregnado de contribuições culturais, econômicas e sociais” (BRASIL, 2002, p. 59), sendo seu desenvolvimento especialmente impulsionado pelas tecnologias. A apresentação atual da Física acaba por levar os alunos a interpretarem seus conhecimentos “[...] como produto acabado, fruto da genialidade de mentes como a de Galileu, Newton ou Einstein, contribuindo para que os alunos concluam que não resta mais nenhum problema significativo a resolver” (BRASIL, 1999, p. 22). Por isso é importante explicitar a ciência como um processo histórico em contínua transformação, uma vez que a “Física percebida enquanto construção histórica, como atividade social humana, emerge da cultura e leva à compreensão de que modelos explicativos não são únicos nem finais, tendo se sucedido ao longo dos tempos” (BRASIL, 1999, p. 27).

Por ser uma das mais antigas ciências, a Física possui vasto conhecimento acumulado ao longo da história da humanidade, contudo abordar todo esse conhecimento nas aulas de Física é impraticável, de modo que sempre se fará necessário filtrar o que é mais importante ou fundamental. Essa escolha sempre cabe ao professor que deve fazê-las a partir do que faz mais sentido trabalhar de acordo com o perfil da escola e do projeto político pedagógico, condições específicas nas quais desenvolve seu trabalho (BRASIL, 2002). No tocante aos conhecimentos tradicionalmente selecionados no ensino de Física, sua seleção

[...] tem sido feita [...] em termos de conceitos considerados centrais em áreas de fenômenos de natureza física diferentes, delimitando os conteúdos de Mecânica, Termologia, Óptica e Eletromagnetismo a serem abordados. Isso resulta, quase sempre, em uma seleção tal que os índices dos livros didáticos de ensino médio se tornam, na verdade, uma versão abreviada daqueles utilizados nos cursos de física básica do ensino superior, ou uma versão um pouco mais estendida dos que vinham sendo utilizados na oitava série do ensino fundamental. Nessas propostas, os critérios de seleção para definir os conteúdos a serem trabalhados, na maior parte das vezes, restringem-se ao conhecimento e à estrutura da Física, sem levar em conta o sentido mais amplo da formação desejada (BRASIL, 2002, p. 61).

O ensino de Física no terceiro ano do Ensino Médio é baseado, essencialmente, na Eletricidade e no Magnetismo, sendo negligenciado, na maioria das escolas, temas como a Física Moderna. Trabalhos prévios (KESSLER, 2008; COELHO DA SILVA et al., 2011) realizaram investigações acerca do ensino da Física Moderna no Ensino Médio e diversos motivos da não abordagem do tema surgiram, como a falta de tempo e o despreparo dos professores (KESSLER, 2008). Contudo a abordagem dos conhecimentos da Física Moderna

é fundamental por possuir importantes características, como, por exemplo, por facilitar a abstração e generalização, conforme discutido anteriormente.

Mais especificamente em relação à Física Moderna, algumas competências descritas nos PCN+ possuem maior relação. No tocante às competências relacionadas à *investigação e compreensão*, os alunos devem ser capazes de “reconhecer, utilizar, interpretar e propor modelos explicativos para fenômenos ou sistemas naturais ou tecnológicos” (BRASIL, 2002, p. 62), sendo uma das competências específicas da Física a de “elaborar modelos simplificados de determinadas situações, a partir dos quais seja possível levantar hipóteses e fazer previsões” (BRASIL, 2002, p. 62). No que tange à *contextualização histórica e social*, os alunos devem ser capazes de “compreender o conhecimento científico e o tecnológico como resultado de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social” (BRASIL, 2002, p. 62), compreendendo que “o desenvolvimento histórico dos modelos físicos para dimensionar corretamente os modelos atuais, sem dogmatismo ou certezas definitivas” (BRASIL, 2002, p. 62).

O professor deve, também, facilitar que o aluno compreenda “a ciência e a tecnologia como partes integrantes da cultura humana contemporânea” (BRASIL, 2002, p. 62), sendo capazes de

compreender formas pelas quais a Física e a tecnologia influenciam nossa interpretação no mundo atual, condicionando formas de pensar e interagir. Por exemplo, como a relatividade ou as idéias quânticas povoam o imaginário e a cultura contemporânea, conduzindo à extrapolação de seus conceitos para diversas áreas, como para a Economia ou Biologia. (BRASIL, 2002, p. 62)

Tentativas de alteração cronológica da abordagem dos conhecimentos de Física ao longo do Ensino Médio foram realizadas, como a ideia proposta nos livros didáticos da Coleção Quanta Física de Kantor e colaboradores (2010), na qual os conteúdos abordados de forma contextualizada no último ano do Ensino Médio incluem, entre outros, as radiações, a física quântica, a mecânica, a termodinâmica, o eletromagnetismo e a física moderna. É fato que os alunos do terceiro ano possuem maior maturidade e conhecimentos específicos que os tornam capazes de fazer reflexões de maior qualidade e de abstrair com maior profundidade (BRASIL, 2002). Essas capacidades dos estudantes são essenciais no ensino da Física Moderna, de tal modo que esse tema deva ser abordado preferencialmente no último ano do Ensino Médio – quando é abordado.

Conforme discutido anteriormente, a abordagem da Física Moderna ocorre de maneira superficial no terceiro ano do Ensino Médio, sendo preferenciados a Eletricidade e o

Magnetismo. Kessler (2008, p. 18) expõe que “sabe-se da importância histórica que a Física do século XX tem para a humanidade, e o avanço tecnológico que ela propiciou, porém constata-se que a Física Clássica [...] domina o currículo e [...] a Física Moderna ocupa um espaço mínimo”.

Vive-se atualmente em contato com tecnologias resultantes das contribuições da Física Moderna, conhecimento que deve ser facilitado ao aluno. Entretanto, o ensino de Física é basicamente direcionado ao estudo das leis que se aplicam à matéria macroscópica, sendo a Física Moderna abordada de forma restrita por lidar com coisas inacessíveis ou por exigir grande capacidade de abstração (KESSLER, 2008).

Os novos conhecimentos da física relativística e quântica mudaram, profundamente, o conhecimento humano em vários sentidos. Estas possibilitaram um avanço tecnológico sem precedentes, encurtaram caminhos e aumentaram a agilidade na produção, no transporte, na comunicação, mudando, definitivamente, a realidade humana. Boa parcela das descobertas e dos conhecimentos construídos no século XX não faz parte do currículo da educação básica, e não são abordados com a atenção que merecem nos livros didáticos. (KESSLER, 2008, p. 19)

Com relação aos materiais e métodos de ensino, três adicionais pontos são importantes de aqui serem descritos por estarem relacionados com o estudo. Primeiramente é que

para que todo processo de conhecimento possa fazer sentido para os jovens, é imprescindível que ele seja instaurado por meio de um diálogo constante entre alunos e professores, mediado pelo conhecimento. E isso somente será possível se estiverem sendo considerados objetos, coisas e fenômenos que façam parte do universo vivencial do aluno, seja próximo, como carros, lâmpadas ou televisões, seja parte de seu imaginário, como viagens espaciais, naves, estrelas ou o Universo (BRASIL, 2002, p. 82).

Outro ponto é a importância da utilização de “meios de informação contemporâneos que estiverem disponíveis na realidade do aluno, tais como notícias de jornal, livros de ficção científica, literatura, programas de televisão, vídeos, promovendo diferentes leituras e/ou análises críticas” (BRASIL, 2002, p. 83). E finalmente que a utilização do formalismo matemático é essencial, mas deve ser abordado como síntese dos conhecimentos abordados, “compreendidos anteriormente de forma fenomenológica e qualitativa” (BRASIL, 2002, p. 82).

Devido à importância do ensino da Física Moderna no Ensino Médio, e aos problemas pelos quais esses conhecimentos não são facilitados aos alunos, vários trabalhos foram elaborados para facilitar ao professor de Física a abordagem da Física Moderna (KESSLER, 2008; COELHO DA SILVA, 2011; FERNANDA DA SILVA, 2012). Por fim, este trabalho também é uma contribuição aos professores de Física do Ensino Médio no

tocante à Física Moderna, mais especificamente às Teorias da Relatividade Especial e Geral, através da análise dos benefícios da utilização de um mangá que aborda esses temas.

3.2. RELATIVIDADE

Essa seção descreve a Teoria da Relatividade com enfoque em sua história de evolução e suas ramificações: Especial e Geral, ambas utilizadas no estudo.

3.2.1. BREVE HISTÓRICO

A ciência, mais que qualquer outra coisa, foi a vida de Einstein; [...] É possível para o leigo compreender as teorias da relatividade usando apenas um mínimo de matemática? Penso que sim, e penso também que essas teorias são de tal importância que devem fazer parte da educação de todo mundo. (BRENNAN, 2003, p. 59)

A história da Física é, geralmente, abordada no ensino básico de forma simples e sem muita importância, de modo que as contribuições de diversos cientistas e filósofos no desenvolvimento da ciência, da maneira como hoje é conhecida, pobremente são mencionadas (ROCHA, 2002). Como mágica, a ciência parece ter sido inventada pelos famosos, como, por exemplo, por Newton, Maxwell e Einstein. É de praxe ouvir, nas aulas de Física, algo próximo à expressão: “conta-se que uma maçã caiu na cabeça de Newton e ele compreendeu a gravidade”, passando para os alunos a visão de que os cientistas famosos foram quase deuses, intocáveis em sua sabedoria infinita.

Rocha (2002, p. 20) teoriza sobre os livros de história da ciência e seus conteúdos, afirmando que

[...] esses livros escondiam uma ideologia de guerra-fria, que surgiu logo depois da Segunda Guerra Mundial, que opunha frente a frente super-potências militares e agora, em plena era da globalização, continuam escondendo dos estudantes das áreas científicas o humanismo necessário para a construção de uma sociedade mais justa e menos tecnocrática. O objetivo é mostrar, assim, a ciência como algo neutro, prático, linear, objetivo, desprovido de historicidade. Não é prioritário saber como nascem e evoluem as ideias científicas, mas sim, como aplicá-las de sorte a produzirem efeitos práticos e imediatos. A corrida tecnológica e as frias leis de mercado nutrem a qualquer preço, esta ideologia até os presentes dias. Portanto, não nos é revelado como é penoso, lento, sinuoso e, por vezes, violento, o processo de evolução das ideias científicas.

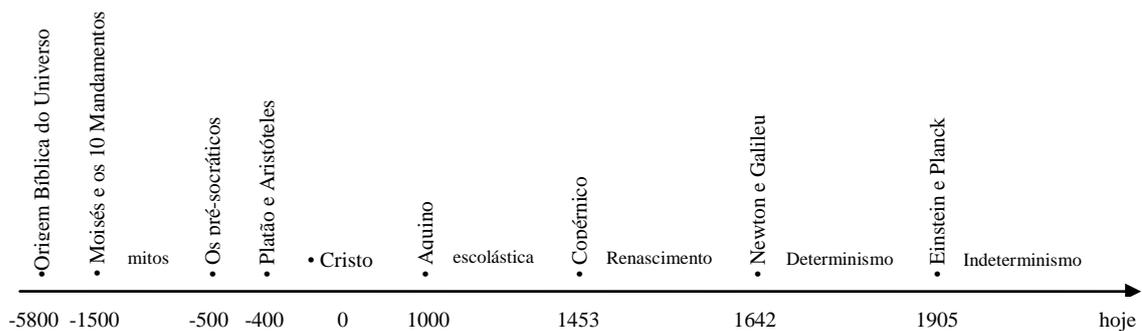
Claramente o processo de evolução da ciência é de extrema importância no desenvolvimento de uma sociedade contemporânea e deve ser inserido nos currículos da educação básica, evidenciado pelo que o próprio Newton afirmou em seu discurso de posse na

Royal Society: “se longe enxerguei é porque estive apoiado em ombros de gigantes” (ROCHA, 2002, p. 23). “As leis de Newton são geniais exatamente porque sintetizam, em poucas linhas, milênios de saber acumulado por diversas civilizações, no entanto, passa-se nas salas de aula uma errônea ideia de sua simplicidade” (ROCHA, 2002, p. 22), dando a entender que os conceitos presentes nas leis de Newton são simples, naturais e intuitivos, exatamente o oposto de sua complexidade (ROCHA, 2002).

Ao longo dos quatro últimos séculos, uma série de observações e experimentos astronômicos alterou radicalmente o modo como a humanidade vê o universo. Assim como o universo geocêntrico de Aristóteles foi substituído pelo universo heliocêntrico de Copérnico, Kepler e Galileu, assim também essa concepção foi modificada e quantificada pelo universo mecânico de Newton. E no início do século XX o universo de Newton foi substituído pelo de Einstein. Vivemos atualmente no universo de Einstein, quer o entendamos bem ou não. Não é preciso dizer que Albert Einstein figura como um dos gênios supremos de nosso tempo. Sua contribuição para nossa compreensão do tempo e seus esforços para conciliar a física das partículas com a física do espaço asseguram seu lugar na história da civilização. (BRENNAN, 2003, p. 58)

Os eventos mais significativos da evolução da ciência podem ser encontrados na Figura 1, que mostra uma linha do tempo resumindo simplificada a evolução da ciência. Apenas a última parte da sequência temporal é de interesse desse trabalho, a Física Moderna, tendo-se como especial ênfase as Teorias da Relatividade Especial e Geral, de Albert Einstein (1879-1955), que vieram para destronar a Mecânica Clássica.

Figura 1 – Sequência temporal dos marcos significativos da evolução da ciência.



Sequência temporal dos marcos significativos da evolução da ciência. Fonte: Adaptado de Rocha (2002, p. 36).

Albert Einstein, ou o velhinho de cabelos brancos e despenteados com a língua para fora, tornou-se um mito entre os cientistas e o público interessado pela ciência pelas suas teorias no início do século XX. Ingênuo e distraído, sua mente brilhante divagou, abstraiu, imaginou e teorizou com as ferramentas matemáticas existentes, concluindo em uma reviravolta na ciência da época que gerou diversas discussões e discordâncias entre os cientistas (ROCHA, 2002; BRENNAN, 2003). “A Física Moderna tem início com Einstein,

basicamente, com a publicação das duas teorias da relatividade. Entende-se que foi a primeira parte da Física Moderna desenvolvida em teoria e testada por experimentos” (KESSLER, 2008, p. 30).

De pai Hermann Einstein, mãe Pauline, e irmã Maria – a pessoa mais próxima, Einstein veio de uma família culta Alemã que gostava de livros e música. Ele desenvolveu sua fala tarde, aos três anos de idade, o que sua família achava estar relacionado a alguma deficiência mental. Sua irmã escreveu mais tarde, em um ensaio biográfico, que Einstein falou fluentemente alemão apenas aos dez anos de idade. No nascimento, conforme relatado pelo ensaio de sua irmã, Einstein possuía a parte posterior da cabeça excepcionalmente grande, formato que se manteve em sua fase adulta (BRENNAN, 2003).

Embora não fosse bem querido por seus professores, Einstein possuía boas notas. Não gostava de atividades físicas e não gostava de brincar com as outras crianças, preferindo atividades de concentração que exigiam paciência e persistência, “atitude [...] em parte responsável pelo fato de ter poucos amigos na escola e se sentir isolado e sozinho” (BRENNAN, 2003, p. 61). Ainda na adolescência, dedicou-se ao estudo “do enigma do ‘imenso mundo’” (BRENNAN, 2003, p. 61), e seu interesse por ciências e matemática foi incentivado. Um amigo da família, Talmud, estudante de medicina, presenteava Einstein com livros e ambos discutiam assuntos como ciência e filosofia. Talmud disse não se lembrar de ter visto Einstein lendo alguma literatura leve. Ainda assim, “o professor de grego de Albert disse certa vez a Hermann Einstein que o campo profissional que Albert escolhesse não tinha a menor importância – ele fracassaria em qualquer um” (BRENNAN, 2003, p. 61).

Em 1894 sua família se mudou para a Itália, para onde Einstein fugiu por não suportar a solidão, abandonando o ensino secundário – sugestão de um de seus professores. Não possuir diploma impedia seu acesso em universidades italianas. Contudo, Einstein soube que o Instituto Politécnico não solicitava diploma, mas sim uma prova de admissão. Foi admitido em 1896 (após ser reprovado em 1895) para um curso de quatro anos que o prepararia para ser professor. No mesmo ano renunciou à cidadania alemã (BRENNAN, 2003).

Em seu primeiro ano se tornou amigo de Marcel Grossman e Mileva Maric. Era sério e trabalhava, mantendo em geral uma postura madura. Entretanto se dedicava apenas ao que lhe era de interesse, possuindo baixa frequência. “Consta que seu professor de Física, Heinrich Weber, lhe teria dito: ‘Você é um rapaz inteligente, Einstein, muito inteligente. Mas tem um grande defeito, não permite que lhe ensinem coisa alguma’” (BRENNAN, 2003, p.

63). Mais uma vez Einstein foi, em geral, pouco apreciado pelos professores. Brennan (2003, p. 63) descreve que

Einstein valia-se dos apontamentos de aula que lhe fornecia seu grande amigo Marcel Grossman, que mantinha um diário meticulosamente organizado. Estudava esses apontamentos só nas vésperas dos poucos exames e se saía bastante bem. Em pelo menos uma ocasião, recebeu uma advertência formal sobre seu descaso pelo trabalho de laboratório. Em outra ocasião, um de seus experimentos provocou uma explosão que quase destruiu o laboratório e feriu-lhe gravemente a mão.

Conseguiu seu diploma em Física em 1900, mas não o emprego de professor assistente no próprio Instituto Politécnico como seus demais colegas. Iniciou um relacionamento amoroso com Mileva e tiveram um filho, em 1902, entregue para adoção. No mesmo ano iniciou no Departamento de Patentes da Suíça, em Berna, casando-se no ano seguinte com Mileva (BRENNAN, 2003).

Einstein tinha de fazer muitas leituras e análises para se manter em dia com a física moderna. Quando estudante, lera Kirchoff e Hertz sobre o comportamento das correntes elétricas e das ondas eletromagnéticas. Estudara também as teorias da eletricidade de James Clerk Maxwell, as ideias de Ernest Mach sobre os conceitos básicos da física e as de Hendrik Lorentz sobre a teoria eletrônica da matéria. Esses e outros influentes pioneiros da época, em particular Michael Faraday, tornaram-se os “gigantes” de Einstein. Como Newton, Einstein precisou de ombros sobre os quais se erguer. E ele iria reconhecer essa dívida. Numa conferência que deu em Londres em 1921, disse que a relatividade era “o resultado direto e, em certo sentido, a culminação natural do trabalho de Faraday, Maxwell e Lorentz”. (BRENNAN, 2003, p. 64-65).

Michael Faraday (1791-1867) foi a primeira inspiração de Einstein, com a descrição da indução eletromagnética, além das experiências que mostraram que a matéria é constituída de diferentes átomos de estrutura eletricamente equilibrada. James Clerk Maxwell (1831-1879) unificou a eletricidade, o magnetismo e a óptica. A partir das equações que obteve, Maxwell concluiu que a luz visível é uma variedade das radiações eletromagnéticas, ambas com mesma velocidade. As ideias de Maxwell foram testadas por uma série de experimentos ao longo de dez anos e comprovadas por Heinrich Hertz (1857-1894). “Einstein expressou o valor que atribuía às equações de Maxwell, dizendo: ‘Maxwell deu a contribuição isolada mais importante do século XIX.’” (BRENNAN, 2003, p. 67).

O primeiro a sugerir o conceito de elétron foi Hendrik Lorentz (1853-1928), essenciais para manter a estrutura equilibrada dos átomos, embora não venham a contribuir com quantidade significativa de massa. Lorentz tentava estender os achados matemáticos de Maxwell para outras áreas da Física e sugeriu que a massa de uma partícula poderia aumentar com a velocidade (BRENNAN, 2003).

É interessante notar que as expressões matemáticas das transformações obtidas por Einstein já tinham sido obtidas por Lorentz, de modo que, ainda hoje, elas são conhecidas por “transformações de Lorentz”. O físico holandês, contudo, recusava-se a atribuir significado físico àquelas equações, especialmente à expressão que fornecia um tempo dependente de cada referencial. Einstein, ao contrário, considerou-as como plenas de significado físico, porque decorriam do que considerava um princípio físico mais fundamental, o princípio da relatividade, ou seja, a invariância das leis físicas em relação aos referenciais inerciais. (ROCHA, 2002, p. 289)

A Relatividade teve origem nas pesquisas sobre o Eletromagnetismo, recém unificado na época. Simultânea às pesquisas de Einstein, Albert Michelson (1852-1931) e Edward Morley (1838-1923) buscavam provar a existência do meio hipotético, chamado *éter*, no qual as ondas eletromagnéticas se propagavam. A teorização desse meio possui origem na Mecânica, uma vez que as ondas mecânicas necessitam de um meio de propagação, o que sugeria que as ondas eletromagnéticas também necessitavam de um (ROCHA, 2002).

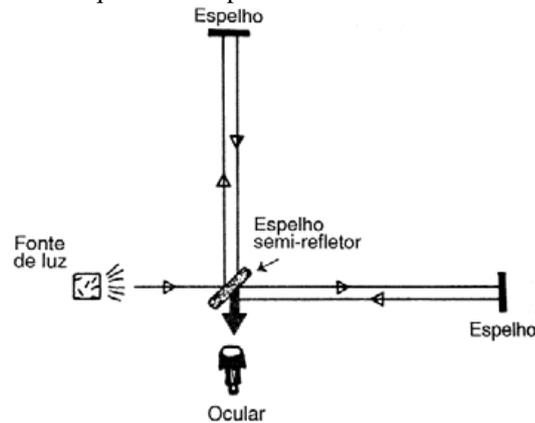
De acordo com Brennan (2003), Michelson e Morley, assim como os demais físicos da época, acreditavam que objetos que se movessem contra esse meio enfrentariam o “vento do éter”. Eles sabiam que a Terra se movia com velocidade próxima a 30 km/s ao redor do Sol, o que implicava em um vento de velocidade aproximadamente igual.

Em 1887, no laboratório de Morley, instalado num porão, os dois montaram um experimento que pretendia detectar e medir com precisão a força do vento do éter: um feixe de luz foi opticamente separado em dois feixes perpendiculares entre si. Os dois feixes de luz foram refletidos e depois recombinados e postos em foco numa ocular. Um feixe de luz orienta-se paralelamente ao suposto movimento da Terra através do éter. A teoria que estava sendo posta à prova era a de que o feixe de luz que tivesse de se mover contra a força do vento do éter teria sua velocidade reduzida em relação à do outro feixe. (BRENNAN, 2003, p. 68)

A Figura 2 ilustra o experimento de Michelson e Morley. Ao contrário do esperado, não houve diferença nos tempos medidos. Duas conclusões poderiam ser obtidas: ou o éter se moveria com a Terra, conclusão absurda; ou o éter simplesmente não existia (BRENNAN, 2003). Ambas as conclusões eram avessas ao que se acreditava na época “contudo, [Michelson e Morley] não observaram nenhuma modificação no padrão de interferência observado, embora tenham repetido a experiência diversas vezes em diversas épocas do ano” (ROCHA, 2002, p. 287).

Einstein, utilizando de experimentos mentais, concluía que o éter não deveria existir, embora não soubesse do experimento de Michelson e Morley. As conclusões desse experimento indicavam que a Mecânica newtoniana estava incompleta, o que ajudou a comunidade científica a aceitar as teorias relativísticas de Einstein (BRENNAN, 2003).

Figura 2 - Esquema do experimento de Michelson e Morley.



Um espelho semi-refletor divide a luz proveniente da fonte em dois feixes perpendiculares entre si, posteriormente refletidos, reunidos e detectados pela ocular. Fonte: Brennan (2003, p. 69).

Einstein ainda publicou mais dois artigos de significativa importância, um sobre a emissão estimulada da luz e outro sobre a estrutura do universo. Todo esse estresse mental e físico teve um preço, que Einstein pagou durante o resto de sua vida com uma úlcera de estômago entre os males físicos. “Como Newton e Maxwell antes dele, Einstein sofreu um colapso nervoso em decorrência do seu árduo trabalho intelectual” (BRENNAN, 2003, p. 90).

Em 1909 Einstein recebeu a proposta de ser professor de Física na Universidade de Zurique, logo se transferiu para a Universidade de Praga para ocupar o cargo de professor titular, mas retornou para Zurique em 1912 para a Politécnica. Era lembrado como um homem feliz com seus filhos, Hans Albert e Eduard. Em 1914 se mudou para Berlim, ocupando um cargo na Academia Prussiana. Sua esposa, Mileva, não suportou morar em Berlim e voltou para a Suíça com seus filhos, separação que levou a um divórcio mais tarde (BRENNAN, 2003).

Conforme descrito por Brennan (2003, p. 83),

com a deflagração da Primeira Guerra Mundial, Einstein tornou-se um crítico franco do militarismo alemão. Nessa época era um pacifista e pensava que nenhuma guerra se justificava. (Modificou essas ideias em 1930, quando concluiu, com relutância, que era preciso deter Adolf Hitler). Em 1916, em Berlim, juntou-se a movimentos contra a guerra e distribuiu panfletos nas esquinas. Sua nacionalidade suíça o protegia da retaliação oficial por essas ações.

Já com 40 anos, em 1919, Einstein se casou com sua prima em segundo grau Elsa Einstein Lowenthal (1876-1936), na época com 43 anos. Não foi um casamento feliz, Einstein gostava de ter suas camisas lavadas e Elsa de ser mulher de um homem famoso (BRENNAN, 2003). Brennan (2003, p. 90) descreve que

muitos anos mais tarde, escrevendo para a família de Michele Besso, um amigo da vida inteira que acabara de morrer, Einstein disse: “O que eu mais admirava nele como ser humano era o fato de conseguir viver por muitos anos não só em paz mas

também em permanente harmonia com uma mulher – um esforço em que fracassei duas vezes de maneira bastante vergonhosa”.

Segundo Brennan (2003), provavelmente a convivência com Einstein era difícil devido à sua paixão ao trabalho. Passava horas pensando, refletindo e divagando sobre a mesma questão. Estava sempre com seu caderno de anotações no bolso, o qual utilizava para descrever alguma ideia que lhe ocorresse.

Discutindo seus processos de pensamentos ao desenvolver os princípios da relatividade, Einstein disse: “Por que cargas d’água fui eu que desenvolvi a teoria da relatividade? A razão, eu acho, é que um adulto normal nunca para para pensar sobre problemas de espaço e tempo. Essas são coisas em que pensou quando criança. Mas meu desenvolvimento intelectual foi retardado e, em consequência, só comecei a especular sobre espaço e tempo depois de grande. Naturalmente, vou mais fundo no problema que uma criança com capacidades normais.” (BRENNAN, 2003, p. 91)

O partido nazista na Alemanha começara, em 1920, uma intensa campanha anti-Einstein, quando iniciaram os sinais de perigo para a vida de Einstein. Suas teorias começaram a ser condenadas como “física judia” (BRENNAN, 2003, p. 93) e todos os demais cientistas alemães que aceitassem tais teorias se colocariam em risco. Nesse mesmo período, Einstein era famoso mundialmente e sempre era convidado para diversas ocasiões, não deixando de se envolver em movimentos de auxílio aos judeus, emprestando inclusive seu nome para ajudar a arrecadar fundos para estabelecer uma nação judaica na Palestina (BRENNAN, 2003).

Einstein recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1921, não devido às suas teorias da relatividade, mas por sua contribuição no estudo do efeito fotoelétrico. “Pensou-se na época que o comitê do Nobel não conseguiu perceber como a teoria da relatividade havia melhorado a condição da humanidade, algo especificado por Alfred Nobel como condição para o prêmio” (BRENNAN, 2003, p. 94). Entretanto não foi um prêmio digno do interesse de Einstein, o qual inclusive se esqueceu de incluir em sua lista de honrarias certa vez (BRENNAN, 2003).

Quando Georges-Henri Édouard Lemaître (1894-1966), em 1927, apresentou sua teoria de expansão do universo, “Einstein levantou-se de um pulo, aplaudindo. Declarou que aquela fora a mais bela e satisfatória explanação da criação que jamais ouvira e apressou-se em ir apertar a mão de Lemaître” (BRENNAN, 2003, p. 94). A hoje conhecida como teoria do *Big-Bang* foi resultado direto do trabalho de Einstein de 1917 (BRENNAN, 2003).

As teorias da relatividade de Einstein [...] tornaram-se os primeiros assuntos científicos que a mídia de massa, que começava a emergir na década de 1930, tentou popularizar. Mas como até as mais simples explicações das teorias pareciam à imprensa contrárias ao bom senso e de difícil entendimento, a atenção se voltou para

o próprio homem. Os refletores da mídia criaram uma espécie de caricatura, que se transformou na imagem popular de um cientista moderno. Einstein tinha um humor brincalhão que o tornava imensamente agradável. (BRENNAN, 2003, p. 59)

Quando Hitler chegou ao poder em 1933, Einstein deixou a Alemanha após diversas ameaças nazistas, mais tarde sendo declarado inimigo público. “Einstein não se enganava quanto ao perigo que Hitler representava e a ascensão do nazismo na Alemanha o fez mudar suas ideias políticas do pacifismo absoluto para uma aprovação condicional de guerras defensivas” (BRENNAN, 2003, p. 95-96).

Einstein aceitou um cargo no Instituto de Estudos Avançados em Princeton em 1933, onde permaneceu até o final de sua vida, em sua maior parte tranquila e rotineira. Não parecia se importar com dinheiro e não escreveu um livro campeão de vendas sobre suas teorias. “Em suma, nunca capitalizou a própria celebridade. Para se divertir, tocava violino e velejava em seu barquinho num lago local” (BRENNAN, 2003, p. 97).

Embora não envolvido ativamente em religião, Einstein possuía um senso genuíno do espiritual. “A ciência sem religião é manca”, disse uma vez, “ao passo que a religião sem a ciência é cega”. Referiu-se muitas vezes a Deus em seus escritos, aludindo por vezes a ele como “o Velho”. Certa vez, discutindo a relação entre ciência e religião, disse: “Sutil é o Senhor, mas não malicioso”. Parece-me que queria dizer que a natureza pode parecer ocultar segredos dos cientistas curiosos, mas esses segredos não são impenetráveis nem incompreensíveis. Ou seja, é difícil mas não impossível para a humanidade descobrir as leis da natureza. (BRENNAN, 2003, p. 97)

Chegou aos ouvidos de Einstein, em 1939, que um físico Alemão conseguira dividir um átomo de urânio, isto é, realizar a fissão de um átomo de urânio. Niels Henrick David Bohr (1885-1962) quem veio com a notícia, sugerindo que uma explosão gigantesca ocorreria caso a fissão controlada de urânio por reação em cadeia fosse possível. Os físicos atômicos da época ficaram bastante preocupados. Procurado por Leo Szilard (1898-1964) e Eugene Paul Wigner (1902-1995) em 02 de agosto de 1939, “Einstein assinou a carta ao presidente Franklin D. Roosevelt que eles haviam trazido consigo” (BRENNAN, 2003, p. 97-98) o alertando sobre os perigos da possível construção de uma bomba atômica pelos nazistas (BRENNAN, 2003).

A carta demorou anos para ser entregue, referida por historiadores como a carta Einstein/Roosevelt. “Dizia [...]: ‘Alguns trabalhos recentes de E. Fermi e L. Slizard levam-me a antecipar que o elemento urânio pode ser convertido numa nova e importante fonte de energia [...] Esse fenômeno conduziria também à construção de bombas. [...]’” (BRENNAN, 2003, p. 98). Essa carta levou ao início do projeto Manhattan, o qual possuía por objetivo a construção da bomba de fissão nuclear que, posteriormente, foi lançada em Hiroshima.

Einstein não sabia da existência do projeto nem da bomba Los Alamos até sua explosão (BRENNAN, 2003).

Após a Segunda Guerra Mundial, Einstein iniciou a busca por modos de impedir a utilização de bombas de fissão nuclear no futuro. Já em seus últimos anos de vida, foi oferecido a Einstein a presidência de Israel, o que ele negou alegando estar velho demais (BRENNAN, 2003). Faleceu no Hospital de Princeton aos 76 anos, mas suas contribuições permaneceram vivas. O Quadro 1 contém um perfil biográfico da vida de Einstein.

Quadro 1 – Perfil biográfico de Albert Einstein.

Ano	Idade	Acontecimentos
1879	-	Albert Einsten nasce em Ulm, na Alemanha.
1902	23	Não conseguindo um cargo acadêmico, foi trabalhar como técnico no Departamento de Patentes da Suíça, em Berna.
1905	26	Publicou cinco artigos científicos, entre os quais o da teoria especial da relatividade e um adendo que dizia que energia contida por um corpo é igual à sua massa vezes a velocidade da luz ao quadrado ($E=mc^2$).
1911	32	Formulou o princípio da equivalência, que equipara gravidade e aceleração, uma pedra angular na teoria geral da relatividade.
1914	35	Mudou-se para Berlim para assumir um cargo na Academia Prussiana de Ciências.
1916	37	Publicou seu mais famoso artigo, “O fundamento da teoria da relatividade geral”.
1919	40	Eclipse solar fornece a astrônomos britânicos a primeira confirmação de que o espaço é curvado pela gravidade e que a luz se curva na presença de uma grande massa, como Einstein previra.
1922	43	Recebeu, um ano mais tarde, o prêmio Nobel de Física, não pelas teorias da relatividade, mas por seu trabalho sobre o efeito fotoelétrico.
1933	54	Após repetidos ataques nazistas, deixou a Alemanha e foi para os Estados Unidos. Assumiu um cargo no Instituto de Estudos Avançados em Princeton, Nova Jersey, onde passou a residir.
1939	60	Assinou uma carta ao presidente Roosevelt, chamando-lhe a atenção para o potencial de uma bomba atômica, no que foi seu único envolvimento no Projeto Manhattan.
1955	76	Faleceu durante o sono no Hospital Princeton.

Fonte: Adaptado de Brennan (2003, p. 100).

3.2.2. TEORIA DA RELATIVIDADE ESPECIAL

A teoria da relatividade contribuiu também para formarmos uma imagem mais realista sobre a natureza deste empreendimento que é a Física, em particular acerca das relações entre teoria, matemática e experiência. Ela ajudou a desacreditar uma visão da Física como uma atividade que utiliza um método que parte sempre de um grande número de observações, obtendo as leis e conceitos por generalização (indução) de observações singulares. (ROCHA, 2002, p. 294-295)

Apegados à mecânica newtoniana e ao eletromagnetismo maxwelliano, os cientistas da época não mudaram sua posição facilmente quando as teorias de Einstein foram publicadas. Essa oposição da comunidade científica era esperada, uma vez que, caso as teorias de Einstein estivessem corretas, muito da Física teria de ser repensado. Dos trabalhos de Einstein que iniciaram a revolução na Física, o primeiro artigo foi publicado em maio de 1905 na revista alemã de Física *Annalen der Physik*, sobre o efeito fotoelétrico, artigo pelo qual Einstein recebeu o prêmio Nobel 17 anos mais tarde. O segundo artigo garantiu seu doutorado pela Universidade de Zurique. Einstein ainda publicou, no mesmo ano, artigos sobre o movimento browniano, a teoria da relatividade especial e a relação massa-energia, introduzindo a célebre equação $E = m.c^2$ (BRENNAN, 2003).

De acordo com Brennan (2003), esse período de produção de Einstein, sozinho e sossegado em seu apartamento em Berna, pode ser comparado apenas com o período que Newton permaneceu em Woolsthorpe (1665-1666), no qual Newton introduziu seus *Principia*.

Brennan (2003) descreve ainda que a teoria da relatividade especial surgiu com um experimento mental que Einstein imaginou aos 16 anos, no qual ele se perguntou como veria a luz caso pudesse correr atrás dela na mesma velocidade. A mecânica de Newton afirma que dois objetos que se movem com velocidade de mesmo módulo, direção e sentido, estão em repouso um em relação ao outro. Isso indicaria que Einstein veria a luz parada. Crente nas conclusões de Maxwell de que a luz é movimento (oscilação em fase dos campos elétrico e magnético), concluiu que isso não poderia estar certo. Veio então a concluir que espaço e tempo não poderiam ser absolutos, mas que a velocidade da luz deveria. A partir daí o restante da teoria da relatividade especial foi esculpida.

Em sua essência, a teoria da relatividade especial afirma que, pela velocidade da luz ser absoluta, algumas coisas que antes eram consideradas absolutas devem ser relativas, como espaço e tempo, de tal forma que as leis naturais sejam válidas para todos os referenciais (BRENNAN, 2003).

Ao contrário do que fora pensado por Newton – que dizia que existia um relógio absoluto universal – Einstein propôs uma situação para inferir que o tempo não é absoluto. Embora de valor muito alto, a velocidade da luz é finita e demora certo intervalo de tempo para viajar de um local a outro. Utilizando dessa afirmação Einstein sugeriu o caso de dois raios que atingem uma via férrea, simultaneamente para um observador fora dos trilhos localizado na metade da distância entre os pontos onde os raios atingem o solo (A e B).

Supondo que um trem viaja entre as posições A e B, com velocidade muito alta, um observador no primeiro vagão veria o raio da frente (no ponto A) atingir o solo antes do raio de trás (no ponto B), pois a luz do raio da frente o atingiria primeiro. Supondo ainda que outro trem viaje na direção oposta, um observador no primeiro vagão veria, nessa situação, o raio que atingiu o solo no ponto B atingir o solo primeiro. Einstein declarou que, por não haver nenhum observador privilegiado, os três devem estar certos (BRENNAN, 2003). Esse exemplo descreve a relatividade da simultaneidade, na qual eventos podem ser simultâneos ou não, dependendo do observador.

Einstein ainda previu que o tempo é afetado pelo movimento e pela gravidade. Esse efeito da relação do tempo com o movimento é conhecido como dilatação do tempo, no qual “os ponteiros em relógio em movimento avançarão mais lentamente que os de um relógio imóvel” (BRENNAN, 2003, p. 79). Embora atualmente existam relógios de alta precisão, atômicos (césio 133), baseados na emissão de microondas, tempo absoluto não pode ser determinado – variações ocorrem na marcação do tempo. A equação que segue é utilizada para a verificação dos efeitos da dilatação do tempo.

$$t' = \frac{t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (01)$$

onde t' é o tempo para um observador em repouso, t o tempo para um observador em movimento com velocidade v e c é a constante que representa a velocidade da luz no vácuo.

As ideias de Einstein sobre a marcação do tempo foram confirmadas por um experimento realizado em 1971. Relógios de césio foram embarcados em dois aviões a jato que dariam a volta à Terra, um rumando para leste e outro para oeste. No início e no fim das viagens, os relógios foram comparados com um relógio de referência do Observatório Naval dos EUA em Washington. No término do experimento, os relógios não coincidiam mais quanto à hora do dia. O relógio enviado para o leste perdera [...] 59 nanossegundos (bilionésimos de segundos) em relação ao relógio de referência, e o enviado para oeste ganhara 273 nanossegundos. Esses resultados se aproximavam muito dos números previstos pelo cientista que conduziu o experimento. Posteriormente, outros exemplos confirmaram esse fenômeno com precisão ainda maior. (BRENNAN, 2003, p. 79)

Segundo Einstein, até mesmo o envelhecimento seria afetado pela dilatação do tempo, o chamado “paradoxo dos gêmeos”. Esse paradoxo é baseado em um experimento teórico no qual um dos irmãos gêmeos viajaria a altas velocidades pelo espaço em uma espaçonave, deixando o outro irmão na Terra. Após uma longa viagem, o irmão astronauta retornaria e verificaria que seu irmão que ficara na Terra estaria mais velho que ele próprio, indicando que a dilatação do tempo afetaria até mesmo o relógio biológico.

Outro paradoxo, o “paradoxo do relógio”, descrito por Brennan (2003), descreve uma espaçonave que viajaria com velocidade próxima à da luz até uma estrela próxima, distante 33 anos-luz – um ano-luz é a distância percorrida pela luz em um ano (tempo medido no referencial terrestre), sendo igual a $9,461 \times 10^{12}$ km. Para os familiares que esperam na Terra, a viagem de ida e volta duraria um pouco mais de 66 anos, enquanto para os tripulantes da nave esse tempo seria de um dia. Embora esses paradoxos levem, pela própria definição da palavra, a uma contradição lógica, o paradoxo dos gêmeos foi experimentalmente verificado. Para essa verificação experimental, um objeto de estudo com vida curta precisaria ser utilizado, de modo que um aumento da vida desse objeto pudesse ser observado.

O mundo subatômico das partículas físicas forneceu o objeto. Muitas partículas subatômicas são instáveis, tem uma obsolescência incorporada e se desintegram após um tempo de vida fixado pela natureza. Os múons, primos mais pesados do elétron, revelaram-se em exemplo conveniente. [Ele se desintegra em um elétron, um neutrino e um antineutrino] [...] após um período de vida de dois milionésimos de segundo. Um experimento envolvendo a longevidade do múon foi conduzido no CERN, o imenso acelerador de alta energia próximo de Genebra, na Suíça. Nesse experimento, múons foram acelerados a 99,4% da velocidade da luz, enquanto se deslocavam em uma órbita de 14 metros de diâmetro. Se os múons não fossem afetados pela alta velocidade, um múon típico faria de 14 a 15 viagens em torno do anel antes que sua vida de dois milissegundos expirasse. No experimento do CERN, uma partícula típica deslocando-se em velocidades próximas à da luz sobreviveu por tempo suficiente para fazer mais do que 400 órbitas. Sua vida fora ampliada quase 30 vezes, confirmando a teoria de Einstein. (BRENNAN, 2003, p. 80-81)

Outros conceitos são ainda introduzidos na teoria da relatividade especial: (1) a contração do espaço; (2) a relação massa-velocidade; e (3) a relação massa-energia. A contração do espaço diz que objetos que viajam em altas velocidades são observados com comprimentos menores, na direção do movimento, para um observador parado (considerando-se sempre referenciais inerciais), comparando-se seu comprimento medido em movimento com aquele medido em repouso. Esse efeito é resultado direto da dilatação do tempo. A contração do espaço é verificada com a utilização da equação a seguir.

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (02)$$

onde L é o comprimento de um objeto com velocidade v medido por um observador em repouso, L_0 é o comprimento desse mesmo objeto quando medido em repouso e c é a constante que representa a velocidade da luz no vácuo.

Experimentalmente testada em aceleradores de partículas, a concepção de um aumento de massa com a velocidade também foi introduzida por Einstein. Este efeito é

observável para velocidades muito altas, como pode ser verificado no Gráfico 1 construído a partir da equação a seguir.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (03)$$

onde m é a massa relativística de um objeto que se move com velocidade v , m_0 a massa de repouso desse objeto e c é a constante que representa a velocidade da luz no vácuo.

Gráfico 1 – Curva da relação massa-velocidade.



Curva da relação massa-velocidade, onde o eixo x representa a razão entre a velocidade do objeto e a velocidade da luz no vácuo (c) e o eixo y representa a razão entre a massa e a massa de repouso. Os efeitos do aumento da massa com a velocidade não são percebíveis para baixas velocidades. Entretanto, para velocidades que se aproximam à da luz, esse efeito torna-se significante. Fonte: Narciso (2014).

A equivalência massa-energia é outra consequência da teoria da relatividade especial, indicando que a toda massa corresponde uma quantidade de energia, geralmente expressa em termos de $E = m.c^2$, onde m é a massa relativística. Desse modo, a equação é alterada para $E = m_0.c^2$ quando o objeto está em repouso e tem-se, então, a energia de repouso (KANTOR et al., 2010).

A equação $E = m.c^2$ é um caso particular da expressão $E^2 = p^2.c^2 + m^2.c^4$, que permite o cálculo da energia total de uma partícula, para o caso de uma partícula em repouso (portanto $p = 0$), onde p representa a quantidade de movimento relativística ($p = m.v$). Contudo, fótons de luz não possuem massa de repouso e a expressão resulta em $E = p.c$, o valor do *quantum* de luz (KANTOR et al., 2010).

Os contemporâneos de Einstein questionaram essa teoria. “Você quer dizer”, perguntaram-lhe, “que há mais energia num pequeno bloco de chumbo, por exemplo, do que numa grande mina de carvão?” “Sim”, ele respondeu, “mas isso é apenas teoria, já que não há nenhum meio de utilizar essa energia, *a menos que se consiga dividir o átomo e isso, como todos sabemos, é impossível.*” (BRENNAN, 2003, p. 82, grifo nosso)

Caso fosse possível liberar essa energia controladamente, Einstein sabia que isso seria uma nova fonte de energia. Também tinha em mente que a liberação dessa energia de forma súbita resultaria em uma nova arma de grande potencial. Atualmente, em geral, associa-se a equação $E = m.c^2$ à bomba atômica, deixando seu real impacto de lado. “Ela é uma explicação matemática para o brilho do Sol e de outras estrelas. É a fórmula para a fonte de energia da maior parte do universo” (BRENNAN, 2003, p. 82-83).

3.2.3. TEORIA DA RELATIVIDADE GERAL

Einstein estava preocupado com a unificação da teoria da relatividade especial com a gravidade. Em 1916 publicou, após anos de dedicação, “O fundamento da teoria geral da relatividade” no *Annalen der Physik*. A teoria da relatividade geral é, dessa forma, uma generalização da especial, uma vez que inclui os referenciais acelerados (não-inerciais). “No curto documento de 60 páginas, Einstein postulou que a gravidade não é uma força, como Newton dissera, e sim um campo curvo no contínuo espaço-tempo, criado pela presença de massa” (BRENNAN, 2003, p. 83).

Na teoria da relatividade geral está incluso o que Einstein chamou de “princípio da equivalência”, afirmando que

não deve haver distinção física entre efeitos de aceleração (elevador em queda livre) e efeitos gravitacionais (peso do passageiro). Note que o desenvolvimento desta ideia implicaria em reformular as ideias sobre a gravitação universal, tão bem estabelecidas por Isaac Newton, em fins do século XVII, e tão corroboradas desde então. (ROCHA, 2002, p. 292)

Como consequência desse efeito, Einstein concluiu que a luz se curvaria em um campo gravitacional, o que leva a conclusão de que o espaço deve ser curvo (BRENNAN, 2003). Um exemplo amplamente utilizado para a simples imaginação da curvatura do espaço é considerando o espaço como uma rede de borracha presa nas pontas na qual objetos podem ser localizados. Ao se posicionar uma esfera – uma bola de boliche, por exemplo – a rede elástica curvar-se-á para baixo.

Entretanto, a curvatura no espaço é bastante pequena e seus efeitos são percebíveis apenas em longas distâncias. “Ao percorrer a distância de Nova York a Los Angeles [aproximadamente quatro mil quilômetros], um feixe de luz se curva apenas cerca de um milímetro por causa da curvatura do espaço induzida pela massa da Terra” (BRENNAN, 2003, p. 86). No caso de objetos com concentração de massa muito grande, como buracos negros, a curvatura do espaço é muito maior, de forma que a luz, acompanhando a curvatura do espaço, é capturada quando viaja próxima a essa região. A figura a seguir (Figura 3) ilustra a curvatura em uma dimensão do espaço para a Terra, o Sol e um buraco negro.

Figura 3 – Ilustração da curvatura unidimensional do espaço.

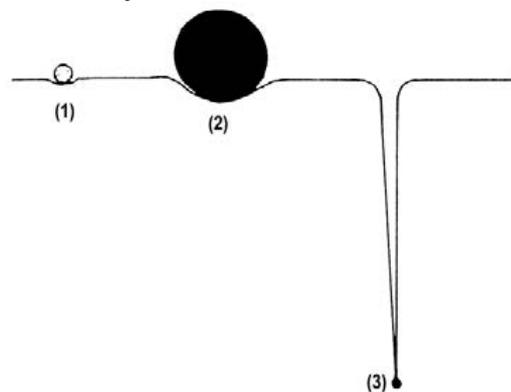


Ilustração da curvatura do espaço para uma dimensão, onde (1) representa a Terra, (2) o Sol e (3) um buraco negro. Fonte: Adaptado de Brennan (2003).

Ainda na teoria da relatividade geral, Einstein unifica o espaço e o tempo, o que infere na existência de quatro dimensões: três dimensões espaciais e o tempo (BRENNAN, 2003).

Como resultado das aplicações das equações de Einstein para a gravidade, fenômenos antes não descritos precisamente pela mecânica newtoniana assim o foram, como a precessão anômala de Mercúrio – o primeiro planeta do sistema solar não possui órbita elíptica fixa – e a luz de estrelas que é curvada ao viajar próxima ao Sol. Outro interessante efeito é o fato da cadência de um relógio ser dependente de sua localização no campo gravitacional terrestre (BRENNAN, 2003).

Outra teoria que emergiu diretamente das consequências das equações cosmológicas de Einstein foi a concepção de *buracos negros*. Mal se passara um ano da publicação da teoria geral, o astrônomo alemão Karl Schwarzschild propôs uma explicação das equações de Einstein que levou ao que hoje é conhecido como a solução do buraco negro. (BRENNAN, 2003, p. 89, grifo do autor)

Embora a teoria da relatividade geral tenha sido publicada em 1916, apenas em 1919 Einstein recebeu seu crédito. A *Royal Society* de Londres organizou duas expedições durante o eclipse solar total de 29 de maio de 1919. Essa expedição tinha por objetivo medir a

curvatura da luz que passava próxima ao Sol, proveniente de estrelas, sendo esta curvatura calculada por Einstein como sendo o dobro da prevista por Newton. Rocha (2002, p. 293-294, grifo nosso) descreve:

Para o eclipse previsto para 1919, foram organizadas expedições para a Ilha de Príncipe e para Sobral, no interior do nosso velho Ceará, ambos escolhidos como locais mais favoráveis para a realização das observações. Quando a reunião conjunta da *Royal Society* e da *Royal Astronomical Society*, em Londres, 6 de novembro de 1919, analisou os resultados obtidos e concluiu que eles confirmaram a teoria da relatividade geral de Einstein em detrimento da teoria gravitacional de Newton, a repercussão na opinião pública mundial foi imediata. A imprensa diária abriu suas páginas para apresentar Einstein como o homem que havia mudado as nossas bem estabelecidas concepções sobre o universo. O *Times*, prestigiado jornal britânico, na edição de 7 de novembro de 1919, colocou como manchetes: “Revolução na Ciência; Nova Teoria do Universo; Ideias Newtonianas Derrotadas”. A fama e a popularidade, e mesmo a lenda, para além da comunidade dos cientistas, começou naquele momento.

Durante o eclipse, Einstein deitara em sua cama e descansara, sem preocupar-se com o acontecimento, pois sabia que suas teorias estavam corretas. Max Planck, seu amigo, entretanto, não dormira na noite. Estavam comprovadas experimentalmente as teorias de Einstein (BRENNAN, 2003).

Quando estas teorias foram elaboradas, praticamente não havia pesquisa em física sendo realizadas no Brasil. [...] Apesar deste atraso, dois acontecimentos contribuíram para despertar o interesse de um pequeno círculo de engenheiros, matemáticos e filósofos brasileiros. O primeiro foi a própria observação do eclipse de 1919, feita em Sobral. A segunda foi a visita de Einstein ao Rio de Janeiro, em 1925, quando proferiu duas conferências sobre a nova teoria científica. Em terras brasileiras a relatividade gerou controvérsias, com defensores e críticos como, aliás, ocorreu no mesmo período também em países com maior tradição científica. (ROCHA, 2002, p. 295)

Não muitos foram os cientistas brasileiros que receberam de bom grato as teorias de Einstein, dentre os poucos “defensores, o mais destacado foi o matemático Manoel Amoroso Costa, que publicou, em 1922, o livro intitulado ‘Introdução à teoria da relatividade’, o qual ainda hoje poderia ser considerado um texto introdutório ao tema” (ROCHA, 2002, p. 296).

O material base utilizado nesse estudo é um mangá que aborda as Teorias da Relatividade, sendo este a versão japonesa das conhecidas Histórias em Quadrinhos. A seção a seguir discute a utilização deste tipo de material, bem como sua essência no tocante às suas características relevantes no processo de ensino aprendizagem.

3.3. UTILIZAÇÃO DE HISTÓRIAS EM QUADRINHOS NO ENSINO

Presente em diversos meios de comunicação de massa, as Histórias em Quadrinhos (HQs) fazem parte constante da vida dos jovens há décadas. Desde a simples leitura de

tirinhas em jornais e revistas, até a leitura completa de HQs famosas e mangás (a versão japonesa). Devido a essa difusão das HQs, diversos autores investigam meios de utilização dessa forma de arte no ensino (CARUSO, 2002; PENA, 2003; TESTONI; ABIB, 2005; PESSOA, 2006; PALHARES, 2009; BRAZ; FERNANDES, 2009; TAVARES, 2011; RAMOS; PIASSI, 2012). Testoni e Abib (2005, p. 1) justificam:

Afinal, estamos falando de um material com o qual o aluno já possui familiaridade, é escrito obrigatoriamente de uma forma fácil e acessível (caráter popular), com padrões linguísticos que visam a catarse (queda do estresse por parte do leitor) e uma forte ligação com o cognitivo do indivíduo que se envolve com sua narrativa.

As HQs estão constantemente no cotidiano dos alunos, conforme citam Testoni e Abib (2005), o que as torna um potencial instrumento de ensino pela proximidade do educando com o material, além de ser uma leitura agradável e relaxante em sua natureza. Os autores (TESTONI; ABIB, 2005) apontam ainda o lúdico, a linguagem e o cognitivo como três características importantes presentes nas HQs.

Atividades lúdicas, de um modo sucinto, possuem como característica a catarse (por ser uma atividade livre das tensões do cotidiano escolar) e o desafio (um problema a ser resolvido, por exemplo). Essas atividades precisam despertar o interesse através do desafio. Com isso, a atividade lúdica “ficará armazenada no subconsciente, fazendo com que ocorra uma compreensão quase que inconsciente por parte do discente” (TESTONI; ABIB, 2005, p. 3).

As HQs utilizam uma linguagem narrativa dividida em duas partes: a imagem e os escritos presentes no quadro. Enquanto as imagens representam os objetos e seus movimentos, passando ao leitor ideias visuais de sons, expressões e sentimentos, os escritos representam os conceitos existentes no quadro e as demais informações que as imagens não podem evidenciar. Dessa forma essas partes se complementam formando “um sistema dinâmico e representativo da realidade (fiel ou imaginária, real ou semi-real), que consegue, desta forma, uma inserção/participação do leitor em sua narrativa” (TESTONI; ABIB, 2005, p. 4).

Ainda Testoni e Abib (2005) descrevem a característica cognitiva dos HQs como parte importante, enfatizando que talvez a característica cognitiva mais importante utilizada e desenvolvida pelos leitores é a imaginação. Como outros exemplos de capacidades utilizadas e desenvolvidas pelos leitores para uma correta compreensão da narrativa presente nas HQs, os autores citam análise, síntese, classificação, decisão e outras atividades mentais. A utilização de HQs deve ser pensada para que se desencadeiem conflitos cognitivos, frutos da

utilização de situações-problema que venham a instigar discussões posteriores, “o desafio estaria em resolvê-lo [situação-problema] para conseguir um bom entendimento da narrativa” (TESTONI; ABIB, 2005, p. 6).

Outros autores também defendem que a imaginação possui fundamental importância no processo de construção do conhecimento, especialmente em Física. Pietrocola¹ (2004 citado por RAMOS; PIASSI, 2012, p. 2) cita que “a curiosidade, a imaginação e a criatividade deveriam ser consideradas como base de um ensino que possa resultar em prazer”, colocando a imaginação como base da construção do conhecimento dos alunos.

No tocante à quantidade de tempo necessária para a compreensão satisfatória de um conhecimento, a utilização de HQs se justifica por necessitar de menos tempo em comparação ao método tradicional de ensino, por exemplo (CARUSO et al., 2002). Caruso e colaboradores (2002, p. 5) mencionam ainda que sejam poucos os materiais que atendem as necessidades reais dos alunos, apontando para a necessidade de materiais didáticos que motivem os alunos a participarem da construção do seu próprio conhecimento.

Em suma, a história em quadrinhos é uma poderosa linguagem para o ensino das ciências. Um recurso que pode ser utilizado em sala de aula de diversas maneiras. Uma forma divertida de incentivar o aluno a aprender Física e de mostrar que a Física é bem diferente da disciplina “maçante”, “decoreba”, “bicho de sete cabeças”, descontextualizada e aterrorizante que é ensinada em muitas das instituições de Ensino Fundamental, Médio e Superior. (PENA, 2003, p. 21).

As teorias da aprendizagem significativa e de mudança de perfil conceitual foram utilizadas neste estudo como base referencial construtivista, objetivando o enriquecimento das justificativas de utilização de histórias em quadrinhos e das análises dos dados coletados. Ambas as teorias são descritas nas seções seguintes.

3.4. TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

A teoria da aprendizagem significativa surgiu com Ausubel (1918-2008) na década de 1960. Moreira (1999, p. 9) descreve que

[...] Ausubel insistia com uma “teoria da aprendizagem significativa” e dizia que é no curso de aprendizagem significativa que o significado lógico do material de aprendizagem se transforma em significado psicológico para o aprendiz. [...] Para Ausubel, aprendizagem significativa é um processo por meio do qual uma nova informação se relaciona, de maneira substantiva (não-literal) e não-arbitrária, a um aspecto relevante da estrutura cognitiva do indivíduo.

¹ PIETROCOLA, M. Curiosidade e imaginação. In: CARVALHO, A. M. P. (org). **Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Thomson, 2004.

A aprendizagem significativa ocorre, segundo Ausubel, quando o aprendiz possui os chamados *subsunçores*, sendo “um conceito, uma ideia, uma proposição, já existente na estrutura cognitiva do indivíduo” (MOREIRA, 1999, p. 11). Os subsunçores, portanto, interagem com os conceitos, ideias, proposições da nova teoria, formando, como produto final, novos subsunçores através do processo de assimilação (MOREIRA, 1999).

Algumas vezes os conceitos são aprendidos de maneira arbitrária, sem sentido ao indivíduo, de forma que o novo conceito praticamente não interagiu com “conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva, sem se ligar a conceitos subsunçores específicos” (MOREIRA, 1999, p. 13), consistindo, segundo o que Ausubel definiu como “*aprendizagem mecânica* (ou automática)” (MOREIRA, 1999, p. 13). A aprendizagem mecânica ocorre, muitas vezes, nos processos de memorização de conceitos, podendo ser esquecidos após algum tempo. As aprendizagens significativa e mecânica foram estabelecidas por Ausubel “como um *continuum*” (MOREIRA, 1999, p. 14), assim como as aprendizagens “*por descoberta* e *por recepção*” (MOREIRA, 1999, p. 15). Basicamente a diferença entre esses dois últimos processos de aprendizagem, de acordo com Moreira (1999, p. 15) e “segundo Ausubel, na aprendizagem receptiva o que deve ser aprendido é apresentado ao aprendiz em sua forma final; já na aprendizagem por descoberta, o conteúdo principal a ser aprendido deve ser descoberto pelo aprendiz”.

Para a teoria da aprendizagem significativa, de acordo com Moreira (1999), ambos os métodos de aprendizagem por recepção e por descoberta possuem suas potencialidades e limitações, dependendo de como for utilizado. Dessa forma a aula tradicional (ou “‘método expositivo’ ou instrução organizada por meio de linhas de aprendizagem receptiva” (MOREIRA, 1999, p. 17)) pode ser ineficiente caso mal dirigida, ou pode ser tão eficiente quanto outros métodos de aprendizagem caso facilite a aprendizagem significativa (MOREIRA, 1999).

Existe a necessidade de duas condições para que a aprendizagem significativa ocorra: um material potencialmente significativo e que o aprendiz esteja disposto a relacionar o novo conceito com seus subsunçores (MOREIRA, 1999). Moreira (1999, p. 20-21) descreve um material potencialmente significativo como aquele capaz de ser “relacionável (ou incorporável) à estrutura cognitiva do aprendiz, de maneira não-arbitrária e não-literal”. Para ser potencialmente significativo o material precisa ser “logicamente significativo” (MOREIRA, 1999, p. 21) por natureza, isto é, que não seja arbitrário ou literal, e ainda o aprendiz precisa possuir os subsunçores específicos “com os quais o novo material poderá

relacionar” (MOREIRA, 1999, p. 21). Por fim, quando o material utilizado for potencialmente significativo, o aprendiz necessita ainda manifestar “uma disposição para relacionar, de maneira substantiva e não-arbitrária, o novo material [...] à sua estrutura cognitiva” (MOREIRA, 1999, p. 23).

Moreira (1999, p. 29-30) chama atenção para dois aspectos importantes na teoria de Ausubel:

1. na aprendizagem significativa, o novo material original [...] poderá nunca ser lembrado precisamente da mesma forma em que foi recebido, pois o próprio processo de assimilação [...] o altera [...] e, portanto, práticas de avaliação que requerem a repetição exata das informações aprendidas desencorajam a aprendizagem significativa [...]; 2. Ausubel não emprega o termo assimilação no mesmo sentido usado por Piaget. [...] na concepção de Ausubel, o novo conhecimento interage com conceitos ou proposições relevantes específicos existentes na estrutura cognitiva, e não com ela, como um todo (embora, de alguma forma, toda ela esteja envolvida porque, afinal, esses conceitos ou proposições específicos fazem parte da estrutura cognitiva); [...] a assimilação é um processo contínuo e modificações relevantes na aprendizagem significativa [...] ocorrem, não como resultado de períodos gerais de desenvolvimento cognitivo, mas de uma crescente diferenciação e integração de conceitos específicos relevantes na estrutura cognitiva [...].

Esses pontos são considerados importantes por Moreira (1999) visto que Ausubel considera que no final do processo de assimilação ambos os conhecimentos (prévio e novo) “tornam-se, espontânea e progressivamente, menos dissociáveis [...] até que não mais estejam disponíveis, isto é, não mais reproduzíveis como entidades individuais” (MOREIRA, 1999, p. 27). Para Ausubel, também, o processo de assimilação ocorre contínua e progressivamente (MOREIRA, 1999).

Ainda no que tange à aprendizagem significativa, Novak² (1996 citado por MOREIRA, 1999, p. 35) defende que “a aprendizagem significativa subjaz à integração construtiva do pensamento, sentimento e ação, que conduz ao engrandecimento humano”, dessa forma o processo de ensino aprendizagem deve considerar que os aprendizes pensam, sentem e agem. A teoria proposta por Schwab³ (1973 citado por MOREIRA, 1999, p. 36, grifo do autor) diz que “qualquer fenômeno educativo envolve, direta ou indiretamente, [...] elementos que ele chama de lugares-comuns: [...] *aprendiz, professor, conhecimento, contexto e avaliação*”. A partir desses cinco elementos que constituem um evento educativo, Novak (1996 citado por MOREIRA, 1999, p. 37, grifo do autor) sugere “que qualquer evento educativo implica uma *ação para trocar significados e sentimentos* entre professor e aluno”.

² NOVAK, J.D. **Aprender a aprender**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1996.

³ SCHWAB, J.J. The practical 3: translation into curriculum. **School Review**. Chicago, v. 81, n. 4, p. 501-522, Aug. 1973.

Cabe aqui ressaltar que a aprendizagem significativa não exclui as aprendizagens significativas errôneas. Isso significa que os aprendizes podem aprender significativamente um conceito de uma maneira considerada errônea para a comunidade de usuários daquele conhecimento. Ainda de acordo com Moreira (1999, p. 38)

[...] um estudante pode aprender física de maneira significativa por relacionar o novo conhecimento de maneira não-arbitrária e não-literal ao conhecimento prévio, claro, estável e diferenciado que já existe em sua estrutura cognitiva. É essa interação entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio – na qual o novo adquire significados e o já adquirido se torna mais diferenciado, mais rico, mais elaborado – que caracteriza a aprendizagem significativa, e não o fato de que tais significados sejam corretos do ponto de vista científico.

A avaliação, o último dos elementos de um evento educativo, está ligada ao “processo *ensino-aprendizagem-conhecimento-contexto*” (MOREIRA, 1999, p. 37, grifo nosso), possuindo importância devido à sua ligação nos muitos acontecimentos das vidas das pessoas (MOREIRA, 1999). Moreira (1999, p. 42) descreve que a “avaliação da aprendizagem deve procurar evidências de aprendizagem significativa”.

A aprendizagem de significados, como já foi dito, é o produto da aprendizagem significativa. Ou seja, o significado real para o indivíduo (significado psicológico) emerge quando o significado potencial (significado lógico) do material de aprendizagem converte-se em conteúdo cognitivo diferenciado e idiossincrático⁴ por ter sido relacionado, de maneira substantiva e não-arbitrária, e por ter *interagido* com ideias relevantes existentes na estrutura cognitiva do indivíduo. (MOREIRA, 1999, p. 55-56, grifo do autor)

Avaliar visando a busca por evidências de uma aprendizagem significativa, caracterizada por essa interação entre conhecimentos, não é tarefa trivial. Para Ausubel⁵ (1978 citado por MOREIRA, 1999, p. 56) “[...] a compreensão genuína de um conceito ou proposição implica a posse de significados claros, precisos, diferenciados e transferíveis”, dessa forma testes de compreensão que requerem respostas memorizadas não são adequados e por isso Ausubel (1978 citado por MOREIRA, 1999, p. 56)

[...] propõe [...] que, ao se procurar evidências de compreensão significativa, a melhor maneira de evitar a “simulação de aprendizagem significativa” é formular questões e problemas de maneira nova e não familiar que requeira máxima transformação do conhecimento adquirido.

Atividades avaliativas podem ser elaboradas para que os estudantes associem conceitos e proposições através da identificação de ideias-chave, ou que organizem lógica e sequencialmente um conjunto de ideias relacionadas, de forma que ele necessite do conhecimento anterior para associar a ideia seguinte. É um problema avaliar utilizando

⁴Idiossincrasia é a maneira de cada pessoa ver, sentir e reagir.

⁵AUSUBEL, D.P.; NOVAK, J.D.; HANESIAN, H. **Educational psychology: a cognitive view**. 2. ed. Nova Iorque: Holt Rinehart and Winston, 1978.

problemas e questões de maneira nova e que requeiram máxima transformação do conhecimento adquirido sem que as aulas sejam preparadas e ministradas com este propósito, isto porque as respostas obtidas concluirão que os alunos não aprenderam nada (MOREIRA, 1999, p. 57).

Ausubel e colaboradores⁶ (1980 citado por MOREIRA, 1999, p. 58, grifo do autor) defendem que

[...] é conveniente distinguir entre medida e avaliação da aprendizagem: de um modo geral, a principal finalidade da *avaliação* é monitorar a aprendizagem dos alunos, a fim de determinar até que ponto os vários objetivos instrucionais estão sendo atingidos; avaliar implica emitir juízo de valor ou mérito. Para isso, frequentemente é necessário fazer uso da *medida* para aferir os resultados da aprendizagem e, aí, entra-se no terreno dos testes e das provas que devem satisfazer critérios de validade, fidedignidade, representatividade, discriminabilidade e exequibilidade.

Entretanto, houve a época em que avaliação e medição eram sinônimas, onde instrumentos avaliativos eram elaborados e a construção do conhecimento medido, com isso avaliar era fácil. Atualmente, a partir da visão construtivista, a avaliação deveria ser um monitor da construção do conhecimento, entretanto, se utilizam dos mesmos instrumentos avaliativos basicamente comportamentalistas (MOREIRA, 1999, p. 59).

Por fim, Moreira (1999) defende que a aprendizagem significativa não exclui a aprendizagem de conhecimentos errôneos, como descrito anteriormente, e a aprendizagem também não deve ser considerada significativa “quando o aprendiz substituir os significados ‘errôneos’ por aqueles considerados ‘corretos’ no contexto da matéria de ensino” (MOREIRA, 1999, p. 62), mas sim quando ele for capaz de utilizá-los no contexto adequado. Moreira (1999, p. 62, grifo do autor) exemplifica o que

Em física [...] se um estudante depois de todo um curso de mecânica voltar a usar, em determinada situação, um significado não-newtoniano, isso não quer dizer que não tenha aprendido nada na mecânica de Newton e que o ensino que lhe foi ministrado tenha um fracasso. O problema é o aluno continuar raciocinando, *predominantemente*, de maneira pré-newtoniana e não eventualmente em casos específicos. A mudança conceitual é evolutiva, progressiva, e isso deve ser levado em conta na avaliação da aprendizagem significativa.

A teoria da aprendizagem significativa possui essencial importância em muitos aspectos da construção do conhecimento dos estudantes, sendo reforçada, neste trabalho, com a concepção de mudança de perfil conceitual, descrita na seção seguinte.

⁶ AUSUBEL, D.P.; NOVAK, J.D.; HANESIAN, H. **Psicologia educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

3.5. MUDANÇA DE PERFIL CONCEITUAL

Diversas pesquisas no ensino de ciências motivaram a elaboração de teorias construtivistas de aprendizado que possuem em comum, entre outros pontos, o princípio de que a construção do conhecimento depende das concepções prévias e alternativas dos educandos, como se somente fosse possível aprender a partir dos conhecimentos já construídos (MORTIMER, 1995). Nessas visões de construtivismo, a construção de um conceito científico implica na substituição da idéia inicial do educando por uma ideia nova, sendo abandonadas ou agrupadas ao novo conceito, mais poderoso (MORTIMER, 1995). Alguns pesquisadores no ensino de ciências reconheceram que o abandono de uma concepção prévia não ocorre, podendo co-existir com as novas concepções e serem acessadas nos momentos necessários (MORTIMER, 1995).

Uma das definições de conhecimentos prévios pode ser encontrada em Moreira (1999, p. 43-44):

Concepções alternativas são aquelas que o aluno constrói à medida que vai se situando no mundo em que vive. São representações, conceitos, modelos, teorias que o ser humano vai construindo para explicar objetos e eventos que observa em seu mundo.

Os conhecimentos prévios são muito resistentes a mudanças e diversas pesquisas são realizadas com o propósito de se encontrar “estratégias facilitadoras da mudança conceitual” (MOREIRA, 1999, p. 44). Moreira (1999, p. 45, grifo do autor) interpreta que

O grande erro da pesquisa sobre mudança conceitual está implícito no próprio foco da pesquisa: a mudança conceitual tem sido interpretada como *substituição* de um significado por outro. Troca do significado alternativo do aluno por aquele aceito no contexto da matéria de ensino. A mudança conceitual da maneira como tem sido pensada por professores e pesquisadores que propõem modelos e estratégias de mudança conceitual, implica abandono, se não imediato, pelo menos a médio e longo prazos, dos significados alternativos, e adoção daqueles tidos como corretos, os quais devem ser apresentados ao aluno como plausíveis, frutíferos e com maior poder explicativo.

Pode-se concluir que essa mudança conceitual não existe, e por isso os resultados das pesquisas tem sido tão insatisfatórios (MOREIRA, 1999). Por isso, Mortimer (1995) introduz uma teoria de construção do conhecimento que altera esse conceito de mudança conceitual, a *mudança no perfil conceitual*, sugerindo que (MORTIMER, 1995, p. 268, tradução nossa)

[...] é possível pensar de diferentes maneiras em diferentes domínios [...] O novo modelo também difere de alguns dos modelos construtivistas de aprendizado ao mostrar que o processo de construção de sentido não acontece sempre através da acomodação de conceitos prévios ao enfrentar novos eventos ou objetos, mas pode ocorrer independentemente.

Dessa forma, Mortimer (1995) defende que a construção do conhecimento não necessariamente ocorre com a substituição de um conhecimento por outro, traçando um perfil de conceitos de diferentes pesos que podem existir simultaneamente. Utilizando da noção de perfil conceitual, de acordo com Mortimer (1995, p. 273, tradução nossa),

é possível ensinar um conceito em certo nível do perfil sem referenciar níveis menos complexos [...] Nesse contexto, o processo de aprendizagem pode ser pensado como a construção de uma associação de noções baseadas em novos fatos e experimentos apresentados aos estudantes no processo de aprendizagem. Os novos conceitos não necessariamente dependem dos conceitos prévios e podem ser aplicados em um novo e diferente domínio. Somente quando o novo conceito forma um obstáculo epistemológico ou ontológico⁷ para o desenvolvimento de conceitos em um nível mais complexo se faz necessário que se lide com essa contradição, algo que pode ocorrer em qualquer momento durante o processo de aprendizagem e não somente no início. Superar essa contradição significa encontrar uma maneira de explicá-la, o que é possível em um nível mais complexo do conceito que foi ensinado, mas não significa abandonar a antiga maneira de se pensar, continuando parte do perfil do indivíduo.

É importante salientar que essa teoria de modificação do perfil conceitual não exclui a interação dos conhecimentos prévios com o novo conceito, de forma que essa interação se dá a partir de uma contradição gerada pelo educando. Assim, por exemplo, os conhecimentos construídos pelos educandos de velocidade na visão da Física Clássica não serão substituídos por novos conceitos da visão da Física Moderna, mas sim co-existirão em seu perfil conceitual. Claramente os educandos encontrarão conflitos e contradições no processo de aprendizagem da Física Moderna e necessitarão de seus conhecimentos prévios da Física Clássica para superá-los.

Mortimer (1995) exemplifica sua teoria de mudança de perfil conceitual com o ensino das teorias dos estados da matéria, utilizando três zonas: (1) caracterizada pelo perfil do átomo por uma visão realística, onde o aluno rejeita a concepção de existência de espaço entre os átomos (vácuo), assumindo a matéria como contínua; (2) caracterizada pelo atomismo chamado, pelo autor, substancialista, onde os alunos assumem que os átomos se comportam como pequenos grãos da substância, dilatando, contraíndo e mudando seu estado da mesma forma que a matéria se comporta microscopicamente; (3) e atomismo clássico, na qual o átomo é a unidade básica da matéria, conservada durante transformações químicas (MORTIMER, 1995).

Utilizando dessas três zonas, traçando o caminho para que o aluno utilize essas concepções alternativas como barreiras interagentes para os novos conceitos a serem abordado: a visão quântica do átomo. Cabe aqui enfatizar novamente que a interação entre

⁷Ontologia trata da natureza, realidade e existência dos indivíduos.

conceitos novos e concepções alternativas é realizada de modo a gerar conceitos mais elaborados, avançados, facilitando a mudança do perfil conceitual do aluno sem que ocorra a substituição das concepções alternativas pelos novos conceitos (MORTIMER, 1995).

Finalizando a fundamentação teórica deste estudo, descreve-se, na seção que segue, um método de análise textual qualitativa importante em estudos onde a produção escrita é fundamental.

3.6. ANÁLISE TEXTUAL DISCURSIVA

A análise textual qualitativa é utilizada com o objetivo de se compreender uma determinada produção dissertativa para fins desejados. Nesse processo, a análise textual discursiva vem a ser uma ferramenta bastante útil, sendo dividida em quatro etapas: (1) unitarização; (2) categorização; (3) novo emergente; e (4) auto-organização das compreensões (MORAES, 2003).

O processo de unitarização é aquele onde ocorre a desmontagem do texto em diferentes elementos constituintes, também chamadas de unidades de análise ou unidades de significado, onde cada uma dessas unidades possui significado que sintetiza determinada informação contida no texto. Seguida da unitarização está a etapa de categorização, na qual se estabelecem relações entre as unidades base, categorizando-as em conjuntos relacionados classificados para se estabelecer conjuntos mais complexos (MORAES, 2003).

A partir dos resultados obtidos nas duas etapas anteriores, é possível “a emergência de uma compreensão renovada do todo” (MORAES, 2003, p. 1), etapa onde ocorre a elaboração de uma nova compreensão a partir da análise das etapas precedentes. Finalmente as conclusões são sintetizadas e organizadas a partir do ciclo de análises, resultando em uma compreensão mais elaborada e complexa do dissertado (MORAES, 2003).

No caso de uma produção escrita onde os alunos são convidados a dissertar, por exemplo, sobre seus conhecimentos acerca do espaço e do tempo, a análise textual discursiva inicia com a unitarização do texto por aluno, buscando por unidades de análise como “absoluto” ou “relativo”, por exemplo, seguida da categorização dessas unidades contextualmente. Essa categorização, para o caso descrito anteriormente, leva a relações como “espaço absoluto”, “espaço relativo”, “tempo absoluto” ou “tempo relativo”, por exemplo. As duas últimas etapas surgem quase que naturalmente, onde o analisador compreende as concepções individuais e pode concluir amostramente. Para o exemplo utilizado, poderia ser

concluído que os alunos possuem, em sua maioria, o espaço e o tempo como grandezas absolutas. A análise textual discursiva é a ferramenta utilizada na interpretação e análise das respostas dissertativas nas diversas etapas e avaliações realizadas neste estudo.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Na prática escolar, a ação avaliativa de muitos educadores simboliza um castigo para penalizar as atitudes dos educandos. (KESSLER, 2008, p. 37)

Nessa seção serão descritos os materiais utilizados e as metodologias empregadas no decorrer deste estudo.

4.1. MATERIAL ALTERNATIVO – MANGÁ

O material principal utilizado nesse trabalho é o Guia Mangá Relatividade desenvolvido por Nitta e colaboradores (2011), que apresenta de modo lúdico e substancial as Teorias da Relatividade Restrita e Geral. A escolha deste material se deve ao fato de estar presente no contexto de muitos estudantes. O mangá foi adaptado em versões ocidentais e possui formato de história em quadrinho.

O guia mangá está dividido em um prólogo, quatro capítulos e epílogo, contando a história divertida do estudante Minagi em suas férias de verão (NITTA et al., 2011). A história começa quando o diretor da Academia Takai, na véspera das férias de verão, lança um dardo sobre uma roda de assuntos aleatórios que todos os alunos deveriam estudar durante as férias, dependendo do que o dardo acertasse. “Relatividade” é o assunto designado e, após uma série de protestos, Minagi impõe-se e acaba tendo que aprender sozinho sobre o tema durante suas férias de verão para, no final, apresentar um relatório ao diretor. A professora de Física, Alisa Uraga, oferece-se para ajudar Minagi nessa tarefa (NITTA et al., 2011).

No primeiro capítulo, denominado “O que é relatividade?” (NITTA et al., 2011, p. 9), a professora Uraga inicia ensinando os princípios da relatividade galileana e a mecânica newtoniana, seguindo com a abordagem de aspectos da relatividade einsteiniana como a velocidade da luz, adição de velocidades e a relatividade da simultaneidade. A professora também explica o experimento de Michelson e Morley e introduz o leitor à Teoria da Relatividade Especial. Ao final do primeiro capítulo existem leituras complementares, também presentes após cada capítulo consequente, para ajudar o leitor a compreender os conceitos abordados anteriormente e prepará-lo para o próximo capítulo (NITTA et al., 2011).

O segundo capítulo – “O que você quer dizer com o tempo passa mais devagar?” (NITTA et al., 2011, p. 51) – aborda, basicamente, os conceitos da dilatação do tempo,

descrevendo o famoso paradoxo dos gêmeos. O terceiro capítulo – “Quanto mais rápido um objeto se move, mais curto e pesado ele fica?” (NITTA et al., 2011, p. 83) – dedica-se à contração do espaço e à relação massa-energia. Este capítulo é complementado com a utilização do fator de Lorentz e com o exemplo do tempo de vida estendido dos Múons, além de relacionar massa com energia, e concluindo com a relação massa-velocidade e explicando porque a luz não possui massa (NITTA et al., 2011, p. 106-113).

Denominado “O que é relatividade geral?” (NITTA et al., 2011, p. 115), o quarto e último capítulo é todo destinado à Relatividade Geral. Ele discute o princípio da equivalência, o fato da luz desviar sua trajetória devido à curvatura no espaço causada pela presença de massa, o espaço-tempo e a dependência do tempo com a intensidade do campo gravitacional. Complementarmente, o autor exemplifica a Teoria da Relatividade Geral com a curvatura da luz, a precessão anômala do periélio de Mercúrio e os buracos negros, fenômenos corretamente explicados pela teoria discutida. O autor finaliza com o GPS (sistema de posicionamento global – do inglês, *Global Position System*) e as correções necessárias devido aos efeitos relativísticos, sem as quais o sistema não seria suficientemente acurado (NITTA et al., 2011, p. 158-165).

Por fim, o mangá encerra com a apresentação dos conhecimentos construídos por Minagi ao diretor. Como evento final, o que proporciona ao guia seu toque humorístico, a superintendente da escola, disfarçada de cachorro, reassume seu cargo como diretora, promovendo a professora Uragi à vice-diretora. A superintendente da escola tem aparições durante todo o guia, disfarçada ou não, investigando os acontecimentos da escola (NITTA et al., 2011). Uma amostra do guia mangá pode ser encontrada no sítio da editora⁸, a mesma amostra pode ser encontrada no Anexo A.

Uma das razões fundamentais para a escolha do guia mangá como material alternativo utilizado é que, de acordo com Moreira (1999, p. 40), “[...] uma das condições para aprendizagem significativa, segundo Ausubel e Novak, é que o aprendiz apresente uma predisposição para aprender, e a outra é que o material de aprendizagem seja potencialmente significativo”, conforme descrito anteriormente. Além de estar inserido no contexto dos alunos, o material é potencialmente significativo e possui características capazes de estimular os alunos a aprender.

⁸Disponível em: < <http://novatec.com.br/download/amostras/amostra-manga-relatividade.pdf>>. Acesso em 04 de abril de 2014.

4.2. AULAS

No planejamento deste estudo, as aulas foram organizadas em dois grupos distintos: aquelas onde se utilizou o mangá e as tradicionais. As aulas tradicionais seguiram o fluxo de conceitos abordados paralelamente às aulas nas quais se utilizou mangá, o que pode ser observado nos cronogramas.

Os quadros a seguir apresentam os cronogramas das aulas para a turma na qual se utilizou mangá (Quadro 2) e para a turma na qual se utilizou de metodologia tradicional de ensino (Quadro 3).

Quadro 2 – Cronograma da turma na qual se utilizou mangá.

DATA	AULA	CONTEÚDOS/ATIVIDADES
04/04/2014	00	Observação da turma.
11/04/2014	01	Caracterização da turma através de entrevista; aplicação de questionário para investigação acerca da existência dos subsunçores necessários para facilitar a compreensão do tema.
	02	Aplicação do instrumento avaliativo principal para verificação do progresso dos alunos – primeira aplicação.
25/04/2014	03	Apresentação e introdução ao guia.
	04	Primeiro capítulo – Relatividade.
09/05/2014	05	Segundo capítulo – dilatação do Tempo.
	06	Terceiro capítulo – contração do espaço; relação massa-energia; e relação massa-velocidade.
16/05/2014	07	Resolução de problemas e exercícios sobre a Teoria da Relatividade Especial; Esclarecimento de dúvidas.
	08	Quarto capítulo – Relatividade Geral.
23/05/2014	09	Conclusão e finalização do guia; Discussões finais, esclarecimento de dúvidas e revisão.
	10	Aplicação do instrumento avaliativo principal para verificação do progresso dos alunos – segunda aplicação.
06/06/2014	11	Questionário avaliativo das aulas; Encerramento.

Fonte: Narciso (2014).

As aulas com mangá seguem o padrão de leitura do capítulo seguida da complementação em forma de discussão de conceitos relacionados e problematização teórica e matemática. Os planos desse tipo de aula podem ser encontrados no Apêndice A.

Já as aulas nas quais se utilizou o método tradicional de ensino, cujo Apêndice B contém os planos das aulas, seguem o resumo que se encontra no Apêndice C. Também no mesmo apêndice podem ser encontrados os problemas, exemplos e exercícios utilizados com ambas as turmas.

Durante as aulas, instrumentos avaliativos auxiliares foram utilizados, nos quais os alunos realizaram atividades de escrita e interpretação de texto.

Quadro 3 – Cronograma da turma 304.

DATA	AULA	CONTEÚDOS/ATIVIDADES
04/04/2014	00	Observação da turma.
11/04/2014	01	Caracterização da turma através de entrevista; aplicação de questionário para investigação acerca da existência dos subsunçores necessários para facilitar a compreensão do tema.
	02	Aplicação do instrumento avaliativo principal para verificação do progresso dos alunos – primeira aplicação.
25/04/2014	03	Relatividade Galileana.
	04	Introdução à Teoria da Relatividade Especial.
09/05/2014	05	Teoria da Relatividade Especial – dilatação do tempo.
	06	Teoria da Relatividade Especial – contração do espaço; relação massa-energia; e relação massa-velocidade.
16/05/2014	07	Resolução de problemas e exercícios sobre a Teoria da Relatividade Especial; Esclarecimento de dúvidas.
	08	Teoria da Relatividade Geral.
23/05/2014	09	Discussões finais, esclarecimento de dúvidas e revisão.
	10	Aplicação do instrumento avaliativo principal para verificação do progresso dos alunos – segunda aplicação.

Fonte: Narciso (2014).

4.3. REALIDADE DA ESCOLA E DOS ALUNOS

Para o desenvolvimento de pesquisas em instituições de Ensino Básico, é importante identificar a realidade da escola e dos alunos, esta última através da caracterização das turmas com instrumento específico. A realidade da escola foi traçada através de entrevistas, depoimentos e conversas realizadas, tanto com alunos quanto com professores. A seguir estão descritos os materiais e métodos utilizados na caracterização das turmas.

4.3.1. CARACTERIZAÇÃO DAS TURMAS

As questões a seguir (Quadro 1) foram utilizadas na caracterização das turmas utilizadas como amostras para este estudo. As respostas foram analisadas utilizando o método de análise textual discursiva, caracterizando as turmas como um todo.

Quadro 4 – Questões de caracterização das turmas.

Número	Questão
1	Com que frequência você costuma ler? Que tipo de material (jornais, revistas, livros, histórias em quadrinho, etc.)? Quais foram os últimos livros que leu?
2	Como você estuda em casa? Quais materiais você utiliza para estudar?
3	Quais programas de televisão você mais gosta? Por quê? Você gosta de programas científicos (documentários, reportagens sobre ciência, filmes relacionados, etc.)? Assiste algum programa científico?

4	O que você mais gosta nas aulas de Ciências da Natureza (Física, Química e Biologia)? Por quê?
5	O que você menos gosta nas aulas de Ciências da Natureza? Por quê? Como poderiam ser melhores?
6	Como você aproveita os conhecimentos trabalhados nas aulas de ciências na sua vida diária? Acha que poderia aproveitar mais o que você aprende?
7	Como as aulas poderiam ser para que os conhecimentos fossem mais utilizados em sua vida?
8	Sobre a escola, o que você mais gosta? O que você menos gosta? Quais pontos podiam ser melhorados? Por quê?

Fonte: Narciso (2014).

4.4. SUBSUNÇORES

O questionário a seguir (Quadro 5) foi utilizado como ferramenta de investigação acerca da presença de subsunçores específicos nos alunos, subsunçores estes que podem vir a interagir com os novos conceitos e formar concepções mais elaboradas e consistentes, como descrito anteriormente na seção 3.4. Novamente utilizou-se da análise textual discursiva para identificação dos subsunçores.

Quadro 5 – Questões de investigação dos subsunçores.

Número	Questão
1	Você mediu sua altura utilizando uma régua. Considere que você está em repouso para um dado referencial – você está parado na sua casa, por exemplo. Caso você utilizasse outros métodos de medição, ainda em repouso, sua altura seria diferente? Por quê?
2	Engenheiros fabricaram um trem de 89 m. Quando o trem estava em repouso para um dado referencial (para os passageiros que estavam na estação de trem, por exemplo), os fabricantes mediram e verificaram que o trem realmente possuía 89 m. Outra aferição (medição) foi realizada, dessa vez com o trem em movimento para o mesmo referencial anterior (os passageiros na estação de trem), com velocidade de 300 km/h. Neste caso: <ul style="list-style-type: none"> a) Qual foi o resultado do comprimento do trem em movimento encontrado pelos engenheiros? b) Esse resultado foi diferente ou igual ao resultado da medida quando o trem estava parado? Por quê?
3	Você saiu para uma viagem pela Europa que duraram 90 dias (3 meses). Quando você retornou, no final do dia de número 90, quanto tempo havia se passado para seus colegas de turma que ficaram em Porto Alegre? Explique sua resposta.
4	Na questão de número 2 da parte específica um trem andava com certa velocidade com relação a um referencial, tal como a estação de trem. <ul style="list-style-type: none"> a) Qual é o conceito de velocidade? b) O que significa dizer que um objeto possui velocidade igual a 80 km/h?
5	Você está na Alemanha e aluga um carro com motorista (você ainda não tem carteira de motorista!). Seu motorista te leva para uma auto-estrada chamada Autobahn. Essa auto-estrada não possui limite de velocidade, indicando que você pode viajar na velocidade que desejar. Por sorte o carro que você alugou foi fabricado com um motor capaz de atingir velocidades altíssimas! Neste caso: <ul style="list-style-type: none"> a) Você vai orientar seu motorista a viajar em qual velocidade? b) Fisicamente, existe uma velocidade limite para seu carro andar? (Despreze a resistência

do ar).

Para responder as questões, os alunos foram orientados a desconsiderar possíveis erros entre diferentes métodos de medida, de modo que quaisquer métodos de medida resultam em valores exatos. Fonte: Narciso (2014).

4.5. AVALIAÇÃO

Talvez a tarefa mais desafiadora para os professores é avaliar seus alunos e atribuir a eles um valor conceitual ou numérico por aquilo que deve ser julgado como conhecimento. Ou seja, expressar um valor que traduz a quantidade de conhecimento adquirido pelo aluno nas mais diversas atividades propostas no período de aula. (KESSLER, 2008, p. 36)

O texto extraído de Kessler (2008) descreve uma realidade bem conhecida quanto à avaliação. Quantificar é fácil, avaliar nem tanto. O método tradicional de avaliação é aquele onde o professor atribui um valor ao número de questões que o aluno respondeu corretamente, sem que se identifique aprendizagem nesse processo. Kessler (2008, p. 37) defende que esse tipo de avaliação “pode servir como mecanismo para manter as desigualdades sociais históricas. Quando usada independentemente da construção do conhecimento, cria enormes dificuldades e pode atuar a favor do processo de classificação e exclusão”.

É importante esclarecer que o processo de ensino-aprendizagem “exige questionamentos, discussões, discordâncias, persistências e envolvimento” (KESSLER, 2008, p. 40), de tal forma que questionar o aluno levando-o a construir concepções mais complexas e elaboradas sobre um determinado conceito é um processo mais eficiente do que a repetição de exercícios (KESSLER, 2008). Considerando as questões levantadas até agora, este estudo optou por utilizar de instrumentos avaliativos que facilitassem a problematização e resultassem na construção de um conhecimento mais complexo e elaborado, utilizando de instrumentos dissertativos de forma a incentivar a escrita. Ainda, utilizou-se de materiais de leitura com uma abordagem histórica dos conhecimentos facilitados em aula. O Referencial Curricular das Lições do Rio Grande (RIO GRANDE DO SUL, 2009) enfatiza a importância do conhecimento das concepções prévias, para posterior comparação com os conhecimentos construídos, e da utilização de estratégias de leitura (individual ou em grupo) e de produção escrita, como estratégias de ação no ensino de Física.

Nas escolas da rede estadual de ensino do Rio Grande do Sul, a avaliação é realizada de modo emancipatório, “caracterizando-se como um processo e a possibilidade do vir a ser, da construção de cada um e do coletivo de forma diferente. É um processo contínuo, participativo, diagnóstico e investigativo” (RIO GRANDE DO SUL, 2012, p. 16).

O Regimento Padrão do Ensino Médio Politécnico (RIO GRANDE DO SUL, 2012) descreve a avaliação como possuindo função diagnóstica (possibilitando verificar as estratégias de ensino utilizadas e os momentos adequados de intervenção), formativa (o que informa ao aluno sua situação atual no que tange ao desenvolvimento de suas aprendizagens), contínua e cumulativa (considerando a construção do conhecimento como um todo, crescente em sua complexidade). O documento coloca o aluno na posição de avaliador do próprio conhecimento, pois “ninguém melhor do que o próprio aluno para dizer o que está ou não aprendendo” (RIO GRANDE DO SUL, 2012, p. 17).

Os resultados trimestrais e anuais são expressos por áreas do conhecimento (Ciências Humanas, Ciências da Natureza, Linguagens e Matemática, e suas tecnologias), em termos de: Construção Satisfatória da Aprendizagem (CSA), Construção Parcial da Aprendizagem (CPA), e Construção Restrita da Aprendizagem (CRA). O conceito CSA indica que o aluno possui os conhecimentos necessários para prosseguimento, enquanto CPA expressa que essa construção ocorreu parcialmente, sem a apropriação de todos os princípios básicos dos componentes curriculares da área do conhecimento. Isso ocorre de maneira restrita, limitada ou até mesmo não ocorre, quando o conceito expresso para o aluno é o CRA (RIO GRANDE DO SUL, 2012).

A seção a seguir descreve o instrumento avaliativo principal utilizado neste estudo, aquele aplicado previa e posteriormente às aulas com o objetivo de verificar o progresso dos alunos.

4.5.1. INSTRUMENTO AVALIATIVO PRINCIPAL

O instrumento avaliativo principal, aplicado em duas partes, possui suas questões descritas a seguir (Quadro 6), com respostas indicadas no Quadro 7.

Quadro 6 – Questões do instrumento avaliativo principal.

Número	Questão
1	<p>(UFRJ-RJ) O conceito de éter surgiu na Grécia antiga, significando uma espécie de fluido sutil e rarefeito que preenchia o espaço e envolvia a Terra. Esse conceito evoluiu para representar um referencial privilegiado, a partir do qual se poderia descrever toda a Física, inclusive seria o meio material no qual se propagariam as ondas eletromagnéticas (a luz). No entanto, as experiências de Michaelson-Morley, realizadas em 1887, mostraram a inconsistência desse conceito, uma vez que seus resultados implicavam que ou a Terra estava sempre estacionária em relação ao éter ou a noção de que o éter representava um sistema de referência absoluto era errônea, devendo, portanto, ser rejeitada.</p> <p>As inconsistências do conceito de éter levaram Einstein a elaborar a teoria de que a velocidade da luz</p> <p>(a) é constante para qualquer observador e dependente de qualquer movimento da fonte ou do</p>

	<p>observador.</p> <p>(b) é constante para qualquer observador e independente de qualquer movimento da fonte ou do observador.</p> <p>(c) é constante e dependente do observador, porém independente de qualquer movimento relativo da fonte.</p> <p>(d) é constante e independente do observador, porém dependente de qualquer movimento relativo da fonte.</p>																																		
2	<p>A Teoria da Relatividade afirma que movimentos relativos provocam efeitos nada intuitivos. Experiências com certas partículas N que caem do céu, os múons, feitas na década de 1960 nos Estados Unidos, confirmaram, por exemplo, que o tempo de vida médio dessas partículas aumentava quando medido por uma pessoa na superfície da Terra (mais especificamente em cima de montanhas). Com relação a esse efeito, previsto por Einstein, assinale a afirmativa correta.</p> <p>(a) Esse efeito é conhecido como dilatação do tempo.</p> <p>(b) Esse efeito foi uma hipótese que, como gênio, Einstein intuitivamente sugeriu.</p> <p>(c) Esse efeito era puramente imaginário, não se constituindo em resultado científico.</p> <p>(d) Esse efeito era resultado de divagações filosóficas.</p> <p style="text-align: right;"><small>(Fonte: KANTOR, C.A. et al. Física, 3º ano: ensino médio. Coleção Quanta Física. 1. ed. 1. v. São Paulo: 2010, p. 207)</small></p>																																		
3	<p>(Unimat- MT) Com o advento da Teoria da Relatividade de Einstein, alguns conceitos básicos da física newtoniana, entre eles, o espaço e o tempo, tiveram de ser revistos. Qual a diferença substancial desses conceitos para as duas teorias?</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Alternativas</th> <th colspan="2">Física newtoniana</th> <th colspan="2">Física relativística</th> </tr> <tr> <th>espaço</th> <th>tempo</th> <th>espaço</th> <th>tempo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(a)</td> <td>absoluto</td> <td>absoluto</td> <td>dilata</td> <td>contraí</td> </tr> <tr> <td>(b)</td> <td>dilata</td> <td>absoluto</td> <td>contraí</td> <td>dilata</td> </tr> <tr> <td>(c)</td> <td>absoluto</td> <td>contraí</td> <td>dilata</td> <td>absoluto</td> </tr> <tr> <td>(d)</td> <td>absoluto</td> <td>absoluto</td> <td>contraí</td> <td>dilata</td> </tr> <tr> <td>(e)</td> <td>contraí</td> <td>dilata</td> <td>absoluto</td> <td>absoluto</td> </tr> </tbody> </table>	Alternativas	Física newtoniana		Física relativística		espaço	tempo	espaço	tempo	(a)	absoluto	absoluto	dilata	contraí	(b)	dilata	absoluto	contraí	dilata	(c)	absoluto	contraí	dilata	absoluto	(d)	absoluto	absoluto	contraí	dilata	(e)	contraí	dilata	absoluto	absoluto
Alternativas	Física newtoniana		Física relativística																																
	espaço	tempo	espaço	tempo																															
(a)	absoluto	absoluto	dilata	contraí																															
(b)	dilata	absoluto	contraí	dilata																															
(c)	absoluto	contraí	dilata	absoluto																															
(d)	absoluto	absoluto	contraí	dilata																															
(e)	contraí	dilata	absoluto	absoluto																															
4	<p>(UNISINOS-RS) Segundo a Teoria da Relatividade de Einstein, uma pessoa que viaja a uma velocidade próxima à da luz, vista por outra considerada em repouso:</p> <p>I – envelhecerá menos rapidamente.</p> <p>II – terá um tamanho menor.</p> <p>III – terá uma massa maior.</p> <p>Das afirmativas,</p> <p>(a) apenas a I é correta</p> <p>(b) apenas a II é correta</p> <p>(c) apenas I e II são corretas</p> <p>(d) apenas I e III são corretas</p> <p>(e) I, II e III são corretas.</p>																																		
5	<p>Assinale “V” para verdadeiro e “F” para falso nas lacunas das alternativas a seguir:</p> <p>() Para referenciais inerciais, medidas de comprimento de objetos independem de sua velocidade: a medida do comprimento de um corpo em movimento será a mesma medida desse corpo parado, até mesmo quando sua velocidade for próxima à velocidade da luz no vácuo;</p> <p>() Para um astronauta que viaja em uma nave com velocidade próxima à velocidade da luz no vácuo, o tempo passa mais devagar do que o tempo para uma pessoa no planeta Terra;</p> <p>() Não há limite para a velocidade que uma nave espacial pode atingir, basta apenas o desenvolvimento da tecnologia necessária para a fabricação de uma nave espacial de velocidade infinita;</p> <p>() Um astronauta viaja pelo espaço com velocidade de $0,8c$ e seu irmão gêmeo fica aguardando seu retorno no planeta Terra. O paradoxo dos gêmeos nos diz que o tempo passa da mesma forma para ambos os gêmeos, indicando uma falha na Teoria da Relatividade Especial.</p>																																		
6	<p>A questão anterior (questão de número 5) possui 3 (três) afirmações falsas! Identifique o que torna cada afirmação falsa e as reescreva para torná-las verdadeiras.</p>																																		
7	<p>Considere o fragmento de texto:</p> <p>“Com a teoria de Einstein, a localização de um objeto não se dá mais em um tempo absoluto, isto é, igual para todos os observadores, o que leva a associar o tempo às três dimensões espaciais,</p>																																		

constituindo uma nova entidade: o espaço-tempo. Além disso, massa e energia passam a ter nova equivalência, expressa pela equação $E = m.c^2$. Essa teoria chama-se Relatividade Especial, pois se aplica especialmente a referenciais mecânicos não-acelerados, em que vale a mesma lei da inércia que na mecânica de Newton. Em 1916, Einstein apresentou sua Teoria da Relatividade Geral, que reformula a relação entre espaço, tempo e concentração de matéria, substituindo, por exemplo, o conceito de campo gravitacional associado à presença de massa pela ideia de curvatura espaço-tempo. Mais ampla que a Relatividade Restrita, a Teoria da Relatividade Geral, também se aplica a referenciais acelerados e explica a igualdade percebida entre massa gravitacional e a massa inercial de um objeto em queda livre. Essa equivalência entre referenciais acelerados e campos gravitacionais pode ser explicada, como fez o próprio Einstein, imaginando um laboratório instalado dentro de um elevador em queda livre. Nesse laboratório uma balança de mola indicaria que uma pessoa tem peso nulo e qualquer experiência realizada nesse laboratório seria equivalente à realizada em um espaço livre de qualquer gravitação”.

(Fonte: KANTOR, C.A. et al. Física, 3º ano: ensino médio. Coleção Quanta Física. 1. ed. 1. v. São Paulo: 2010, p. 211-213)

Com base no fragmento de texto acima e no que você sabe sobre as teorias da Relatividade Especial e Geral, considere as proposições a seguir:

(01) Referencial inercial é aquele não-acelerado, portanto um referencial acelerado é também chamado não-inercial. A teoria da Relatividade Geral é aplicada também para referenciais não-inerciais.

(02) Imagine que o laboratório imaginado por Einstein fosse instalado em um elevador que esteja no espaço, longe de qualquer grande massa. Se uma força externa for aplicada ao elevador e nele provocar uma aceleração de $9,8 \text{ m/s}^2$ uma pessoa lá dentro teria a sensação de estar caindo em queda livre, ausente dos efeitos da gravidade.

(04) De início, a aceitação da teoria de Einstein enfrentou grande resistência na própria comunidade científica internacional, até que se verificou, durante um eclipse, que a presença do Sol curvava a trajetória da luz das estrelas.

(08) Buracos negros são regiões escuras de elevadas concentrações de massa. De acordo com a Teoria da Relatividade Geral, essa concentração de massa seria tão elevada que curvaria de tal forma o espaço-tempo a seu redor a ponto de evitar que até mesmo a luz pudesse dele escapar.

(16) A relação massa-energia, expressa por $E = m.c^2$, indica que massa e energia estão relacionadas. Um objeto com massa que viaja com velocidade muito próxima à velocidade da luz tem sua massa tendendo a zero, uma vez que a energia cinética tende ao infinito.

Com base nas proposições acima, a SOMA dos índices das afirmações CORRETAS é igual a:

Fonte: Narciso (2014).

Quadro 7 – Respostas das questões do instrumento avaliativo principal.

Número	Resposta
1	(b)
2	(a)
3	(d)
4	(e)
5	A sequência correta é F, V, F e F
6	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Para referenciais inerciais, medidas de comprimento de objetos dependem de sua velocidade: a medida do comprimento de um corpo em movimento será menor do que a medida desse corpo parado, efeito percebido mais facilmente quando sua velocidade for próxima à velocidade da luz no vácuo; ✓ Há limite para a velocidade que uma nave espacial pode atingir, não existe tecnologia capaz de fabricar uma nave espacial de velocidade infinita; ✓ Um astronauta viaja pelo espaço com velocidade de $0,8c$ e seu irmão gêmeo fica aguardando seu retorno no planeta Terra. O paradoxo dos gêmeos nos diz que o tempo passa de diferentes formas para cada um dos gêmeos, como indicado pela Teoria da Relatividade Especial.
7	A soma correta é 13 – estão corretas as afirmativas 1, 4 e 8.

Fonte: Narciso (2014).

4.6. AVALIAÇÃO DE CONCORDÂNCIA E SATISFAÇÃO DO ESTUDO

É de suma importância verificar com os estudantes o nível de satisfação das aulas e materiais utilizados. Isso implica em utilizar um instrumento de concordância e satisfação. O instrumento foi elaborado visando responder as questões a seguir considerando: (1) a concordância variando entre: (a) concordo plenamente; (b) concordo parcialmente; (c) não concordo nem discordo; (d) discordo parcialmente; (e) discordo plenamente; e (f) sem condições de opinar; e (2) a satisfação variando entre: (a) muito satisfeito; (b) satisfeito; (c) parcialmente satisfeito; (d) insatisfeito; (e) muito insatisfeito; e (f) sem condições de opinar.

O instrumento foi aplicado na turma na qual se utilizou o mangá como material e os alunos foram convidados a quantificar sua concordância e satisfação com relação às assertivas presentes no Quadro 8.

Quadro 8 – Assertivas para a turma na qual se utilizou o mangá.

Concordância	
Número	Assertivas
1	Usar mangá tornou a Física mais interessante e atraente.
2	Utilizar o mangá tornou a aula de Física mais interessante do que as aulas no quadro.
3	Utilizando o mangá consegui aprender sozinho.
4	As discussões com o professor foram importantes para compreender melhor a relatividade.
5	Ler o mangá me ajudou a entender a relatividade.
6	Não consegui entender a relatividade lendo o mangá.
7	Estudar Física utilizando mangá me ajudou a entender as relações da relatividade com o cotidiano.
8	Ler o mangá é agradável.
9	Os textos no mangá são fáceis de entender.
10	As figuras no mangá me ajudaram a entender o assunto.
Satisfação	
Número	Assertivas
1	Utilização do mangá.
2	Tempo para leitura do mangá.
3	Discussões realizadas sobre a relatividade.
4	Exemplos para ajudar a entender a relatividade.
5	Exercícios para ajudar a entender a relatividade.
6	Atividades para ajudar a entender a relatividade.
7	Número de aulas trabalhando com o mangá.
8	Avaliações realizadas.

Fonte: Narciso (2014).

Estes alunos foram, ainda, convidados a responder as questões:

1. Você recomendaria o mangá para outros alunos? () Sim. () Não.
2. Por que você recomendaria (ou não) o mangá para outros alunos?

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Deus não joga dados com o universo. Einstein (BRENNAN, 2003, p. 94)

Esta seção descreve os resultados encontrados nesse estudo e os discute. Os tópicos desta seção incluem: (1) a descrição da realidade da escola e a caracterização das turmas; (2) a investigação dos subsunçores presentes nos estudantes; e (3) o progresso dos alunos para cada uma das metodologias de ensino utilizadas.

5.1. REALIDADE DA ESCOLA E DOS ALUNOS

A instituição de ensino na qual esse estudo foi realizado é uma escola que funciona nos três turnos, possuindo alunos das mais diversas comunidades de Porto Alegre e demais municípios adjacentes. No turno da manhã, estão dispostas pela escola as turmas do Ensino Médio, de interesse nesse estudo. Dessas turmas, as escolhidas como amostra para a realização desse estudo foram duas de terceiro ano (302 e 304).

O turno da manhã conta com aproximadamente 30 professores que atendem alunos que possuem, em sua maioria, baixo nível socioeconômico. Devido à carência financeira desses estudantes, muitos deles trabalham para auxiliar sua família, fazendo com que esses estudantes acabem por frequentar cansados as aulas ou deixando a escola em segundo plano.

Com o objetivo de conhecer melhor os alunos das turmas utilizadas como amostra neste estudo, um questionário foi aplicado, cujos resultados são descritos na seção seguinte.

5.1.1. CARACTERIZAÇÃO DAS TURMAS

As turmas escolhidas para as atividades deste trabalho foram os terceiros anos 302 (32 alunos frequentes) e 304 (33 alunos frequentes). Esses terceiros anos são compostos por alunos com idade entre 16 e 19 anos, sendo a maior parcela correspondendo aos alunos de 16 e 17 anos. Essa seção descreve a caracterização das turmas utilizadas como amostras na realização desse estudo.

Devido ao fato das duas turmas apresentarem resultados bastante semelhantes, indicando que os grupos de alunos dessas turmas possuem hábitos e gostos parecidos, ambas

as turmas foram caracterizadas e seus resultados descritos em conjunto. Responderam ao questionário de caracterização das turmas 23 alunos da turma 302 e 27 alunos da turma 304.

Em relação à leitura, mais de metade dos alunos alegou gostar de ler, sendo os materiais presentes na internet o que eles mais costumam ler. Uma parcela de alunos respondeu ler histórias em quadrinhos, o que confirma a premissa de que esse tipo de material constitui o contexto dos alunos, constantemente ou não. A seguir foram transcritos alguns depoimentos de alunos sobre seus hábitos de leitura.

(a) Eu leio praticamente um livro por mês. Os últimos livros foram “A culpa é das estrelas” e “do coração de Telmah” e leio também quadrinhos como “Turma da Mônica”; (b) Costumo ler constantemente, tanto livros e HQ’s quanto legendas de filmes. Os últimos livros foram Pulp do Bukowski, Lia Luft na obra As parceiras e O dia do curinga do Gaarden; (c) Um dia sim outro não. Livros e histórias em quadrinho. A Cabana e o Theorema de Katherine e a Culpa é das estrelas; (d) Diariamente, principalmente histórias em quadrinhos. O último livro foi “O Edifício” de Ernani Ssó; (e) Frequentemente, livros e histórias em quadrinhos. Os últimos livros foram: Nárnia, Divergente, Insurgente e Convergente.

A maioria dos estudantes declarou ter o hábito de estudar em casa, sendo que muitos declararam estudar utilizando a internet. Não deve ser desprezada a parcela de alunos que não estuda em casa a menos que exista algum trabalho ou avaliação nos dias seguintes. Os depoimentos de alguns dos alunos transcritos a seguir exemplificam seus hábitos de estudo.

(a) Não muito na verdade, só quando vou ter alguma prova; (b) Dificilmente estudo em casa, e se estudo é quando tem uma prova ou uma matéria muito difícil, nada específico; (c) Eu estudo de forma concentrada, os materiais que mais utilizo são livros e a internet; (d) Estudo somente usando a internet; (e) Estudo do modo “tradicional”. E para isso, utilizo livros, meus cadernos e a internet; (f) Estudo revisando o que foi visto em aula, ou um assunto específico. Usando como base cadernos de aula, livros, pesquisas na internet e etc.; (g) Não costumo estudar em casa, só dou lidas rápidas.

Menos da metade dos estudantes assiste programas científicos, dando preferência às séries e aos programas de maior audiência nos canais de rede aberta. Significativa parte dos alunos questionados respondeu não assistir televisão, fato devido à troca dessa atividade pelas atividades em computadores no mundo virtual, um pouco pela facilidade no acesso de materiais de interesse próprio. As redes sociais também fazem parte constante nas vidas dos adolescentes, atividade na qual eles dedicam importante parcela das horas diárias. Transcritos a seguir estão alguns dos depoimentos de alunos sobre seus hábitos de lazer.

(a) Não assisto televisão; (b) Não tenho muito tempo de assistir TV, mas gosto de filmes e anatomia humana; (c) O que eu mais gosto de ver é as novelas da globo, porque eu acho interessante. Não gosto de programas científicos e não assisto; (d) Séries, porque são maneiras. Sim, programas da history [History Channel] e Discovery [Discovery Channel]; (e) Não vejo televisão, vejo seriados e documentários na internet; (f) Não vejo TV, mas procuro me informar na internet,

assisto filmes, procuro blogs etc.; (g) Sim gosto de programas relacionados a ciência mas não assisto com muita frequência.

Muitos dos alunos questionados responderam gostar das Ciências da Natureza, na maioria dos casos respostas relacionadas aos conceitos mais relevantes em seu contexto e ao professor. Em contrapartida, no tocante ao que menos gostam nas aulas, muitas respostas estão relacionadas ao método de ensino utilizado por alguns professores, além da dificuldade bastante conhecida com números, da falta de aulas práticas e experimentais, e das técnicas de memorização confundidas com processos de ensino-aprendizagem, como pode ser observado nos depoimentos de alguns alunos transcritos a seguir.

[Mais gostam] (a) Física, por algumas aulas serem colocadas em prática; (b) Gosto das matérias de Ciências da Natureza dependendo do professor, por exemplo, como ele pratica aula e como ele faz das experiências serem mais interessantes; (c) As que eu gosto são biologia e física porque entendo melhor e gosto dessas matérias; (d) De descobrir o porquê das coisas acontecerem ou serem daquela forma; (e) Física. As teorias explicam cientificamente os mistérios da vida. [Menos gostam] (a) Biologia, pela maioria do conteúdo não passar de uma simples leitura no livro; (b) De fazer cálculos; (c) As aulas de ciências da natureza, poderiam ser mais práticas, mais saídas de campo e menos aulas teóricas; (d) O que menos gosto é que o professor fica falando e falando e sem chegar no fim. Poderiam ser melhoradas era ter mais prática do que teórica; (e) Os cálculos são difíceis em física e química e eu tenho uma dificuldade nesses cálculos; (f) Os cálculos para fazer. Seriam melhores se a professora explicasse com mais empenho; (g) Gosto de quase tudo, menos de Química, pois acho que seria melhor aprender em laboratório; (h) Não gosto de aulas que somos obrigados a gravar e decorar nomes e matérias; (i) Decorar/gravar nomes. Porque é complicado.

As respostas para a questão referente à utilização dos conhecimentos de ciência no cotidiano foram bastante divididas: enquanto uns acreditam que utilizam, outros não. Entretanto, quase a totalidade de alunos acredita que poderia utilizar mais esses conhecimentos em suas rotinas. Estas respostas são corroboradas com a esmagadora maioria de estudantes que responderam que as aulas deveriam ser mais experimentais e contextualizadas quando questionados sobre como as aulas poderiam ser para que os conhecimentos fossem mais utilizados na vida diária. A seguir foram transcritos alguns depoimentos de alunos sobre a contextualização do conhecimento de ciências.

(a) Eu não aproveito muito, sim eu poderia aproveitar mais, mas no momento não vejo necessidade. As aulas poderiam envolver mais a realidade em que os alunos estão vivenciando, assim acho que poderia ter um aproveitamento maior na vida dos alunos; (b) As vezes faço experimentos simples em casa. Se eu tivesse todos os materiais, aproveitaria melhor os conhecimentos. Mais experimentos. Mais questionamentos; (c) Trabalho em um órgão do meio ambiente, então leio muito sobre isso, o que faz eu ler o que eu não lia. Aulas práticas, vídeos mostrando os conteúdos sendo usados no dia-a-dia; (d) Não uso na vida diária. Acho que sim, pois as vezes você se depara com algumas coisas que confundem o pensamento. Usar mais exemplos do dia a dia; (e) Sempre poderíamos aproveitar mais o que nos é repassado, mas muitas vezes com a correria do dia-a-dia não é possível. Comparações. Nada como comparações da matéria com nossa vida, diariamente.

Quando questionados a respeito da escola, como pode ser observado nos depoimentos transcritos de alguns alunos a seguir, os alunos cobraram responsabilidade dos professores devido aos atrasos e faltas, tais pontos são cobrados dos próprios alunos pela equipe diretiva. A falta de investimento e descuido por parte do governo também foi tópico nas respostas, devido aos problemas na infraestrutura da escola. Contudo, eles alegaram gostar da companhia de seus amigos, ou seja, a escola age como ambiente de socialização; de algumas aulas, mais especificamente as aulas cujos professores utilizam de métodos alternativos que os façam pensar, problematizar e contextualizar; e ainda alguns estudantes responderam gostar do conteúdo de alguns dos componentes curriculares presentes na escola por afinidade. Por fim, alguns alunos citaram o Ensino Politécnico como um ponto negativo, devido, novamente, a não contextualização das aulas.

[Mais gostam] (a) Das aulas serem boas; (b) Eu gosto do ambiente; (c) Gosto das aulas de alguns professores; (d) Mais gosto das pessoas (colegas e professores); (e) Quando nos fazem pensar; (f) Que cada matéria tem sua sala; (g) Gosto mais da merenda; [Menos gostam] (a) Da falta de alguns professores; (b) Não gosto da precariedade e do sistema politécnico; (c) Não gosto da irresponsabilidade de algumas pessoas em relação a escola; (d) Das aulas, das faltas dos professores; (e) Menos gosto da estrutura já que o nosso país é desse jeito, o ensino não parece ser valorizado; (f) Não gosto da matacão, os professores que faltam mais que eu e cobram trabalho sem explica; (g) O que não gosto é que não pode entrar no segundo período, pois vários professores chegam atrasados; [Pontos a serem melhorados] (a) A vinda de novos professores; (b) A estrutura poderia melhorar para o benefício [...] dos alunos; (c) Os professores faltarem menos; (d) Poderia ser melhorado seria o pavilhão, que está fechado há uns 6 anos; (e) Professores com mais responsabilidade.

Utilizando as questões que constam no verso do instrumento de caracterização da turma, analisaram-se os subsunçores presentes nos alunos, conforme descrito na seção que segue.

5.2. SUBSUNÇORES

A partir da aplicação das questões presentes no Quadro 5, investigou-se se os estudantes possuem os subsunçores necessários para a interação (caso as condições necessárias existam) com os novos conceitos, estando os resultados descritos nessa seção. Responderam ao questionário de investigação dos subsunçores 23 alunos da turma 302 e 27 alunos da turma 304.

As primeiras duas questões buscam investigar se os alunos possuem a concepção clássica de que o espaço é absoluto e independente do movimento entre referenciais. As conclusões estão resumidas na Tabela 1, utilizando da análise textual discursiva.

Tabela 1 – Subsunoçores relacionados ao espaço.

Subsunoçores	302		304	
	f^9	fr^{10}	f	fr
Espaço é absoluto	22	0,48	21	0,39
Espaço não é absoluto	0	0,00	3	0,06
Espaço independe do movimento entre referenciais inerciais	21	0,46	14	0,26
Espaço depende do movimento entre referenciais inerciais	1	0,02	3	0,06
Não soube, não lembrou, em branco ou sua resposta foi errônea	2	0,04	13	0,24
SOMA	46	1,00	54	1,00

Nesse caso, como cada aluno respondeu duas questões, a soma de indivíduos da amostra é dobrada. Fonte: Narciso (2014).

Analisando os resultados obtidos, pode-se verificar que os alunos de ambas as turmas possuem relevante concepção de que o espaço é absoluto e independe de movimentos entre dois referenciais inerciais. Aqueles alunos que assumiram haver diferença no espaço quando os corpos estão em movimento um em relação ao outro (ambos em referenciais sem aceleração), justificaram essa diferença por possíveis movimentações do objeto medido. Eles acreditam, também, que a diferença no espaço venha a ocorrer de modo que o corpo aumente. A noção de que o espaço possa contrair foi respondida apenas por uma aluna da turma 304, a qual justificou que o objeto passaria muito rápido para que o observador possa medi-lo. Nos depoimentos a seguir transcritos de alguns alunos, podem ser identificadas as concepções prévias dos alunos sobre o espaço.

(a) O mesmo comprimento [...] porque o trem não cresce; (b) [...] mesmo estando em movimento a medida não muda; (c) Não, em movimento o trem pode parecer maior; (d) Diferente, pois ele estava em movimento, o que aumenta seu comprimento; (e) Foi menor pois o tempo que os passageiros olharam foi curto, e o trem passou muito rápido; (f) Igual porque estar em movimento não altera sua medida.

A questão seguinte, de número 3, foi elaborada com o objetivo de analisar o conceito clássico de que o tempo é absoluto, entretanto não houve questionamento com relação ao tempo se passar de forma diferente para dois referenciais distintos. A Tabela 2 resume os resultados obtidos, utilizando da análise textual discursiva.

Tabela 2 – Subsunoçores relacionados ao tempo.

Subsunoçores	302		304	
	f	fr	f	fr
Tempo é absoluto	22	0,96	17	0,63
Não soube, não lembrou, em branco ou sua resposta foi errônea	1	0,04	10	0,37
SOMA	23	1,00	27	1,00

Fonte: Narciso (2014).

⁹ Frequência absoluta simples: número de vezes que os valores da variável aparecem no estudo. Sua soma representa o número total de indivíduos na amostra.

¹⁰ Frequência relativa simples: o valor da frequência absoluta simples dividida pelo número de indivíduos na amostra. Sua soma deve ser sempre igual a 1.

Novamente, verificou-se que os alunos possuem a clara concepção clássica de tempo absoluto. Os alunos que responderam que o tempo poderia se comportar de maneira diferente, justificaram sua resposta pela existência de fuso horário entre os países utilizados para comparação, resposta considerada errônea para os fins deste estudo, como pode ser observado nos depoimentos transcritos a seguir.

(a) 90 dias. Porque com mesma diferença de fuso horário passaram 90 dias; (b) O tempo será igual mas o fuso horário será diferente; (c) Os mesmos 90 dias, porque por mais que eu estivesse em um lugar diferente o tempo é contado igualmente em todo o mundo (segundos, minutos, horas); (d) 91 dias porque se passaram 3 meses e 90 que eu fui porque na Europa é um dia a mais.

Com o objetivo de se verificar as concepções dos alunos sobre velocidade, se desenvolveu a questão 4. Foram consideradas como corretas as respostas que, de alguma maneira, associassem velocidade ao movimento, à distância percorrida em dado intervalo de tempo ou à variação da posição no tempo. Também se questionou qual o significado do valor da velocidade em termos de espaço e tempo. Os resultados estão dispostos na tabela a seguir (Tabela 3), montada utilizando a análise textual descritiva.

Tabela 3 – Subsunoçores relacionados à velocidade.

Subsunoçores	302		304	
	<i>f</i>	<i>fr</i>	<i>f</i>	<i>fr</i>
Conceito de velocidade	15	0,33	15	0,28
Significado do valor da velocidade	14	0,30	9	0,17
Não soube, não lembrou, em branco ou sua resposta foi errônea	17	0,37	30	0,55
SOMA	46	1,00	54	1,00

Fonte: Narciso (2014).

A análise da tabela anterior evidencia a carência do conceito de velocidade e seu significado para a maioria dos alunos, em especial na turma 304. Esse resultado indica que esses dois subsunoçores devem ser trabalhados com os alunos antes de abordar o tema desse estudo. Os depoimentos de alguns alunos transcritos a seguir exemplificam suas concepções sobre velocidade.

(a) Velocidade é a medida espaço por tempo que um objeto/coisa percorre; (b) É o tempo que você tem pelo tanto que você já andou; (c) É uma medida usada para calcular o tempo de movimento de um objeto; (d) Distância percorrida por um corpo em uma determinada quantia de tempo; (e) Significa a qualidade do que é veloz. Designa rapidez de um movimento ou a aceleração de um processo; (f) A intensidade com que se movimenta; (g) Velocidade é uma movimentação depressa... muito rápida.

Finalmente a última questão foi elaborada para investigar as concepções dos alunos sobre um limite físico de velocidade. Classicamente, a partir da mecânica newtoniana, a

velocidade não possui limite físico, e esse era o resultado esperado. Entretanto, a Tabela 4 mostra o oposto.

Tabela 4 – Subsunoçores relacionados à velocidade.

Subsunoçores	302		304	
	<i>f</i>	<i>fr</i>	<i>f</i>	<i>fr</i>
Não existe limite físico para a velocidade	4	0,17	6	0,22
Existe um limite físico para a velocidade	16	0,70	15	0,56
Não soube, não lembrou, em branco ou sua resposta foi errônea	3	0,13	6	0,22
SOMA	23	1,00	27	1,00

Fonte: Narciso (2014).

Evidenciando pensamentos da Física Moderna, os alunos responderam que existe, sim, um limite físico de velocidade. Contudo, suas justificativas não foram de todo válido: (1) quatro alunos da turma 302 e um da turma 304 responderam que o limite de velocidade seria a velocidade da luz; (2) seis alunos da turma 302 e cinco da 304 relacionaram o limite de velocidade com propriedades materiais dos veículos, alegando, por exemplo, que a lataria não aguentaria, ou que o motor não possuiria potência suficiente para atingir altas velocidades, ou que o carro capotaria, ou ainda que não haveria como frear; e (3) por fim, dois alunos da turma 302 e quatro da 304 limitaram a velocidade à algum valor conhecido, como 1000 km/h, por exemplo.

Embora o conceito de velocidade deva ser abordado antes de iniciar Relatividade, os alunos mostraram possuir os subsunoçores que poderão vir a interagir com os conceitos relativistas e construir novas concepções mais gerais. A condição de interação é, de acordo com o descrito anteriormente pela teoria da mudança de perfil conceitual, a problematização com situações contextualizadas de modo que, para superar um obstáculo conceitual, o aluno necessite resgatar seus subsunoçores específicos para interagirem com os novos conceitos. A investigação da superação de um obstáculo conceitual não é trivial, todavia facilitar situações-problema para o aluno de forma a, por exemplo, fazê-lo confrontar as concepções de espaço absoluto e espaço relativo pode ser um incentivo eficiente nesse processo interativo.

5.3. INSTRUMENTO AVALIATIVO PRINCIPAL

Nessa seção são descritos os resultados obtidos com a aplicação do instrumento avaliativo principal, aplicado em duas etapas: antes e após as aulas sobre relatividade. As duas aplicações visam verificar a evolução conceitual dos alunos através da análise de seu progresso, análise esta realizada a partir da comparação entre aplicações. A seguir estão

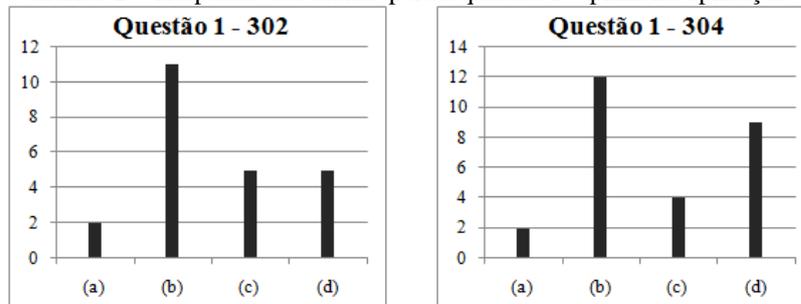
descritos os resultados das aplicações antes e após as aulas e uma discussão comparativa entre as aplicações.

5.3.1. PRIMEIRA APLICAÇÃO

A primeira aplicação do instrumento avaliativo principal foi realizada previamente às aulas para investigação de possíveis concepções prévias dos alunos sobre o assunto a ser abordado e posterior análise do progresso alunos. Realizaram a primeira aplicação do instrumento avaliativo principal 23 alunos da turma 302 e 27 alunos da turma 304.

No tocante aos objetivos de cada questão, em relação aos conceitos que esta aborda, a questão de número 1 relaciona as concepções históricas do éter e as conclusões do experimento falho de Michelson e Morley na tentativa de provar a existência do éter. Como resposta, os alunos deveriam concluir que as inconsistências no conceito de éter seriam uma forma de comprovação da teoria de Einstein de que a velocidade da luz é constante para qualquer observador e não depende da diferença de velocidade entre os referenciais inerciais utilizados em sua medida (fontes e diferentes observadores). Os gráficos a seguir (Gráfico 2) mostram as respostas dos alunos para ambas as turmas.

Gráfico 2 – Respostas dos alunos para a questão 1 – primeira aplicação.

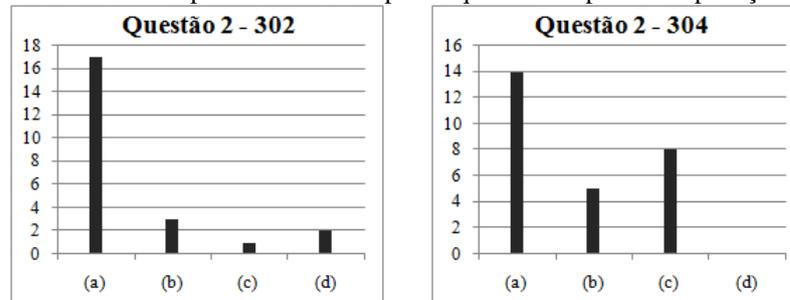


Respostas dos alunos das turmas 302 (esquerda) e 304 (direita) para a questão 1. Os eixos x e y representam as alternativas e a frequência absoluta simples de respostas, respectivamente. Fonte: Narciso (2014).

A partir dos gráficos, pode-se identificar que a maior parcela dos alunos de ambas as turmas pôde responder corretamente, uma vez que 48 % dos alunos da turma 302 e 44 % dos alunos da turma 304 assinalaram a alternativa (b). As alternativas (a), (c) e (d) possuem em comum a afirmação de que a velocidade da luz depende do movimento da fonte, o que indica, devido ao número de alunos que assinalaram essas alternativas, que existe a concepção clássica de que a velocidade da luz varia de acordo com movimentos da fonte de luz.

A segunda questão exemplifica a dilatação do tempo descrevendo o aumento do tempo de vida dos múons que se formam na atmosfera do planeta Terra. As respostas dos alunos se encontram no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Respostas dos alunos para a questão 2 – primeira aplicação.

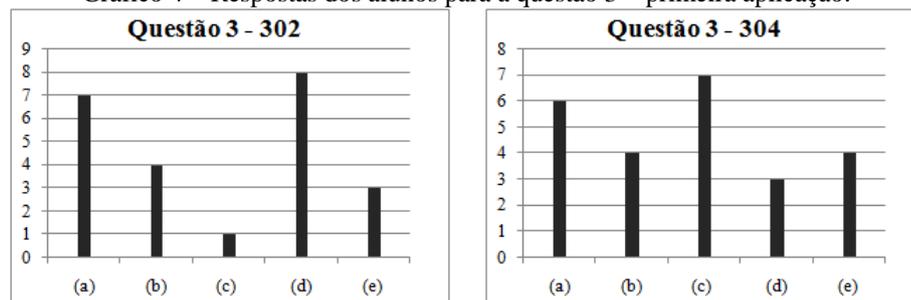


Respostas dos alunos das turmas 302 (esquerda) e 304 (direita) para a questão 2. Os eixos x e y representam as alternativas e a frequência absoluta simples de respostas, respectivamente. Fonte: Narciso (2014).

Analisando os gráficos das respostas assinaladas pelos alunos, verifica-se que a maioria dos alunos, intuitivamente, assinalou a alternativa correta (aproximadamente 74 % e 52 % dos alunos das turmas 302 e 304, respectivamente). As demais alternativas poderiam ser verificadas incorretas com uma melhor interpretação do texto inicial da questão.

Para se comparar as diferenças entre a Física Clássica e a Física Relativística em relação ao espaço e ao tempo, a questão três apresenta uma tabela com características do espaço e tempo para ambas as físicas Clássica e Relativística, sendo elas: absoluto; dilata; e contrai. O Gráfico 4 apresenta as respostas dos alunos.

Gráfico 4 – Respostas dos alunos para a questão 3 – primeira aplicação.

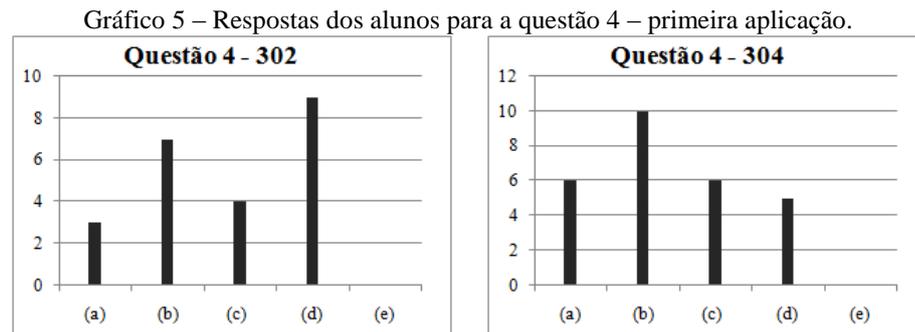


Respostas dos alunos das turmas 302 (esquerda) e 304 (direita) para a questão 3. Os eixos x e y representam as alternativas e a frequência absoluta simples de respostas, respectivamente. Fonte: Narciso (2014).

Para essas concepções, uma diferença entre as turmas ocorreu. Para os alunos da turma 302, grande parte dos alunos identificou o espaço e o tempo absolutos para a Física Clássica, assinalando as alternativas (a) ou (d), em sua maioria. Já os alunos da turma 304 não apresentaram um padrão conceitual, sendo que parte da maioria assinalou a alternativa (a), indicando sua concepção absoluta do espaço e do tempo na Física Clássica, e a outra parte da maioria assinalou a alternativa (c), indicando que esses alunos, classicamente, acreditam o

espaço ser absoluto, mas o tempo contrair. É possível que os alunos dessa turma não estejam familiarizados com o termo “física newtoniana” em referência à Física Clássica.

Interessantemente nenhum aluno assinalou corretamente a questão de número 4. Devido ao fato da alternativa correta ser aquela onde todas as afirmativas são verdadeiras – alternativa (e) – intuitivamente os alunos não acreditam que isso ocorra. O gráfico a seguir (Gráfico 5) mostra as respostas assinaladas pelos alunos.



Respostas dos alunos das turmas 302 (esquerda) e 304 (direita) para a questão 4. Os eixos x e y representam as alternativas e a frequência absoluta simples de respostas, respectivamente. Fonte: Narciso (2014).

Para uma melhor análise das concepções dos alunos, as respostas foram organizadas de forma a identificar quais das afirmativas a maioria dos alunos consideraram corretas. A Tabela 5 apresenta os resultados. Na construção da tabela, os alunos que consideraram como verdadeira a afirmativa: (I) foram aqueles que assinalaram as alternativas (a), (c), (d) ou (e); (II) foram aqueles que assinalaram as alternativas (b), (c) ou (e); e (III) foram aqueles que assinalaram as alternativas (d) ou (e).

Tabela 5 – Respostas dos alunos para a questão 4 – primeira aplicação.

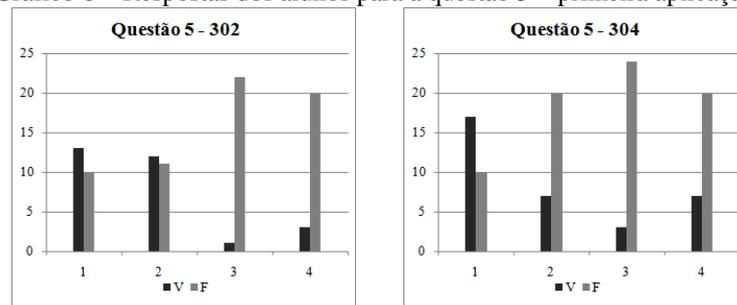
Afirmativas	302		304	
	f	fr	f	fr
I	16	0,44	17	0,45
II	11	0,31	16	0,42
III	9	0,25	5	0,13
SOMA	36	1,00	38	1,00

Respostas dos alunos para a questão 4 em função de afirmativa considerada correta. Fonte: Narciso (2014).

No que tange à afirmativa mais escolhida como verdadeira está a (I), seguida pela (II), e finalmente a afirmativa (III). Isso indica que os alunos acreditam, com maior facilidade, que o tempo e o espaço podem ser relativos (não absolutos), mas não facilmente aceitam que a massa possa vir a aumentar. Dessa forma, a maioria dos alunos acredita que a massa seja uma grandeza absoluta quando relacionada à velocidade.

A quinta questão solicitava que os alunos preenchessem verdadeiro ou falso para quatro afirmações. Os gráficos a seguir (Gráfico 6) apresentam os resultados.

Gráfico 6 – Respostas dos alunos para a questão 5 – primeira aplicação.



Respostas dos alunos das turmas 302 (esquerda) e 304 (direita) para a questão 5, onde *V* representa verdadeiro e *F* falso. Os eixos *x* e *y* representam as afirmativas e a frequência absoluta simples de respostas, respectivamente.

Fonte: Narciso (2014).

Uma análise dos resultados foi realizada para cada afirmação. Iniciando pela terceira afirmação, devido ao fato da grande maioria ter respondido, corretamente, falso. Esse resultado indica que os alunos conseguem identificar que existe um limite físico de velocidade, podendo ser uma consequência do fato dos alunos terem refletido, previamente, sobre a possibilidade da existência de um limite físico de velocidade, quando preencheram a parte específica do instrumento de investigação acerca da presença de subsunçores. A primeira afirmação também foi influenciada por esse instrumento, pois os alunos haviam refletido previamente sobre a possibilidade de existir diferença nas medidas do espaço de um objeto parado e em movimento. Isso pode ter levado parte da turma a responder, erroneamente, que essa afirmação era verdadeira.

A afirmação 2 mostrou distintos resultados para as duas turmas, onde a maioria dos alunos da turma 304 respondeu falso, e o número de respostas falsas e verdadeiras (a afirmação é verdadeira) foi próximo para os alunos da turma 302. Esse resultado indica que os alunos não possuem concepção concreta da relatividade do tempo, conforme esperado nesta etapa do estudo.

Para melhor compreender os resultados encontrados a partir da questão 5, analisou-se a questão seguinte (questão 6), a qual pede que sejam corrigidas as afirmativas consideradas falsas na questão anterior. As tabelas a seguir resumem os resultados obtidos para as turmas 302 (Tabela 6) e 304 (Tabela 7), utilizando da análise textual discursiva em sua montagem.

Os dados nas tabelas para a afirmativa 3 confirmam que significativa parcela dos alunos (aproximadamente 74 % e 59 % da turma 302 e 304, respectivamente) possui como conhecimento prévio que a velocidade possui limites físicos. No entanto é pequeno o número de alunos que identificam o espaço e o tempo como grandezas relativas.

Tabela 6 – Resumo das justificativas da turma 302 para a questão 6 – primeira aplicação.

Afirmativa	Veracidade ¹	Justificativas		Total		Parcial ²	
		Corretas	Incorretas	<i>f</i>	<i>fr</i>	<i>f</i>	<i>fr</i>
1	V			13	0,57		
	F (correta)			10	0,43		
		Espaço Relativo					4
			Demais ³			6	0,26
2	V (correta)			12	0,52		
	“F”			11	0,48		
			Tempo Absoluto				7
		Tempo Contrain				3	0,13
			Demais			1	0,04
3	“V”			1	0,04		
	F (correta)			22	0,96		
			Há limite				13
		Há limite: <i>c</i>				4	0,17
			Demais			5	0,22
4	“V”			3	0,13		
	F (correta)			20	0,87		
			Tempo Relativo				8
			Tempo Absoluto			2	0,09
			Tempo Contrain			1	0,04
			Demais			9	0,39
SOMA				23	1,00		

¹ V e F representam, respectivamente, verdadeiro e falso.

² Refere-se somente às justificativas das afirmativas assinaladas falsas.

³ Inclui as demais justificativas errôneas e as respostas não justificadas.

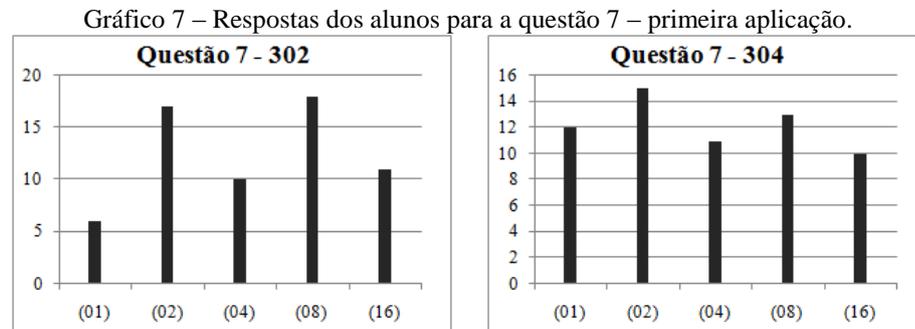
Resumo das justificativas, da questão 6, dos alunos da turma 302 para as afirmativas da questão 5. Destacadas estão as justificativas corretas. Fonte: Narciso (2014).

Tabela 7 – Resumo das justificativas da turma 304 para a questão 6 – primeira aplicação.

Afirmativa	Veracidade	Justificativas		Total		Parcial	
		Corretas	Incorretas	<i>f</i>	<i>fr</i>	<i>f</i>	<i>fr</i>
1	V			17	0,63		
	F (correta)			10	0,37		
			Espaço Relativo				5
			Espaço Absoluto			2	0,07
			Demais			3	0,11
2	V (correta)			7	0,26		
	F			20	0,74		
				Tempo Absoluto			11
			Tempo Contrain			1	0,03
			Demais			8	0,30
3	V			3	0,11		
	F (correta)			24	0,89		
			Há limite				5
		Há limite: <i>c</i>				11	0,41
			Demais			8	0,30
4	V			6	0,22		
	F (correta)			21	0,78		
			Tempo Relativo				6
			Tempo Absoluto			4	0,15
			Tempo Contrain			1	0,03
			Demais			10	0,37
SOMA				27	1,00		

Resumo das justificativas, da questão 6, dos alunos da turma 304 para as afirmativas da questão 5. Destacadas estão as justificativas corretas. Fonte: Narciso (2014).

Os gráficos que apresentam as respostas dos alunos para a questão 7 (Gráfico 7) indicam que não houve um padrão evidente de respostas, no entanto as afirmativas consideradas verdadeiras com maior frequência absoluta simples foram as de índice (02) e (08), o que pode ser verificado mais evidentemente na turma 302.



Respostas dos alunos das turmas 302 (esquerda) e 304 (direita) para a questão 7. Os eixos x e y representam as afirmativas e a frequência absoluta simples de respostas, respectivamente. Fonte: Narciso (2014).

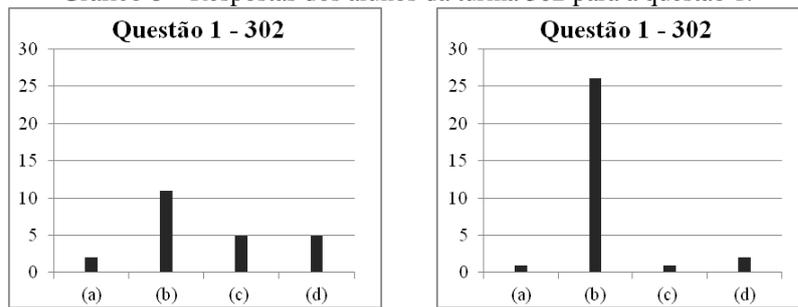
Incorretamente, a afirmação (02) foi considerada verdadeira por significativa parcela dos alunos, o que é provavelmente devido à má interpretação do texto da questão. Isto é, o texto exemplifica que o elevador de Einstein simula ausência dos efeitos da gravidade tanto em queda livre quanto no espaço longe dos efeitos de grandes massas. Já a afirmação (02) exemplifica erroneamente que o elevador de Einstein simula os efeitos da queda livre quando acelerado em $9,8 \text{ m/s}^2$, longe dos efeitos gravitacionais de grandes massas, sendo que nesse caso o elevador de Einstein simularia os efeitos da gravidade, de acordo com o princípio da equivalência. No tocante à afirmação (08), esta ser corretamente considerada verdadeira por significativa parcela dos alunos indica a presença da concepção prévia de que a luz não é capaz de escapar de buracos negros quando na região de maior curvatura do espaço-tempo. A afirmação (01) é interpretação direta do texto da questão, enquanto as afirmações (04) e (16) necessitam de conhecimento ainda não facilitados aos estudantes.

5.3.2. SEGUNDA APLICAÇÃO

Posteriormente às aulas, realizou-se a segunda aplicação do instrumento avaliativo principal, do qual responderam 30 alunos da turma 302 e 32 alunos da turma 304. Traçou-se um perfil de cada turma, conforme descrito nesta seção, e analisou-se o progresso dos alunos, comparando as respostas da segunda aplicação com a primeira.

Os gráficos a seguir mostram as respostas da primeira questão dos alunos da turma 302 (Gráfico 8) e 304 (Gráfico 9).

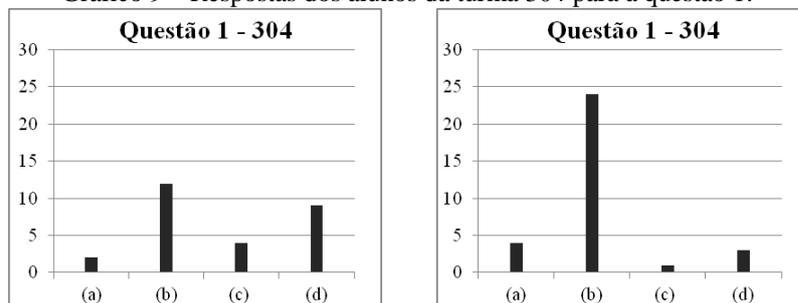
Gráfico 8 – Respostas dos alunos da turma 302 para a questão 1.



Respostas dos alunos da turma 302 previamente (esquerda) e posteriormente (direita) as aulas para a questão 1. Os eixos x e y representam as alternativas e a frequência absoluta simples de respostas, respectivamente. Fonte: Narciso (2014).

A análise dos gráficos acima permite a verificação de que houve aumento significativo de respostas corretas (b), representando 87% da amostra da segunda aplicação. Esse resultado indica que grande maioria dos alunos compreendeu o conceito absoluto da velocidade da luz e sua independência de movimentação da fonte ou observador. O mesmo padrão é observado nos gráficos das respostas, para a mesma questão, dos alunos da turma 304, na qual 75% dos alunos responderam corretamente.

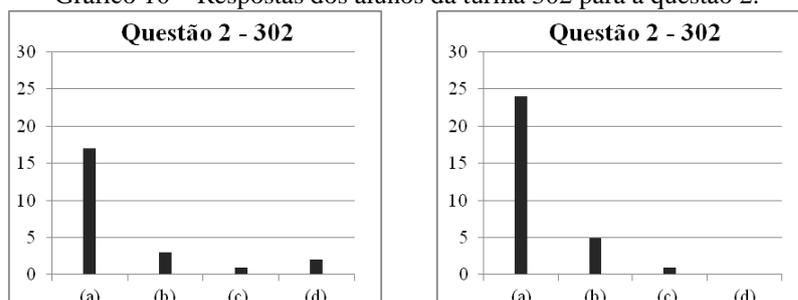
Gráfico 9 – Respostas dos alunos da turma 304 para a questão 1.



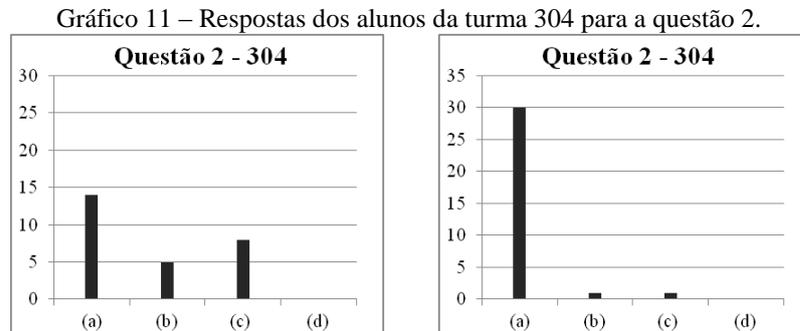
Respostas dos alunos da turma 304 previamente (esquerda) e posteriormente (direita) as aulas para a questão 1. Os eixos x e y representam as alternativas e a frequência absoluta simples de respostas, respectivamente. Fonte: Narciso (2014).

Na segunda questão, respectivamente 80% e 94% dos alunos das turmas 302 e 304 responderam corretamente (a) na segunda aplicação, como mostram os gráficos a seguir (Gráfico 10 e Gráfico 11). Esses resultados indicam que a grande maioria dos alunos conseguiu associar o exemplo da questão com o efeito da dilatação do tempo.

Gráfico 10 – Respostas dos alunos da turma 302 para a questão 2.

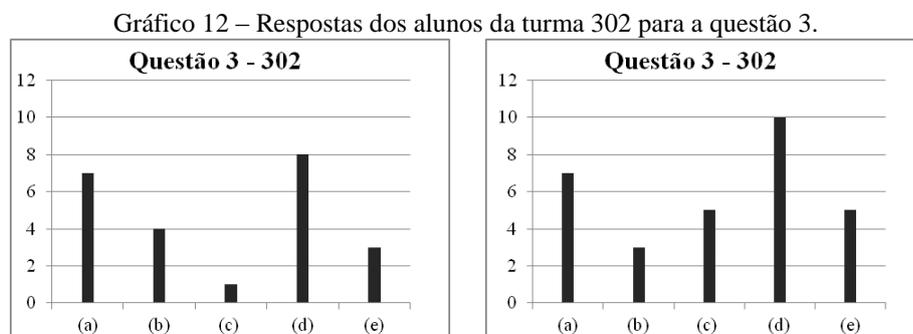


Respostas dos alunos da turma 302 previamente (esquerda) e posteriormente (direita) as aulas para a questão 2. Os eixos x e y representam as alternativas e a frequência absoluta simples de respostas, respectivamente. Fonte: Narciso (2014).

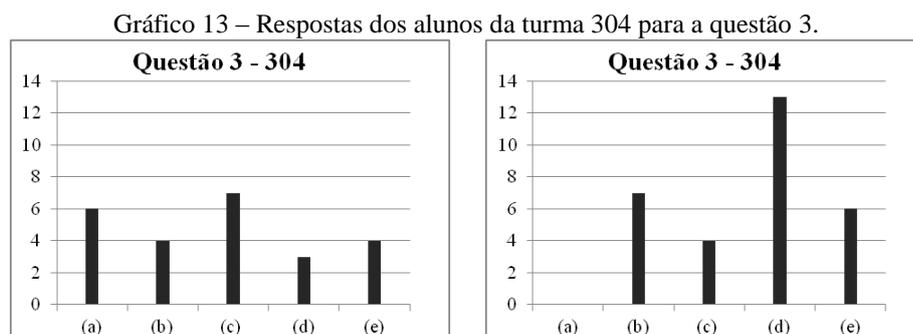


Respostas dos alunos da turma 304 previamente (esquerda) e posteriormente (direita) as aulas para a questão 2. Os eixos x e y representam as alternativas e a frequência absoluta simples de respostas, respectivamente. Fonte: Narciso (2014).

As respostas da terceira questão, que compara a física newtoniana e a relativística, encontram-se nos gráficos Gráfico 12 e Gráfico 13. Na segunda aplicação, 10 dos 30 alunos da turma 302 (33%) responderam corretamente (d). Já para a turma 304, 13 dos 32 alunos (41%) responderam corretamente. Os resultados obtidos com essa comparação indicam que restaram dúvidas no tocante ao comparativo do espaço e do tempo entre a Física Clássica e a Física Moderna. Contudo, observa-se um aumento numérico de respostas corretas, mais evidente para a turma 304.



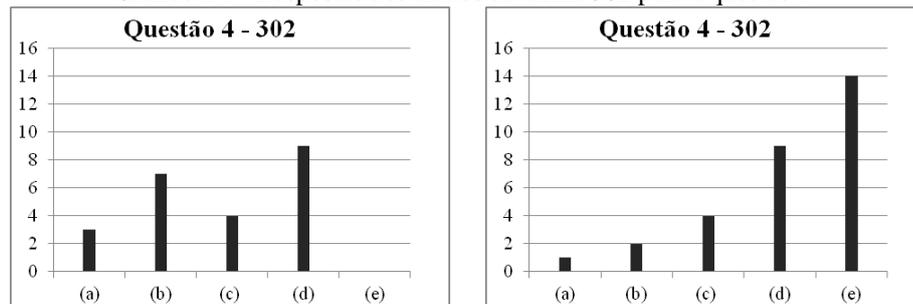
Respostas dos alunos da turma 302 previamente (esquerda) e posteriormente (direita) as aulas para a questão 3. Os eixos x e y representam as alternativas e a frequência absoluta simples de respostas, respectivamente. Fonte: Narciso (2014).



Respostas dos alunos da turma 304 previamente (esquerda) e posteriormente (direita) as aulas para a questão 3. Os eixos x e y representam as alternativas e a frequência absoluta simples de respostas, respectivamente. Fonte: Narciso (2014).

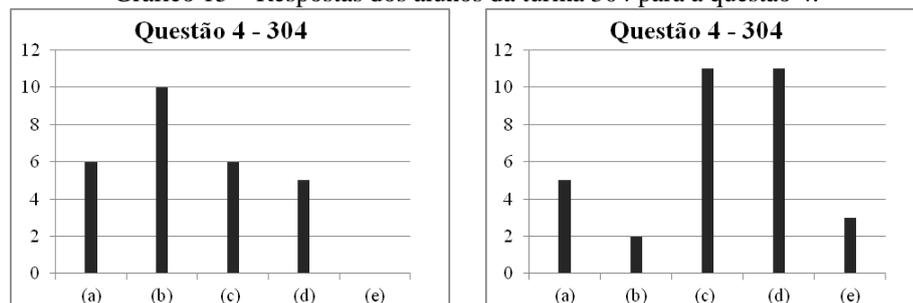
Ao contrário da primeira aplicação, na qual nenhum aluno assinalou corretamente a questão de número 4, na segunda aplicação a resposta correta (e) foi maioria na turma 302 (47% dos alunos responderam (e)), como demonstra o Gráfico 14. Entretanto, a maioria das respostas dos alunos da turma 304 está entre as alternativas (c) e (d), enquanto apenas 9% (3 alunos) responderam corretamente, como ilustrado no Gráfico 15.

Gráfico 14 – Respostas dos alunos da turma 302 para a questão 4.



Respostas dos alunos da turma 302 previamente (esquerda) e posteriormente (direita) as aulas para a questão 4. Os eixos x e y representam as alternativas e a frequência absoluta simples de respostas, respectivamente. Fonte: Narciso (2014).

Gráfico 15 – Respostas dos alunos da turma 304 para a questão 4.



Respostas dos alunos da turma 304 previamente (esquerda) e posteriormente (direita) as aulas para a questão 4. Os eixos x e y representam as alternativas e a frequência absoluta simples de respostas, respectivamente. Fonte: Narciso (2014).

Os gráficos demonstram progresso das turmas, em especial da turma 302. Do mesmo modo que realizado na primeira aplicação do instrumento avaliativo principal, as respostas foram organizadas de forma a identificar quais as frequências absolutas simples das afirmativas consideradas corretas pelos alunos. A tabela seguir (Observou-se que mais alunos consideraram como verdadeira a primeira afirmativa, a qual está relacionada com os efeitos da dilatação do tempo. Pelas respostas, alguns alunos ainda possuem dúvidas sobre a contração do espaço e a relação massa-velocidade, sendo a turma 304 a que possui maior frequência de alunos com essas dúvidas, visto que as frequências relativas simples das afirmativas (II) e (III) são inferiores. Os resultados obtidos evidenciam crescimento de ambas as turmas.

Tabela 8) apresenta esses resultados. Na construção da tabela, os alunos que consideraram como verdadeira a afirmativa: (I) foram aqueles que assinalaram as alternativas

(a), (c), (d) ou (e); (II) foram aqueles que assinalaram as alternativas (b), (c) ou (e); e (III) foram aqueles que assinalaram as alternativas (d) ou (e).

Observou-se que mais alunos consideraram como verdadeira a primeira afirmativa, a qual está relacionada com os efeitos da dilatação do tempo. Pelas respostas, alguns alunos ainda possuem dúvidas sobre a contração do espaço e a relação massa-velocidade, sendo a turma 304 a que possui maior frequência de alunos com essas dúvidas, visto que as frequências relativas simples das afirmativas (II) e (III) são inferiores. Os resultados obtidos evidenciam crescimento de ambas as turmas.

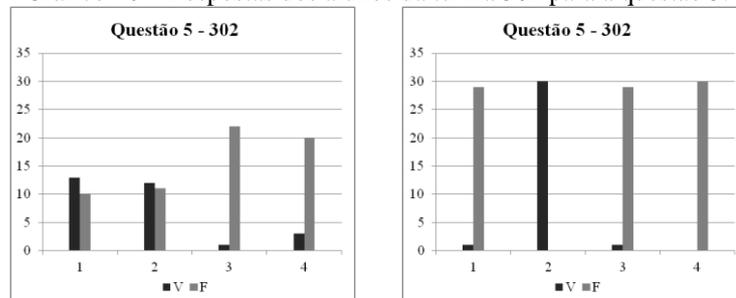
Tabela 8 – Respostas dos alunos para a questão 4.

Afirmativas	Primeira Aplicação				Segunda Aplicação			
	302		304		302		304	
	<i>f</i>	<i>fr</i>	<i>f</i>	<i>fr</i>	<i>f</i>	<i>fr</i>	<i>f</i>	<i>fr</i>
I	16	0,44	17	0,45	28	0,39	30	0,50
II	11	0,31	16	0,42	20	0,28	16	0,27
III	9	0,25	5	0,13	23	0,32	14	0,23
SOMA	36	1,00	38	1,00	71	1,00	60	1,00

Respostas dos alunos para a questão 4 em função de afirmativa considerada correta. Fonte: Narciso (2014).

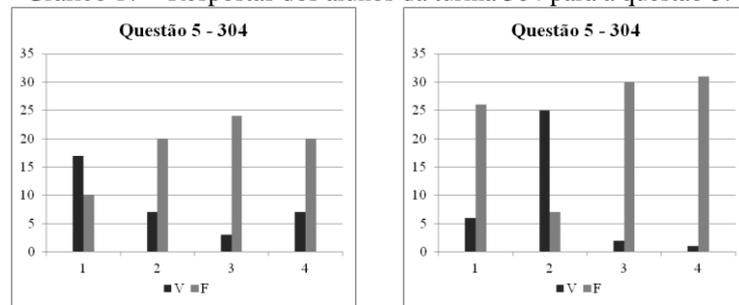
Na questão seguinte, os alunos deveriam assinalar *V* ou *F* quando consideravam a afirmativa verdadeira ou falsa, respectivamente. Os gráficos a seguir apresentam os resultados para as turmas 302 (Gráfico 16) e 304 (Gráfico 17). Quase a totalidade dos alunos das turmas respondeu corretamente a questão de número 5, sendo esse resultado mais evidente para a turma 302. Nas afirmativas 1 e 2 da questão, cujos assuntos são contração do espaço e dilatação do tempo, respectivamente, observou-se um acréscimo significativo de respostas corretas, sendo que ocorreu uma inversão na veracidade da afirmativa 1 para a turma 302 e de ambas afirmativas para a turma 304.

Gráfico 16 – Respostas dos alunos da turma 302 para a questão 5.



Respostas dos alunos da turma 302 previamente (esquerda) e posteriormente (direita) as aulas para a questão 5, onde *V* representa verdadeiro e *F* falso. Os eixos *x* e *y* representam as afirmativas e a frequência absoluta simples de respostas, respectivamente. Fonte: Narciso (2014).

Gráfico 17 – Respostas dos alunos da turma 304 para a questão 5.



Respostas dos alunos da turma 304 previamente (esquerda) e posteriormente (direita) as aulas para a questão 5, onde *V* representa verdadeiro e *F* falso. Os eixos *x* e *y* representam as afirmativas e a frequência absoluta simples de respostas, respectivamente. Fonte: Narciso (2014).

Na sexta questão os alunos deveriam reescrever as três afirmativas incorretas da questão anterior de modo a torná-las corretas. As tabelas a seguir (Tabela 9 e Tabela 10) demonstram as respostas dos alunos encontradas a partir da utilização da análise textual discursiva. A partir da análise dos resultados encontrados com a questão 6, verifica-se que houve um progresso de ambas as turmas, visto que a frequência relativa simples de justificativas corretas aumentou.

Tabela 9 – Resumo das justificativas da turma 302 para a questão 6.

Af. ¹	Veracidade	Justificativas		Primeira Aplicação				Segunda Aplicação			
				Total		Parcial		Total		Parcial	
		Corretas	Incorretas	<i>f</i>	<i>fr</i>	<i>f</i>	<i>fr</i>	<i>f</i>	<i>fr</i>	<i>f</i>	<i>fr</i>
1	V			13	0,57			1	0,03		
	F (correta)			10	0,43			29	0,97		
		Espaço Relativo				4	0,17			14	0,47
		Espaço Contraí				-	-			5	0,17
		Espaço Absoluto				0	0,00			4	0,13
		Demais			6	0,26			6	0,20	
	V (correta)			12	0,52			30	1,00		
2	F			11	0,48			0	0,00		
		Tempo Absoluto				7	0,31			-	-
		Tempo Contraí				3	0,13			-	-
		Demais				1	0,04			-	-
3	V			1	0,04			1	0,03		
	F (correta)			22	0,96			29	0,97		
		Há limite				13	0,57			8	0,27
		Há limite: <i>c</i>				4	0,17			14	0,47
		Demais				5	0,22			7	0,23
4	V			3	0,13			0	0,00		
	F (correta)			20	0,87			30	1,00		
		Tempo Relativo				8	0,35			4	0,13
		Tempo Dilata				-	-			20	0,67
		Tempo Absoluto				2	0,09			1	0,03
		Tempo Contraí				1	0,04			1	0,03
		Demais				9	0,39			4	0,13
SOMA				23	1,00			30	1,00		

¹ Afirmativas.

Resumo das justificativas, da questão 6, dos alunos da turma 302 para as afirmativas da questão 5. Destacadas estão as justificativas corretas. Fonte: Narciso (2014).

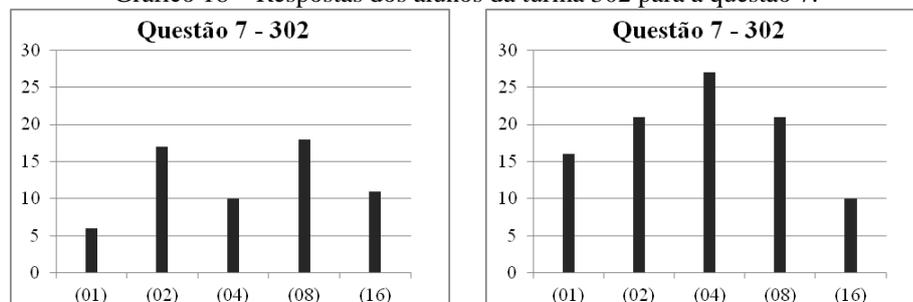
Tabela 10 – Resumo das justificativas da turma 304 para a questão 6.

Af.	Veracidade	Justificativas		Primeira Aplicação				Segunda Aplicação			
				Total		Parcial		Total		Parcial	
		Corretas	Incorretas	<i>f</i>	<i>fr</i>	<i>f</i>	<i>fr</i>	<i>f</i>	<i>fr</i>	<i>f</i>	<i>fr</i>
1	V			17	0,63			6	0,19		
	F (correta)			10	0,37			26	0,81		
		Espaço Relativo Espaço Contrain	Espaço Absoluto Demais			5	0,19			12	0,37
						-	-			5	0,16
						2	0,07			0	0,00
					3	0,11			9	0,28	
	V (correta)			7	0,26			25	0,78		
2	F			20	0,74			7	0,22		
		Tempo Absoluto Tempo Contrain Demais			11	0,41			3	0,09	
					1	0,03			4	0,13	
					8	0,30			0	0,00	
	V			3	0,11			2	0,06		
3	F (correta)			24	0,89			30	0,94		
		Há limite Há limite: <i>c</i> Demais			5	0,18			5	0,16	
					11	0,41			19	0,59	
					8	0,30			6	0,19	
	V			6	0,22			1	0,03		
4	F (correta)			21	0,78			31	0,97		
		Tempo Relativo Tempo Dilata Tempo Absoluto Tempo Contrain Demais			6	0,22			5	0,16	
					-	-			18	0,56	
					4	0,15			0	0,00	
					1	0,03			4	0,13	
				10	0,37			4	0,13		
SOMA				27	1,00	32				1,00	

Resumo das justificativas, da questão 6, dos alunos da turma 304 para as afirmativas da questão 5. Destacadas estão as justificativas corretas. Fonte: Narciso (2014).

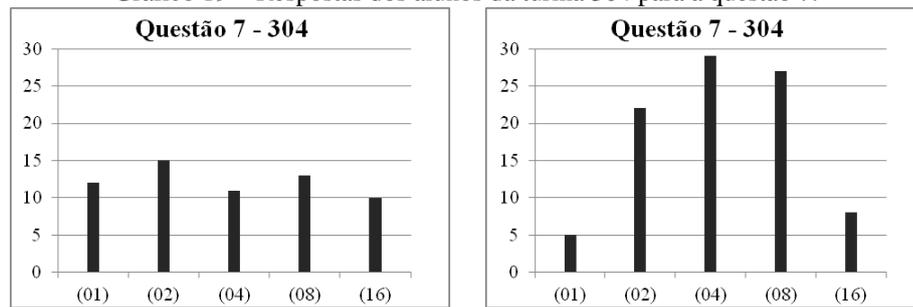
Poucos alunos responderam corretamente a questão 7 (06 alunos da turma 302 e 03 da turma 304, sendo a soma correta igual a 13 – afirmativas (01), (04) e (08)), dessa forma os resultados foram, novamente, organizados de modo a mostrar a frequência absoluta simples de afirmativas consideradas corretas pelos alunos. Os gráficos a seguir demonstram um comparativo entre aplicações do instrumento avaliativo principal para a questão 7, sendo o Gráfico 18 referente à turma 302 e o Gráfico 19 referente à turma 304.

Gráfico 18 – Respostas dos alunos da turma 302 para a questão 7.



Respostas dos alunos da turma 302 previamente (esquerda) e posteriormente (direita) as aulas para a questão 7. Os eixos *x* e *y* representam as afirmativas e a frequência absoluta simples de respostas, respectivamente. Fonte: Narciso (2014).

Gráfico 19 – Respostas dos alunos da turma 304 para a questão 7.



Respostas dos alunos da turma 304 previamente (esquerda) e posteriormente (direita) as aulas para a questão 7. Os eixos x e y representam as afirmativas e a frequência absoluta simples de respostas, respectivamente. Fonte: Narciso (2014).

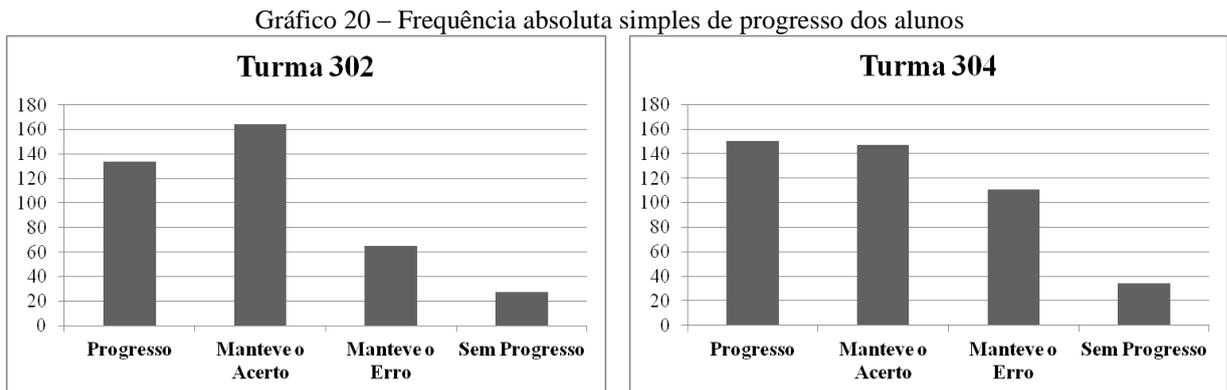
Corretamente a maioria dos alunos de ambas as turmas considerou estar correta a afirmativa (04), que diz respeito à curvatura do espaço-tempo, indicando progresso das turmas. Tratando do mesmo assunto, a afirmativa (08) foi considerada correta por significativa parcela de alunos. A afirmativa (01) foi considerada correta por parcela menor de alunos, sendo essa, para a turma 304, significativamente pequena.

Poucos alunos de ambas as turmas consideraram erroneamente correta a afirmativa (16), enquanto a afirmativa (02) foi considerada correta por número significativo de alunos. Estes resultados possivelmente indicam que, ou restaram dúvidas nos alunos com relação aos conceitos de relação massa-velocidade e o princípio da equivalência, ou houve má interpretação destes na leitura do texto e das afirmativas.

A intersecção entre os conjuntos de alunos que realizaram tanto a primeira quanto a segunda aplicação do instrumento avaliativo principal, resulta em uma amostra de 23 e 26 alunos para as turmas 302 e 304, respectivamente. Considerando essa amostra, a análise do progresso individual foi realizada, na qual se investigou o progresso dos alunos de ambas as turmas. Essa investigação é baseada na comparação das respostas dos alunos entre as aplicações.

Para que o progresso individual seja analisado, algumas considerações devem ser realizadas de modo a comparar as respostas individualmente. A comparação entre aplicações considera, questão por questão, respostas corretas e incorretas, de modo que foram consideradas opções: (1) *progresso* (quando na primeira aplicação o aluno respondeu incorretamente e na segunda corretamente); (2) *manteve o acerto* (quando o aluno respondeu corretamente em ambas as aplicações); (3) *manteve o erro* (quando o aluno respondeu incorretamente em ambas as aplicações); e (4) *sem progresso* (quando o aluno respondeu corretamente na primeira aplicação, mas incorretamente na segunda).

A partir dos resultados obtidos individualmente, para todas as questões, observou-se, evidentemente, progresso total¹¹ em 83 % dos alunos da amostra da turma 302 contra 73 % da turma 304. A seguir estão dois gráficos de colunas (Gráfico 20) que mostram a frequência absoluta simples das quatro opções, considerando todas as possibilidades, para cada e todos os alunos e questões, isto é, por exemplo, todos os *manteve o acerto* de todos os alunos para todas as questões.



Fonte: Narciso (2014).

O número de *sem progresso* foi pequeno, comparado às demais opções, para ambas as turmas, enquanto o número de *progresso* foi maior para a turma 304. Contudo, a verificação de progresso total individual (por aluno) foi realizada considerando todas as quatro opções, o que levou ao resultado da turma 302 possuir maior número de alunos com progresso total devido ao maior número de *manteve o erro*.

5.4. AVALIAÇÃO DE CONCORDÂNCIA E SATISFAÇÃO DO ESTUDO

A presente seção descreve o nível de concordância e satisfação dos alunos da turma 302, na qual foi utilizado o mangá, o qual foi respondido por 20 alunos. Esse estudo possui por objetivo verificar a opinião dos alunos a respeito do material utilizado.

As tabelas a seguir contêm as frequências absolutas e relativas simples para as assertivas nas quais o nível de concordância plena e parcial foi: (1) maior ou igual a 90% (Tabela 11); (2) entre 70% e 90% (Tabela 12); e (3) inferior a 70% (Tabela 13).

Através das respostas dos alunos, verificou-se que 18 alunos ou mais concordam plena ou parcialmente que a utilização do mangá torna tanto a Física quanto as aulas mais

¹¹ Diferencia-se, aqui, *progresso* – que considera o acerto de uma questão considerada incorreta na primeira aplicação – de *progresso total* – que considera todas as opções individualmente.

interessantes e/ou atraentes do que as aulas tradicionais, e que as figuras que o mangá contém os ajudaram a entender o assunto (assertivas 1, 2 e 10, respectivamente).

Tabela 11 – Nível de concordância para as assertivas 1, 2, 4 e 10.

Nível de Concordância	Assertivas							
	1		2		4		10	
	<i>f</i>	<i>fr</i>	<i>f</i>	<i>fr</i>	<i>f</i>	<i>fr</i>	<i>f</i>	<i>fr</i>
Concordo Plenamente	9	0,45	12	0,60	16	0,80	9	0,45
Concordo Parcialmente	10	0,50	6	0,30	4	0,20	9	0,45
Não Concordo Nem Discordo	0	0,00	1	0,05	0	0,00	1	0,05
Discordo Parcialmente	1	0,05	0	0,00	0	0,00	1	0,05
Discordo Plenamente	0	0,00	1	0,05	0	0,00	0	0,00
Sem Condições de Opinar	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
SOMA	20	1,00	20	1,00	20	1,00	20	1,00

Nível de concordância para as assertivas cuja soma das frequências relativas simples de concordância parcial e plena é superior a 90%. Fonte: Narciso (2014).

Esses resultados estão de acordo com as características das histórias em quadrinho (conforme descrito na seção 3.3). Além disso, 100% dos alunos concordaram plena (16 alunos) ou parcialmente (4 alunos) que as discussões com o professor após a leitura do material foram importantes para a melhor compreensão do assunto. É importante enfatizar que o papel do professor nesse estudo é de mediador, de modo a complementar o material através de discussões.

Tabela 12 – Nível de concordância para as assertivas 5, 7, 8 e 9.

Nível de Concordância	Assertivas							
	5		7		8		9	
	<i>f</i>	<i>fr</i>	<i>f</i>	<i>fr</i>	<i>f</i>	<i>fr</i>	<i>f</i>	<i>fr</i>
Concordo Plenamente	8	0,40	5	0,25	6	0,30	8	0,40
Concordo Parcialmente	9	0,45	11	0,55	9	0,45	8	0,40
Não Concordo Nem Discordo	2	0,10	3	0,15	3	0,15	3	0,15
Discordo Parcialmente	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Discordo Plenamente	1	0,05	0	0,00	2	0,10	1	0,05
Sem Condições de Opinar	0	0,00	1	0,05	0	0,00	0	0,00
SOMA	20	1,00	20	1,00	20	1,00	20	1,00

Nível de concordância para as assertivas cuja soma das frequências relativas simples de concordância parcial e plena é superior a 70% e inferior a 90%. Fonte: Narciso (2014).

Na Tabela 12, a soma dos níveis de concordância plena e parcial dos alunos se encontra entre 70% e 90%. Dessa forma, grande parte dos alunos concorda plena ou parcialmente que a leitura do mangá ajuda na compreensão do assunto, sendo essa agradável, e que o mangá possui textos de fácil compreensão (assertivas 5, 8 e 9, respectivamente). Ainda a assertiva 7 relaciona a utilização do mangá com as relações da relatividade com o cotidiano. Tais relações são difíceis de serem identificadas e compreendidas até mesmo para relevante parcela dos cientistas, uma vez que as comprovações experimentais da teoria não são encontradas corriqueiramente, tão pouco observáveis sem o auxílio de instrumentos

específicos. No mangá, essas comprovações são descritas através de textos e figuras, e a capacidade de abstração dos alunos é essencial para compreensão.

Tabela 13 – Nível de concordância para as assertivas 3 e 6.

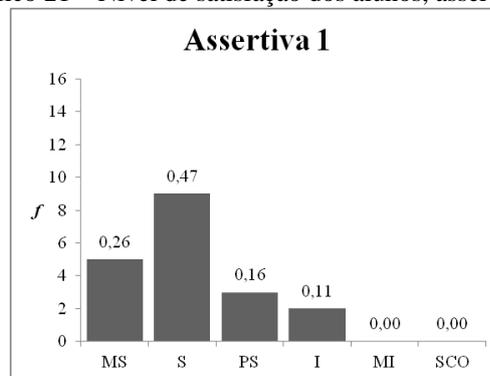
Nível de Concordância	Assertivas			
	3		6	
	<i>f</i>	<i>fr</i>	<i>f</i>	<i>fr</i>
Concordo Plenamente	5	0,25	0	0,00
Concordo Parcialmente	7	0,35	3	0,15
Não Concordo Nem Discordo	7	0,35	6	0,30
Discordo Parcialmente	1	0,05	2	0,10
Discordo Plenamente	0	0,00	7	0,35
Sem Condições de Opinar	0	0,00	2	0,10
SOMA	20	1,00	20	1,00

Nível de concordância para as assertivas cuja soma das frequências relativas simples de concordância parcial e plena é inferior a 70%. Fonte: Narciso (2014).

As assertivas anteriores obtiveram resultados com alta concordância parcial e/ou plena, sendo estatisticamente desprezível a frequência absoluta simples de respostas com discordância. Contudo, as assertivas 3 e 6 obtiveram resultados opostos. A assertiva 3 reflete na capacidade de aprendizagem autônoma dos alunos, na qual 7 alunos (35% da amostra) demonstraram imparcialidade, exprimindo a necessidade da presença do professor neste processo. Já na assertiva 6 (“não consegui entender a relatividade lendo o mangá”) os resultados possivelmente exprimem que os alunos possuem incertezas no tocante ao que compreenderam sobre o assunto.

A segunda parte do instrumento possui por objetivo verificar a satisfação dos alunos no tocante ao uso do mangá, às discussões e às demais atividades realizadas com a turma, o que inclui exemplos, exercícios, discussões e avaliações. Os gráficos 21 a 28 a seguir mostram os níveis de satisfação dos alunos para as assertivas 1 a 8, respectivamente.

Gráfico 21 – Nível de satisfação dos alunos, assertiva 1.



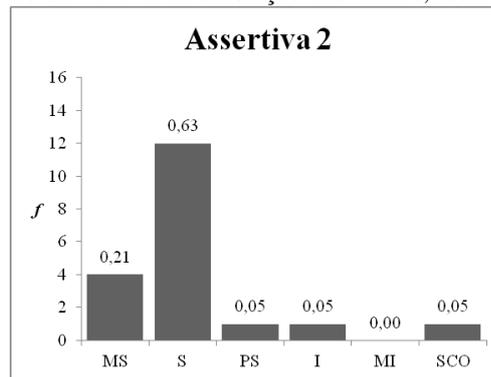
Foram consideradas 19 respostas, pois houve uma resposta dupla. Fonte: Narciso (2014).

Demonstraram estar satisfeitos ou muito satisfeitos 73% dos alunos da amostra, indicando significativa satisfação entre os alunos no tocante à utilização do mangá, porém

27% dos alunos indicou estar parcialmente satisfeito ou insatisfeito. Uma possível solução visando maior satisfação entre os alunos seria a dedicação de mais aulas para o tema abordado.

A segunda assertiva visa verificar o nível de satisfação dos alunos com relação ao tempo dedicado para leitura dos mangás. Os resultados indicam significativa satisfação (84% dos alunos da amostra), como pode ser observado no gráfico a seguir.

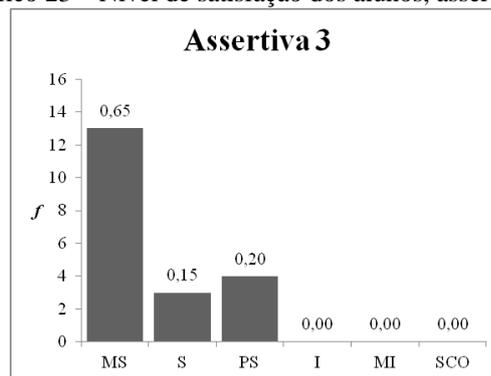
Gráfico 22 – Nível de satisfação dos alunos, assertiva 2.



Foram consideradas 19 respostas, pois houve uma resposta em branco. Fonte: Narciso (2014).

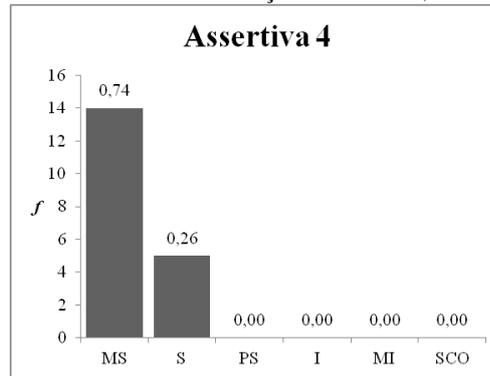
As assertivas 3, 4 e 5 visavam verificar o nível de satisfação dos alunos com relação às discussões, exemplos e exercícios utilizados em aula, respectivamente, de modo a complementar o tema abordado no mangá. Verifica-se significativa satisfação entre os alunos nesses casos. Também se observa significativa satisfação na assertiva 6, a qual está relacionada com as atividades realizadas para ajudar na compreensão do tema.

Gráfico 23 – Nível de satisfação dos alunos, assertiva 3.



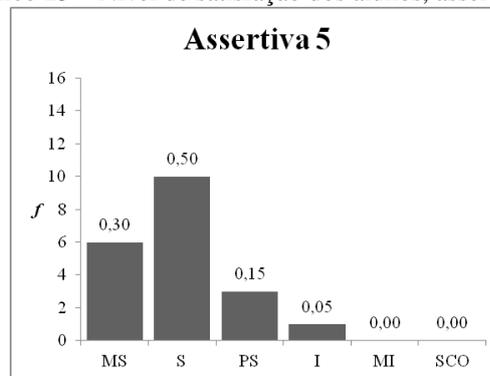
Fonte: Narciso (2014).

Gráfico 24 – Nível de satisfação dos alunos, assertiva 4.



Foram consideradas 19 respostas, pois houve uma resposta dupla. Fonte: Narciso (2014).

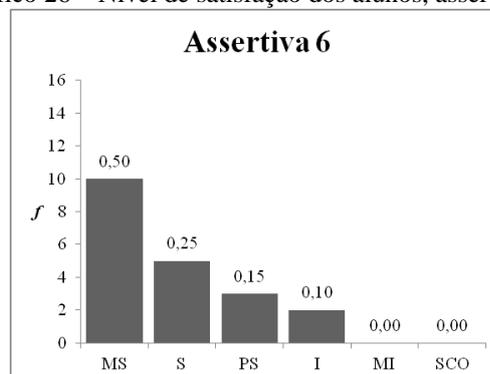
Gráfico 25 – Nível de satisfação dos alunos, assertiva 5.



Fonte: Narciso (2014).

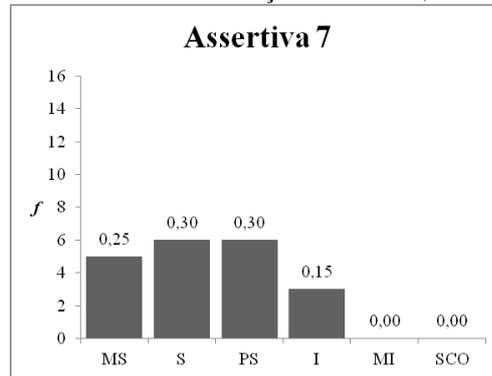
Entretanto, na assertiva 7, a qual possui objetivo de quantificar a satisfação dos alunos com relação ao número de aulas dedicadas ao tema, não é possível observar evidente satisfação dos alunos, sendo que 45% dos alunos da amostra indicou estar parcialmente satisfeito ou insatisfeito. Esse resultado demonstra a necessidade de um número maior de aulas para a utilização do material.

Gráfico 26 – Nível de satisfação dos alunos, assertiva 6.



Fonte: Narciso (2014).

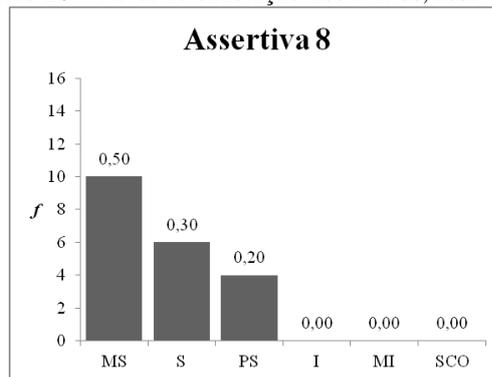
Gráfico 27 – Nível de satisfação dos alunos, assertiva 7.



Fonte: Narciso (2014).

Por fim, a última assertiva buscava quantificar a satisfação dos estudantes no tocante às avaliações realizadas, e seus resultados indicam satisfação de 80% dos alunos que preencheram o questionário.

Gráfico 28 – Nível de satisfação dos alunos, assertiva 8.



Fonte: Narciso (2014).

Na última parte do questionário, os alunos foram convidados a responder se recomendavam, ou não, o mangá para outros alunos e porque, bom como a deixar sugestões e comentários. Como resultado, 17 dos 20 alunos entrevistados responderam que recomendam o mangá. A seguir estão transcritos algumas das respostas dos alunos que recomendam o mangá.

- (a) Achei muito prático e melhor para a aprendizagem; (b) É um jeito diferente de aprender e você aprende mais; (c) Porque foi uma forma menos cansativa, mais fácil de entender a matéria; (d) Porque ele é um método intrigante que prendeu minha atenção, também por causa dos desenhos, mas principalmente pelo enredo da história; (e) Porque é uma forma diferente de aprender a matéria, para sair um pouco do tradicional; (f) Porque é uma forma mais descontraída e interessante de aprendizagem; (g) Porque a leitura torna a aula mais interessante, não fica repetitiva, igual as aulas que temos no dia-a-dia; (h) Porque a aula ficou mais produtiva; e (i) Porque ajuda a compreender melhor com as imagens e com os diálogos dos personagens.

Três alunos assinalaram não indicar o mangá para outros alunos, justificando ser muito material ou que o material não deveria ser obrigatório para todos, conforme pode ser observado nos depoimentos aqui transcritos:

(a) Por mais que seja interessante e muito criativo é muito maçante. Principalmente por ter 5 mangás. Acaba “confundindo” um pouco; (b) Recomendaria só para quem gosta. Não deveria ser obrigatória a leitura. (c) Porque muitas pessoas não gostam de mangá.

As sugestões e os comentários mais marcantes deixados pelos estudantes da turma 302 e que responderam o questionário em questão estão transcritos a seguir.

(a) Odeio Física, mas foi uma das melhores aulas que tivemos; (b) Achei muito bacana da parte do professor fazer essa atividade [...]. Só que achei a leitura um pouco cansativa, e o tempo que tivemos não foi tão grande [...]; (c) Gostei muito dessa metodologia; (d) Adorei as aulas [...]; e (e) Muito bom, inovou.

Os resultados descritos nessa seção demonstram, para maior parcela da turma, relevante satisfação, sendo esses resultados satisfatórios e de acordo com o esperado. Para que se tenha um nível de satisfação geral da turma, as respostas podem ser quantificadas variando de 0 (sem condições de opinar) a 5 (muito satisfeito), em intervalos inteiros, e um nível geral pode ser calculado através razão entre a soma dos níveis individuais de satisfação e o número total de respostas. Nesse caso, o nível geral de satisfação é de 4,1, indicando que a turma, em geral, está satisfeita com as aulas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A velocidade da luz é sempre constante.
À velocidade da luz o tempo para.
À velocidade da luz, a massa é infinita.
 $E = m.c^2$ (BRENNAN, 2003, p. 72)

Tendo por objetivo analisar os benefícios da utilização de um mangá no ensino de Relatividade para alunos do terceiro ano do Ensino Médio, esse estudo comparou dois métodos didáticos. O problema de pesquisa surgiu visando incluir uma proposta de auxílio aos professores de Física no ensino da Física Moderna, complementando as diversas contribuições experimentais no ensino desse tema.

Kessler (2008) identificou o despreparo e a falta de conhecimento do professor como motivos pelos quais a Física Moderna muitas vezes não é abordada no Ensino Médio. Desse modo, a utilização do mangá proposto nesse estudo é uma alternativa interessante na abordagem desse conteúdo, servindo como importante ferramenta ao professor. A utilização de histórias em quadrinhos no ensino se mostra alternativa bastante útil, uma vez que as mesmas são popularmente difundidas e visam a catarse, estimulando a imaginação e demais atividades mentais. Além disso, a utilização dessas ferramentas desencadeiam conflitos cognitivos e necessitam de menos tempo para que ocorra a compreensão satisfatória de uma teoria (CARUSO et al., 2002). Por fim, Moreira (1999) expõe que a aprendizagem significativa necessita de material potencialmente significativo, como o material utilizado nesse estudo.

Visando analisar a utilização do mangá, aulas foram desenvolvidas e aplicadas em duas turmas, sendo uma utilizando método tradicional e a outra utilizando o Guia Mangá de Relatividade, desenvolvido por Nitta e colaboradores (2011). As aulas seguiram cronograma com oito aulas, de modo que o conteúdo fosse abordado em um mês (considerando duas aulas semanais).

Os resultados obtidos evidenciaram satisfatório progresso dos alunos para ambas as turmas, sendo que 83% dos alunos da turma na qual se utilizou o mangá mostraram evidente progresso, contra 73% dos alunos da outra turma. Esses resultados estão de acordo com o esperado e demonstram que o mangá é um material potencialmente significativo, de modo que o uso dessa ferramenta deve ser encorajado por proporcionar a compreensão satisfatória do conteúdo abordado para maioria dos alunos.

Os estudantes da turma na qual foi utilizado o mangá foram convidados a preencher instrumento específico para que fosse verificada a satisfação dos mesmos com relação ao material proposto. Com esse instrumento, verificou-se que a turma ficou satisfeita com as aulas e o material utilizado, resultando em um nível geral de satisfação de 4,1 (em uma escala de 1 a 5, onde 1 indica *muito insatisfeito* e 5 *muito satisfeito*).

A partir dos resultados obtidos, esse estudo vem a sugerir o Guia Mangá de Relatividade (NITTA et al., 2011) para os professores de Física no ensino da Física Moderna. Recomenda-se que os professores que desejam incluir esse material em suas aulas utilizem mais tempo para que os alunos possam compreender ainda mais satisfatoriamente as Teorias da Relatividade abordadas no material. Sugere-se, então, que sejam dedicadas cinco ou seis aulas de dois períodos cada, sendo quatro dessas para a leitura e discussão de cada capítulo, uma para esclarecimento de dúvidas, discussões adicionais, resolução de problemas, exemplos e exercícios, e uma última aula para avaliação (podendo ser realizada posteriormente).

REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D.P.; NOVAK, J.D.; HANESIAN, H. **Educational psychology: a cognitive view**. 2. ed. Nova Iorque: Holt Rinehartand Winston, 1978.

_____. _____. **Psicologia educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio**. Brasília, 1999.

_____. _____. **Parâmetros curriculares nacionais +: ensino médio – orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais – ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília, 2002.

BRAZ, K.M.; FERNANDES, S.A. História em quadrinhos: um recurso didático para as aulas de física. **XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Vitória, jan. 2009. 6f.

BRENNAN, R.P. **Gigantes da física: uma história da física moderna através de oito biografias**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2003.

CARUSO, F.; CARVALHO, M.; SILVEIRA, M.C. Uma proposta de ensino e divulgação de ciências através de quadrinhos. **Ciência & Sociedade CBFP-CS-008/02**. Rio de Janeiro, 2002.

CARUSO, F.; OGURI, V. **Física moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

COELHO DA SILVA, A.; MONTEIRO DE ALMEIDA, M.J.P. Física quântica no ensino médio: o que dizem as pesquisas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. Florianópolis, v. 28, n. 3, p. 624-652, dez. 2011.

FERNANDA DA SILVA, L. Física moderna no ensino médio: um experimento para abordar o efeito fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. Florianópolis, v. 29, n. 2, p. 313-324, ago. 2012.

KANTOR, C.A.; PAOLIELLO JÚNIOR, L.A.; CARLOS DE MENEZES, L.; BONETTI, M.C.; CANATO JÚNIOR, O; ALVES, V.M. **Física, 3º ano: ensino médio**. Coleção quanta física. 1. ed. 1. v. São Paulo: Editora PD, 2010.

KESSLER, S. L. **O ensino da física moderna no ensino médio: necessidades e dificuldades no oeste catarinense**. 2008. 211 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática) – Faculdade de Física, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

MORAES, R. Uma tempestade de luz: a compreensão possibilitada pela análise textual discursiva. **Ciência e Educação**. Bauru, v. 9, n. 2, p. 191-211, 2003.

MOREIRA, M.A. **Aprendizagem significativa**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1999.

MORTIMER, E.F. Conceptual change or conceptual profile change? **Science & Education**. Holanda, v. 4, n. 3, p. 267-285, 1995.

NITTA, H; YAMAMOTO, M.; TAKATSU, K. **Guia mangá relatividade**. São Paulo: Novatec, 2011.

NOVAK, J.D. **Aprender a aprender**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1996.

PALHARES, M.C. História em quadrinhos: uma ferramenta pedagógica para o ensino de história. **Programa de Desenvolvimento Educacional – Secretaria de Estado de Educação**. Paraná, 2009.

PENA, F.L.A. Como trabalhar com “tirinhas”. **Física na Escola**. São Paulo, v. 4, n. 2, p. 20-21, nov. 2003.

PESSOA, A.R. **Quadrinhos na educação: uma proposta didática na educação básica**. 2006. 186 f. Dissertação (Mestrado em Artes Visuais) – Instituto de Artes, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2006.

PIETROCOLA, M. Curiosidade e imaginação. In: CARVALHO, A. M. P. (org). **Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Thomson, 2004.

RAMOS, J.E.; PIASSI, L.P. Relatividade e gravitação com Calvin e Haroldo: o humor das tiras em quadrinho no ensino de física. **III Encontro Nacional de Ensino de Ciências da Saúde e do Ambiente**. Niterói, 2012. 11f.

RIO GRANDE DO SUL, Secretaria do Estado de Educação, Departamento Pedagógico. **Referenciais curriculares do estado do Rio Grande do Sul: ciências da natureza e suas tecnologias**. Porto Alegre, 2009.

_____._____, Conselho Estadual de Educação, Comissão de Ensino Médio e Educação Superior. **Regimento escolar padrão**: parecer nº 310/2012. Porto Alegre, 2012.

ROCHA, J.F.M. (org.) **Origens e evolução das idéias da física**. Salvador: EDUFBA, 2002.

ROCHA FILHO, J.B. (org.) **Física no ensino médio: falhas e soluções**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2011.

SANT’ANNA, B.; REIS, H.C.; MARTINI, G.; SPINELLI, W. **Conexões com a física**. 1. ed. 1. v. São Paulo: Moderna, 2010.

SCHWAB, J.J. The practical 3: translation into curriculum. **School Review**. Chicago, v. 81, n. 4, p. 501-522, Aug. 1973.

TAVARES, M.B. O uso das histórias em quadrinho no contexto escolar: contribuições para o ensino/aprendizado crítico-reflexivo. **Revista Linguagem**. São Carlos, 16. ed., jun 2011. 17f.

TESTONI, L.A.; ABIB, M.L.V.S. A utilização de histórias em quadrinho no ensino de física. **IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Bauru, nov. 2003. 11f.

APÊNDICE A – Planos das aulas nas quais foi utilizado o mangá sobre Relatividade

AULA 01

Título	Caracterização e subsunçores	
Assunto	Caracterização da turma e investigação acerca dos subsunçores	
Nível	3ro. ano	Duração 50 minutos
Objetivo	Caracterizar a turma e investigar a existência dos subsunçores	
Material	Entrevista e questionário	

ATIVIDADES E PROCEDIMENTOS

Os alunos serão orientados a preencher a entrevista e o questionário de forma a iniciar pela entrevista e, após finalizarem, iniciar o questionário. A entrevista será utilizada para caracterização das turmas, enquanto o questionário será utilizado como ferramenta de investigação acerca da presença dos subsunçores nos alunos, subsunçores estes que podem vir a interagir com os novos conceitos e formar concepções mais elaboradas.

O preenchimento da entrevista, constituída por 8 questões narrativas, está previsto para durar entre 15 e 20 minutos e o questionário possui previsão de tempo para resposta de suas 5 perguntas de 20 a 25 minutos. Serão utilizados 5 minutos de orientações e os demais 5 minutos foram reservados para o caso de possíveis imprevistos.

AULA 02

Título	Instrumento avaliativo principal – primeira aplicação	
Assunto	Primeira aplicação do instrumento avaliativo principal	
Nível	3ro. ano	Duração 50 minutos
Objetivo	Analisar a construção do conhecimento dos alunos através de comparação com posterior aplicação do mesmo instrumento avaliativo	
Material	Instrumento avaliativo principal	

ATIVIDADES E PROCEDIMENTOS

Os alunos serão orientados a responder as questões presentes no instrumento avaliativo principal, em sua primeira aplicação, para posterior análise dos conhecimentos construídos pelos estudantes. O instrumento avaliativo principal é constituído por 5 questões de múltipla escolha (frente), cada uma com tempo estimado de 3 minutos para resposta; 1 questão dissertativa, com tempo estimado de 10 minutos para resposta; e 1 questão de verificação de afirmativas, estimada para ser respondida em 15 minutos. O tempo total de aplicação do instrumento avaliativo principal é de 40 minutos. Considera-se ainda o tempo de 5 minutos de orientações e os demais 5 minutos foram reservados para o caso de possíveis imprevistos.

AULA 03

Título	Introdução		
Assunto	Introdução ao mangá		
Nível	3ro. ano	Duração	50 minutos
Objetivo	Introduzir a turma ao material e ao tema		
Material	Prólogo do mangá (7 páginas)		

ATIVIDADES E PROCEDIMENTOS

Introduzir a turma ao material através da leitura do prólogo do mangá e breve discussão sobre o tema.

AULA 04

Título	Capítulo 1		
Assunto	Teoria da Relatividade Especial		
Nível	3ro. ano	Duração	50 minutos
Objetivo	Discutir a relatividade de um modo geral, incluindo as teorias da relatividade galileana e einsteiniana		
Material	Capítulo 1 do mangá (30 páginas)		

ATIVIDADES E PROCEDIMENTOS

Leitura do primeiro capítulo do mangá seguido de discussão sobre os temas abordados, finalizando com: propriedades da luz; transformações galileanas; e as diferenças entre as relatividades de Galileu e Einstein. A leitura do primeiro capítulo será realizada em aproximadamente 30 minutos.

AVALIAÇÃO

Como atividade a ser entregue na aula seguinte, os alunos devem construir em grupo de 3 alunos um breve resumo sobre parte da vida de Albert Einstein, períodos escolhidos pelos grupos e distribuídos em aula. Os resumos serão apresentados para a turma na aula seguinte para discussão e conhecimento dos principais acontecimentos da vida de Einstein.

AULA 05

Título	Capítulo 2		
Assunto	Teoria da Relatividade Especial – dilatação do tempo		
Nível	3ro. ano	Duração	50 minutos
Objetivo	Discutir a dilatação do tempo e trabalhar com problemas		
Material	Capítulo 2 do mangá (26 páginas)		

ATIVIDADES E PROCEDIMENTOS

Leitura do segundo capítulo do mangá seguido de discussão sobre a dilatação do tempo, finalizando com demonstrações matemáticas e problemas. A leitura do segundo capítulo será realizada em aproximadamente 30 minutos.

AVALIAÇÃO

Vide avaliação da aula 06.

AULA 06

Título	Capítulo 3
Assunto	Teoria da Relatividade Especial – contração do espaço e relação massa-energia
Nível	3ro. ano Duração 50 minutos
Objetivo	Discutir a contração do espaço e trabalhar com problemas
Material	Capítulo 3 do mangá (22 páginas)

ATIVIDADES E PROCEDIMENTOS

Leitura do terceiro capítulo do mangá seguido de discussão sobre: contração do espaço; o exemplo dos múons; relação massa-energia; o momentum da luz; finalizando com demonstrações matemáticas e problemas. A leitura do terceiro capítulo será realizada em aproximadamente 30 minutos.

AVALIAÇÃO

Os alunos serão orientados a ler um texto sobre as influências teóricas de Einstein para o desenvolvimento de suas teorias e sobre o experimento de Michelson e Morley, para posterior interpretação do texto. As interpretações serão entregues na aula seguinte.

AULA 07

Título	Exercícios
Assunto	Teoria da Relatividade Especial
Nível	3ro. ano Duração 50 minutos
Objetivo	Resolver e discutir problemas e exercícios sobre a Teoria da Relatividade Especial.
Material	-

ATIVIDADES E PROCEDIMENTOS

Resolução de problemas e exercícios sobre a Teoria da Relatividade Especial (dilatação do tempo, contração do espaço e relação massa-energia). Esclarecimento de dúvidas.

AULA 08

Título	Capítulo 4
Assunto	Teorias da Relatividade Geral
Nível	3ro. ano Duração 50 minutos
Objetivo	Discutir a Teoria da Relatividade Geral e trabalhar com exemplos e problemas
Material	Capítulo 4 do mangá (42 páginas)

ATIVIDADES E PROCEDIMENTOS

Leitura do quarto capítulo do mangá seguido de discussão sobre: relação do tempo com o potencial gravitacional; exemplificação com a lente gravitacional, os buracos negros e a precessão anômala de Mercúrio; finalizando com demonstrações matemáticas e problemas. A leitura do quarto capítulo será realizada em aproximadamente 40 minutos.

AULA 09

Título	Finalização
Assunto	Teorias da Relatividade Especial e Geral
Nível	3ro. ano Duração 50 minutos
Objetivo	Finalizar o mangá, esclarecimento de dúvidas e revisão dos assuntos abordados nas aulas anteriores
Material	Epílogo do mangá

ATIVIDADES E PROCEDIMENTOS

Com esta aula se finaliza o mangá (epílogo), revisa as teorias abordadas, discute os problemas teóricos e matemáticos, esclarece as dúvidas dos alunos e resolve exercícios.

AULA 10

Título	Instrumento avaliativo principal – segunda aplicação
Assunto	Segunda aplicação do instrumento avaliativo principal
Nível	3ro. ano Duração 50 minutos
Objetivo	Analisar a construção do conhecimento dos alunos através de comparação com a primeira aplicação do mesmo instrumento avaliativo
Material	Instrumento avaliativo principal

ATIVIDADES E PROCEDIMENTOS

Os alunos serão orientados a responder as questões presentes no instrumento avaliativo principal, em sua segunda aplicação, para posterior análise dos conhecimentos construídos pelos estudantes. O instrumento avaliativo principal é constituído por 5 questões de múltipla escolha (frente), cada uma com tempo estimado de 3 minutos para resposta; 1 questão dissertativa, com tempo estimado de 10 minutos para resposta; e 1 questão de verificação de afirmativas, estimada para ser respondida em 15 minutos. O tempo total de aplicação do instrumento avaliativo principal é de 40 minutos. Considera-se ainda o tempo de 5 minutos de orientações e os demais 5 minutos foram reservados para o caso de possíveis imprevistos.

AULA 11

Título	Encerramento
Assunto	Encerramento e avaliação das aulas
Nível	3ro. ano
Duração	50 minutos
Objetivo	Avaliar as aulas ministradas e encerrar as atividades com a turma
Material	Instrumento avaliativo das aulas

ATIVIDADES E PROCEDIMENTOS

Finalizando o período de aulas sobre relatividade, os alunos são convidados a participarem da avaliação das aulas, bem como dos materiais e métodos utilizados, através do preenchimento do instrumento de concordância e satisfação.

BIBLIOGRAFIA

BRENNAN, R.P. **Gigantes da física**: uma história da física moderna através de oito biografias. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2003.

CARUSO, F.; OGURI, V. **Física moderna**: origens clássicas e fundamentos quânticos. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

NITTA, H; YAMAMOTO, M.; TAKATSU, K. **Guia mangá relatividade**. São Paulo: Novatec, 2011.

ROCHA, J.F.M. (org.) **Origens e evolução das idéias da física**. Salvador: EDUFBA, 2002.

SANT'ANNA, B.; REIS, H.C.; MARTINI, G.; SPINELLI, W. **Conexões com a física**. 1. ed. 1. v. São Paulo: Moderna, 2010.

APÊNDICE B – Planos das aulas tradicionais

AULA 01

Título	Caracterização e subsunçores		
Assunto	Caracterização da turma e investigação acerca dos subsunçores		
Nível	3ro. ano	Duração	50 minutos
Objetivo	Caracterizar a turma e investigar a existência dos subsunçores		
Material	Entrevista e questionário		

ATIVIDADES E PROCEDIMENTOS

Os alunos serão orientados a preencher a entrevista e o questionário de forma a iniciar pela entrevista e, após finalizarem, iniciar o questionário. A entrevista será utilizada para caracterização das turmas, enquanto o questionário será utilizado como ferramenta de investigação acerca da presença dos subsunçores nos alunos, subsunçores estes que podem vir a interagir com os novos conceitos e formar concepções mais elaboradas.

O preenchimento da entrevista, constituída por 8 questões narrativas, está previsto para durar entre 15 e 20 minutos e o questionário possui previsão de tempo para resposta de suas 5 perguntas de 20 a 25 minutos. Serão utilizados 5 minutos de orientações e os demais 5 minutos foram reservados para o caso de possíveis imprevistos.

AULA 02

Título	Instrumento avaliativo principal – primeira aplicação		
Assunto	Primeira aplicação do instrumento avaliativo principal		
Nível	3ro. ano	Duração	50 minutos
Objetivo	Analisar a construção do conhecimento dos alunos através de comparação com posterior aplicação do mesmo instrumento avaliativo		
Material	Instrumento avaliativo principal		

ATIVIDADES E PROCEDIMENTOS

Os alunos serão orientados a responder as questões presentes no instrumento avaliativo principal, em sua primeira aplicação, para posterior análise dos conhecimentos construídos pelos estudantes. O instrumento avaliativo principal é constituído por 5 questões de múltipla escolha (frente), cada uma com tempo estimado de 3 minutos para resposta; 1 questão dissertativa, com tempo estimado de 10 minutos para resposta; e 1 questão de verificação de afirmativas, estimada para ser respondida em 15 minutos. O tempo total de aplicação do instrumento avaliativo principal é de 40 minutos.

Considera-se ainda o tempo de 5 minutos de orientações e os demais 5 minutos foram reservados para o caso de possíveis imprevistos.

AULA 03

Título	Introdução 1		
Assunto	Relatividade Galileana		
Nível	3ro. ano	Duração	50 minutos
Objetivo	Discutir a teoria da relatividade galileana		
Material	Resumo (Apêndice C)		

ATIVIDADES E PROCEDIMENTOS

Introdução ao tema e discussão sobre a Relatividade Galileana, de acordo com o resumo que consta no Apêndice C.

AULA 04

Título	Introdução 2		
Assunto	Teoria da Relatividade Especial		
Nível	3ro. ano	Duração	50 minutos
Objetivo	Discutir a Teoria da Relatividade Especial e realizar comparações com a relatividade galileana		
Material	Resumo (Apêndice C)		

ATIVIDADES E PROCEDIMENTOS

Introdução e discussão da Teoria da Relatividade Especial, de acordo com o resumo que consta no Apêndice C.

AVALIAÇÃO

Como atividade a ser entregue na aula seguinte, os alunos devem construir em grupo de 3 alunos um breve resumo sobre parte da vida de Albert Einstein, períodos escolhidos pelos grupos e distribuídos em aula. Os resumos serão apresentados para a turma na aula seguinte para discussão e conhecimento dos principais acontecimentos da vida de Einstein.

AULA 05

Título	Dilatação do tempo		
Assunto	Teoria da Relatividade Especial – dilatação do tempo		
Nível	3ro. ano	Duração	50 minutos
Objetivo	Discutir, exemplificar e problematizar a dilatação do tempo; Realizar demonstrações matemáticas		
Material	Resumo (Apêndice C)		

ATIVIDADES E PROCEDIMENTOS

Abordagem e discussão da dilatação do tempo, de acordo com o resumo que consta no Apêndice C, finalizando com demonstrações matemáticas e problemas.

AVALIAÇÃO

Vide avaliação da aula 06.

AULA 06

Título	Contração do espaço		
Assunto	Teoria da Relatividade Especial – contração do espaço e relação massa-energia		
Nível	3ro. ano	Duração	50 minutos
Objetivo	Discutir, exemplificar e problematizar a contração do espaço; Realizar demonstrações matemáticas		
Material	Resumo (Apêndice C)		

ATIVIDADES E PROCEDIMENTOS

Abordagem e discussão sobre: contração do espaço; o exemplo dos múons; relação massa-energia; o momentum da luz; finalizando com demonstrações matemáticas e problemas, de acordo com o resumo que consta no Apêndice C.

AVALIAÇÃO

Os alunos serão orientados a ler um texto sobre as influências teóricas de Einstein para o desenvolvimento de suas teorias e sobre o experimento de Michelson e Morley, para posterior interpretação do texto. As interpretações serão entregues na aula seguinte.

AULA 07

Título	Exercícios		
Assunto	Teoria da Relatividade Especial		
Nível	3ro. ano	Duração	50 minutos
Objetivo	Resolver e discutir problemas e exercícios sobre a Teoria da Relatividade Especial.		
Material	Resumo (Apêndice C)		

ATIVIDADES E PROCEDIMENTOS

Resolução de problemas e exercícios sobre a Teoria da Relatividade Especial (dilatação do tempo, contração do espaço e relação massa-energia). Esclarecimento de dúvidas.

AULA 08

Título	Teoria da Relatividade Geral		
Assunto	Teoria da Relatividade Geral		
Nível	3ro. ano	Duração	50 minutos
Objetivo	Discutir, exemplificar e problematizar a Teoria da Relatividade Geral; Realizar demonstrações matemáticas		
Material	Resumo (Apêndice C)		

ATIVIDADES E PROCEDIMENTOS

Abordagem e discussão da Teoria da Relatividade Geral e sobre: relação do tempo com o potencial gravitacional; exemplificação com a lente gravitacional, os buracos negros e

a precessão anômala de Mercúrio; finalizando com demonstrações matemáticas e problemas, de acordo com o resumo que consta no Apêndice C.

AULA 09

Título	Finalização
Assunto	Teorias da Relatividade Especial e Geral
Nível	3ro. ano Duração 50 minutos
Objetivo	Esclarecer dúvidas sobre as teorias e revisar os conteúdos abordados
Material	Resumo (Apêndice C)

ATIVIDADES E PROCEDIMENTOS

Finalizando as aulas sobre as Teorias da Relatividade, nesta aula serão revisadas as teorias abordadas, discutidos os problemas teóricos e matemáticos, esclarecidas as dúvidas dos alunos e resolvidos exercícios.

AULA 10

Título	Instrumento avaliativo principal – segunda aplicação
Assunto	Segunda aplicação do instrumento avaliativo principal
Nível	3ro. ano Duração 50 minutos
Objetivo	Analisar a construção do conhecimento dos alunos através de comparação com a primeira aplicação do mesmo instrumento avaliativo
Material	Instrumento avaliativo principal

ATIVIDADES E PROCEDIMENTOS

Os alunos serão orientados a responder as questões presentes no instrumento avaliativo principal, em sua segunda aplicação, para posterior análise dos conhecimentos construídos pelos estudantes. O instrumento avaliativo principal é constituído por 5 questões de múltipla escolha (frente), cada uma com tempo estimado de 3 minutos para resposta; 1 questão dissertativa, com tempo estimado de 10 minutos para resposta; e 1 questão de verificação de afirmativas, estimada para ser respondida em 15 minutos. O tempo total de aplicação do instrumento avaliativo principal é de 40 minutos. Considera-se ainda o tempo de 5 minutos de orientações e os demais 5 minutos foram reservados para o caso de possíveis imprevistos.

BIBLIOGRAFIA

BRENNAN, R.P. **Gigantes da física**: uma história da física moderna através de oito biografias. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2003.

CARUSO, F.; OGURI, V. **Física moderna**: origens clássicas e fundamentos quânticos. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

NITTA, H; YAMAMOTO, M.; TAKATSU, K. **Guia mangá relatividade**. São Paulo: Novatec, 2011.

ROCHA, J.F.M. (org.) **Origens e evolução das idéias da física**. Salvador: EDUFBA, 2002.

SANT'ANNA, B.; REIS, H.C.; MARTINI, G.; SPINELLI, W. **Conexões com a física**. 1. ed. 1. v. São Paulo: Moderna, 2010.

APÊNDICE C – Resumo para a turma na qual se utilizou o método tradicional de ensino¹²

RELATIVIDADE

O princípio da relatividade foi introduzido na ciência moderna por Galileu Galilei (1564-1642), em 1632, em diálogo “*Dialogo sui duemassimisistemidel mondo*”, no qual estabelece que a descrição de um movimento deve ser feita utilizando uma classe especial de observadores chamados de referenciais inerciais. Galileu Galilei dedicou-se ao estudo e reflexão nos campos da Física, Matemática, Astronomia e Filosofia. Revolucionou a forma de conhecer a natureza, propondo que fossem utilizadas medidas para estudar os fenômenos.

Esse princípio de movimentos relativos é básico na mecânica, isto é, um objeto pode estar em movimento em relação a um referencial e parado em relação a outro. A caracterização do estado de movimento de um objeto é, portanto, sempre dependente de um referencial.

VEJAMOS AGORA UM EXEMPLO:

Um homem parado na estação de trem acompanha um trem passar com velocidade constante de 20 m/s. Ora, tanto o homem está parado quanto o trem está em movimento em relação à estação de trem.

Dentro do trem uma mulher parada olha para a janela o homem parado, na estação de trem, que está em movimento. Como? Isso mesmo. Vejamos mais detalhadamente:

- A mulher está parada em relação ao trem;
- Para a mulher, o trem está parado e o mundo ao redor está se movendo em sua direção;
- Portanto, tanto o homem quanto a estação de trem estão em movimento em relação ao trem!

E para o homem? Vejamos:

- O homem está parado em relação à estação de trem;
- Para o homem, a estação de trem está parada e o trem se move;
- Portanto, a mulher está em movimento em relação à estação de trem!

Podemos concluir que **o homem, parado, está em movimento!** Ou seja, que movimentos são **RELATIVOS!**

¹²Os exemplos e problemas também foram utilizados com a turma na qual se utilizou o mangá.

VEJAMOS OUTRO EXEMPLO:

Para o mesmo caso do exemplo anterior, a filha da mulher dentro do trem começa a correr com velocidade constante em direção à frente do trem. Nesse caso, para a mulher sua filha corre com velocidade de 5 m/s. Lembrando que o trem viaja com velocidade de 20 m/s, qual a velocidade da menina para o homem na estação de trem?

$$v_{mh} = v_{th} + v_{mm}$$

onde:

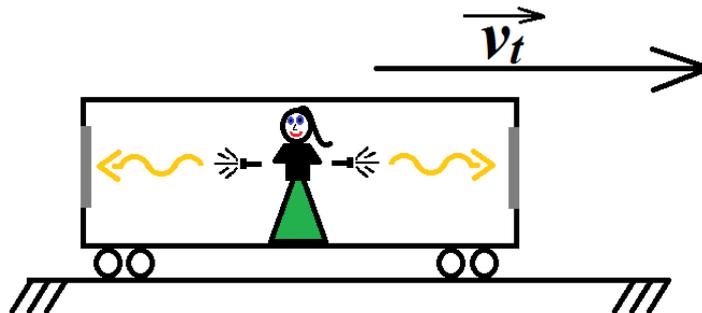
- v_{mh} é a velocidade da menina para o homem;
- v_{th} é a velocidade do trem para o homem;
- v_{mm} é a velocidade da menina para a mulher.

$$v_{mh} = 20 \frac{m}{s} + 5 \frac{m}{s} = 25 \frac{m}{s}$$

A RELATIVIDADE DE GALILEU VALE PARA TUDO?

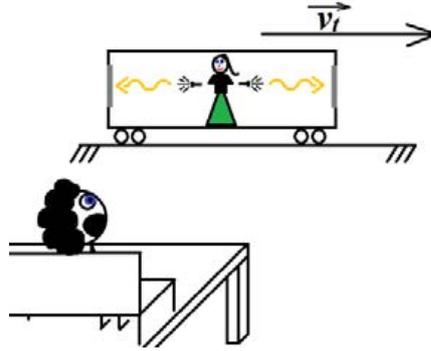
VEJAMOS OUTRO CASO NO MESMO EXEMPLO ANTERIOR:

A mulher dentro do trem acende duas lanternas, uma apontando para um detector de luz na frente do trem e outra para o detector de luz posicionado na parte de trás do trem, como na figura:



Supondo que a mulher esteja no meio do vagão, ela observará a luz chegar na frente do vagão ao mesmo tempo que a luz chegar na parte de trás do vagão, uma vez que a velocidade da luz é constante. Correto? Sim!

Agora suponhamos que o homem na estação de trem esteja observando essa situação, como na figura:



Pela relatividade Galileana, o homem deveria ver a luz chegar à parte de trás primeiro! Mas como que a mulher observa a luz chegar ao mesmo tempo nas extremidades e o homem não? Esse é um caso que sugere uma revisão do conceito da relatividade!

TEORIA DA RELATIVIDADE ESPECIAL

Em 1905, Albert Einstein propõe a Teoria da Relatividade Especial: **se a velocidade da luz é absoluta, tempo e espaço são relativos**. Assim, tempo e espaço, considerados absolutos na mecânica newtoniana, passam a ser considerados relativos na mecânica einsteiniana, que tem por premissa dois postulados:

1. As leis da Física são as mesmas em todos os referenciais inerciais;
2. A velocidade da luz apresenta sempre o mesmo valor, independente do referencial inercial adotado.

Okay... Certo... Espera! O quê? Saudades daquilo que faz sentido!

Calma! Vamos por partes!

UMA INTRODUÇÃO

Como perceberíamos um raio de luz se pudéssemos acompanhá-lo na mesma velocidade? Como seria minha imagem em um espelho caso eu me afastasse desse espelho com a velocidade da luz? Eu veria minha imagem nesse espelho? Como eu veria as horas em um relógio caso eu me afastasse desse relógio com uma velocidade próxima a da luz?

Albert Einstein fez a si mesmo perguntas como estas ainda na adolescência e as questões permaneceram em suas reflexões durante muitos anos. Quando conseguiu respondê-las, Einstein era um jovem físico. A resposta veio publicada em um artigo em 1905. O artigo continha as bases da teoria que estremeceria os alicerces até então sólidos e inquestionáveis

da consagrada mecânica newtoniana. A partir daí, conceitos como espaço e tempo nunca mais seriam interpretados da mesma forma. Essa revolução na mecânica afetou também outras grandezas, como massa e energia.

PODERIA A LUZ ESTAR PARADA?

Segundo a mecânica newtoniana, um raio de luz estaria parado em relação a um objeto que se movesse ao seu lado com a mesma velocidade, da mesma forma que dois carros movimentam-se lado a lado com a mesma velocidade em uma autoestrada estariam parados um em relação ao outro. Einstein, no entanto, cogitou que, se a luz é uma onda eletromagnética, e como tal se caracteriza por variações de campos elétricos e magnéticos, não poderia existir um pulso de luz parado, já que esses campos estariam sempre variando.

A conclusão de Einstein foi inesperada do ponto de vista da Física Clássica: um raio de luz nunca pode estar parado em relação a um objeto, mesmo que este se mova com a velocidade da luz. Portanto, se você tentasse alcançar um raio de luz, por maior que fosse sua velocidade (porém sem atingir a velocidade da luz), ele ainda estaria se afastando de você – e o que é ainda mais surpreendente: **estaria se afastando com a velocidade da luz.**

RELATIVIDADE DA SIMULTANEIDADE

Na Teoria da Relatividade, ao considerar que a velocidade da luz é constante, fenômenos passam a parecer estranhos. Um exemplo é a Relatividade da Simultaneidade, que diz que o que é simultâneo para um observador pode não ser simultâneo para outros observadores.

PROBLEMAS E EXERCÍCIOS

1) (UEG-GO) Antes mesmo de ter uma ideia mais correta do que é a luz, o homem percebeu que ela era capaz de percorrer muito depressa enormes distâncias. Tão depressa que levou Aristóteles – famoso pensador grego que viveu no século IV a.C. e cujas obras influenciaram todo o mundo ocidental até a Renascença – a admitir que a velocidade da luz seria infinita.

Hoje se sabe que a luz tem velocidade de aproximadamente 300.000 km/s, que é uma velocidade muito grande, porém finita. A teoria moderna que admite a velocidade da luz constante em qualquer referencial e, portanto, torna elásticas as dimensões do espaço e do tempo é:

- (a) a teoria da relatividade. (b) a teoria da dualidade onda-partícula.
 (c) a teoria atômica de Bohr. (d) o princípio de Heisenberg. (e) a lei da entropia.

2) (CFT-CE) Em 2005, Ano Mundial da Física, comemora-se o centenário da Teoria da Relatividade de Albert Einstein. Entre outras consequências esta teoria poria fim à ideia do éter, meio material necessário, semelhantemente ao som, através do qual a luz se propagava. O jargão popular “tudo é relativo” certamente não se deve a ele, pois seus postulados estão fundamentados em algo absoluto: a velocidade da luz no vácuo – 300.000 km/s. Hoje sabe-se que:

- I. O som propaga-se no vácuo.
 II. A luz propaga-se no vácuo.
 III. A velocidade da luz no vácuo é a velocidade limite do universo.

É(são) verdadeira(s):

- (a) todas (b) nenhuma (c) somente II (d) II e III (e) somente III

3) (UEL-PR) A teoria da Relatividade Restrita, proposta por Albert Einstein (1879 – 1955) em 1905, é revolucionária porque mudou as ideias sobre o espaço e o tempo, mas em perfeito acordo com os resultados experimentais. Ela é aplicada, entretanto, somente a referenciais inerciais. Em 1915, Einstein propôs a Teoria Geral da Relatividade, válida não só para referenciais inerciais, mas também para referenciais não inerciais.

Sobre os referenciais inerciais, considere as seguintes afirmativas:

- I. São referenciais que se movem, uns em relação aos outros, com velocidade constante.
 II. São referenciais que se movem, uns em relação aos outros, com velocidade variável.
 III. Observadores em referenciais inerciais diferentes medem a mesma aceleração para o movimento de uma partícula.

Assinale a alternativa correta:

- (a) Apenas a afirmativa I é verdadeira. (b) Apenas a afirmativas II é verdadeira.
 (c) As afirmativas I e II são verdadeiras. (d) As afirmativas II e III são verdadeiras.
 (e) As afirmativas I e III são verdadeiras.

4) (UFMG/2004) Observe esta figura:



Paulo Sérgio, viajando em sua nave, aproxima-se de uma plataforma espacial, com velocidade de $0,7c$, em que c é a velocidade da luz. Para se comunicar com Paulo Sérgio, Priscila, que está na plataforma, envia um pulso luminoso em direção à nave. Com base nessas informações, é correto afirmar que a velocidade do pulso medida por Paulo Sérgio é de:

- (a) $0,7c$. (b) $1,0c$. (c) $0,3c$. (d) $1,7c$.

5) (UEG-GO-010) Qual das afirmações a seguir é correta para a teoria da relatividade de Einstein?

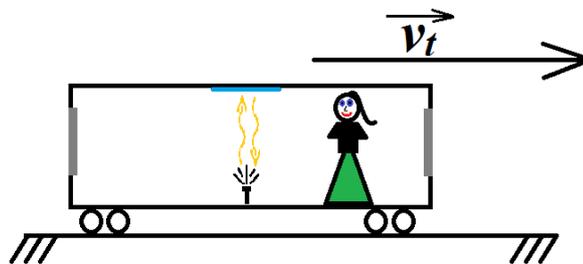
- (a) No vácuo, a velocidade da luz depende do movimento da fonte de luz e tem igual valor em todas as direções.
 (b) Elétrons são expulsos de uma superfície quando ocorre a incidência de uma radiação eletromagnética (luz).
 (c) Em determinados fenômenos, a luz apresenta natureza de partícula e, em outros, natureza ondulatória.
 (d) Na natureza, não podem ocorrer interações de velocidades superiores à velocidade da luz c .

Respostas: 1) (a), 2) (d), 3) (e), 4) (b), 5) (d)

TEORIA DA RELATIVIDADE ESPECIAL: DILATAÇÃO DO TEMPO

Os conceitos de espaço e tempo, antes grandezas absolutas na Física Clássica, com a Teoria da Relatividade Especial precisaram ser revistos. Mas de que forma transcorre o tempo na Teoria da Relatividade? Para responder a essa pergunta, vamos analisar o experimento mental proposto por Einstein:

Um observador, dentro de um trem em movimento, constrói um “relógio de luz”. Esse aparato funciona da seguinte forma: uma fonte de luz, como uma lanterna, localiza-se no chão do trem, enquanto um espelho é posicionado no teto. Quando um sinal luminoso emitido pela fonte chega até o espelho é refletido e retorna ao chão, sendo detectado, como pode ser observado na figura.



Portanto, para o observador de dentro do trem o tempo é dado por:

$$\Delta t_{\text{viajando}} = \frac{2h}{c} \quad \text{logo: } h = \frac{c \times \Delta t_{\text{viajando}}}{2}$$

onde h é a altura do trem e c a velocidade da luz. Mas de onde saiu essa equação??? Bom, velocidade média pode ser calculada pela variação do espaço dividida pelo intervalo de tempo:

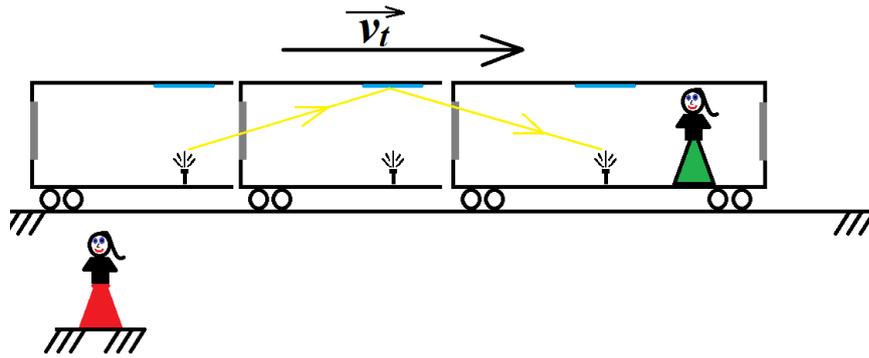
$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

e para o nosso caso, a velocidade é a velocidade da luz e a variação do espaço é igual à ida e volta da luz ao teto do trem, portanto o dobro da altura do trem h . Dessa forma a equação fica:

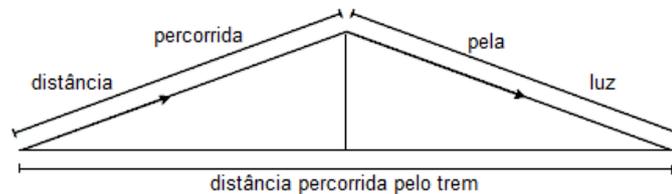
$$c = \frac{2h}{\Delta t}$$

finalmente o intervalo de tempo (que nós chamamos de “intervalo de tempo para quem está viajando”) e a velocidade da luz trocam de lado na igualdade, resultando na equação que nos diz quanto tempo leva para a luz ir e voltar quando observada de dentro do trem.

Agora consideremos o mesmo experimento, porém observado de fora do trem:



Nesse caso o trajeto da luz visto por um observador de fora do trem é diferente. Mas como saberíamos, então, como passa o tempo para quem não está viajando dentro do trem? Consideremos a figura:

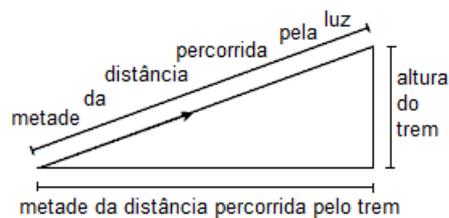


Analisando a figura e utilizando o que sabemos, podemos concluir, primeiramente, que a distância percorrida pelo trem é dada por:

$$\Delta x_{trem} = v_t \times \Delta t_{observador}$$

onde v_t é a velocidade do trem e $\Delta t_{observador}$ o intervalo de tempo medido pelo observador fora do trem.

Agora consideremos metade da figura (um triângulo retângulo):



onde já sabemos que a altura do trem é h e a metade da distância percorrida pelo trem é

$$\frac{\Delta x_{trem}}{2} = \frac{v_t \times \Delta t_{observador}}{2}$$

A distância percorrida pela luz pode ser obtida da equação da velocidade vista anteriormente, da mesma forma que obtemos a equação da distância percorrida pelo trem. Mas para o triângulo, precisamos apenas da metade da distância percorrida pela luz:

$$\Delta x_{luz} = c \times \Delta t_{observador} \rightarrow \frac{\Delta x_{luz}}{2} = \frac{c \times \Delta t_{observador}}{2}$$

Sabemos que, para um triângulo retângulo, o quadrado da hipotenusa é igual à soma dos quadrados dos catetos. DICA: Para facilitar, vamos considerar $\Delta t_{observador} = \Delta t_{obs}$, $\Delta t_{viajando} = \Delta t_{via}$ e $v_t = v$. A seguir se encontra a dedução da equação.

$$(h)^2 + \left(\frac{v \cdot \Delta t_{obs}}{2}\right)^2 = \left(\frac{c \cdot \Delta t_{obs}}{2}\right)^2 \rightarrow \left(\frac{c \cdot \Delta t_{via}}{2}\right)^2 + \left(\frac{v \cdot \Delta t_{obs}}{2}\right)^2 = \left(\frac{c \cdot \Delta t_{obs}}{2}\right)^2$$

$$\frac{c^2 \cdot \Delta t_{via}^2}{4} + \frac{v^2 \cdot \Delta t_{obs}^2}{4} = \frac{c^2 \cdot \Delta t_{obs}^2}{4}$$

$$c^2 \cdot \Delta t_{via}^2 + v^2 \cdot \Delta t_{obs}^2 = c^2 \cdot \Delta t_{obs}^2$$

$$c^2 \cdot \Delta t_{via}^2 = c^2 \cdot \Delta t_{obs}^2 - v^2 \cdot \Delta t_{obs}^2$$

$$c^2 \cdot \Delta t_{via}^2 = \Delta t_{obs}^2 (c^2 - v^2)$$

$$\Delta t_{via}^2 = \Delta t_{obs}^2 \left(\frac{c^2 - v^2}{c^2}\right)$$

$$\sqrt{\Delta t_{via}^2} = \sqrt{\Delta t_{obs}^2 \left(\frac{c^2 - v^2}{c^2}\right)}$$

$$\Delta t_{via} = \Delta t_{obs} \sqrt{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}$$

Portanto o tempo transcorre, para o viajante do trem, de acordo com a equação:

$$\Delta t_{via} = \Delta t_{obs} \sqrt{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}$$

Por conseguinte o tempo transcorre, para o observador fora do trem, de acordo com a equação:

$$\Delta t_{obs} = \frac{\Delta t_{via}}{\sqrt{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}}$$

A partir dessa equação, a seguinte conclusão pode ser feita: *o tempo, para um objeto em movimento Δt_{via} , transcorre **MAIS LENTAMENTE** do que o tempo de quem observa.*

Exemplo) Propôs-se que se embarcasse em uma nave espacial capaz de atingir velocidades próximas à velocidade da luz. Embarcaram nessa nave alunos de uma turma de estudantes do terceiro ano do Ensino Médio com um professor de Física. A diretora da escola onde estudam esses alunos orienta apenas que os estudantes devam estar de volta em 30 dias. A viagem inicia e o professor de Física conversa com seus alunos e concluem juntos que o tempo total de viagem, para eles, não será de 30 dias. O professor verifica que a nave está viajando com uma velocidade de $0,8c$, isto é, 80 % do valor da velocidade da luz (aproximadamente 240.000 km/s). O cálculo seguinte é realizado com os alunos:

$$t' = t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

onde t' é o tempo que se passa para os viajantes na nave; t é o tempo que se passa no planeta Terra (o referencial inercial); v é a velocidade que os viajantes possuem; e c é a constante cujo valor representa o valor da velocidade da luz no vácuo.

Substituindo o valor da velocidade da nave espacial, obtém-se:

$$t' = t \sqrt{1 - \frac{(0,8c)^2}{c^2}} = t \sqrt{1 - \frac{(0,8)^2 c^2}{c^2}} = t \sqrt{1 - 0,8^2}$$

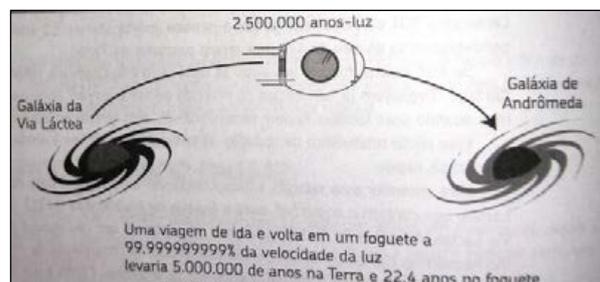
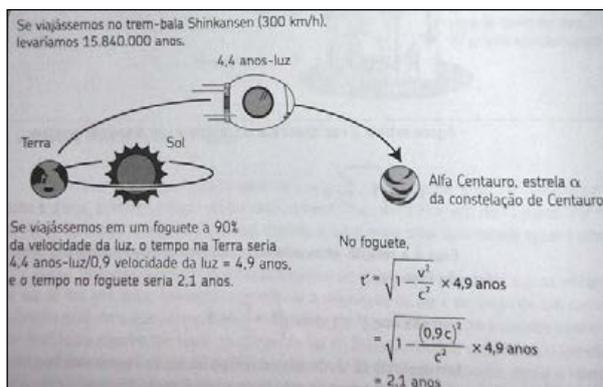
$$t' = t \times 0,6$$

Com isso o professor explica aos seus alunos que o tempo será 60 % menor para eles, viajando nessa alta velocidade. Substituindo os 30 dias nos quais eles devem retornar para a escola, eles verificam que, para eles, passarão apenas 18 dias, ou seja, 432 horas, como mostra:

$$t' = 30 \times 0,6 = 18 \text{ dias} = 432 \text{ horas}$$

Enfim os viajantes concluem que viverão 18 dias, ou seja, 432 horas de Relatividade.

OUTROS EXEMPLOS



PROBLEMAS E EXERCÍCIOS

O PARADOXO DOS GÊMEOS

Em uma cidade existem dois irmãos gêmeos com diferentes sonhos: um deseja ser um dedicado professor, enquanto o outro sonha em ser um experiente astronauta. Supondo que ambos gêmeos realizassem seus sonhos e o segundo viajasse em uma nave espacial com velocidade muito alta, retornando após alguns anos! Lembrando o que acabamos de abordar sobre a dilatação do tempo, pense no caso e reflita sobre (a) como estarão os gêmeos? (b) ambos continuarão possuindo a mesma idade? (c) como o tempo passou para cada um dos irmãos?

1) (UFMG-MG) Suponha que, no futuro, uma base avançada seja construída em Marte. Suponha, também, que uma nave espacial está viajando em direção a Terra, com velocidade constante igual à metade da velocidade da luz. Quando essa nave passa por Marte, dois sinais de rádio são emitidos em direção à Terra - um pela base e outro pela nave. Ambos são refletidos pela Terra e, posteriormente, detectados na base em Marte.

Sejam t_B e t_n os intervalos de tempo total de viagem dos sinais emitidos, respectivamente, pela base e pela nave, desde a emissão até a detecção de cada um deles pela base em Marte.

Considerando-se essas informações, é CORRETO afirmar que:

- (a) $t_n = (1/2) t_B$ (b) $t_n = (2/3) t_B$ (c) $t_n = (5/6) t_B$ (d) $t_n = t_B$

2) (UFRN-RN) A teoria da Relatividade Especial prediz que existem situações nas quais dois eventos que acontecem em instantes diferentes, para um observador em um dado referencial inercial, podem acontecer no mesmo instante, para outro observador que está em outro referencial inercial. Ou seja, a noção de simultaneidade é relativa e não absoluta. A relatividade da simultaneidade é consequência do fato de que:

- (a) a teoria da Relatividade Especial só é válida para velocidades pequenas em comparação com a velocidade da luz.
- (b) a velocidade de propagação da luz no vácuo depende do sistema de referência inercial em relação ao qual ela é medida.
- (c) a teoria da Relatividade Especial não é válida para sistemas de referência inerciais.
- (d) a velocidade de propagação da luz no vácuo não depende do sistema de referência inercial em relação ao qual ela é medida.

3) (UFPE-PE) Um astronauta é colocado a bordo de uma espaçonave e enviado para uma estação espacial a uma velocidade constante $v = 0,8c$, onde c é a velocidade da luz no vácuo. No referencial da espaçonave, o tempo transcorrido entre o lançamento e a chegada na estação espacial foi de 12 meses. Qual o tempo transcorrido no referencial da Terra, em meses?

4) (UEPB-PB) A relatividade proposta por Galileu e Newton na Física Clássica é reinterpretada pela Teoria da Relatividade Restrita, proposta por Albert Einstein (1879-1955) em 1905, que é revolucionária porque mudou as ideias sobre o espaço e o tempo, uma vez que a anterior era aplicada somente a referenciais inerciais. Em 1915, Einstein propôs a Teoria Geral da Relatividade válida para todos os referenciais (inerciais e não inerciais).

Ainda acerca do assunto tratado no texto, resolva a seguinte situação-problema: Considere uma situação “fictícia”, que se configura como uma exemplificação da relatividade do tempo. Um grupo de astronautas decide viajar numa nave espacial, ficando em missão durante seis anos, medidos no relógio da nave.

Quando retornam a Terra, verifica-se que aqui se passaram alguns anos. Considerando que c é a velocidade da luz no vácuo e que a velocidade média da nave é $0,8c$, é correto afirmar que, ao retornarem a Terra, se passaram:

- (a) 20 anos (b) 10 anos (c) 30 anos (d) 12 anos (e) 6 anos

5) (UFG-GO) Segundo a Teoria da Relatividade Restrita de Albert Einstein, o tempo transcorre de maneira diferente para observadores com velocidades diferentes. Isso significa que, para um observador em um referencial fixo, transcorre um intervalo de tempo Δt entre dois eventos, enquanto para um observador em um referencial que viaja com uma velocidade constante v , em relação ao referencial anterior, o intervalo de tempo entre os mesmos eventos será $\Delta t'$. Os dois intervalos de tempo estão relacionados por

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

que representa uma dilatação temporal. Nesta expressão, c é a velocidade da luz no vácuo. Com esta teoria surge o paradoxo dos gêmeos: para o piloto de uma espaçonave que realizou uma viagem espacial, com uma velocidade constante de $0,8c$, transcorreram 18 anos até o seu retorno à Terra. Para o gêmeo que ficou na Terra, *calcule quanto tempo durou a viagem do seu irmão, o piloto.*

Respostas: 1) (d); 2) (d); 3) 20 meses; 4) (b); 5) 30 anos.

TEORIA DA RELATIVIDADE ESPECIAL: CONTRAÇÃO DO ESPAÇO

Como vimos anteriormente, o tempo dilata, ou seja, transcorre de diferentes formas para diferentes observadores quando um encontra-se em movimento em relação ao outro (sempre considerando referenciais inerciais). Mas de que forma o espaço estaria relacionado com a dilatação do tempo?

Para responder a essa pergunta, vamos voltar à situação dos observadores e o trem. O observador que viaja dentro do trem mede o comprimento da estação de trem, essa medida costuma ser representada pela letra “ L ” (de comprimento em inglês, *length*). Aqui vamos chamá-la de $L_{\text{estação viajando}}$, isto é, o comprimento da estação de trem para quem está viajando. Esse observador utiliza o seguinte método de medição: ele mede o tempo necessário para o trem passar pela estação desde o começo até o final da estação.

$$L_{\text{estação viajando}} = v \times \Delta t_{\text{viajando}}$$

A velocidade do trem v é a velocidade com a qual o trem passa pela estação, ou, com direção oposta mas igual módulo, a velocidade com a qual o mundo se aproxima do trem.

O observador do lado de fora do trem deseja medir também, utilizando uma metodologia similar: ele mede o tempo para o trem passar pela estação desde o começo até o final da estação.

$$L_{\text{estação}} = v \times \Delta t_{\text{observador}}$$

onde $L_{\text{estação}}$ é o comprimento da estação de trem medido pelo observador do lado de fora do trem. Dessa forma esse observador pode encontrar o comprimento. Pelo que vimos anteriormente,

$$\Delta t_{\text{observador}} = \frac{\Delta t_{\text{viajando}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

substituindo na segunda equação temos:

$$L_{\text{estação}} = \frac{v \times \Delta t_{\text{viajando}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Ora, ao multiplicarmos a velocidade do trem pelo tempo que transcorre para quem está viajando dentro do trem, acabamos com o próprio comprimento da estação quando medido por quem está dentro do trem. Dessa forma:

$$L_{\text{estação}} = \frac{L_{\text{estação viajando}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{ou} \quad L_0 = \frac{L_{\text{via}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

onde L_0 é o comprimento da estação e L_{via} o comprimento da estação para quem está viajando.

Arrumando a equação, ficamos com sua versão final:

$$L_{\text{via}} = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

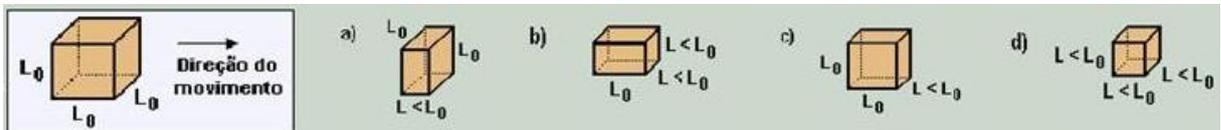
A partir dessa equação, a seguinte conclusão pode ser feita: *um objeto em movimento possui comprimento **observado** L_{via} **MENOR** do que o comprimento **observado** do mesmo objeto caso em repouso L_0 .*

PROBLEMAS E EXERCÍCIOS

1) (UFRN) Bastante envolvida com seus estudos para a prova do vestibular, Silvia selecionou o seguinte texto sobre Teoria da Relatividade para mostrar a sua colega Tereza: A luz da Teoria da Relatividade Especial, as medidas de comprimento, massa e tempo não são absolutas quando realizadas por observadores em referenciais inerciais diferentes. Conceitos inovadores como massa relativística, contração de Lorentz e dilatação temporal desafiam o senso comum. Um resultado dessa teoria é que as dimensões de um objeto são máximas quando medidas em repouso em relação ao observador. Quando o objeto se move com velocidade v , em relação ao observador, o resultado da medida de sua dimensão paralela a direção do movimento é menor do que o valor obtido quando em repouso. As suas dimensões perpendiculares a direção do movimento, no entanto, não são afetadas. Depois de ler esse texto para Tereza, Silvia pegou um cubo de lado L_0 que estava sobre a mesa e fez a seguinte questão para ela:

Como seria a forma desse cubo se ele estivesse se movendo, com velocidade relativística constante, conforme direção indicada na figura abaixo?

A resposta correta de Tereza a essa pergunta foi:



2) (UFRGS-RS) Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do texto a seguir, na ordem em que aparecem.

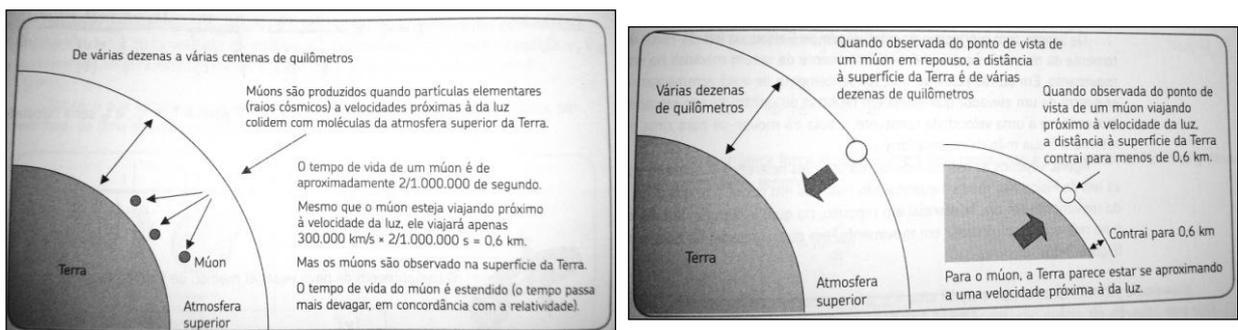
De acordo com a relatividade restrita, é _____ atravessarmos o diâmetro da Via Láctea, uma distância de aproximadamente 100 anos-luz (equivalente a 10^{18} m), em um intervalo de tempo bem menor que 100 anos. Isso pode ser explicado pelo fenômeno de _____ do comprimento, como visto pelo viajante, ou ainda pelo fenômeno de _____ temporal, como observado por quem está em repouso em relação à galáxia.

- | | |
|--|--|
| (a) impossível - contração – dilatação | (b) possível - dilatação – contração |
| (c) possível - contração – dilatação | (d) impossível - dilatação – contração |
| (e) impossível - contração – contração | |

- 3) (UPE) Um trem de comprimento igual a 100 m viaja a uma velocidade de $0,8c$, onde c é a velocidade da luz, quando atravessa um túnel de comprimento igual a 70 m. Quando visto por um observador parado ao lado dos trilhos, é CORRETO afirmar que o trem
- não chega a ficar totalmente dentro do túnel, restando um espaço de 12 m fora do túnel.
 - fica totalmente dentro do túnel e sobra um espaço de 10 m.
 - fica totalmente dentro do túnel e sobra um espaço de 15 m.
 - não chega a ficar totalmente dentro do túnel, restando um espaço de 5 m fora do túnel.
 - fica totalmente dentro do túnel e não resta nenhum espaço.

Respostas: 1) (a); 2) (c); 3) (b).

MÚONS



RELAÇÃO MASSA-ENERGIA

A equivalência massa-energia é outra consequência da Teoria da Relatividade Especial de Einstein. Essa equivalência indica que a toda massa corresponde uma quantidade de energia dada pela expressão $E = mc^2$. Em seu significado mais completo, a massa, nessa equação, é a massa relativística que, a exemplo da dilatação do tempo e da contração dos comprimentos, se relaciona por meio do fator de Lorentz com a massa m_0 , também denominada massa de repouso:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Assim, mesmo parado (velocidade igual a zero, massa igual à massa de repouso - $m = m_0$) um objeto possui uma energia de repouso e calculada por $E = m_0c^2$.

É a equivalência massa-energia que explica a energia liberada em reações químicas e nucleares. Nessas reações, a liberação de energia é acompanhada de uma diminuição da massa do produto em relação à dos reagentes. Nas reações químicas, porém, a energia liberada é muito menor do que a energia de repouso dos reagentes, e a diminuição de massa é tão pequena que não pode ser detectada por balanças, razão pela qual é desprezada. Pelo contrário, nas reações nucleares, a energia liberada é muito maior, e nada desprezível, do que a energia de repouso dos núcleos, que se fragmentam ou fundem.

A equação $E = mc^2$ é um caso particular da expressão que permite o cálculo da energia total de uma partícula, dada por $E^2 = p^2c^2 + m^2c^4$. Nessa equação, p representa a quantidade de movimento relativística dessa partícula: $p = mv$.

No caso de uma partícula em repouso e, portanto, sem sua quantidade de movimento, a expressão se reduz ao valor da energia de repouso:

$$E^2 = p^2c^2 + m^2c^4 \quad \rightarrow \quad E = mc^2, \quad \text{para } p = 0.$$

Fótons, por sua vez, não possuem massa de repouso e, assim, a expressão se reduz ao valor do *quantum* de luz.

$$E^2 = p^2c^2 + m^2c^4 \quad \rightarrow \quad E = pc, \quad \text{para } m = 0.$$

PROBLEMAS E EXERCÍCIOS

1) (UFC-2002) Uma fábrica de produtos metalúrgicos do Distrito Industrial de Fortaleza consome, por mês, cerca de $2,0 \times 10^6$ kWh de energia elétrica ($1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$). Suponha que essa fábrica possui uma usina capaz de converter diretamente massa em energia elétrica, de acordo com a relação de Einstein, $E = m_0c^2$. Nesse caso, a massa necessária para suprir a energia requerida pela fábrica, durante um mês, é, em **gramas**:

- (a) 0,08 (b) 0,8 (c) 8 (d) 80 (e) 800

2) (UEL-2006) Em 2005 comemoramos o centenário da publicação, por Albert Einstein, de três trabalhos que mudaram a visão do homem sobre o mundo. Um desses

trabalhos discute os fundamentos do eletromagnetismo e introduz o que é hoje conhecido como Teoria da Relatividade. Noutro, a interação de um elétron com a radiação eletromagnética (Efeito Fotoelétrico) é discutida, fornecendo nova base experimental à Mecânica Quântica. Num terceiro, as consequências observáveis das bases microscópicas da Termodinâmica e Mecânica Estatística são previstas, fundamentando o que até então era conhecido como efeito Browniano.

Um dos resultados notáveis da Teoria da Relatividade foi a união dos conceitos de massa (m) e energia (E).

$$E = mc^2$$

A famosa equação onde c é a velocidade da luz no vácuo, $c = 3 \times 10^8$ m/s, fornece uma relação entre os conteúdos de massa e energia de um corpo, e prediz, por exemplo, que, ao aquecermos uma panela com água, estamos, também, aumentando sua massa. Assim, se uma caloria, 4,18 Joules, é a quantidade de energia necessária para elevar a temperatura de 1 g de água de 14,5 °C para 15,5 °C, assinale, dentre as alternativas a seguir, aquela que melhor expressa o correspondente incremento de massa.

- (a) 5×10^{-3} kg (b) 5×10^{-9} kg (c) 5×10^{-17} kg (d) 5×10^{-25} kg (e) 5×10^{-34} kg

3) (UEMG-2006) Uma pequena massa atinge uma velocidade de 50% do valor da velocidade da luz no vácuo. Em relação a essa situação, assinale a alternativa que contém uma afirmação **CORRETA**:

- (a) Sua massa a essa velocidade é igual à sua massa de repouso.
 (b) Sua massa a essa velocidade é maior que a sua massa de repouso.
 (c) Sua massa diminui em relação à sua massa de repouso.
 (d) Pela teoria da relatividade, é impossível uma massa atingir 50% da velocidade da luz.

Respostas: 1) (a); 2) (c); 3) (b).

FAÇA VOCÊ MESMO!

Michael Faraday (1791-1867) foi a primeira inspiração de Einstein, com a descrição da indução eletromagnética, além das experiências que mostraram que a matéria é constituída de diferentes átomos de estrutura eletricamente equilibrada. James Clerk Maxwell (1831-

1879) unificou a eletricidade, o magnetismo e a óptica. A partir das equações que obteve, Maxwell concluiu que a luz visível é uma variedade das radiações eletromagnéticas, ambas com mesma velocidade. As ideias de Maxwell foram testadas por uma série de experimentos ao longo de dez anos e comprovadas por Heinrich Hertz (1857-1894). Einstein expressou o valor que atribuía às equações de Maxwell, dizendo: “Maxwell deu a contribuição isolada mais importante do século XIX.”.

O primeiro a sugerir o conceito de elétron foi Hendrik Lorentz (1853-1928), essenciais para manter a estrutura equilibrada dos átomos, embora não venham a contribuir com quantidade significativa de massa. Lorentz tentava estender os achados matemáticos de Maxwell para outras áreas da Física e sugeriu que a massa de uma partícula poderia aumentar com a velocidade.

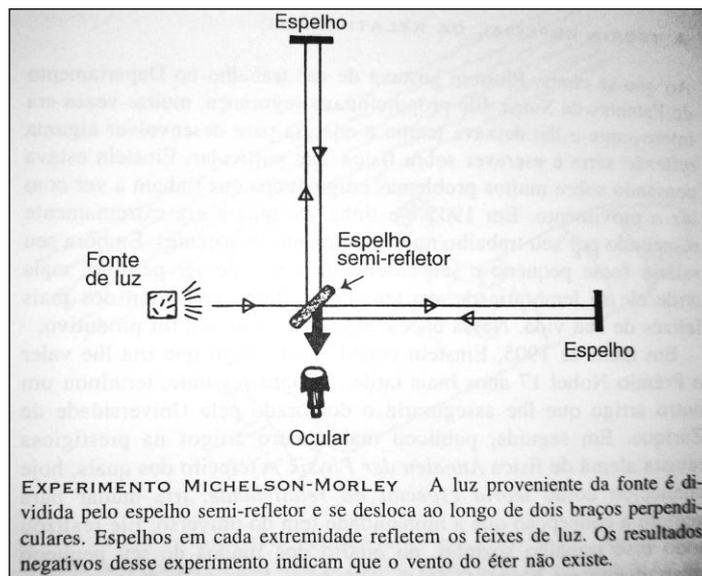
É interessante notar que as expressões matemáticas das transformações obtidas por Einstein já tinham sido obtidas por Lorentz, de modo que, ainda hoje, elas são conhecidas por “transformações de Lorentz”. O físico holandês, contudo, recusava-se a atribuir significado físico àquelas equações, especialmente à expressão que fornecia um tempo dependente de cada referencial. Einstein, ao contrário, considerou-as como plenas de significado físico, porque decorriam do que considerava um princípio físico mais fundamental, o princípio da relatividade, ou seja, a invariância das leis físicas em relação aos referenciais inerciais.

MICHELSON E MORLEY

A Relatividade teve origem nas pesquisas sobre o eletromagnetismo, recém unificada na época. Simultânea às pesquisas de Einstein, Michelson e Morley buscavam provar a existência do meio hipotético, chamado *éter*, no qual as ondas eletromagnéticas se propagavam. A teorização desse meio possui origem na Mecânica, uma vez que as ondas mecânicas necessitam de um meio de propagação (o som se propaga no ar; as ondas oceânicas se propagam no mar, por exemplo), o que sugeria que as ondas eletromagnéticas também necessitavam de um.

Albert Michelson (1852-1931) e Edward Morley (1838-1923), assim como os demais físicos da época, acreditavam que objetos que se movessem contra esse meio enfrentariam o “vento do éter”. Eles sabiam que a Terra se movia com velocidade próxima a 30 km/s ao redor do Sol, o que implicava em um vento de velocidade aproximadamente igual.

Em 1887, no laboratório de Morley, instalado num porão, os dois montaram um experimento que pretendia detectar e medir com precisão a força do vento do éter: um feixe de luz foi opticamente separado em dois feixes perpendiculares entre si. Os dois feixes de luz foram refletidos e depois recombinados e postos em foco numa ocular. Um feixe de luz orienta-se paralelamente ao suposto movimento da Terra através do éter. A teoria que estava sendo posta à prova era a de que o feixe de luz que tivesse de se mover contra a força do vento do éter teria sua velocidade reduzida em relação à do outro feixe.



Ao contrário do esperado, não houve diferença nos tempos medidos. Duas conclusões poderiam ser obtidas: ou o éter se moveria com a Terra, conclusão absurda; ou o éter simplesmente não existia. Ambas as conclusões eram avessas ao que se acreditava na época, contudo, Michelson e Morley não observaram nenhuma modificação no padrão de interferência observado, embora tenham repetido a experiência diversas vezes em diversas épocas do ano.

Einstein, utilizando de experimentos mentais, concluiu que o éter não deveria existir, embora não soubesse do experimento de Michelson e Morley. As conclusões desse experimento indicavam que a Mecânica newtoniana estava incompleta, o que ajudou a comunidade científica a aceitar as teorias relativísticas de Einstein.

Baseado no texto anterior (Inspirações e Michelson e Morley), responda as questões a seguir.

1. Quais foram as contribuições de Maxwell? O que mostraram os experimentos realizados por Faraday?
2. Lorentz foi um físico holandês importante. Quais foram suas contribuições? Qual significado ele deu às suas transformações? Como Einstein complementou seu trabalho?
3. O que Michelson e Morley estavam tentando provar? Por que eles acreditavam na existência desse meio?
4. Como Michelson e Morley montaram seu experimento?
5. Michelson e Morley justificaram a montagem de seu experimento com um “vento”. Explique a justificativa desses cientistas.
6. Quais foram as conclusões possíveis retiradas do experimento de Michelson e Morley?

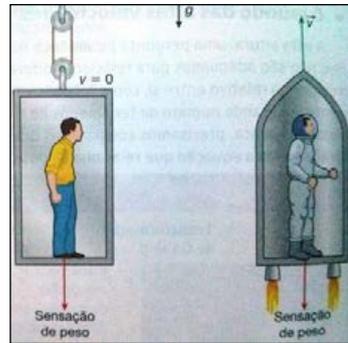
TEORIA DA RELATIVIDADE GERAL

Até agora analisamos vários fenômenos físicos sob o ponto de vista de diferentes observadores em movimento uniforme entre si (referenciais inerciais). Agora vamos incluir os observadores que estejam acelerados (referenciais não inerciais). Einstein foi o primeiro a perceber que movimentos acelerados e campos gravitacionais são sistemas físicos equivalentes. E mais: concluiu que esses movimentos e campos afetam o espaço físico em seu entorno.

Imagine a seguinte situação: uma pessoa está no interior de um elevador quando, por um problema qualquer, o cabo que o sustenta se rompe! (Na verdade isso é praticamente impossível, já que os elevadores têm travas para compensar um eventual rompimento do cabo. Mas prossigamos com nosso exemplo hipotético.) Qual é a sensação que experimentaria essa pessoa (antes do impacto com o solo, é claro)? Ela, o elevador e todos os objetos em seu interior caem com a mesma aceleração (da gravidade), o que provoca uma sensação de ausência de peso durante esse trajeto. Se a pessoa tem algum objeto na mão e solta, ele fica “flutuando”, como se o elevador estivesse no espaço exterior, longe do campo gravitacional da Terra. Essa é a sensação dos astronautas quando estão orbitando a Terra.

Vamos agora imaginar que um astronauta esteja em uma nave sem receber nenhuma informação do exterior (nem mesmo através de uma janelinha que lhe permitisse espiar o que se passa lá fora), e que a nave recebesse uma aceleração igual à da gravidade terrestre. O que sentiria o astronauta?

Ele teria a impressão de estar na Terra, pois, como todos nós que estamos próximos à superfície da Terra, ele estará sendo acelerado em $9,8 \text{ m/s}^2$.



Comparando as duas situações, podemos concluir que uma pessoa que participasse das duas experiências terá exatamente a mesma sensação (exceto talvez o medo) em ambas as situações. Ou seja: em termos físicos, não existe diferença entre um corpo estar submetido a uma aceleração e estar submetido a um campo gravitacional. Essa foi a conclusão que Einstein chegou quando estava sentado em sua cadeira no escritório de patentes onde trabalhava. Ele imaginou que, se sua cadeira tombasse para trás (provavelmente ele estava, nesse momento, com os pés na mesa), ele teria a sensação de ausência de peso (ao menos antes de chegar ao chão). Segundo o próprio Einstein, esse foi o pensamento mais feliz de sua vida!

Essa equivalência entre movimento acelerado e campo gravitacional é conhecida como **princípio da equivalência**:

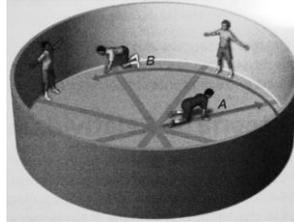
Um observador em um recinto fechado não consegue, por meio de nenhuma experiência, dizer se esse recinto está sob a ação de um campo gravitacional uniforme ou se é um referencial uniformemente acelerado.

Einstein mostraria também que esses dois sistemas (referencial acelerado e campo gravitacional) têm a espantosa propriedade de definir o tipo de geometria que configura o espaço ao seu redor. Mais uma vez, as experiências de pensamento tiveram um papel fundamental para revelar características da força mais importante na escala macroscópica: a gravidade.

ROTOR RÍGIDO

Vamos usar uma experiência de pensamento associada a um rotor, como aqueles de parques de diversão, para mostrar a relação entre aceleração, gravidade e o tipo de geometria que descreve nosso espaço físico. Vamos imaginar que dois observadores farão medidas do

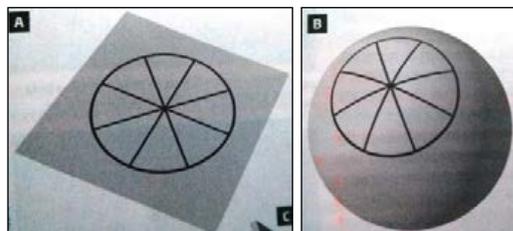
perímetro e do raio do rotor, que se move com certa velocidade cujo módulo é constante, para simplificar o problema. O movimento do rotor, então, é circular e uniforme (MCU). Mas, se estamos examinando a Teoria da Relatividade Geral, não deveríamos analisar movimentos acelerados? Isso é correto, e o MCU é um movimento acelerado! Embora seja constante em intensidade, a velocidade varia em direção e sentido; portanto, existe uma aceleração que é uma consequência da força centrípeta.



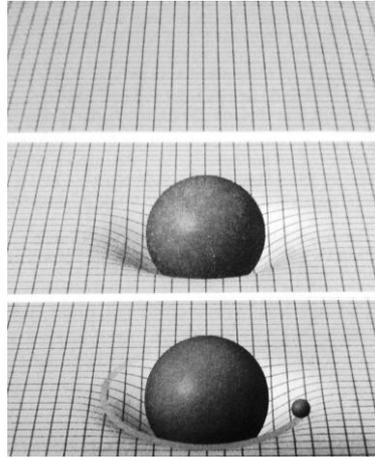
O observador B mede a circunferência deslocando ao longo dela uma pequena régua, sucessivamente, até completar a volta. Mas, enquanto faz essa medida, o rotor gira e sabemos que o comprimento de um objeto é contraído no sentido do movimento, ou seja, o comprimento da régua utilizada por B está menor do que no momento em que estava em repouso fora do rotor. Então a régua caberá um número maior de vezes na circunferência. Ela será, portanto, mais longa do que se fosse medida por um observador em repouso.

E a medida do raio do rotor feita pelo observador A ? Como ela é afetada pelo movimento? Na verdade não é afetada, pois a contração de Lorentz ocorre apenas na direção do movimento, e o observador A faz a medida numa direção perpendicular ao deslocamento do rotor. Portanto, a medida do raio do rotor é a mesma para o observador A e para um observador estacionário.

A geometria de Euclides, válida para superfícies planas, nos ensina que a razão entre o perímetro da circunferência e o dobro de seu raio é igual ao número π . Mas no caso do rotor em movimento essa razão é diferente de π , pois o perímetro da circunferência é maior e o raio não se altera. Einstein concluiu que essa diferença só seria possível se a superfície do fundo do rotor fosse *curva*.



Einstein concluiu que o movimento acelerado provoca uma curvatura do espaço, logo a gravidade tem a capacidade de curvar o espaço, considerando o princípio da equivalência. Uma representação da curvatura do espaço, sem considerar o tempo, pode ser feita associando uma lâmina de borracha onde podemos localizar objetos, como na figura.



A comparação com a gravidade é imediata: a presença de uma grande massa, como o Sol, curva o espaço ao seu redor. Quanto mais nos distanciarmos dessa massa, mais o espaço se tornará plano. Um corpo de menor massa também curva o espaço ao seu redor, mas em uma intensidade menor, o que resulta na queda desse corpo no espaço curvo do corpo de massa maior.

O princípio da equivalência também leva à conclusão de que a luz se curva na presença de campos gravitacionais, acompanhando a curvatura do espaço-tempo.

Sabendo das dificuldades para provar sua teoria com um experimento em laboratório, em novembro de 1915, Einstein calculou o ângulo com que se desviaria a posição de uma estrela cuja luz passaria rente ao Sol. O valor obtido era extremamente pequeno, equivalendo à espessura de uma moeda vista a 3 km de distância.

Um eclipse solar, ocorrido em 29 de maio de 1919, permitiu comprovar experimentalmente o efeito previsto por Einstein – e com isso a Teoria da Relatividade. O astrônomo inglês Arthur Eddington (1882-1944) organizou duas equipes de astrônomos ingleses, uma das quais se dirigiu a Sobral, no Ceará, e a outra à Ilha do Príncipe, na África ocidental. Durante o eclipse foi possível medir o desvio sofrido pela luz de uma estrela que passava próximo ao Sol. A equipe de Sobral foi a mais feliz, pois na Ilha do Príncipe o céu estava encoberto. Algum tempo depois, Einstein declarou: “O problema por mim concebido foi resolvido no luminoso céu do Brasil”.

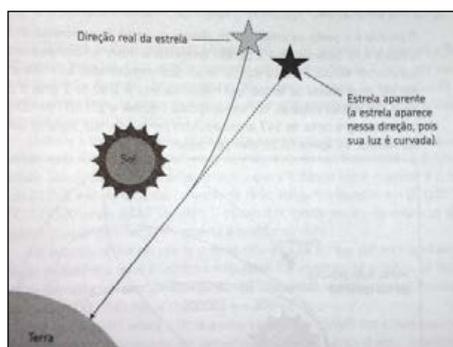
Um dos efeitos relativísticos incluídos na Relatividade Geral é a relação da passagem do tempo com o potencial gravitacional, de modo que:

quanto menor for o potencial gravitacional, mais lentamente o tempo passará

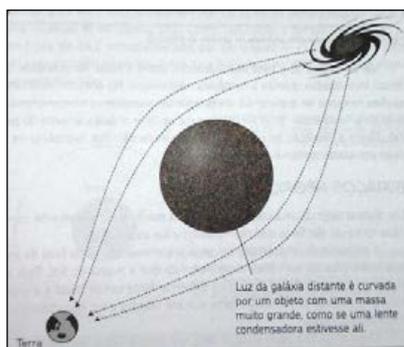
Isso significa que o tempo transcorre mais rapidamente na superfície da Terra do que em satélites que a orbitam, onde o potencial gravitacional é menor.

LENTE GRAVITACIONAL

Lente gravitacional é o fenômeno de curvatura do caminho da luz quando ela passa nas proximidades do Sol. O espaço é curvado nas proximidades do Sol por causa da grande massa do Sol. Como a luz avança ao longo dessa curvatura, a luz vinda de uma estrela distante curva-se, e a direção da estrela é observada com um leve deslocamento. Esse efeito foi verificado durante um eclipse solar total e foi considerada a primeira prova descoberta da Relatividade Geral.



Além disso, quando a luz vem de uma galáxia distante, se um objeto maciço (como uma galáxia) estiver em um ponto intermediário, ele curvará a luz da galáxia distante como se houvesse uma lente condensada naquele ponto intermediário. Essa curvatura pode fazer com que a galáxia distante pareça distorcida. Isso é outro exemplo de lente gravitacional.



BURACOS NEGROS

Um *buraco negro* é uma condição em que a massa é extremamente concentrada e a gravidade torna-se tão forte que nem mesmo a luz escapa dela.

A explosão de uma estrela em uma supernova ocorre no final da vida de uma estrela que tenha uma massa várias vezes maior do que a massa do Sol. Esse evento forma uma região no espaço em que a massa é extremamente concentrada e a gravidade fica mais forte. A gravidade torna-se tão forte que até mesmo a luz não consegue escapar. Tal região é um buraco negro.

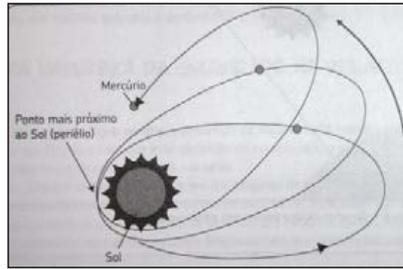
Como a luz não pode escapar dela, um buraco negro não pode ser observado diretamente. No entanto, se existirem outras estrelas nas imediações do buraco negro, o gás das estrelas fluirá em direção ao buraco negro a partir desse disco de crescimento. Quando o gás flui para o buraco negro a partir desse disco de crescimento, raios-X e raios gama são emitidos.

Um candidato a buraco negro foi descoberto em 1971 na constelação de Cisne e, atualmente, acredita-se que existam buracos negros supermaciços no centro dos sistemas galácticos.

PRECESSÃO ANÔMALA DE MERCÚRIO

O *periélio* é o ponto na órbita de um planeta que está mais próximo do Sol. Sabemos que o periélio de Mercúrio move aproximadamente **574 arcossegundos** por século. Perceba que os “segundos” mencionados aqui são unidades angulares em vez de unidades de tempo. Um minuto de arco é 1/60 de 1 grau e um segundo de arco é 1/60 de um minuto de arco. Em outras palavras, um arcossegundo equivale a 1/3.600 de 1 grau de arco. Se o deslocamento gira cerca de **547 arcossegundos** por século, isso significa um deslocamento aproximado de apenas 0,16 grau por século.

Várias causas para esse deslocamento, como o efeito da gravidade de outros planetas, foram investigadas usando a mecânica newtoniana. No entanto, nenhuma dessas investigações foi capaz de explicar 43 arcossegundos excedentes no movimento do periélio. Mas quando a relatividade geral foi usada para verificar o deslocamento do periélio de Mercúrio, calculando a distorção do espaço tempo causada pelo Sol, descobriu-se que ele era deslocado em exatamente 43 arcossegundos.



SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL

O Sistema de Posicionamento Global (GPS) usa 24 satélites que orbitam a Terra para determinar posições. Cada satélite transmite um sinal em direção à Terra que inclui o tempo de transmissão de rádio. Um receptor no chão (como o sistema de navegação de um carro) recebe esses sinais. As ondas de rádio dos sinais alcançam o receptor à velocidade da luz (aproximadamente 300.000.000 m/s).

Quando o tempo de recepção do sinal é comparado com o tempo de transmissão, e quando essa diferença é multiplicada pela velocidade da luz, é conhecida a distância até o satélite. Em outras palavras, se assumirmos que a distância entre o satélite e o receptor é de 20.000 km, significa que as ondas de rádio atingem o receptor em $(20.000.000 \text{ m} / 300.000.000 \text{ m/s} = 0,067 \text{ segundo})$. O cálculo é realizado usando-se ondas de rádio de três satélites para determinar precisamente a posição no chão.

No entanto, se houver um erro nessa diferença de tempo, um erro também ocorrerá no cálculo da distância entre o satélite e o receptor. Por exemplo, se o tempo de transmissão do satélite for deslocado em 1 milissegundo (10^{-6} segundo), a distância será deslocada em 300 metros ($300.000.000 \text{ m/s} \times 0,00001 \text{ s} = 300 \text{ m}$).

Um satélite GPS orbita a Terra a uma altitude de 20.000 km e com uma velocidade que o faz realizar 1 revolução em aproximadamente 12 horas. A essa velocidade, o efeito da relatividade especial faz seu tempo passar mais lentamente cerca de 7,1 microssegundos por dia. No entanto, como ele está localizado acima da superfície da Terra, o efeito da relatividade geral faz seu tempo passar mais rápido do que o tempo na superfície da Terra em cerca de 46,3 microssegundos por dia. Como resultado, o tempo transmitido pelo GPS é reduzido em cerca de 39,2 microssegundos por dia. O projeto do sistema GPS leva em consideração os efeitos tanto da teoria da relatividade especial quanto da relatividade geral com extrema precisão.

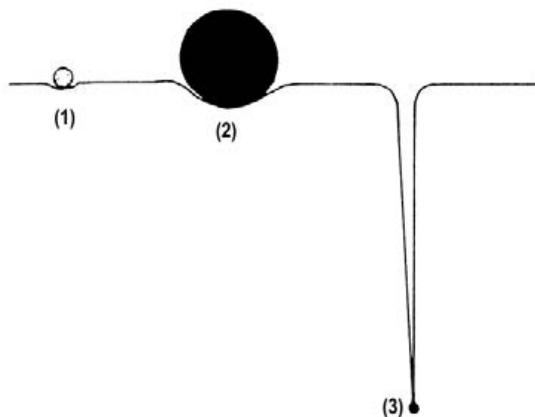
PROBLEMAS E EXERCÍCIOS

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

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

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

2) A figura a seguir representa a curvatura do espaço para três corpos: o Sol, um buraco negro e o planeta Terra, não necessariamente nessa ordem. Observe a curvatura no espaço provocada por cada corpo e assinale a alternativa **INCORRETA**.



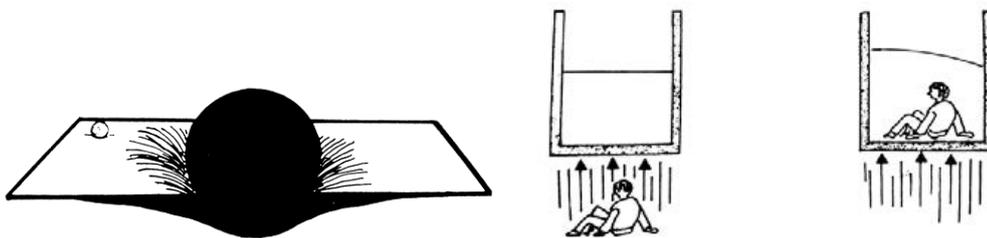
- (a) O planeta Terra é o corpo que menos curva o espaço devido ao fato de ser o corpo que possui menor densidade de massa dentre os três, o que indica que sua representação seja a do corpo (1).

(b) A curvatura do espaço do corpo (3) é a maior, o que indica que seja a representação de um buraco negro por sua alta densidade de massa.

(c) O espaço do Sol deve ser o mais curvo, uma vez que possui densidade de massa maior do que a de um buraco negro, sendo representado pelo corpo (3).

(d) O Sol possui densidade de massa menor do que a de um buraco negro e maior do que a do planeta Terra, o que sugere que sua representação seja a do corpo (2).

3) Observe as duas figuras a seguir.



As duas figuras representam situações imaginadas a partir das teorias propostas por Einstein. Considere as três afirmações a seguir sobre as figuras:

I. A primeira figura representa a curvatura do espaço devido aos dois corpos celestes.

II. A segunda figura exemplifica a curvatura da luz observada por um observador em um elevador acelerado no espaço.

III. As duas figuras são exemplificações dos efeitos introduzidos pela Teoria da Relatividade Geral.

Estão corretas as afirmações:

(a) Nenhuma. (b) I e II. (c) II e III. (d) I e III. (e) Todas.

Resposta: 1) (d), 2) (c), 2) (e).

REVISÃO

1) (UFSC-2007) A Física moderna é o estudo da Física desenvolvido no final do século XIX e início do século XX. Em particular, é o estudo da Mecânica Quântica e da Teoria da Relatividade Restrita.

Assinale a(s) proposição(ões) **CORRETA(S)** em relação às contribuições da Física moderna.

(01) Demonstra limitações da Física Newtoniana na escala microscópica.

(02) Nega totalmente as aplicações das leis de Newton.

(04) Explica o efeito fotoelétrico e o *laser*.

(08) Afirma que as leis da Física são as mesmas em todos os referenciais inerciais.

(16) Comprova que a velocidade da luz é diferente para quaisquer observadores em referenciais inerciais.

(32) Demonstra que a massa de um corpo independe de sua velocidade.

SOMA:

2) (UFSC-2005) O ano de 2005 será o ANO INTERNACIONAL DA FÍSICA, pois estaremos completando 100 anos de importantes publicações realizadas por Albert Einstein. O texto abaixo representa um possível diálogo entre dois cientistas, em algum momento, nas primeiras décadas do século 20:

Z - Não posso concordar que a velocidade da luz seja a mesma para qualquer referencial. Se estivermos caminhando a 5 km/h em um trem que se desloca com velocidade de 100 km/h em relação ao solo, nossa velocidade em relação ao solo será de 105 km/h . Se acendermos uma lanterna no trem, a velocidade da luz desta lanterna em relação ao solo será de $c + 100 \text{ km/h}$.

B - O nobre colega está supondo que a equação para comparar velocidades em referenciais diferentes seja $v' = v_0 + v$. Eu defendo que a velocidade da luz no vácuo é a mesma em qualquer referencial com velocidade constante e que a forma para comparar velocidades é que deve ser modificada.

Z - Não diga também que as medidas de intervalos de tempo serão diferentes em cada sistema. Isto é um absurdo!

B - Mas é claro que as medidas de intervalos de tempo podem ser diferentes em diferentes sistemas de referência.

Z - Com isto você está querendo dizer que tudo é relativo!

B - Não! Não estou afirmando que tudo é relativo! A velocidade da luz no vácuo será a mesma para qualquer observador inercial. As grandezas observadas poderão ser diferentes, mas as leis da Física deverão ser as mesmas para qualquer observador inercial.”

Com o que você sabe sobre teoria da relatividade e considerando o diálogo acima apresentado, assinale a(s) proposição(ões) **CORRETA(S)**.

(01) O cientista *B* defende idéias teoricamente corretas sobre a teoria da relatividade restrita, mas que não têm nenhuma comprovação experimental.

(02) O cientista *Z* aceita que objetos podem se mover com velocidades acima da velocidade da luz no vácuo, pois a mecânica newtoniana não coloca um limite superior para a velocidade de qualquer objeto.

(04) O cientista *Z* está defendendo as idéias da mecânica newtoniana, que não podem ser aplicadas a objetos que se movem com velocidades próximas à velocidade da luz

(08) De acordo com a teoria da relatividade, o cientista *B* está correto ao dizer que as medidas de intervalos de tempo dependem do referencial.

(16) De acordo com a teoria da relatividade, o cientista *B* está correto ao afirmar que as leis da Física são as mesmas para cada observador.

SOMA:

3) (UFC-2009) Um avião militar “relativístico” voa com uma velocidade constante de $0,9c$, onde c é a velocidade da luz no vácuo. Esse avião dispara um míssil. O piloto observa que o míssil se afasta do avião com uma velocidade de $0,6c$. No mesmo instante, um feixe de laser é disparado em relação ao avião com uma velocidade c . Assinale a alternativa que apresenta, respectivamente, os valores da velocidade do míssil e da velocidade do feixe de laser, percebidos por um observador em um referencial estacionário.

- (a) c e c . (b) $0,97c$ e c . (c) $1,50c$ e c . (d) $1,50c$ e $1,90c$. (e) $0,30c$ e $0,10c$.

4) (UFMG) Suponha que uma nave se afasta de um planeta com velocidade $v = 0,2c$, onde $c = 3 \times 10^8$ m/s é a velocidade da luz no vácuo. Em um determinado momento, a nave envia um sinal de rádio para comunicar-se com o planeta. Determine a velocidade do sinal

medida por um observador na nave e a medida por um observador no planeta. Explique seu raciocínio.

5) (UFRJ-RJ) O conceito de éter surgiu na Grécia antiga, significando uma espécie de fluido sutil e rarefeito que preenchia o espaço e envolvia a Terra. Esse conceito evoluiu para representar um referencial privilegiado, a partir do qual se poderia descrever toda a Física, inclusive seria o meio material no qual se propagariam as ondas eletromagnéticas (a luz). No entanto, as experiências de Michaelson-Morley, realizadas em 1887, mostraram a inconsistência desse conceito, uma vez que seus resultados implicavam que ou a Terra estava sempre estacionária em relação ao éter ou a noção de que o éter representava um sistema de referência absoluto era errônea, devendo, portanto, ser rejeitada.

As inconsistências do conceito de éter levaram Einstein a elaborar a teoria de que a velocidade da luz

- (a) é constante para qualquer observador e dependente de qualquer movimento da fonte ou do observador.
- (b) é constante para qualquer observador e independente de qualquer movimento da fonte ou do observador.
- (c) é constante e dependente do observador, porém independente de qualquer movimento relativo da fonte.
- (d) é constante e independente do observador, porém dependente de qualquer movimento relativo da fonte.

6) (UEPB-PB-010) Através da relação $E_C = \Delta m \cdot c^2$, fica claro que existe uma equivalência entre a variação de massa de um corpo e a energia cinética que ele ganha ou perde. Sendo assim, é correto afirmar que:

- (a) independente de ocorrer uma mudança na energia de um corpo, sua massa permanece a mesma.
- (b) quando a energia cinética de um corpo diminui, há um correspondente acréscimo de massa deste corpo.
- (c) quando um corpo adquire energia cinética sua massa não sofre um acréscimo.

(d) quando um corpo adquire energia cinética sua massa sofre uma diminuição.

(e) quando a energia cinética de um corpo diminui, há uma correspondente diminuição de massa deste corpo.

7) (UFPRL-RS) Considere as afirmativas a seguir.

I. O tempo transcorre da mesma maneira em qualquer referencial inercial, independente da sua velocidade.

II. O comprimento dos corpos diminui na direção do movimento.

III. Quando a velocidade de um corpo tende à velocidade da luz (c), sua massa tende ao infinito.

De acordo com seus conhecimentos sobre Física Moderna e as informações dadas, está(ão) correta(s) a(s) afirmativa(s)

(a) I e III.

(b) I e II.

(c) II e III.

(d) I, II e III.

8) (UFSE) A teoria da relatividade de Einstein formaliza adequadamente a mecânica para os corpos que viajam a velocidades muito altas, evidenciando as limitações da Mecânica Newtoniana.

De acordo com essa teoria, analise as informações e assinale a alternativa **INCORRETA**:

(a) A velocidade limite para qualquer corpo é a velocidade da luz no vácuo, aproximadamente, $3,0 \times 10^8$ m/s.

(b) O tempo pode passar de maneira diferente para observadores a diferentes velocidades.

(c) As dimensões de um objeto são sempre as mesmas, quer ele esteja em repouso, quer em movimento.

(d) A massa de um elétron viajando a metade da velocidade da luz é maior que a do elétron em repouso.

(e) A célebre equação $E = mc^2$ pode explicar a energia que o sol emite quando parte da sua massa se converte em energia.

9) (UNIFOR-CE) Albert Einstein revolucionou o modo de pensar o espaço e o tempo ao lançar, no início do século XX, as bases da Teoria da Relatividade. Analise as seguintes afirmações:

I. A Mecânica Clássica não impõe limite para o valor da velocidade que uma partícula pode adquirir, pois enquanto durar a ação de uma força sobre ela haverá aceleração e sua velocidade poderá aumentar indefinidamente.

II. Corpos em movimento, com velocidades próximas à da luz, sofrem contrações em suas três dimensões em relação às que possuem quando em repouso.

III. A velocidade de um objeto, em relação a qualquer referencial, não pode superar a velocidade da luz no vácuo.

É correto o que se afirma SOMENTE em

(a) I. (b) II. (c) III. (d) I e II. (e) I e III.

Respostas: 1) (13), 2) (30), 3) (b), 4) (discursiva: *c* e *c*), 5) (b), 6) (e), 7) (c), 8) (c), 9) (e).

BIBLIOGRAFIA

BRENNAN, R.P. **Gigantes da física**: uma história da física moderna através de oito biografias. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2003.

CARUSO, F.; OGURI, V. **Física moderna**: origens clássicas e fundamentos quânticos. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

NITTA, H; YAMAMOTO, M.; TAKATSU, K. **Guia mangá relatividade**. São Paulo: Novatec, 2011.

ROCHA, J.F.M. (org.) **Origens e evolução das idéias da física**. Salvador: EDUFBA, 2002.

SANT'ANNA, B.; REIS, H.C.; MARTINI, G.; SPINELLI, W. **Conexões com a física**. 1. ed. 1. v. São Paulo: Moderna, 2010.

ANEXO A– Amostra do mangá retirada do sítio da editora

GUIA MANGÁ

RELATIVIDADE

HIDEO NITTA
MASAFUMI YAMAMOTO
KEITA TAKATSU
TREND-PRO CO., LTD.



novatec

Original Japanese-language edition Manga de Wakaru Soutaiseiron ISBN 978-4-274-06759-4 © 2009 by Hideo Nitta, Masafumi Yamamoto and TREND-PRO Co., Ltd, published by Ohmsha, Ltd.

English-language edition The Manga Guide to Relativity ISBN 978-1-59327-272-2 © 2011 by Hideo Nitta, Masafumi Yamamoto and TREND-PRO Co., Ltd, co-published by No Starch Press, Inc. and Ohmsha, Ltd.

Portuguese-language rights arranged with Ohmsha, Ltd. and No Starch Press, Inc. for Guia Mangá Relatividade ISBN 978-85-7522-272-0 © 2011 by Hideo Nitta, Masafumi Yamamoto and TREND-PRO Co., Ltd, published by Novatec Editora Ltda.

Edição original em japonês Manga de Wakaru Soutaiseiron ISBN 978-4-274-06759-4 © 2009 por Hideo Nitta, Masafumi Yamamoto e TREND-PRO Co., Ltd., publicado pela Ohmsha, Ltd.

Edição em inglês The Manga Guide to Relativity ISBN 978-1-59327-272-2 © 2011 por Hideo Nitta, Masafumi Yamamoto e TREND-PRO Co., Ltd, copublicação da No Starch Press, Inc. e Ohmsha, Ltd.

Direitos para a edição em português acordados com a Ohmsha, Ltd. e No Starch Press, Inc. para Guia Mangá Relatividade ISBN 978-85-7522-272-0 © 2011 por Hideo Nitta, Masafumi Yamamoto e TREND-PRO Co., Ltd, publicado pela Novatec Editora Ltda.

Copyright © 2011 da Novatec Editora Ltda.

Todos os direitos reservados e protegidos pela Lei 9.610 de 19/02/1998.

É proibida a reprodução desta obra, mesmo parcial, por qualquer processo, sem prévia autorização, por escrito, do autor e da editora.

Ilustração: Keita Takatsu

Editor: Rubens Prates

Tradução: Edgard B. Damiani

Revisão gramatical: Patrícia Zagni

Editoração eletrônica: Camila Kuwabata e Carolina Kuwabata

ISBN: 978-85-7522-272-0

Histórico de impressões:

Agosto/2011 Primeira edição

NOVATEC EDITORA LTDA.

Rua Luis Antônio dos Santos 110

02460-000 – São Paulo, SP – Brasil

Tel: +55 11 2959-6529

Fax: +55 11 2950-8869

E-mail: novatec@novatec.com.br

Site: www.novatec.com.br

Twitter: twitter.com/novateceditora

Facebook: facebook.com/novatec

LinkedIn: linkedin.com/in/novatec

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Guia mangá relatividade / Hideo Nitta... [et al.] ;
[tradução Edgard B. Damiani ; ilustração
Keita Takatsu]. -- São Paulo : Novatec
Editora ; Tokyo : Ohmsha ; São Francisco :
No Starch Press, 2011. -- (The manga guide)

Outros autores: Masafumi Yamamoto, Keita
Takatsu, Trend-pro Co
Título original: The manga guide to relativity.
ISBN 978-85-7522-272-0 (Editora Novatec)

1. Relatividade (Física) - Histórias em
quadrinhos I. Nitta, Hideo. II. Yamamoto,
Masafumi. III. Takatsu, Keita. IV. Trend-Pro Co.
V. Série.

11-09359

CDD-530.11

Índice para catálogo sistemático.

1. Teoria da relatividade : Histórias em
quadrinhos : Física 530.11

VC20110825

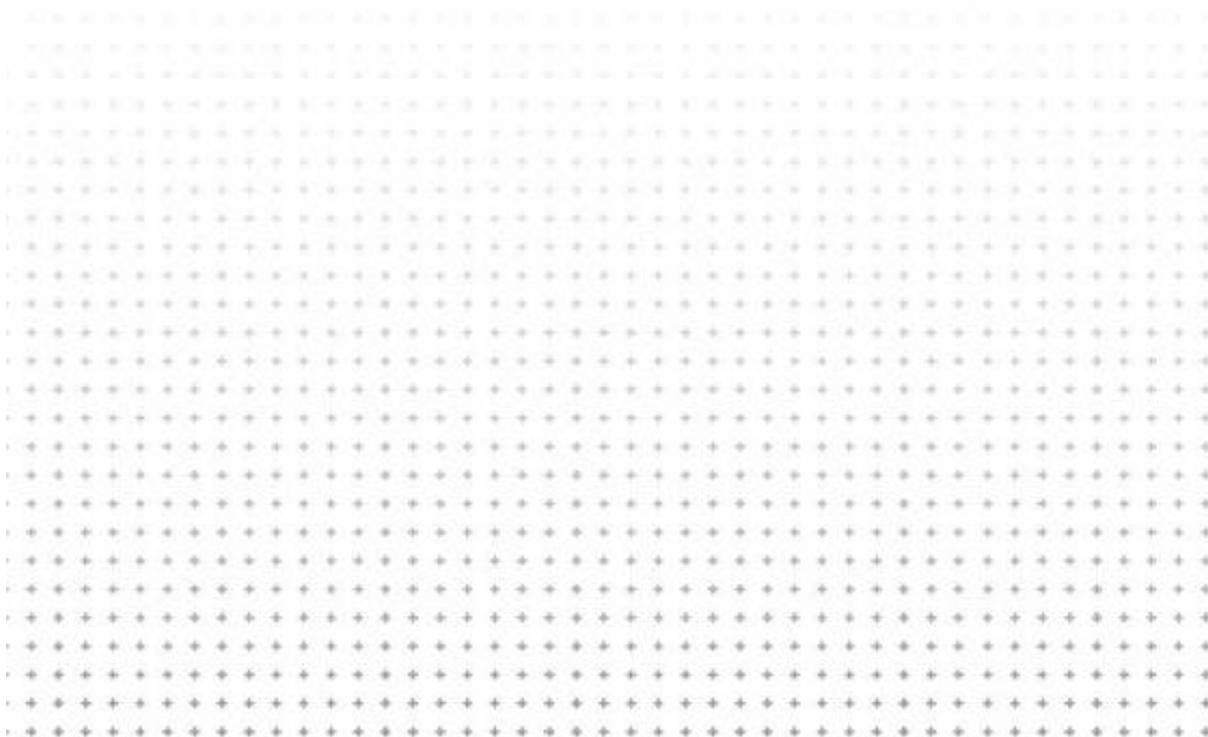
SUMÁRIO

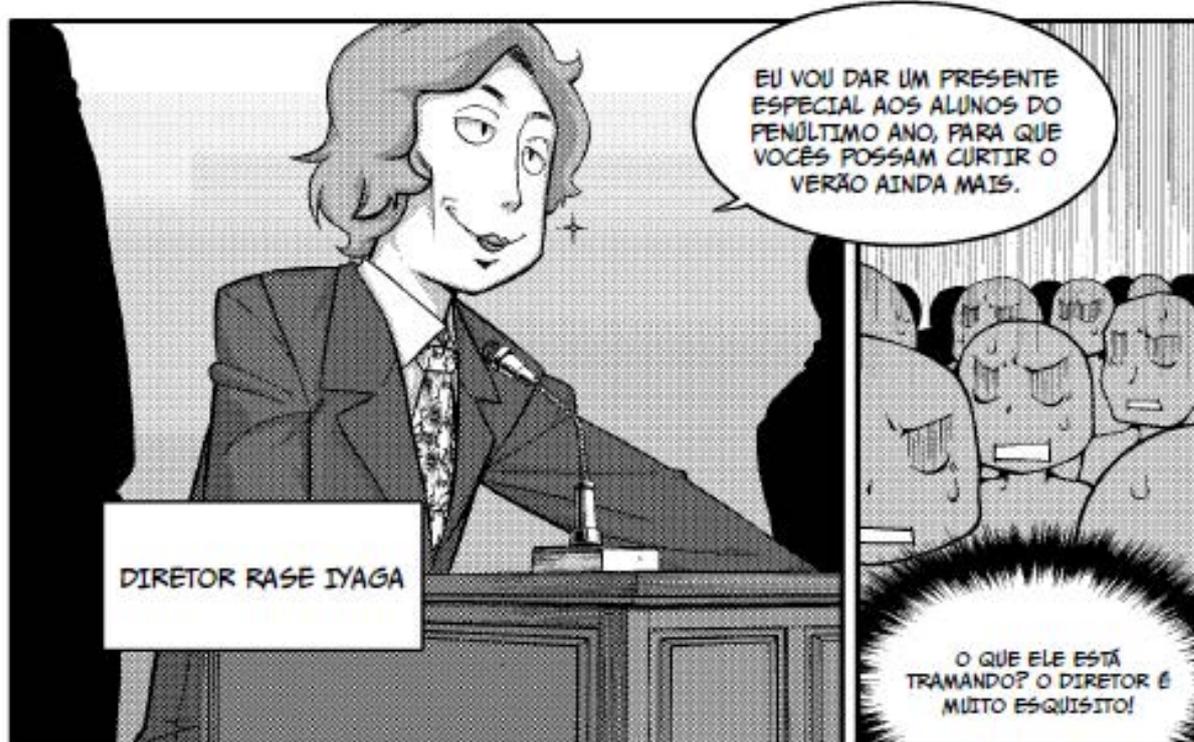
PREFÁCIO	ix
PRÓLOGO: CERIMÔNIA DE ENCERRAMENTO CHOCANTE	1
1	
O QUE É RELATIVIDADE?	9
1. O que é Relatividade	14
2. Princípio da Relatividade de Galileu e a Mecânica Newtoniana	17
3. O Mistério da Velocidade da Luz	23
4. Einstein Descartou a Mecânica Newtoniana	34
O que é Luz?	40
A Luz é Constante (e Eles Provam Isso Todo Dia em um Laboratório Chamado SPring-8).....	43
O que é Simultâneo Depende de a Quem Você Pergunta! (Relatividade da Simultaneidade)...	44
Caso da Adição Newtoniana de Velocidades (Adição Não Relativística).....	44
Caso em que a Velocidade da Luz é Constante (Adição Relativística de Velocidades).....	46
Princípio da Relatividade de Galileu e Transformação de Galileu.....	47
Diferenças entre o Princípio da Relatividade de Galileu e o Princípio da Relatividade Especial de Einstein	48
Espere um Pouco – O que Acontece com a Adição de Velocidades?.....	48
2	
O QUE VOCÊ QUER DIZER COM O TEMPO PASSAR MAIS DEVAGAR?	51
1. O Efeito Urashima (Dilatação do Tempo)	54
2. Por que o Tempo Passa Mais Devagar?	56
3. A Lentidão na Passagem do Tempo Afeta Ambas as Partes Igualmente	64
4. Observando a Lentidão da Passagem do Tempo Usando uma Equação.....	73
Usando o Teorema de Pitágoras para Provar a Dilatação do Tempo	78
Quão Mais Lento o Tempo Passa?	80
3	
QUANTO MAIS RÁPIDO UM OBJETO SE MOVE, MAIS CURTO E PESADO ELE FICA? ..	83
1. O Comprimento Contraí Quando Você Anda Mais Rápido?.....	86
2. Você Fica Mais Pesado Quando se Movimenta Mais Rápido?	92
Usando uma Equação para Entender a Contração do Comprimento (Contração de Lorentz) ..	106
Múons com Tempos de Vida Estendidos.....	108
Massa Quando em Movimento.....	109
Transformação de Galileu	109
Segunda Lei do Movimento de Newton	109
Transformação de Lorentz.....	111
Relação entre Energia e Massa	112
A Luz Possui Massa Zero?	113

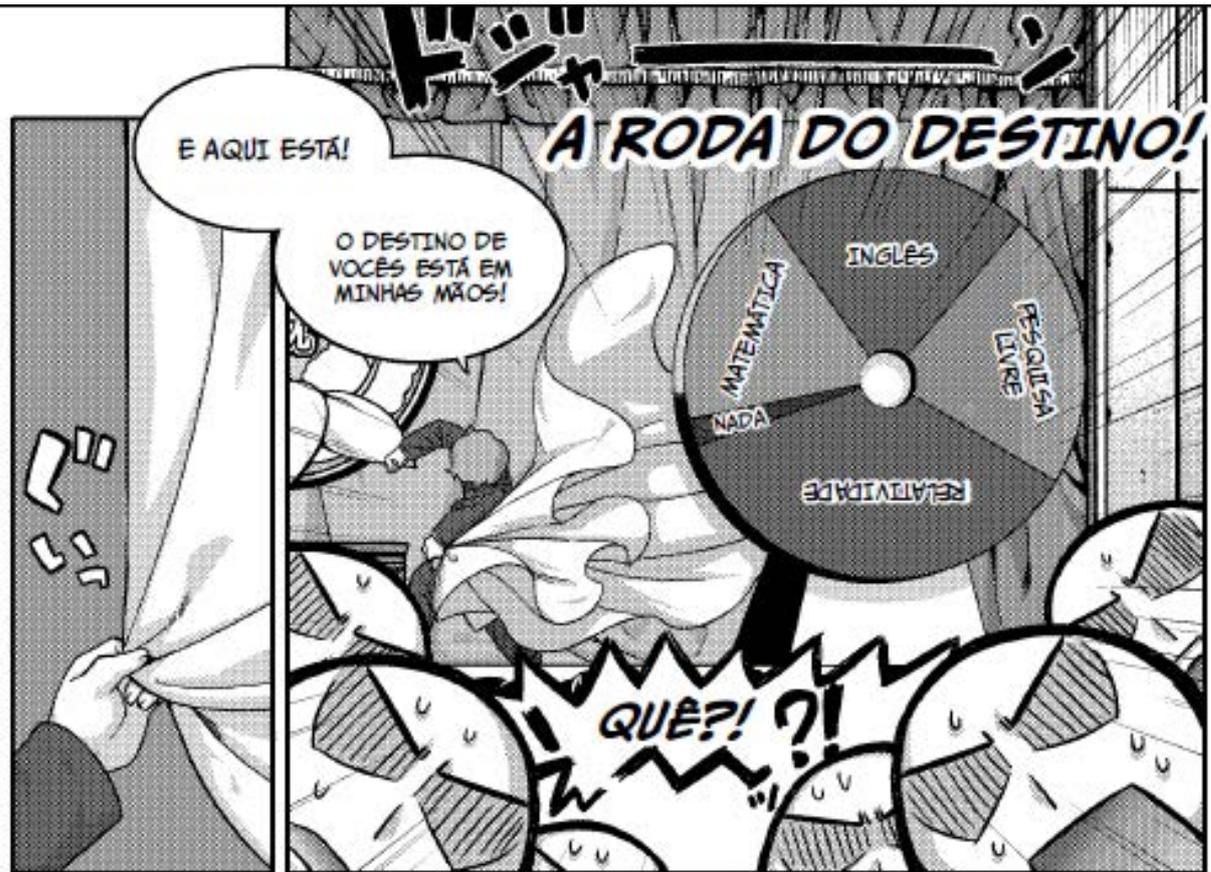
4	
O QUE É RELATIVIDADE GERAL?	115
1. Princípio da Equivalência	120
2. A Luz é Curvada pela Gravidade	133
3. O Tempo Fica Mais Lento por Causa da Gravidade	143
4. Relatividade e o Universo.....	149
A Redução da Passagem do Tempo na Relatividade Geral	158
A Verdadeira Natureza da Gravidade na Relatividade Geral.....	162
Fenômenos Descobertos a Partir da Relatividade Geral	162
Curvatura da Luz (Lente Gravitacional) Próxima a uma Grande Massa (Como o Sol).....	162
Precessão Anômala do Periélio de Mercúrio	164
Buracos Negros.....	164
Sistema de Posicionamento Global e Relatividade	165
EPÍLOGO	167
ÍNDICE	175



CERIMÔNIA DE ENCERRAMENTO CHOCANTE











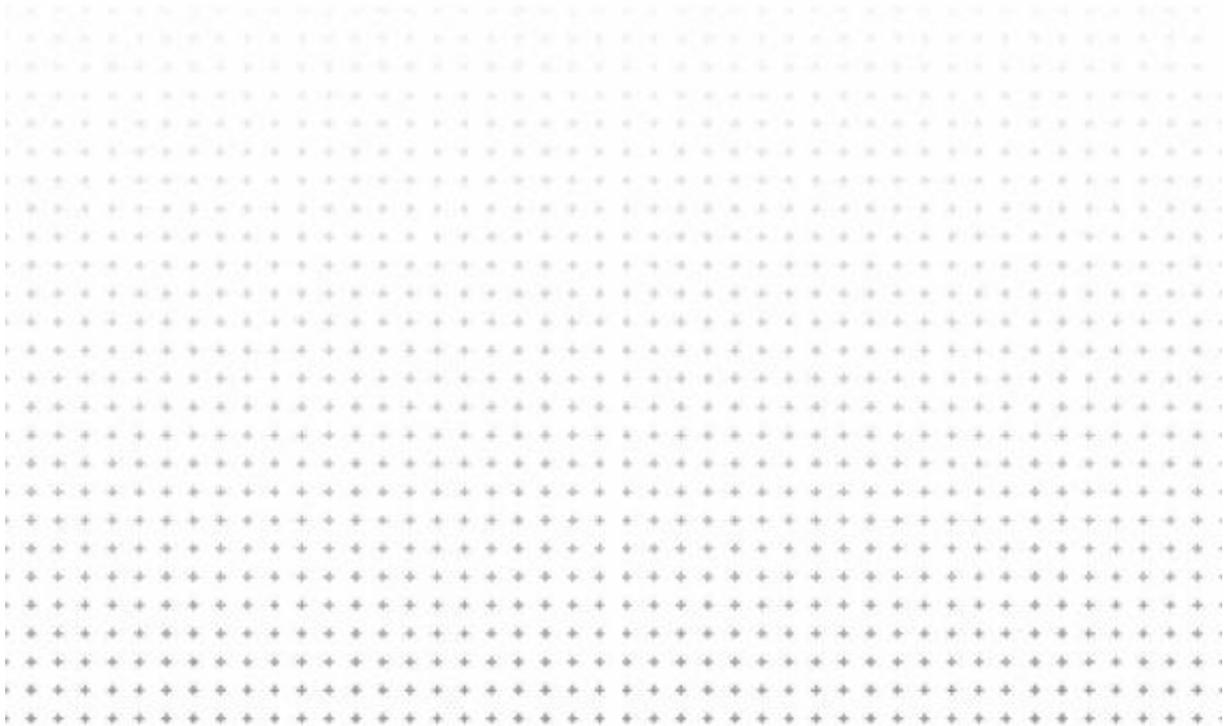




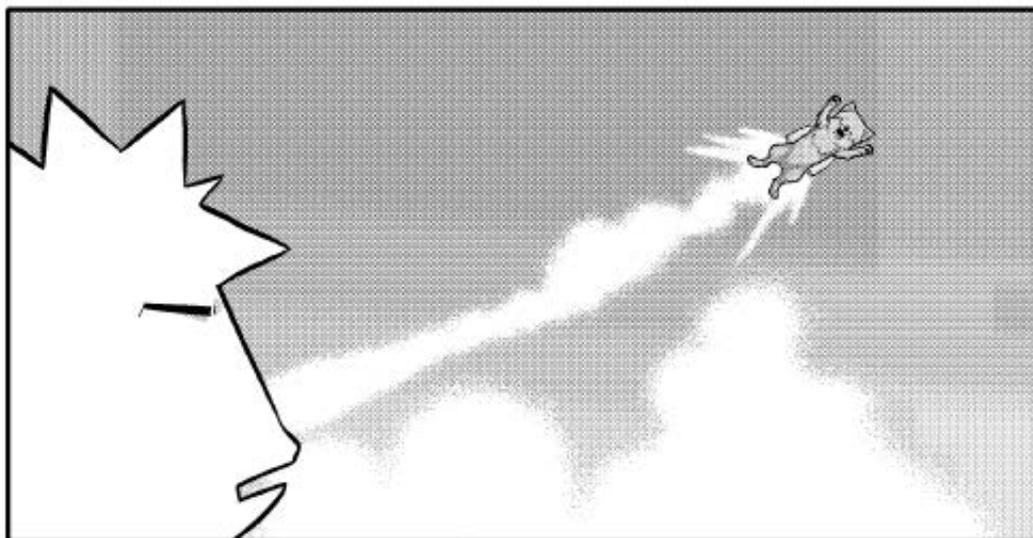




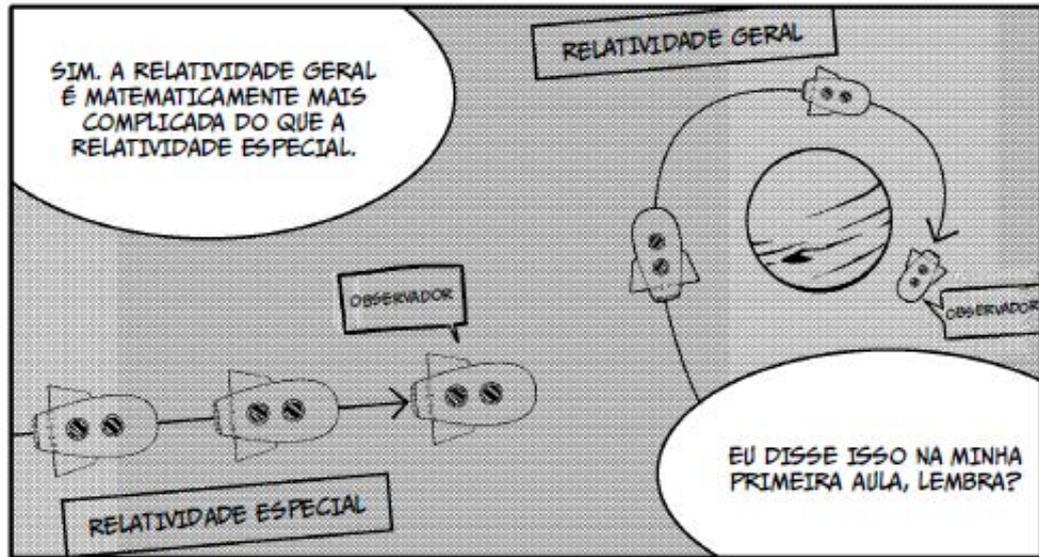
O QUE É RELATIVIDADE
GERAL?

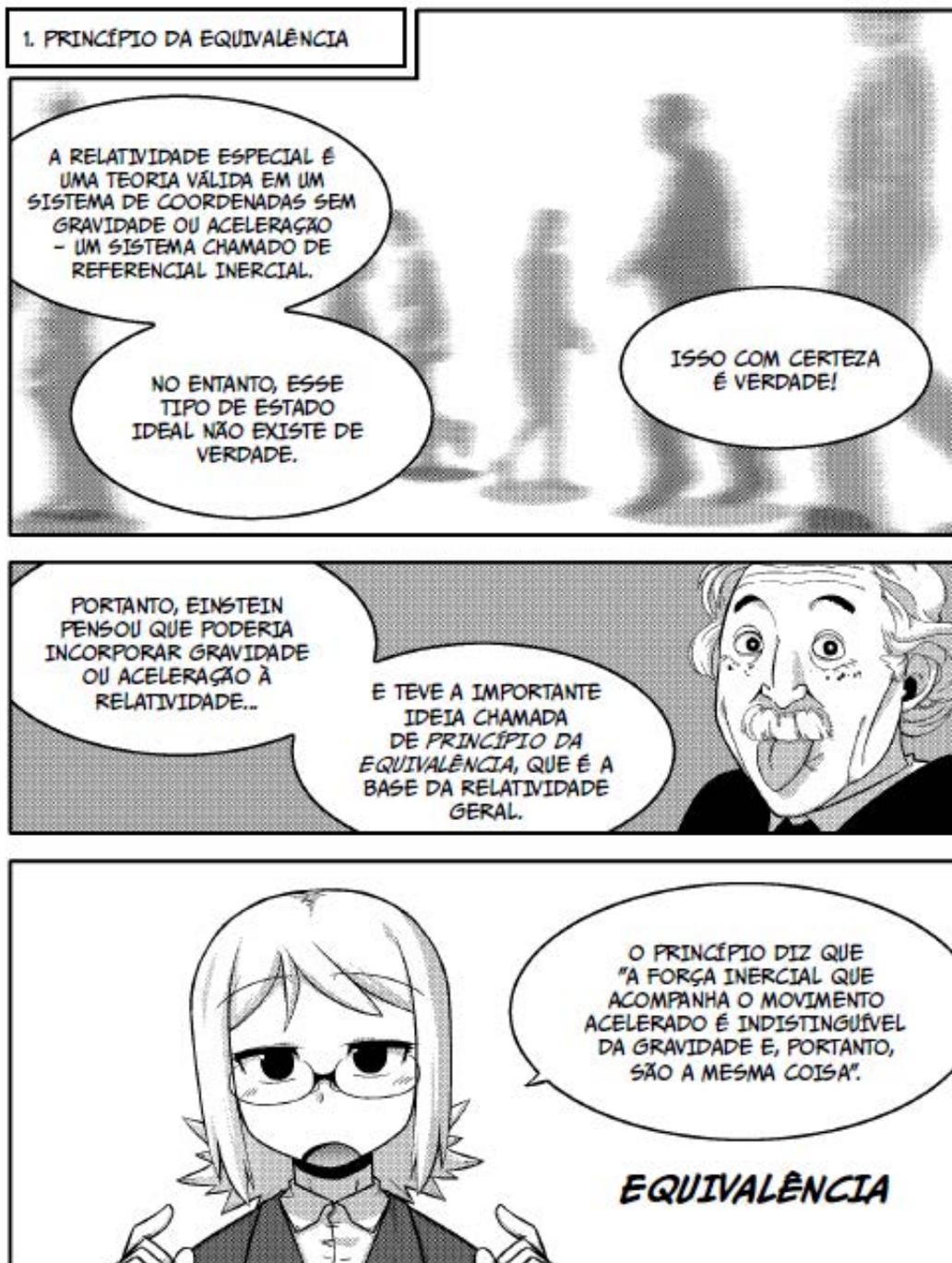








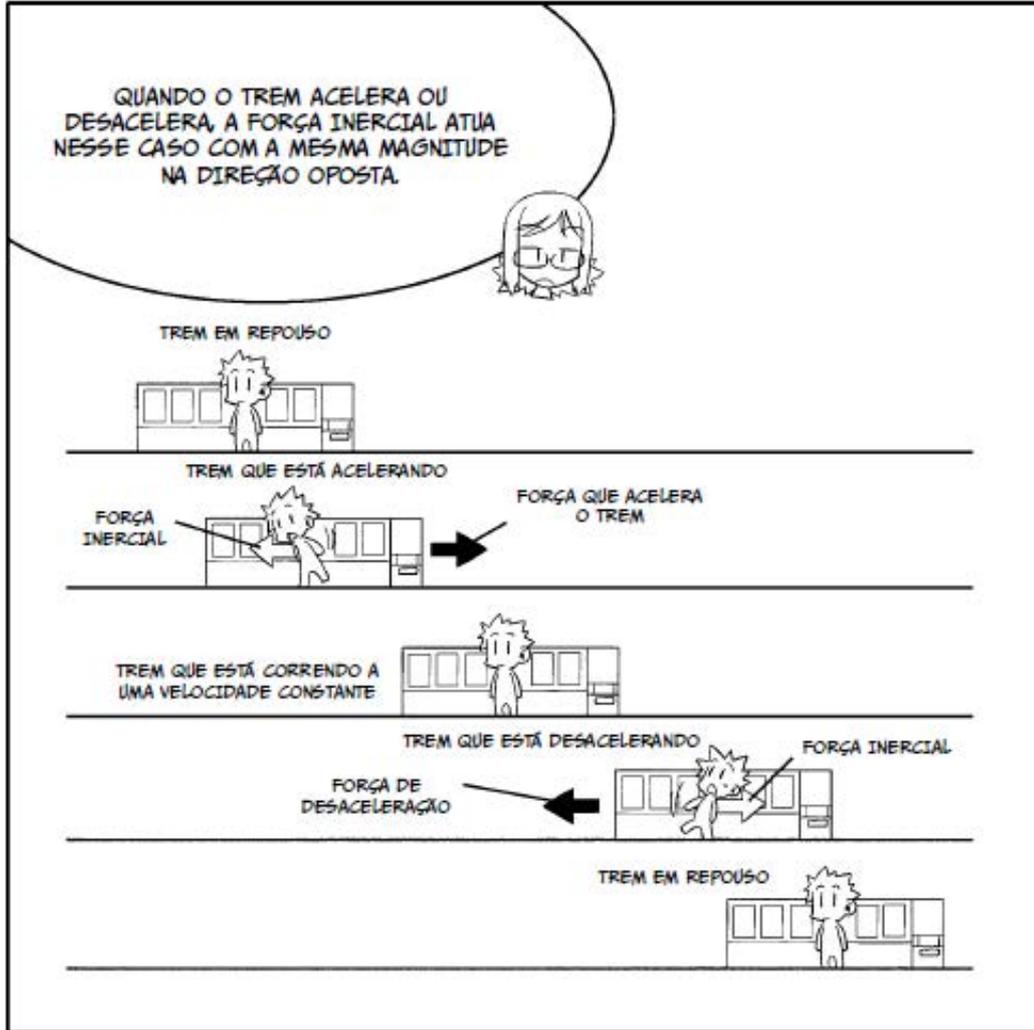


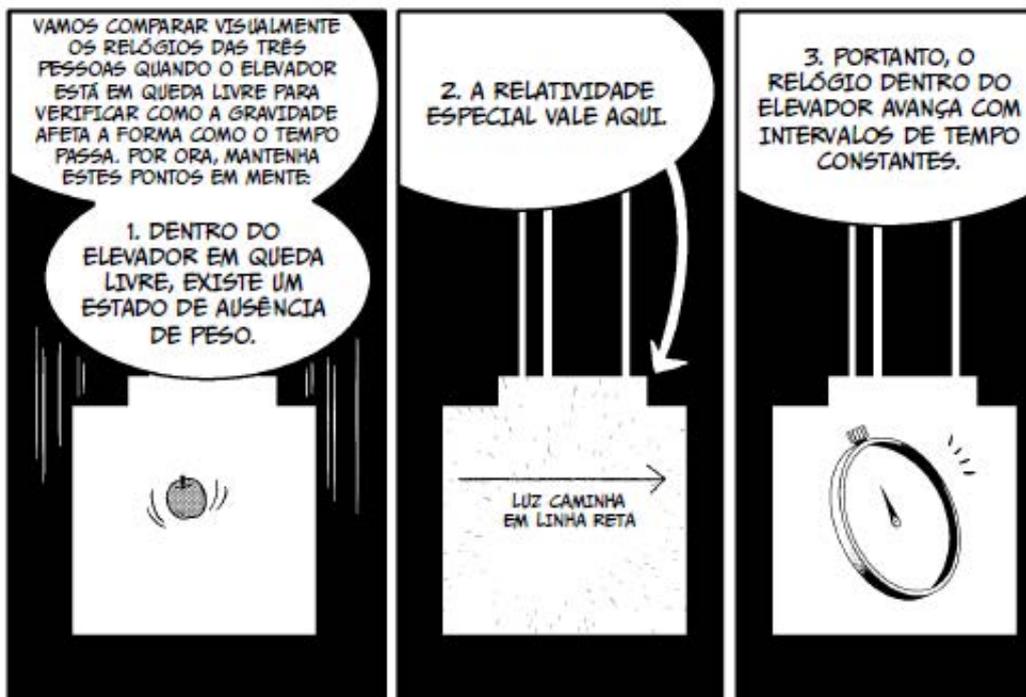


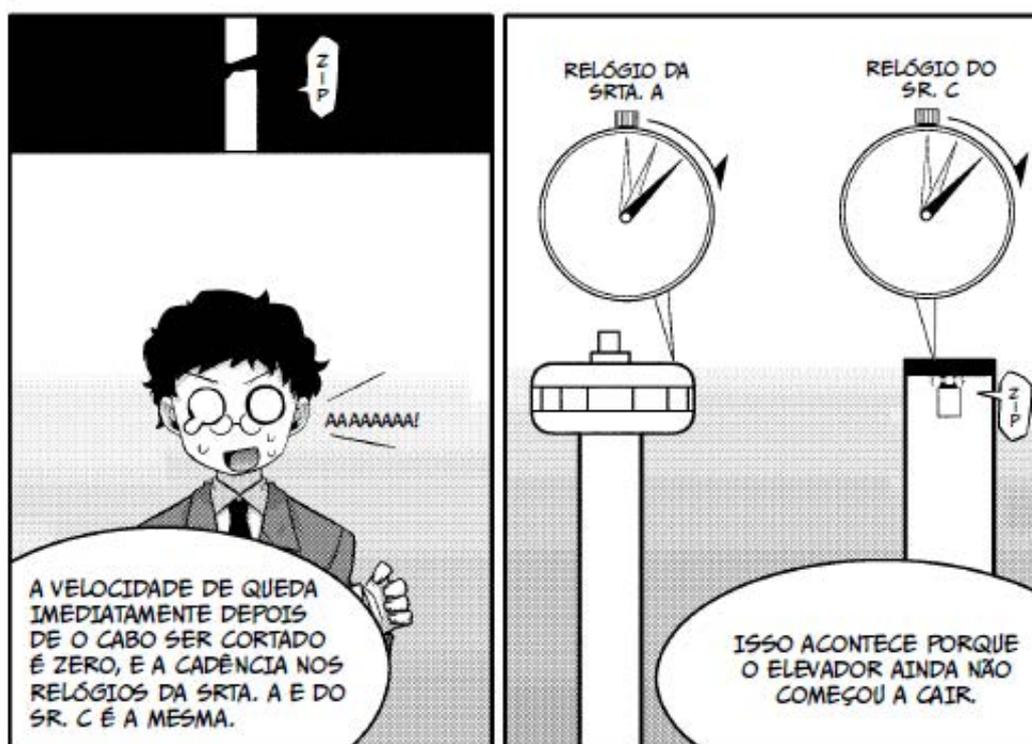














SE A SRTA. B FOSSE VISTA NAQUELE MOMENTO PELO SR. C DE DENTRO DO ELEVADOR, ELE A OBSERVARIA MOVENDO-SE DA BASE EM DIREÇÃO AO TOPO...

... QUE É O CONTRÁRIO DE SEU PRÓPRIO MOVIMENTO DE QUEDA, INDO DO TOPO DA TORRE PARA A BASE.

DE ACORDO COM A RELATIVIDADE ESPECIAL, NO INSTANTE EM QUE O SR. C PASSA PELA SRTA. B, O SR. C OBSERVA O TEMPO DA SRTA. B PASSAR MAIS LENTAMENTE POR CAUSA DA DILATAÇÃO DO TEMPO.

COMO O SR. C ESTÁ EM QUEDA LIVRE, ELE ESTÁ EM UM REFERENCIAL INERCIAL PERFEITO; PORTANTO, A CADÊNCIA COM QUE O TEMPO EM SEU RELÓGIO PASSA É CONSTANTE.

VAMOS ORGANIZAR TUDO ISSO USANDO O SR. C COMO REFERÊNCIA. QUANDO O ELEVADOR COMEÇOU A CAIR, A CADÊNCIA NOS RELÓGIOS DA SRTA. A E DO SR. C ERA A MESMA.

QUANDO O SR. C FINALMENTE CHEGA AO CHÃO, DAMOS UMA OLHADA NOS TRÊS RELÓGIOS. O RELÓGIO DA SRTA. B ANDOU MAIS LENTAMENTE DO QUE O RELÓGIO DO SR. C POR CAUSA DA DILATAÇÃO DO TEMPO.

E COMO OS RELÓGIOS DO SR. C E DA SRTA. A INICIARAM COM O MESMO TEMPO, O RELÓGIO DA SRTA. B ANDOU MAIS LENTAMENTE DO QUE O RELÓGIO DA SRTA. A.

O FLUXO DE TEMPO É MAIS LENTO EM UM LOCAL AFETADO POR UMA FORTE GRAVIDADE, NÃO É!

ISSO MESMO. O TEMPO PASSA MAIS DEVAGAR EM REFERENCIAIS PRÓXIMOS ÀS FONTES DE GRAVIDADE, COMO A TERRA, DO QUE EM REFERENCIAIS MAIS AFASTADOS.

PARA DIZER ISSO MAIS PRECISAMENTE, QUANTO MENOR FOR O POTENCIAL GRAVITACIONAL, MAIS LENTAMENTE O TEMPO PASSARÁ.

DO PUNTO DE VISTA DO SR. C, O CHÃO APARENTE ESTÁ SUBINDO EM SUA DIREÇÃO.

A CADÊNCIA DO RELÓGIO DA SRTA. B É MAIS LENTA DO QUE A CADÊNCIA DO RELÓGIO DO SR. C.

