



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS REALEZA
CURSO DE FÍSICA-LICENCIATURA**

CLAUDINEIA DE OLIVEIRA MARTINS

**APLICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE
SIGNIFICATIVA DESENVOLVIDA PARA ENSINAR RELATIVIDADE RESTRITA NO
ENSINO MÉDIO**

REALEZA

2016

CLAUDINEIA DE OLIVEIRA MARTINS

**APLICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO
POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA DESENVOLVIDA PARA ENSINAR
RELATIVIDADE RESTRITA NO ENSINO MÉDIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Física-Licenciatura da Universidade Federal da Fronteira Sul, como requisito para obtenção do título de Licenciatura em Física.

Orientador: Prof. Dr. Tobias Heimfarth
Coorientador: Prof^a. Dr^a. Mara Fernanda Parisoto

REALEZA

2016

DGI/DGCI - Divisão de Gestão de Conhecimento e Inovação

Martins, Claudineia de Oliveira

APLICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO
POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA DESENVOLVIDA PARA ENSINAR
RELATIVIDADE RESTRITA NO ENSINO MÉDIO/ Claudineia de
Oliveira Martins. -- 2016.
242 f.

Orientador: Tobias Heimfarth .

Co-orientador: Mara Fernanda Parisoto.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Física-Licenciatura , Realeza, PR, 2016.

1. Introdução. 2. Fundamentação teórica. 3. Revisão
da literatura. 4. Procedimentos metodológicos. 5.
Resultados e Considerações Finais. I. , Tobias
Heimfarth, orient. II. Parisoto, Mara Fernanda,
co-orient. III. Universidade Federal da Fronteira Sul.
IV. Título.

CLAUDINEIA DE OLIVEIRA MARTINS

**APLICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO
POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA DESENVOLVIDA PARA ENSINAR
RELATIVIDADE RESTRITA NO ENSINO MÉDIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Física-Licenciatura da Universidade Federal da Fronteira Sul, como requisito para obtenção do título de Licenciatura em Física.

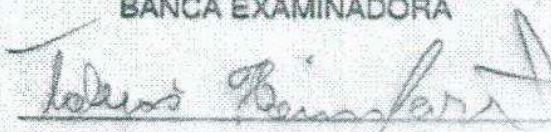
Orientador: Prof. Dr. Tobias Heimfarth

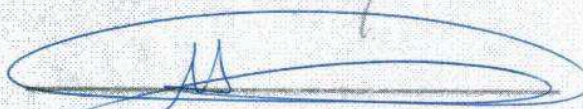
Coorientador: Prof^ª. Dr^ª. Mara Fernanda Parisoto


Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em:

16 / 12 / 2016

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Tobias Heimfarth


Prof. Dr. André Ary Leonel


Prof^ª. Dr^ª. Danuce Marcele Dudek

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer, em primeiro lugar, a Deus, por ter me dado saúde e força para superar os diversos obstáculos que surgiram no decorrer da graduação.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Tobias Heimfarth pelo apoio, pela dedicação, pelos imensos momentos de discussão e reflexão e principalmente por apostar e acreditar em mim, deixando claro que somos seres em constante formação.

A minha coorientadora, Prof^a. Dr. Mara Fernanda Parisoto, pela singular dedicação e interesse na orientação desta dissertação. É, simplesmente, uma satisfação poder ter percorrido esta trajetória sob os cuidados de uma pessoa com sua experiência, dedicação e entusiasmo.

A todos os (as) professores (as) que passaram pela minha vida e que me ensinaram muito do que sei.

Aos professores André, Breno, Fernando, Aline e Danielle, pelas importantes contribuições feitas na qualificação dos questionários.

A minha família, em especial a minha mãe (a dona Maria de Fátima Martins), por sempre estarem presentes, preocupados comigo e com minha formação intelectual e moral.

Ao meu companheiro Max Raphael pela compreensão e paciência nos momentos de dificuldade e principalmente pelas palavras repletas de sabedoria e ternura inefável que me fizeram seguir este caminho com muita alegria e confiança, minha eterna gratidão.

Aos meus queridos amigos, integrantes da terceira turma de graduação em Física, Edimara, Felipe, Flávio e Graciele, companheiros que seguiram

junto comigo esta caminhada e que me proporcionaram momentos inesquecíveis e valiosos ensinamentos.

Ao(s) professor(es) da Escola Carlos Argemiro de Camargo, em especial a professora Aline Balen Bottan, que gentilmente cederam suas aulas para que eu pudesse aplicar minha pesquisa.

Aos alunos que participaram da pesquisa, obrigado pelas importantes sugestões para o aperfeiçoamento do material.

À minha querida amiga Grazieli Siva por ter aceitado participar de forma ativa da aplicação da minha pesquisa em sala de aula.

As escolas Carlos Argemiro de Camargo e Antônio de Castro Alves pela oportunidade de aplicar minha pesquisa.

Jamais considere os estudos como uma obrigação, mas como uma oportunidade invejável para aprender a conhecer a influência libertadora da beleza do reino do espírito, para seu próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade à qual o seu trabalho pertence (Albert Einstein).

RESUMO

A literatura apresenta várias demandas que estão relacionadas ao Ensino de Física Moderna e Contemporânea, dentre elas, destacam-se o desenvolvimento e a avaliação de estratégias para o ensino de conceitos científicos atuais, a carência de profissionais habilitados ou em serviço e, a escassez de trabalhos que investigam tanto as concepções alternativas dos estudantes relativas a temas contemporâneos, quanto os que relatam propostas de ensino aplicadas em sala de aula. Com o intuito de contribuir para esse campo de estudo, este trabalho de pesquisa tem por objetivo investigar a evolução conceitual, procedimental e de aplicação dos estudantes submetidos a uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) adaptada de uma pesquisa de mestrado para ensinar conceitos da Teoria da Relatividade Especial utilizando simulações e o game a slower speed of light. Escolheu-se a área da Relatividade, pois na revisão da literatura em periódicos nacionais e internacionais foram encontrados apenas dez trabalhos que investigam os mecanismos envolvidos no processo de construção de conhecimentos em condições reais de sala de aula. A UEPS proposta por considerar, dentre outros motivos, os subsunçores presentes na estrutura cognitiva do indivíduo, fundamenta-se na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS). Desta forma, foi aplicado um questionário pré-teste para identificar os conhecimentos prévios dos alunos. Tais resultados foram utilizados para construir a proposta e ensinar de acordo com eles. Como metodologia de pesquisa, foi utilizada a integração entre métodos qualitativos e quantitativos devido à possibilidade de aumento da profundidade e extensão dos resultados encontrados a partir do cruzamento das informações. O método qualitativo utilizado foi a análise do conteúdo e no quantitativo utilizou-se a estatística descritiva e inferencial. Na parte do desenvolvimento implementou-se a UEPS em 4 turmas da 3ª série do ensino médio (duas de controle e duas experimentais), escolheu-se este público porque neste estágio o nível de abstração costuma ser maior. Na parte inicial da pesquisa, identificou-se qualitativamente e quantitativamente que a maioria dos alunos possuem conhecimentos prévios sobre relatividade, no entanto, essas concepções apresentam erros epistemológicos e visões deformadas da ciência. Depois da implementação da proposta didática, a maioria dos alunos mostrou indícios de Aprendizagem Significativa, conceitual, procedimental e de aplicação.

Palavras-chave: Ensino de Física. Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS). Relatividade Especial. Aprendizagem Significativa.

RESUMEN

La literatura presenta varias demandas que están relacionadas con enseñanza de Física Moderna y Contemporánea, dentre ellas, se destacan el desarrollo y la evaluación de estrategias para la enseñanza de conceptos científicos actuales y, la falta de profesionales cualificados o servicio y, la escasez de trabajos que investigan tanto las concepciones alternativas de los estudiantes relacionadas a los temas de la actualidad, cuanto los que relatam propuestas de enseñanza aplicadas en el aula. Con la intención de contribuir para este campo de estudio, este trabajo de investigación tiene por objetivo investigar la evolución conceptual, procedimental y de aplicación de los estudiantes sometidos a una Unidad de Ensino Potencialmente Significativo (UEPS) adaptada de una investigación de maestría para la enseñanza de conceptos de la Teoría de la Relatividad Especial haciendo uso de simulaciones y el game a slower speed of light. Se eligió la área de la Relatividad, pués en la revisión de la literatura en revistas nacionales e internacionales fueron encontrados solamente diez trabajos que investigan los mecanismos involucrados en el proceso de construcción de conocimientos en condiciones reales del aula. La UEPS propuesta por considerar, dentre otros motivos, los subsunsores presentes en la estrutura cognitiva del individuo, fundamenta-se en la Teoría del Aprendizaje Significativo (TAS). De este modo, fué aplicado un cuestionário pre-teste para la identificación de los conocimientos previos de los alumnos. Estos resultados fueron utilizados para la construcción de la propuesta y enseñar de acuerdo con ellos. Como metodología de investigación, fue utilizada la integración entre métodos cualitativos y cuantitativos debido a la posibilidad de aumento de la profundidad y extensión de los resultados encontrados a partir del cruce de las informaciones. El método cualitativo utilizado fué el análisis del contenido y en el cuantitativo se utilizó la estadística descriptiva y inferencial. En la parte del desarrollo se implementó a la UEPS en cuatro turmas de 3^o grado de la enseñanza media (dos de controle e dos experimentales), se eligió este público porque en esta etapa el nivel de abstración costumbra ser mayor. En la parte inicial de la investigación, se identificó cualitativamente e cuantitativamente que la mayoría de los estudiantes tienen conocimientos previos sobre relatividad, pero, esas concepciones presentan errores epistemológicos y visiones deformadas de la ciência. Después de la implementación de la propuesta didáctica, la mayoría de los alumnos mostró indícios de Aprendizaje Significativa, conceptual, procedimental y de aplicación.

Palabras-clave: Enseñanza de Física. Unidad de Enseñanza Potencialmente Significativo (UEPS). Relatividad Especial. Aprendizaje Significativo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: síntese da introdução.	14
Figura 2: Síntese da fundamentação teórica.	21
Figura 3: Experimento mental sobre o fenômeno da simultaneidade	28
Figura 4: Relógio de luz.	30
Figura 5: Experimento mental sobre o fenômeno da dilatação temporal.	31
Figura 6: Contração de Lorentz.	33
Figura 7: (a) A régua A tem comprimento próprio no referencial R e (b) a régua B tem comprimento próprio no referencial R'.	34
Figura 8: Síntese da revisão da literatura.	40
Figura 9: Síntese dos procedimentos metodológicos.	55
Figura 10: Captura de tela do jogo a slower speed of light.	63
Figura 11: Síntese dos resultados de pesquisa.	76
Figura 12: Justificativas positivas dos alunos na primeira categoria.	141
Figura 13: Críticas dos alunos na primeira categoria.	142
Figura 14: Justificativas positivas na segunda categoria.	142
Figura 15: Críticas dos alunos na segunda categoria.	143
Figura 16: Críticas dos alunos na terceira categoria.	144
Figura 17: Justificativas positivas dos alunos na categoria II.	145
Figura 18: Críticas dos alunos na categoria II.	147
Figura 19: Justificativas positivas apontados pelos alunos na categoria III. ...	147
Figura 20: Aspectos a melhorar apontados pelos alunos na terceira na categoria III.	149
Figura 21: Síntese das considerações finais.	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Número de trabalhos encontrado na revisão da literatura aplicados em sala de aula no ensino médio.....	48
Tabela 2: Categorias construídas a partir das respostas dos alunos a primeira questão.....	78
Tabela 3: Ação planejada para modificar os conhecimentos prévios e diminuir os erros epistemológicos apresentados pelos estudantes.	79
Tabela 4: Ação proposta para uma próxima implementação da UEPS nos casos em que não houve indícios de AS.....	87
Tabela 5: Categorias construídas a partir das respostas dos alunos a segunda questão.....	88
Tabela 6: Ação planejada para modificar os conhecimentos prévios e diminuir os erros epistemológicos apresentados pelos estudantes.	89
Tabela 7: Categorias construídas a partir das respostas dos alunos a terceira questão.....	96
Tabela 8: Ação planejada para modificar os conhecimentos prévios e diminuir os erros epistemológicos apresentados pelos estudantes.	97
Tabela 9: Categorias construídas a partir das respostas dos alunos a quarta questão.....	104
Tabela 10: Ação planejada para modificar os conhecimentos prévios e diminuir os erros epistemológicos apresentados pelos estudantes.	104
Tabela 11: Ação proposta para uma próxima implementação da UEPS nos casos em que não houve indícios de AS.....	109
Tabela 12: Categorias construídas a partir das respostas dos alunos a quinta questão.....	110
Tabela 13: Ação planejada para modificar os conhecimentos prévios e diminuir os erros epistemológicos apresentados pelos estudantes.	110
Tabela 14: Categorias construídas a partir das respostas dos alunos a sexta questão.....	112
Tabela 15: Ação planejada para modificar os conhecimentos prévios e diminuir os erros epistemológicos apresentados pelos estudantes.	112

Tabela 16: Categorias construídas a partir das respostas dos alunos a sétima questão.....	115
Tabela 17: Ação planejada para aprofundar os conteúdos relacionados aos efeitos relativísticos presentes no jogo “a slower speed of light”, modificar os conhecimentos prévios e diminuir os erros epistemológicos apresentados pelos estudantes.....	115
Tabela 18: Categorias construídas a partir das respostas dos alunos a oitava questão.....	122
Tabela 19: Categorias construídas a partir das respostas dos alunos a nona questão.....	126
Tabela 20: Categorias construídas a partir das respostas dos alunos a décima questão.....	131
Tabela 21: Ação planejada para modificar os conhecimentos prévios e diminuir os erros epistemológicos apresentados pelos estudantes.	132
Tabela 22: Média entre o pré-teste e o pós-teste.....	137
Tabela 23: Significância entre o pré-teste e o pós-teste.	138
Tabela 24: Análise quanto à atividade desenvolvida.....	140

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
1.1	<i>JUSTIFICATIVAS.....</i>	14
1.2	<i>QUESTÕES DE PESQUISA</i>	19
1.3	<i>OBJETIVOS.....</i>	19
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1	TEORIA DA RELATIVIDADE ESPECIAL	22
2.1.1	Espaço	23
2.1.2	O sistema de coordenadas.....	23
2.1.3	Tempo	24
2.1.4	Referenciais.....	24
2.1.5	Princípios da Relatividade	25
2.1.6	Transformações de Lorentz	27
2.1.7	Simultaneidade de Eventos.....	27
2.1.8	Dilatação Temporal	29
2.1.9	Contração do Espaço	32
2.1.10	Efeitos Relativísticos	34
2.1.10.1	Efeito Doppler Relativístico	35
2.1.10.2	Efeito Holofote.....	35
2.1.10.3	Efeito Terrell.....	36
2.2	<i>TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA (TAS) DE AUSUBEL.....</i>	36
3.	REVISÃO DA LITERATURA	40
3.1	<i>UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS (UEPS) ..</i>	41
3.1.1	Descrição dos trabalhos.....	42
3.2	<i>TEORIA DA RELATIVIDADE ESPECIAL</i>	46
3.2.1	Descrição dos trabalhos.....	48
4.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	55
4.1	<i>METODOLOGIAS DO ENSINO</i>	55
4.1.1	<i>Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS)</i>	55
4.1.1.1	Alteração da UEPS construída por Riboldi (2015).....	56
4.1.1.1.1	O que foi alterado.....	57
4.1.2	<i>Uso de jogos e simulações na aprendizagem</i>.....	59
4.1.2.1	<i>O Jogo A Slower Speed Of Light</i>	61
4.1.2	<i>Metodologias das aulas</i>.....	63

4.1.2.1	Conhecimentos Prévios	63
4.1.3	Contexto da implementação.....	64
4.2	METODOLOGIA DE PESQUISA.....	64
4.2.1	Pesquisa e Desenvolvimento	65
4.2.2	Pesquisa Qualitativa	66
4.2.2.1	Análise do conteúdo.....	67
4.2.3	Pesquisa Quantitativa.....	69
4.2.3.1	Fidedignidade e Validade.....	69
4.2.4	As Etapas da Pesquisa	72
4.2.5	Coleta de Dados.....	73
4.2.6	Análise dos Dados.....	74
5.	RESULTADOS.....	76
5.1.	<i>INDÍCIOS DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA (AS)</i>	<i>76</i>
5.1.1	Análise Qualitativa dos dados obtidos a partir das dez questões propostas para o grupo experimental antes e depois da implementação da UEPS	77
5.1.1.1	Análise qualitativa da primeira questão	78
5.1.1.2	Análise qualitativa da segunda questão	88
5.1.1.3	Análise qualitativa da terceira questão	96
5.1.1.4	Análise qualitativa da quarta questão	103
5.1.1.5	Análise qualitativa da quinta questão	109
5.1.1.6	Análise qualitativa da sexta questão	112
5.1.1.7	Análise qualitativa da sétima questão	114
5.1.1.8	Análise qualitativa da oitava questão	122
5.1.1.9	Análise qualitativa da nona questão	126
5.1.1.10	Análise qualitativa da décima questão	131
5.1.2	Análise Quantitativa dos dados obtidos a partir do questionário e comparação entre grupo de controle e experimental	136
5.1.3	Triangulação dos Dados.....	139
5.2	ALTERAÇÃO DA PROPOSTA.....	140
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	151
7.	REFERÊNCIAS.....	157
8.	APÊNDICES.....	164
8.1	PROPOSTA DE UEPS PARA ENSINAR RELATIVIDADE.....	164
8.2	PLANO DE ENSINO DO GRUPO EXPERIMENTAL.....	168
8.3	PLANO DE ENSINO DO GRUPO DE CONTROLE.....	175

8.4	<i>PRÉ-TESTE E PÓS-TESTE.....</i>	180
9.	ANEXOS	198
9.1	<i>QUESTIONÁRIO DE AUTORIZAÇÃO DOS ALUNOS</i>	198
9.2	<i>ANÁLISE DOS MÉTODOS E/OU DAS ESTRATÉGIAS DE ENSINO</i>	200
9.3	<i>PLANOS DE AULA DO GRUPO EXPERIMENTAL (UEPS).....</i>	201
9.4	<i>PLANOS DE AULA DO GRUPO DE CONTROLE.....</i>	222
9.5	<i>PROVA</i>	240

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresenta-se uma breve contextualização sobre a inserção do ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio (EM). Na sequência, apresentam-se os problemas que são destacados pela literatura na área de ensino de FMC, visando reduzir a lacuna de trabalhos bem fundamentados no que se refere ao tema deste trabalho de pesquisa (OSTERMANN; MOREIRA, 2000; GRECA; MOREIRA, 2001; PEREIRA; OSTERMANN, 2009; CARUSO; FREITAS, 2009; MADRUGA; CAPPELLETO, 2011; PANTOJA et al., 2011; RODRIGUES, 2011; RODRIGUES et al., 2014). Posteriormente, é apresentada a proposta do trabalho de pesquisa, justificando a partir da literatura a escolha da FMC, da Relatividade, do público alvo e das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS). Por fim, são apresentadas as questões da pesquisa e os objetivos que se buscou atingir ao longo da implementação da proposta de ensino. Na figura 1 há uma síntese do capítulo.

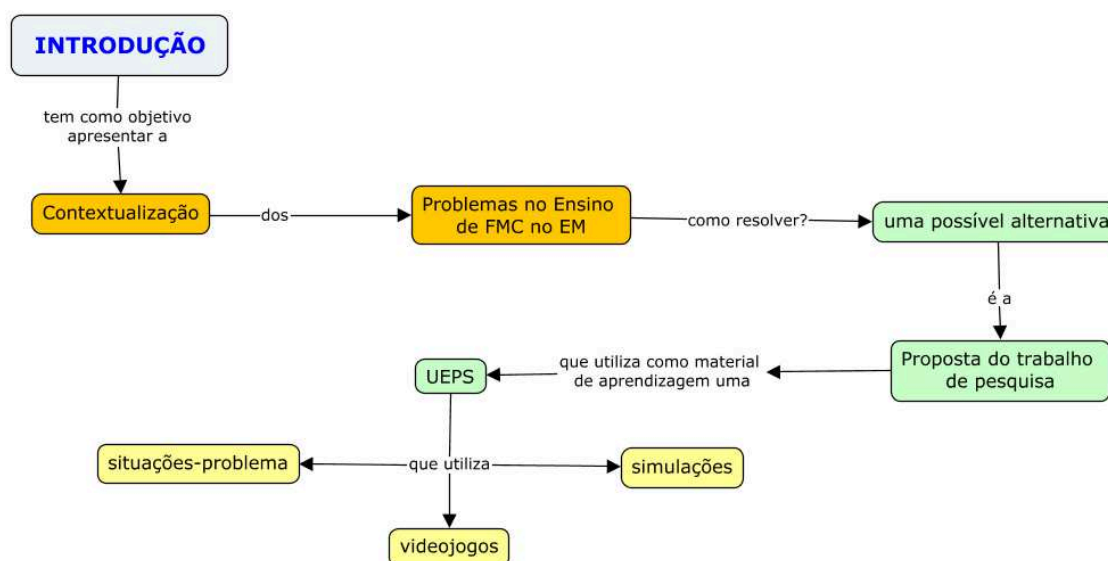


Figura 1: síntese da introdução.

1.1 Justificativas

As discussões sobre a inserção da FMC no EM têm sido tema de vários estudos nos últimos anos (OSTERMANN; MOREIRA, 2000; GRECA;

MOREIRA, 2001; SCHERR et al., 2001; SCHERR et al., 2002; PÉREZ; SOLBES, 2003; ARRIASSECQ; GRECA, 2004; KARAM, 2005; MACHADO; NARDI, 2006; PÉREZ; SOLBES, 2006; OLIVEIRA; VIANNA; GERBASSI, 2007; PEREIRA; OSTERMANN, 2009; CARUSO; FREITAS, 2009; MADRUGA; CAPPELLETO, 2011; PANTOJA et al., 2011; RODRIGUES; DOMINGUINI, 2012; RODRIGUES et al., 2014; OTERO et al., 2015). Entretanto, como apontam Pereira e Ostermann (2009) numa revisão da literatura sobre o ensino de FMC, a pesquisa educacional em relação a inserção da FMC no EM não é muito extensa e uma parte substancial desses estudos são restritos a estratégias de ensino voltadas para a sua inserção em sala de aula (OSTERMANN; MOREIRA, 2000; GRECA; MOREIRA, 2001; PEREIRA; OSTERMANN, 2009; RODRIGUES, 2011; RODRIGUES et al., 2014).

Dos 102 artigos consultados por esses autores, “52 trabalhos foram classificados como bibliografia de consulta para professores enquanto que os 50 restantes foram distribuídos” (PEREIRA; OSTERMANN, 2009, p. 413) entre as seguintes categorias: propostas didáticas aplicadas em sala de aula, levantamento de concepções e análise curricular. “Isto significa, uma produção de 52 trabalhos de desenvolvimento contra 50 artigos apresentando resultados de pesquisa” (PEREIRA; OSTERMANN, 2009, p. 413). Mas, dentre os trabalhos de pesquisa apresentados, Pereira e Ostermann (2009) constataram que apenas 16 trabalhos testaram o conhecimento de estudantes (concepções) acerca de temas de FMC, “o que corresponde a 32% dos trabalhos de pesquisa consultados e 15,69% da amostra total” (PEREIRA; OSTERMANN, 2009, p. 413).

Da mesma forma, outras pesquisas científicas constataram que a maioria das publicações são materiais de divulgação e que existe uma escassez de trabalhos que investigam tanto as concepções alternativas dos estudantes relativas a temas contemporâneos, quanto os que relatam propostas de ensino aplicadas em sala de aula (OSTERMANN; MOREIRA, 2000; GRECA; MOREIRA, 2001; PEREIRA; OSTERMANN, 2009; MADRUGA; CAPPELLETO, 2011; PANTOJA et al., 2011). E no caso da Relatividade, algumas pesquisas (PEREIRA; OSTERMANN, 2009; MADRUGA; CAPPELLETO, 2011; RODRIGUES et al., 2014) mostram que, embora haja um número considerável de estudos envolvendo o ensino de FMC, dos 102 artigos

consultados apenas 24 (PEREIRA; OSTERMANN, 2009) abordam, especificamente, Relatividade Especial (RE) e Relatividade Geral (RG). Sendo que destes 24 trabalhos analisados, apenas 8 trabalhos (PÉREZ; SOLBES, 2006; MACHADO; NARDI, 2006; KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2005; ARRIASSECQ; GRECA, 2006; KARAM et al., 2006; RODRIGUES, 2011; RODRIGUES et al., 2014) relatam propostas de ensino aplicadas em condições reais de sala de aula no nível médio, mas como ressalta Pereira e Ostermann (2009):

“A maioria dos trabalhos de pesquisas que avaliam propostas didáticas em sala de aula se ocupa da organização do conteúdo e do rigor científicos com que eles são apresentados. Embora o rigor e a ênfase em conceitos-chave sejam imprescindíveis para um bom ensino, é necessário também investigar os processos conduzidos em sala de aula que estruturam e condicionam a aprendizagem. Somente assim poderemos adquirir uma melhor compreensão dos mecanismos utilizados por professores e alunos na construção de conhecimentos relativos a temas de FMC.” (PEREIRA e OSTERMANN, 2009, p. 413).

Por isso, um dos objetivos deste trabalho de pesquisa foi o de investigar os processos conduzidos em sala de aula que estruturam e condicionam a aprendizagem dos estudantes e, para tanto levou-se em consideração na elaboração da proposta didática os conhecimentos prévios presentes na estrutura cognitiva dos estudantes, visando assim elaborar um material potencialmente significativo que fosse capaz de contribuir para uma aprendizagem mais significativa de conhecimentos conceituais, procedimentais e de aplicação de conceitos básicos da teoria da RE por parte dos estudantes. Desta forma, buscou-se realizar uma revisão mais recente da literatura buscando por trabalhos publicados, na área da Relatividade Especial, que relatam propostas didáticas aplicadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem no EM (conforme melhor detalhado no capítulo 4).

Outras pesquisas (OSTERMANN; MOREIRA, 2000; GUERRA, BRAGA e REIS, 2007) mostram ainda que, apesar da publicação dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) ter trazido contribuições para o debate acerca da necessidade de se abordar assuntos relacionados à Física dos séculos XX e XXI, o ensino de FMC continua ausente não só nos currículos praticados na maioria das escolas brasileiras, como também de alguns vestibulares nacionais e do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM). Em contrapartida, por uma

exigência do Ministério da Educação e pelas metas anunciadas nos PCNs, as novas edições de algumas coleções de livros didáticos inseriram temas de FMC no último volume, o qual geralmente é destinado a 3ª série do EM, porém como destacam algumas pesquisas recentes (OSTERMANN; RICCA, 2004; DOMINGUINI, 2012; JARDIM et al., 2015) a maioria dos livros didáticos, aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) de física para a sua adoção a partir do ano de 2015, apresentam erros conceituais ou representações “*que poderiam gerar interpretações equivocadas por parte dos estudantes e professores*” (JARDIM et al., 2015) e, isto implica que a maioria das obras não apresentam, de forma adequada, a discussão sobre temas de FMC (JARDIM et al., 2015). Além disso, muitos professores ainda não se sentem confortáveis em ensinar esses temas em sala de aula, apesar dos esforços de vários pesquisadores da área de ensino de Física nas últimas décadas. Como exemplo de tal esforço, foram desenvolvidos trabalhos para consultas de professores envolvendo a construção de materiais didáticos (MEDEIROS; MEDEIROS, 2005; SANTOS, 2006; GUERRA; BRAGA; REIS, 2007; PEREIRA; OSTERMANN, 2009; RODRIGUES, 2011; RODRIGUES et al., 2014). Mas, a resistência de alguns professores em introduzir conteúdos de FMC em seus planejamentos de ensino está ou em sua formação, ou nas lacunas deixadas por ela (MONTEIRO; NARDI; BASTOS FILHO, 2009; KIKUCHI; et al., 2013; RODRIGUES et al., 2014). Mas é importante destacar, que não existe uma formação completa/acabada. A busca pela formação permanente, principalmente no que tange ao ensino de FMC, é inerente a atuação docente.

Com relação às tendências de pesquisas, diversos autores mostram que a maioria das implantações de propostas didáticas sobre FMC ocorreram no nível superior, e a grande maioria dos temas de pesquisa referem-se à Mecânica Quântica (OSTERMANN; MOREIRA, 2000; PEREIRA; OSTERMANN, 2009; PANTOJA et al., 2011). Dos 102 trabalhos consultados, apenas 22 (PEREIRA; OSTERMANN, 2009) se referiam à inserção de temas de FMC no EM e “*um trabalho relata uma experiência didática desenvolvida no ensino fundamental*” (PEREIRA; OSTERMANN, 2009, p. 413). Além de ser escassa a literatura a respeito de questões metodológicas sobre o ensino de FMC nas escolas, há várias divergências a respeito de que caminho deve ser

seguido (OSTERMANN; MOREIRA, 2000; PANTOJA et al., 2011). Desta forma, a escolha de trabalhar a FMC no EM, mais especificamente, a RE, partiu dessas problemáticas, principalmente a necessidade de investigar quais aspectos da FMC são possíveis de serem ensinados no EM e quais abordagens devem ser priorizadas. Contudo, ressalta-se que o objetivo principal dessa escolha é a de reduzir a lacuna de pesquisas que investigam os resultados de aprendizagem em condições reais de sala de aula no EM. Reduzindo assim o fosso que separa as escolas de formação básica das instituições de pesquisa e formação docente.

Procurando contribuir para o debate, o presente trabalho de pesquisa pretende utilizar como material didático a Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) construída por Riboldi (2015). No entanto, como destaca Moreira (2012) para que um material de aprendizagem seja cada vez mais potencialmente significativo, ao ser aplicado em sala de aula ele deve ser submetido a uma avaliação que precisa resultar em modificações a fim de adequar cada vez mais esse material didático à realidade das salas de aula. Por isso, pretende-se modificar a UEPS construída por Riboldi (2015) e reaplicar em quatro turmas do EM (duas de controle e duas experimentais) com o objetivo de responder a três questões de pesquisa propostas (seção 1.2) nesse trabalho de pesquisa.

No intuito de proporcionar aprendizagem para o maior número de estudantes, este estudo parte da ideia de que diferentes metodologias de ensino devem ser abordadas, e no contexto desta pesquisa, trabalha-se com simuladores e com o game a *Slower Speed of Light*, de modo que o uso dessas ferramentas tecnológicas favoreçam a aprendizagem significativa (AS) de conceitos da teoria da RE. Pois, como destaca Moreira (2011, p.25), “*um bom ensino deve ser construtivista, estar centrado no aluno, promover a mudança conceitual e facilitar a aprendizagem significativa*”. Desta forma, pretende-se avaliar por meio de uma análise qualitativa e quantitativa não só as evidências de AS, mas também as dificuldades dos sujeitos de pesquisa em compreender os conceitos envolvidos na teoria da RE, propondo assim maneiras de saná-las.

1.2 Questões de pesquisa

A partir do contexto e das justificativas apresentadas na seção anterior, guia-se a presente pesquisa a seguinte problemática: quais aspectos da Teoria da Relatividade Especial (TRE) são possíveis de serem ensinados no ensino médio e quais abordagens devem ser priorizadas? Tal problemática levou a elaboração das seguintes questões investigativas:

1) O material de aprendizagem adaptado de uma pesquisa de mestrado utilizando animações e o jogo a *Slower Speed of Light* para ensinar conceitos da Teoria da Relatividade Especial é potencialmente significativo?.

2) É significativa a aprendizagem de conhecimentos conceituais, procedimentais e de aplicação básicos da Teoria da Relatividade Especial, demonstrada pelos alunos, a partir da implementação da proposta didática?

3) A UEPS proposta para ensinar Relatividade Especial utilizando animações e o jogo a *Slower Speed of Light* é mais facilitadora da Aprendizagem Significativa do que as aulas tradicionais (aulas expositivas seguidas de resolução de exercícios)?

1.3 Objetivos

Este trabalho de pesquisa tem como objetivo principal investigar a evolução conceitual, procedimental e de aplicação dos estudantes submetidos a uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) desenvolvida a partir de simulações e do jogo a *Slower Speed of Light* para o ensino de Relatividade Especial. Desse modo, a pesquisa visa atingir os seguintes objetivos inerentes as questões investigativas:

1) Modificar, aplicar e analisar a UEPS adaptada de uma pesquisa de mestrado a fim de verificar se a nova versão do material de aprendizagem é potencialmente significativo.

2) Verificar se a aprendizagem de conhecimentos conceituais, procedimentais e de aplicação da ciência, demonstradas pelos estudantes submetidos a UEPS é potencialmente significativa.

3) Avaliar se a evolução conceitual, procedimental e de aplicação dos estudantes submetidos a uma UEPS é mais facilitadora da Aprendizagem Significativa do que as aulas tradicionais.

Segue no próximo capítulo, a apresentação dos referenciais teóricos utilizados no trabalho de pesquisa.

Quântica se mostrará divisível. Essa compreensão do mundo subatômico levou ao desenvolvimento de diversas tecnologias utilizadas atualmente.

Profundas mudanças também ocorreram com as noções de tempo e espaço, que de acordo com a Teoria da Relatividade passaram a ser entendidas como dependentes do referencial de observação adotado.

2. 1 Teoria da Relatividade Especial

Entre março e junho de 1905 Albert Einstein, com apenas 29 anos de idade, surpreendeu o mundo ao publicar cinco artigos fundamentais sobre diferentes assuntos. O primeiro artigo deste ano Miraculoso de Einstein foi publicado com o título "Sobre um ponto de vista heurístico concernente à geração e transformação da luz". Entre os cinco, este foi considerado pelo próprio Einstein revolucionário. É neste artigo que Einstein defende a hipótese do quantum de luz e também explica o modelo fotoelétrico. O segundo tratava de "uma nova determinação das dimensões moleculares", o terceiro resolvia a questão do movimento browniano, o quarto artigo era sobre "a eletrodinâmica dos corpos em movimento", o qual apresentava uma nova teoria da Relatividade e, depois, TRE e o quinto ("a inércia de um corpo depende da sua energia?") Einstein propõe sua famosa equação $E = mc^2$. Onze anos depois, Einstein publicou uma outra versão, incorporando a gravitação, que se tornou conhecida como Teoria da Relatividade Geral.

A teoria da relatividade descreve a relação entre espaço e tempo. Em particular, elas não são quantidades independentes, mas em vez disso, dois lados da mesma moeda, nomeada espaço-tempo. Existem dois postulados na TRE: o primeiro denominado princípio da relatividade diz que as leis da física são as mesmas em todos os referenciais inerciais e, o segundo chamado de princípio da invariância da velocidade luz, evidencia que a velocidade da luz no espaço vazio é a mesma em todos os sistemas de referência, independente do movimento do corpo emissor.

Esses postulados estão em contradição direta com as noções tradicionais de espaço e tempo absolutos que forneceram o plano de fundo da física antes do século XX. Como se sabe espaço e tempo são relativos, ou seja, dependentes um do outro. Mas, para compreender a teoria da

Relatividade é preciso entender primeiro como são feitas as medidas de tempo e de espaço, dois conceitos importantíssimos que estão ligados ao conceito de referencial.

2.1.1 Espaço

Em virtude da interpretação física da distância, tem-se condições de estabelecer a distância entre dois pontos de um corpo rígido por meio de medidas. E para isso, tem-se a necessidade de estabelecer um padrão (barra rígida ou régua) como unidade de medida. Sendo então A e B a distância entre dois pontos, pode-se aplicar um padrão ou unidade que pode ser, por exemplo, uma barra rígida de 1 metro a partir de A tantas vezes quantas forem necessárias para chegar até B. O número mínimo de vezes que este padrão é necessário para cobrir a distância medida é a medida numérica do segmento AB^1 . Esta restrição ao número mínimo de unidades, no espaço euclidiano, está associado a uma reta entre dois pontos. Pode-se por meio da geometria euclidiana generalizar as medidas de espaço para valores fracionários da unidade. Atualmente, utiliza-se a distância percorrida pela luz em um determinado tempo como unidade padrão, entretanto, esta definição é consequência da relatividade, e não se pode assumi-la ainda.

2.1.2 O sistema de coordenadas

Um evento é um ponto no espaço-tempo, isto é, um lugar específico em um instante de tempo específico. Pode-se associar uma ocorrência física ou a posição de um objeto em um instante a um evento, que tem determinadas coordenadas, os números que endereçam o evento, dadas por um referencial. As coordenadas espaciais são obtidas por um sistema de coordenadas, cartesiano por exemplo, enquanto que a coordenada temporal de tal evento é obtida por um relógio local a este.

No espaço tridimensional, o sistema de coordenadas cartesianos consiste de três eixos, perpendiculares entre si e que se cruzam na origem. Assim, a posição de um objeto qualquer em relação a este sistema de

¹ Sobre isto baseia-se toda medida de espaço.

coordenadas é descrito usando-se três números (x,y,z) . Esses números correspondem a distância da origem até a projeção do evento sobre o eixo coordenado em questão. Distâncias que como dito podem ser determinadas por uma série de manipulações de réguas rígidas estabelecidas de acordo com as leis e os métodos da geometria euclidiana.

Por outro lado, uma descrição completa do movimento só ocorre quando se indica como o objeto modifica sua posição com o tempo.

2.1.3 Tempo

De maneira pragmática, define-se o tempo pelo que marca um relógio baseado em algum fenômeno presumidamente periódico (FEYMAN, 1964). Atualmente a definição de segundo é baseada na frequência da onda eletromagnética associada a uma transição eletrônica do átomo de césio 133 (aproximadamente 9.2 GHz). Assim como as coordenadas espaciais, defini-se uma origem que é o ciclo associado a $t = 0$, e a cada ciclo do relógio acrescenta-se 1 à coordenada temporal. O valor da coordenada temporal de um evento então é dada pelo que marca um relógio, que na relatividade precisa ser local, isto é, estar na mesma posição do evento. Claro que este relógio precisa estar previamente sincronizado e ajustado a um padrão previamente definido. Esta sincronização entre relógios em diferentes pontos do espaço pode ser feita através da definição de simultaneidade de Einstein: Se um evento 1 ocorrerem no ponto P_1 no instante t_1 este é simultâneo com um segundo evento que ocorre em P_2 no instante t_2 se pulsos de luz emitidos por estes eventos se cruzarem no ponto médio do segmento $[P_1 P_2]$. Ou seja, neste caso $t_1 = t_2$.

Com essas informações pode-se descrever o movimento de um objeto de maneira unívoca. Entretanto, a física do problema de se obter estes valores deve ser tratada com cuidado, dando origem ao conceito de referencial.

2.1.4 Referenciais

Em virtude da definição do espaço e do sistema de coordenadas, que acabou-se de mencionar, pode-se dizer que o objetivo de um referencial é

permitir o endereçamento do espaço e do tempo de maneira unívoca e que explicita os padrões do movimento dos corpos, permitindo a construção das leis que os descrevem na forma mais simples possível.

Desse objetivo uma possível definição de um referencial é: um referencial é composto de um sistema de coordenadas abstrato ancorado em pontos físicos, utilizado univocamente para definir sua posição e orientação no espaço além de um método para se medir o tempo dos eventos. Eles podem ser inerciais ou não inerciais.

Os referenciais inerciais são aqueles cuja lei da inércia se aplica, ou seja, objetos livres de forças são descritos como tendo movimento retilíneo uniforme. Em termos aproximativos, sempre que se fixa um sistema de coordenadas rigidamente ligado à Terra, este poderá ser considerado um referencial inercial, apesar de não o ser propriamente por possuir o movimento de rotação. Já os referenciais não inerciais são aqueles que a lei da inércia não é válida, e isto implica que as leis do movimento de Newton não se aplicam a eles.

2.1.5 Princípios da Relatividade

A mecânica clássica obedece ao princípio da relatividade, ou seja, as mesmas leis se aplicam em qualquer referencial inercial (GRIFFITHS, 2011), cuja relação entre as coordenadas entre dois dados referenciais é dada pela transformação de Galileu. Portanto, é possível afirmar que as leis de Newton são invariantes sob esta transformação.

Ao estudar a Eletrodinâmica, uma das consequências das equações de Maxwell é a obtenção da velocidade da luz como uma constante universal igual a:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \cong 300.000 \text{ km/s.} \quad (1)$$

Mas, ao se estender o princípio da Relatividade à Eletrodinâmica, surge um problema: a luz se propaga no vácuo com uma velocidade c independente do referencial utilizado, o que não está de acordo com a transformação de

velocidades entre referenciais inerciais obtidas a partir da transformação de Galileu:

$$c' = c - V, \quad (2)$$

que leva à $c' \neq c$ e c' . Isso significaria que as equações de Maxwell poderiam ser utilizadas somente em um referencial privilegiado, neste caso o éter. Ou seja, o princípio da Relatividade não valeria para o eletromagnetismo.

Mas, ao se escolher manter o princípio da Relatividade válido para a eletromagnetismo se violaria as transformações de Galileu. Assim, somente uma das seguintes opções pode ser válida:

1. Tanto a mecânica clássica quanto a Eletrodinâmica estão corretas e o princípio da Relatividade não se aplica ao eletromagnetismo, pois este só é válido em um referencial privilegiado (éter luminífero) (NUSSENZVEIG, 2004);

2. O princípio da Relatividade se aplica a todas as leis da física e a mecânica newtoniana está correta. Porém, a Eletrodinâmica precisa sofrer alterações (NUSSENZVEIG, 2004);

3. O princípio da Relatividade se aplica a todas as leis da física e a Eletrodinâmica está correta. Neste caso, a mecânica newtoniana e a transformação de Galileu não podem ser corretas: deve ser possível observar desvios das leis da mecânica newtoniana (NUSSENZVEIG, 2004).

Como o experimento de Michelson-Morley não provou a existência do éter a primeira opção pode ser descartada. A segunda opção foi desenvolvida por Walter Ritz (1908), mas as modificações previstas por ele davam origem a efeitos não observados em uma série de observações astronômicas. Sobra então a terceira opção.

Ciente destes resultados, Albert Einstein formulou seus dois famosos postulados:

1. **O Princípio da Relatividade:** As leis da física permanecem as mesmas em todos os sistemas de referência inerciais.
2. **O Princípio da constância da velocidade da luz:** A velocidade da luz no vácuo é a mesma em todas as direções e em todos os referenciais inerciais independente do movimento da fonte.

A TRE é obtida desses dois postulados. No primeiro Einstein postulou a validade do princípio da Relatividade para todas as leis físicas, inclusive para o eletromagnetismo. Já o segundo pode ser considerado uma resposta de Einstein ao experimento de Michelson-Morley, bem como a validação da teoria eletromagnética sem a necessidade da existência do éter. Assim, o problema que levou a incompatibilidade entre a mecânica Newtoniana e o eletromagnetismo estavam na transformação de Galileu e nas leis de Newton, que precisavam ser revisadas (GRIFFITHS, 2011).

2.1.6 Transformações de Lorentz

Em outro contexto, o físico holandês Hendrik Lorentz, apresentou um conjunto de transformações que conservam invariantes as equações de Maxwell ao passar de um referencial inercial a outro, as transformações de Lorentz. Einstein chegou a estas transformações utilizando os postulados da Relatividade dando um sentido físico à estas (GAZZINELLI, 2004). Matematicamente as Transformações de Lorentz na configuração padrão² são expressas como:

$$x' = \gamma(x - ut), \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = \gamma\left(t - \frac{u}{c^2}x\right). \quad (3)$$

Quando $u/c \rightarrow 0$ as Transformações de Lorentz são semelhantes às Transformações de Galileu. Então, a mecânica clássica é consistente com o eletromagnetismo de Maxwell, com a Transformações de Lorentz e com o princípio da Relatividade, desde de que as velocidades sejam pequenas se comparadas a c (GAZZINELLI, 2009).

2.1.7 Simultaneidade de Eventos

Em virtude dos postulados da Relatividade, o conceito de tempo deixou de ser absoluto e passou a ser relativo. Assim, eventos simultâneos, em um determinado referencial inercial, não serão necessariamente simultâneos em

² Na configuração padrão os referenciais tem a origem espaço temporal coincidente, mesma orientação e velocidade relativa V ambos os referencial na direção x .

outro referencial inercial. Ou seja, a noção de simultaneidade também é relativa. Um experimento mental proposto pelo próprio Einstein servirá para ilustrar o exposto acima (EINSTEIN, 1999):

Considere que, sobre os trilhos, um trem muito comprido esteja se movimentando com uma velocidade constante u em relação ao solo. A bordo do trem, no seu ponto médio, viaja um observador enquanto que um segundo se encontra parado ao lado dos trilhos. Cada um destes observadores pode construir um sistema de referência inercial no qual estão em repouso. Dois raios atingem as posições frontal e traseira do trem, conforme pode ser visto na figura 3.

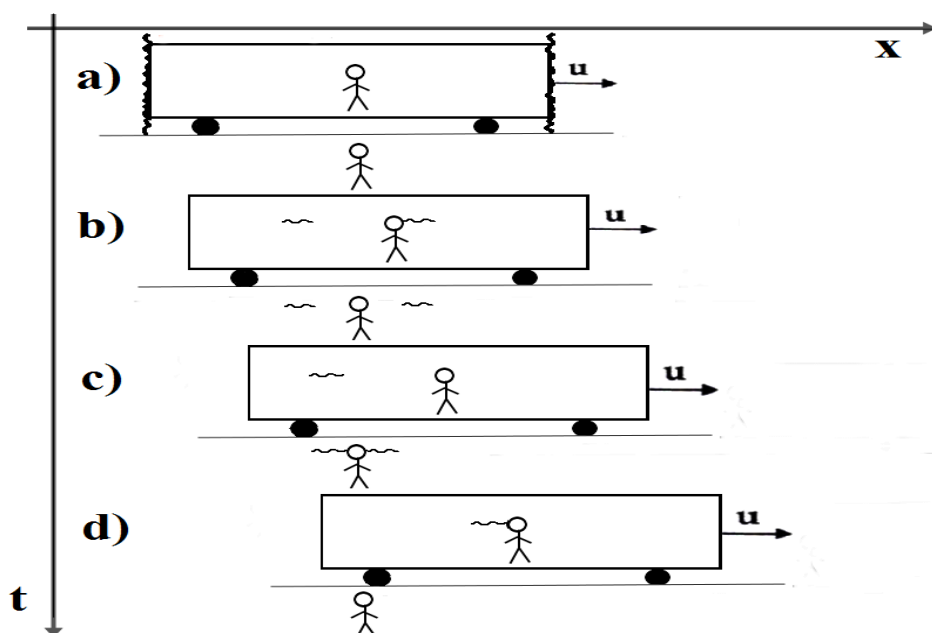


Figura 3: Experimento mental sobre o fenômeno da simultaneidade: um trem se desloca com velocidade u em relação ao solo. (a) os raios de luz atingem as duas extremidades do trem simultaneamente; (b) o observador do trem visualiza a onda luminosa proveniente do raio que atingiu a extremidade dianteira do trem; (c) para o observador no solo os dois raios luminosos atingem as extremidades traseira e dianteira do trem simultaneamente; (d) o observador do trem visualiza a onda proveniente do raio que atingiu a extremidade traseira do trem. Fonte: Elaborado pelo autor.

Supondo que no sistema de referência do solo estes dois raios são simultâneos e considerando o princípio da constância da velocidade da luz, as ondas luminosas procedentes dos raios e viajando no vácuo atingiram o observador em solo ao mesmo tempo. Para o observador que está em repouso em relação ao trem, a luz também viaja com a mesma velocidade c . No entanto, entre o instante em que os raios atingem as extremidades do trem e a

recepção da onda luminosa pelo observador no solo, o trem se desloca. Desta forma, em um instante de tempo posterior, o observador que se encontra no interior do trem, verá a onda luminosa procedente do raio que atingiu a posição dianteira do trem antes de ver à frente de onda proveniente da traseira do trem. Pode-se concluir com este experimento mental que: eventos que são simultâneos em relação ao solo não são simultâneos em relação ao trem, e vice-versa.

Mas, quem está com a razão, o observador que está no sistema de referência do trem ou o observador que está no sistema de referência do solo? Os dois observadores estão corretos; embora pareça estranho, não existe uma única resposta para esta questão. A simultaneidade é uma noção relativa a cada referencial e não absoluta.

2.1.8 Dilatação Temporal

Na apresentação da TRE Einstein muitas vezes considerou necessário descrever uma forma operacional para se medir uma determinada quantidade. Para medir um intervalo de tempo, por exemplo, nada melhor que construir um relógio de luz³, dada a constância de sua velocidade para todos os referenciais inerciais.

³ Um relógio de luz consiste basicamente em uma fonte de luz F, um espelho E situado a à distância d , e uma célula fotovoltaica C (ou receptor de luz) situada ao lado da fonte, como mostrado na figura 4. Um osciloscópio registra a emissão de sinais de luz pela fonte de luz e a recepção pela célula fotovoltaica (GAZZINELLI, 2009). Neste relógio, uma unidade de tempo equivale ao tempo necessário para que a luz emitida pela fonte reflita no espelho e incida sobre o detector. Assim, pelas marcas dos sinais no osciloscópio, pode-se calcular o intervalo de tempo entre a emissão e a recepção.

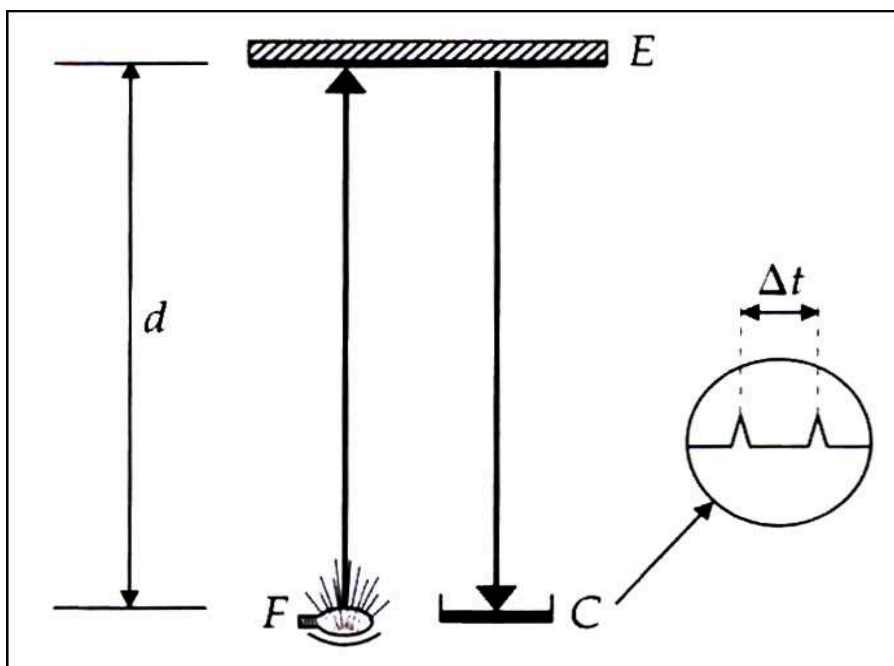


Figura 4: Relógio de luz. Um sinal de luz é emitido pela fonte F, refletido no espelho E e, depois sua chegada é detectada no receptor C. Um osciloscópio registra a emissão e recepção do sinal de luz. **Fonte:** Gazzinelli, 2009.

A questão que se pretende responder agora é "como comparar intervalos de tempo entre os mesmos dois eventos vistos por observadores situados em referenciais diferentes" (GAZZINELLI, 2009, p. 28). Pode-se fazer o seguinte experimento mental para resolver o problema. Dois observadores medem um intervalo de tempo, um deles no referencial R' desloca-se ao longo do eixo x em relação a R com velocidade uniforme u (figura 5). O observador em R' colocou verticalmente um relógio de luz em relação a u . Um sinal de luz é emitido da fonte (F), refletido por um espelho (E) e sua chegada é detectada no receptor (C). O observador em R' aciona o relógio de luz e verifica que a luz leva o mesmo tempo para percorrer a distância de ida e de volta após a reflexão no espelho, neste caso, o tempo medido pelo osciloscópio é $\Delta t' = 2d/c$. Porém, para um observador em R isso não é verdade. O relógio deslocou-se do ponto x_1 quando o sinal de luz foi emitido, até o ponto x_2 quando o sinal foi recebido.

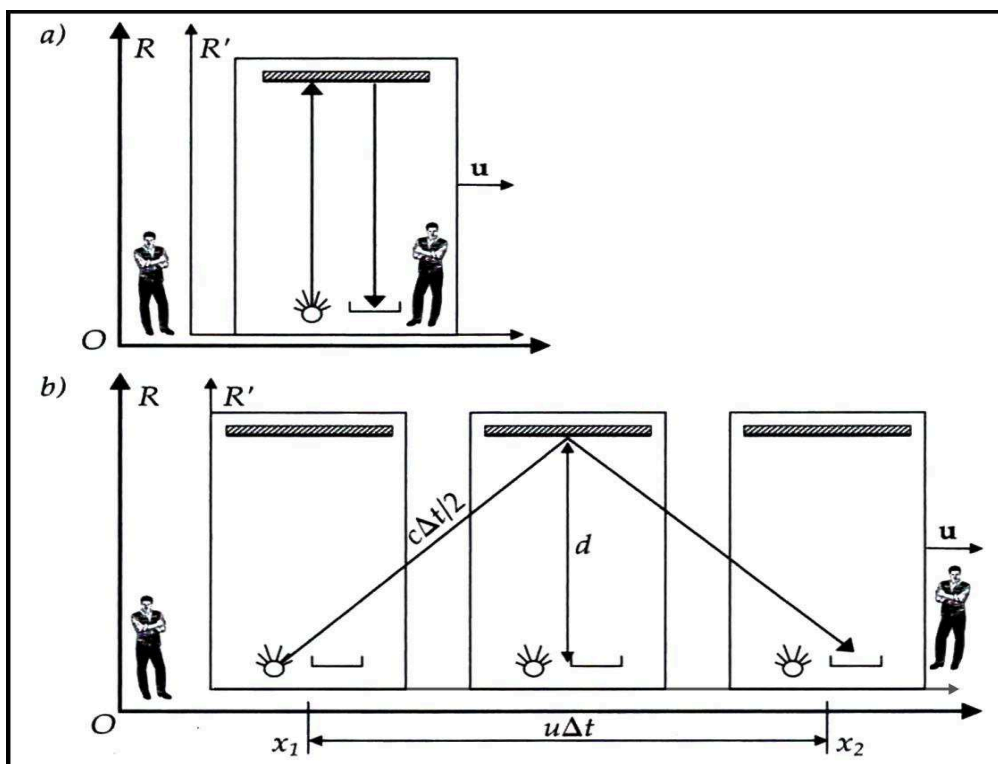


Figura 5: Experimento mental sobre o fenômeno da dilatação temporal: um relógio de luz está parado no referencial R' que se desloca com uma velocidade u em relação ao referencial R . (a) O observador em R' aciona o relógio de luz e verifica que a luz leva o mesmo tempo para percorrer a distância de ida e de volta após a reflexão no espelho; (b) o observador em R medirá um intervalo de tempo entre os dois eventos maior do que o medido pelo observador em R' , e concluirá que o relógio de R' é mais lento. **Fonte:** Gazzinelli, 2009.

Considerando o triângulo retângulo formado pela trajetória do sinal de luz (figura 5), a hipotenusa representa a metade da distância que a luz percorre conforme visto pelo observador em R : $u\Delta t/2$ enquanto a base representa metade da distância percorrida pelo relógio de luz: $c\Delta t/2$. A altura do triângulo é a distância d . Aplicando, então, o teorema de Pitágoras a esse triângulo:

$$\left(\frac{u\Delta t}{2}\right)^2 = d^2 + \left(\frac{c\Delta t}{2}\right)^2. \quad (4)$$

Trabalhando essa expressão de forma a isolar o valor de Δt , tem-se:

$$\Delta t = \frac{2d}{c} \frac{1}{\sqrt{1-u^2/c^2}}. \quad (5)$$

Mas, $\Delta t' = 2d/c$.

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1-u^2/c^2}} = \gamma \Delta t', \quad (6)$$

onde, $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \geq 1$. Para velocidades maiores do que a velocidade da luz o gama fica complexo.

Por isso, “o observador em R medirá um intervalo de tempo entre os dois eventos maior do que o medido pelo observador em R' , e concluirá que o relógio em R' é mais lento, ou seja, se atrasa” (GAZZINELLI, 2009, p. 29). Esta é a chamada dilatação do tempo. “Ela nada tem a ver com a mecânica dos relógios; é uma declaração sobre a natureza do tempo que se aplica a todos os relógios que estejam funcionando adequadamente” (GRIFFITTS, 2011, p. 339).

2.1.9 Contração do Espaço

Outra consequência dos postulados da TRE, é a contração dos corpos em movimento⁴. Considere agora uma régua em repouso no referencial R (figura 6). Um observador em R mede o comprimento da régua: $L_0 = x_2 - x_1$. Esse comprimento medido no sistema de referência em que a régua está em repouso, é denominado de comprimento próprio.

⁴ Esse fenômeno também foi proposto por Lorentz a fim de explicar o resultado nulo do experimento de Michelson e Morley.

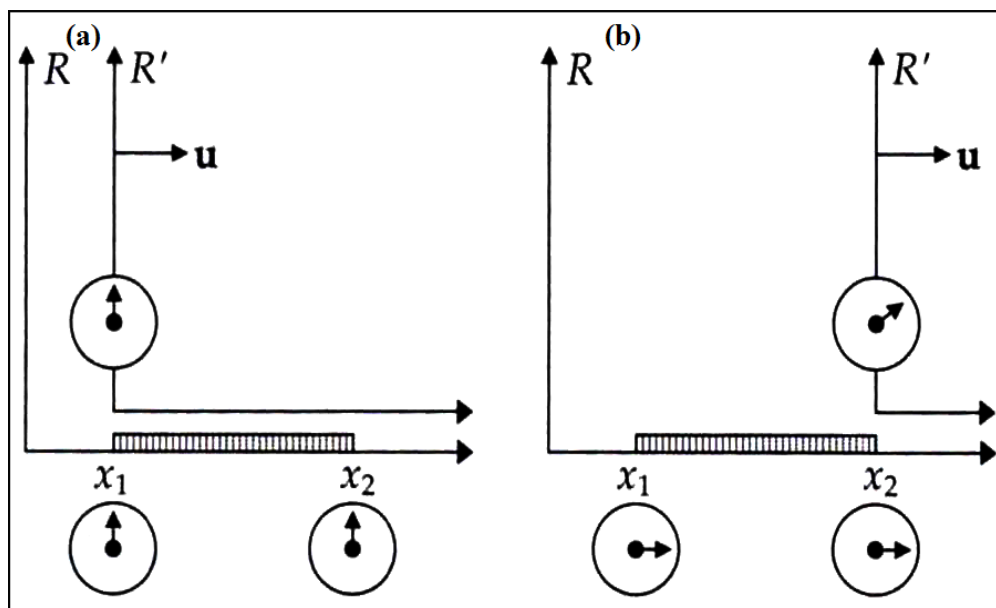


Figura 6: Contração de Lorentz. (a) Uma régua situada no referencial R , quando medida por um observador desse referencial, tem comprimento próprio. (b) Um observador em R' , ao medir a mesma régua, achará um comprimento menor. **Fonte:** Gazzinelli, 2009.

O referencial R' se desloca com uma velocidade u paralela a régua. Um observador em R' vê uma extremidade da régua passar por ele e, depois de algum tempo, vê a outra extremidade e mede o tempo⁵ $\Delta t'$ transcorrido entre as duas passagens, em seu relógio. Assim, o comprimento da régua medido por este observador (no referencial R') pode ser calculado como sendo: $L' = u\Delta t'$. Por outro lado, o observador em R mede o tempo de passagem do observador em R' pelos pontos x_1 e x_2 , utilizando os relógios (previamente sincronizados) colocados nestes pontos e determina que o comprimento da régua é: $L_0 = u\Delta t$. Mas, conforme já demonstrado (na seção 3.1.9) $\Delta t'$ é o intervalo de tempo próprio (equação 6), então:

$$L' = u\Delta t' = u \frac{\Delta t}{\gamma} = \frac{L_0}{\gamma}. \quad (7)$$

Como $\gamma \geq 1$, $L' = L_0$, o observador em R achará um valor menor para o comprimento da régua em movimento em relação a ele do que o medido no referencial de repouso da régua, e concluirá que a régua é contraída na direção

⁵ O tempo transcorrido para o observador em R' é um intervalo de tempo próprio, porque é medido em um único relógio.

do movimento (GAZZINELLI, 2009). Da mesma forma, o observador situado em R' observará uma régua em R como contraída (conforme mostrado na figura 7). Essa é a chamada contração de Lorentz. O mesmo efeito não ocorre para direções ortogonais ao movimento.

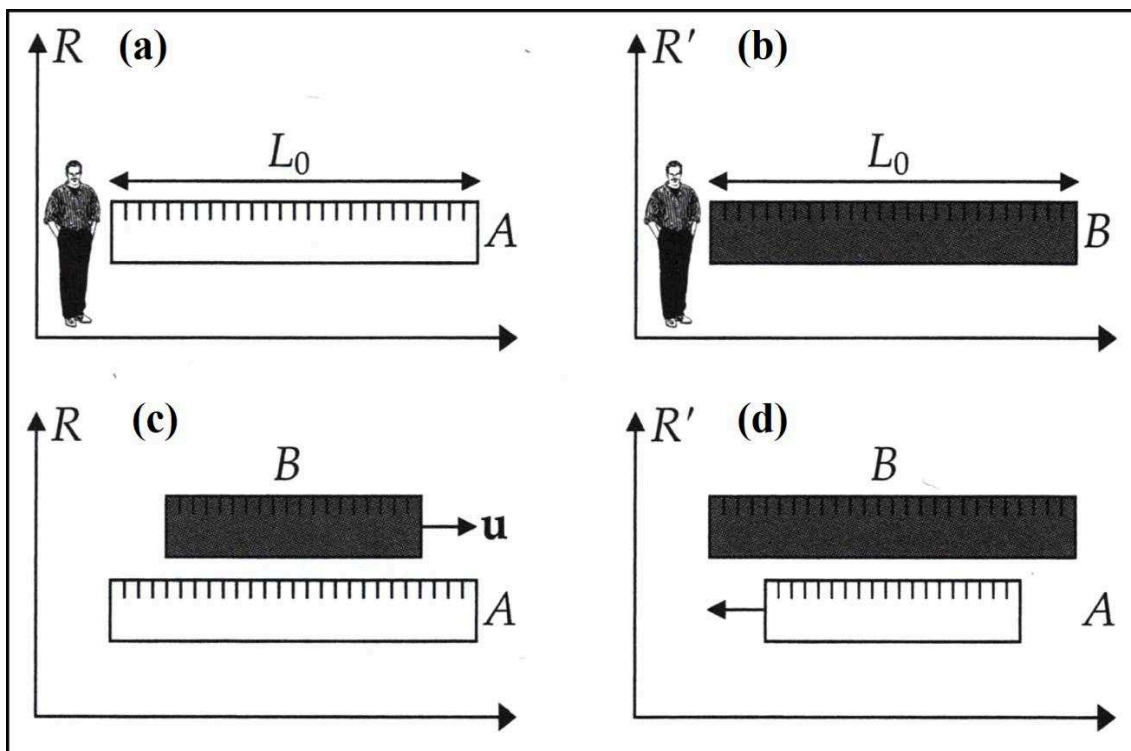


Figura 7: (a) A régua A tem comprimento próprio no referencial R e (b) a régua B tem comprimento próprio no referencial R' . (c) Se R' se movimenta ao longo do eixo x em relação a R vê a régua B contraída e (d) o observador em R' vê a régua A contraída. **Fonte:** Gazzinelli, 2009.

2.1.10 Efeitos Relativísticos

A partir dos dois postulados da TRE pode-se deduzir consequências que contrariam a nossa experiência cotidiana, tais como os fenômenos relativísticos (simultaneidade de eventos, dilatação temporal e contração do comprimento que já foram apresentados anteriormente) e os efeitos relativísticos (efeito Doppler, Holofote e Terrell que serão apresentados a seguir).

2.1.10.1 Efeito Doppler Relativístico

O efeito Doppler é a variação na frequência de um sinal percebido por um detector quando a fonte está em movimento em relação a ele (GAZZINELLI, 2009). No caso de aproximação entre a fonte e o detector é possível observar o desvio da frequência para o azul (o chamado blueshift) e no caso de afastamento entre a fonte e o detector pode-se observar o desvio da frequência para o vermelho (o chamado redshift) (TIPLER; LLEWELLYN, 2010).

No efeito Doppler sonoro clássico há um meio material (ar) pelo qual as ondas acústicas se propagam e pode-se distinguir o que se move ou está em repouso em relação a ele. Neste caso, o efeito Doppler depende da velocidade da fonte e do detector em relação ao meio. Mas, para uma onda eletromagnética não há tal meio material e por isso só tem significado o movimento relativo entre emissor e receptor. Este é o chamado efeito Doppler Relativístico que só depende da velocidade relativa entre a fonte e o detector (GAZZINELLI, 2009). Soma-se o efeito da dilatação temporal sobre a fonte (que está se afastando ou se aproximando do detector), ou seja, a dilatação temporal da fonte muda a intensidade do efeito Doppler.

2.1.10.2 Efeito Holofote

Um segundo efeito que ocorre quando fontes de radiação eletromagnética são observadas em movimento é a mudança de sua intensidade, o chamado efeito Holofote. Tanto no efeito Holofote Clássico quanto no efeito Holofote Relativístico ocorre um aumento da luminosidade dos objetos que se aproximam do observador em altas velocidades, enquanto que há uma menor luminosidade para objetos que se afastam do observador. Mas, para fontes em movimento o efeito da dilatação temporal reduz a sua intensidade relativa, alterando quantitativamente o efeito holofote.

2.1.10.3 Efeito Terrell

Antes de iniciar, julga-se necessário fazer uma breve consideração entre a diferença dos termos medir e observar na Relatividade Especial. Como se mostrou, no paradoxo do trem, ao realizar a medição de um objeto em movimento relativístico, pode-se constatar que o comprimento do objeto sofre uma contração dada por um fator de

$$\frac{1}{\gamma} = \sqrt{1 - u^2/c^2} , \quad (8)$$

na direção do movimento, quando comparado com o seu comprimento em repouso. No entanto, “um objeto (2D ou 3D) em movimento relativístico, apesar de sofrer a contração do comprimento dada pelas transformações de Lorentz, se apresenta com uma aparência muito diferente do que a prevista apenas pela contração de Lorentz” (RIBOLDI, 2015, p. 52).

Considerando que a distância entre as extremidades do trem e do observador são diferentes e ao se levar em consideração o princípio da constância da velocidade da luz, chega-se à conclusão de que os raios luminosos que partem das duas extremidades do trem demoram tempos diferentes para atingir o observador. Por isso, dois raios luminosos emitidos em um mesmo instante de tempo chegam ao observador em momentos diferentes. Assim, a posição “visualizada” de um ponto qualquer do objeto é diferente da real posição deste ponto. Devido à geometria de certos objetos, a aparência visual percebida por um observador é de que estes objetos sofrem uma deformação, conhecida como Efeito Terrell (RIBOLDI, 2015).

2.2 Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel

Nos últimos anos vários pesquisadores e educadores têm direcionado seus esforços na tentativa de identificar as complexas variáveis que envolvem a AS dos conceitos, procedimentos e aplicações científicas. Dentre eles, pode-se citar Moreira (2011) que, apresentou uma sequência didática fundamentada na TAS proposta por Ausubel (2002), a qual parte da premissa de que não há ensino sem aprendizagem e de que o ensino é o meio e a AS é o fim. Essa

sequência didática foi nomeada de UEPS e pode abordar diversos conteúdos em diferentes disciplinas, e é com base nessa proposta didática que traça-se as linhas de ação desse trabalho.

Está bem estabelecido que as estratégias de ensino devem levar em conta os conhecimentos prévios dos estudantes, pois como ressalta Ausubel (2002) o conhecimento prévio é a variável isolada mais importante para a AS de novos conhecimentos. Mas, infelizmente nem sempre é assim, há casos em que o conhecimento prévio pode funcionar como um obstáculo epistemológico (BACHELARD, 1997). Por isso, *“dizer que o conhecimento prévio é a variável que mais influencia a aprendizagem significativa de novos conhecimentos, não significa dizer que é sempre uma variável facilitadora de aprendizagem”* (MOREIRA, 2012, p. 7).

Para que a AS ocorra é preciso que os novos conhecimentos interajam de maneira não literal e não arbitrária com os conhecimentos prévios que o aprendiz já possui. Não arbitrária quer dizer não aleatória e significa que a interação não é com qualquer conhecimento e não literal significa que pode relacionar conceitos, símbolos de diversas formas sem mudar o significado com os conhecimentos prévios presentes na estrutura cognitiva dos alunos (MOREIRA, 2012). A esse conhecimento, *“o qual pode ser, por exemplo, um símbolo já significativo, um conceito, uma proposição, um modelo mental, uma imagem”* (MOREIRA, 2012, p. 2), Ausubel (2002) chamou de subsunção.

Para haver a AS são necessárias ainda duas condições. Em primeiro lugar, o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo, ou seja, ele tem que se relacionar de forma não arbitrária e não literal com os conhecimentos prévios presentes na estrutura cognitiva dos alunos (MOREIRA, 2012). Em segundo, o aluno deve apresentar uma predisposição para aprender (AUSUBEL, 2002), ou seja, ele deve querer relacionar os novos conhecimentos, de forma não arbitrária e não literal, a seus conhecimentos prévios. Mas, se ele quiser memorizar o conteúdo, então a aprendizagem será mecânica. É importante esclarecer que AS não é aquela que o indivíduo nunca esquece. *“A assimilação obliteradora é uma continuidade natural da aprendizagem significativa, porém não é um esquecimento total. É uma perda de discriminabilidade, de diferenciação de significados, não uma perda de significados”* (MOREIRA, 2012, p.4). Mas, *“se o esquecimento for total, como*

se o indivíduo nunca tivesse aprendido um certo conteúdo é provável que aprendizagem tenha sido mecânica, não significativa" (MOREIRA, 2012, p.4).

Segundo Ausubel (2002) a estrutura cognitiva é caracterizada por dois processos principais, a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora. A diferenciação progressiva é um processo pelo qual o aprendiz atribui novos significados a um dado subsunçor (por exemplo, um conceito ou uma proposição) resultante da sucessiva utilização desse subsunçor para dar significado a novos conhecimentos (MOREIRA, 2012). Neste processo de detalhamento, refinamento e especificidade de um subsunçor parte-se de um conteúdo geral (mais importantes) para um conteúdo específico (trabalhando através de situações, exemplos e exercícios). E o processo de reconciliação integradora consiste na "*exploração das ligações entre conhecimentos, recombinação-os e relacionando-os, buscando as diferenças e semelhanças entre eles*" (PARISOTO, 2015, p. 64).

Quando os estudantes não apresentam conhecimentos prévios referentes "*ao novo material potencialmente significativo de aprendizagem, pode-se utilizar os organizadores prévios⁶, que em conjunto com os diagramas V e os mapas conceituais* (Novak e Gowin, 1984) *são estratégias potencialmente facilitadoras de aprendizagem* (PARISOTO, 2015, p. 64).

Os mapas conceituais⁷ são diagramas que descrevem relações hierárquicas entre conceitos, buscando refletir a estrutura conceitual do conteúdo que está sendo diagramado. De acordo com Moreira (2005), "*apresentá-los construí-los, refazê-los, discutir sobre eles, são processos que facilitam a aprendizagem*" (PARISOTO, 2015, p. 66).

Os diagramas V são instrumentos heurísticos utilizados para facilitar a compreensão do processo de construção de conhecimento. Da mesma forma, que nos mapas conceituais "*apresentá-los construí-los, refazê-los, discutir*

⁶ De acordo com Ausubel (2002) os organizadores prévios são recursos instrucionais apresentados aos alunos em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade em relação ao material de aprendizagem. Tais os organizadores prévios podem ser usados para suprir a deficiência de subsunçores (fazendo uma ponte entre o que aluno já sabe e o que deveria saber) ou para mostrar a relacionalidade e a discriminabilidade entre os novos conhecimentos e os conhecimentos prévios já existentes em sua estrutura cognitiva, tornando assim o material de aprendizagem potencialmente significativo.

⁷ Essa ferramenta foi utilizada neste trabalho de pesquisa, mas a sua análise não foi apresentada com o objetivo de condensar o trabalho.

sobre eles, são processos que facilitam a aprendizagem" (PARISOTO, 2015, p. 66).

Segue no próximo capítulo, a revisão bibliográfica que visa destacar o que foi feito entre 2001 á 2015 na área da Relatividade, tendo em vista que este trabalho de pesquisa foi desenvolvido com base nestes trabalhos (encontrados na revisão da literatura que foram aplicados para alunos do EM).

3. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo será apresentada uma revisão resumida da literatura. Inicialmente sobre UEPS e na sequência sobre a Teoria da Relatividade Especial (TRE), conforme sintetizado na figura 8.

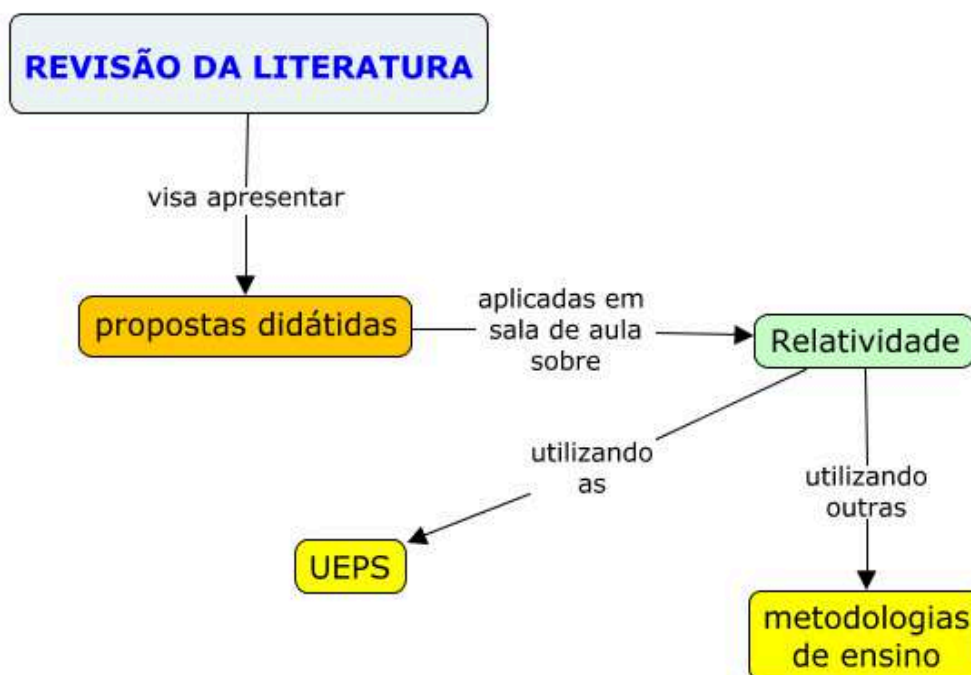


Figura 8: Síntese da revisão da literatura.

Os trabalhos apresentados nesta revisão da literatura é constituído do total de artigos publicados nas principais revistas de Ensino de Física nacionais (A Física na Escola, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Ciência & Educação, Investigações em Ensino de Ciências, Revista Brasileira de Educação Especial, Revista Lusofona de Educação, Revista Brasileira de Ensino de Física e Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências) e internacionais (Enseñanza de la Ciencias, Revista Electrónica de Enseñanza de la Ciencias, Revista Electrónica de Investigación Educativa, Cultural Studies of Science Education) no período de 2001 a 2015. O critério de seleção dessas revistas foi feito com base no sistema de avaliação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES - (Qualis), relativo à área de ensino de Física. Mas, devido ao grande número de revistas, foram

incluídas apenas aquelas classificadas como Nacional A1, Nacional⁸ A2 e Internacional A1.

Apesar deste trabalho compreender um número considerável de amostras do que se encontra na literatura, ele de modo algum teve a intenção de ser completo, devendo ser considerado apenas uma primeira aproximação sobre o tema, até porque a pesquisa se concentrou nas publicações direcionadas ao ensino de Física que apresentam propostas didáticas aplicadas em sala de aula no EM, evitando assim “artigos gerais”, como por exemplo, artigos sobre descrições experimentais, cálculos teóricos, entre outros, que pudessem “distorcer” a amostragem. Cabe ressaltar que não é objetivo desta revisão fazer uma análise crítica dos artigos encontrados e tampouco esgotar o assunto. Acredita-se que saber para onde os esforços estão sendo dirigidos e como isso vem sendo realizado torna-se um importante conhecimento para a presente pesquisa e também para as futuras investigações na área da Relatividade, justificando assim o porquê de tal revisão.

3.1 Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS)

Nesta seção será apresentada a revisão da literatura relacionada a trabalhos que utilizam UEPS.

Nos periódicos pesquisados não foram encontrados nenhum artigo que faz referência às UEPS, pois a mesma se trata de uma proposta recente, que possui apenas 5 anos. No entanto, procurou-se por trabalhos, através do site Google Acadêmico, utilizando o nome da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa. A partir disso, encontrou-se três artigos (dois destes foram apresentados em simpósios), uma dissertação de Mestrado Acadêmico desenvolvida na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), e duas dissertações de Mestrado Profissional, uma desenvolvida na UFRGS e a outra na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

⁸ A revisão da revista A Física na Escola justifica-se por se tratar de uma revista dirigida a professores de ensino médio.

Entre esses seis trabalhos encontrados visam a pesquisa direta (aula ministrada em sala de aula) ou indireta (aula ministrada em cursos para professores) para os quatro primeiros anos do Ensino Fundamental (PACHECO; DAMASIO, 2012; ZARATINI *et al.*, 2012). Um deles foi aplicado para o 9º ano do Ensino Fundamental (FERREIRA; DAMASIO; RODRIGUES *et al.*, 2014), dois foram aplicados no EM (GRIEBELER, 2012; RIBOLDI, 2015) e apenas um no Ensino Superior (PARISOTO, 2015). Portanto, dois desses trabalhos estão no escopo da presente pesquisa que propõe a aplicação de uma UEPS no EM. Na sequência, é apresentada uma breve descrição destes trabalhos.

3.1.1 Descrição dos trabalhos

Pacheco e Damasio (2012), visavam ao aplicar a UEPS, introduzir temas de óptica, tais como as cores do céu e do arco íris, para crianças do primeiro e terceiro ano do Ensino Fundamental. Para atingir seus objetivos, eles revisaram livros de óptica, buscando identificar como essa área era abordada nos livros didáticos e quais temas seriam mais interessantes de serem ensinados no Ensino Fundamental. Posteriormente, a aula foi planejada utilizando o método de Diagrama V (GOWIN, 1984). A partir disso, os autores construíram roteiros que serviram de base para as aulas, que foram aplicadas em um projeto piloto. Tal projeto se caracterizava por ser um curso de extensão no turno contrário ao período escolar, com seis estudantes, de seis a oito anos de idade. Os autores concluíram, a partir da observação, que a proposta didática motivou as crianças, pois segundo eles estas participavam ativamente das atividades.

Zaratini *et al.* (2012) visavam identificar possíveis concepções de 30 pedagogas formandas sobre a alfabetização científica. Para atingir seus objetivos os autores ministraram um curso de extensão, no qual houve uma aula teórica seguida da construção de um caleidoscópio. Os autores destacaram apenas a construção da atividade experimental não mencionando como a UEPS era constituída. Depois da construção do caleidoscópio, os 30 participantes foram questionados com a seguinte pergunta: “qual a sua concepção sobre o Ensino de Ciências Naturais para a alfabetização científica

dos alunos?”. No decorrer do trabalho os autores transcreveram as respostas de três participantes, porém, não justificaram o porquê da escolha. Concluíram a partir dos dados coletados, que apesar de os participantes possuírem uma visão reducionista do Ensino de Ciências e Alfabetização Científica, eles *“percebem mais enfaticamente a importância das atividades experimentais em detrimento das atividades teóricas, sugerindo a necessidade de redução destas”* (PARISOTO, 2015, p. 24).

Ferreira, *et al.* (2014) procurou articular o ensino de FMC, principalmente Relatividade e Radioatividade, ao currículo formal de Ciências (Física Clássica) do 9º ano do Ensino Fundamental com a intenção de despertar uma postura crítica nos educandos por meio da AS. Os conteúdos de Física Clássica (FC) que foram articulados com as áreas de Relatividade e Radioatividade foram: ondas, massa, peso, gravidade, luz e eclipses. Inicialmente a professora-pesquisadora e a professora titular da turma passaram por uma formação inicial e continuada em temas de FMC e sua articulação com os de FC. *“A formação se constituía em encontros semanais com duração de duas aulas entre os professores em formação inicial, continuada e o professor coordenador do estudo”* (FERREIRA, *et al.*, 2014, p. 33). Tal formação teve uma abordagem predominantemente histórico-fenomenológica, resultando em produções de textos sobre os temas discutidos que antecederam o processo de construção de cada UEPS, tanto para Relatividade quanto para Radioatividade. A implementação do trabalho foi realizado em duas turmas do 9º ano do Ensino Fundamental, uma no ano de 2012 (Relatividade) e uma no ano de 2013 (Radioatividade). Para buscar indícios de AS, os autores procuraram diversificar a avaliação. Uma das alternativas foi uma dinâmica adaptada do jogo Bingo para avaliar os conceitos discutidos sobre Relatividade e Radioatividade, porém, o resultado não foi o esperado, o que evidenciam dificuldade dos alunos em entenderem os conceitos. Outra alternativa proposta foi um debate com dois grupos com ideias opostas de um determinado tema, como também a apresentação de uma simulação de telejornal sobre o conflito entre a Coreia do Norte e a Coreia do Sul que supostamente poderiam gerar uma guerra nuclear. Também se buscou avaliar, individualmente, a evolução conceitual dos estudantes por meio de leituras imagéticas (PACHECO; RAMOS, 2013), na qual foram utilizadas imagens relacionadas aos conceitos

estudados. A análise realizada, a partir dos dados obtidos, indicam que as unidades que abordavam Radioatividade tiveram a tendência de alcançar melhores indicadores de evolução conceitual do que as unidades de Relatividade. A partir da análise dos resultados, os autores, concluíram, por meio da proposta metodológica, que para tentar introduzir conceitos de FMC articulados com a FC para essa faixa etária, o tópico da Radioatividade é mais adequado. Destaca-se que a versão da UEPS desenvolvida por Ferreira *et al.* (2014) é composta de apenas seis passos e não oito como sugere Moreira (2011), criador das UEPS.

Geriebeler (2012), elaborou uma unidade de ensino sobre tópicos de Física Quântica com o intuito de estimular o interesse e a curiosidade dos estudantes. A proposta didática foi implementada em quatro turmas da 3ª série do EM. Buscando por indícios de AS, a autora analisou de forma qualitativa os mapas mentais e mapas conceituais elaborados em duplas pelos estudantes, bem como a comparação entre eles. Também foram analisados os trabalhos livres confeccionados e os jornais construídos pelos alunos em cada turma. Ainda são apresentados alguns comentários de estudantes na compreensão dos conceitos abordados na proposta didática. A análise feita a partir dos resultados obtidos forneceu indícios de AS, que é o objetivo de uma UEPS. São apresentados ainda alguns comentários dos estudantes que indicam boa receptividade e compreensão da proposta, fatores que, de acordo com a literatura, precisam ser almejados (JULIO; VAZ, 2010; BATISTA; LAVAQUI; SALVI, 2008) e que, portanto, encoraja novas implementações da proposta didática. Cabe destacar que neste trabalho foi possível identificar a utilização de todos os passos de uma UEPS.

Riboldi (2015), em sua dissertação, insere conteúdos da teoria da Relatividade Restrita (RR) no EM como o intuito de facilitar a AS dos estudantes, bem como de suprimir o excesso de matematização que envolve tal teoria. Para isso, ele desenvolveu uma UEPS que tem como diferencial o jogo educativo “*a Slower Speed of Light*” e simulações. A versão final da UEPS desenvolvida por Riboldi (2015) é composta de seis passos. A implementação da unidade de ensino foi feita ao longo de três semanas para duas turmas da 1ª série do EM de uma escola privada, situada no município de Itapira-SP. Sendo que uma das turmas é de ensino médio regular (EM) e a outra de ensino

médio integrado ao curso técnico de informática (ETIM). Para buscar indícios de AS o autor analisou de forma qualitativa os mapas conceituais elaborados pelos estudantes (um no início e um ao final da aplicação da proposta didática) e comparou ambos. Também foram analisadas as questões da avaliação e as atividades desenvolvidas ao longo da implementação da UEPS. Ainda são apresentados algumas respostas dos estudantes as questões da avaliação e as atividades desenvolvidas em sala de aula, evidenciando indícios de AS em quase todas as etapas da UEPS, menos na etapa que tratava do conceito de contração do comprimento. Na análise realizada, por meio dos dados obtidos, apesar da evolução apresentada, ainda se pode notar alguns erros conceituais presentes nos mapas conceituais construídos pelos estudantes, no entanto, a maioria das atividades realizadas ao longo da UEPS mostraram que os alunos foram capazes de responder questões relacionadas a um tema “inédito”. O autor conclui destacando que o jogo e os simuladores foram importantes ferramentas educacionais utilizadas na UEPS, pois elas motivaram os estudantes a aprender.

Parisoto (2015), em sua pesquisa, buscou desenvolver e avaliar uma proposta didática composta por situações de Física aplicadas à Engenharia, UEPS e o Método de Projetos na perspectiva de Rogers, com o intuito de facilitar a AS, crítica e ativa de conceitos da Termodinâmica, favorecendo a elaboração de projetos, pelos estudantes, na futura área de atuação. A autora construiu duas UEPS que integradas aos Métodos de Projetos e as situações-problema, foram implementadas em três turmas mistas de Engenharia (duas de controle e uma experimental), com uma carga total de 60 horas em cada turma. Na parte inicial da pesquisa, ela aplicou um questionário pré-teste com o qual identificou qualitativamente e quantitativamente que a maioria dos alunos não possuem indícios de conhecimentos prévios sobre conceitos da Termodinâmica. A partir da análise do teste quantitativo, foram identificados indícios de AS, conceitual, procedimental e de aplicação da Física em várias situações da Engenharia. Quanto ao resultados da apresentação e do projeto, não foram observadas diferenças estatísticas nas resoluções matemáticas e nas atividades experimentais. A autora conclui destacando que depois da implementação da proposta didática, a maioria dos estudantes (do grupo experimental) mostraram indícios de aprendizagem significativa, conceitual,

procedimental e de aplicação, apresentando inclusive maior retenção desses conhecimentos se comparado ao grupo de controle. Neste trabalho, assim como no de Geriebeler (2012), identificou-se a utilização de todos os passos de uma UEPS, por isso, é importante destacar que não é toda Unidade de Aprendizagem (UA)⁹ que é uma UEPS. Entretanto, cabe ressaltar que tal proposta didática foi destinada ao Ensino Superior.

3.2 Teoria da Relatividade Especial

Devido ao crescente número de publicações de artigos acerca de estudos relacionados ao ensino de FMC, desde as revisões bibliográficas de Ostermann e Moreira (2000) e de Greca e Moreira (2001), Pereira e Ostermann (2009) consideraram oportuna uma nova revisão da literatura sobre o tema de FMC. Tal pesquisa se concentrou nos trabalhos direcionados ao ensino e resultou numa amostra de 102 artigos entre o ano de 2001 à 2006. Os trabalhos foram classificados em quatro grandes categorias: 1) propostas didáticas aplicadas em sala de aula, 2) levantamento de concepções, 3) bibliografia de consulta para professores e 4) análise curricular. Os autores concluíram, a partir da análise dos artigos, que *“embora haja um número considerável de estudos envolvendo propostas didáticas inovadoras, há poucos trabalhos que investigam os mecanismos envolvidos no processo de construção de conhecimentos relativo a temas de FMC em sala de aula”* (PEREIRA; OSTERMANN, 2009, p. 393). No entanto, a revisão da literatura de Pereira e Ostermann (2009) abrangia todas as áreas de FMC e não uma área específica, como é o objetivo deste trabalho de pesquisa.

Da mesma forma, Rodrigues (2011; 2014) realizou entre o ano de 2006 a 2009 uma revisão bibliográfica sobre o assunto, mas diferentemente de Pereira e Ostermann (2009), Rodrigues (2011; 2014) concentrou a revisão da literatura em uma área específica, a saber, na área da Relatividade, a qual também é o objetivo da presente pesquisa. Tendo em vista que já se passaram

⁹ Em sua dissertação, Parisoto (2015) apresenta de forma detalhada as diferenças e semelhanças entre as UEPS e as Unidades de Aprendizagem (UA), por isso deixa-se como sugestão ao leitor que, caso tenha curiosidade, leia o trabalho de Parisoto (2015).

sete anos desde a revisão bibliográfica¹⁰ de Rodrigues (2011; 2014), considerou-se oportuna uma revisão da literatura a respeito desse assunto.

Inicialmente, procurou-se nos periódicos mencionados (no início do capítulo 3) artigos que se relacionassem com Relatividade. Posteriormente, classificou-se os artigos nas quatro categorias elaboradas por Pereira e Ostermann (2009). A primeira categoria se refere à aplicação de novas estratégias didáticas que tencionam promover nos alunos um melhor entendimento de temas atuais. Essas estratégias “*envolvem mudança de enfoque, uso de tecnologias da informação e comunicação, inovações didáticas, entre outros*” (PEREIRA; OSTERMANN, 2009, p. 394). A segunda categoria refere-se aos trabalhos que avaliaram o conhecimento de professores e de alunos sobre temas de FMC. Esta categoria “*inclui o levantamento de modelos mentais, invariantes operatórios, modos de raciocínio, perfis conceituais e concepções errôneas relativas a temas específicos*” (PEREIRA; OSTERMANN, 2009, p. 394). A terceira categoria “*trata de bibliografias de consulta direcionadas a professores de Física, tanto de nível médio como de nível universitário, incluindo textos de apoio, recursos didáticos, propostas de unidades didáticas e divulgação científica*” (PEREIRA; OSTERMANN, 2009, p. 394). Finalmente, a quarta categoria engloba “*os trabalhos que se dedicaram à análise curricular ou outros tipos de análise relevantes para o ensino de FMC, como a análise de livros didáticos*” (PEREIRA; OSTERMANN, 2009, p. 394).

Considerando os trabalhos apresentados na revisão bibliográfica de Pereira e Ostermann (2009) e de Rodrigues (2011; 2014) e os encontrados na revisão da literatura realizada na presente pesquisa, tem-se um total de 9 artigos¹¹ (PÉREZ; SOLBES, 2006; OTERO *et al.*, 2015; RODRIGUES *et al.*, 2014; MACHADO; NARDI, 2006; KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2005; GUERRA *et al.*

¹⁰ Destaca-se que essa revisão da literatura irá se concentrar em três pontos (que consideramos) importantes para o ensino de Relatividade no EM): 1. O que eles fizeram; 2. Até onde foram; 3. O que ainda precisa se fazer. Por isso, nossa revisão da literatura levará em consideração não só os trabalhos encontrados na revisão de Rodrigues (2011), mas também de Pereira e Ostermann (2009).

¹¹ É importante destacar que foram encontrados 32 trabalhos que abordam, especificamente, RE e RG (sem considerar os 17 trabalhos classificados como divulgação científica), mas como essa pesquisa destina-se ao ensino de RE no EM, optou-se por descrever apenas os resultados de pesquisas dos trabalhos que foram aplicados em sala de aula para este público de ensino.

2007; PÉREZ; SOLBES, 2003; ARRIASSECQ; GRECA, 2006; KARAM *et al.*; 2005; 2006; 2007;) que apresentaram resultados de pesquisa em condições reais de sala de aula no nível médio. Na sequência, é apresentada inicialmente uma tabela contendo o número de trabalhos encontrados em cada um dos periódicos e a distribuição desses trabalhos nas categorias supracitadas. Em seguida apresenta-se uma breve descrição destes trabalhos.

Tabela 1: Número de trabalhos encontrado na revisão da literatura aplicados em sala de aula no ensino médio.

Periódico	Categoria	Número de trabalhos
Revista Brasileira de Ensino de Física	1. Propostas didáticas aplicadas em sala de aula	4
Caderno Brasileiro de Ensino de Física		1
Enseñanza de la Ciencias		1
Investigação em ensino de Ciências	2. Levantamento de concepções	1
Revista Brasileira de Ensino de Física		1
Enseñanza de la Ciencias		1
Total de trabalhos		9

3.2.1 Descrição dos trabalhos

Propostas didáticas aplicadas em sala de aula

Os trabalhos que foram classificados nessa categoria além de apresentarem novas estratégias para o ensino de temas de FMC, apresentaram resultados de experiências didáticas. Foi possível identificar uma linha de pesquisa¹²: 1) estratégia para abordar FMC no ensino médio.

1) Estratégia para abordar FMC no ensino médio

¹² Essas três linhas de pesquisa também foram elaboradas por Pereira e Ostermann (2009).

Pérez e Solbes (2006) apresentaram e avaliaram uma proposta didática alternativa, baseada em um modelo de ensino-aprendizagem como investigação. Os autores tiveram as contribuições de Solbes, de Sánchez Ron, de Gil e Solbes e de Pérez e Solbes (apud PÉREZ e SOLBES, 2006), na elaboração da estratégia didática que visava apresentar a crise na FC, construir os fundamentos da RE e discutir as partes mais importantes da teoria, reafirmando os princípios de conservação. Tal estratégia didática foi implementada para três grupos de estudantes (dois experimentais e um de controle) do 2º ano do EM. Como metodologia de pesquisa os autores utilizaram a pesquisa qualitativa e a quantitativa. Para avaliar a proposta didática, os autores aplicaram um questionário conceitual, para 161 estudantes, sobre o tema. Realizaram ainda entrevistas com 10 estudantes do grupo experimental e aplicaram um questionário a 31 professores (que trabalharam com a proposta no curso de formação oferecido pelos autores) com o objetivo de avaliar a proposta didática. Os resultados obtidos mostraram uma diferença significativa entre os dois grupos comparados (experimental e controle), com um nível de confiança de 99%. Concluíram, a partir dos dados coletados, que a estratégia didática proporcionou aos estudantes uma melhora substancial na compreensão: dos conceitos de espaço e tempo, da equivalência massa-energia e do papel dos princípios de conservação nos fenômenos energéticos, além de promover uma mudança metodológica, atitudinal e conceitual.

Rodrigues *et al.* (2014) elaboraram um planejamento didático de treze aulas e suas atividades, que foram desenvolvidas como parte de uma pesquisa de mestrado. Tal proposta didática visava o ensino da teoria da relatividade restrita por meio do estudo e explicação do Sistema de Posicionamento Global (GPS). Os autores realizaram uma revisão da literatura¹³ sobre o tema de 2005 a 2009 (RODRIGUES, 2011) com o objetivo de elaborar o planejamento didático de acordo com os estudos do tema presentes na literatura. A proposta foi implementada, pela autora da dissertação (RODRIGUES, 2011), em uma turma do 2º ano do EM de uma escola da cidade de Santa Maria-RS. Foi escolhido o 2º ano do EM por que os alunos já tinham estudado os conteúdos de mecânica. Durante a implementação do planejamento, foram desenvolvidas

¹³ Em sua revisão bibliográfica sobre o tema Relatividade os autores não especificam quantos desses trabalhos foram destinados ao EM.

atividades que os alunos resolveram em grupos. Como metodologia de análise dos dados os autores usaram a pesquisa qualitativa com enfoque no procedimento de análise do conteúdo (BARDIN, 1988). Concluíram a partir das respostas dos alunos, que a utilização da tecnologia (aproximação entre o GPS e a teoria da relatividade restrita) como recurso para estudar conteúdos que não estão diretamente ligados ao seu cotidiano é viável. Ressaltaram as dificuldades demonstradas pelos alunos com a matemática, o baixo número de publicações com dados de pesquisas em sala de aula e o escasso número de referências sobre o assunto.

Otero *et al.* (2015) planejaram, implementaram e avaliaram uma sequência didática para ensinar aspectos básicos da teoria da RE no EM. Tal proposta propõe um conjunto de situações especialmente planejadas para que os aspectos centrais da teoria da RE possam emergir. Para a fundamentação das possíveis evidências de aprendizagem os autores analisam o processo de conceitualização segundo o ponto de vista da teoria dos campos conceituais de Vergnaud. A proposta didática foi implementada em dois cursos de 6º ano da escola secundária (corresponde ao 3º ano do EM). Como metodologia de pesquisa os autores utilizam a pesquisa qualitativa do tipo etnográfico. A partir da análise das produções dos estudantes durante as aulas, os autores detectaram que os aspectos mais complexos da teoria estão relacionados com os princípios da relatividade e da invariância da velocidade da luz, o que por consequência, leva a não compreensão do conceito de simultaneidade. Esses teoremas em ação e conceitos em ação (tais como o movimento é absoluto, a velocidade da luz é instantânea, entre outros) de natureza pré galileana, levou os autores a reformular a sequência didática para promover a conceitualização da relatividade galileana e os postulados da RE. Concluíram que é importante conceituar primeiro a relatividade de Galileu para depois ensinar a Física relativística.

Machado e Nardi (2006) em um curso de extensão para 10 alunos da 3ª série do EM avaliaram um software educacional sobre temas de FMC. Tal software educacional trata-se de um hipertexto elaborado na perspectiva de Ausubel (2002) que busca desenvolver os seguintes conceitos: (a) a equivalência entre massa e energia; (b) o caráter descontínuo da evolução do conhecimento e sua provisoriedade; (c) relações entre ciência, tecnologia,

sociedade e ambiente; (d) o papel da ética na ciência. O software educacional é composto de seis módulos didáticos: visão geral (textos introdutórios sobre FC e FMC); a teoria da RE (postulados, dilatação do tempo e contração do espaço, momentum e energia relativística, teoria da relatividade geral (RG)); tecnologia & sociedade (textos sobre física nuclear, reatores e armas nucleares, acidentes radioativos); história da ciência (textos sobre o desenvolvimento histórico das teorias modernas, projeto Manhattan e bibliografia de A. Einstein); filosofia & ciência (metodologia dos programas de pesquisa, ciência e ética); fronteiras da ciência (textos sobre buracos negros e ondas gravitacionais). Utilizando uma metodologia qualitativa para análise dos dados, os autores concluíram que: 1) o uso do computador foi fator de motivação, 2) a variedade de recursos de mídia favoreceu a visualização e a interpretação dos fenômenos abordados e 3) a estruturação do hipertexto com base em princípios ausubelianos foi um elemento facilitador da aprendizagem.

Köhnlein e Peduzzi (2005) implementaram um módulo didático baseado em uma abordagem histórico-filosófica da relatividade restrita em uma turma da 4ª fase EM. Tal módulo didático foi organizado de acordo com os três momentos pedagógicos de Angotti e Delizoicov (problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento). Na problematização inicial os autores realizaram o levantamento das concepções dos alunos sobre os métodos de construção do conhecimento científico. Na organização do conhecimento as aulas foram fundamentadas a partir das discussões sobre a concepção empirista-indutivista e suas limitações. Por fim, na aplicação do conhecimento foram abordados numa perspectiva de ruptura entre paradigmas assuntos relacionados a mecânica clássica (transformações de Galileu), ao eletromagnetismo (éter e as transformações de Lorentz) e a física relativística. A partir de uma análise qualitativa e estatística dos dados obtidos, os autores detectaram mudanças significativas nas concepções de ciência vigentes. Concluíram que o módulo didático elaborado possibilitou o envolvimento dos estudantes nas discussões em sala de aula, bem como promoveu o seu interesse em relação a conteúdos históricos e filosóficos.

Guerra *et al.* (2007) construíram a partir de uma abordagem histórico-filosófica da ciência, uma proposta didática com o objetivo de ensinar conceitos tanto da teoria da RE quanto da teoria da RG. Nesta proposta didática a

relação entre a física com outras produções culturais se constituiu no viés privilegiado para que os autores conseguissem trabalhar com os estudantes do 1º ano do EM as questões científicas respondidas pelos trabalhos de Albert Einstein. No desenvolvimento das aulas os autores buscaram, por meio de um debate sobre o filme o “nome da rosa” e com imagens produzidas por artistas da idade média, realizar um trabalho interdisciplinar com as disciplinas de história e de artes. O objetivo de tal abordagem era desenvolver nos alunos uma reflexão sobre as diferentes concepções de tempo e espaço construídas pelos homens ao longo da história, bem como discutir (por meio de trabalhos em grupos) como essas concepções levaram ao desenvolvimento da teoria da relatividade. Os resultados obtidos por meio de uma análise qualitativa, mostraram que a integração da teoria da relatividade restrita e geral ao currículo é um possível caminho para trazer esses temas ao EM. Concluíram que uma proposta didática centrada numa abordagem histórico-filosófica é uma alternativa viável para o estudo das teorias da relatividade restrita e geral no EM.

Levantamento de concepções

Pérez e Solbes (2003) realizaram uma análise crítica sobre a possibilidade de inserir temas de RE no EM. A investigação é composta de três etapas: (a) análise dos livros didáticos de nível médio; (b) análise das respostas de um questionário aplicado a professores de EM sobre suas atitudes e suas propostas de abordagem acerca do tema; e (c) análise das respostas de um questionário aplicado a estudantes do EM sobre suas concepções acerca de conceitos clássicos relacionados à teoria da RE. A partir de uma análise qualitativa, os autores verificaram que os livros de nível médio não apresentam adequadamente os conceitos de tempo e de espaço. Essa análise também mostrou que os professores não levam em conta os resultados da investigação didática e que as novas concepções dos estudantes pouco se consolidam.

Arriassecq e Greca (2006) elaboraram uma unidade didática com o objetivo de investigar algumas concepções que os alunos do nível médio possuem sobre conceitos fundamentais da física clássica considerados

necessários para uma adequada conceitualização de alguns aspectos mais relevantes da RE. Entre os aspectos investigados pelas autoras, destacam-se: (a) a simultaneidade; (b) sincronismo de relógios; (c) tempo; (d) espaço; (e) observador; (f) sistema de referência. Para a análise qualitativa dos dados obtidos os autores usaram a teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud. Os resultados obtidos parecem indicar que os subsunçores que os estudantes utilizam frente a várias situações relacionadas com as noções de tempo, espaço, sistema de referência, observador, simultaneidade, postulados e teoria científica não são totalmente adequados para a compreensão dos conceitos relevantes do ponto de vista científico, além disso foi possível identificar evidências de alguns teoremas-em-ação¹⁴ que os estudantes estariam utilizando para dar sentido nas situações propostas, mas que não são apropriados. Tais resultados serviram de base para a reformulação da proposta didática. Concluíram que a proposta didática constitui um material didático inovador que pode ser utilizado pelos professores que desejam inserir temas da RE em sala de aula.

Karam¹⁵ *et al.* (2005; 2006; 2007) baseados na metodologia dos três momentos pedagógicos de Delizoicov e Angotti (1991) elaboraram uma unidade didática que visava abordar tópicos da RE para estudantes do 1º ano do EM logo após o estudo da cinemática. Em relação à concepção de aprendizagem, os autores, trabalharam em concordância com a noção de perfil conceitual de Mortimer (1994). A partir da análise qualitativa dos pré e pós-testes os autores identificaram algumas concepções que os estudantes possuíam de tempo, tais como: tempo psicológico (realidade subjetiva); tempo cronológico (unidades quantificadas: relógio); tempo absoluto de Newton

¹⁴ Tais como: o tempo é uma unidade; o tempo é absoluto; o tempo é relativo; o tempo é difícil de definir; representa-se o tempo com um relógio; o tempo não se pode representar; o tempo é uma variável independente de um sistema de coordenadas; não é possível viajar no tempo fisicamente; não se pode viajar no tempo por questões tecnológicas; o espaço não se pode representar; dois eventos são simultâneos quando ocorrem ao mesmo tempo e no mesmo lugar; observador pode ser um indivíduo ou um instrumento que registra dados detalhadamente; para resolver problemas de física não é necessário levar em conta o sistema de referência; o mais importante no processo de medição é o instrumento; as teorias científicas permitem explicar fenômenos; os postulados são crenças que podem se converter em teorias científicas (PEREIRA; OSTERMANN, 2009, p. 403).

¹⁵ Os trabalhos referem-se a mesma proposta didática desenvolvida por Karam (2005) para obtenção do título de mestre em Educação Científica e Tecnológica pela Universidade Federal de Santa Maria no ano de 2005. Tal proposta didática teve como resultado final dois artigos elaborados por Karam; Cruz e Coimbra (2006; 2007).

(independente de referencial); tempo discreto (quadros indivisíveis); tempo determinístico (destino); tempo e probabilidade (futuro incerto); tempo relativístico. Concluíram que os resultados obtidos evidenciaram uma ampliação do perfil conceitual do tempo por partes dos estudantes.

Finalizada esta breve apresentação da revisão da literatura, o próximo capítulo é destinado a apresentação das metodologias de pesquisa e de ensino.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo, são expostas as metodologias de pesquisa e de ensino que foram empregadas. Tais abordagens compreendem a forma como a pesquisa foi realizada, o ensino e o modo de coletar, analisar e interpretar os dados. A figura 9 apresenta uma síntese deste capítulo.

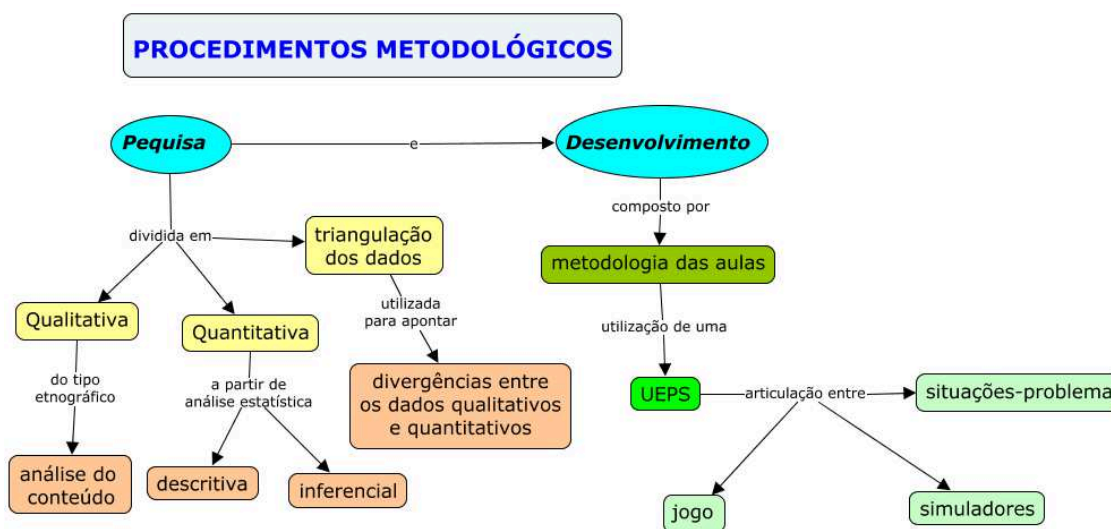


Figura 9: Síntese dos procedimentos metodológicos.

4.1 Metodologias do ensino

Nesta seção apresenta-se uma breve fundamentação teórica sobre as metodologias de ensino empregadas neste trabalho de pesquisa. Inicialmente apresenta-se as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), em seguida descreve-se os motivos e as justificativas que se levou a utilizar os jogos e os simuladores como ferramentas na aprendizagem. Na sequência, apresenta-se o jogo a *Slower Speed of Light* que foi utilizado como ferramenta educacional. Por fim, apresenta-se as metodologias das aulas e descreve-se o contexto da implementação da proposta didática.

4.1.1 Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS)

A UEPS (MOREIRA, 2011) é uma proposta de construção de uma sequência didática fundamentada na teoria da AS (AUSUBEL, 2002).

Nas UEPS a diversificação de materiais e estratégias de ensino são essenciais para estimular o questionamento, o diálogo e a crítica dos estudantes, uma vez que, privilegiam um ensino centrado no aluno e não no professor. Mas, para que esses estímulos ocorram de fato devem-se privilegiar tanto as atividades colaborativas quanto às atividades individuais.

Moreira (2011) propõe alguns aspectos sequenciais (passos) a serem seguidos na elaboração de uma UEPS: 1) definição do tópico a ser abordado; Identificação dos conhecimentos prévios dos alunos; 2) Criar/propor situação(ções) - a partir de várias ferramentas (mapas conceituais, mapas mentais e etc.) - que levem o aluno a querer pensar, a criar um modelo mental, de seus conhecimentos prévios; 3) Propor situações-problema, em nível bem introdutório, levando em conta o conhecimento prévio do aluno; 4) Apresentação do conhecimento a ser ensinado/aprendido, partindo do mais geral para o mais específico; 5) Retomada dos aspectos mais gerais do conhecimento estudado, porém com a inserção de uma situação-problema em nível maior de complexidade; 6) Novas situações-problema devem ser propostas e trabalhadas em níveis mais altos de complexidade; 7) A avaliação da aprendizagem através da UEPS deve ser feita ao longo de sua implementação, registrando tudo que possa ser considerado evidência de AS do conteúdo trabalhado; 8) A UEPS somente será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de AS.

4.1.1.1 Alteração da UEPS construída por Riboldi (2015)

A partir de uma leitura minuciosa da dissertação de Riboldi (2015), este trabalho de pesquisa buscou verificar quais foram as dificuldades encontradas na aplicação da UEPS, quais os conceitos que os estudantes tiveram maiores dificuldades de entender e quais as estratégias que foram utilizadas para diminuir tais dificuldades. Após essa análise, chegou-se à conclusão de que seria necessário modificar alguns aspectos da UEPS construída por Riboldi (2015) a fim de tornar o material de aprendizagem potencialmente significativo à nova realidade a que seria submetido.

Na sequência, busca-se responder, por meio da apresentação e das justificativas das alterações realizadas na UEPS proposta por Riboldi (2015), a

primeira questão de pesquisa: *O material de aprendizagem adaptado de uma pesquisa de mestrado utilizando animações e o game a Slower Speed of Light para ensinar conceitos da Teoria da Relatividade Especial é potencialmente significativo?*

4.1.1.1.1 O que foi alterado

O intuito desta seção é descrever as alterações realizadas, bem como justificar o porquê das mudanças ocorridas. A versão final da UEPS utilizada neste trabalho de pesquisa encontra-se detalhada na seção 8.1 Proposta de UEPS para ensinar relatividade.

Moreira (2011) propõem oito passos na construção de uma UEPS. No entanto, não foram identificados a utilização de todos esses passos na UEPS proposta por Riboldi (2015). Por isso, a primeira alteração a ser feita foi a adequação da proposta de Riboldi (2015) aos passos propostos por Moreira (2011) na construção de uma UEPS.

A segunda alteração realizada foi a modificação das duas primeiras questões¹⁶ propostas por Riboldi (2015), na situação inicial, para direcionar o levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes acerca da vida e obra de Albert Einstein. Estas questões foram modificadas a fim de evitar perguntas cujas respostas poderiam ser sim ou não.

A terceira alteração também foi realizada no primeiro passo (situação inicial). Em sua UEPS Riboldi (2015) sugere que o professor solicite que os alunos realizem como tarefa de casa uma pesquisa sobre a RG, produzindo uma resenha sobre o material encontrado, a justificativa de Riboldi (2015) para tal atividade era de que naquele ano (2015) à teoria da RG estava completando 100 anos. No entanto, a proposta de ensino de Riboldi (2015) é destinada apenas a teoria da Relatividade Restrita. Diante disso, decidiu-se modificar a proposta didática solicitando que os estudantes realizassem uma pesquisa sobre a teoria da RE, uma vez, que a UEPS proposta tem como enfoque apenas conceitos da RE. Entretanto, como neste ano teve-se a comprovação da existência das ondas gravitacionais previstas pela teoria da RG de Albert

¹⁶ As questões propostas por Riboldi (2015) eram: 1) Vocês sabem quem foi Albert Einstein? e 2) Já ouviram falar ou leram algo sobre a teoria da Relatividade? A primeira foi alterada para: 1) Quem foi Albert Einstein? e a segunda para: 2) O que vocês sabem sobre a Teoria da Relatividade?, com o intuito de evitar respostas cuja descrição poderiam ser sim ou não.

Einstein, optou-se por mencionar tal comprovação e iniciar uma discussão sobre o assunto.

A quarta alteração foi realizada na situação-problema de aprofundamento 1. Nesse terceiro passo da UEPS Riboldi (2015) propõem que os alunos trabalhem com três animações que tratam dos fenômenos relativísticos (contração do comprimento, relógio de luz e simultaneidade de eventos) e busquem explicações para os fenômenos observados no jogo utilizado. Ele também propõem que os alunos sejam encorajados a deduzir a expressão para a dilatação temporal a partir dos dados fornecidos na animação do “relógio de luz” e posteriormente assistam um vídeo sobre o paradoxo dos gêmeos buscando explicações para o fenômeno apresentado. Destaca-se que tais atividades são bem interessantes, entretanto, como já descrito anteriormente, a UEPS de Riboldi (2015) não apresenta os oito passos para a construção de uma UEPS. Por esse motivo, e também por buscar um maior aproveitamento e discussão das atividades propostas decidiu-se dividir esse passo em dois: As três animações foram usadas para o aprofundamento dos conteúdos (passo 3) e o paradoxo dos gêmeos para a situação-problema com nível maior de complexidade (passo 4). Ressalta-se ainda, que a dedução da expressão para a dilatação temporal é uma atividade muito complexa¹⁷ para estudantes do EM, por isso, resolveu-se apenas demonstrar tal dedução em sala de aula e não solicitar que os alunos a realizassem.

Devido aos erros epistemológicos e visões deformadas da ciência que foram identificadas¹⁸ qualitativamente na parte inicial da pesquisa, decidiu-se não aplicar a avaliação individual (prova) proposta por Riboldi (2015), e sim elaborar algumas ações a fim de diminuir essas lacunas, modificar o planejamento didático proposto e posteriormente reaplicar as mesmas questões como avaliação individual (prova)¹⁹.

¹⁷ Acredita-se que para realizar tal atividade o professor deve achar mecanismos que ajudem os alunos a fazerem isso, pois tratasse de uma atividade muito complexa. Por não ter encontrado tais mecanismos optou-se em deduzir tal expressão juntamente com os estudantes, e mesmo assim eles acharam muito difícil, imagine fazê-lo sozinhos.

¹⁸ Foi aplicado ao longo da implementação da proposta didática dez questões para identificar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre conceitos da teoria da RE. Tais questões só foram implementadas no grupo experimental porque fazem parte da UEPS desenvolvida para ensinar RE.

¹⁹ Esta foi a quinta modificação realizada na UEPS de Riboldi (2015). A avaliação somativa individual aplicada aos estudantes encontra-se na seção 9.5 Prova.

A sexta alteração feita é com relação a avaliação da própria UEPS. Neste quinto passo Riboldi (2015) sugere que depois de algumas semanas do final da aplicação da UEPS, o professor deve escolher de forma aleatória alguns alunos (entre 6 e 10 alunos por sala) para que estes respondam algumas questões sobre a aplicação da UEPS. No entanto, optou-se por aplicar a avaliação da UEPS²⁰ para todos os estudantes, inclusive para os alunos das turmas de controle com o intuito de analisar as estratégias de ensino utilizadas, visando assim melhorar a qualificação do trabalho.

Nas seções 9.3 (Planos de aula do Grupo Experimental) e 9.4 (Planos de aula do Grupo de Controle), há a descrição detalhada das aulas, visando diminuir a lacuna mencionada nos trabalhos de Peres e Solbes (2006) e Rodrigues (2011) que aponta que faltam pesquisas que detalham à implementação da proposta, impossibilitando a sua reprodução em sala de aula e a contextualização dos resultados. Através do transcrito nesta seção, respondeu-se a primeira questão de pesquisa e obteve-se argumentos para responder a segunda.

Nas UEPS a utilização de recursos tecnológicos que sejam potencialmente significativos, como por exemplo, o uso dos jogos e dos simuladores são essenciais para a aprendizagem significativa de novos conhecimentos. Por isso, na presente pesquisa utilizou-se as UEPS articuladas com as situações-problema, os vídeos, os jogos e os simuladores. Nesta seção foi apresentado as UEPS e as alterações realizadas no material de aprendizagem construído por Riboldi (2015), e na próxima seção, passa-se a discutir o uso de jogos e simulações como ferramentas úteis no processo de ensino e aprendizagem.

4.1.2 Uso de jogos e simulações na aprendizagem

²⁰ A avaliação da UEPS utilizada para verificar a opinião dos estudantes sobre as estratégias de ensino utilizadas na implementação da proposta didática não foi a mesma usada por Riboldi (2015), porque ela não condizia com a presente proposta de pesquisa que visava avaliar os métodos de ensino utilizados tanto no grupo de controle quanto no grupo experimental. Por isso, decidiu-se aplicar o modelo de questionário construído por Parisoto (2015). Tal questionário encontra-se disposto na seção 9.2 Análise dos métodos e/ou das estratégias de ensino.

Com o uso das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC) os alunos se comunicam com outras pessoas e com o conhecimento acumulado pela humanidade ao longo do tempo (RANGEL et al., 2012). Por isso, sua introdução no ensino de Ciências, como novas metodologias de ensino e aprendizagem, atualmente consiste em uma área de pesquisa muito promissora (RANGEL et al., 2012; RIBOLDI, 2015). Ao explorar o potencial das TDIC o professor tem em mãos uma diversidade de “*ferramentas capazes de atender às individualidades de cada estudante, assim como contemplar os diferentes estilos de aprendizagem*” (RIBOLDI, 2015, p. 15).

Segundo Riboldi (2015) durante 30 anos os designers de simulações desenvolveram uma variedade de simuladores com a intenção de apoiar e facilitar a aprendizagem de Ciências. No entanto, mais recentemente, baseados em teorias de aprendizagem os designers de jogos começaram a desenvolver jogos educacionais com o objetivo de tornar o ensino de Ciências mais eficaz e mais atraente para os estudantes.

Segundo Gee (2010) os jogos educacionais se tornam importantes ferramentas capazes de envolver os alunos no processo de aprendizagem e desenvolver habilidades como o senso crítico, a argumentação, a modelagem, a representação, entre outras. Além disso, os jogos educacionais podem provocar altos níveis de envolvimento e interação entre os estudantes, “*incentivando a repetição de procedimentos e prática de processos, motivando os alunos com desafios e feedback rápidos*” (RIBOLDI, 2015, p. 16). Por isso, acredita-se que os jogos educacionais possuem um grande potencial para apoiar propostas de ensino que são baseadas em investigação, como é o caso das UEPS. Mas, é importante destacar que os jogos educacionais por si só constituem apenas uma ferramenta metodológica, que podem tanto contribuir para o aprendizado do aluno, quanto tornar-se um obstáculo de aprendizagem para o estudante (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002). Ou seja, “*sem a inserção de metas de aprendizagem atribuídas aos jogos digitais, estes passam a ser apenas jogos de entretenimento*” (RIBOLDI, 2015, p. 17).

Para Riboldi (2015) os bons jogos digitais devem estimular os alunos a identificarem e analisarem os problemas apresentados, recorrendo e aplicando o conhecimento aprendido anteriormente. Devem fornecer experiências que permitem que o aluno/jogador interaja socialmente com os demais

estudantes/jogadores, compartilhando e utilizando os conhecimentos adquiridos previamente. Devem possuir objetivos de aprendizagem (regras, métodos, procedimentos, entre outros) associados com as experiências relacionadas aos jogos digitais (interação com os demais jogadores, ação, improvisação, feedback, aprendizagem, entre outras). Devem permitir um bom grau de interação e capacidade de escolhas dos alunos/jogadores.

Contudo, é importante esclarecer que o foco principal não deve estar no jogo em si, mas sim nas experiências que este pode promover no aluno/jogador. Por isso, se faz necessário que o planejamento didático do professor favoreça o processamento das experiências vividas pelos alunos na concretização dos objetivos de aprendizagem. Da mesma forma, o domínio do professor sobre jogo é importante não só para a orientação dos alunos acerca das regras e procedimentos do jogo, mas também para evidenciar e relacionar os conteúdos presentes no jogo com os objetivos de aprendizagem e com os conteúdos da disciplina, levando assim os estudantes a refletirem sobre as experiências vividas com o jogo (RIBOLDI, 2015).

Desta forma, os jogos digitais podem ser utilizados em diferentes fases do processo de instrução. Eles podem ser utilizados no início da unidade didática para despertar o interesse e a motivação dos estudantes para um determinado conteúdo. Podem ser utilizados para aumentar a compreensão ou adquirir uma maior quantidade de símbolos. Podem ser utilizados como instrumento de avaliação.

Mas, independente do momento que eles forem utilizados, é preciso pensar como este jogo irá alcançar as metas de aprendizagem em sala de aula. Ou seja, é preciso aliar o jogo a outras metodologias e ferramentas de ensino e aprendizagem com o intuito de contribuir para uma aprendizagem mais significativa. Entre essas ferramentas pode-se citar, por exemplo, as aulas dialogadas, os trabalhos em grupo e a resolução de situações-problema.

4.1.2.1 O Jogo A Slower Speed Of Light

A história do jogo “*a Slower Speed of Light*”²¹ começa quando em uma vila tranquila, uma criança parte muito cedo deste mundo. Seu espírito inicia uma viagem para se tornar uma luz branca. O problema é que a velocidade da luz é muito rápida para o jovem espírito, mas para a sorte dele, o mundo espiritual é cheio de orbes mágicas capazes de diminuir essa velocidade, e coletá-las é o objetivo do jogador neste desafio. Conforme a velocidade da luz vai diminuindo o jogador consegue ver muito mais do que os olhos humanos conseguem ver em seu cotidiano.

Neste jogo desenvolvido pelo MIT (Massachusetts Institute of Technology), os efeitos relativísticos da RE aos poucos tornam-se evidentes para o jogador, aumentando o desafio do jogo. Estes efeitos, processados em tempo real com grande precisão, incluem o efeito Doppler Clássico e Relativístico, o efeito Holofote, a dilatação do tempo, a contração do espaço, o efeito Terrell e o *runtime effect* (que é a capacidade de ver objetos como eram no passado, devido ao tempo de percurso da luz). Este jogo combina uma jogabilidade acessível e um cenário de fantasia, com pesquisa em física teórica e computacional, levando o jogador a viver uma experiência envolvente e pedagogicamente rica.

Na figura 10 apresenta-se uma captura de tela do cenário do jogo “*a Slower Speed of Light*”.

²¹ O game “A slower speed of light” foi produzido pelo MIT (Massachusetts Institute of Technology) Game Lab e o seu download pode ser feito na página: <http://gamelab.mit.edu/games/a-slower-speed-of-light/>. Esse game é uma referência clara à questão proposta por Einstein quando este tinha apenas 16 anos de idade: “O que poderíamos ver se pudéssemos viajar montados em um raio de luz?”.

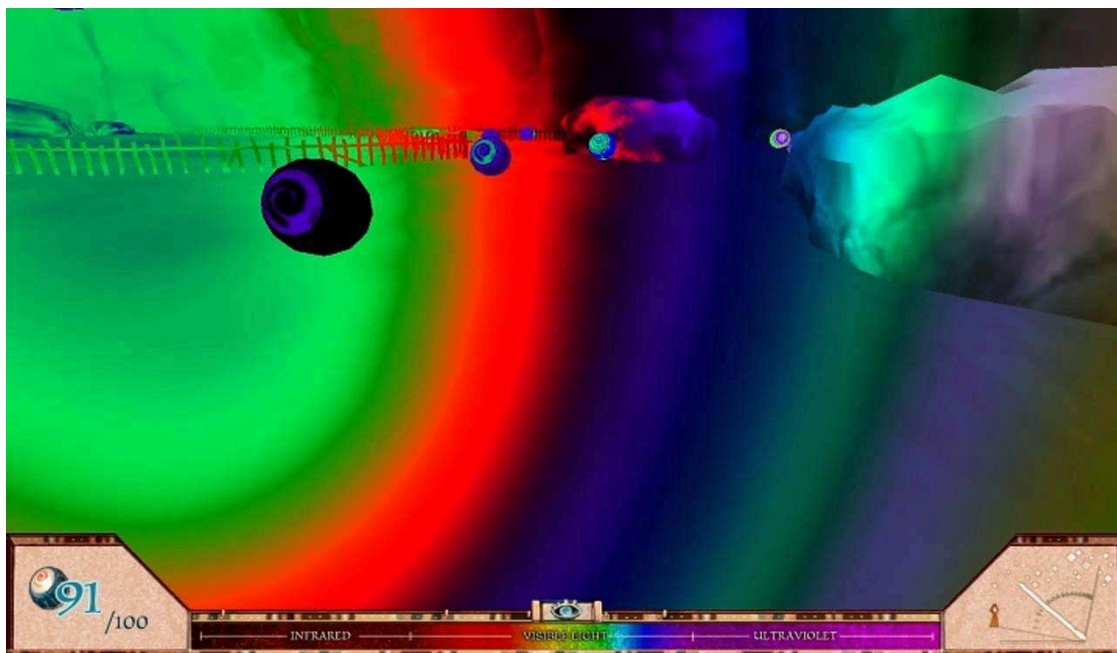


Figura 10: Captura de tela do jogo a slower speed of light. No canto inferior esquerdo está o contador de orbs e no direito o indicador de velocidade do jogador e da velocidade da luz (ponteiro branco). À frente encontram-se algumas *orbs*. **Fonte:** Captura de tela do *game* "A slower speed of light".

4.1.2 Metodologias das aulas

A metodologia das aulas está detalhada nas seções 9.3 Planos de aula do Grupo Experimental e 9.4 Planos de aula Grupo de Controle. Ao longo da implementação da proposta didática, buscou-se utilizar as características mencionadas por Moreira (2011) para a construção de uma UEPS, que gere aulas potencialmente desenvolvedora de aprendizagem significativa.

4.1.2.1 Conhecimentos Prévios

Moreira (2011), ao apresentar as UEPS fundamentadas na TAS de Ausubel (2002), afirma que, para que o material a ser ensinado seja potencialmente significativo, é necessário que o conteúdo a ser aprendido seja logicamente significativo e possa ser relacionado a conhecimentos prévios específicos presentes na estrutura cognitiva do estudante. Por isso, este trabalho de pesquisa buscou identificar esses conhecimentos prévios, reformular o planejamento didático e ensinar de acordo com eles. Se os alunos apresentaram mais conhecimento sobre o assunto, este foi utilizado como

subsunção para a aprendizagem de novos conceitos. Se não souberam, este foi destacado nas explicações e na proposta didática construída.

Para identificar os conhecimentos prévios dos estudantes foram aplicados ao longo da implementação da UEPS dez questões sobre o tema e um questionário pré-teste contendo conceitos básicos da teoria da RE. Esses mesmos instrumentos avaliativos foram reaplicados após a implementação da unidade de ensino com o intuito de corroborar ou refutar indícios de aprendizagem.

4.1.3 Contexto da implementação

A proposta foi implementada, simultaneamente, em quatro turmas da 3ª série do EM de duas escolas estaduais localizadas na cidade de Capitão Leônidas Marques-PR. Duas delas foram denominadas de grupo experimental (SCHNEIDER et al., 2002; CHANG e LEE, 2010; PARISOTO, 2015) e as outras duas foram chamadas de grupo de controle (SCHNEIDER et al., 2002; CHANG e LEE, 2010; PARISOTO, 2015). Os dois grupos possuíam as seguintes características: ocorriam no período matutino, os alunos possuíam entre 16 e 17 anos e a maioria não trabalhava.

No grupo experimental foram ministradas aulas utilizando as UEPS com conteúdos de RE programados para 14 horas/aula cada turma, no entanto, a implementação da UEPS ocorreu em 24 horas/aula devido a aplicação dos questionários pré-teste e pós-teste. Esse grupo era composto por 50 alunos (24 alunos da turma experimental A e 26 estudantes da turma experimental B).

No grupo de controle foram ministradas aulas tradicionais (aulas expositivas seguidas de resolução de exercícios), com os mesmos conteúdos de RE e com a mesma carga horária, ou seja, 24 horas/aula. Este grupo era composto por 52 alunos (sendo 24 alunos da turma de controle A e 28 estudantes da turma de controle B).

4.2 Metodologia de Pesquisa

Na metodologia da pesquisa, a qual teve por objetivo coletar, analisar e interpretar os dados, dividiu-se em: 1) pesquisa qualitativa, 2) pesquisa

quantitativa e 3) triangulação dos dados. Sendo que a pesquisa qualitativa, foi realizada a partir da análise do conteúdo (BARDIN, 2011) e a pesquisa quantitativa através de análise estatística descritiva e inferencial (DANCEY; REIDY, 2007 apud PARISOTO, 2015) usando o pacote estatístico SPSS. No entanto, Ausubel (2002) destaca que uma forma de identificar se há indícios de aprendizagem é verificar se os alunos aplicam os conhecimentos em novas situações e isso foi buscado na triangulação dos dados, defendida, respectivamente, por André (1988 e 2005), Moreira e Rosa (2002) e Parisoto (2015).

A pesquisa qualitativa justifica-se pela necessidade de “*analisar e interpretar os dados, refletir e explorar o que eles podem proporcionar buscando regularidades para criar um profundo e rico entendimento do contexto explorado*” (OLIVEIRA, 2010). Dessa forma, pretendeu-se por meio da análise qualitativa, possibilitar a aproximação do investigador com o objeto investigado, procurando compreender os fenômenos segundo a perspectiva dos sujeitos, ou seja, dos participantes da situação em estudo. Já a pesquisa quantitativa justifica-se pela necessidade de se quantificar os resultados da pesquisa, ou seja, de garantir a precisão do estudo realizado, conduzindo a um resultado com menores chances de distorções. Destaca-se que a utilização conjunta da análise qualitativa e quantitativa (triangulação dos dados) permitirá recolher mais informações do que se poderia conseguir isoladamente, de modo que uma possa complementar a outra (EISNER, 1981; PARISOTO, 2015).

4.2.1 Pesquisa e Desenvolvimento

O desenvolvimento instrucional deve estar associado à pesquisa em ensino, ou pelo menos, levar em consideração “*o conhecimento produzido por ela e os enfoques teóricos sobre aprendizagem compartilhados pela comunidade de educadores e pesquisadores em ensino de Física*” (ARAUJO; VEIT; MOREIRA, 2004 apud PARISOTO, 2015, p. 82). Baseado nessa perspectiva, foi proposto neste trabalho tanto o desenvolvimento de materiais quanto à pesquisa em ensino. Cabe aqui diferenciá-las.

Os projetos de desenvolvimento em ensino “*são aqueles que se referem às inovações didáticas e que estão estreitamente relacionados aos trabalhos*

de conclusão, no âmbito dos mestrados profissionais, nas áreas de ensino” (OSTERMANN; REZENDE, 2009 apud PARISOTO, 2015, p. 82). Já a pesquisa em ensino de ciências é aquela voltada para a produção de conhecimentos sobre educação em ciências. Ou seja, a busca por respostas a perguntas sobre o ensino, sobre a aprendizagem, sobre os currículos de ciências, sobre o contexto em que isso ocorre e sobre os professores de ciências e sua formação constante, dentro de um *“quadro epistemológico, teórico e metodológico consistente e coerente, no qual o conteúdo específico das ciências está sempre presente”* (MOREIRA, 2011 apud PARISOTO, 2015, p. 82).

Da mesma forma que Santarosa (2011) e Parisoto (2015), acredita-se que existe uma relação entre pesquisa e desenvolvimento, qual seja a busca por estratégias de ensino, que têm como resultado final a aprendizagem, por isso na presente proposta pretende-se realizar a integração entre ambas.

4.2.2 Pesquisa Qualitativa

Na pesquisa qualitativa o pesquisador preocupa-se mais em compreender o que ocorre dentro da sala de aula, por exemplo, do que com a identificação das causas. *“A validade da pesquisa qualitativa é determinada por seu grau de credibilidade e de persuasão”* (PARISOTO, 2015, p. 83). Por esse motivo, o pesquisador qualitativo precisa realizar uma análise detalhada do objeto de estudo, de modo a dispor de argumentos que justifiquem as conclusões a que chegou.

Em um estudo qualitativo, o pesquisador busca desenvolver hipóteses e não testá-las. Inicia com suposições que guiam o pesquisador e podem mudar ao longo da pesquisa (PARISOTO, 2015).

Metodologicamente, o pesquisador qualitativo *“observa o objeto de pesquisa, anotando tudo o que acontece em um diário de bordo, coletando materiais, tais como trabalhos dos alunos e gravações de discussões feitas por eles”* (PARISOTO, 2015, p. 83). Nesta perspectiva o pesquisador, descreve minuciosamente tudo o que ocorreu com seu objeto de estudo com o objetivo de buscar convencer o leitor de suas conclusões. Desta forma, o pesquisador permite ao leitor ter elementos suficientes para concordar ou discordar dos

resultados obtidos. Tal característica, da pesquisa qualitativa, facilita possíveis repetições da implementação da pesquisa (PARISOTO, 2015).

A credibilidade da pesquisa qualitativa está associada com a qualidade da análise. É preciso *“trabalhar com os dados, sintetizá-los, organizá-los, descobrir o que é importante e o que é secundário, decidir o que vai ser dito no produto final da pesquisa”* (PARISOTO, 2015, p. 83).

Essas são apenas algumas das características gerais do estudo qualitativo. Dentro dessa perspectiva, *“existem algumas técnicas singulares, fundamentadas em correntes, pensamentos e abordagens diversas”* (CÂMARA, 2013, p. 182), entretanto, este trabalho se detém especialmente em uma das técnicas para interpretação de dados proveniente de pesquisas qualitativas, a saber, a análise do conteúdo.

4.2.2.1 Análise do conteúdo

Atualmente a análise do conteúdo (BARDIN, 2011) pode ser entendida como um conjunto de instrumentos metodológicos em constante aperfeiçoamento, que se aplicam a diferentes fontes de conteúdos (verbais ou não verbais). Quanto ao esforço de interpretação, a análise de conteúdo transita entre os dois polos do rigor da objetividade e da fecundidade da subjetividade (BARDIN, 2011). Trata-se de uma técnica refinada, que exige do pesquisador na definição das categorias de análise, além de disciplina, dedicação, paciência e tempo, certo grau de intuição, imaginação e criatividade. Sem esquecer, do rigor e da ética, que são fatores essenciais (SILVA; FOSSÁ, 2013).

Para que se possa conferir significação aos dados coletados a análise de conteúdo proposta por Bardin (2011) compreende três fases fundamentais: 1) pré-análise, 2) exploração do material e 3) tratamento dos resultados (inferência e interpretação).

A *pré-análise* é a fase da organização do material a ser investigado. Nela o pesquisador tem por objetivo sistematizar e operacionalizar as ideias iniciais, de modo a estabelecer um esquema de trabalho preciso, embora flexível (que permita a introdução de novos procedimentos no decorrer da análise).

Segundo Bardin (2011) esta primeira fase constituiu-se da leitura flutuante dos documentos coletados nas entrevistas e nas observações dos sujeitos de pesquisa, sob a orientação de algumas regras para a constituição do *corpus*²², que é composto por um conjunto de documentos selecionados para análise durante o período de tempo estabelecido para a coleta de dados. Mas, a constituição desse corpus implica, muitas vezes, escolhas, seleções e regras que, de acordo com Bardin (2011), devem ser obedecidas: (a) Exaustividade (não se pode deixar fora da pesquisa qualquer um dos elementos já definidos no corpus por esta ou por aquela razão); (b) Representatividade (a amostra deve representar o universo); (c) Homogeneidade (os dados devem referir-se ao mesmo tema, serem obtidos por técnicas iguais e selecionados por indivíduos semelhantes); (d) Pertinência (os documentos precisam adaptar-se aos conteúdos e objetivos previstos); (e) Exclusividade (um elemento não deve ser classificado em mais de uma categoria).

Ressalta-se, conforme o modelo de Bardin (2011), que antes da fase de exploração do material, há uma fase intermediária, denominada fase de preparação do material. Nesta fase ocorre a reunião de todo o material para tratar das informações coletadas (gravações, observações, entrevistas, etc.), com vistas à preparação formal (ou edição) dos textos. Faz-se necessário esclarecer que as observações, feitas pelo analista, *“têm um cunho enriquecedor quando da análise dos textos, considerando que estas também expressam com fidedignidade outros cenários de comunicação”* (SILVA; FOSSÁ, 2013).

Na segunda fase, ou fase da exploração do material são construídas as operações de codificação²³, considerando-se os recortes dos textos em unidades de registros, a escolha das regras de contagem e a classificação e agregação das informações em categorias simbólicas ou temáticas. Nesta fase, todo o material coletado (entrevistas, documentos e anotações) são recortados em unidades de registro (palavras, frases, parágrafos). Desse processo,

²² De acordo com Bardin (2011) o corpus é o conjunto de documentos tidos em conta para serem submetidos aos procedimentos analíticos.

²³ Bardin (2011) define codificação como a transformação dos dados brutos do texto, por meio de recorte, agregação e enumeração, com base em regras precisas sobre as informações textuais, representativas das características do conteúdo.

surtem as categorias iniciais, que agrupadas tematicamente originam as categorias intermediárias e estas últimas resultam nas categorias finais (as quais possibilitam as inferências). Por este processo indutivo ou inferencial, busca-se além de compreender o sentido da fala dos sujeitos de pesquisa, outra significação ou outra mensagem através ou junto da mensagem primeira (SILVA; FOSSÁ, 2013).

A terceira fase do processo de análise do conteúdo é denominada tratamento dos resultados, inferência e interpretação. Nesta fase, os resultados recebem um tratamento analítico, para se tornarem significativos e válidos (BARDIN, 2011). Com esses resultados significativos e fiéis, o analista, pode então *“propor inferências e adiantar interpretações a propósito dos objetivos previstos, ou que digam respeito a outras descobertas inesperadas”* (BARDIN, 2011, p. 101). Torna-se importante destacar que a interpretação dos dados só terão sentido se o analista relacionar os dados obtidos com o referencial teórico.

4.2.3 Pesquisa Quantitativa

A pesquisa quantitativa busca estudar os fenômenos de interesse da pesquisa em educação geralmente através de estudos experimentais ou correlacionais evidenciados principalmente por medições objetivas e análises quantitativas. De um modo geral, o enfoque quantitativo tem como ideia básica a manipulação e controle objetivo de variáveis, as quais geralmente deseja-se medir a fim de obter dados. Mas, essa questão de como medir as variáveis remete a outra característica importante da pesquisa quantitativa, os instrumentos de medida (que podem ser testes de conhecimentos, questionários, fichas de observação, etc.). Obviamente, ao se utilizar tais instrumentos de medidas o pesquisador espera ter um maior grau de confiabilidade dos valores medidos: a fidedignidade e a validade (MOREIRA, 2003).

4.2.3.1 Fidedignidade e Validade

Na abordagem quantitativa, os instrumentos de medida devem apresentar fidedignidade, validade interna e externa. Segundo Moreira (2003) a fidedignidade de um instrumento refere-se à estabilidade, à reprodutibilidade, à precisão das medidas com ele obtidas, ao grau de consistência dos valores medidos. Assim, se um instrumento de coleta de dados é perfeitamente fidedigno se aplicado duas vezes nas mesmas circunstâncias deverá fornecer os mesmos dados (resultados). No entanto, não é desejável aplicar o mesmo instrumento no mesmo grupo, porque é impossível retestar o mesmo grupo nas mesmas condições. Por isso, se faz necessário recorrer a procedimentos estatísticos, que permitem estimar a fidedignidade do instrumento, a partir das respostas de um certo número de indivíduos. A ferramenta estatística usada para estimar a fidedignidade do instrumento é a correlação. Correlações de 1 (100%) indicam perfeita fidedignidade, correlações perto de zero indicam ausência de fidedignidade e correlações entre zero e 1 (100%) significam níveis intermediários de fidedignidade. De acordo com Moreira (2003), os valores aceitos do coeficiente de fidedignidade (denominado alfa de Cronbach) dependem do que se está medindo. Nas áreas de atitudes e interesses, onde os dados são mais flexíveis e mutáveis, correlações da ordem de 0,70 são aceitas. Em outras áreas, no entanto, são esperados valores acima de 0,85.

Segundo Parisoto (2015) para que o valor do alfa de Cronbach (MOREIRA e ROSA, 2002) seja pouco influenciado pela flutuação estatística, é desejável que o número de respondentes seja, pelo menos, cinco vezes maior do que o número de questões. Para calcular a fidedignidade do teste, este foi entregue para alunos da 3ª série do EM, que os responderam e com tais dados calculou-se a fidedignidade do instrumento quantitativo.

Além de fidedigno, um instrumento quantitativo precisa ser válido interna e externamente. A validação interna indica até que ponto se pode concluir, com segurança, que os resultados obtidos podem ser atribuídos ao tratamento dado. Uma das formas de se garantir isso é entregar o teste para outros professores corrigirem (validação de conteúdo). Deste modo, se garante que o instrumento não irá conter questões erradas, de sentido duplo, e que cada questão irá medir aquilo que se deseja (PARISOTO, 2015). Os questionários quantitativos foram validados internamente por cinco professores de diferentes instituições de ensino. Outro aspecto a ser considerado na validação interna (e

externa) é a utilização de um delineamento experimental. Na impossibilidade de utilizá-lo também é aceito o delineamento quase-experimental. Existem várias ameaças à validade interna (procedimentos experimentais, uso inadequado do procedimento, problema na aplicação dos tratamentos, etc.) que podem surgir, inclusive, a partir das características dos sujeitos de pesquisa. Tais ameaças foram consideradas na presente pesquisa.

Já a validade externa mostra até que ponto os resultados obtidos podem ser generalizados além dos dados específicos do estudo realizado. Dessa forma, a preocupação passa a ser com a possibilidade de que resultados semelhantes sejam obtidos com outros grupos de alunos, em outras escolas, outros professores, outros níveis escolares e na medida em que isso for verdadeiro, os resultados terão validade externa (MOREIRA, 2003). Porém, potenciais ameaças à validade externa devem ser identificadas. Tais ameaças surgem quando o pesquisador faz inferências incorretas a partir dos dados da amostra para outras pessoas, outros ambientes e situações passadas ou futuras (PARISOTO, 2015). Essa generalização não foi realizada na presente pesquisa.

A questão da fidedignidade e da validade (interna e externa) foi aqui abordada porque, do ponto de vista da pesquisa educacional quantitativa, esse é um aspecto fundamental da pesquisa em ensino. Se os dados coletados não forem fidedignos e válidos é inútil continuar com a pesquisa: *“a Estatística não fará o milagre de transformar maus dados em bons resultados. Por outro lado, se os dados forem bons, a Estatística poderá facilitar grandemente sua organização e interpretação”* (MOREIRA, 2003, p. 12).

Destaca-se que na análise dos dados quantitativos foram utilizados dois tipos de estatística²⁴: 1) descritiva e 2) inferencial. A primeira foi utilizada para comparar o pré-teste e o pós-teste, do mesmo grupo de estudantes, e para realizar a análise de fidedignidade dos instrumentos quantitativos. Ressalta-se que o pré-teste e o pós-teste possuíam as mesmas questões devido a que os resultados não fossem originados de questões diferentes. A segunda foi

²⁴ A estatística descritiva é usada para resumir, sintetizar, organizar e reduzir os dados coletados e a estatística inferencial permite inferir propriedades de uma população, a partir de uma amostra dessa população.

utilizada para verificar se as diferenças de medidas entre os grupos (experimental e controle) são estatisticamente significativas.

4.2.4 As Etapas da Pesquisa

Para responder às questões de pesquisa seguiu-se as seguintes etapas:

- 1) Revisão da literatura do período de 2001 a 2015, relativa a Relatividade e as UEPS;
- 2) Leitura dos artigos encontrados na revisão da literatura, que apresentam propostas de ensino de Relatividade aplicados em sala de aula no EM;
- 3) Estudo dos conteúdos sobre Relatividade Especial que foram abordadas na disciplina de Física para estudantes do EM²⁵;
- 4) Confecção, validação e cálculo de fidedignidade de um questionário²⁶ (8.4 Pré-teste e Pós-teste) que foi aplicado como pré-teste e pós-teste²⁷ para identificar os conhecimentos prévios dos alunos;
- 5) Entrega do questionário para cinco professores de diferentes instituições fazerem a validação de conteúdo e correção do mesmo;
- 6) Cálculo de fidedignidade do questionário, tirando questões com baixa correlação;
- 7) Entrega do questionário a alunos da disciplina de Física do EM para fazer cálculo de fidedignidade do instrumento;
- 8) Alteração da UEPS construída por Riboldi (2015);
- 9) Aplicação e avaliação da nova versão da UEPS para alunos do EM em duas escolas estaduais do estado do Paraná. Sendo que ao longo do mesmo período a proposta didática também será implementada em duas turmas de controle;
- 10) Análise dos dados a partir da integração entre os dados qualitativos e quantitativos.

²⁵ Ver apêndices I e II Planos de Ensino (grupo experimental e grupo de controle).

²⁶ Esse questionário foi construído a partir das premissas de Vianna (1978).

²⁷ As questões contidas no pré-teste e pós-teste eram as mesmas, devido a que se houvesse diferença entre os resultados obtidos não seria por causa da alteração do instrumento. Destaca-se que os mesmos conceitos que foram avaliados nos pré-testes também foram utilizados em outras situações (mapas-conceituais, situações-problemas, exercícios e provas) visando, a partir da substantividade, buscar indícios de AS.

4.2.5 Coleta de Dados

Para a coleta dos dados, foi usado um delineamento quase-experimental para amostras temporais equivalentes (Campbell e Stanley, 1979). Foram utilizados, neste delineamento, vários testes e observações alternando por um tratamento.

Os testes qualitativos utilizados na pesquisa foram:

- mapas conceituais;
- Resenhas críticas;
- resolução de situações-problema;
- resolução de dez questões ao longo da UEPS;
- avaliação das UEPS;
- anotações em um diário de bordo;
- prova (avaliação individual).

Os testes quantitativos utilizados na pesquisa foram:

- questionário;
- prova (avaliação individual).

O questionário foi utilizado para quatro finalidades: 1) realizar a comparação entre o pré-teste e o pós teste, 2) buscar indícios de AS, 3) identificar os conhecimentos prévios dos estudantes e 4) encontrar pontos necessários para melhorar a implementação da proposta didática. Por esses motivos, as questões dos testes foram as mesmas, afinal quando o instrumento utilizado é diferente podem haver críticas dizendo que está se medindo coisas diferentes ou a mesma coisa com instrumentos diferentes.

Foram realizadas as análises dos resultados dos testes mencionados acima, a fim de responder às questões de pesquisa propostas na seção 1.2 (Questões de pesquisa).

Destaca-se a importância de se trabalhar de forma complementar com instrumentos qualitativos e quantitativos, uma vez que é possível atingir uma visão binocular, mais confiável, já que olhar através de uma única lente não proporciona muita profundidade de campo (EISNER, 1981 apud PARISOTO,

2015). Desta forma, foram usadas diferentes fontes de coleta e análise dos dados, tornando o fenômeno investigado mais completo e a pesquisa mais detalhada.

4.2.6 Análise dos Dados

Para interpretar os dados coletados na metodologia qualitativa e quantitativa da pesquisa, foram utilizados os referenciais teóricos especificados no capítulo 2 (fundamentação teórica). Na sequência, apresenta-se a forma de como essa análise foi realizada em cada conjunto de dados.

- As resenhas foram avaliadas a partir de seis pontos elaborados com o auxílio de duas professoras da área de Português. Foram sugeridos os seguintes critérios para correção das resenhas:
 1. Clareza.
 2. Organização.
 3. Relevância das informações.
 4. Posicionamento crítico.
 5. Referências bibliográficas.
 6. Adequação da linguagem.
- Os mapas conceituais foram analisados a partir das categorias propostas por Novak e Gowin (1984). Eles sugerem cinco critérios de avaliação:
 1. Número de conceitos representados.
 2. Ligação entre conceitos.
 3. Ligações cruzadas.
 4. Níveis hierárquicos (hierarquia).
 5. Exemplos citados.
- Os demais instrumentos qualitativos foram analisados a partir da análise do conteúdo de Bardin (2011).
- Os instrumentos quantitativos foram analisados a partir da estatística descritiva e inferencial.

Segundo Moreira (2011) caso os instrumentos utilizados apresentem indicativos de aprendizagem pode-se dizer que a UEPS foi exitosa.

Com o objetivo de obter a condensação do trabalho e de responder às questões de pesquisa, serão apresentadas aqui a análise dos seguintes instrumentos: pré-teste e pós-teste (análise quantitativa), avaliação das UEPS, diário de bordo e dez questões respondidas durante a implementação da proposta (análise qualitativa).

5. RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados os resultados oriundos da pesquisa realizada em quatro turmas do EM (duas de controle e duas experimentais), na disciplina de Física, mais especificamente utilizando conceitos da teoria da RE. Em cada uma dessas turmas foram ministradas 24 aulas, de modo que a análise dos dados coletados foram realizadas a partir de instrumentos qualitativos e quantitativos. As seções que compõem este capítulo visam responder às outras duas questões de pesquisa²⁸. Uma síntese do capítulo é mostrada na figura 11.

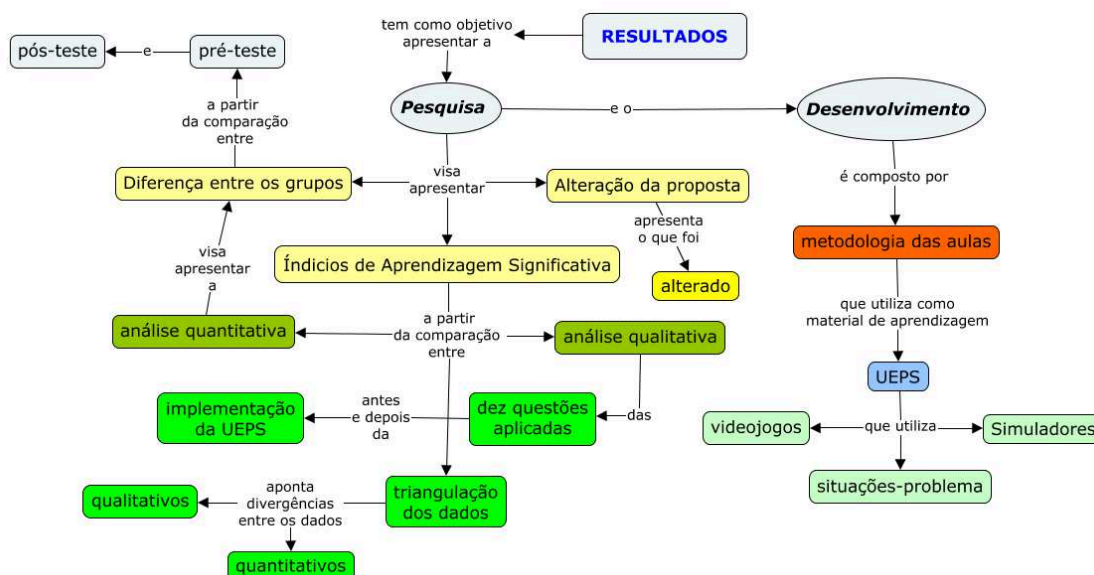


Figura 11: Síntese dos resultados de pesquisa.

5.1. Índices de Aprendizagem Significativa (AS)

Nesta seção são comparados os resultados obtidos pelos alunos no pré-teste e pós-teste, e também nas dez questões aplicadas antes e após a implementação da UEPS, visando responder a segunda questão de pesquisa: *É significativa a aprendizagem de conhecimentos conceituais, procedimentais e de aplicação básicos da Teoria da Relatividade Especial, demonstrada pelos alunos, a partir da implementação da proposta didática?* Inicialmente será apresentado a análise qualitativa dos dados obtidos a partir das dez questões

²⁸ Ver seção 1.2 Questões de pesquisa.

propostas para o grupo experimental²⁹ antes e após a implementação da UEPS, utilizando os procedimentos de análise de conteúdo proposta por Bardin (2011), para avaliar em quais conhecimentos conceituais, procedimentais e de aplicação há indícios de AS e quais deixam de ser utilizados corretamente, fornecendo indícios de aprendizagem mecânica. Em seguida, apresenta-se a análise quantitativa dos dados obtidos a partir do questionário (pré e pós-teste) e comparação entre grupo experimental e de controle, utilizando a estatística descritiva e inferencial. Por fim, aponta-se na triangulação dos dados as divergências entre os dados quantitativos e qualitativos e apresenta-se sugestões do que se poderia fazer, numa próxima implementação da proposta didática, para haver indícios de AS nos casos em que foram identificados evidências de aprendizagem mecânica.

5.1.1 Análise Qualitativa dos dados obtidos a partir das dez questões propostas para o grupo experimental antes e depois da implementação da UEPS

O grupo experimental, inicialmente era composto por 54 alunos (25 alunos da turma experimental A e 29 estudantes da turma experimental B). Mas, no decorrer da implementação da proposta didática um aluno da turma experimental A e quatro estudantes da turma experimental B foram remanejados³⁰ para o período noturno. Portanto, apenas 50 alunos concluíram o planejamento didático. Dos cinquenta e quatro alunos que participaram das aulas, cinquenta alunos responderam as questões propostas. As informações obtidas foram analisadas a partir dos procedimentos de análise de conteúdo proposta por Bardin (2011) e delas obtidas uma diversidade de categorias e subcategorias, que serão apresentadas da seguinte forma:

- Síntese dos subsunçores possivelmente presentes na estrutura cognitiva dos estudantes e os erros conceituais diagnosticados antes da implementação da UEPS, bem como a ação utilizada para reduzir tais erros.

²⁹ As dez questões só foram implementadas no grupo experimental porque fazem parte da UEPS desenvolvida para ensinar Relatividade que parte de conteúdos mais gerais para os mais específicos. Já no caso do grupo de controle a ordem dos conteúdos é o inverso, ou seja, o plano de ensino parte de conteúdos específicos para os mais gerais.

³⁰ O motivo de tais remanejamentos era de que estes estudantes começaram a trabalhar durante o período diurno

- Síntese dos erros conceituais que permaneceram mesmo após a implementação da UEPS e proposta de uma ação para uma próxima implementação da unidade de ensino nos casos em que não houve indícios de AS.

5.1.1.1 Análise qualitativa da primeira questão

As seis categorias apresentadas na tabela 2 foram construídas a partir das respostas dos alunos a seguinte questão: 1) Quem foi Albert Einstein?

Tabela 2: Categorias construídas a partir das respostas dos alunos a primeira questão.

Categoria	Subcategoria	Resposta dos alunos antes da UEPS	Resposta dos alunos após a UEPS
1. Formação acadêmica do Einstein.		26	50
2. Concepção incorreta da epistemologia e história da ciência.	2.1 Construiu sozinho a teoria.	37	28
	2.2 Não relação com seus antecessores.	40	39
3. Atribuições dos cientistas.	3.1 Gênio.	16	3
	3.2 Resolvedor de problemas.	1	0
	3.3 Famosos.	19	19
	3.4 Não ia bem na escola.	3	0
4. Sabe que ouviu,			

mas não lembra nada sobre.		4	0
5. Relaciona Einstein com a TR.		24	36
6. Características da Física.	6.1 Generalidade do modelo físico.	7	0
	6.2 Juízo de valor.	3	1

Por meio das respostas dos estudantes foi possível perceber que eles possuem diferentes conhecimentos prévios sobre Albert Einstein, entretanto, como mostra a tabela 2 algumas dessas concepções apresentam uma visão incorreta da epistemologia e história da ciência, principalmente, no que se refere ao desenvolvimento da TRE. Com o intuito de modificar tais concepções errôneas da ciência planejou-se algumas ações que foram utilizadas para reformular o planejamento didático e ensinar de acordo com elas. Na tabela 3, apresenta-se uma síntese dessas ações.

Tabela 3: Ação planejada para modificar os conhecimentos prévios e diminuir os erros epistemológicos apresentados pelos estudantes.

Ação	Objetivo
Utilização da história e epistemologia da ciência ³¹ .	<ol style="list-style-type: none"> 1. Apresentar de forma contextualizada o contexto histórico em que a TRE foi desenvolvida, mostrando assim que outros cientistas colaboraram com o desenvolvimento da TRE. 2. Expor os conhecimentos que Einstein e colaboradores se basearam para fazer a TRE. 3. Contextualizar os problemas que levaram esses cientistas a desenvolver a TRE 4. Mencionar alguns dos desafios que atualmente os físicos se deparam na ciência

³¹ A utilização da história e epistemologia da ciência está melhor detalhada na seção 9.3 Planos de aula do grupo Experimental.

	com o objetivo de mostrar aos estudantes que a Física não é uma ciência imutável, e sim uma construção humana que está sujeita a contestações e modificações.
--	---

Destaca-se que apesar da utilização das ações planejadas para diminuir tais concepções errôneas da ciência, alguns³² estudantes permaneceram com as mesmas concepções, conforme será melhor detalhado a seguir.

Categoria 1. Formação acadêmica do Einstein

Antes da implementação da UEPS

Antes do processo de instrução alguns alunos mencionaram que Einstein foi um físico, outros colocaram que além de físico ele foi cientista e matemático. Como melhor detalhado nas falas do estudante 8 da turma A (E8TA) e do estudante 12 da turma B (E12TB): “*Grande físico elaborou a teoria da relatividade geral*” (E12TB); “*Sim. Não sei muita coisa, mas sei que ele foi um grande cientista, matemático e físico*” (E8TA).

Após a implementação da UEPS

Após o processo de instrução a maioria dos alunos continuaram com as mesmas concepções sobre a formação acadêmica de Einstein, 31 estudantes citaram que ele foi um físico, 8 estudantes mencionaram que além de físico ele foi matemático e outros 8 alunos descreveram que ele foi um cientista. A fala de dois estudantes evidencia esta concepção: “*Foi um físico e matemático que ajudou a criar a teoria da relatividade*” (E20TB); “*Um famoso cientista que estudou muito para alcançar seus objetivos*” (E19TB). Destaca-se ainda, que após o processo de instrução 9 estudantes buscaram descrever a nacionalidade de Einstein, bem como destacar os trabalhos por ele desenvolvidos: “*Foi um físico muito famoso, que desenvolveu a teoria da relatividade. Foi considerado um dos mestre da física, sua nacionalidade é alemã mas com o passar do tempo se naturalizou suíço*” (E30TA).

³² Não quantificou-se o número de estudantes que permaneceram com as mesmas concepções porque a análise das respostas é baseada em categorias, e assim como a resposta de um aluno pode apresentar indícios de AS em uma categoria pode não apresentar em outra. Entretanto, buscou-se mostrar em cada categoria criada quantos estudantes apresentaram ou não indícios de AS.

Categoria 2. Concepção incorreta da epistemologia e história da ciência

A segunda categoria, foi dividida em duas subcategorias (2.1 Construiu sozinho a teoria e 2.2 Não relação com seus antecessores) devido a concepção incorreta que os estudantes possuem da história e epistemologia da ciência, conforme melhor detalhado na sequência.

Subcategoria 2.1 Construiu sozinho a teoria.

Antes da implementação da UEPS

Conforme mostra a tabela 2, 37 estudantes destacam que Albert Einstein construiu sozinho a Teoria da Relatividade (TR): “*Sim, foi um dos maiores físicos, inventor da teoria da relatividade*” (E13TB).

Após a implementação da UEPS

Após o processo de instrução 28 estudantes ainda continuaram com a visão errônea de que Einstein construiu sozinho a TR: “*Foi um físico alemão que descobriu a teoria da relatividade*” (E31TA). Destaca-se que, apenas 11 estudantes mencionaram que Einstein teve a colaboração de outros cientistas no desenvolvimento da TR: “*Albert Einstein foi um físico teórico alemão famoso por elaborar a teoria da relatividade, baseado em estudos de outros cientistas*” (E28TB). Na tabela 4 apresenta-se ações de como melhorar essa visão individualista da ciência.

Subcategoria 2.2 Não relação com seus antecessores

Antes da implementação da UEPS

Esta subcategoria mostra, no que se refere a relação de Einstein com outros cientistas, que 40 estudantes não relacionaram o desenvolvimento da TRE a outros cientistas, bem como apresentaram respostas com uma visão incorreta da história da ciência: “*Sim, foi um dos primeiros físicos que praticamente criou a física, e também criou a teoria da relatividade*” (E14TB; E32TB).

Após a implementação da UEPS

No que se refere a não relação de Einstein com seus antecessores, esta subcategoria, mostra que as respostas de 39 estudantes não relacionaram o desenvolvimento da TRE a outros cientistas que antecederam Einstein: *“Foi um físico, matemático que criou uma das teorias mais importantes da física, a teoria da relatividade geral”* (E8TA). Por outro lado, destaca-se a fala de um (dos 11 estudantes) que mencionaram que Einstein desenvolveu a TRE com a ajuda de outros estudiosos: *“Foi um grande matemático/físico. Desenvolveu postulados, com a ajuda de outros estudiosos. Este de grande importância”* (E27TB).

Categoria 3. Atribuições dos cientistas

A categoria 3 (atribuições dos cientistas) foi subdividida em outras quatro categorias (3.1.1 Gênio; 3.1.2 Resolvedor de problemas; 3.1.3 Famosos; 3.1.4 Não ia bem na escola) devido às concepções (algumas corretas e outras não) que os estudantes possuem sobre os cientistas.

Subcategoria 3.1 Gênio

Antes da implementação da UEPS

Nesta categoria 16 estudantes mencionaram que Einstein foi um cientista muito inteligente: *“Sim, ele era um cientista e físico muito inteligente, que fez várias teorias através de experiências, que nos ajudam muito hoje”* (E3TB; E21TB); *“Sim, ele foi um físico famoso, principalmente, pela teoria da relatividade. Ele também hoje em dia é considerado símbolo da inteligência”* (E6TA).

Após a implementação da UEPS

Após o processo de instrução 3 estudantes mencionaram que Einstein foi muito conhecido por ser símbolo de inteligência: *“Foi um físico e filósofo, muito conhecido por ser símbolo de inteligência e pela teoria da relatividade”* (E6TA)³³.

Subcategoria 3.2 Resolvedor de problemas

³³ Observe que a fala do estudante 6 da turma A (E6TA) após a implementação da proposta didática é praticamente a mesma de antes do processo de instrução.

Antes da implementação da UEPS

Nesta categoria, um único estudante destacou Einstein como o resolvido de problemas. “*Sim, grande cientista, matemático, físico que ajudou na resolução de problemas que muitos nem imaginavam*” (E21TA).

Após a implementação da UEPS

Após a implementação da unidade de ensino nenhum estudante fez menção a Einstein como resolver de problemas.

Subcategoria 3.3 Famosos

Antes da implementação da UEPS

Nesta categoria 19 estudantes destacaram que Einstein é um cientista famoso: “*Einstein foi um cara sensacional. um físico muito famoso, criou a teoria da relatividade, apesar de ele ter muitas notas ruins no boletim da escola*” (E31TB).

Após a implementação da UEPS

Após o processo de instrução 5 estudantes mencionaram de forma explícita que Einstein foi um cientista famoso: “*Um famoso físico que desenvolveu muitos estudos, incluindo a teoria da relatividade restrita*” (E23TB). Outros 14 estudantes declaram de maneira implícita que ele era muito conhecido: “*Foi um físico muito conhecido que formulou a teoria da relatividade*” (E29TB).

No que se refere a atribuição dos cientistas, destaca-se que na subcategoria 3.3 Famosos, o mesmo número de alunos (antes e após o processo de instrução) apresentaram a mesma concepção sobre Einstein (ele era famoso). Nota-se que os estudantes dão mais importância ao fato de Einstein ter sido famoso do que para a sua contribuição no desenvolvimento da TRE e na evolução da ciência. Acredita-se assim como Gil Perez *et al.* (2001) que, um dos motivos para tal concepção ter permanecido na estrutura cognitiva dos estudantes é o fato de esta ser fortemente reproduzida pelos meios de comunicação de massa.

Subcategoria 3.4 Não ia bem na escola

Antes da implementação da UEPS

Nesta categoria três estudantes mencionaram que Einstein não ia bem na escola: “*Sim. Ele foi um cara muito genial, apesar de ter muitas notas ruins no colegial*” (E4TB; E26TB). Segundo Badô (2011) que Einstein era mau aluno é verdade, mas o fato é que ele não se interessava pela escola de seu tempo. Desde de pequeno, ele sempre estava à frente do currículo escolar em matemática e física. Por isso, desprezava as aulas.

Após a implementação da UEPS

Após a implementação da proposta didática nenhum estudantes mencionou que Einstein não ia bem na escola, pelo contrário dois estudantes destacaram que ele estudou muito para atingir seus objetivos: “*Um famoso cientista que estudou muito para alcançar seus objetivos*” (E2TB).

Categoria 4. Sabe que ouviu, mas não lembra nada sobre

Antes da implementação da UEPS

A quarta categoria especifica quantos alunos já ouviram falar a respeito de Einstein, contudo não lembram quem foi ou o que fez, como pode ser percebido nas falas dos estudantes: “*Já ouvi falar, mas não me lembro*” (E19TA); “*Sim, mas não lembro o que ele fez*” (E23TA).

Após a implementação da UEPS

Após o processo de instrução nenhum estudante declarou não ter ouvido falar ou não lembrar nada sobre o assunto.

Categoria 5. Relaciona Einstein com a TR

Antes da implementação da UEPS

Nesta categoria foram classificadas 24 respostas dos alunos que relacionaram Einstein com a TR: “*Sim, ele criou a teoria da relatividade*” (E10TA). Destaca-se que a turma B teve um número maior de alunos que fizeram essa relação.

Após a implementação da UEPS

Conforme mostra a tabela 2, depois do processo de instrução o número de respostas dos estudantes que relacionam Einstein com a TR aumentou consideravelmente. Foram 36 estudantes que fizeram tal relação.

Categoria 6. Características da Física

A categoria 6 (características da Física) foi subdividida em duas categorias (6.1 Generalidade do modelo físico; 6.2 Juízo de valor). A seguir apresenta-se algumas concepções dos estudantes que estão relacionadas com as características da Física tais como, criação de modelos, leis, e teorias universais: “*Eu já ouvi falar, ele criou leis que valem para o universo todo*” (E20TA); “*Sim. É um cientista que criou leis e teorias dentro da Física*” (E4TA).

Subcategoria 6.1 Generalidade do modelo físico

Antes da implementação da UEPS

Nesta categoria, classifica-se 13 respostas dos estudantes que apresentam uma generalidade dos modelos físicos: “*Sim. Einstein um gênio um cientista que criou teorias, leis universais*” (E25TA). Destaca-se que as respostas dos estudantes categorizadas como criação de modelos, leis e teorias universais não estão inadequadas porque os modelos físicos, as teorias e as leis desenvolvidas por Einstein e colaboradores são universais. E como destaca Astolfi (2012) às leis científicas tratam e organizam os fatos de maneira que se tornem coerentes. Por conseguinte, as teorias unem as leis e os fatos, apresentando uma unidade coerente, muitas vezes traduzida por um modelo. Portanto, elas são importantes para a estrutura dos conceitos científicos, uma vez que, permitem explicar e prever situações diversas.

Após a implementação da UEPS

Com relação à subcategoria, generalidade do modelo físico, destaca-se que após o processo de instrução não houve respostas classificadas como criação de modelos, leis e teorias universais.

Subcategoria 6.2 Juízo de valor

Antes da implementação da UEPS

Nesta categoria apresenta-se as respostas dos alunos que foram classificadas como juízo de valor: *“Sim, grande físico, matemático que desenvolveu a teoria da relatividade, ajudou produzir a bomba atômica”* (E16TB).

Após a implementação da UEPS

Após o processo de instrução a resposta de um aluno foi classificada como juízo de valor: *“Foi um físico e matemático muito inteligente e com seus estudos ajudou a criar a teoria da relatividade e dividiu em dois postulados. Além de ajudar a criar bombas para os EUA, mesmo contra sua vontade”* (E2TB). Segundo Alves (2015), Einstein incentivou os Estados Unidos a criar a bomba atômica ao datilografar uma carta, em agosto de 1939, para o presidente Franklin Roosevelt o alertando de que os nazistas poderiam criar uma bomba atômica, nesta carta Einstein também pedia a Roosevelt que iniciasse o programa nuclear o mais rápido possível. O presidente, por sua vez, reuniu cientistas, engenheiros, militares e funcionários do governo para juntos criarem o Projeto Manhattan, cujo objetivo final era produzir a bomba atômica. Embora, tenha feito o alerta Einstein ficou de fora do projeto Manhattan (ALVES, 2015).

Como síntese dos resultados obtidos nesta primeira questão destaca-se que as categorias obtidas sobre o que os estudantes pensam sobre “Einstein” são fortemente condicionadas pelas concepções de ciência e do cientista reproduzidas pelos meios de comunicação de massa, pelo discurso de autoridade do “cientificismo” e pela concepção ingênua do que é ciência por alguns professores, etc. Segundo Gil Perez et al (2001) nem mesmo os estudantes do ensino superior possuem uma “bagagem” epistemológica ou da história da ciência, menos ainda se poderia esperar dos estudantes da educação básica, que não conseguem “afastar” suas concepções da chamada imagem “popular” e ingênua da ciência, socialmente difundida e aceita (inclusive pela própria educação científica), por exemplo, pelas histórias em quadrinhos, pelo cinema e, em geral, pelos meios de comunicação, imprensa, revistas, televisão.

Mas, como não é objetivo deste trabalho analisar as razões dessa incoerência³⁴ propõem-se na tabela 4 algumas ações, para uma próxima implementação da UEPS, visando modificar os erros epistemológicos que permaneceram na estrutura cognitiva dos estudantes.

Tabela 4: Ação proposta para uma próxima implementação da UEPS nos casos em que não houve indícios de AS.

Ação	Objetivo
Articular as visões deformadas da ciência elencadas por Gil Perez <i>et al.</i> (2001) com a história e epistemologia da ciência.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Levar o aluno a refletir sobre o trabalho científico (Gil Perez et al, 2001). 2. Contextualizar por meio das visões deformadas da ciência as atribuições dadas aos cientistas pelos meios de comunicação, pelo cinema, pelas histórias em quadrinhos e etc. (Gil Perez et al, 2001). 3. Utilizar textos do livro “verdades e mentiras” de Alves (2015) para: <ol style="list-style-type: none"> 3.1 Enfatizar os motivos que levaram Einstein a morar nos Estados Unidos. 3.2 Discutir o papel da esposa de Einstein no desenvolvimento da TR, expondo assim o porquê há pouca menção às mulheres na ciência. 3.3 Apresentar a vida de Einstein antes de 1905, enfatizando a sua formação acadêmica e o âmbito sócio-cultural em que ele vivia.

A ação proposta na tabela 4 torna-se útil porque visa conhecer as possíveis deformações que o ensino de ciências poderia (e pode) estar a transmitir explícita ou implicitamente sobre o trabalho científico, bem como utilizar a história e epistemologia da ciência para aproximar-se de concepções epistemológicas mais adequadas que, se devidamente reforçadas, podem ter

³⁴ Segundo Gil Perez et al. (2001) essas incoerências remetem, primeiramente, para o fato de o ensino científico, inclusive o universitário, terem sido reduzidos basicamente à apresentação de conhecimentos previamente elaborados, sem dar a oportunidade aos alunos de contactarem e explorarem atividades na perspectiva de um ensino do tipo investigativo.

incidência positiva sobre o ensino. Ressalta-se que tal ação pode ser uma alternativa para a modificação das concepções epistemológicas dos estudantes acerca da natureza científica e da construção do conhecimento científico.

5.1.1.2 Análise qualitativa da segunda questão

As sete categorias que serão apresentadas a seguir foram construídas a partir das respostas dos estudantes a seguinte questão: 2) O que vocês sabem sobre a Teoria da Relatividade?

Tabela 5: Categorias construídas a partir das respostas dos alunos a segunda questão.

Categoria	Subcategoria	Resposta dos alunos antes da UEPS	Resposta dos alunos após a UEPS
1. Já ouviram, mas não lembram o que é.		15	0
2. Apresentam equívocos.	2.1 Relação com igualdade	15	2
	2.2 Relação com o Einstein.	5	9
3. Não/ Não responderam/ Não sabem.		2	3
4. Fonte de conhecimento.	4.1 Escola	1	0
	4.2 Filmes	1	0
	4.3 Documentários	1	0
5. Relação com relatividade no sentido usual.		13	0

6. Posição influencia passagem do tempo.		6	22
7. Velocidade influencia passagem do tempo.		4	17

A partir da análise das respostas dos estudantes foi possível perceber que eles possuem diferentes concepções prévias sobre a TR. Entretanto, essas concepções são baseadas ora em conceitos da mecânica newtoniana ora em ideias do senso comum. Na tabela 6 apresenta-se algumas ações que foram planejadas a fim de promover uma ruptura epistemológica com o senso comum, pois como ressalta Francelin (2004) os conceitos nascem no cotidiano (senso comum), são apropriados pelo meio científico e tornam-se científicos ao romperem com esse cotidiano, com esse senso comum.

Tabela 6: Ação planejada para modificar os conhecimentos prévios e diminuir os erros epistemológicos apresentados pelos estudantes.

Ação	Objetivo
Apresentar, por meio de aula expositiva-dialogada, os conhecimentos científicos aos estudantes ³⁵ .	<ol style="list-style-type: none"> 1. Levar os estudantes a confrontarem os conhecimentos de senso comum com os conhecimentos científicos a partir de problematizações sobre o assunto. 2. Problematizar os conhecimentos prévios apresentados pelos estudantes com o intuito de promover uma ruptura epistemológica com o senso comum.

Destaca-se que apenas um estudante formulou uma resposta que não possuía nenhuma relação com a questão apresentada: “*É a capacidade que certos átomos possuem de emitir radiações eletromagnéticas e partículas de*

³⁵ Para maiores detalhes sobre a ação planejada ver seção 9.3 Planos de aula do grupo Experimental.

seus núcleos instáveis com o objetivo de adquirir estabilidade” (E8TA) não mostrando nenhum indício de AS sobre a TR. Na sequência, apresenta-se uma descrição mais detalhada da análise qualitativa das categorias obtidas a partir da segunda questão.

Categoria 1. Já ouviram, mas não lembram o que é.

Antes da implementação da UEPS

Antes da implementação da proposta didática 15 estudantes mencionaram já ter ouvido falar sobre a TR, mas não lembravam nada sobre o assunto ou não sabiam como explicar: *“Já ouvi falar e muito, porém não lembro o que é”* (E22TA); *“Eu já ouvi falar dessa teoria, mas não sei explicar”* (E23TB).

Após a implementação da UEPS

Após o processo de instrução nenhum estudante mencionou não saber explicar à TR, pelo contrário 47 estudantes buscaram descrever o que aprenderam sobre o assunto: *“Foi elaborada por Albert Einstein baseado em trabalhos de outros cientistas. Ele elaborou 2 postulados, o primeiro é que as leis da física são as mesmas em qualquer referencial inercial e o segundo é o princípio da invariância da velocidade da luz. Mais tarde, ele elaborou a teoria da relatividade geral que passou a explicar o que causa as deformações no espaço-tempo (gravidade)”* (E26TB). Desses 47 estudantes 19 buscaram enfatizar que a TR é composta por duas teorias: *“A teoria da relatividade é composta por duas teorias: a teoria da relatividade restrita (válida somente para referenciais inerciais) e a teoria da relatividade geral (que envolve referenciais acelerados)”* (E27TB), 6 mencionaram os postulados da TRE como base para o seu desenvolvimento: *“Teoria elaborada por Einstein, criada com base em dois postulados: princípio da invariância da velocidade da luz e da universalização das leis da física (TRR)”* (E28TB) e outros 18 apenas descreveram o princípio da relatividade: *“As leis da física permanecem as mesmas em todos os sistemas de referenciais inerciais (não acelerados)”* (E25TA).

Categoria 2. Apresentam equívocos

A categoria 2 (apresentam equívocos) foi dividida em duas subcategorias (2.1 relação com igualdade e 2.2 Relação com Einstein) devido

ao fato das respostas dos estudantes ora mostrarem relações de igualdade ora apresentarem relações com Einstein, conforme melhor descrito a seguir.

Subcategoria 2.1 Relação com igualdade

Antes da implementação da UEPS

Antes do processo de instrução 15 estudantes apresentaram equívocos sobre a TRE ou mostraram relações de igualdade atreladas ao senso comum, conforme evidenciado na fala dos estudantes: “*Sim. É duas coisas muito parecido, igual, comparativo*” (E14TA); “*Sim. Relatividade significa que depende e varia de pessoa para pessoa*” (E19TB). Destaca-se que as respostas desses estudantes remetem a ideias do senso comum, a primeira resposta, por exemplo, não faz nenhuma relação com a TR. A segunda por sua vez até relaciona, mas ao invés de descrever algo sobre a TR o estudante busca descrever o significado da palavra relatividade. O que evidencia que os conhecimentos prévios dos estudantes sobre a TR estão ligados aos conhecimentos do senso comum.

Após a implementação da UEPS

Após o processo de instrução apenas 2 estudantes mostraram relações de igualdades sobre a TR, entretanto, essas relações apresentam conhecimentos de cunho científico: “*Uma teoria onde as leis da física são iguais para os referenciais em inércia*” (E8TA); “*Que as leis da física são idênticas para os referenciais inerciais*” (E30TA). O que mostra que a ação planejada promoveu uma ruptura epistemológica com o senso comum.

Subcategoria 2.2 Relação com o Einstein

Antes da implementação da UEPS

Antes da implementação da proposta didática 5 estudantes apresentaram sinteticamente uma relação entre Einstein e a TR: “*Sim, o Einstein foi o seu precursor, deixando um legado de conhecimento para as gerações futuras*” (E27TB); “*Só sei que é uma das teorias de Einstein*” (E7TA). Para esses estudantes a TR remete a figura do cientista e das teorias.

Após a implementação da UEPS

Após a implementação da UEPS 9 estudantes buscaram relacionar Einstein com a TR: *“Foi desenvolvida por Albert Einstein, juntamente com a contribuição de outros cientistas. A teoria é dividida em teoria da relatividade geral e restrita. Uma das concepções é que o espaço é relativo assim como o tempo”* (E8TB); *“Segundo a teoria de Einstein a duração do tempo não é a mesma para dois observadores que se deslocam um em relação a outro”* (E9TA). Enquanto que o primeiro estudante busca relacionar explicitamente Einstein com a TR, o segundo faz essa relação de forma implícita.

Categoria 3. Não/ Não responderam/ Não sabem

Antes da implementação da UEPS

Antes do processo de instrução apenas 2 estudantes mencionaram não saber algo sobre a TR: *“Não”* (E30TA); *“Não, só sei que é uma das teorias de Einstein”* (E7TA). Apesar de mencionar não saber nada sobre a TR, o segundo estudantes destaca saber quem desenvolveu a teoria.

Após a implementação da UEPS

Depois do processo de instrução 3 estudantes não responderam essa questão.

Categoria 4. Fonte de conhecimento

Nesta categoria foram classificadas as respostas dos estudantes que faziam menção de qual fonte do conhecimento eles obtiveram informações sobre a TR. Tal categoria foi dividida em três subcategorias (4.1 Escola, 4.2 Filmes e 4.3 Documentários), conforme melhor detalhado a seguir.

Subcategoria 4.1 Escola

Antes da implementação da UEPS

Antes da implementação da UEPS apenas um estudante mencionou a escola como fonte de conhecimento acerca da TR: *“Sim, nas aulas de física nós estudamos sobre a teoria da relatividade, e sobre ele”* (E2TA).

Após a implementação da UEPS

Após a implementação da UEPS nenhum estudante fez menção a escola como fonte de conhecimentos sobre a TR.

Subcategoria 4.2 Filmes

Antes da implementação da UEPS

Antes do processo de instrução apenas um estudante mencionou obter informações sobre a TR a partir de filmes: *“Algumas vezes, principalmente no filme interestelar, a teoria fala, principalmente, como tempo e espaço podem alterar a forma” (E6TA).*

Após a implementação da UEPS

Depois do processo de instrução nenhum estudante mencionou os filmes como fonte de conhecimento acerca da TR. No entanto, destaca-se que o filme interestelar foi lembrado pelos estudantes quando o fenômeno da dilatação temporal foi lhes apresentado. Tal filme proporcionou momentos de discussão muito relevantes para a aula e para a aprendizagem dos estudantes.

Subcategoria 4.3 Documentários

Antes da implementação da UEPS

Antes da implementação da UEPS apenas um estudante mencionou os documentários como fonte de conhecimento a respeito da TR: *“O tempo não é o mesmo em todo o universo. (Exemplo: cientistas ao voltarem da estação espacial notam uma diferença de tempo em seus relógios). Dilatação temporal/segundo alguns documentários estamos se movendo no espaço em uma determinada velocidade, mesmo quando estamos parados, quando nos movemos pegamos emprestada essa velocidade e avançamos para o futuro, mas isso é tão insignificante que não faz diferença para nós” (E12TB).* Percebe-se na fala desse estudante algumas confusões em relação a TR que estão relacionadas ao fenômeno da dilatação temporal e ao conceito de espaço-tempo.

Após a implementação da UEPS

Depois da implementação da UEPS nenhum estudante mencionou os documentários como fonte de conhecimento sobre a TR. Mas, destaca-se que

durante o processo de instrução a estudante 12 da turma B fez diversas menções aos documentários e perguntas sobre o assunto: “*O tempo para quem viaja no espaço passa mais devagar por quê?*”; “*Sei que o fenômeno é chamado de dilatação temporal, e que tem haver com viagens de astronautas, vi isso em um documentário, e é tudo o que sei*”. Esses questionamentos além de enriquecerem as aulas contribuíram com novas discussões sobre o assunto, bem como interações entre os alunos e entre professor e alunos.

Categoria 5. Relação com relatividade no sentido usual

Antes da implementação da UEPS

Antes do processo de instrução 13 estudantes apresentaram relações com a relatividade no sentido usual: “*A teoria da relatividade varia de pessoa para pessoa*” (E17TB); “*Já ouvi, relatividade é algo que varia*” (E11TB). Ambas as falas dos estudantes apresentam concepções atreladas a ideias de senso comum, bem como uma relação com a relatividade no sentido usual.

Após a implementação da UEPS

Depois do processo de instrução nenhum estudante fez relação com a relatividade no sentido usual.

Categoria 6. Posição influencia na passagem do tempo

Antes da implementação da UEPS

Antes da implementação da UEPS 6 estudantes mencionaram que a posição onde uma pessoa se encontra ou a velocidade que se move influencia na passagem do tempo: “*É algo relativo, a gente se move em uma determinada velocidade, se nos movermos mais rápido estaremos indo para o futuro, obviamente é tão pequeno isso que é insignificante para nós. Depende também do local onde você está para olhar algo, mudando a "direção" dele. Depende onde eu estou a passagem do tempo irá mudar*” (E31TB). “*Sim. Algo relativo, que varia de pessoa para pessoa, variação de um determinado ponto*” (E25TB). Para este estudante a mudança de "posição" influencia na passagem do tempo, o que é um equívoco porque o fenômeno da dilatação temporal ocorre independente da mudança de referencial.

Após a implementação da UEPS

Após a implementação da UEPS 22 estudantes mencionaram implicitamente que a velocidade influencia na passagem do tempo: “A duração do tempo não é a mesma para dois observadores em dois referenciais diferentes” (E11TA).

Categoria 7. velocidade influencia passagem do tempo

Antes da implementação da UEPS

Antes do processo de instrução 4 estudantes mencionaram que a velocidade influencia na passagem do tempo: “É algo relativo, a gente se move em uma determinada velocidade, se nos movermos mais rápido estaremos indo para o futuro, obviamente é tão pequeno isso que é insignificante para nós” (E28TB).

Após a implementação da UEPS

Depois do processo de instrução 17 estudantes buscaram enfatizar que a velocidade influencia na passagem do tempo: “Segundo a teoria de Einstein a duração do tempo não é a mesma para dois observadores que se deslocam um em relação ao outro” (E9TA); “A teoria da relatividade sempre depende de um referencial inercial, um objeto pode estar em movimento em relação a um determinado referencial, ou em repouso, dependendo do seu referencial” (E3TB). Nota-se na fala do estudante E9TA uma possível relação entre sua resposta e os conceitos da TRE, por outro lado, destaca-se a confusão entre a relatividade do movimento e a TRE pelo estudante E3TB.

Em síntese a esta segunda questão destaca-se que houve uma evolução das respostas dos estudantes a questão proposta, uma vez que, antes do processo de instrução as respostas eram baseadas ora em conceitos da mecânica newtoniana ora em ideias do senso comum, sendo que depois do processo de instrução as respostas apresentadas pelos estudantes possuíam uma maior relação com a TRE, o que evidencia uma melhor compreensão da TRE. Por outro lado, destaca-se que a principal confusão apresentada na categoria 5 (Posição influencia na passagem do tempo) está relacionada com a mudança de velocidade, que é confundida com uma mudança de posição. Os

estudantes atribuem a dilatação temporal a ida ao espaço e não a velocidade do foguete de Bert. Diante do exposto, sugere-se para uma próxima implementação da UEPS trazer situações-problema que levem os estudantes a refletirem sobre os fatores que influenciam na passagem do tempo, bem como destacar que a mudança de posição não tem relação direta com o efeito.

5.1.1.3 Análise qualitativa da terceira questão

As categorias discutidas a seguir foram construídas a partir das respostas dos alunos a seguinte questão: 3) O que você entende por espaço e tempo?

Tabela 7: Categorias construídas a partir das respostas dos alunos a terceira questão.

<i>Categoria</i>	<i>Resposta dos alunos antes da UEPS</i>	<i>Resposta dos alunos após a UEPS</i>
1. Invenção humana.	3	1
2. Relação entre espaço e tempo.	7	9
3. Espaço sinônimo de lugar, pode ser medido.	14	15
4. Tempo sinônimo de horas, pode ser medido.	17	7
5. Tempo como duração de fatos.	7	4
6. Espaço relação com objetos materiais.	7	20
7. Não responderam/Não sabem.	10	2
8. Tempo é o que marca o relógio.	4	28

Por meio das respostas dos estudantes foi possível perceber, assim como Arriasecq e Greca (2006), que os subunçores que os estudantes

possuem sobre os conceitos de tempo e espaço não são totalmente adequados para a compreensão dos conceitos relevantes do ponto de vista científico, além disso foi possível identificar evidências de alguns equívocos³⁶ que os estudantes estariam utilizando para dar sentido a esses conceitos, mas que não são apropriados. Na tabela 8 apresenta-se as ações que foram utilizadas para modificar esses conhecimentos.

Tabela 8: Ação planejada para modificar os conhecimentos prévios e diminuir os erros epistemológicos apresentados pelos estudantes.

Ação	Objetivo
Utilização de perguntas que envolvam os conceitos de tempo, espaço e referencial inercial que aparecem implicitamente nas três animações que tratam de fenômenos relativísticos ³⁷ .	<ol style="list-style-type: none"> 1. Levar os estudantes a relacionarem as perguntas propostas com as animações. 2. Encorajar os estudantes a compartilharem seus conhecimentos sobre o assunto. 3. Expor a importância dos conceitos de tempo, espaço e referencial inercial para a explicação dos fenômenos que estão presentes nas animações. 4. Explicar por meio da descrição do movimento como são feitas as medidas de tempo e espaço. 5. Definir de forma pragmática tempo e espaço.

Ressalta-se que mesmo após a implementação da proposta didática 46 (dos 50 estudantes que responderam a questão proposta) apresentaram explicações cíclicas ou filosóficas sobre os conceitos de tempo e espaço (como por exemplo, “o tempo é a duração”, sendo a duração uma quantidade de tempo). Ressalta-se ainda que a principal confusão nestas definições, vem exatamente do que se está definindo e na relatividade as definições de como

³⁶ Tais como: tempo é uma invenção humana, espaço é sinônimo de lugar e pode ser medido, tempo é sinônimo de horas e pode ser medido, tempo é a duração dos fatos, o espaço possui uma relação com os objetos materiais, entre outros.

³⁷ Para maiores detalhes ver terceiro passo da UEPS (8.1 Proposta de UEPS para ensinar relatividade) ou 9.3 Planos de aula do Grupo Experimental.

medir essas grandezas são úteis na descrição dos fenômenos físicos. Por isso, chegou-se à conclusão de que a questão proposta é problemática e precisa ser reformulada a partir desse contexto, pois ela (a questão) não permite que o estudante “separe” o tempo e o espaço “filosófico”, das variáveis utilizadas na descrição dos fenômenos físicos. Conforme melhor detalhado a seguir.

Categoria 1. Invenção humana.

Antes da implementação da UEPS

Antes do processo de instrução 3 estudantes mencionaram que o tempo e o espaço são invenções humanas criadas para se medir e localizar ou definir algo: “*Eu acho que o tempo não existe, o ser humano que criou para se localizar e medir*” (E23TA); “*Tempo não existe. O que existe é coisa inventada por nós mesmos para definir algo*” (E24TA).

Após a implementação da UEPS

Mesmo após o processo de instrução um estudante mencionou que o tempo é algo criado pelo ser humano para marcar a passagem do tempo: “*Espaço é tudo e o tempo é algo que criamos para marcar a passagem do tempo*” (E6TA). Este estudante parece assumir que o conceito de tempo que se utiliza no âmbito físico não difere do usado na vida cotidiana, o que de fato se torna um problema para a compreensão de conceitos da TRE.

Categoria 2. Relação entre espaço e tempo.

Antes da implementação da UEPS

Antes da aplicação da unidade de ensino 2 estudantes tentaram relacionar espaço e tempo com algum elemento da física relativística: “*As três primeiras dimensões (comprimento, largura e altura) representam o espaço. A quarta representa o tempo*” (E12TB); “*O tempo e o espaço variam*” (E7TA). Enquanto que outros 5 buscaram relacionar esses conceitos com situações cotidianas, por exemplo, com os fusos horários: “*Aqui pode ser 3 horas da tarde e em outro país pode ser 5 horas, então o espaço variou as horas*” (E11TA).

Após a implementação da UEPS

Após a aplicação da unidade de ensino 9 estudantes relacionaram tempo e espaço com a física relativística: “*Na física, o espaço e o tempo é o sistema de coordenadas utilizado como base para o estudo da relatividade restrita e geral*” (E17TA); “*O espaço e o tempo estão ligados formando o espaço-tempo, composto por 4 dimensões: altura, comprimento, largura e tempo*” (E12TB). Nota-se que a primeira resposta busca relacionar tempo e espaço com o sistema de coordenadas, mas no espaço tridimensional o sistema de coordenadas descreve cada ponto pela sua distância em relação ao plano formado pelos eixos perpendiculares, mas não descreve o tempo como afirma o estudante. Já no caso da segunda resposta, o estudante eleva o tempo a categoria de dimensão em pé de igualdade com o espaço, formando assim um sistema quadridimensional composto por quatro valores (x,y,z,t).

Categoria 3. Espaço sinônimo de lugar, pode ser medido.

Antes da implementação da UEPS

Antes do processo de instrução 14 estudantes mencionaram que o espaço é um determinado lugar onde uma pessoa se encontra ou o lugar onde acontece alguma coisa: “*Espaço é um determinado lugar onde você está*” (E10TA); “*Espaço é um lugar onde pode acontecer alguma coisa, intervalo entre duas coisas e etc.*” (E19TB). Para esses estudantes o conceito de espaço é considerado como um sinônimo de “lugar”, podendo ser interpretadas como uma visão “platônica” de espaço.

Após a implementação da UEPS

Após o processo de instrução 11 estudantes mencionaram que espaço é sinônimo de lugar “*Espaço é um determinado lugar em que um indivíduo se encontra*” (E12TA) e outros 4 mencionaram que o espaço pode ser medido: “*Espaço: em que eu meço com um objeto de um determinado ponto até outro*” (E20TB). Nota-se que as respostas desses alunos sobre o conceito de espaço continuam baseadas em conceitos do senso comum ou em conceitos da mecânica newtoniana.

Categoria 4. Tempo sinônimo de horas, pode ser medido.

Antes da implementação da UEPS

Antes da implementação da UEPS 17 estudantes disseram que o tempo varia de uma hora para outra: “*Tempo é o que varia de uma hora para outra*” (E12TA), podendo ser medido em horas, minutos ou segundos: “*Tempo é medido em horas, minutos e segundos*” (E28TB).

Após a implementação da UEPS

Depois da implementação da UEPS 7 estudantes mencionaram que tempo é sinônimo de horas, minutos e segundos e pode ser medido por um relógio: “*Tempo é medido pelo relógio que marca em segundos, minutos e horas*” (E31TB); “*O tempo é definido através do relógio, mas de um bom relógio*” (E21TB). Nota-se que a “definição” de tempo desses estudantes na descrição dos sistemas físicos não está totalmente inadequada, uma vez que, na relatividade o tempo relevante é a quantidade útil na descrição dos sistemas físicos (a medida), o “t” da equação do movimento. Nota-se ainda que a principal fonte de confusão desta definição vem do que exatamente se deseja definir. Por isso, acredita-se que a questão proposta é problemática e precisa ser reformulada a partir desse contexto.

Categoria 5. Tempo como duração de fatos.

Antes da implementação da UEPS

Antes do processo de instrução 7 estudantes mencionaram que o tempo é a duração dos fatos: “*Tempo é a duração dos fatos, é o que determina os momentos*” (E2TB; E6TB) ou a duração de momentos “*Tempo é a duração de um momento ou a duração que uma pessoa leva para fazer alguma coisa*” (E23TB). Nota-se mais uma vez que as concepções de tempo apresentadas por estes estudantes se assemelham ao perfil conceitual de Mortimer (1994) de tempo: o tempo é psicológico e por isso sua passagem depende da situação do sujeito, logo o tempo é a duração dos fatos.

Após a implementação da UEPS

Depois do processo de instrução 4 estudantes mencionaram que o tempo é a duração dos fatos, o que determina os períodos: “*O tempo é a duração dos fatos, o que determina os períodos*” (E9TB). Nota-se que a principal fonte de confusão da definição de tempo e espaço por parte dos

estudantes vem do que exatamente se está definindo. Por exemplo, “o tempo é o que marca um relógio” é uma definição para a variável tempo “t”, útil na descrição dos fenômenos físicos e na relatividade é essa definição que é relevante (ou seja, a medida), mas a questão proposta não enfatiza isso, pelo contrário, ela induz a estas explicações cíclicas, como “o tempo é a duração dos fatos”, sendo a duração uma quantidade de tempo. Por isso, sugere-se reformular a pergunta para uma próxima implementação da UEPS.

Categoria 6. Espaço relação com objetos materiais

Antes da implementação da UEPS

Antes da aplicação da unidade de ensino 7 estudantes relacionaram o conceito de espaço com os objetos materiais: “*Espaço é o que há entre uma coisa e outra*” (E31TB); “*Espaço: é o que se ocupa, exemplo: estamos em um espaço à escola, tudo que existe ocupa um espaço*” (E4TB).

Após a implementação da UEPS

Após a aplicação da unidade de ensino 17 estudantes relacionaram o conceito de espaço com uma distância, que pode ser variável: “*Espaço significa a distância de um determinado objeto e isso é variável*” (E27TB); “*Espaço: medidas de espaço são feitas comparando uma distância com um padrão. Analisa-se a distância entre dois pontos como o número mínimo de vezes que este padrão ou unidade é necessário para cobrir a distância medida*” (E6TB); Outros 3 destacaram que espaço não tem uma definição exata mas pode ser medido: “*Espaço na física não tem uma definição exata, o que podemos fazer é medir o espaço (as distâncias) com uma régua, trena, barra rígida*” (E31TA). Nota-se que a definição de espaço mencionada pelos estudantes não está completa, do ponto de vista físico, falta incluir ou criar por meio do conceito de distância um sistema de coordenadas. No caso do espaço tridimensional, o sistema de coordenadas cartesiano descreve cada ponto pela sua distância em relação ao plano formado pelos eixos perpendiculares (x,y,z). Destaca-se que esta conceitualização de espaço não é trivial, entretanto, ela se faz necessária para se chegar a uma “possível definição” de referencial e posteriormente a definição de referencial inercial (que é utilizado para

descrever os fenômenos físicos). Por essas razões, acredita-se que 5 estudantes mencionaram que o espaço não possui uma definição na física: “*O espaço na física não está definido*” (E22TA). Nota-se ainda que a principal confusão na definição de espaço, assim como na definição de tempo, vem exatamente do se deseja definir. Talvez uma estratégia melhor, ao invés de tentar definir o que é tempo e espaço seja: “não vamos nos preocupar com o que é tempo e espaço, mas sim em desenvolver um método de dar “nome” à eventos de forma útil na descrição dos sistemas físicos” o que poderia promover uma ruptura epistemológica com as explicações cíclicas e com as ideias cotidianas (facilitando assim a aprendizagem dos conceitos da TRE).

Categoria 7. Não responderam/Não sabem

Antes da implementação da UEPS

Antes da implementação da proposta didática 10 estudantes não responderam ou não sabiam dizer o que entendiam por tempo e espaço.

Após a implementação da UEPS

Após a implementação da proposta didática apenas dois alunos não responderam ou não sabiam dizer o que entendiam por tempo e espaço.

Categoria 8. Tempo é o que marca o relógio

Antes da implementação da UEPS

Antes do processo de instrução 4 estudantes mencionaram que tempo é o que marca o relógio: “*Tempo é o senhor da razão, o relógio é a única certeza de tempo que temos, só conseguimos medir o tempo através dele*” (E4TB); “*Tempo é como uma pessoa marca o tempo nos seus relógios*” (E5TB). Nota-se na fala do primeiro estudante que o tempo só pode ser medido através de um relógio (empirismo), o que remete a classificação de tempo cronológico (MORTIMER, 2000) e por isso o tempo pode ser quantificado em unidades que se repetem periodicamente (horas, minutos e segundos) medidas pelo relógio.

Após a implementação da UEPS

Depois do processo de instrução 28 estudantes descreveram que tempo é o que marca o relógio, baseado em algum fenômeno periódico: “*Tempo pode*

ser definido pelo que marca um relógio baseado em algum fenômeno ao menos aparentemente periódico, como a rotação da terra, por exemplo” (E8TB). Para esse estudante o tempo é relativístico (MORTIMER, 2000) e engloba o conhecimento da dependência da medida do tempo em função do estado de movimento do referencial, o que de fato está consistente com a definição desse conceito no âmbito da física.

Destaca-se que não há ainda uma boa definição de tempo, mas de um modo geral, o melhor que se pode fazer é defini-lo de maneira pragmática (como a estudante 8 da turma B fez), uma vez que, para se medir o tempo que um evento físico irá ocorrer precisa-se de um bom relógio (que repete intervalos de tempo fixo) e necessita ser medido localmente.

Em síntese, pode-se dizer que, mesmo após a implementação da UEPS, os alunos continuaram com as concepções de tempo e espaço fortemente atreladas aos conceitos usados na vida cotidiana. Tais concepções até lhes permitem operar em princípio com o campo da mecânica newtoniana. No entanto, estes conceitos não são mais apropriados para a compreensão da física clássica e é problemático para a compreensão da TR. Destaca-se ainda, do ponto de vista científico, que tais definições não são triviais e por isso pouco se consolidaram na estrutura cognitiva do estudante. Diante do exposto, chega-se à conclusão de que é necessário modificar a questão proposta para que em uma próxima implementação da UEPS³⁸ os estudantes possam descrever o que é tempo e espaço no âmbito físico, evitando assim respostas de senso comum ou descrições cíclicas como “o tempo é a duração”, sendo a duração uma quantidade de tempo.

5.1.1.4 Análise qualitativa da quarta questão

As categorias discutidas a seguir foram construídas a partir das respostas dos alunos a seguinte questão: 4) Por que a teoria desenvolvida por Einstein ficou conhecida por “Teoria da Relatividade Restrita” ?

³⁸ A ação proposta para uma próxima implementação da UEPS nos casos em que não houve indícios de AS é a modificação da questão, pois ela é problemática para a descrição dos fenômenos físicos na TR.

Tabela 9: Categorias construídas a partir das respostas dos alunos a quarta questão.

Categoria	Resposta dos alunos antes da UEPS	Resposta dos alunos após a UEPS
1. Relação de tempo e espaço	13	5
2. Espaço e tempo variam de acordo com o referencial.	8	20
3. Movimento dos corpos na ausência de campos gravitacionais	6	10
4. Não sabem/Não responderam	17	12

A partir das respostas dos estudantes percebe-se que eles possuem diferentes concepções sobre o porquê da teoria desenvolvida por Albert Einstein ter sido conhecida por Teoria da Relatividade Restrita (TRR), no entanto, uma certa quantidade dessas respostas são baseadas em ideais de senso comum e algumas poucas relacionam o conceito de restrita às ideias e aos conceitos apresentados na teoria.

Na tabela 10 mostra-se a ação planejada e utilizada para promover uma ruptura epistemológica com as ideias de senso comum a fim de buscar uma maior relação entre o conceito de restrita às ideias e aos conceitos apresentados na teoria.

Tabela 10: Ação planejada para modificar os conhecimentos prévios e diminuir os erros epistemológicos apresentados pelos estudantes.

Ação	Objetivo
Aula expositiva-dialogada ³⁹ .	1. Promover uma maior relação entre o conceito de restrita e às ideias e aos conceitos apresentados na TRR. 2. Discutir o significado das palavras

³⁹ A forma como esta ação foi organizada está melhor detalhada nos Planos de aula do grupo Experimental (seção 9.3).

	Relatividade e restrito. 3. Negociar com os alunos quais as definições que se adequam à TRR.
--	---

Destaca-se o número expressivo de estudantes (ver tabela 9) que mesmo após a implementação da proposta didática não sabiam ou não responderam a questão proposta. Na sequência, apresenta-se uma descrição mais detalhada da análise qualitativa das categorias obtidas a partir da quarta questão.

Categoria 1. Relação de tempo e espaço.

Antes da implementação da UEPS

Antes do processo de instrução 13 estudantes tentaram fazer uma relação entre tempo e espaço para explicar porquê a TRR ficou conhecida dessa forma: “*Porque precisa de um espaço e tempo para haver uma comparação*” (E20TA); “*É a variação de uma determinada medida de tempo e de espaço. Ela varia (pois no espaço, por exemplo, as coisas funcionam mais devagar) e é restrita (pois só é dessa forma aqui na terra)*” (E29TB). Para esses estudantes a TRR ficou conhecida assim porque precisa haver uma comparação entre tempo e espaço ou ainda uma variação das medidas de tempo e espaço. Percebe-se ainda algumas confusões dos estudantes em relação aos termos comparar e variar. Por outro lado, destaca-se a fala de um estudante que usou tais termos de forma “adequada”: “*A teoria desenvolvida por Einstein ficou conhecida pelo variação do espaço e do tempo, pois até então Galileu e Newton diziam que tempo e espaço eram os mesmos. Restrita, porque é um determinado tempo restrito, que não varia*” (E21TB). Nota-se que este estudante descreve os conceitos de tempo e espaço do ponto de vista da física clássica e também da física relativística. Mas, faz uma confusão com o termo restrita e o conceito de tempo ao afirmar que o tempo por ser restrito não varia.

Após a implementação da UEPS

Depois do processo de instrução apenas 5 estudantes mencionaram que tempo e espaço possuem alguma relação com a TRR: *“Porque tempo e espaço são relativos e a velocidade da luz é absoluta na mecânica de Einstein”* (E3TB).

Categoria 2. Espaço e tempo variam de acordo com o referencial.

Antes da implementação da UEPS

Antes da implementação da unidade de ensino 8 estudantes mencionaram que o espaço e o tempo variam de acordo com o referencial: *“Restrita é algo que varia, que muda de acordo com a duração e o lugar. Para ele a relação de tempo e espaço varia de acordo com o referencial”* (E12TA); *“Relatividade restrita porque ela estuda somente os fenômenos em relação a um referencial inercial”* (E19TB). Destaca-se a fala do primeiro estudante que faz uma confusão com o termo restrita, inicialmente ele afirma que restrita é algo que varia e em seguida diz que muda de acordo com a duração e o lugar, evidenciando ideias de senso comum.

Após a implementação da UEPS

Depois da implementação da unidade de ensino 20 estudantes mencionaram em suas respostas que o espaço e o tempo variam de acordo com o referencial: *“Antes de Einstein tempo e espaço eram absolutos, não variáveis. Já na relatividade restrita, tempo e espaço variam de acordo com o referencial. Então é restrito para cada situação, cada valor medido”* (E27TB). Nota-se que este estudante busca explicar o porque a TRR ficou conhecida assim, descrevendo primeiramente as concepções de tempo e espaço newtonianos e na sequência as concepções de tempo e espaço na relatividade restrita, os quais passam a ser relativos de acordo com o referencial, ou seja, dependentes do estado de movimento do referencial.

Por outro lado, destaca-se a fala de um dos 9 estudante que não compreendeu o conceito de referencial e por isso não conseguiu responder de forma coerente o que se pedia na questão: *“Porque se varia em relação ao tempo e ao espaço. E que é relativo, pois o que pode ser referencial para mim, não pode ser para outro”* (E12TA). Nota-se que este estudante até compreende que o tempo e o espaço são relativos de acordo com o referencial, mas faz

uma confusão quando tenta expor essas ideias. Percebe-se implicitamente uma confusão entre os conceitos de simultaneidade e de referencial.

Destaca-se ainda que durante a implementação da UEPS foi possível perceber que a maior dificuldade dos estudantes em compreender os fenômenos relativísticos estava no conceito de referencial. Eles não conseguem entender que o movimento deixa de ser absoluto e passa a ser relativo assim como o tempo e o espaço, porém este mesmo problema ocorre em relação a mecânica newtoniana. Na tabela 10 se propõem uma ação para uma próxima implementação da UEPS para promover a aprendizagem dos conceitos que não apresentaram indícios de AS.

Categoria 3. Movimento dos corpos na ausência de campos gravitacionais

Antes da implementação da UEPS

Antes do processo de instrução 6 estudantes descreveram que a TRR ficou conhecida desta forma devido ao movimento dos corpos na ausência de campos gravitacionais: *“Porque se foca no movimento do corpo na ausência dos campos gravitacionais”* (E19TA); *“O termo restrita é usado porque ela é um caso particular do princípio da relatividade em que efeitos da gravidade são ignorados”* (E12TB). Nota-se que os estudantes descrevem corretamente que o termo “restrita” é utilizado porque está restrita a casos onde a gravitação não é relevante, isto é, sem campos gravitacionais. Por outro lado, o termo “relatividade” não é abordado pelos estudantes.

Após a implementação da UEPS

Após o processo de instrução 10 estudantes descreveram que a TRR ficou conhecida desta forma devido ao princípio da relatividade em que efeitos da gravidade que são ignorados: *“O termo restrita é usado porque ela é um caso particular do princípio da relatividade em que efeitos da gravidade são ignorados”* (E12TB); *“A teoria da relatividade restrita descreve a física do movimento na ausência de campos gravitacionais”* (E17TA). Destaca-se que a fala do primeiro estudante é a mesma de antes do processo de instrução, ou seja, o termo restrita para ele é baseado no princípio da relatividade. Já a fala do segundo estudante afirma implicitamente que a TRR por descrever o

movimento dos corpos na ausência de campos gravitacionais ficou conhecida como TRR.

Categoria 4. Não sabem/Não responderam

Antes da implementação da UEPS

Antes da implementação da UEPS 17 estudantes não souberam ou não responderam esta questão.

Após a implementação da UEPS

Depois da implementação da UEPS 12 estudantes não souberam ou não responderam a questão.

Com relação a esta quarta questão destaca-se que a turma A apresentou mais dificuldades do que a turma B em descrever porque a TRR ficou conhecida desta forma. Destaca-se ainda que 11 dos 12 estudantes que não responderam ou não sabiam responder tal questão são estudantes da turma A. Percebe-se nas respostas dos demais estudantes desta turma que eles até compreendem que o tempo e o espaço variam na TRR, porém não conseguem explicar porque eles variam e porque são relativos. Os 10 alunos da turma A que tentaram explicar porque o tempo e o espaço são relativos de acordo com o referencial deram respostas baseadas no senso comum e muitas vezes sem sentido, como por exemplo: *“Porque se varia em relação ao tempo e ao espaço e que é relativo pois pode ser referencial para mim não pode ser para outra pessoa”* (E19TA). Percebe-se implicitamente uma confusão entre os conceitos de simultaneidade e de referencial.

Em conclusão a esta quarta questão destaca-se que a dificuldade dos estudantes em descrever porque a TRE ficou conhecida como TRR esta no não entendimento dos termos relatividade e restrita. A maioria dos estudantes até descrevem corretamente que o termo restrita é utilizado porque está restrita a casos onde a gravitação não é relevante, mas não conseguem fazer uma relação com termo relatividade. Destaca-se ainda que os estudantes não conseguem entender que tempo e espaço passam a ser relativos, ou seja, dependentes do estado de movimento do referencial e por consequência não

conseguem compreender que a simultaneidade de dois eventos também é relativa. Na tabela 11 se propõem uma ação para uma próxima implementação da UEPS visando promover uma maior compreensão do porque a TRE ficou conhecida por TRR.

Tabela 11: Ação proposta para uma próxima implementação da UEPS nos casos em que não houve indícios de AS.

Ação	Objetivo
Utilização de uma abordagem histórica acerca do desenvolvimento da TRR.	1. Contextualizar o desenvolvimento da TR, promovendo uma maior relação entre o conceito de restrita e os conceitos apresentados na TRR. 2. Levar os estudantes a refletirem sobre o significado do conceito de restrita e do conceito de relatividade.

A análise qualitativa das quatro questões (5 a 9) que serão apresentadas a seguir são referentes a utilização, no segundo passo da UEPS (situação-problema inicial), do jogo “*a slower speed of light*” (uma velocidade mais baixa da luz) como ferramenta educacional no processo de instrução não só para despertar o interesse dos alunos pela TRE, mas também para realizar um levantamento acerca dos conhecimentos prévios que eles possuíam sobre o assunto, dando subsídios para reformular o planejamento didático e ensinar de acordo com eles (conforme já foi discutido e apresentado na seção 5.2 Conhecimentos Prévios).

5.1.1.5 Análise qualitativa da quinta questão

As categorias discutidas a seguir foram construídas a partir das respostas dos alunos a seguinte questão: 5) A velocidade da luz possui um valor máximo?

Tabela 12: Categorias construídas a partir das respostas dos alunos a quinta questão.

Categoria	Resposta dos alunos antes da UEPS	Resposta dos alunos depois da UEPS
1. Sabem	41	48
2. Não sabem	17	0

Conforme apresentado na tabela 12, antes da implementação da UEPS, apenas 16 estudantes não sabiam ou responderam de forma inadequada que a velocidade da luz possui um valor constante. A seguir (na tabela 13) apresenta-se a ação utilizada para modificar os conhecimentos prévios dos estudantes que demonstraram não saber que a velocidade da luz é absoluta.

Tabela 13: Ação planejada para modificar os conhecimentos prévios e diminuir os erros epistemológicos apresentados pelos estudantes.

Ação	Objetivo
Aula expositiva-dialogada ⁴⁰ .	<ol style="list-style-type: none"> 1. Expor as incoerências entre o eletromagnetismo e a mecânica. 2. Apresentar os princípios da TRR levando os estudantes a refletirem sobre a sua validade para o eletromagnetismo. 3. Destacar a busca pelo éter a partir da explicação do experimento de Michelson e Morley. 4. Discutir as consequências do segundo postulada da TRR (princípio da constância da velocidade da luz).

Depois do processo de instrução todos os estudantes demonstraram saber que a velocidade da luz é absoluta, conforme melhor detalhado a seguir.

Categoria 1. Sabem.

Antes da implementação da UEPS

⁴⁰ A forma como esta ação foi organizada está melhor detalhada na seção 9.3 Planos de aula do grupo Experimental.

Antes do processo de instrução 11 estudantes mencionaram que a velocidade da luz possui um valor máximo que ninguém consegue alcançar: “Ela tem um valor limite que ninguém consegue chegar” (E8TA); *Ela tem, mas ninguém consegue atingi-la*” (E32TB) e outros 30 descreveram numericamente qual é esse valor limite: “Sim, 300.000 km/s” (E30TB).

Após a implementação da UEPS

Após o processo de instrução 48 estudantes demonstraram saber que a velocidade da luz possui um valor constante “Possui, 300.000 km/s, pois a velocidade da luz não tem como mudar, será sempre a mesma” (E14TA). Desses 48 estudantes 6 mencionaram que o valor limite da luz foi comprovado experimentalmente por Michelson e Morley: “Sim. Foi detectado por Michelson e Morley que a velocidade da luz tem um valor limite de 300.000 km/s” (E8TB) e outros 3 destacaram que esse valor máximo da luz é independente do movimento da fonte: “Sim, seu valor máximo é de 300.000 km/s independente da velocidade da fonte luminosa em um dado referencial inercial. Sua velocidade não pode ser atingida por nada que possa transmitir massa, energia ou informação” (E21TB).

Categoria 2. Não sabem.

Antes da implementação da UEPS

Como mostra a tabela 13 antes do processo de instrução 7 estudantes mencionaram que a velocidade da luz não possui um valor máximo: “Não, porque ela é constante, não muda” (E18TB) e outros 10 até sabiam que a velocidade da luz possui um valor constante, mas quando tentaram expor qual é esse valor o descreveram de forma errada: “Sim, possui o valor máximo de 300.000 m/s” (E25TB).

Após a implementação da UEPS

Depois do processo de instrução nenhum estudante mencionou não saber que a velocidade da luz possui um valor máximo, pelo contrário, 18 estudantes destacaram que além da velocidade da luz possuir um valor limite, nada pode superar esse valor “Sim, $c=300.000$ km/s seu valor é muito alto em relação a velocidade que os corpos em geral conseguem atingir, por esse

motivo nada consegue alcançar a velocidade da luz" (E6TB), o que demonstra indícios de AS.

Em síntese a essa questão destaca-se que todos os estudantes demonstraram indícios de AS sobre a invariância da velocidade da luz.

5.1.1.6 Análise qualitativa da sexta questão

As categorias discutidas a seguir foram construídas a partir das respostas dos alunos a seguinte questão: 6) Por que quando nos movimentarmos, não percebemos os mesmos efeitos observados no jogo?

Tabela 14: Categorias construídas a partir das respostas dos alunos a sexta questão.

Categoria	Resposta dos alunos antes da UEPS	Resposta dos alunos depois da UEPS
1. Devido a velocidade da luz.	41	44
2. Velocidade relativa.	1	1
3. Pois as frequências emitidas não estão na faixa da luz visível.	4	0

Embora os estudantes não tenham apresentado equívocos quanto à questão proposta planejou-se a ação mostrada na tabela 15 visando levar os estudantes a refletirem sobre as limitações da Mecânica Clássica (MC) para objetos a altas velocidades, expondo assim porque não é possível enxergar os efeitos e os fenômenos relativísticos em situações cotidianas.

Tabela 15: Ação planejada para modificar os conhecimentos prévios e diminuir os erros epistemológicos apresentados pelos estudantes.

Ação	Objetivo
	1. Levar os estudantes refletirem porque não enxergamos os efeitos relativísticos em situações cotidianas. 2. Expor uma situação que envolva a

Aula expositiva-dialogada ⁴¹ .	Mecânica Clássica (MC) e a TR com o objetivo de fazer os alunos pensarem sobre o porquê da limitação da MC para objetos a altas velocidades, destacando porque não enxergamos os efeitos relativísticos no dia-a-dia.
---	---

Na sequência apresenta-se uma descrição mais detalhada da análise qualitativa das categorias obtidas a partir da sexta questão.

Categoria 1. Devido a velocidade da luz.

Antes da implementação da UEPS

Antes da aplicação da UEPS 41 estudantes mencionaram que não é possível perceber os mesmos efeitos observados no jogo por causa da velocidade da luz: *“Por causa da velocidade da luz. Não atingimos a velocidade da luz então não podemos ver”* (E2TB).

Após a implementação da UEPS

Após a aplicação da UEPS 44 estudantes descreveram que no jogo se consegue atingir uma velocidade muito próxima a velocidade da luz, mas no cotidiano se atinge uma velocidade muito pequena em relação a essa velocidade: *“Porque no jogo conseguimos atingir uma velocidade muito próxima a velocidade da luz, e quando nos movimentamos atingimos uma velocidade muito pequena em relação a essa velocidade”* (E6TB). Desses 44 estudantes 4 mencionam que apesar de não ser possível observar estes efeitos, sem o auxílio de equipamentos especiais, eles acontecem: *“Porque a nossa velocidade cotidiana não se aproxima da velocidade da luz, por isso não conseguimos observar os efeitos mas eles acontecem”* (E27TB).

Categoria 2. Velocidade relativa.

Antes da implementação da UEPS

Antes do processo de instrução um estudante formulou uma resposta que não condiz com a questão proposta: *“Como a terra está em movimento*

⁴¹ A maneira como esta ação foi organizada e utilizada está melhor detalhada nos Planos de aula do grupo Experimental (seção 9.3).

constante e nunca muda sua rota, não sentimos o efeito porque rodamos junto com ela e nunca há uma força extrema que a impeça, por isso, junto com o nosso corpo, giram também tudo o que está a nossa volta como a atmosfera” (E17TA).

Após a implementação da UEPS

Depois do processo de instrução o mesmo estudante formulou uma resposta que não responde o que se pede na questão: *“Porque viajamos na mesma velocidade que ela, porque estamos dentro dela, como um carro, a gente não sente mais estamos à mesma velocidade que o carro, se não fosse assim a terra giraria e a gente ficaria rodando pra lá e pra cá” (E17TA).*

Categoria 3. Pois as frequências emitidas não estão na faixa da luz visível.

Antes da implementação da UEPS

Antes do processo de instrução 4 estudantes mencionaram não ser possível enxergar os mesmos efeitos observados no jogo porque as frequências emitidas não estão na faixa da luz visível: *“Porque nós não vemos no ultravioleta e no ultravioleta” (E15TB).*

Após a implementação da UEPS

Depois do processo de instrução nenhuma resposta dos estudantes foi classificada nesta categoria.

Em síntese a essa questão destaca-se que 44 estudantes demonstraram indícios de AS sobre o porque não é possível enxergar os efeitos e fenômenos relativísticos em situações cotidianas. Destaca-se ainda a fala dos 4 estudantes que mencionaram que apesar de não ser possível observar, sem o auxílio de equipamentos especiais, os efeitos e fenômenos relativísticos acontecem.

5.1.1.7 Análise qualitativa da sétima questão

As categorias discutidas a seguir foram construídas a partir das respostas dos alunos a seguinte questão: 7) Quando quase todas as orbs

foram coletadas, o que podemos visualizar quando o personagem se movimentava?

Tabela 16: Categorias construídas a partir das respostas dos alunos a sétima questão.

Categoria	Resposta dos alunos antes da UEPS	Resposta dos alunos depois da UEPS
1. As imagens ficam deformadas.	7	9
2. Há mudança na cor/Efeito Doppler.	26	38
3. Há mudança na velocidade.	3	11
4. O tempo passa mais devagar/Dilatação temporal.	5	9
5. Há mudança no brilho/Efeito Holofote.	5	16
6. O personagem fica mais lento.	5	0

Destaca-se que no momento em que os estudantes, em duplas, jogavam o jogo “a slower speed of light” o professor buscava incentivá-los a descreverem o que estavam visualizando quando o jogador se deslocava pelo cenário, bem como levá-los a refletir sobre os efeitos relativísticos observados no jogo. Ressalta-se que neste momento o professor apenas “apresentou” o nome dos efeitos relativísticos que apareciam no jogo. Por isso, as respostas dos estudantes a sétima questão não apresenta de forma detalhada o que é e como esses fenômenos acontecem. Na tabela 17 mostra-se a ação planejada e utilizada para o maior aprofundamento dos efeitos relativísticos observados pelos estudantes no jogo, modificar os conhecimentos prévios e diminuir os erros epistemológicos apresentados pelos estudantes.

Tabela 17: Ação planejada para aprofundar os conteúdos relacionados aos efeitos relativísticos presentes no jogo “a slower speed of light”, modificar os

conhecimentos prévios e diminuir os erros epistemológicos apresentados pelos estudantes.

Ação	Objetivo
Aula expositiva-dialogada ⁴² .	<ol style="list-style-type: none"> 1. Trazer questões ou situações que façam os alunos pensarem sobre os efeitos relativísticos observados no jogo. 2. Propor que os alunos trabalhem com três simuladores (contração do comprimento, relógio de luz e simultaneidade de eventos) com o intuito de buscar explicações para os fenômenos e efeitos relativísticos observados no jogo. 3. Explicar conceitualmente os três fenômenos relativísticos presentes nos simuladores. 4. Discutir os efeitos relativísticos (Doppler, Holofote e Terrell) que foram observados no jogo, bem como explicá-los conceitualmente para os estudantes. 5. Solicitar que os estudantes resolvam um desafio (situação-problema) sobre o assunto.

Depois do processo de instrução 25 estudantes descreveram o nome de pelo menos um dos efeitos relativísticos observados no jogo, bem como tentaram descrever o que é e como eles ocorrem, no entanto, tais descrições são “superficiais” e muitas vezes confusas, conforme melhor detalhado a seguir.

Categoria 1. As imagens ficam deformadas.

Antes da implementação da UEPS

Antes do processo de instrução 5 estudantes descreveram que as imagens ficaram deformadas conforme o jogador se movimentava pelo ambiente virtual: “*As imagens ficam deformadas*” (E23TA) e outros 2 mencionaram que essa deformação ocorre devido a alta velocidade que o jogo

⁴² A forma como esta ação foi organizada está melhor detalhada nos Planos de aula do grupo Experimental (seção 9.3).

atinge: “*Objetos deformados pela alta velocidade que o jogo atinge*” (E14TB). A deformação das imagens ou dos objetos como descreveram os estudantes só é mais “acentuada” quando o jogador coleta todas as orbs mágicas presentes no ambiente virtual. Assim, ao final da coleta dessas orbs o jogador começa a se deslocar com a mesma velocidade da luz, que foi reduzida⁴³ para valores menores devido à coleta das orbs, é neste momento que o jogador pode visualizar o efeito Terrell, que causa uma aparente deformação dos objetos presentes no cenário do jogo. Mas, é importante destacar que o efeito Terrell também ocorre para velocidades próximas à da luz.

Após a implementação da UEPS

Depois do processo de instrução 8 estudantes descreveram que dependendo da velocidade em que o jogador se movimenta no ambiente virtual os objetos se deformam e essa deformação é conhecida como efeito Terrell: “*Os objetos se deformam (efeito Terrell), variação das cores (efeito Doppler), tempo mais devagar (dilatação temporal), aumenta o brilho dos objetos (efeito holofote) tudo ocorre porque se atinge a velocidade da luz*” (E21TA) e um estudante descreveu que também ocorre a deformação do espaço: “*A distorção do espaço e a coloração da nossa visão*” (E6TA). Nota-se na fala do primeiro estudante que ele busca descrever os três efeitos relativísticos que aparecem no jogo, bem como destacar o fenômeno da dilatação temporal. Já o segundo estudante apenas descreve implicitamente os efeitos Terrell e Doppler.

Categoria 2. Há mudança na cor/Efeito Doppler.

Antes da implementação da UEPS

Antes da implementação da unidade de ensino 11 estudantes descreveram que quando o personagem se movimenta no ambiente virtual ocorre uma mudança na cor da luz: “*Conforme o personagem se move a luz vai mudando de cor*” (E12TA) e outros 15 estudantes mencionaram que se podia observar nas faixas do infravermelho e do ultravioleta: “*Podemos observar as luzes ultravioleta, os raios infravermelho*” (E31TB). Essa mudança na cor, como

⁴³ No game não é o personagem que chega à velocidade da luz e sim a velocidade da luz que é reduzida a valores próximos à velocidade do jogador.

destacam os estudantes, se deve ao desvio da luz para a faixa do vermelho ou do azul, dependendo do movimento do jogador no jogo.

Após a implementação da UEPS

Depois da implementação da unidade de ensino 38 estudantes mencionaram que quando quase todas as orbs mágicas são coletadas é possível atingir uma velocidade próxima a velocidade da luz e detectar efeitos relativísticos: “*Conseguimos atingir uma velocidade bem próxima à da luz (no jogo), ocorrendo uma mudança de frequência (efeito Doppler) e o efeito holofote (que tem haver com o brilho dos objetos)*” (E3TB); “*Detectamos efeitos relativísticos, como o efeito Doppler, que tem uma variação de frequência e o efeito holofote*” (E2TB). Nota-se na fala do primeiro estudante que ao se atingir uma velocidade próxima à da luz no jogo é possível ver os efeitos relativísticos. Nota-se ainda que ambos os estudantes tentam explicar como identificaram esses efeitos no jogo, mostrando assim indícios de AS. Por outro lado, destaca-se a fala de um estudante que não buscou descrever de qual efeito relativístico estava falando: “*Conforme se coletava as orbs a luz e as cores se modificavam*” (E1TA), o que se leva a concluir que o estudante não apresentou indícios de AS.

Categoria 3. Há mudança na velocidade.

Antes da implementação da UEPS

Antes da aplicação da UEPS 3 estudantes destacaram que conforme o personagem se movimenta no ambiente virtual ocorre uma diminuição da intensidade do brilho e da velocidade em relação ao jogador: “*A intensidade do brilho e a velocidade diminuía com relação ao jogador*” (E17TB). Essa diminuição do brilho que o estudante destaca ocorre quando o jogador se desloca para trás, nessa situação os objetos presentes no cenário do jogo ficam escuros. Já no caso da diminuição da velocidade, citada pelo estudante, se deve ao fato da velocidade da luz ser reduzida⁴⁴ a valores próximos à

⁴⁴ Ressalta-se que foi realizada uma breve apresentação do game “a slower speed of light” para os estudantes antes deles começarem a jogar. Nessa apresentação o professor explicou aos estudantes qual era o objetivo do jogo, bem como destacou que no game era a velocidade da luz que se reduzia a velocidade do jogador.

velocidade do jogador conforme as orbs são coletadas e não o personagem chegar a velocidade da luz, o que teoricamente não é possível.

Após a implementação da UEPS

Após a aplicação da UEPS 11 estudantes descreveram que o personagem consegue atingir uma velocidade próxima à da luz e por isso diferentes efeitos relativísticos podem ser observados: *“Ele consegue atingir uma velocidade próxima à da luz, causando assim a mudança de frequência (efeito Doppler) e o efeito holofote, que tem haver com o brilho maior dos objetos”* (E21TB); *“Uma velocidade maior, próxima a da luz e por isso diferentes efeitos”*(E9TB). Segundo a fala desses estudantes para que os efeitos relativísticos sejam observados não é necessário atingir uma velocidade igual à $c \cong 300.000 \text{ km/s}$, mas sim atingir uma velocidade próxima à da luz, o que evidencia indícios de AS. Porém, é importante destacar que no jogo não é o jogador que chega à velocidade da luz, mas sim a velocidade da luz que se reduz a valores próximos à velocidade do jogador.

Categoria 4. O tempo passa mais devagar.

Antes da implementação da UEPS

Antes do processo de instrução 5 estudantes mencionaram que conforme o personagem se movimenta além de se enxergar na faixa do infravermelho, parece que o tempo passa mais devagar: *“As cores no infravermelho, conforme se movimenta rápido, parecia que o tempo passava mais devagar”* (E1TA); *“Consegui enxergar no infravermelho, e conforme a velocidade parece que o tempo passa mais devagar”* (E4TA).

Após a implementação da UEPS

Após o processo de instrução 9 estudantes descreveram que quando o personagem se movimenta é possível detectar que os efeitos relativísticos sofrem o fenômeno da dilatação temporal: *“É possível detectar efeitos relativísticos. O efeito Doppler que tem uma variação da frequência. Efeito Holofote que tem uma variação no brilho dos objetos. Ambos sofrem o fenômeno da dilatação temporal”* (E8TB). Destaca-se que os efeitos relativísticos (Doppler e Holofote) são modificados pelo fenômeno da dilatação

temporal, como afirma o estudante, quando o personagem começa a se deslocar à uma velocidade próxima a velocidade da luz pelo ambiente virtual ele observa mudanças nas intensidades dos efeitos Doppler e Holofote. E por consequência tem-se os efeitos da dilatação temporal sobre os objetos que muda a intensidade do efeito Doppler e a intensidade do efeito Holofote.

Destaca-se ainda que a explicação destes efeitos relativísticos não são triviais, por isso, acredita-se que os estudantes apenas os descreveram de forma “superficial”. No entanto, o fato de 9 estudantes terem descrito que estes efeitos relativísticos sofrem os efeitos da dilatação temporal, mudando assim a sua intensidade, já indica indícios de AS por parte desse grupo de alunos. Por outro lado, o fato de 41 estudantes não terem feito menção a mudança da intensidade dos efeitos Doppler e Holofote devido ao fenômeno da dilatação temporal indica que 82% dos alunos não apresentou indícios de AS sobre o conteúdo.

Categoria 5. Há mudança no brilho/Efeito Holofote.

Antes da implementação da UEPS

Antes da implementação da proposta didática 5 estudantes mencionaram que ocorre uma mudança no brilho dos objetos quando o personagem se movimenta no ambiente virtual: “*Quando o jogador se movimenta para a frente as luzes aumentam e quando voltamos tudo escurece*” (E13TB). Esse aumento das luzes que o estudante descreve ocorre quando o personagem começa a se deslocar para frente, com uma velocidade cada vez mais próxima da velocidade da luz, uma quantidade maior de luz (fótons) incidem em seus olhos fazendo com que a imagem se apresente com maior brilho e quando o personagem se desloca para trás, incide uma quantidade menor de fótons, que é percebida como uma imagem menos nítida e brilhante (ou escura como descreve o estudante).

Após a implementação da UEPS

Depois da implementação da proposta didática 16 estudantes descreveram que quando o personagem se movimenta no ambiente virtual ocorre uma mudança no brilho dos objetos conhecida como efeito Holofote: “*Porque quando jogamos uma quantidade de fótons incide sobre nossos olhos*

e os objetos se tornam mais brilhantes, esse efeito é conhecido como efeito Holofote” (E30TB). Nota-se na fala desse estudante que há uma compreensão conceitual de como o efeito Holofote ocorre, por outro lado, percebe-se que ele não relaciona os efeitos da dilatação temporal com o efeito Holofote (que causa a mudança da intensidade do efeito Holofote). Destaca-se ainda que nenhum dos 16 estudantes que fizeram tal relação, o que indica que o grupo de estudantes não apresentou indícios de AS sobre este conteúdo.

Categoria 6. O personagem fica mais lento.

Antes da implementação da UEPS

Antes do processo de instrução 5 estudantes mencionaram que o personagem fica mais lento quando se movimenta no cenário do jogo: “Conforme a velocidade ele fica mais devagar” (E8TA); “Que o personagem fica mais lento” (E3TB).

Após a implementação da UEPS

Após o processo de instrução não houve respostas classificadas nesta categoria.

Em síntese aos resultados apresentados nesta sétima questão destaca-se, que embora só se tenha apresentado conceitualmente os efeitos relativísticos (Doppler e Holofote) para os estudantes, não houve uma boa compreensão sobre o assunto. Destaca-se ainda que a explicação destes efeitos relativísticos não são triviais, uma vez que exige do aluno uma boa compreensão dos princípios da relatividade e do fenômeno da dilatação temporal. Por isso, acredita-se que os 9 estudantes que tentaram explicá-los o fizeram de forma “superficial”. Enquanto que os outros 41 apenas os descreveram classicamente ou apenas citaram o nome desses efeitos relativísticos. Diante do exposto, chega-se à conclusão de que é necessário dedicar um tempo maior na explicação desses efeitos relativísticos, bem como modificar a questão proposta para que em uma próxima implementação da UEPS os estudantes possam descrever de forma mais detalhada o que são os efeitos relativísticos, evitando assim respostas “superficiais” ou sem uma “relação conceitual” com os efeitos observados no jogo.

5.1.1.8 Análise qualitativa da oitava questão

As categorias discutidas a seguir foram construídas a partir das respostas dos alunos a seguinte questão: 8) O que visualizamos quando coletamos todas as orbs?

Tabela 18: Categorias construídas a partir das respostas dos alunos a oitava questão.

Categoria	Resposta dos alunos antes da UEPS	Resposta dos alunos depois da UEPS
1. Diminuição da velocidade.	4	0
2. Mudança na cor.	5	21
3. Deformação dos objetos.	29	36
4. Mudança no brilho.	1	10
5. Mudança na velocidade do personagem.	6	0
6. Não coletaram todas as Orbs.	2	0

Destaca-se que quando o jogador coleta as cem orbs mágicas, o jogo “suprime” o efeito Holofote e o efeito Doppler para que o efeito da distorção dos objetos fique mais visível, portanto, o único efeito relativístico que os estudantes deveriam visualizar quando todas as orbs são coletadas é o efeito Terrell. No entanto, como mostra a tabela 18 as categorias obtidas por meio das respostas dos estudantes a oitava questão além de não condizerem com o “contexto final” do jogo são muito semelhantes às categorias já discutidas na seção anterior (5.1.1.7 Análise qualitativa da sétima questão). Por isso, destaca-se que a ação planejada e utilizada para um maior aprofundamento do efeito Terrell (visando modificar os conhecimentos prévios e diminuir os erros epistemológicos apresentados pelos estudantes) foi a mesma apresentada na tabela 17. A seguir apresenta-se as categorias criadas para esta questão.

Categoria 1. Diminuição da velocidade.

Antes da implementação da UEPS

Antes do processo de instrução 4 estudantes destacaram que quando todas as orbs são coletadas ocorre uma diminuição da velocidade: “*Que vai diminuindo a velocidade e o tempo passa mais devagar e os objetos começaram a se deformar*” (E29TB); “*Que a velocidade diminua e a tela mudava de cor*” (E11TA). Essa diminuição da velocidade citada pelos estudantes deve-se ao fato de no jogo a velocidade da luz ser reduzida a velocidade do jogador e a mudança da cor não é devido a um efeito físico, ao coletar a última orb, o jogo suprime os efeitos Doppler e Holofote para facilitar a visualização da deformação dos objetos.

Após a implementação da UEPS

Depois do processo de instrução nenhuma resposta foi classificada nesta categoria.

Categoria 2. Mudança na cor.

Antes da implementação da UEPS

Antes da implementação da UEPS 5 estudantes descreveram que quando todas as orbs são coletadas é possível observar efeitos diferentes: “*Conseguimos observar efeitos diferentes, como o infravermelho e ultravioleta*” (E32TB); “*Os objetos deformados e andando em uma alta velocidade a cor fica diferente*” (E29TA). Como já descrito anteriormente ao se coletar todas as orbs o jogo suprime os efeitos Doppler e Holofote para facilitar a visualização da deformação dos objetos, portanto essa mudança na cor dos objetos citada pelos estudantes não se trata de um efeito físico.

Após a implementação da UEPS

Depois da implementação da UEPS 21 estudantes mencionaram que quando todas as orbs foram coletadas é possível observar efeitos relativísticos: “*O efeito Doppler, o efeito holofote e o efeito Terrell*” (E12TA); “*Efeito Doppler relativístico, efeito holofote e efeito Terrell*” (E5TA). Nota-se que estes estudantes não mais citam os termos “mudança de cor”, “mudança na intensidade do brilho”, “deformação dos objetos”, em vez disso, descrevem o

nome dos fenômenos relativísticos que foram observados no jogo. Mas, é importante destacar que o único efeito visível ao se coletar todas as orbs é o efeito Terrell, uma vez que, o jogo o jogo suprime os efeitos Doppler e Holofote para facilitar a visualização da deformação dos objetos.

Categoria 3. Deformação dos objetos.

Antes da implementação da UEPS

Antes da aplicação da unidade de ensino 29 estudantes descreveram que ocorre a deformação dos objetos quando todas as orbs são coletadas: “*Observamos que os objetos vão ficando deformados de acordo com a velocidade*” (E19TA); “*Podemos ver objetos deformados ao correr muito rápido*” (E23TB). Nota-se que os estudantes atribuem a deformação dos objetos presentes no cenário do jogo a velocidade que o jogador atinge o que de fato não deixa de ser verdade pois no jogo o jogador consegue, depois de coletar todas as orbs, se deslocar no ambiente virtual a mesma velocidade da luz.

Após a implementação da UEPS

Após a aplicação da unidade de ensino 36 estudantes mencionaram que quando todas as orbs são coletadas os objetos começam a se deformar: “*Observamos os objetos se deformando, pois o tempo e o espaço se dilata/contrai e deforma os objetos devido à velocidade da luz ser muito alta*” (E2TB); “*Observamos que os objetos vão ficando deformados com a velocidade*” (E24TA). Nota-se que os estudantes atribuem a deformação dos objetos presentes no ambiente virtual a velocidade da luz e não mais a velocidade que o jogador atinge, o que demonstra indícios de AS, pois um objeto além de sofrer a contração do comprimento e a dilatação do tempo, como destaca o estudante 2, se apresenta com uma aparência muito diferente do que a prevista apenas pela contração de Lorentz. Por isso, a aparência visual percebida pelo jogador é de que este objeto sofre uma deformação, conhecida como Efeito Terrell.

Categoria 4. Mudança no brilho.

Antes da implementação da UEPS

Antes do processo de instrução um estudante destacou que quando todas as orbs são coletadas ocorre uma mudança no brilho dos objetos: “*A forma dos objetos mudam a cor, tem mais brilho e fica mais escura*” (E8TA). Depois de coletadas uma centena de orbs mágicas o jogador pode se deslocar com a mesma velocidade da luz, de modo que a intensidade dos efeitos relativísticos se tornam mais intensos, por outro lado, após a coleta de todas as orbs o jogo suprime os efeitos Doppler e Holofote para que o efeito Terrell se torne mais visível. Por isso, não faz sentido o estudante destacar que a cor e a intensidade do brilho dos objetos mudam.

Após a implementação da UEPS

Depois do processo de instrução 10 estudantes mencionaram que quando todas as orbs são coletadas ocorre o efeito Holofote: “*Movimenta-se na velocidade da luz e o efeito holofote age de forma mais intensa*” (E9TB). Como já descrito anteriormente o único efeito que aparece visivelmente para o jogador quando ele coleta todas as orbs é o efeito Terrell, que causa uma aparente deformação nos objetos. Portanto, a resposta do estudante não responde o que se pede na questão.

Categoria 5. Mudança na velocidade do personagem.

Antes da implementação da UEPS

Antes da implementação da UEPS 6 estudantes destacaram que ocorre uma mudança na velocidade do personagem quando todas as orbs são coletadas: “*A supervelocidade do personagem*” (E16TB); “*Muda a imagem e ele fica mais rápido*” (E10TB). Devido à coleta das orbs a velocidade da luz é reduzida para valores menores próximos à velocidade do jogador (assim como afirmam os estudantes).

Após a implementação da UEPS

Após a implementação da UEPS nenhuma resposta foi classificada nesta categoria.

Categoria 6. Não coletaram todas as Orbs.

Antes da implementação da UEPS

Antes do processo de instrução 2 estudantes disseram não ter coletado todas as orbs: “*Não coletamos todas as orbs*” (E4TB; E19TB).

Após a implementação da UEPS

Depois do processo de instrução nenhuma resposta foi classificada nesta categoria.

Em síntese aos resultados apresentados nesta questão destaca-se a confusão dos estudantes ao responderem a pergunta proposta, bem como a não compreensão do contexto final do jogo, uma vez que, ao se coletar todas as orbs o jogo suprime os efeitos Doppler e Holofote para facilitar a visualização do efeito Terrell. Por outro lado, destaca-se a fala dos 36 estudantes que mencionaram o efeito Terrell ou a deformação dos objetos em suas respostas, o que demonstra entendimento de que o efeito Terrell é mais visível ao se coletar todas as orbs. Destaca-se ainda que a explicação deste efeito relativístico não é trivial, ela exige do aluno uma boa compreensão dos princípios da relatividade, dos conceitos de tempo e espaço e do fenômeno da contração de Lorentz. Por isso, a ação proposta para uma próxima implementação da UEPS, visando promover uma maior compreensão deste efeito relativístico nos casos em que não houve indícios de AS, é primeiramente modificar a questão proposta a fim de esclarecer para os estudantes essa questão do jogo suprimir os efeitos Doppler e Holofote e dedicar um tempo maior na explicação do efeito Terrell, evitando assim respostas “superficiais” ou sem uma “relação conceitual” com os efeitos observado no jogo.

5.1.1.9 Análise qualitativa da nona questão

As categorias discutidas a seguir foram construídas a partir das respostas dos alunos a seguinte questão: 9) O que enxergaríamos se pudéssemos viajar com a mesma velocidade de um raio de luz?

Tabela 19: Categorias construídas a partir das respostas dos alunos a nona questão.

Categoria	Resposta dos alunos antes da UEPS	Resposta dos alunos depois da UEPS
1. Não veríamos.	7	1
2. O que foi visto no jogo.	14	4
3. Mudança da frequência da luz/Efeito Doppler.	24	28
4. Não é possível.	1	0
5. O tempo passaria mais lentamente/Dilatação temporal.	7	13
6. Contração do espaço.	13	16

Nota-se que as categorias construídas para esta nona questão são muito semelhantes as categorias elaboradas para as questões 7 e 8 discutidas e apresentadas, respectivamente, nas seções 5.1.1.7 Análise qualitativa da sétima questão e 5.1.1.8 Análise qualitativa da oitava questão. Por isso, destaca-se que a ação planejada e utilizada para um maior aprofundamento dos efeitos relativísticos (visando modificar os conhecimentos prévios e diminuir os erros epistemológicos apresentados pelos estudantes) também foi a mesma apresentada na tabela 17.

Destaca-se ainda que apesar de a TRR não permitir que esta velocidade seja alcançada a questão proposta é questionável, mas conforme será apresentado a seguir apenas um estudante conseguiu formular uma resposta que condiz com a pergunta, enquanto que os demais alunos formularam respostas para velocidades próximas à da luz. Por isso, propõem-se para uma próxima implementação da proposta didática a reformulação da questão proposta ou uma maior explicação (matemática) do que ocorreria se fosse possível viajar com a mesma velocidade da luz, como por exemplo, o fato de que pela contração de Lorentz a distância entre o início e o fim da viagem vão à zero, logo a viagem é instantânea e a frequência da radiação tende a infinito para objetos à frente, etc.

Na sequência apresenta-se as categorias mostradas na tabela 19 que foram criadas a partir dessa questão.

Categoria 1. Não veríamos.

Antes da implementação da UEPS

Antes do processo de instrução 7 estudantes mencionaram que veriam pouca coisa se pudessem viajar com a mesma velocidade da luz: “*Pouca coisa nós poderíamos visualizar com essa velocidade*” (E22TB); “*Veríamos apenas borrões e vultos pois nossos olhos não são capazes de acompanhar essa velocidade*” (E11TB). Para esses estudantes não veríamos nada se pudessemos viajar com a mesma velocidade da luz porque nossos olhos não são capazes de acompanhar tal velocidade.

Após a implementação da UEPS

Depois do processo de instrução um estudante mencionou que não veria nada se pudesse viajar na mesma velocidade da luz: “*Nós não enxergaríamos nada*” (E5TB).

Categoria 2. O que foi visto no jogo.

Antes da implementação da UEPS

Antes da implementação da UEPS 14 estudantes descreveram que se pudessem viajar com a mesma velocidade da luz veriam o que foi visto no jogo: “*O que vimos no jogo*” (E10TA); “*Veríamos os efeitos que aparecem no jogo, como por exemplo, os objetos deformados*” (E2TB).

Após a implementação da UEPS

Mesmo depois da implementação da UEPS 4 estudantes descreveram que veriam os mesmos efeitos observados no jogo caso pudessem viajar com a mesma velocidade da luz: “*Todos os efeitos mostrados no jogo. As coisas deformam, aumentam de tamanho, muda as cores*” (E8TA). Para evitar respostas superficiais como as apresentadas por estes estudantes, para uma próxima implementação da UEPS pretende-se modificar a nona questão.

Categoria 3. Mudança da frequência da luz/Efeito Doppler.

Antes da implementação da UEPS

Antes da aplicação da unidade de ensino 24 estudantes disseram que enxergariam as cores na faixa do espectro se pudessem viajar com a mesma

velocidade da luz: *“Irámos enxergar com as cores da faixa do espectro”* (E3TB); *“Cores ultravioleta, luzes infravermelha do espectro”* (E18TB).

Após a implementação da UEPS

Após a aplicação da unidade de ensino 28 estudantes mencionaram que se pudessem viajar com a mesma velocidade da luz observariam uma mudança na frequência da luz: *“Os objetos seriam deformados e enxergaríamos cores diferentes de acordo com a frequência. Seria possível ver a luz ultravioleta por exemplo”* (E8TB).

Categoria 4. Não é possível.

Antes da implementação da UEPS

Antes do processo de instrução apenas um estudante mencionou que não é possível viajar a mesma velocidade da luz: *“Não é possível”* (E1TA). Felizmente a TRR não permite que esta velocidade seja alcançada, porém ela permite prever matematicamente, por exemplo, que devido a contração de Lorentz a distância entre o início e o fim da viagem vão à zero e por isso a viagem é instantânea ou ainda que a frequência da radiação tende ao infinito para objetos à frente, entre outras.

Após a implementação da UEPS

Depois do processo de instrução nenhuma resposta foi classificada nesta categoria.

Categoria 5. O tempo passaria mais lentamente.

Antes da implementação da UEPS

Antes da implementação da UEPS 7 estudantes mencionaram que caso fosse possível viajar com a mesma velocidade da luz o tempo passaria mais devagar: *“Poderíamos enxergar os raios ultravioleta e infravermelho, andar mais rápido e parecer que o tempo está mais devagar”* (E29TA).

Após a implementação da UEPS

Depois da implementação da UEPS 13 estudantes descreveram que caso pudessem viajar com a mesma velocidade da luz o tempo passaria mais

lentamente: “*O tempo passaria mais lentamente (dilatação temporal)*” (E29TB); “*Dilatação temporal em velocidades próxima da luz, o tempo passa mais devagar*” (E30TB). Nota-se que agora os estudantes associam o fenômeno da dilatação temporal com o tempo passaria mais devagar.

Categoria 6. Contração do espaço.

Antes da implementação da UEPS

Antes da aplicação da unidade de ensino 13 estudantes destacaram que se fosse possível viajar a mesma velocidade da luz visualizariam os objetos contraídos: “*Que os objetos se contraem*” (E4TA).

Após a implementação da UEPS

Depois da aplicação da unidade de ensino 16 estudantes mencionaram se pudessem viajar com a mesma velocidade da luz veriam o fenômeno da contração espacial: “*Dilatação temporal e a contração espacial. Na velocidade da luz o tempo passa mais devagar e os objetos se contraem*” (E28TB); “*Contração espacial e dilatação temporal. Em velocidades próxima a da luz, o tempo passa mais devagar e os objetos se contraem*” (E12TB).

Em síntese aos resultados encontrados nesta nona questão destaca-se que todas⁴⁵ as respostas dos alunos foram baseadas no efeito Doppler e nos fenômenos da dilatação temporal e da contração do comprimento. No entanto, tais respostas além de serem “superficiais” não respondem o que se pede na questão. Por isso, para uma futura implementação da UEPS, pretende-se reformular a nona questão e mostrar matematicamente que além de não ser possível atingir a velocidade da luz alguns efeitos podem ocorrer, como por exemplo, que devido a contração de Lorentz a distância entre o início e o fim da viagem vão à zero e por isso a viagem é instantânea e que a frequência da radiação tende ao infinito para objetos à frente, entre outras.

A análise qualitativa da última questão (10) que será apresentada a seguir se refere a um vídeo que os estudantes assistiram sobre o paradoxo dos

⁴⁵ Exceto o estudante E1TA que antes do processo de instrução mencionou que não é possível viajar com a mesma velocidade da luz.

gêmeos, no quarto passo da UEPS (Nova situação-problema em maior nível de complexidade). O objetivo dessa situação-problema era buscar uma explicação para o fenômeno apresentado no paradoxo, bem como realizar um levantamento das concepções que os estudantes possuíam sobre o assunto. Tais concepções deram subsídios para a reformulação do planejamento didático (conforme já foi discutido e apresentado na seção 5.2 Conhecimentos Prévios).

5.1.1.10 Análise qualitativa da décima questão

As categorias discutidas a seguir foram construídas a partir das respostas dos alunos a seguinte questão: 10) Por que o tempo passou mais devagar para Bert?

Tabela 20: Categorias construídas a partir das respostas dos alunos a décima questão.

Categoria	Resposta dos alunos antes da UEPS	Resposta dos alunos depois da UEPS
1. Pois Bert se locomove com velocidade relativística.	24	30
2. Pois ele se locomove no espaço.	7	9
3. Pois Bert mudou de referencial	1	28
4. Resposta descritiva e não explicativa.	4	0

Destaca-se que antes do paradoxo dos gêmeos ter sido apresentado para os estudantes, por meio do vídeo, eles já haviam trabalhado com o jogo e com um simulador que tratava do fenômeno da dilatação temporal e portanto já possuíam novos subsunçores sobre o assunto. O que de fato lhes permitiu elaborar uma explicação para o fenômeno apresentado no paradoxo. Dos 35 estudantes que responderam a questão proposta, 4 deles apresentaram respostas descritivas sobre o assunto porém não explicativas, ou seja, as

respostas apresentadas pelos estudantes não responderam de forma coerente e explicativa porque o tempo passou mais devagar para Bert. Por isso, planejou-se a ação apresentada na tabela 21 com o intuito de fornecer subsídios para que esses estudantes compreendessem o fenômeno da dilatação temporal e conseguissem por meio dele explicar o paradoxo dos gêmeos.

Tabela 21: Ação planejada para modificar os conhecimentos prévios e diminuir os erros epistemológicos apresentados pelos estudantes.

Ação	Objetivo
Aula expositiva-dialogada ⁴⁶ .	<ol style="list-style-type: none"> 1. Trazer questões ou situações que façam os alunos pensarem sobre a situação-problema apresentada no vídeo (paradoxo dos gêmeos). 2. Deduzir juntamente com os estudantes a expressão para a dilatação temporal a partir dos dados fornecidos na animação do “relógio de luz” utilizando o teorema de Pitágoras. 3. Explicar conceitualmente a expressão da dilatação temporal. 4. Destacar a importância do referencial para analisar o paradoxo dos gêmeos. 5. Explicar porque consideramos a Terra como um “bom” referencial inercial (apesar de não o ser) para analisar os fenômenos físicos. 6. Explicar por meio de um problema numérico o paradoxo dos gêmeos para os estudantes. 7. Utilizar um problema numérico para reforçar porque a terra é um bom referencial para analisar o paradoxo dos gêmeos. 8. Propor que os estudantes

⁴⁶ A forma como esta ação foi organizada está melhor detalhada na seção 9.3 Planos de aula do grupo Experimental.

	resolvam um desafio (situação-problema) sobre o sobre o assunto.
--	--

Depois do processo de instrução todos os estudantes apresentaram explicações para o paradoxo dos gêmeos baseadas no fenômeno da dilatação temporal, conforme melhor detalhado a seguir.

Categoria 1. Pois Bert se locomove com velocidade relativística.

Antes da implementação da UEPS

Antes do processo de instrução 24 estudantes mencionaram que o tempo passou mais devagar para Bert porque ele estava viajando próximo a velocidade da luz: "*Porque Bert estava viajando em seu foguete próximo a velocidade da luz. Quanto maior a velocidade menor o tempo, esse fenômeno é chamado de dilatação temporal*" (E12TB). Para esse estudante o fenômeno da dilatação temporal é a explicação para que o tempo de Bert passasse mais devagar, o que de fato é verdade pois ao atingir uma velocidade próxima a da luz o relógio de Bert (e o próprio Bert) começa a sentir os efeitos da dilatação temporal. Por outro lado, nota-se um equívoco na fala do estudante quando ele afirma que "quanto maior a velocidade menor é o tempo", mas em relação a que e a quem o tempo é menor? Percebe-se, a partir da fala desse estudante, a necessidade de se fixar um referencial para que a explicação do fenômeno seja completa.

Após a implementação da UEPS

Depois do processo de instrução 30 estudantes mencionaram que o tempo passou mais devagar para Bert porque seu foguete viajou próximo a velocidade da luz: "*O tempo passou mais devagar para Bert pois ao viajar em um foguete, ele chegou em uma velocidade próxima a velocidade da luz, e quando isso acontece, ocorre o fenômeno da dilatação temporal, ou seja, o tempo passa mais devagar para quem chega próximo a velocidade da luz*" (E6TB). Para esse estudante o tempo passou mais devagar para Bert primeiro porque seu foguete chegou a uma velocidade próxima a velocidade da luz, e quando isso acontece, ocorre (como afirma o estudante) o fenômeno da dilatação temporal.

Categoria 2. Pois ele se locomove no espaço.

Antes da implementação da UEPS

Antes da implementação da UEPS 7 estudantes descreveram que o tempo passou mais devagar para Bert porque ele viajou no espaço: *“Porque Bert viajou para o espaço e no espaço o tempo passa mais devagar, e também por causa da dilatação temporal, o tempo passa mais devagar para ele porque ele se aproxima da velocidade da luz”* (E9TA); *“Porque Bert viajou para o espaço e no espaço o tempo passa mais devagar”* (E1TA). Para estes estudantes no espaço o tempo passa mais devagar, o que é um equívoco, pois andar com a mesma velocidade do foguete na terra pelo mesmo tempo causaria o mesmo efeito, logo o espaço não tem relação causal, como afirmam os estudantes.

Após a implementação da UEPS

Depois da implementação da UEPS 9 estudantes descreveram que o tempo passou mais devagar para Bert porque ele viajou no espaço ou mudou de referencial: *“Porque ele viajou no espaço, por causa da dilatação temporal o tempo passava mais devagar para ele e para quem se aproxima da velocidade da luz”* (E5TA); *“Pela dilatação temporal. Pois quando Bert viajou para o espaço ele ficou em um referencial não inercial, por isso o tempo passou mais devagar”* (E12TA). Nota-se que ambos os estudantes descrevem que além do fato de Bert ter se aproximado da velocidade da luz, a mudança de referencial também influenciou na passagem do tempo, porém é importante destacar que a mudança de referencial não tem relação causal, como afirmam os estudantes, pois se Bert tivesse viajado com a mesma velocidade do foguete na terra pelo mesmo tempo o mesmo efeito teria ocorrido.

Categoria 3. Pois Bert mudou de Referencial

Antes da implementação da UEPS

Antes do processo de instrução apenas um estudante mencionou que o tempo passou mais devagar para Bert porque ele mudou de referencial: *“Porque se baseia no conceito de dilatação temporal, porque viajar próximo da velocidade da luz o tempo passa mais devagar. Antes de viajar Bert e Al*

estavam no mesmo referencial inercial (terra), mas quando ele viajou para o espaço ele passou a estar em um referencial não inercial isso também influencia na passagem mais devagar do tempo” (E12TA). Destaca-se primeiramente que a dilatação temporal é um fenômeno relativístico e não um conceito como afirma o estudante. Por outro lado, nota-se que o estudante “tenta” explicar o paradoxo dos gêmeos a partir do conceito de referencial.

Após a implementação da UEPS

Depois do processo de instrução 28 estudantes mencionaram que o tempo passou mais devagar para Bert porque ele mudou de referencial: *“Porque quanto mais próxima à velocidade da luz, o tempo passa mais devagar. O fato de Al estar em um referencial (consideramos a terra inercial pois estamos fixos nela) e Bert em um referencial não inercial (o espaço) sofrendo aceleração, ajudou com que o tempo passasse mais devagar para Bert”* (E27TB); *“Estava viajando na velocidade da luz e saiu de um referencial inercial e passou para um referencial não inercial, contribuindo para a dilatação do tempo acontecer”* (E29TB). Destaca-se que a mudança de referencial não contribui para que o fenômeno da dilatação temporal ocorra, pois se Bert andasse com a mesma velocidade do foguete na terra pelo mesmo tempo o fenômeno também ocorreria, logo o referencial não tem relação causal com o fenômeno da dilatação temporal, como afirmam os estudantes.

Categoria 4. Resposta descritiva e não explicativa

Antes da implementação da UEPS

Antes da aplicação da unidade de ensino 4 estudantes apresentaram respostas descritivas mas não explicativas sobre o porque do tempo ter passado mais devagar para Bert: *“Porque o tempo passa mais devagar na relatividade da luz”* (E7TA; E4TA); *“Pela dilatação temporal o tempo passa mais devagar no espaço”* (E10TA; E19TA). Nota-se que além de confusas as respostas dos estudantes não fazem sentido.

Após a implementação da UEPS

Após a aplicação da unidade de ensino nenhuma resposta foi classificada nesta categoria.

Em síntese aos resultados apresentados para esta última questão destaca-se que 36 estudantes demonstraram indícios de AS sobre o fenômeno da dilatação temporal, visto que, conseguiram por meio dele "explicar" o paradoxo dos gêmeos. Por outro lado, destaca-se que a principal confusão apresentada pelos estudantes na descrição de uma solução para o problema, esta em descrever a mudança de lugar (da terra para o espaço) como causa do fenômeno da dilatação temporal, o que é um equívoco porque se Bert viajasse com a mesma velocidade do foguete na terra pelo mesmo tempo o fenômeno também ocorreria, logo o referencial não tem relação causal com o fenômeno da dilatação temporal como descreveram os estudantes, o que demonstra não compreensão do fenômeno relativístico.

Com o intuito de promover uma maior compreensão do fenômeno da dilatação temporal nos casos em que não houve indícios de AS, sugere-se para uma próxima implementação da UEPS explicar o fenômeno da dilatação temporal com uma situação-problema que envolva o paradoxo do gêmeos no referencial da terra, por exemplo, supor que Bert viaje com a mesma velocidade do foguete na terra pelo mesmo tempo. Sugere-se ainda, discutir o fenômeno da dilatação temporal em referenciais acelerados, pois supõem-se que quando os estudantes descrevem que a mudança de lugar (da terra para o espaço) contribui para que o fenômeno ocorra, eles "se referem" a influência dos campos gravitacionais sobre o relógio de Bert, como por exemplo, é mostrado em documentários ou em filmes onde o tempo passa diferentemente em planetas massivos.

5.1.2 Análise Quantitativa dos dados obtidos a partir do questionário e comparação entre grupo de controle e experimental

O questionário (8.4 Pré-teste e pós-teste) foi validado e teve sua fidedignidade calculada. A validade ocorreu através de análise do conteúdo, sendo aprovado por 4 professores de diferentes instituições de ensino superior. Para o cálculo da fidedignidade, aplicou-se o teste a 235 estudantes de duas escolas estaduais da cidade de Capitão Leônidas Marques-PR, obtendo-se um coeficiente de Cronbach de 0,974, o que significa que o instrumento possui boa fidedignidade (VIANNA, 1978 apud MOREIRA e ROSA, 2013).

Comparando-se o pré-teste dos dois grupos, não foi possível rejeitar a hipótese nula, pois a significância obtida de 0,410 está acima do valor teórico estipulado (0,05) (DANCEY e REIDY, 2007 apud PARISOTO, 2015). Esse resultado mostra que os dois grupos eram inicialmente diferentes.

Na tabela 22 expõem-se as médias do pré-teste e pós-teste dos dois grupos, realizada, com o intuito de mostrar percentualmente qual o ganho obtido por cada grupo depois do processo de instrução, bem como comparar a porcentagem dos ganhos entre os dois grupos.

Tabela 22: Média entre o pré-teste e o pós-teste.

	Grupo de Controle	Grupo Experimental
Média do pré-teste.	0,1564516129	0,3175757576
Média do pós-teste.	0,3336021505	0,7251515152
Aumento da média.	113%	128%

Como mostra a tabela 22 ambos os grupos mostraram ganhos maiores do que 100% na média. Porém, o grupo experimental obteve em comparação ao grupo de controle uma média razoavelmente maior tanto no pré-teste quanto no pós-teste. Ao se calcular a diferença entre o aumento da média entre o pré-teste e pós-teste dos dois grupos obtém-se um valor de 15%, portanto o grupo experimental teve um ganho de 15% a mais do que o grupo de controle. Como a diferença, na implementação da proposta foi a articulação entre o jogo a slower speed of light, as situações-problema, o vídeo, os simuladores e a UEPS, há indicativos de que a diferença na aprendizagem se deva a ela. No entanto, é importante destacar que essa diferença não é significativa, uma vez, que os grupos eram inicialmente heterogêneos.

Conforme observa-se na tabela 23, ao ser comparado o pré-teste e o pós-teste dos dois grupos, percebeu-se que o Grupo de Controle possui significância de 0,000, sendo menor do que 0,05, portanto é estatisticamente provável que os resultados obtidos foram devido ao Método Tradicional de Ensino. Já no Grupo Experimental, a significância foi de 0,001, o que também fornece indícios de que os resultados encontrados foram devido à implementação da UEPS.

Tabela 23: Significância entre o pré-teste e o pós-teste.

	Grupo de Controle	Grupo Experimental
Significância entre o pré-teste e o pós-teste.	0,000	0,001

Tais resultados mostram que os alunos apresentam indícios de AS tanto a partir de métodos indutivos quanto de métodos dedutivos. Porém, como destaca Parisoto (2015) os métodos indutivos não desenvolvem apenas a aprendizagem conceitual igual, ou melhor, ao método dedutivo, mas estimulam o desenvolvimento de outras habilidades que não são estimuladas no método dedutivo, tais como o pensamento crítico e a capacidade de argumentação.

Utilizou-se o teste de Levene para igualdade das variâncias (DANCEY e REIDY, 2007 apud PARISOTO, 2015), para comparar se os ganhos entre o pré-teste e pós-teste entre os grupos eram estatisticamente significativos. Encontrou-se um valor de 0,000, que é menor do que 0,05, portanto pode-se rejeitar a hipótese nula, ou seja, os resultados possuem mais de 95% de chance de serem devidos ao tratamento dado.

O questionário, como se pode ver na seção 8.4 Pré-teste e pós-teste, foi dividido em cinco seções: referencial inercial; invariância da velocidade da luz; dilatação temporal; contração do comprimento e simultaneidade de eventos. A quinta seção foi subdividida em duas subseções: conceitual e procedimental e as quatro primeiras ainda agregam a subcategoria aplicação da ciência. Analisou-se, através do Teste t para amostras independentes, em quais questões os alunos apresentaram indícios de AS. O resultado obtido foi 0,000 para as 60 questões que compunham o questionário. Com base nesse resultado, afirma-se que os estudantes apresentam indícios de AS em todos os tópicos de RE, ou seja, todas as questões tiveram indícios de AS.

Em síntese aos resultados encontrados na análise quantitativa dos dados obtidos a partir do questionário e comparação entre grupo experimental e de controle destaca-se que: 1) os grupos não eram inicialmente homogêneos, 2) os alunos aprendem equivalentemente a partir dos dois métodos de ensino, 3) tanto o material de aprendizagem quanto às aulas tradicionais são potencialmente significativos, 4) o grupo experimental teve um ganho de 15% a

mais do que o grupo de controle. E como a diferença, na implementação da proposta foi a articulação entre o jogo a *slower speed of light*, as situações-problema, o vídeo, os simuladores e a UEPS, há indicativos de que essa diferença na aprendizagem entre os grupos se deva a ela e 5) em todas as questões os alunos apresentam indícios de AS conceitual, procedimental e de aplicação da ciência. Com base nesses resultados, afirma-se que quando o aluno apresenta uma predisposição para aprender significativamente determinado conhecimento, não faz diferença qual o método que se utiliza, pois segundo Moreira (2011) a predisposição em aprender é um fator essencial para que a AS ocorra. E como a relatividade é um conteúdo motivador para a aprendizagem dos estudantes, como apontam as pesquisas de Solbes (2002), Solbes e Peres (2006) e Caruso e Freitas (2009), é provável que a predisposição em aprender se deva a ela, ou seja, a TRE.

Através do transcrito nesta seção, respondeu-se a segunda e a terceira questão de pesquisa, bem como apresentou-se uma descrição detalhada dos resultados de pesquisa, visando diminuir a lacuna mencionada por Ostermann e Moreira (2002), Greca e Moreira (2001), Pereira e Ostermann (2009), Madruga e Cappelletto (2011), Pantoja et al. (2011), Rodrigues (2011) e Rodrigues et. al (2014) que apontam que faltam pesquisas que investigam os mecanismos envolvidos no processo de construção de conhecimentos relativo a temas de FMC em condições reais de sala de aula.

5.1.3 Triangulação dos Dados

Segundo Ausubel (2002), uma forma de identificar se há indícios de AS é verificar se os alunos aplicam os conhecimentos em novas situações, isso foi buscado ao comparar os instrumentos qualitativos aos quantitativos, conforme melhor detalhado a seguir.

A partir do teste quantitativo, identificou-se indícios de AS conceitual, procedimental e de aplicação da ciência em todas as 60 questões que compunham o questionário. Por outro lado, detectou-se na análise qualitativa das dez questões propostas para o grupo experimental que alguns alunos não apresentaram indícios de AS nas questões 3, 4, 7, 8, 9 e 10 acerca dos conceitos de tempo, espaço, referencial inercial e do princípio da invariância da

velocidade da luz, o que por consequência, leva a não compreensão dos fenômenos e efeitos relativísticos. Em contrapartida, detectou-se indícios de AS nas questões 1, 2, 3, 5, 6 e 10 sobre os conceitos de tempo e referencial inercial, do princípio da invariância da velocidade da luz e dos fenômenos relativísticos pela maioria dos estudantes. Tais resultados além de apresentarem divergências entre os dados quantitativos e qualitativos, mostram divergências, inclusive, entre os dados qualitativos. Acredita-se que tais divergências entre os resultados encontrados na análise qualitativa e quantitativa se deva as dificuldades que os estudantes possuem de descrever os conceitos da TRE, bem como pela falta de objetividade/qualidade das questões propostas. Por isso, uma das perspectivas de continuação da pesquisa é a de verificar essa hipótese em uma próxima implementação da UEPS, depois de realizada as alterações necessárias no material de aprendizagem.

5.2 Alteração da Proposta

Foram 43 estudantes do grupo experimental que responderam ao questionário visando avaliar as aulas (9.2 Análise dos métodos e/ou das estratégias de ensino). A seguir, apresenta-se a análise das respostas a este questionário.

I. Quanto à atividade desenvolvida.

Na tabela 24 apresenta-se a análise dos estudantes quanto ao tipo de atividade desenvolvida.

Tabela 24: Análise quanto à atividade desenvolvida.

	Sim	Não	Às vezes
1. Foi agradável?	25	1	17
2. Oportunizou que você compreendesse o conteúdo?	33	1	9
3. Foi detalhada com clareza?	29	7	11

As justificativas positivas (Figura 11) da primeira categoria estavam relacionadas a sentimentos 1) em relação a professora: “A professora é legal e quando eu não entendo ela me explica até eu entender, nem que ela fale umas cinco vezes a mesma coisa” e 2) em relação a como a disciplina foi ministrada: “Foi uma maneira bem melhor de aprender”; “gostei muito, pela possibilidade de entender o conteúdo mais afundo”.

Categoria I.1: Foi agradável? aspectos positivos

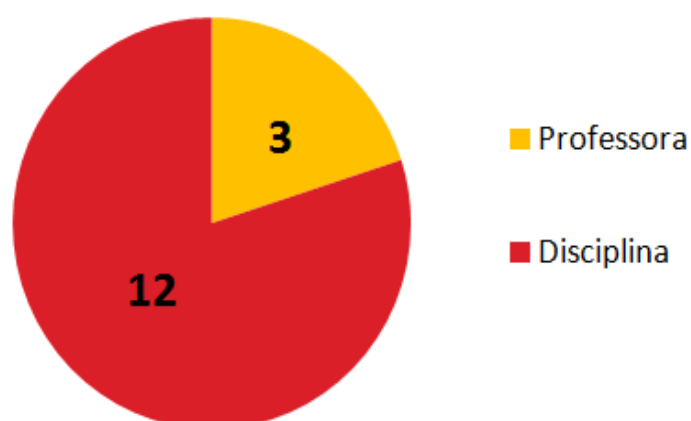


Figura 12: Justificativas positivas dos alunos na primeira categoria.

As críticas (Figura 12) foram divididas em: 1) resistência à metodologia: “Foram muitos testes com isso se tornando cansativo”; “Por passar muita atividade isso acabou ficando chato”; “Sempre que eu entendo, é mais agradável. As aulas foram cansativas, por motivos de conversa mesmo. Mas, gostei do conteúdo, aprendi bem”; 2) Aprendizagem mecânica em detrimento da AS: “Porque quase não entendia nada só com explicações e discussões”; “Você tinha que ter resolvido mais exercícios como exemplos e passado outros semelhantes para a gente fazer, eu aprendo melhor assim” 3) Conteúdo: “Por ser um conteúdo difícil, ficou cansativo”; “Um assunto muito cansativo, difícil de compreender”. Chama-se a atenção para o que Zompero e Laburú (2010) e Parisoto (2015) mencionam sobre a necessidade de se trabalhar com metodologias investigativas num nível progressivo, visando diminuir a resistência dos alunos.

Categoria I.1: Foi agradável? aspectos negativos

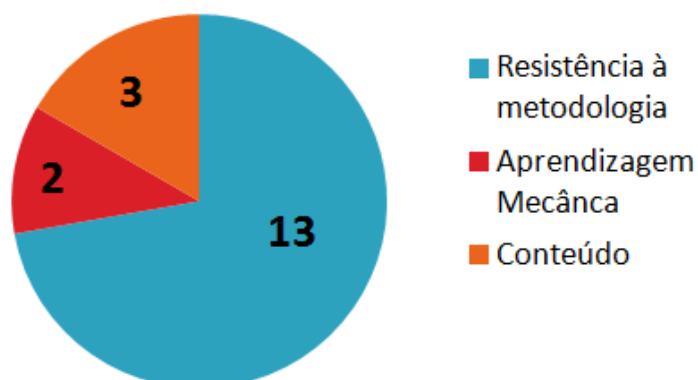


Figura 13: Críticas dos alunos na primeira categoria.

Com relação a se o método oportunizou aos estudantes que eles compreendessem o conteúdo, as respostas positivas (Figura 13) dos alunos foram divididas em três categorias: 1) Estratégia de ensino: “*Porque a professora explica de vários modos diferentes*”; “*A professora ajudou a tirar dúvidas e fez aulas interativas*”; 2) Facilidade de aprender: “*Aprendi coisas que não conseguia antes*”; “*compreendi bem os conteúdos e consegui fazer os pós-testes*”; 3) Aulas expositivas: “*com explicações detalhadas e com as aulas em laboratório, tornou o conteúdo mais compreensível*”; “*Sim, pois dessa maneira nós compartilhamos conhecimentos com os colegas*”.

Categoria I.2: Compreensão? Aspectos positivos

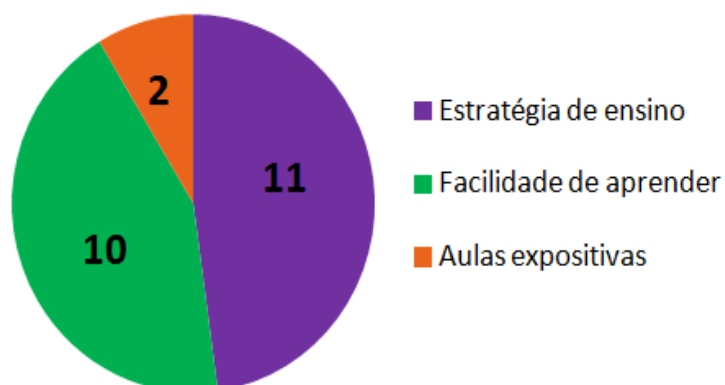


Figura 14: Justificativas positivas na segunda categoria.

As justificativas que criticam o método (Figura 14), foram distribuídas nas seguintes categorias: 1) Resistência ao método de ensino: “*Ter muitas atividades complicadas, e que eu não compreendi*”; “*A explicação muitas vezes para mim, especificamente, foi difícil*” 2) Crítica ao conteúdo: “*É um conteúdo complicado, com isso foi difícil a compreensão*”; “*Pois particularmente acho muito difícil o conteúdo*”; 3) Autoavaliação: “*Faltei algumas aulas*”.

Categoria I.2: Compreensão? aspectos negativos

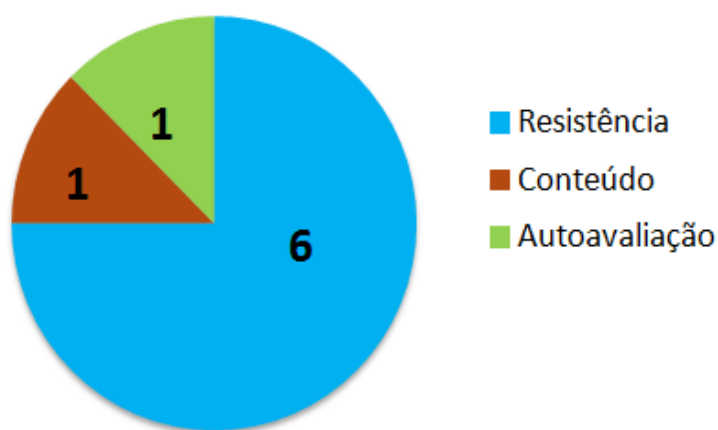


Figura 15: Críticas dos alunos na segunda categoria.

Na terceira questão oito alunos apontaram como pontos positivos a clareza nas explicações da professora: “*Por parte da professora foi muito bem explicado*” de modo que “*possibilitou a aprendizagem*”, além disso “*a professora sempre estava tirando nossas dúvidas, para quem prestava atenção ficou claro*”.

As críticas (Figura 15) foram divididas nas seguintes categorias: 1) Autoavaliação: “*Ao longo do conteúdo restavam algumas dúvidas mas era por falta de atenção*”; 2) Crítica ao conteúdo: “*Porque o conteúdo é confuso*”; 3) Resistência ao método: “*Atrapalhou por conta da conversa da sala*”; 4) Crítica a professora: “*Falava muito rápido e explicava confuso*”; “*Poderia ter explicado melhor alguns temas. Às vezes se confundia com as palavras, se “enrolava” um pouco para explicar, mas fora isso, foi tranquilo*”; 5) Avaliação da turma: “*Faltou interesse da turma, como disse antes ficou muito repetitivo*”.

Categoria I.3: Clareza? aspectos negativos

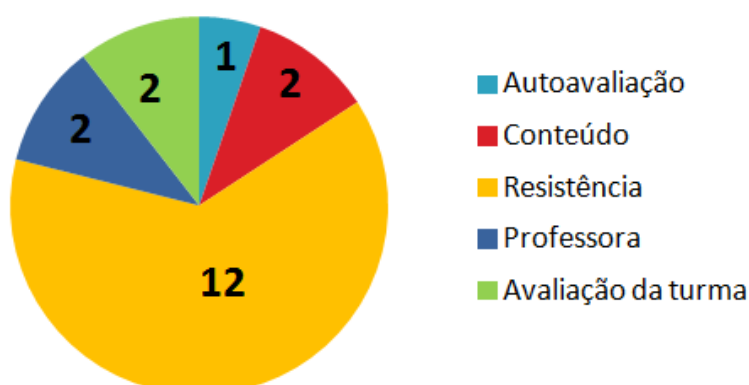


Figura 16: Críticas dos alunos na terceira categoria.

II. Qual a sua opinião sobre a estratégia utilizada na aula? Segundo você, ela auxiliou no seu aprendizado? Faça críticas ou comentários referentes à estratégia utilizada?

Os alunos forneceram opiniões positivas sobre a metodologia (Figura 16), outros destacaram alguns dos instrumentos utilizados nas aulas. As respostas dos alunos favoráveis ao método foram divididas nas seguintes categorias: 1) Maior facilidade de aprender: “Boa sim porque foi mais fácil de aprender”; “Foram boas. Facilitaram e estimularam o aprendizado”; “As estratégias foram boas, pois auxiliaram na aprendizagem e também para o professor saber como estava o nosso conhecimento, se tornou chato as vezes, mas foi eficiente”; “Foi um modo fácil de aprender, o que possibilitou melhor compreensão”; “Foi uma maneira boa, mais efetiva para aprender, foi algo com mais ação”; 2) Resistência inicial ao método: “No começo foi complicado, mas com as explicações da professora ficou melhor”; “No começo não gostei muito, ao longo das aulas com a professora explicando a matéria fui entendendo e gostando”; “No começo achei estranho, pensei que fosse complicado e não conseguiria fazer, mas depois achei melhor, consegui entender melhor o conteúdo”; “No começo achei ruim porque era meio complicado, mas com o passar dos dias compreendi o método que a professora nos proporcionou”. 3) Destaque para algum instrumento utilizado em aula: “Ajudaram na compreensão do conteúdo, inclusive o joguinho, para visualizar com mais

clareza o que ocorre”; “Foi bom porque os testes é algo diferente e novo”; “Eu acho que foi muito bom, mesmo sendo muitos testes; “Consegui entender melhor com os simuladores. Foi uma forma diferente de aprender”; “Sim, foram muitos testes mas foi bom, porque a gente aprende mais”; 4) Maior compreensão do conteúdo: “Essa estratégia foi muito boa, pois fez com que todos aprendessem o conteúdo com clareza”; “Foram boas, auxiliaram na compreensão do conteúdo. As formas de avaliação também ajudaram, pois quem possui dificuldade em alguma teria a outra para recuperar”; “Gostei porque com isso aprendi mais sobre a velocidade da luz”; 5) Interatividade: “Gostei das estratégias utilizadas, faz com que os alunos participem mais e com que as aulas sejam melhor entendidas”; “Foi muito bom porque a professora nos auxiliava a todo momento”.



Figura 17: Justificativas positivas dos alunos na categoria II.

As críticas foram divididas em duas categorias: 1) Autoavaliação e 2) Aspectos burocráticos das aulas.

Na primeira categoria quatro alunos destacaram a falta de interesse de alguns colegas da turma: “Foi boa, porém alguns não souberam aproveitar”; “As estratégias foram relevantes, não digo que todas foram bem sucedidas, mas algumas foram bem aproveitadas por parte de alguns alunos”; “Essa estratégia foi muito boa, pois fez com que todos aprendessem o conteúdo com

clareza. A única crítica que tenho é que teve muita bagunça por parte dos alunos” e outros três estudantes mencionaram que não se dedicaram o suficiente: “Não entendi porque não prestei atenção”; “Com certeza facilitou muito, mas eu que não prestei atenção em alguns momentos, não que você não tenha explicado”.

Na segunda categoria houve críticas às avaliações: “Os pré-testes e pós-testes foram cansativos e de difícil compreensão. Mas as explicações foram bem detalhadas”; “Achei boas as estratégias, porque teve muitas chances de ganhar pontuação, mas houve muita avaliação. Deveria ter menos testes”. Entretanto, essa estratégia foi utilizada para identificar os conhecimentos prévios e para verificar se o aprendizado se obteve devido a ela. Alguns alunos demonstraram dificuldades de entender o conteúdo: “Foram boas, foram diferentes do normal, porém eu não entendi muito por não conseguir entender o conteúdo”. Outros mencionaram que o método gerava dúvidas, o que segundo Moreira (2011) são aspectos positivos: “Às vezes auxiliou, outras houve dúvidas por embaralhar os assuntos”. Houve alguns comentários mostrando resistência ao método: “Não tão boa, pois deveria passar mais exercícios”; “No geral foi proveitosa, mas poderia ter sido detalhada e feita de outra forma, usando outros meios de aprendizagem”. Quanto às situações-problema, houve as seguintes contribuições: “Falta tempo para os alunos pensarem na hora da resolução das atividades, a fala atrapalha na concentração”; “Consegui entender melhor com os simuladores. Deveria ser explicado o conteúdo teórico para depois passar para os simuladores, pois assim tornaria o conteúdo e os simuladores mais compreensíveis”. No entanto, a conversa é intrínseca ao método de ensino e o uso dos simuladores antes do conteúdo visa levar os estudantes a interagirem socialmente, negociando significados, tendo o professor como mediador para despertar a intencionalidade do aluno para a AS de novos conhecimentos. Porém, nada impede que depois de explicado o conteúdo teórico o professor utilize novamente os simuladores como ferramenta de aprendizagem, visando tornar o conteúdo e os simuladores mais compreensíveis para os estudantes.

Categoria II: Estratégia? aspectos negativos

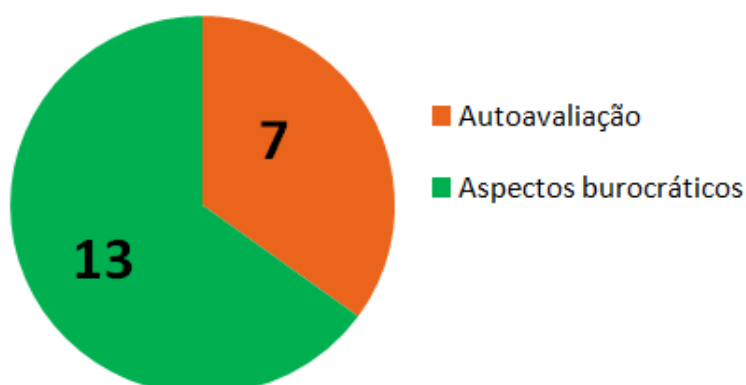


Figura 18: Críticas dos alunos na categoria II.

III. Acrescente suas sugestões ou críticas visando a melhoria do ensino desse conteúdo da Física. Use livremente o espaço abaixo.

Dezesseis alunos acrescentaram pontos positivos do método de ensino, bem como sugeriram a continuação da estratégia: “Continuar utilizando slides, fazendo exemplos e explicando no quadro, se continuar assim esta massa”; “deveria ter feito desde o começo do ano esse tipo de aula”; “tivemos muitas melhorias, muito bom a organização das aulas”; “Foram muitos testes, mas a forma de aprender é bem melhor”; “poderia utilizar esse método no lugar das provas”. E outros seis estudantes disseram não ter nada a declarar: “Nada a declarar”; “não tenho do que reclamar”.

Categoria III: Sugestões? aspectos positivos

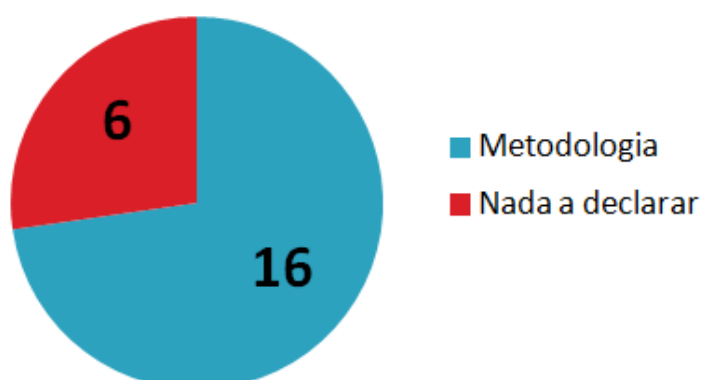


Figura 19: Justificativas positivas apontadas pelos alunos na categoria III.

As sugestões feitas pelos estudantes foram divididas em três categorias (Figura 19): 1) Metodologia; 2) Didática; 3) Avaliação.

Na primeira categoria alguns estudantes mencionaram que os aspectos que devem ser melhorados na metodologia de ensino são a inserção de aulas práticas, de mais exercícios e exemplos com materiais concretos: *“Deveria ter aulas práticas pelo menos uma para cada conteúdo diferente, facilitaria bastante nossa compreensão”*; *“para melhoria poderia se utilizar mais aula prática e mais exemplos”* ou *“exercício para melhor compreensão”*, também *“seria interessante que fossem demonstrados na prática com objetos para uma melhor visualização”*. Outros sugeriram trabalhos orais: *“seria bom quando fosse passar a matéria, passar um trabalho para os alunos explicar ao invés da professora”* e o uso de jogos: *“Foi legal os pós-teste nunca tinham dado para nós, mas acho que se deveria ter dado uns dois só e ter pedido pra nós fazer um bem simples pra saber quem entendeu e quem não entendeu, ou então fazer um jogo que entusiasmasse todos algo cativante que além de aprender iríamos se divertir”*. Destaca-se que foi utilizado o jogo “a slower speed of light” como ferramenta de aprendizagem nos dois grupos, porém no grupo de controle ele foi usado apenas como ferramenta demonstrativa em uma das aulas, no entanto, os estudantes foram motivados a jogarem esse jogo em casa, uma vez que, os computadores da escola não suportavam o formato do jogo. Um aluno sugeriu ainda mais dedicação da professora: *“Usar as aulas com mais dedicação; aproveitar mais o tempo das aulas; verificar se todos os alunos estão participando”* e outro a diminuição dos cálculos: *“Cálculos menores”*.

Na segunda categoria alguns alunos ressaltaram a importância da professora explicar os conteúdos de forma mais detalhada: *“O conteúdo tem que continuar com explicações didáticas para a melhor compreensão de um conteúdo um pouco complicado”*; *“poderia ter mais explicações que a gente entendesse mais, mas tirando isso eu aprendi um pouco mais do que eu sabia”* outros destacaram a diminuição das aulas teóricas *“diminua a fala, seja mais direta com a explicação e falar mais devagar”* e a exposição dos conteúdos com mais calma: *“falar calmamente, o resto está ótimo”*; *“acho que tinha que dar mais detalhes e explicar mais devagar”*.

Na terceira categoria cinco estudantes mencionaram que houve muitas avaliações, o que tornou as aulas cansativas: “*Foi muito pré e pós testes e com isso a aula acabou ficando cansativa*” e um estudante sugeriu que os pré-testes e os pós-testes deveriam ser entregues para os estudantes no momento que o professor tivesse explicando o conteúdo: “*que todos os conteúdos trabalhado em sala de aula deveria ter o pré e os pós testes pois muitos começaram realmente a entender o que se estava explicando*”. Destaca-se, que os estudantes não estão acostumados a serem ensinados numa perspectiva investigativa e tão pouco a realizarem tantas avaliações e por isso a resistência em “aceitá-las”. Uma forma de reduzir tal resistência dos alunos é se trabalhar com metodologias investigativas num nível progressivo (PARISOTO, 2015).

Categoria III: Sugestões? aspectos a melhorar

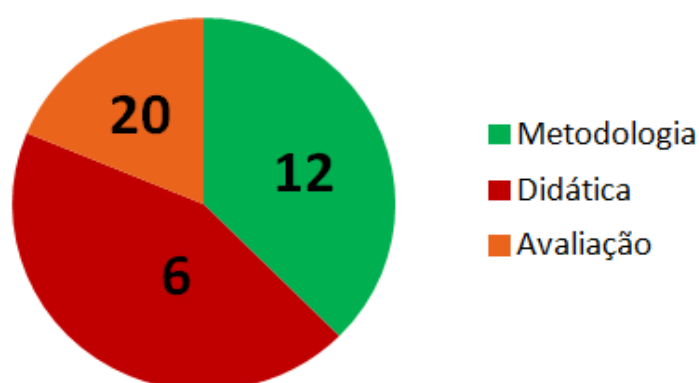


Figura 20: Aspectos a melhorar apontados pelos alunos na terceira na categoria III.

Pode-se sintetizar os seguintes aspectos que precisam ser melhorados na proposta:

- Implementar metodologias investigativas ao longo de vários bimestres, sendo possível, assim, diminuir as críticas quanto à complexidade das atividades, como propõe Parisoto (2015), bem como diminuir a resistência dos alunos ao método.
- Utilizando as UEPS o tempo de aula expositiva é reduzido, pois segundo O'Neil e McMahon (2005), Prince e Felder (2006) e Parisoto (2015), o tempo que os seres humanos conseguem se concentrar na mesma atividade é de aproximadamente 40 minutos. Com essa estratégia,

houve algumas reclamações, como por exemplo, o número de exercícios resolvidos no quadro e a resolução de problemas com cálculos “extensos”. Tais críticas, segundo Parisoto (2015), são normais quando os estudantes estão acostumados com um método passivo e passam a ser ensinados a partir de um método ativo.

- Sugere-se também diminuir as listas de exercícios para que eles tenham tempo de terminar em sala de aula, deixando como atividade extra apenas leituras complementares ao tema.
- Reformular as questões 3, 7, 8 e 9 a fim de diminuir não só a “descrição filosófica” dos conceitos de tempo e espaço e a repetição “superficial” dos efeitos e fenômenos relativísticos, mas também aumentar o aprofundamento das respostas dos estudantes a estes assuntos.
- Visando melhorar a autoeficácia dos alunos e diminuir a resistência deles, ao método de ensino, sugere-se a inserção de aulas práticas ou até mesmo o uso de outras ferramentas educacionais que ilustram e facilitam o entendimento dos conteúdos, pois apesar dos alunos se encontrarem na fase formal (PIAGET, 2009) do desenvolvimento cognitivo apresentaram dificuldades em abstrair e imaginar as situações estudadas. Assim ratifica-se, como propõe Rodrigues *et al.* (2014), a importância do uso de imagens e de discussões que se aproximam da realidade para um maior entendimento dos conteúdos.

Tendo apresentado uma visão geral da pesquisa, na próxima seção são apresentadas às considerações finais.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo apresenta-se uma síntese dos resultados encontrados a partir de um estudo do tipo etnográfico, fundamentado nas concepções de pesquisa qualitativa e quantitativa, defendida, respectivamente, por André (1988 e 2005), Moreira e Rosa (2002) e Parisoto (2015).

Neste trabalho, enfatizou-se a análise dos testes, comparando os resultados entre o pré-teste e o pós-teste do grupo experimental e de controle, assim como se comparou os resultados entre os grupos. Enfatizou-se também a análise qualitativa dos dados relacionados às dez questões propostas para o grupo experimental antes e depois da implementação da UEPS e à avaliação da disciplina pelos dois grupos. Na sequência há relatos das dificuldades encontradas na pesquisa. Por fim, são apresentadas as perspectivas de continuação da pesquisa, conforme sintetizado na figura 20.



Figura 21: Síntese das considerações finais.

Para responder a primeira questão de pesquisa, foi realizado uma análise minuciosa da dissertação de Riboldi (2015), verificando quais foram as dificuldades encontradas na aplicação da UEPS, quais os conceitos que os estudantes tiveram maiores dificuldades de entender e quais as estratégias que foram utilizadas para diminuir tais dificuldades. Após essa análise, chegou-se à conclusão de que seria necessário modificar alguns aspectos da UEPS construída por Riboldi (2015) a fim de tornar o material de aprendizagem potencialmente significativo à nova realidade a que seria submetido, bem como adequar a proposta de Riboldi (2015) aos passos propostos por Moreira (2011) na construção de uma UEPS.

Todas as alterações realizadas na UEPS visaram responder a segunda questão de pesquisa, e para isso, foram planejadas aulas de acordo com os referenciais teóricos e aplicados ao longo da implementação da UEPS dez questões sobre o tema e um questionário pré-teste contendo conceitos básicos da teoria da RE. Esses mesmos instrumentos avaliativos foram reaplicados após a implementação da unidade de ensino com o intuito de corroborar ou refutar indícios de aprendizagem. Tal proposta foi implementada, simultaneamente, em quatro turmas da 3ª série do EM. O conteúdo de RE foi programado para 14 horas/aula cada turma, no entanto, a implementação da proposta didática ocorreu em 24 horas/aula devido a aplicação dos questionários pré-teste e pós-teste. Toda a análise para encontrar indícios de AS encontra-se na seção 5.3. Indícios de Aprendizagem Significativa. Nesta seção há também a descrição detalhada dos resultados de pesquisa, visando diminuir a lacuna mencionada por Ostermann e Moreira (2002), Greca e Moreira (2001), Pereira e Ostermann (2009), Madruga e Cappelletto (2011), Pantoja et al. (2011), Rodrigues (2011) e Rodrigues et. al (2014) que apontam que faltam pesquisas que investigam os mecanismos envolvidos no processo de construção de conhecimentos relativo a temas de FMC em condições reais de sala de aula.

Nas seções 9.3 (Planos de aula do Grupo Experimental) e 9.4 (Planos de aula do Grupo de Controle), há a descrição detalhada das aulas, visando diminuir a lacuna mencionada nos trabalhos de Peres e Solbes (2006) e Rodrigues (2011) que apontam que faltam pesquisas que detalham à implementação da proposta, impossibilitando a sua reprodução em sala de aula e a contextualização dos resultados.

A partir do teste quantitativo, identificou-se indícios de AS conceitual, procedimental e de aplicação da ciência em todas as 60 questões que compunham o questionário. Isso ocorreu quando comparados o pós-teste ao pré-teste (significância 0,001). Comparados os ganhos do grupo de controle e do grupo experimental, encontrou-se significância de 0,000 que é menor do que 0,05, portanto pode-se rejeitar a hipótese nula, ou seja, os resultados possuem mais de 95% de chance de serem devidos a implementação da proposta didática. Com base nessas informações, descobriu-se que é estatisticamente provável que alunos aprendem equivalentemente com os dois

métodos de ensino. Por outro lado, detectou-se na análise qualitativa das dez questões propostas para o grupo experimental que alguns alunos não apresentaram indícios de AS nas questões 3, 4, 7, 8, 9 e 10 acerca dos conceitos de tempo, espaço e referencial inercial e do princípio da invariância da velocidade da luz, o que por consequência, leva a não compreensão dos fenômenos e efeitos relativísticos. Em contrapartida, detectou-se indícios de AS pela maioria dos estudantes nas questões 1, 2, 3, 5, 6 e 10 sobre os conceitos de tempo e referencial inercial, do princípio da invariância da velocidade da luz e dos fenômenos relativísticos. Tais resultados além de apresentarem divergências entre os dados quantitativos e qualitativos, mostram divergências, inclusive, entre os próprios dados qualitativos. Acredita-se que tais divergências entre os resultados encontrados na análise qualitativa e quantitativa se deva as dificuldades que os estudantes possuem de descrever os conceitos da TRE, bem como pela falta de objetividade/qualidade das questões propostas. Por isso, uma das perspectivas de continuação da pesquisa é a de verificar essa hipótese em uma próxima implementação da UEPS, depois de realizada as alterações necessárias no material de aprendizagem.

A partir do apresentado na seção 5.3.2 Análise Quantitativa dos dados obtidos a partir do questionário e comparação entre grupo de controle e experimental pode-se responder a terceira questão de pesquisa.

Utilizou-se o teste de Levene para igualdade das variâncias (DANCEY e REIDY, 2007 apud PARISOTO, 2015), para comparar se os ganhos entre o pré-teste e pós-teste entre os grupos eram estatisticamente significativos. Encontrou-se um valor de 0,000, que é menor do que 0,05, portanto pode-se rejeitar a hipótese nula. Sendo assim, é estatisticamente provável que os resultados obtidos foram devido à intervenção realizada. Identificou-se ainda, a partir do teste quantitativo que: 1) os grupos não eram inicialmente homogêneos, 2) os alunos aprendem equivalentemente a partir dos dois métodos de ensino, 3) tanto o material de aprendizagem quanto às aulas tradicionais são potencialmente significativos; 4) o grupo experimental teve um ganho de 15% a mais do que o grupo de controle. E como a diferença, na implementação da proposta foi a articulação entre o jogo a slower speed of light, as situações-problema, o vídeo, os simuladores e a UEPS, há indicativos

de que essa diferença na aprendizagem entre os grupos se deva a ela e 5) em todas as questões os alunos apresentam indícios de AS conceitual, procedimental e de aplicação da ciência. Com base nesses resultados, afirma-se que quando o aluno apresenta uma predisposição para aprender significativamente determinado conhecimento, não faz diferença qual o método que se utiliza, pois segundo Moreira (2011) a predisposição em aprender é um fator essencial para que a AS ocorra. E como a relatividade é um conteúdo motivador para a aprendizagem dos estudantes, como apontam as pesquisas de Solbes (2002), Peres e Solbes (2006) e Caruso e Freitas (2009), é provável que a predisposição em aprender se deva a ela, ou seja, a TRE.

A partir do apresentado na seção 5.3. Indícios de Aprendizagem Significativa, pode-se chegar aos seguintes aspectos que precisam ser melhorados na proposta:

- Contextualizar por meio das visões deformadas da ciência as atribuições dadas aos cientistas pelos meios de comunicação, pelo cinema, pelas histórias em quadrinhos e etc.
- Utilizar textos do livro "verdades e mentiras" de Alves (2015) para discutir as controvérsias acerca da vida e obra de Albert Einstein.
- Conceitualizar a relatividade galileiana e os postulados da TRE a partir de uma abordagem histórica.
- Explicar mais detalhadamente os efeitos relativísticos: Doppler, Holofote e Terrell.
- Implementar metodologias investigativas ao longo de vários bimestres, sendo possível, assim, diminuir as críticas quanto à complexidade das atividades, como propõe Parisoto (2015), bem como diminuir a resistência dos alunos ao método.
- Utilizando as UEPS o tempo de aula expositiva é reduzido, pois segundo O'Neil e McMahon (2005), Prince e Felder (2006) e Parisoto (2015), o tempo que os seres humanos conseguem se concentrar na mesma atividade é de aproximadamente 40 minutos. Com essa estratégia, houve algumas reclamações, como por exemplo, o número de exercícios resolvidos no quadro e a resolução de problemas com cálculos "extensos". Tais

críticas, segundo Parisoto (2015), são normais quando os estudantes estão acostumados com um método passivo e passam a ser ensinados a partir de um método ativo.

- Sugere-se também diminuir as listas de exercícios para que eles tenham tempo de terminar em sala de aula, deixando como atividade extra apenas leituras complementares ao tema.
- Reformular as questões 3, 7, 8 e 9 a fim de diminuir não só a descrição filosófica dos conceitos de tempo e espaço e a repetição “superficial” dos efeitos e fenômenos relativísticos, mas também aumentar o aprofundamento das respostas dos estudantes a estes assuntos.
- Visando melhorar a autoeficácia dos alunos e diminuir a resistência deles, ao método de ensino, sugere-se a inserção de aulas práticas ou até mesmo o uso de outras ferramentas educacionais que ilustram e facilitam o entendimento dos conteúdos, pois apesar dos alunos se encontrarem na fase formal (PIAGET, 2009) do desenvolvimento cognitivo apresentaram dificuldades em abstrair e imaginar as situações estudadas. Assim ratifica-se, como propõe Rodrigues *et al.* (2014), a importância do uso de imagens e de discussões que se aproximam da realidade para um maior entendimento dos conteúdos.

Destaca-se aqui que utilizar as UEPS em sala de aula foi um grande desafio, relacionando, principalmente, a resistência dos alunos a proposta didática. Tal resistência foi quanto à autoeficácia. Eles acreditavam que não conseguiriam realizar o que foi proposto e por vezes se sentiam não amparados em sala de aula, uma vez que, estavam acostumados a serem ensinados de acordo com o Método Tradicional de ensino, problemas esses apontados nos trabalhos de O'Neil e McMahon (2005), Prince e Felder (2006) e Parisoto (2015). Para resolver essas problemáticas, sugere-se, respectivamente, aplicar os pré-testes um mês antes de iniciar o estudo sobre a TRE e apresentar, na primeira aula, uma síntese dos mapas conceituais e

das resenhas desenvolvidas por alunos em outras oportunidades (visto que boa parte das reclamações veio do desenvolvimento dessas atividades).

Como perspectiva de continuação da pesquisa, pretende-se: 1) Realizar uma revisão da literatura buscando por propostas didáticas que tenham sido aplicadas no ensino fundamental (EF), pois de acordo com Ostermann e Pereira (2009) só tem um trabalho sobre relatividade destinado ao ano EF; 2) encontrar métodos que facilitem a compreensão entre os dados apresentados pelos alunos nos diferentes instrumentos de avaliação, fazendo triangulação entre eles, para buscar evidências de como ocorre a evolução do campo conceitual, procedimental e de aplicação da Relatividade ao longo da implementação da proposta didática; 3) reapplicar a presente proposta alterando os fatores necessários; 4) avaliar qualitativamente e quantitativamente a versão reformulada.

7. REFERÊNCIAS

ALVES, Waldon Volpiceli. Einstein: verdades e mentiras. Barueri, SP: Novo Século Editora, 2015.

ANDRÉ, Marli Eliza Dalmazo Afonso de. Estudo de caso em pesquisa e avaliação educacional. Brasília: Liberlivros, 2005. p. 7-70.

ARRIASSECQ, Irene; GRECA, Ileana M. INTRODUCCIÓN DE LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD ESPECIAL EN EL NIVEL MEDIO /POLIMODAL DE ENSEÑANZA: IDENTIFICACIÓN DE TEOREMAS - EN - ACTO Y DETERMINACIÓN DE OBJETIVOS – OBSTÁCULO. **Investigações em Ensino de Ciências**, Buenos Aires, Argentina, v. 11, n. 2, p.189-218, 2006.

ASTOLFI, J. P., DEVELAY, M. **A didática das ciências**. – 16ª ed. – Campinas, SP : Papairus, 2012.

AUSUBEL, D. P. Retenção e aquisição de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Plátano, 2002.

BACHELARD, G. A Filosofia do não; In: OS PENSADORES. São Paulo: Abril Cultural, p. 01-87, 1984.

BACHELARD, G. 1997. La formación del espíritu científico, Siglo XXI.

BADÔ, Fernando. Revista Mundo Estranho. É verdade que Einstein era mau aluno e não ia bem em matemática?. Disponível em: <http://mundoestranho.abril.com.br/historia/e-verdade-que-einstein-era-mau-aluno-e-nao-ia-bem-em-matematica/>. Acesso em: 10 nov. 2016.

CARUSO, Francisco; FREITAS, Nilton de. FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO: O ESPAÇO-TEMPO DE EINSTEIN EM TIRINHAS. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Rio de Janeiro, RJ, v. 26, n. 2, p.355-366, 2009.

CAMARÃ, H. R. Análise de conteúdo: da teoria à prática em pesquisas sociais aplicadas às organizações. **Revista Interinstitucional de Psicologia**, Brasília, v. 6, n. 2, p. 179-191, 2013.

CHANG, L. C, & LEE, G.L. A team-teaching model for practicing project-based learning in high school: collaboration between computer and subject teachers. **Computers & Education**, v. 1, n. 55, p. 961-969, 2010.

DOMINGUINI, Lucas. Física moderna no Ensino Médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Criciúma, SC, v. 34, n. 2, p.2502-2502/7, abr. 2012.

FAYMANN, 1964. The Feynman Lectures on Physics. Disponível em: <<http://www.feynmanlectures.caltech.edu/>>. Acesso em: 15 nov. 2016.

EINSTEIN, A. *A Teoria da Relatividade Especial e Geral*. Tradução de C.A. Pereira.

Revisão Técnica de I.C. Moreira. Rio de Janeiro: Contraponto, 1999.

EISNER, E.W. On the differences between scientific and artistic approaches to qualitative research. **Educational Reseacher**, v. 4, n. 10, p. 5-9, 1981.

FERREIRA, Érika Gomes Betetti; DAMASIO, Felipe; RODRIGUES, Adriano Antunes. FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO FUNDAMENTAL ARTICULADA COM CONCEITOS DE FÍSICA CLÁSSICA POR MEIO DE UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS (UEPS). **Aprendizagem Significativa em Revista/meaningful Learning Review**, Araranguá, SC, v. 4, n. 1, p.29-40, 2014.

FRANCELIN, M. M. Ciência, senso comum e revoluções científicas: ressonâncias e paradoxos. *Revista Ciência da Informação*, Brasília, v. 33, n. 3, p. 26-34, 2004.

GAZZINELLI, Ramayana. **Teoria da Relatividade Especial**. São Paulo: Edgard Blucher LTDA, 2004. 145 p.

GEE, J. P. Bons *videogames* e boa aprendizagem. **Revista Perspectiva**, Florianópolis, v. 27, n. 1 p. 167-178, jan./jun. 2009. Disponível em: <http://www.perspectiva.ufsc.br>. Acessado em: 15 nov. 2016.

GEE, J. P. **Bons videogames + Boa aprendizagem**: Colectânea de Ensaio sobre os Videogames, a Aprendizagem e a Literacia. Magualde: Edições Pedagogo (**Contrapontos**), 2010.

GIL PÉREZ, Daniel et al. PARA UMA IMAGEM NÃO DEFORMADA DO TRABALHO CIENTÍFICO. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p.125-153, 2001.

Gowin, D.B. *Educating*. Ithaca, N.Y.: Cornell University Press, 1981.

GUERRA, Andreia; BRAGA, Marco; REIS, José Cláudio. Teoria da relatividade restrita e geral no programa de mecânica do ensino médio: uma possível abordagem: (Special and general theory of relativity in the high school: a possible approach). **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Rio de Janeiro, RJ, v. 29, n. 4, p.575-583, 20 set. 2007.

GRECA, I. M; MOREIRA, M. A. Uma revisão de literatura sobre estudos relativos ao ensino da Mecânica Quântica introdutória. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 29-56, mar. 2001.

GRIEBELER, Adriane. INSERÇÃO DE TÓPICOS DE FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO ATRAVÉS DE UMA UNIDADE DE ENSINO

POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, p.1-135, 2012.

GRIFFITHS, David J.. Eletrodinâmica. 3. ed. São Paulo: Pearson, 2011. 407 p.

HONEY, M. A; HILTON, M. L. Learning Science Through Computer Games and Simulations. Washington: The National Academies Press, 2011.

JARDIM, Wagner T.; OTOYA, Victor J. Vasquez; OLIVEIRA, Cristiane Garcia S.. A teoria da relatividade restrita e os livros didáticos do Ensino Médio: Discordâncias sobre o conceito de massa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, SP, v. 37, n. 2, p.2506-2506/7, jun. 2015.

KARAM, Ricardo Avelar Sotomaior; CRUZ, Sonia Maria S.C. de Souza; COIMBRA, Débora. Tempo relativístico no início do Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, SP, v. 28, n. 3, p.373-386, maio 2006.

KARAM, Ricardo Avelar Sotomaior. Relatividade Restrita no Início do Ensino Médio: Elaboração e Análise de uma Proposta. Dissertação de Mestrado em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

KARAM, Ricardo Avelar Sotomaior; CRUZ, Sonia Maria S.c. de Souza; COIMBRA, Débora. Relatividades no ensino médio: o debate em sala de aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, SP, v. 29, n. 1, p.105-114, dez. 2007.

KIKUCHI, Ligia Ayumi; ORTIZ, Adriano José; BATISTA, Irinéa de Lourdes. Ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: uma análise do que se tem discutido a respeito do assunto: Teaching of Modern and Contemporary Physics in High School: an investigation of what has been discussed about the subject. **Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências: IX ENPEC**, Águas de Lindóia-SP, p.1-8, 1 nov. 2013.

KÖHNLEIN, Janete F. Klein; PEDUZZI, Luiz O. Q.. UMA DISCUSSÃO SOBRE A NATUREZA DA CIÊNCIA NO ENSINO MÉDIO: UM EXEMPLO COM A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Santa Catarina, SC, v. 22, n. 1, p.36-70, abr. 2005.

KORTEMAYER, G.; FISH, J.; HACKER, J.; KIENLE, J.; KOBYLAREK, A et al. Seeing and Experiencing Relativity – A New Tool for Teaching?. **The Physics Teacher**, v. 51, p. 460 – 461, nov. 2016.

MACHADO, D.i.; NARDI, R. Construção de conceitos de física moderna e sobre a natureza da ciência com o suporte da hipermídia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, SP, v. 28, n. 4, p.473-485, maio 2006.

MADRUGA, Janaína Rosa; CAPPELLETTO, Eliane. UMA REVISÃO DAS PROPOSTAS DE ENSINO SOBRE RELATIVIDADE. **IV Encontro Estadual de Ensino de Física**, Porto Alegre, RS, 2011.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. Einstein, a física dos brinquedos e o princípio da equivalência. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis**, v. 22, n. 3, p. 299-315, dez. 2005.

MONTEIRO, Maria Amélia; NARDI, Roberto; BASTOS FILHO, Jenner Barreto. A SISTEMÁTICA INCOMPREENSÃO DA TEORIA QUÂNTICA E AS DIFICULDADES DOS PROFESSORES NA INTRODUÇÃO DA FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO. **Ciência & Educação**, Campina Grande-PB, v. 15, n. 3, p.557-580, 2009.

MOREIRA, M. A. Ensino de Física no Brasil: Retrospectivas e Perspectivas, **Revista Brasileira de Ensino de Física** v. 22, n.1, p. 94-99, 2000.

MOREIRA, M. A., & ROSA, P. R. da S. Uma introdução a pesquisa quantitativa em ensino (2007). Disponível em: <http://pesquisaemeducacaoufrgs.pbworks.com/w/file/52798222/pesquisa_quantitativa_em_ensino.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2016.

MOREIRA, Marco Antônio. UNIDADES DE ENSEÑANZA POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS - UEPS (Potentially Meaningful Teaching Units – PMTU). **Meaningful Learning Review**. Porto Alegre, RS, v. 1, n.2, p.43-63, 2011.

MOREIRA, M. A. O Que é afinal Aprendizagem Significativa?. Aula Inaugural do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais, Instituto de Física, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá/MT, 23 de abril de 2002. Aceito para publicação, Currículum, La Laguna, Espanha, 2012.

MOREIRA, Marco Antonio. Partículas e interações. **Física na Escola**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p.10-14, 2004.

MORTIMER, E. F. Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências. Belo Horizonte: editora da UFMG, 2000.

MORTIMER, E. F. Evolução do Atomismo em Sala de Aula: Mudança de Perfis Conceituais. Tese de Doutorado, São Paulo, 1994.

NUSSENZVEIG, H. Moisés. Curso de Física Básica: Ótica, Relatividade e Física Quântica. São Paulo: Edgard Blucher LTDA, 2004.

OLIVEIRA, A. A. Observação e entrevista em pesquisa qualitativa. **Revista FACEVV**, v.1, n. 4, p. 22-27, 2010.

O'NEIL G.; & MCMAHON, T. Student-centered learning: what does it mean for student and lecturers? *Emerging Issues in the Practice of University Learning and Teaching*, v.1, n.1, p. 1-10, 2005.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antonio. UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE A ÁREA DE PESQUISA “FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO”: (A review on the “Modern and

Contemporary Physics at High School” research area). **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, RS, v. 5, n. 1, p.23-48, jan. 2000.

OTERO, María Rita; ARLEGO, Marcelo; PRODANOFF, Fabiana. Design, analysis and reformulation of a didactic sequence for teaching the special theory of relativity in high school. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Buenos Aires, Argentina, v. 37, n. 3, p.3401-3410, set. 2015.

PACHECO, Thayse Adineia; DAMASIO, Felipe. ENSINO DE FÍSICA NAS SÉRIES INICIAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL: UMA ABORDAGEM CONSTRUTIVISTA BASEADA NA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA. **Revista Técnico Científica**, Santa Catarina, SC, v. 3, n. 1, p.780, 2012.

PÁDUA, Gelson Luiz Daldegan de;. A EPISTEMOLOGIA GENÉTICA DE JEAN PIAGET. **Revista FACEVV**, São Geraldo, v. 2, n. 1, p.22-35, 1º semestre de 2009.

PANTOJA, Glauco Cohen; MOREIRA, Marco Antonio; HERSCOVITZ, Victoria Elnecave. Uma revisão da literatura sobre a pesquisa em ensino de Mecânica Quântica no período de 1999 a 2009. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Porto Alegre, RS, v. 4, n. 3, p.1-34, set./dez. 2011.

PARISOTO, Mara Fernanda. Ensino de Termodinâmica a partir de situações da engenharia: integrando as Metodologias de Projetos e as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas. Porto Alegre, RS, p.1-288, 24 agos. 2015.

PAULO, David. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) em ambientes virtuais de aprendizagem (AVA) como instrumento de aprendizagem significativa de física no ensino médio, São Carlos-SP, 2013.

PEREIRA, Alexsandro P.; OSTERMANN, Fernanda. SOBRE O ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA: UMA REVISÃO DA PRODUÇÃO ACADÊMICA RECENTE¹: (Modern and contemporary physics teaching: a review on recent literature). **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, Rs, v. 14, n. 3, p.393-420, 2009.

PÉRES, H.; SOLBES, J. Algunos problemas en la enseñanza de la relatividad. **Enseñanza de la Ciencias**, Barcelona, v. 21, n.1, p. 135-146, 2003.

PÉREZ, Héctor; SOLBES, Jordi. UNA PROPUESTA SOBRE ENSEÑANZA DE LA RELATIVIDAD EN EL BACHILLERATO COMO MOTIVACIÓN PARA EL APRENDIZAJE DE LA FÍSICA. **Enseñanza de Las Ciencias**, Sedaví-Valência, v. 24, n. 2, p.269-284, 2006.

PRINCE, M. J., & FELDER, R. M. Inductive teaching and learning methods: definitions, comparisons, and research bases. **Journal of Engineering Education**, v. 1, n. 1, p. 123-138, 2006.

RANGEL, F. O.; SANTOS, L.S.F.; RIBEIRO,C.E. Ensino de Física mediado por tecnologias digitais de informação e comunicação e a Literacia científica.

Caderno Brasileiro de Ensino Física, v. 29, n. Especial 1: p. 651-677, set. 2012.

RIBOLDI, Bruno Marconi. A CONSTRUÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS) PARA ENSINAR RELATIVIDADE UTILIZANDO ANIMAÇÕES E O GAME A SLOWER SPEED OF LIGHT. **Sociedade Brasileira de Física (SBF)**, São Carlos-SP, p.1-144, 2015. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

RODRIGUES, Carla Moraes; SAUERWEIN, Ines Prieto Schmidt; SAUERWEIN, Ricardo Andreas. Uma proposta de inserção da teoria da relatividade restrita no Ensino Médio via estudo do GPS. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Santa Maria, Rs, v. 36, n. 1, p.1401-1407, fev. 2014.

SÁNCHEZ, Manuel Alonso; SELVA, Vicent Soler. LA RELATIVIDAD EN EL BACHILLERATO. UNA PROPUESTA DE UNIDAD DIDÁCTICA. **Enseñanza de Las Ciencias**, Buenos Aires, Argentina, v. 24, n. 3, p.439-454, jan. 2006.

SANTAROSA, M. C. Física e cálculo: a integração entre situações físicas e conceitos matemáticos que pode favorecer a Aprendizagem em Física Básica Universitária. Qualificação de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, 2011.

SILVA, H. A.; FOSSÁ, T. I. M. Análise de Conteúdo: Exemplo de Aplicação da Técnica para Análise de Dados Qualitativos. **IV Encontro de Ensino e Pesquisa em Administração e Contabilidade, Brasília, 2013**. Disponível em: <http://www.anpad.org.br/diversos/trabalhos/EnEPQ/enepq_2013/2013_EnEPQ129.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2016.

SILVEIRA, L. S; **A metodologia dos programas de pesquisa: A epistemologia de Imre Lakatos**. Porto Alegre. UFRGS; p.219- 230, dez. 1996.

SOLBES, J., BOTELLA, F., PÉREZ, H. y TARÍN, F. Algunas consideraciones sobre la masa (o masa no hay más que una). **Revista Española de Física**, v. 16. n. 1, p. 47-51, 2002.

SCHNEIDER, R. M., et al. Performance of students in Project-Based Science achievement. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 5, n. 39, p. 410-422, 2002.

ZARATINI, Paulo Fernando et al. CONCEPÇÕES DE ESTUDANTES SOBRE ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA: CONJECTURAS ACERCA DO ENSINO DE CIÊNCIAS. **Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Ponta Grossa, Pr, v. 3, n. 3, p.1-9, 1 set. 2012.

TIPLER, Paul A.; LLEWELLYN, Ralph A. (Ed.). Física Moderna. 5ª ed. Rio de Janeiro, RJ: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2010, p. 1-478. Tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi.

ZOMPERO, A. de F., LABURÚ, C. E. As atividades de investigação no Ensino de Ciências na perspectiva da teoria da Aprendizagem Significativa. **Revista Eletrotrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, n. 2, v. 5, 12-19, 2010.

8. APÊNDICES

8.1 Proposta de UEPS para ensinar relatividade

PROPOSTA DE UEPS PARA ENSINAR RELATIVIDADE UTILIZANDO ANIMAÇÕES E O GAME A SLOWER SPEED OF LIGHT

Construída por Bruno Marconi Riboldi

Reformulada por Claudineia de Oliveira Martins

Objetivo: Facilitar a aquisição de significados de conceitos, de procedimentos e de aplicação básicos da teoria da Relatividade Restrita no Ensino Médio – *invariabilidade da velocidade da luz, contração do espaço, dilatação temporal, simultaneidade de eventos relativísticos, aberração relativística.*

1) Situação inicial: Apresentar a UEPS e os métodos de avaliação para os alunos. Pedir para que os alunos respondam individualmente às duas questões apresentadas.

Questão 1: Quem foi Albert Einstein?

Questão 2: O que vocês sabem sobre a Teoria da Relatividade?

Discutir com os alunos o termo relatividade: procurar em um dicionário o significado da palavra relatividade e restrito e anotar no quadro a definição de ambas, negociando com os alunos quais as definições que se adequam à teoria da Relatividade Restrita. Verificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre os conceitos de espaço e tempo por meio da questão 3.

Questão 3: O que você entende por espaço e tempo?

Questão 4: Por que a teoria desenvolvida por Einstein ficou conhecida por “Teoria da Relatividade Restrita” ?

Solicitar que os alunos construam um mapa conceitual sobre os assuntos tratados até o momento. Entregar o texto “Uma breve história da Teoria da Relatividade Restrita” (construído por Riboldi, 2015) e propor uma atividade de pesquisa em casa: o professor deve fazer uma breve consideração sobre o termo “restrita”, fazendo uma menção à teoria da Relatividade Geral que este ano teve a comprovação da existência das ondas gravitacionais previstas na teoria de Albert Einstein. Solicitar que os alunos

realizem como tarefa de casa uma pesquisa sobre a Relatividade Restrita, produzindo um resenha crítica sobre o material encontrado. Os alunos devem pesquisar as informações em sites, periódicos impressos ou online, livros, artigos de divulgação científica, enciclopédias virtuais, etc. Esta atividade terá uma duração de duas aulas.

2) Situação-problema inicial: Devolutiva dos mapas conceituais analisados e corrigidos pelo professor. Nesta etapa os alunos devem se reunir em duplas para jogarem o game “A Slower Speed of Light”, produzido pelo MIT (Massachusetts Institute of Technology) e disponível no endereço virtual: <http://gamelab.mit.edu/games/a-slower-speed-of-light/>. De princípio o professor deve dispor um tempo para que os alunos tenham um primeiro contato com o jogo e aprendam os comandos. A partir do momento que os alunos estiverem familiarizados com o jogo o professor deve propor alguns questionamentos para os alunos. À medida que os alunos jogam, serão entrevistados pelo professor com o intuito de avaliar quais são as impressões e ideias que os alunos estão construindo sobre os efeitos relativísticos presentes no game. Esta atividade terá uma duração de três aulas. Enquanto os alunos jogam o game, devem responder às seguintes perguntas:

Questão 5: A velocidade da luz possui um valor máximo?

Questão 6: Por que quando nos movimentarmos, não percebemos os mesmos efeitos observados no jogo?

Questão 7: Quando quase todas as orbs foram coletadas, o que podemos visualizar quando o personagem se movimenta?

Questão 8: O que visualizamos quando coletamos todas as orbs?

Questão 9: O que enxergaríamos se pudéssemos viajar com a mesma velocidade de um raio de luz?

3) Aprofundamento do conteúdo 1 (conhecimento declarativo ou procedimental): Depois de analisadas e avaliadas as respostas dadas pelos alunos enquanto eles jogavam o game “A slower speed of light”, o professor deve propor para os alunos que estes trabalhem com três animações que tratam de fenômenos relativísticos: contração do comprimento, relógio de luz e simultaneidade de eventos, disponíveis em:

(<http://profimaradigital.pbworks.com/w/page/35211631/Programas>), nos itens 3, 15, 16 da seção de geografia. O professor deve disponibilizar duas aulas para que os alunos trabalhem com as animações e busquem explicações para os fenômenos observados no game utilizado. O professor deve atuar como mediador das discussões que os alunos promoverão enquanto fazem uso das animações citadas. O professor deve encorajar os alunos a compartilharem seus conhecimentos. Uma oportunidade para isto é pedir aos alunos que deduzam a expressão para a dilatação temporal a partir dos dados fornecidos na animação do “relógio de luz”.

4) Nova situação-problema em maior nível de complexidade: No momento que o professor julgar mais adequado, pode propor que os alunos assistam um vídeo sobre o “Paradoxo dos Gêmeos”, disponível em: (<https://www.youtube.com/watch?v=Jw6McOwxfXs>), e em seguida realizar a seguinte pergunta:

Questão 10: Por que o tempo passou mais devagar para Bert ?

Utilizando os conhecimentos adquiridos durante a interação com o game e utilizando as animações, juntamente com o conhecimento compartilhado pelos colegas, os alunos devem propor uma explicação para o fenômeno apresentado no paradoxo.

5) Aprofundamento do conteúdo 2 (diferenciação progressiva): Ao final das atividades apresentadas no terceiro passo da UEPS o professor deverá sugerir uma aula dialogada em que os alunos, por meio da mediação do professor, devem discutir quais os fenômenos relativísticos que mais chamaram a atenção, bem como as suas explicações. Esta aula servirá como uma reconciliação integradora dos conceitos mais específicos em relação aos conceitos principais da UEPS, que seriam a dilatação temporal, a contração do espaço, a invariabilidade da velocidade da luz e o efeito da aberração relativística. Esta atividade terá a duração de uma aula expositiva-dialogada de aproximadamente 40 minutos.

6) Aula expositiva dialogada integradora final: Retomar todo o conteúdo da UEPS, principalmente, os envolvidos nas animações e no videogame

(invariabilidade da velocidade da luz, simultaneidade, dilatação temporal, contração de Lorentz, aberração relativística). Dar um retorno aos estudantes sobre o processo de avaliação realizada anteriormente, sendo que esse retorno será efetuado a partir de uma discussão coletiva acerca das questões propostas na avaliação individual, sanando portanto, as lacunas que ficaram durante a exposição dos conceitos. Esta atividade ocupará duas aulas.

7) Avaliação da aprendizagem na UEPS: A avaliação da aprendizagem na UEPS será realizada ao longo da sua implementação por meio de avaliações formativas e de uma avaliação somativa individual. As avaliações formativas serão constituídas de trabalhos desenvolvidos pelos alunos, na aplicação de um questionário (pré-teste e pós-teste) nos quais serão avaliados o desenvolvimento de conhecimentos conceituais, procedimentais e de aplicação por parte dos estudantes. Já a avaliação somativa individual será constituída de dez questões abertas envolvendo os conceitos da UEPS (9.5 Prova), como a dilatação do tempo, contração do espaço, a invariabilidade da velocidade da luz e a deformação aparente de objetos relativísticos. Esta atividade ocupará uma aula.

8) Avaliação da própria UEPS: Consiste na análise qualitativa e quantitativa das evidências ou não de aprendizagem significativa dos conceitos propostos na UEPS. Além disso, pretende-se aplicar um questionário pós-aplicação da UEPS contendo seis questões objetivas e uma questão aberta, o qual será aplicado aos alunos na última aula prevista (9.2 Análise dos métodos e/ou das estratégias de ensino) com o objetivo de verificar a opinião dos estudantes sobre as estratégias de ensino utilizadas e a própria UEPS. Esta atividade ocupará uma aula.

8.2 Plano de Ensino do Grupo Experimental

PLANO DE ENSINO
I. DADOS DA IDENTIFICAÇÃO
<p>1. Escola Estadual: Antônio de Castro Alves. Endereço: Rua Iápo, 118. Capitão Leônidas Marques, Paraná. Curso: Ensino Médio. Modalidade: Presencial. Turma: 3ª série do Ensino Médio. Período: Matutino. Disciplina: Física. Ano/semestre: 2016/2. Carga horária – Hora aula: 14. Professora: Claudineia de Oliveira Martins.</p>
II. EMENTA
Relatividade Restrita.
III. OBJETIVOS E/OU COMPETÊNCIAS E HABILIDADES
<p>Facilitar a aquisição de significados de conceitos, de procedimentos e de aplicação básicos da teoria da Relatividade Restrita. Desenvolver o trabalho em grupo, a autonomia, a interpretação, a leitura, a escrita e a utilização de várias ferramentas de representação.</p>
IV. CONTEÚDO PROGRAMÁTICO
<p>1. Relatividade Restrita: 1.1 Medidas de espaço. 1.2 Medidas de tempo. 1.3 Referenciais inerciais. 1.4 Princípios da relatividade. 1.5 Experimento de Michelson e Morley. 1.6 Invariância da velocidade da luz. 1.7 Simultaneidade de eventos. 1.8 Dilatação temporal (e o Paradoxo dos Gêmeos). 1.9 Contração de Lorentz (e o Paradoxo do Celeiro). 2.0 Aberração relativística (efeito Doppler, efeito holofote e efeito Terrell).</p>
V. PROGRAMAÇÃO

ENCONTRO	CONTEÚDO
1 01/08/2016	- Aplicação do pré-teste 1.
2 02/08/2016	- Feedback do pré-teste 1. - Aplicação do pré-teste 2.
3 08/08/2016	- Feedback do pré-teste 2. - Situação inicial da UEPS (primeiro passo da UEPS). - Apresentação da UEPS e dos métodos de avaliação. - Introdução ao tema, a partir de problematizações que serão apresentadas através de quatro questões e que serão discutidas ao longo da aula. - Aplicação do pré-teste 3.
4 09/08/2016	- Feedback das questões discutidas (1 a 4) no encontro 3 e do pré-teste 3. - Sequência do primeiro passo da UEPS. - Construção de um pré-mapa conceitual sobre os assuntos tratados no encontro 1. - Tarefas extras para realizar em casa + encaminhamentos para o próximo encontro.
5 15/08/2016	- Feedback das atividades realizadas no encontro 4. - Situação-problema inicial da UEPS (segundo passo da UEPS). - Introdução ao tema, a partir das situações-problema que serão apresentadas enquanto os alunos, em duplas, jogam o game "A Slower Speed of Light", produzido pelo MIT (Massachusetts Institute of Technology).
6 16/08/2016	- Feedback das atividades realizadas no encontro 5. - Sequência do segundo passo da UEPS. - Apresentação de forma resumida dos conceitos básicos da Teoria da Relatividade Restrita (contração do espaço, dilatação temporal e aberração relativística) que aparecem no game. - Resolução de questões referentes ao game "A Slower Speed of Light". - Aplicação do pré-teste 4.
7 22/08/2016	- Feedback das atividades realizadas no encontro 6. - Sequência do segundo passo da UEPS. - Aplicação do pré-teste 5. - Encaminhamentos para o próximo encontro.
8 23/08/2016	- Feedback das atividades realizadas no encontro 7. - Aprofundamento do conteúdo 1 (terceiro passo da UEPS). - Trabalho em duplas com três animações que tratam de fenômenos relativísticos (contração do comprimento, relógio de luz e simultaneidade de eventos).

	<ul style="list-style-type: none"> - Aula expositiva-dialogada. - Resolução de questões sobre conceitos de tempo, espaço e referencial inercial. - Aplicação do pós-teste 1.
9 29/08/2016	<ul style="list-style-type: none"> - Feedback das atividades realizadas no encontro 8. - Nova situação-problema em maior nível de complexidade (quarto passo da UEPS). - Paradoxo dos gêmeos. - Aplicação do pós-teste 2. - Encaminhamentos para o próximo encontro.
10 30/08/2016	<ul style="list-style-type: none"> - Feedback das atividades realizadas no encontro 9. - Aprofundamento do conteúdo 2 (quinto passo da UEPS). - Aula expositiva-dialogada sobre os conceitos de dilatação temporal, contração do espaço, a invariabilidade da velocidade da luz, simultaneidade de eventos relativísticos e o efeito da aberração relativística. - Aplicação do pós-teste 3.
11 05/09/2016	<ul style="list-style-type: none"> - Feedback das atividades realizadas no encontro 10. - Avaliação somativa individual (sétimo passo da UEPS). - Encaminhamentos para o próximo encontro e resolução de um desafio.
12 06/09/2016	<ul style="list-style-type: none"> - Feedback das atividades realizadas no encontro 11. - Aula expositiva dialogada integradora final (sexto passo da UEPS). - Retomar todo o conteúdo da UEPS, principalmente, os envolvidos nas animações e no videojogo (invariabilidade da velocidade da luz, simultaneidade, dilatação temporal, contração de Lorentz, aberração relativística). - Aplicação do questionário pós-teste 4.
13 12/09/2016	<ul style="list-style-type: none"> - Feedback das atividades realizadas no encontro 12. - Sequência do sexto passo da UEPS. - Aplicação do questionário pós-teste 5 e elaboração da resenha 2.
14 13/09/2016	<ul style="list-style-type: none"> - Feedback das atividades realizadas no encontro 13. - Avaliação da UEPS (oitavo passo da UEPS). Aplicação de um questionário pós-aplicação da UEPS e finalização da elaboração da resenha 2. - Feedback das atividades realizadas no encontro 14.
VI. METODOLOGIA	
TÉCNICAS	RECURSOS AUDIOVISUAIS

- Aula expositiva-dialogada.
- Resolução de questões e desafios.
- Videojogo e animações (simuladores).
- Vídeos, situações-problemas, mapas conceituais e resenhas críticas.
- Atividades pós-aulas.
- Quadro branco.
- TV pendrive.
- Sala de informática.

VII. AVALIAÇÃO

6 avaliações, de modo que a avaliação seja feita ao longo do desenvolvimento da UEPS. Estas avaliações serão compostas por:

1ª avaliação: Questionário com as questões pré- teste (5 pontos) e pós-teste (5 pontos), divididos em: pré-teste 1 (referencial inercial) + pós-teste 1 (referencial inercial); pré-teste 2 (invariância da velocidade da luz) + pós-teste 2 (invariância da velocidade da luz); pré-teste 3 (dilatação temporal) + pós-teste 3 (dilatação temporal); pré-teste 4 (contração do comprimento) + pós-teste 4 (contração do espaço); pré-teste 5 (simultaneidade de eventos) + pós-teste 5 (simultaneidade de eventos), totalizando 10 pontos. Os critérios para avaliação dos questionários são:

- Número de questões corretas.
- Pertinência (justificativa diferente da afirmação).
- Aprofundamento do conteúdo (número de conceitos usados e número de ligação com outros conceitos).
- Clareza na escrita e na exposição das ideias.

2ª avaliação: Resolução das questões de 1 a 10 da UEPS, divididas em: questões de 1 a 4 (4 pontos); questões de 5 a 9 (5 pontos) e questão 10 (1 pontos), totalizando 10 pontos. Os critérios para avaliação das questões de 1 a 10 são:

- Número de questões corretas.
- Pertinência (justificativa diferente da afirmação).
- Aprofundamento do conteúdo.
- Clareza na escrita e na exposição das ideias.

3ª avaliação: Produção de uma Resenha sobre Relatividade Restrita, divididas em: resenha 1 (5 pontos) e resenha 2 (5 pontos), totalizando 10 pontos. Os critérios para avaliação das resenhas críticas são:

- Número de questões corretas.

- Pertinência (justificativa diferente da afirmação).
- Aprofundamento do conteúdo.
- Clareza na escrita e na exposição das ideias.

4ª avaliação: Elaboração de um mapa conceitual sobre Relatividade, divididos em: mapa conceitual 1 (5 pontos) e mapa conceitual 2 (5 pontos), totalizando 10 pontos. Além de um pequeno texto (mínimo 10 linhas) explicando o significado do mapa conceitual, se levará em consideração na correção e análise dos mapas conceituais os seguintes critérios de avaliação:

- Número de conceitos representados.
- Ligação entre conceitos.

Será atribuído 1 ponto por cada proposição válida e significativa que apareça.

- Ligações cruzadas:

Será atribuído 10 pontos por cada relação cruzada que seja simultaneamente válida e significativa e 2 pontos por cada relação cruzada que seja válida mas que não traduza qualquer síntese entre grupos de proposições ou conceitos relacionados.

- Níveis hierárquicos (hierarquia):

Será atribuído 5 pontos por cada nível hierárquico.

- Exemplos citados:

Será atribuído 1 ponto por cada acontecimento ou objeto concreto que sejam exemplos válidos.

5ª avaliação: Prova individual contendo 4 questões discursivas (2 pontos cada), totalizando 10 pontos. Os critérios para avaliação da prova individual são:

- Número de questões corretas.
- Pertinência (justificativa diferente da afirmação).
- Aprofundamento do conteúdo.
- Clareza na escrita e na exposição das ideias.

6ª avaliação: Resolução de desafios e demais atividades pós-aulas propostas, totalizando 10 pontos. Os critérios para avaliação das atividades extras são:

- Número de questões corretas.
- Pertinência (justificativa diferente da afirmação).
- Aprofundamento do conteúdo.

- Clareza na escrita e na exposição das ideias.

VIII. FORMAS DE AVALIAÇÃO

As notas atribuídas nesta unidade de ensino, como já descrita acima, serão o resultado de avaliações teóricas e práticas do conteúdo abordado. Serão seis (6) avaliações durante a aplicação da UEPS com peso total de 10,0 pontos (P1, P2, P3, P4, P5 e P6). Para ser aprovado o aluno deve obter frequência igual ou superior a 75% e média de aproveitamento igual ou superior a seis (6,0). A média de aproveitamento será calculada por:

$$MA = P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + P6 \geq 6,0$$

Em que,

MA: média de aproveitamento.

P1: 5 pré-testes e 5 pós-testes (1 ponto cada) com peso total de 10,0 pontos.

P2: questões de 1 a 10 da UEPS (1 ponto cada) com peso total de 10,0 pontos.

P3: Duas Resenha sobre Relatividade Restrita com peso de 5 pontos cada, totalizando 10,0 pontos.

P4: Dois Mapas conceituais com peso de 5 pontos cada, totalizando 10,0 pontos.

P5: Avaliação individual com peso de 10,0 pontos.

P6: A Resolução de desafios e demais atividades pós-aula propostas terão a mesma pontuação, totalizando ao final 10,0 pontos.

Por se tratar de uma UEPS, baseada na aprendizagem significativa de Ausubel, os alunos receberão ao início (ou ao final) de cada encontro um retorno sobre o processo de avaliação realizado no encontro anterior, buscar sanar portanto, as lacunas que ficaram durante a exposição dos conceitos. Esse retorno será realizado durante todo o processo de ensino-aprendizagem, isto é, se buscará observar a partir do desenvolvimento das atividades realizadas em sala de aula as evidências ou não de aprendizagem significativa dos conceitos estudados na UEPS.

IV. REFERÊNCIAS

EINSTEIN, A. A teoria da relatividade especial e geral, Contraponto, 132 pp. 1999.

HALLIDAY, David et al. Fundamentos de Física: **Óptica e física moderna**. vol. 4. 8ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

YOUNG, D. H.; FREEDMAN, R. A. **Física IV, Óptica e Física Moderna**. 12^a ed. São Paulo: Addison Wesley, 2009.

MOREIRA, Marco Antônio. UNIDADES DE ENSEÑANZA POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS - UEPS (Potentially Meaningful Teaching Units – PMTU). **Meaningful Learning Review**. Porto Alegre, RS, v. 1, n.2, p.43-63, 2011.

RIBOLDI, Bruno Marconi. A CONSTRUÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS) PARA ENSINAR RELATIVIDADE UTILIZANDO ANIMAÇÕES E O GAME A SLOWER SPEED OF LIGHT. **Sociedade Brasileira de Física (SBF)**, São Carlos-SP, p.1-144, 2015. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

8.3 Plano de Ensino do Grupo de Controle

PLANO DE ENSINO	
I. DADOS DA IDENTIFICAÇÃO	
<p>1. Escolas Estaduais: Carlos Argemiro de Camargo - Capitão Leônidas Marques, Paraná. Curso: Ensino Médio. Modalidade: Presencial. Turma: 3ª série do Ensino Médio. Período: Matutino. Disciplina: Física. Ano/semestre: 2016/2. Carga horária – Hora aula: 14. Professora: Claudineia de Oliveira Martins.</p>	
II. EMENTA	
Relatividade Restrita.	
III. OBJETIVOS E/OU COMPETÊNCIAS E HABILIDADES	
Facilitar a aquisição de significados de conceitos, de procedimentos e de aplicação básicos da teoria da Relatividade Restrita.	
IV. CONTEÚDO PROGRAMÁTICO	
<p>1. Relatividade Restrita: 1.1 Medidas de espaço. 1.2 Medidas de tempo. 1.3 Referenciais inerciais. 1.4 Princípio da relatividade. 1.5 Experimento de Michelson e Morley. 1.6 Invariância da velocidade da luz. 1.7 Simultaneidade de eventos relativísticos. 1.8 Dilatação temporal (e o Paradoxo dos Gêmeos) . 1.9 Contração de Lorentz (e o Paradoxo do Celeiro) . 2.0 Aberração relativística (efeito Doppler, efeito holofote e efeito Terrell).</p>	
V. PROGRAMAÇÃO	
ENCONTRO	CONTEÚDO

1 01/08/2016	- Aplicação do pré-teste 1 (referencial inercial).
2 02/08/2016	- Aplicação do pré-teste 2 (invariância da velocidade da luz).
3 08/08/2016	- Apresentação da disciplina e dos métodos de avaliação. - Medidas de tempo e espaço. Referenciais inerciais. - Lista de exercícios 1 sobre conceitos de tempo, espaço e referencial inercial para fixação do conteúdo. - Aplicação do pré-teste 3. - Encaminhamentos para o próximo encontro.
4 09/08/2016	- Revisão sobre medidas de tempo e espaço e referenciais inerciais. - Aplicação do pós-teste 1. - Restante da aula para tirar dúvidas da lista de exercícios 1. - Encaminhamentos para o próximo encontro.
5 15/08/2016	- Experimento de Michelson e Morley. Breve histórico sobre a Teoria da Relatividade. Princípios da relatividade. - Resolução de 4 quatro questões que serão discutidas ao longo da aula. - Aplicação do pré-teste 4. - Encaminhamentos para o próximo encontro. - Lista de exercícios 2 como tarefa de casa. - Elaboração de uma resenha sobre relatividade como tarefa de casa.
6 16/08/2016	- Aplicação do pré-teste 5. - Restante da aula para tirar dúvidas das listas de exercícios 1 e 2. - Encaminhamentos para o próximo encontro.
7 22/08/2016	- Breve revisão sobre o experimento de Michelson-Morley e os princípios da relatividade. - Apresentar as consequências dos postulados da teoria da Relatividade. - Aplicação do pós-teste 2. - Aula para tirar dúvidas das listas de exercícios (1 e 2). - Encaminhamentos para o próximo encontro.
8 23/08/2016	- Simultaneidade de eventos relativísticos. - Utilizar um simulador para explicar a sincronização dos relógios propostas por Einstein. - Uso de uma animação para explicar o fenômeno de simultaneidade. - Aplicação do pós-teste 5. - Lista de exercícios 3 para fixação do conteúdo como tarefa de casa.

	- Encaminhamentos para o próximo encontro.
9 29/08/2016	<ul style="list-style-type: none"> - Dilatação temporal. - Uso de uma animação para explicar o fenômeno de dilatação temporal. - Vídeo sobre o Paradoxo dos Gêmeos. - Resolução de um problema sobre o paradoxo dos Gêmeos após a visualização vídeo. - Restante da aula para tirar dúvidas da lista de exercícios 3. - Lista de exercícios 4 para fixação do conteúdo como tarefa de casa. - Aplicação do pós-teste 3. - Encaminhamentos para o próximo encontro.
10 30/08/2016	<ul style="list-style-type: none"> - Contração de Lorentz. - Uso de uma animação para explicar o fenômeno de contração de Lorentz. - Resolução e discussão do paradoxo do trem. - Restante da aula para tirar dúvidas da lista de exercícios 4. - Lista de exercícios 5 para fixação do conteúdo como tarefa de casa. - Aplicação do pós-teste 4. - Encaminhamentos para o próximo encontro.
11 05/09/2016	<ul style="list-style-type: none"> - Aberração relativística (efeitos: Doppler, holofote e Terrell). - Uso do videogame "A Slower Speed of Light" para explicar os fenômenos relativísticos. - Resolução de questões referentes ao game "A Slower Speed of Light". - Restante da aula para tirar dúvidas da lista de exercícios 5. - Encaminhamentos para o próximo encontro.
12 06/09/2016	<ul style="list-style-type: none"> - Revisão dos conteúdos. - Resolução de exercícios para fixação do conteúdo. - Encaminhamentos para o próximo encontro.
13 12/09/2016	<ul style="list-style-type: none"> - Avaliação somativa individual. - Encaminhamentos para o próximo encontro.
14 13/09/2016	<ul style="list-style-type: none"> - Recuperação dos conteúdos vistos em sala de aula. - Elaboração da resenha 2. - E avaliação da disciplina.

VI. METODOLOGIA

TÉCNICAS	RECURSOS AUDIOVISUAIS
<ul style="list-style-type: none"> - Aula expositiva. - Resolução de listas de exercícios e questões sobre os conteúdos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Quadro negro. - TV pendrive. - Projetor multimídia.

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - Vídeo, jogo e animações (simuladores). - Resenhas. | |
|---|--|

VII. AVALIAÇÃO

As notas serão o resultado de avaliações teóricas do conteúdo abordado. Serão cinco (5) avaliações com peso total de 10,0 pontos (P1, P2, P3, P4 e P5). Para ser aprovado o aluno deve obter frequência igual ou superior a 75% e média de aproveitamento igual ou superior a seis (6,0). A média de aproveitamento será calculada por:

$$MA = P1 + P2 + P3 + P4 + P5 \geq 6,0$$

Em que,

MA: média de aproveitamento.

P1: 5 Pré-testes e 5 pós-testes (1 ponto cada) com peso total de 10,0 pontos.

P2: Questões de 1 a 10 resolvidas em sala de aula (1 ponto cada) com peso total de 10,0 pontos.

P3: Resenha sobre Relatividade Restrita com peso de 10,0 pontos.

P4: Avaliação individual com peso de 10,0 pontos.

P5: Listas de exercícios e demais atividades pós-aulas propostas com peso total de 10,0 pontos.

Os critérios para a correção das avaliações P1; P2; P4 e P5 será o número de respostas corretas.

Já para a avaliação P3 serão:

1. Aprofundamento do conteúdo (número de conceitos usados e número de ligação com outros conceitos).
2. Clareza na escrita e na exposição das ideias.

A **segunda chamada** constará de uma prova escrita acerca dos conteúdos vistos em sala de aula.

IV. REFERÊNCIAS

EINSTEIN, A. **A teoria da relatividade especial e geral**, Contraponto, 132 pp. 1999.

HALLIDAY, David et al. Fundamentos de Física: **Óptica e física moderna**. vol. 4. 8^a. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

YOUNG, D. H.; FREEDMAN, R. A. **Física IV, Óptica e Física Moderna**. 12^a ed. São Paulo: Addison Wesley, 2009.

8.4 Pré-teste e pós-teste

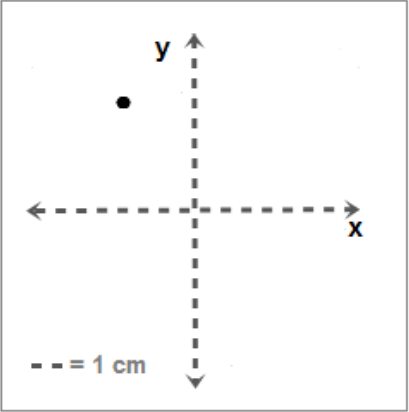
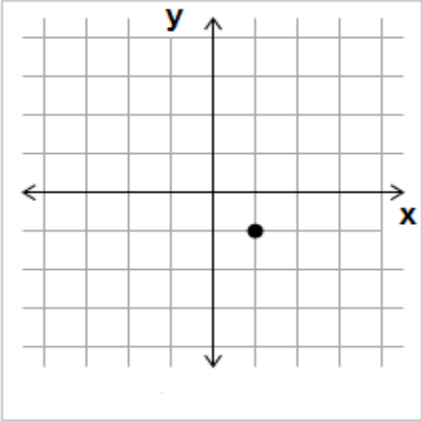
REFERENCIAL INERCIAL

Atenção não é necessário identificação:

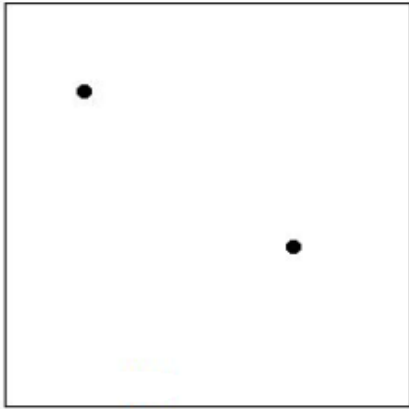
Assinale apenas uma alternativa para cada questão, observando as seguintes informações: **NS**=Não sei; **C**=Concordo; **D**=Discordo.

Justifique todas as suas respostas, isto pode ser feito no verso.

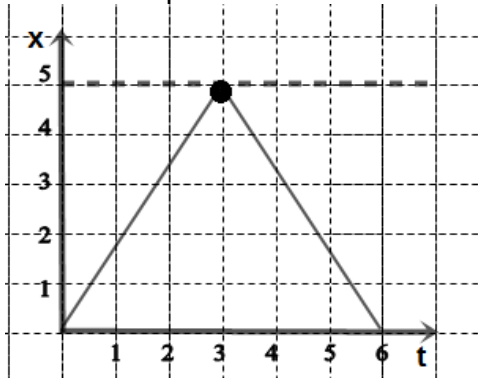
	NS	C	D	Justificativa
Referencial inercial				
Conhecimento conceitual				
1. O movimento de um objeto livre de forças externas é descrito em um referencial cuja aceleração é uniforme.				
2. Em um referencial não inercial mesmo objetos livres de interações externas aparentam estar sobre influência de forças externas.				
3. Para se medir distâncias em um espaço é necessário escolher uma unidade de medida que pode ser baseada em, por exemplo, uma barra rígida.				
4. O número que descreve a distância entre dois pontos é independente da unidade de medida adotada.				
5. Quando medimos o intervalo de tempo entre dois eventos consecutivos temos um valor que independe do relógio utilizado para medi-lo.				
6. Para se medir o tempo é necessário um referencial e um evento que se repita com regularidade, por exemplo, a rotação da Terra.				
7. Referenciais são sistemas de coordenadas associado a pontos físicos de modo à fixar sua posição e orientação no espaço. Pode-se descrever de maneira precisa o				

movimento de objetos utilizando-se um referencial.				
8. É possível descrever a posição de um objeto univocamente (sem que haja ambiguidade) através de um referencial.				
Conhecimento procedimental				
<p>9. Quais são os números naturais (positivos ou negativos) que descrevem a posição do objeto no sistema de coordenada da figura, se cada unidade de medida (representada na figura por: --) equivale a 1 cm.</p> 				
10. Construa um sistema de coordenadas cartesianas bidimensional e marque os pontos representados pelas coordenadas (2,3) e (-3,1).				
<p>11. Escreva as coordenadas dos pontos no sistema de referência representado pela figura.</p> 				

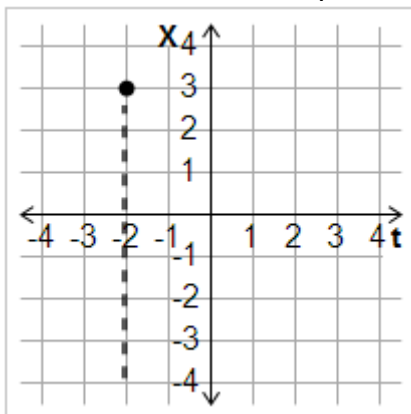
12. Crie um sistema de coordenadas (origem, orientação e unidade de medida) e indique as coordenadas dos dois pontos indicados na figura.



13. A figura abaixo mostra duas linhas contínuas que representam a trajetória de uma bola, que num determinado instante de tempo atinge uma parede (linha tracejada). Qual é a coordenada espacial e temporal da colisão.



14. A figura abaixo mostra a trajetória de uma pedra jogada verticalmente para cima. Qual as coordenadas do ponto de máxima altura da pedra.



Conhecimento de Aplicação				
15. Considerando uma rodovia como um referencial inercial, um carro está em movimento com velocidade constante de 80 km/h em relação a um poste fixo na rua, nesta situação o carro pode ser considerado um referencial inercial.				
18. Quando um veículo acelera em relação a uma rodovia, nesta situação o veículo pode ser considerado um referencial não inercial.				

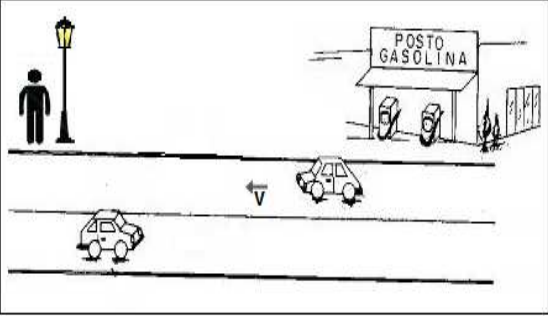
INVARIÂNCIA DA VELOCIDADE DA LUZ

Atenção não é necessário identificação:

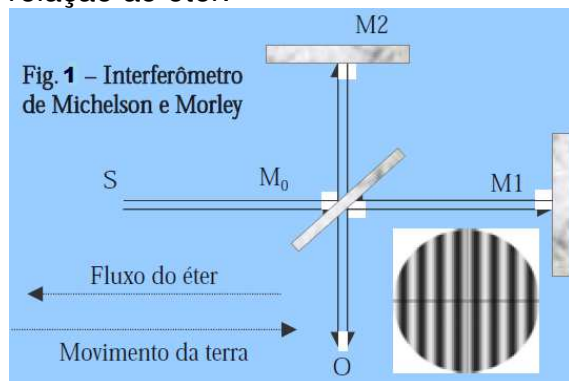
Assinale apenas uma alternativa para cada questão, observando as seguintes informações: **NS**=Não sei; **C**=Concordo; **D**=Discordo.

Justifique todas as suas respostas, isto pode ser feito no verso.

	NS	C	D	Justificativa
Invariância da velocidade da luz				
Conhecimento conceitual				
1. Independente da velocidade da fonte luminosa, em um dado referencial inercial, a velocidade da luz é constante e aproximadamente igual a 300.000 km/s.				
2. Uma pessoa está parada numa rodovia observando um poste de luz e os faróis de um carro que se aproxima a uma velocidade v . A luz dos faróis do carro tem para esta pessoa uma velocidade maior do que a luz do poste parado.				

				
<p>3. A hipótese do éter sugeriria que a velocidade da luz medida na Terra sofreria variações durante o ano devido ao movimento de translação do planeta. Embora Michelson e Morley acreditassem na existência do éter, não detectaram estas variações.</p>				
<p>4. Na tentativa de observar o meio pelo qual a luz se propaga, Michelson-Morley construíram um interferômetro para medir a variação da velocidade da luz produzida pelo movimento da Terra em relação a este meio. Este experimento detectou pela primeira vez o então chamado éter luminífero.</p>				
<p>5. A velocidade da luz no vácuo é uma velocidade limite, não podendo ser superada por nada capaz de transportar energia (ou massa) ou informação.</p>				
<p>6. A velocidade de um objeto, em relação a qualquer referencial, pode superar a velocidade da luz no vácuo.</p>				
<p>Conhecimento procedimental</p>				
<p>7. A figura 1 mostra o experimento de Michelson e Morley, com o qual buscaram investigar o deslocamento da Terra no éter. Esse experimento consistia em lançar dois feixes de luz, um em direção ao movimento de translação do planeta, e outro em sentido perpendicular ao anterior. Uma diferença no tempo gasto para os feixes percorrerem os diferentes caminhos, devido a diferença de velocidade, apareceria como uma</p>				

mudança no padrão de interferência destes. Michelson e Morley não detectaram variação alguma, indicando que não havia tal movimento em relação ao éter.



8. A figura 1 (da questão anterior) mostra o experimento de Michelson e Morley. A ideia desse experimento era: comparar a velocidade de um feixe de luz que se propagava na direção do éter com a velocidade de outro feixe que se propagava perpendicularmente ao éter. Se o primeiro feixe se propagasse paralelamente ao movimento do éter, estaria sujeito a uma alteração em sua velocidade. Por outro lado, se o segundo feixe se propagasse perpendicularmente ao éter não iria sofrer nenhuma alteração em sua velocidade.

Conhecimento de aplicação

9. Pela Teoria da Relatividade Especial, quando vemos o céu noturno estamos observando os astros como eles eram no passado e alguns deles podem nem mais existir atualmente. E isto ocorre porque a velocidade da luz no vácuo é finita.

10. Um astrônomo observa uma supernova, que é uma estrela que acaba de explodir. Este evento pode ser observado simultaneamente por qualquer outra civilização que viva em planetas distantes.

11. Dois astronautas que estão na superfície da lua, a 380.000 km da Terra, demoram cerca de 1,3 segundos para receber uma mensagem e mais 1,3 segundos para que a resposta chegue na Terra. Entre uma pergunta e uma resposta, sem levar em conta o tempo para pensar, são gastos 2,6 segundos. Este fato ocorre porque a luz só viaja a velocidade de aproximadamente 300.000 km/s no vácuo.				
12. Considerando que em um determinado dia a distância entre Marte e a Terra é 100.000.000 km estime quanto tempo as sondas que exploram Marte levam para receber uma mensagem enviada aqui da Terra, e quanto tempo demora para que resposta chegue novamente aqui.				

DILATAÇÃO TEMPORAL

Atenção não é necessário identificação:

Assinale apenas uma alternativa para cada questão, observando as seguintes informações: **NS**=Não sei; **C**=Concordo; **D**=Discordo.

Justifique todas as suas respostas, isto pode ser feito no verso.

	NS	C	D	Justificativa
Dilatação temporal				
Conhecimento conceitual				
1. Um relógio de luz consiste basicamente em uma fonte de luz, um espelho e um receptor de luz. Neste relógio, uma unidade de tempo equivale ao tempo necessário para que a luz emitida pela fonte reflita no espelho e incida sobre o detector. Pelo fenômeno da dilatação temporal é correto afirmar que a unidade de tempo de um relógio em repouso (fig. 1b) em				

<p>relação a um dado observador será maior do que a unidade de tempo de um segundo relógio em movimento (fig. 1a) em relação ao mesmo.</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p>Figura 1 - Relógio de luz. (a) Relógio de luz em movimento; (b) Relógio de luz em repouso.</p>			
<p>2. A figura 1 (da questão 1) mostra um relógio de luz em repouso em relação a outro relógio de luz movendo-se com uma velocidade v. Nesta situação pode-se entender que o efeito da dilatação temporal se deve ao fato que a luz do relógio em movimento deve percorrer uma distância maior com a mesma velocidade.</p>			
<p>3. Não percebemos a dilatação temporal na nossa vida cotidiana porque o efeito é muito pequeno para as velocidades e durações dos deslocamentos que fazemos.</p>			
<p>4. Ao viajarmos para outros países, ou até mesmo para outros estados brasileiros, podemos perceber diferenças de fusos horários. Precisamos assim ajustar nossos relógios para organizarmos nossas atividades diárias nesses outros lugares. Essa diferença entre fusos horários de cidades, estados ou países ocorre devido ao efeito de dilatação temporal.</p>			
<p>Conhecimento procedimental</p>			
<p>5. Al e Bert são dois gêmeos idênticos.</p>			

<p>No 22º aniversário deles, Bert resolveu partir em um foguete, afastando-se da Terra com uma velocidade de $0,866c$ (c= velocidade da luz). Enquanto isso Al continuou sua rotina na Terra. Passados cinco anos de viagem (no relógio de Bert) ele resolve voltar para juntar-se a seu irmão Al que ficou em casa. Mas, para surpresa de Bert, seu irmão está celebrando o 42º aniversário.</p>				
<p>6. Em seu 22º aniversário Bert resolveu partir em um foguete, afastando-se da Terra com uma velocidade de $0,866c$ (c= velocidade da luz), enquanto isso seu irmão gêmeo Al ficou em casa. Depois de algum tempo Bert volta à mesma velocidade para juntar-se ao irmão Al que ficou em casa. No reencontro, Al fica surpreso ao saber que para seu irmão viajante se passaram 20 anos enquanto que para ele passaram apenas 10 anos.</p>				
<p>7. Com o objetivo de verificar o fenômeno da dilatação temporal você decide sincronizar o seu relógio com o relógio da cozinha antes de sair de casa para ir até a escola. Durante o trajeto (de ida e de volta) você pede ao motorista do ônibus para manter uma velocidade constante de 50 km/h. Suponha que para realizar o trajeto de ida e de volta você demora uma hora. Ao chegar em casa você percebe que não há diferença entre os relógios. Depois de ler um pouco sobre Relatividade você conclui que para objetos em baixas velocidades em relação a velocidade da luz, o efeito é tão pequeno que pode, ser desprezado.</p>				
<p>8. Imagine que você foi convidado por Felipe Massa para assisti-lo em uma corrida de fórmula 1 (F1). A fim de verificar o fenômeno da dilatação temporal antes de iniciar a corrida você propõem a ele a sincronização do seu</p>				

<p>relógio com o relógio dele. Suponhamos que o carro de Felipe Massa atinja uma velocidade constante de 200 km/h e que a corrida tenha uma duração de uma hora. Após a corrida de F1 vocês percebem que não há diferença entre os relógios. Depois de ler um pouco sobre Relatividade você conclui que a velocidade do carro é muito pequena se comparada com a velocidade da luz e por isso o efeito não pode ser observado em nosso cotidiano.</p>				
<p>Conhecimento de aplicação</p>				
<p>9. Partículas de alta energia vindas do espaço, chamadas de raios cósmicos, colidem com as moléculas da alta atmosfera. Essas colisões geram outros tipos de partículas, tais como os múons. Algumas delas deslocam-se em direção à Terra a uma velocidade muito próxima a velocidade da luz. Utilizando os conceitos da mecânica newtoniana, conclui-se que muito poucos múons (devido ao curto tempo de vida médio, que é de dois microsegundos) conseguiriam atingir a superfície da Terra. Entretanto, detecta-se uma quantidade substancialmente maior de múons atravessando a atmosfera do que a estimada.</p> <p>A relatividade explica este fenômeno, no referencial da Terra, utilizando a dilatação temporal. Deste modo o tempo gasto pelos múons para atravessar a atmosfera seria menor, resultando em mais partículas atingindo a superfície.</p>				
<p>10. De acordo com a Relatividade Restrita a quantidade substancialmente maior de múons observadas na superfície da Terra pode ser explicada pelo fenômeno de dilatação temporal. Como os múons continuam o seu trajeto em direção à Terra em alta velocidade sua vida média é</p>				

substancialmente reduzida.				
----------------------------	--	--	--	--

CONTRAÇÃO DO COMPRIMENTO

Atenção não é necessário identificação:


Assinale apenas uma alternativa para cada questão, observando as seguintes informações: **NS**=Não sei; **C**=Concordo; **D**=Discordo.

Justifique todas as suas respostas, isto pode ser feito no verso.

	NS	C	D	Justificativa
Contração do espaço				
Conhecimento conceitual				
1. A contração do comprimento está relacionada com a diferença entre medidas de comprimento de um mesmo objeto feitas em diferentes referenciais. Por exemplo, mede-se o comprimento de uma barra parada em um referencial S como sendo 10 cm. Já em um segundo referencial S', no qual a barra se move com uma velocidade constante no sentido de seu comprimento, o seu comprimento será menor que 10 cm.				
2. Pelo fenômeno da contração do comprimento, medidas de distâncias em dois referenciais inerciais podem resultar em valores diferentes. Assim, o comprimento de um mesmo objeto medido em dois referenciais diferentes, mas em repouso entre si, terá valor diferente.				
3. Um fazendeiro tinha uma escada grande demais para guardar no seu celeiro. Um dia lendo a respeito da Relatividade se deparou com a contração do comprimento e teve uma ideia. Ele pediu a sua filha que corresse com a escada o mais rápido que ela pudesse, para que a escada (a uma velocidade relativística em relação ao celeiro) se contraísse de maneira a caber em seu interior. Assim que o final				

<p>da escada passasse pela porta ele a fecharia e a escada estaria totalmente em seu interior. A sua filha, entretanto, o alertou que no seu próprio referencial quem sofreria a contração seria o celeiro, tornando a situação pior. Nessa situação, apenas a filha está correta.</p>				
<p>4. Um fazendeiro tinha uma escada muito grande que não cabia em seu celeiro. Um dia, lendo sobre Relatividade ele teve uma ideia para solucionar o seu problema. Ele pediu a sua filha que corresse com a escada a uma relativística em relação ao celeiro, para que ela sofresse a contração do comprimento chegando a um tamanho que caberia facilmente no celeiro. Assim que o final da escada passasse pela porta ele a fecharia deixando a escada lá dentro. A filha, no entanto, leu um pouco mais sobre Relatividade e alertou que no seu sistema de referência se o celeiro estiver se movendo e tiver uma contração de comprimento, então não terá como a escada caber nele. Nessa situação ambos estão corretos.</p>				
<p>5. É possível perceber, sem auxílio de equipamentos especiais, a contração do comprimento em aviões que viajam a velocidades perto dos 1000 km/h.</p>				
<p>6. Não percebemos a contração do comprimento em nossa vida cotidiana, porque para objetos em baixas velocidades em relação à velocidade da luz, o efeito por ser muito pequeno pode ser desprezado.</p>				
<p>7. O fator gama (γ) também conhecido como fator de Lorentz pode ser determinado pela seguinte expressão:</p> $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ <p>Para a relação v/c próxima de zero o fator de Lorentz é praticamente constante e igual a 1, o que está coerente com os movimentos de objetos</p>				

<p>em nosso cotidiano, em que velocidades são desprezíveis quando comparadas com a velocidade da luz e o efeito da contração do comprimento torna-se imperceptível.</p>				
<p>8. Como as velocidades cotidianas são muito pequenas quando comparadas com a velocidade da luz o fenômeno da contração do comprimento é imperceptível. Isto pode ser facilmente comprovado verificando-se que o fator de Lorentz tende a zero para velocidades muito pequenas em relação à velocidade da luz.</p>				
<p>Conhecimento procedimental</p>				
<p>9. Em um acelerador de partículas a velocidade antes de uma colisão entre prótons pode chegar a $0,9992c$ (99,92% da velocidade da luz). Se considerarmos que o raio do próton em repouso é aproximadamente 0,85 Fermi ($8,5 \times 10^{-16}m$), devido a contração do comprimento o seu tamanho no sentido do movimento em relação ao acelerador de partículas será de $3,06 \times 10^{-16}m$.</p>				
<p>10. Depois de ler um pouco sobre a contração de um objeto em movimento você decide verificar se este fenômeno é observável numa corrida de carros. Já na arquibancada você vê um carro de corrida com velocidade de $v = 89,4 m/s$ e sabe que quando parado este carro possui um comprimento de 5,232 m. Considerando que o carro se mova perpendicularmente à sua linha de visão, em relação ao seu sistema de referência, fixo na arquibancada, você determina que o comprimento do carro de corrida é o mesmo (5,332 m). Satisfeito com o resultado você conclui que não é fácil conseguir observar essas variações de comprimento com as velocidades comuns do nosso cotidiano porque as velocidades dos objetos cotidianos são muito pequenas se comparadas a velocidade da luz.</p>				

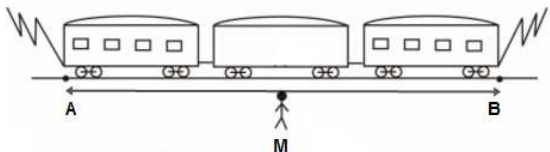
Conhecimento de Aplicação				
<p>11. Partículas de alta energia vindas do espaço, chamadas de raios cósmicos colidem com as moléculas da alta atmosfera. Essas colisões geram outros tipos de partículas, tais como os múons. Algumas delas deslocam-se em direção à Terra a uma velocidade muito próxima a velocidade da luz. Utilizando os conceitos da mecânica newtoniana, conclui-se que muito poucos múons (devido ao curto tempo de vida médio, que é de dois microsegundos) conseguiriam atingir a superfície da Terra. Entretanto, detecta-se uma quantidade substancialmente maior que a estimada.</p> <p>A relatividade explica este fenômeno, no referencial dos múons, utilizando a contração do comprimento. A atmosfera contraída é vista como uma fina camada, e o tempo de vida dos múons é suficiente para que uma grande quantidade destas partículas consigam atravessá-la.</p>				
<p>12. Observe a tirinha abaixo:</p>  <p>Do ponto de vista do próprio múon seu tempo de vida é $2\mu\text{s}$, mas ele vê a atmosfera passando com uma velocidade muito alta, e isto permite que, ele veja a atmosfera contraída. Como a atmosfera está com um comprimento menor ele consegue atravessá-la facilmente e chegar inclusive até o nível do mar.</p>				

SIMULTANEIDADE DE EVENTOS

Atenção não é necessário identificação:

Assinale apenas uma alternativa para cada questão, observando as seguintes informações: **NS**=Não sei; **C**=Concordo; **D**=Discordo.

Justifique todas as suas respostas, isto pode ser feito no verso.

	NS	C	D	Justificativa
Simultaneidade de eventos				
Conhecimento conceitual				
<p>1. A figura 1 mostra a ocorrência de dois raios. Imagine que para saber se os dois raios atingem ao mesmo tempo as posições frontal e traseira do trem você se posiciona no centro M da distância AB. Se você observar os dois feixes de luz atingirem as duas posições do trem ao mesmo tempo, eles serão simultâneos.</p>  <p style="text-align: center;">Figura 1: Trem em repouso.</p>				
2. Para que dois eventos sejam simultâneos, um observador deve necessariamente visualiza-los ao mesmo tempo.				
3. Dois eventos são simultâneos quando sua coordenada temporal (em um dado referencial) é a mesma.				
4. O conceito de simultaneidade está relacionado com a ocorrência de dois eventos muito próximos ao mesmo tempo.				
5. Pela relatividade da simultaneidade se dois eventos ocorrem de maneira simultânea para um determinado referencial inercial, não serão necessariamente simultâneos em outro referencial inercial.				

6. Pelo fenômeno da simultaneidade conclui-se que dois observadores em movimento relativo podem fazer observações contraditórias sobre a simultaneidade ou não de um par de eventos. Isso implica que pelo menos um deles estará errado.

7. Considere um trem se movendo com velocidade v na direção da figura 2. Considere ainda que dois observadores (um no referencial S' se encontra exatamente no meio do trem, e outro no referencial S se encontra no solo) estão se cruzando exatamente quando os raios ocorrem, conforme mostrado em (2a). Pelo fenômeno da simultaneidade para o observador S que se encontra no solo, os dois raios atingiram ao mesmo tempo as posições frontal e traseira do trem, mas para o observador em S' que se encontra no interior do trem os dois eventos não serão simultâneos, ou seja, ele verá primeiro a frente de onda atingindo a posição da frente do trem, pois é neste sentido que o trem se desloca, e depois ele verá à frente de onda atingindo a posição de trás do trem.

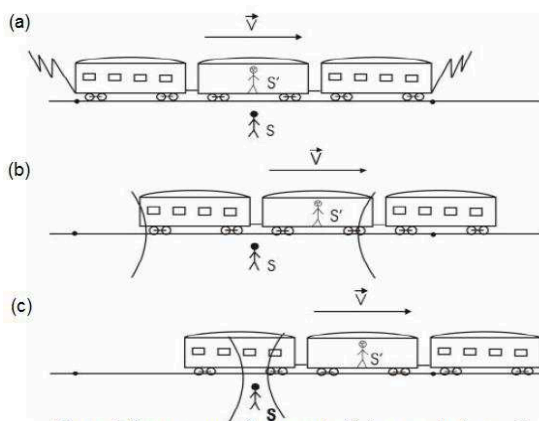


Figura 2: Trem se movendo com velocidade v em relação ao solo.

8. Na figura abaixo 3(a,b) um trem se desloca com velocidade v em relação ao solo. Existem dois observadores (um no referencial do trem, e outro no referencial do solo), em um determinado momento, dois raios

atingem as posições frontal e traseira do trem. Como a velocidade da luz é igual em todas as direções e em qualquer referencial inercial, os dois eventos que são simultâneos para o referencial do solo não serão simultâneos para o referencial do trem.

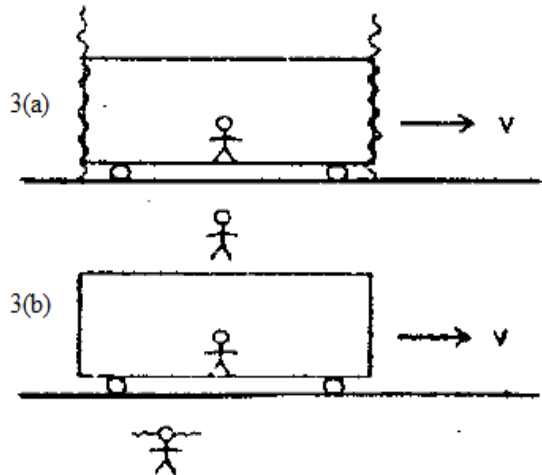


Figura 3: Trem se deslocando com velocidade v em relação ao solo.

Conhecimento procedimental

9. Conforme mostra a figura 4 um trem viaja com uma velocidade v sobre os trilhos. Nas extremidades do vagão com comprimento l existem duas lâmpadas capazes de gerar um pulso de luz. Em repouso em relação ao trilho existe um observador cujo referencial é denominado K , enquanto que viajando dentro do trem outro observador utiliza para suas medidas um referencial K' .

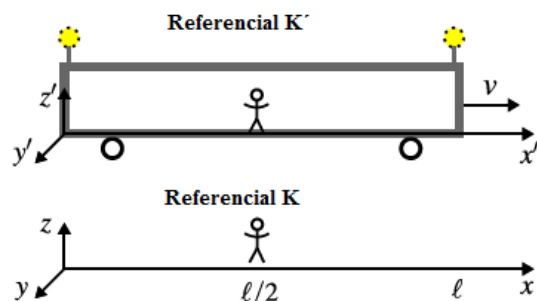


Figura 4: trem viajando com velocidade v sobre os trilhos.

Considerando o caso em que o observador em repouso em relação à K observa os dois pulsos de luz

chegarem a si simultaneamente é correto afirmar que pelo princípio da constância da velocidade da luz ele pode fazer o gráfico abaixo.

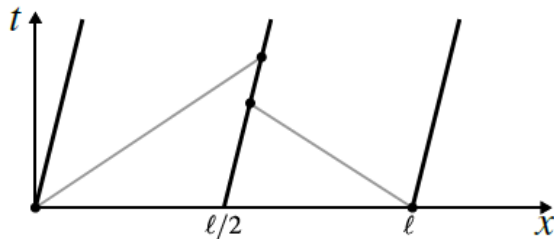


Figura 5: Gráfico feito pelo observador em repouso.

10. Como a simultaneidade dos pulsos de luz emitidos pelas lâmpadas depende do referencial o observador do trem fez o gráfico (representado pela figura 6) mostrando os mesmos pulsos de luz chegando a si em tempos diferentes. É correto afirmar que o gráfico feito pelo observador do trem está certo porque para o observador na metade do trem, o pulso da esquerda chegue primeiro que o da direita, o que pela definição de sincronicidade de Einstein torna os eventos assíncronos.

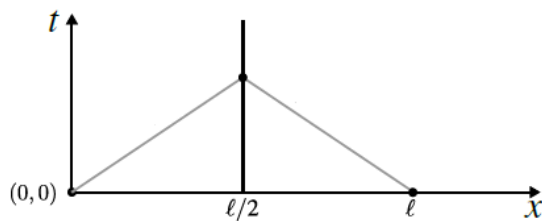


Figura 6: Gráfico feito pelo observador em repouso.

9.2 Análise dos métodos e/ou das estratégias de ensino

Análise dos métodos e/ou das estratégias de ensino

Caro (a) aluno: Peço que responda com sinceridade as questões abaixo, pois assim estará contribuindo com a qualificação do meu trabalho. Quando responder que "não" ou "às vezes" peço que justifique, na quinta coluna, de forma mais detalhada e específica possível, caso queira justificar quando assinalar "sim" não há problema. Use o verso da folha se necessário. Não é necessário se identificar. MUITO OBRIGADA.

I. Quanto ao tipo de atividade desenvolvida:

	Sim	Não	Às vezes	Justificativas
1. Foi agradável ao longo da disciplina?				
2. Oportunizou que você compreendesse o conteúdo?				
3. Foi detalhada com clareza?				

II. Qual a sua opinião sobre a(s) estratégia(s) utilizada(s) na aula? Segundo você, ela(s) auxilia(ram) no seu aprendizado? Faça críticas ou comentários referentes à(s) estratégia(s) utilizada(s)?

III. Acrescente suas sugestões ou críticas visando a melhoria do ensino desse conteúdo da Física. Use livremente o espaço abaixo.

9.3 Planos de aula do Grupo Experimental (UEPS)

Escola Estadual: Antônio de Castro Alves - Capitão Leônidas Marques, Paraná.
Público alvo: Estudantes do Ensino Médio.
Modalidade: Presencial.
Disciplina: Física.

PLANO DE AULA I

1. Dados de identificação

Professora: Claudineia de Oliveira Martins.

Disciplina: Física.

Data: 08 e 09 de agosto de 2016.

Turma: 3ª série do Ensino Médio.

Período: Matutino.

Duração: 2 aulas de 45 min.

2. Conteúdo

Pré-requisito:

Conteúdos que os alunos deverão conhecer para o acompanhamento desta aula: Mecânica Newtoniana; Referencial inercial; Relatividade de Galileu-Newton.

Conteúdo da aula de hoje: Situação inicial da UEPS (primeiro passo da UEPS). Breve histórico sobre a Teoria da Relatividade Restrita de Albert Einstein.

Próxima aula: Situação-problema inicial da UEPS (segundo passo da UEPS). Apresentar de forma resumida os conceitos básicos da Teoria da Relatividade Restrita (contração do espaço, dilatação temporal e aberração relativística) que aparecem no game “A Slower Speed of Light”.

3. Objetivo Geral

Facilitar a aquisição de significados de conceitos, de procedimentos e de aplicação básicos da teoria da Relatividade Restrita no Ensino Médio – *invariabilidade da velocidade da luz, contração do espaço, dilatação temporal, simultaneidade de eventos relativísticos, aberração relativística.*

4. Objetivos Específicos

- Conhecer a importância de Albert Einstein para o desenvolvimento da teoria da relatividade.
- Entender o contexto histórico em que a teoria da Relatividade Restrita foi desenvolvida;
- Compreender a teoria da Relatividade Restrita.
- Aprender o significado das palavras Relatividade e restrito.

5. Procedimentos

5.1 Durante a aula

5.1.1 Atividade inicial

Situação inicial da UEPS. Introdução ao tema, a partir de problematizações que serão apresentadas através de quatro questões e que serão discutidas ao longo da aula.

5.1.2 Desenvolvimento

- Fazer uma breve apresentação da UEPS, explicando qual o intuito da unidade de ensino, as atividades a serem desenvolvidas e os métodos de avaliação a serem utilizados.
- Pedir para que os alunos respondam individualmente as duas primeiras questões apresentadas. (**Questão 1:** Vocês já ouviram falar sobre Einstein?; **Questão 2:** Já ouviram falar ou leram algo sobre a teoria da Relatividade?).
- Discutir com os alunos o termo Relatividade: procurar em um dicionário o significado da palavra relatividade e restrito e anotar no quadro a definição de ambas, negociando com os alunos quais as definições que se adequam à teoria da Relatividade Restrita.
- Verificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre os conceitos de espaço e tempo por meio da questão 3. (**Questão 3:** O que você entende por espaço e tempo?).
- Utilizar a discussão com os alunos sobre o termo Relatividade para finalizar a aula com a questão 4. (**Questão 4:** Por que a teoria desenvolvida por Einstein ficou conhecida por “Teoria da Relatividade Restrita” ?).

5.1.3 Fechamento

- Aplicação do pré-teste 3 (dilatação temporal).
- Solicitar que os alunos construam um pré-mapa conceitual sobre os assuntos tratados até o momento (ou até o encontro 1).
- Entregar o texto “Uma breve história da Teoria da Relatividade Restrita” produzido pelo professor Bruno Riboldi (2015) para que os alunos leiam em casa para a próxima aula.
- Propor aos alunos que realizem como tarefa de casa uma pesquisa (em sites, periódicos impressos ou online, livros, artigos de divulgação científica, enciclopédias virtuais, etc.) sobre a Teoria da Relatividade Restrita. Tal pesquisa servirá de base para a produção de uma resenha crítica sobre o assunto na disciplina de Português. O objetivo desta atividade é mostrar os conceitos tratados na Teoria da Relatividade Restrita em um contexto mais geral e abrangente, bem como trabalhar de forma interdisciplinar com a disciplina de Português.
- Mencionar o assunto da próxima aula e solicitar a visualização do vídeo (https://www.youtube.com/watch?v=uu7jA8EHi_0) sobre “A Slower Speed of Light”, produzido pelo MIT (Massachusetts Institute of Technology). Para incentivar os alunos a visualizarem o vídeo pretende-se enviar algumas questões (formuladas a partir do vídeo) para que os alunos respondam e avaliem o game.

6. Recursos

TV pendrive, atividade interativa, quadro branco, pincéis e dicionário.

7. Metodologia

Antes da aula: Sala de aula invertida (Bergmann, 2012).

Desenvolvimento: expositiva-dialogada e atividade interativa.

Pós-aula: Leituras complementares (texto “Uma breve história da Teoria da Relatividade Restrita”). Pesquisa sobre Relatividade Restrita. Desenvolvimento de uma resenha sobre o assunto pesquisado na disciplina de português.

8. Avaliação

A avaliação da aprendizagem dos alunos consiste inicialmente na aplicação individual dos pré-testes (1 e 2). Na entrega individual das questões (1 a 4) apresentadas neste plano de aula, na construção do mapa conceitual 1 sobre o tema estudado, na elaboração da resenha 1 sobre Relatividade Restrita e na participação das atividades e discussões realizadas em sala de aula.

9. Bibliografia

EINSTEIN, A. A teoria da relatividade especial e geral, Contraponto, 132 pp. 1999.

HALLIDAY, David et al. Fundamentos de Física: **Óptica e física moderna**. vol. 4. 8ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

YOUNG, D. H.; FREEDMAN, R. A. **Física IV, Óptica e Física Moderna**. 12ª ed. São Paulo: Addison Wesley, 2009.

MOREIRA, Marco Antônio. UNIDADES DE ENSEÑANZA POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS - UEPS (Potentially Meaningful Teaching Units – PMTU). **Meaningful Learning Review**. Porto Alegre, RS, v. 1, n.2, p.43-63, 2011.

RIBOLDI, Bruno Marconi. A CONSTRUÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS) PARA ENSINAR RELATIVIDADE UTILIZANDO ANIMAÇÕES E O GAME A SLOWER SPEED OF LIGHT. **Sociedade Brasileira de Física (SBF)**, São Carlos-SP, p.1-144, 2015. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

PLANO DE AULA II

1. Dados de identificação

Professora: Claudineia de Oliveira Martins.

Disciplina: Física.

Data: 15, 16 e 22 de agosto de 2016.

Turma: 3ª série do Ensino Médio.

Período: Matutino.

Duração: 3 aulas de 45 min.

2. Conteúdo

Pré-requisito:

Conteúdos que os alunos deverão conhecer para o acompanhamento desta aula: Mecânica Newtoniana; Referencial inercial; Relatividade de Galileu-Newton; Breve histórico sobre a Teoria da Relatividade Restrita de Albert Einstein.

Conteúdo da aula de hoje: Situação-problema inicial da UEPS (segundo passo da UEPS). Apresentar de forma resumida os conceitos básicos da Teoria da Relatividade Restrita (contração do espaço, dilatação temporal e aberração relativística) que aparecem no game “A Slower Speed of Light”.

Próxima aula: Nova situação-problema em maior nível de complexidade (terceiro passo da UEPS). Propor para os alunos que estes trabalhem com três animações que tratam de fenômenos relativísticos (contração do comprimento, relógio de luz e simultaneidade de eventos).

3. Objetivo Geral

Facilitar a aquisição de significados de conceitos, de procedimentos e de aplicação básicos da teoria da Relatividade Restrita no Ensino Médio – *invariabilidade da velocidade da luz, contração do espaço, dilatação temporal, simultaneidade de eventos relativísticos, aberração relativística.*

4. Objetivos Específicos

Proporcionar condições para que os alunos possam:

- Visualizar no videojogo os efeitos: Doppler relativístico, Holofote e Terrell;

- Identificar os efeitos de aberração relativística presentes no game;
- Conseguir identificar no game, por meio da mediação do professor, os fenômenos de invariância da velocidade da luz, contração do espaço e dilatação temporal.

5. Procedimentos

5.1 Antes da aula

Os alunos serão incentivados, por meio de algumas questões (entregues a eles na aula anterior) a lerem o texto “Uma breve história da Teoria da Relatividade Restrita” produzido pelo professor Bruno Riboldi (2015) e assistirem ao vídeo (https://www.youtube.com/watch?v=uu7jA8EHi_0) sobre “A Slower Speed of Light”, produzido pelo MIT (Massachusetts Institute of Technology).

5.2 Durante a aula

5.2.1 Atividade inicial

Introdução ao tema, a partir das situações-problema que serão apresentadas enquanto os alunos, em duplas, jogam o game “A Slower Speed of Light”, produzido pelo MIT (Massachusetts Institute of Technology).

5.2.2 Desenvolvimento

- Feedback e devolutiva dos mapas conceituais e das questões (1 a 4) para os alunos.
- Fazer uma breve apresentação do game “A Slower Speed of Light”, produzido pelo MIT (Massachusetts Institute of Technology) e disponível no endereço virtual: (<http://gamelab.mit.edu/games/aslowerspeedoflight/>), explicando qual o intuito do videojogo.
- Dispor um tempo para que os alunos tenham um primeiro contato com o videojogo e aprender os comandos.
- Fazer alguns questionamentos para os alunos a partir do momento que eles estiverem familiarizados com o videojogo.

- Entregar cinco questões para que os alunos respondam enquanto jogam o game: (**Questão 5:** A velocidade da luz possui um valor máximo?; **Questão 6:** Por que quando nos movimentarmos, não percebemos os mesmos efeitos observados no jogo?; **Questão 7:** Quando quase todas as orbs foram coletadas, o que podemos visualizar quando o personagem se movimenta?; **Questão 8:** O que visualizamos quando coletamos todas as orbs?; **Questão 9:** O que enxergaríamos se pudéssemos viajar com a mesma velocidade de um raio de luz?).
- Apresentar (dar nome) aos alunos os fenômenos relativísticos presentes no game (invariância da velocidade da luz, contração do espaço, dilatação temporal e os efeitos relativísticos).
- Aplicar no encontro do dia 16/08 o pré-teste 4 (sobre o conceito de contração do comprimento).

5.2.3 Fechamento

- Solicitar que os alunos entreguem as questões propostas enquanto eles jogavam o game (as respostas serão analisadas pelo professor para verificar quais os conceitos físicos que os alunos construíram durante a interação com o game).
- Mencionar o assunto da próxima aula e solicitar a leitura do material que será entregue.
- Aplicar no encontro do dia 22/08 o pré-teste 5 (sobre o conceito de simultaneidade de eventos).

6. Recursos

Sala de informática, atividade interativa (game “A Slower Speed of Light”), quadro branco e pincéis.

7. Metodologia

Antes da aula: Sala de aula invertida (Bergmann, 2012).

Desenvolvimento: expositiva-dialogada e atividade interativa.

Pós-aula: Leituras complementares e resolução de um desafio (situação-problema).

8. Avaliação

A avaliação da aprendizagem dos alunos consiste na resolução, em dupla, das questões (5 a 9) apresentadas neste plano de aula, na aplicação dos pré-testes (4 e 5) e na resolução de um desafio (situação-problema) e demais atividades pós-aulas.

9. Bibliografia

EINSTEIN, A. A teoria da relatividade especial e geral, Contraponto, 132 pp. 1999.

HALLIDAY, David et al. Fundamentos de Física: **Óptica e física moderna**. vol. 4. 8^a. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

YOUNG, D. H.; FREEDMAN, R. A. **Física IV, Óptica e Física Moderna**. 12^a ed. São Paulo: Addison Wesley, 2009.

MOREIRA, Marco Antônio. UNIDADES DE ENSEÑANZA POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS - UEPS (Potentially Meaningful Teaching Units – PMTU). **Meaningful Learning Review**. Porto Alegre, RS, v. 1, n.2, p.43-63, 2011.

RIBOLDI, Bruno Marconi. A CONSTRUÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS) PARA ENSINAR RELATIVIDADE UTILIZANDO ANIMAÇÕES E O GAME A SLOWER SPEED OF LIGHT. **Sociedade Brasileira de Física (SBF)**, São Carlos-SP, p.1-144, 2015. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

PLANO DE AULA III

1. Dados de identificação

Professora: Claudineia de Oliveira Martins.

Disciplina: Física.

Data: 23 e 29 de agosto de 2016.

Turma: 3ª série do Ensino Médio.

Período: Matutino.

Duração: 2 aulas de 45 min.

2. Conteúdo

Pré-requisitos: Mecânica Newtoniana; Referencial inercial; Relatividade de Galileu-Newton; Breve histórico sobre a teoria da Relatividade Restrita; Conceitos básicos da Teoria da Relatividade Restrita (contração do espaço, dilatação temporal e aberração relativística) que aparecem no game “A Slower Speed of Light”.

Conteúdo da aula de hoje: Nova situação-problema em maior nível de complexidade (terceiro passo da UEPS). Propor para os alunos que estes trabalhem com três animações que tratam de fenômenos relativísticos (contração do comprimento, relógio de luz e simultaneidade de eventos).

Próxima aula: Aprofundamento do conteúdo (quarto passo da UEPS) e avaliação somativa individual (quinto passo da UEPS). Aula expositiva-dialogada sobre os conceitos de dilatação temporal, contração do espaço, a invariabilidade da velocidade da luz, simultaneidade de eventos relativísticos e o efeito da aberração relativística.

3. Objetivo Geral

Facilitar a aquisição de significados de conceitos, de procedimentos e de aplicação básicos da teoria da Relatividade Restrita no Ensino Médio – *invariabilidade da velocidade da luz, contração do espaço, dilatação temporal, simultaneidade de eventos relativísticos, aberração relativística.*

4. Objetivos Específicos

Proporcionar condições para que os alunos possam:

- Relacionar os fenômenos observados nas animações com os efeitos relativísticos presentes no game.
- Compreender o princípio da constância da velocidade da luz.
- Explicar o funcionamento do relógio de luz, para chegar ao conceito de dilatação
- temporal.
- Entender o conceito de contração do comprimento.
- Perceber a necessidade de se medir o tempo localmente.
- Definir simultaneidade.
- Conhecer a relatividade da simultaneidade.
- Reconhecer eventos simultâneos em um determinado referencial.

5. Procedimentos

5.1 Antes da aula

Leituras complementares e resolução de um desafio (situação-problema).

5.2 Durante a aula

5.2.1 Atividade inicial

Nova situação-problema em maior nível de complexidade (terceiro passo da UEPS). Introdução ao tema, a partir de problematizações que serão apresentadas enquanto os alunos, em duplas, trabalham com três animações que tratam de fenômenos relativísticos e busquem explicações para os fenômenos observados no game e posteriormente para a situação-problema apresentada, o paradoxo dos gêmeos.

5.2.2 Desenvolvimento

- Devolver as questões (5 a 9) corrigidas para os alunos.
- Fazer uma breve apresentação da atividade que será realizada nesta aula explicando qual o intuito da atividade proposta.
- Disponibilizar as três animações, que tratam dos fenômenos relativísticos (contração do espaço, dilatação temporal e simultaneidade de eventos) disponíveis em: <http://profimaradigital.pbworks.com/w/page/35211631/Programas>

), ao mesmo tempo para os alunos e salientar que cada dupla tem a opção de iniciar o trabalho pela animação de sua preferência.

- Entregar aos alunos algumas perguntas que envolvam os conceitos de tempo, espaço e referencial inercial, os quais são importantes para a compreensão dos novos conceitos apresentados nas animações (dilatação temporal, contração do espaço e simultaneidade de eventos).
- Disponibilizar aproximadamente 30 minutos para que os alunos possam trabalhar com as animações em busca de respostas para as perguntas apresentadas. Durante esse período atuar como mediador das discussões que os alunos promoverão enquanto fazem uso das animações, encorajando os alunos a compartilharem seus conhecimentos.
- Aproveitar esse momento para expor a importância dos conceitos de tempo, espaço e referencial inercial para a explicação dos fenômenos que estão presentes nas animações.
- Incentivar os alunos a deduzirem por meio do teorema de Pitágoras a expressão para a dilatação temporal a partir dos dados fornecidos na animação do “relógio de luz”.
- Propor que os alunos assistam ao vídeo sobre o “Paradoxo dos Gêmeos”, disponível em: (<https://www.youtube.com/watch?v=Jw6McOwxXs>), e em seguida buscar responder a seguinte pergunta: (**Questão 10:** Por que o tempo passou mais devagar para Bert ?).
- Aplicar no encontro do dia 23/08 o pós-teste 1 (sobre o conceito de referencial inercial).

5.2.3 Fechamento

- Trazer questões ou situações que façam os alunos pensarem sobre a situação-problema apresentada no vídeo.
- Após todos os alunos entregarem suas conclusões sobre o paradoxo do gêmeos, iniciar uma discussão coletiva a fim de buscar uma explicação para o fenômeno apresentado no Paradoxo dos Gêmeos.

- Iniciar ao final da atividade anterior uma aula dialogada em que os alunos, por meio da mediação do professor, devem discutir quais fenômenos (dilatação temporal, a contração de Lorentz, a invariabilidade da velocidade da luz e o efeito da aberração relativística) mais chamaram a atenção, bem como as suas explicações.
- Aplicar no encontro do dia 29/08 o pós-teste 2 (sobre o conceito invariância da velocidade da luz).
- Mencionar o assunto da próxima aula e solicitar a leitura do material que será entregue.

6. Recursos

Sala de informática, atividade interativa (animação), quadro branco e pincéis.

7. Metodologia

Antes da aula: Sala de aula invertida (Bergmann, 2012).

Desenvolvimento: aula dialogada e atividade interativa (animação).

Pós-aula: Leituras complementares e resolução de um desafio (situação-problema).

8. Avaliação

A avaliação da aprendizagem dos alunos consiste na resolução, em dupla, da questão (10) apresentada neste plano de aula, na aplicação dos questionários pós-teste (1 e 2), na resolução de um desafio (situação-problema) e demais atividades pós-aula propostas.

9. Bibliografia

EINSTEIN A. A teoria da relatividade especial e geral, Contraponto, 132 pp. 1999.

HALLIDAY, David et al. Fundamentos de Física: **Óptica e física moderna**. vol. 4. 8ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

YOUNG, D. H.; FREEDMAN, R. A. **Física IV, Óptica e Física Moderna**. 12^a ed. São Paulo: Addison Wesley, 2009.

MOREIRA, Marco Antônio. UNIDADES DE ENSEÑANZA POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS - UEPS (Potentially Meaningful Teaching Units – PMTU). **Meaningful Learning Review**. Porto Alegre, RS, v. 1, n.2, p.43-63, 2011.

RIBOLDI, Bruno Marconi. A CONSTRUÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS) PARA ENSINAR RELATIVIDADE UTILIZANDO ANIMAÇÕES E O GAME A SLOWER SPEED OF LIGHT. **Sociedade Brasileira de Física (SBF)**, São Carlos-SP, p.1-144, 2015. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

PLANO DE AULA IV

1. Dados de identificação

Professora: Claudineia de Oliveira Martins.

Disciplina: Física.

Data: 30 de agosto e 05 de setembro de 2016.

Turma: 3ª série do Ensino Médio.

Período: Matutino.

Duração: 2 aulas de 45 min.

2. Conteúdo

Pré-requisito: Conceitos básicos da Teoria da Relatividade Restrita (contração do espaço, dilatação temporal e aberração relativística) que aparecem no game “A Slower Speed of Light” e nas animações.

Conteúdo da aula de hoje: Aprofundamento do conteúdo (quarto passo da UEPS) e avaliação somativa individual (quinto passo da UEPS). Aula expositiva-dialogada sobre os conceitos de dilatação temporal, contração do espaço, a invariabilidade da velocidade da luz, simultaneidade de eventos relativísticos e o efeito da aberração relativística.

Próxima aula: Aula expositiva dialogada integradora final (sexto passo da UEPS). Retomar todo o conteúdo da UEPS, principalmente, os envolvidos nas animações e no videogame (invariabilidade da velocidade da luz, simultaneidade, dilatação temporal, contração de Lorentz, aberração relativística).

3. Objetivo Geral

Facilitar a aquisição de significados de conceitos básicos da teoria da Relatividade Restrita no Ensino Médio – invariabilidade da velocidade da luz, contração do espaço, dilatação temporal, simultaneidade de eventos relativísticos, aberração relativística.

4. Objetivos Específicos

Proporcionar condições para que os alunos possam:

- Sanar possíveis dúvidas que ficaram sobre os conceitos básicos da teoria da Relatividade Restrita.
- Aprender conhecimentos conceituais, procedimentais e de aplicação da teoria da Relatividade Restrita.
- Estabelecer relações entre os efeitos relativísticos presentes no game, os fenômenos estudados nas animações e os conceitos básicos da teoria da Relatividade Restrita.

5. Procedimentos

5.1 Antes da aula

Leituras complementares e resolução de um desafio (situação-problema).

5.2 Durante a aula

5.2.1 Atividade inicial

Aprofundamento do conteúdo (quarto passo da UEPS). Introdução ao tema, a partir da apresentação, discussão e resolução do paradoxo do trem.

5.2.2 Desenvolvimento

- Iniciar a aula com a apresentação do paradoxo do trem. O objetivo dessa abordagem é fazer os alunos pensarem sobre o conteúdo.
- Mencionar o paradoxo do celeiro e os conceitos envolvidos nessa situação com o objetivo de causar um incômodo aos estudantes motivando-os a querer pensar sobre o assunto.
- Propor uma aula dialogada em que os alunos, por meio da mediação do professor, devem discutir quais os fenômenos relativísticos que mais chamaram a atenção, bem como as suas explicações.
- Iniciar uma aula expositiva sobre os conceitos básicos da teoria da Relatividade Restrita presentes no game e nas animações.

5.2.3 Fechamento

- Aplicar o questionário pós-teste 3 (sobre o conceito de dilatação temporal) no encontro do dia 30/08.
- Avaliação somativa individual (quinto passo da UEPS) no encontro do dia 05/09.
- Mencionar o assunto da próxima aula e solicitar a leitura do material que será entregue.

6. Recursos

TV pendrive, quadro branco e pincéis.

7. Metodologia

Antes da aula: Sala de aula invertida (Bergmann, 2012).

Desenvolvimento: expositiva-dialogada e resolução do paradoxo do trem.

Pós-aula: Leituras complementares e resolução de um desafio (situação-problema).

8. Avaliação

A avaliação da aprendizagem dos alunos consiste na aplicação do pós-teste 2, na avaliação somativa individual, na resolução de um desafio (situação-problema) e demais atividades pós-aula.

9. Bibliografia

Einstein, A. A teoria da relatividade especial e geral, Contraponto, 132 pp. 1999.

HALLIDAY, David et al. Fundamentos de Física: **Óptica e física moderna**. vol. 4. 8ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

YOUNG, D. H.; FREEDMAN, R. A. **Física IV, Óptica e Física Moderna**. 12ª ed. São Paulo: Addison Wesley, 2009.

MOREIRA, Marco Antônio. UNIDADES DE ENSEÑANZA POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS - UEPS (Potentially Meaningful Teaching Units – PMTU). **Meaningful Learning Review**. Porto Alegre, RS, v. 1, n.2, p.43-63, 2011.

RIBOLDI, Bruno Marconi. A CONSTRUÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS) PARA ENSINAR RELATIVIDADE UTILIZANDO ANIMAÇÕES E O GAME A SLOWER SPEED OF LIGHT. **Sociedade Brasileira de Física (SBF)**, São Carlos-SP, p.1-144, 2015. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

PLANO DE AULA V

1. Dados de identificação

Professora: Claudineia de Oliveira Martins.

Disciplina: Física.

Data: 06, 12 e 13 de setembro de 2016.

Turma: 3ª série do Ensino Médio.

Período: Matutino.

Duração: 2 aulas de 45 min.

2. Conteúdo

Pré-requisito: Conceitos básicos da teoria da Relatividade Restrita (invariabilidade da velocidade da luz, contração do espaço, dilatação temporal, simultaneidade de eventos relativísticos, aberração relativística).

Conteúdo da aula de hoje: Aula expositiva dialogada integradora final (sexto passo da UEPS). Retomar todo o conteúdo da UEPS, principalmente, os envolvidos nas animações e no videogame (invariabilidade da velocidade da luz, simultaneidade, dilatação temporal, contração de Lorentz, aberração relativística).

Próxima aula: Avaliação da própria UEPS (oitavo passo da UEPS) que será realizada no dia 13 de setembro de 2016, finalização da elaboração de uma pós-resenha crítica e feedback das atividades realizadas nos encontros 13 e 14.

3. Objetivo Geral

Facilitar a aquisição de significados de conceitos, de procedimentos e de aplicação básicos da teoria da Relatividade Restrita no Ensino Médio – *invariabilidade da velocidade da luz, contração do espaço, dilatação temporal, simultaneidade de eventos relativísticos, aberração relativística.*

4. Objetivos Específicos

Proporcionar condições para que os alunos possam:

- Compreender os conceitos básicos da teoria da Relatividade Restrita.
- Relacionar o paradoxo dos gêmeos, do celeiro e do trem com os conceitos de dilatação temporal e contração do espaço.
- Estabelecer relações entre as animações, o game e os conceitos básicos da teoria da Relatividade Restrita.
- Aprender conhecimentos conceituais, procedimentais e de aplicação da teoria da Relatividade Restrita.
- Entender porque não enxergamos os efeitos da dilatação temporal e da contração do espaço em situações cotidianas.

5. Procedimentos

5.1 Antes da aula

Leituras complementares e resolução de um desafio (situação-problema).

5.2 Durante a aula

5.2.1 Atividade inicial

Aula expositiva dialogada integradora final (sexto passo da UEPS). Retomar todo o conteúdo da UEPS.

5.2.2 Desenvolvimento

- Iniciar a aula com uma situação que envolva a Mecânica Clássica e a Relatividade com o objetivo de fazer os alunos pensarem sobre o porquê da limitação da Mecânica Clássica para objetos a altas velocidades.
- Calcular junto com os alunos, usando a adição das velocidades da Mecânica Clássica e Relativística, as velocidades relativas para objetos a altas velocidades, mostrando o porquê da limitação da teoria Clássica para objetos a altas velocidades.
- Retomar, por meio de uma aula expositiva, todo o conteúdo envolvidos nas animações e no videogame (invariabilidade da velocidade da luz, simultaneidade, dilatação temporal, contração de Lorentz, aberração relativística).

5.2.3 Fechamento

- Iniciar uma discussão coletiva acerca das questões propostas na avaliação individual, sanando portanto, as lacunas que ficaram durante a exposição dos conceitos.
- Aplicar o questionário pós-teste 4 sobre o conceito de contração do espaço no encontro do dia 06/09.
- Aplicar o questionário pós-teste 5 sobre o conceito de simultaneidade de eventos no encontro do dia 12/09.
- Avaliação da UEPS (oitavo passo da UEPS) pelos alunos por meio da aplicação de questionário pós-aplicação da UEPS no encontro do dia 13/09.
- Finalização da pós-resenha crítica.
- Finalização da UEPS.

6. Recursos

TV pendrive, quadro branco e pincéis.

7. Metodologia

Antes da aula: Sala de aula invertida (Bergmann, 2012).

Desenvolvimento: expositiva-dialogada.

Pós-aula: não tem.

8. Avaliação

A avaliação da aprendizagem dos alunos consiste na aplicação dos pós-testes (4 e 5), na elaboração da resenha 2 e na resolução de um desafio (e demais atividades pós-aula).

9. Bibliografia

Einstein, A. A teoria da relatividade especial e geral, Contraponto, 132 pp. 1999.

HALLIDAY, David et al. Fundamentos de Física: **Óptica e física moderna**. vol. 4. 8ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

YOUNG, D. H.; FREEDMAN, R. A. **Física IV, Óptica e Física Moderna**. 12^a ed. São Paulo: Addison Wesley, 2009.

MOREIRA, Marco Antônio. UNIDADES DE ENSEÑANZA POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS - UEPS (Potentially Meaningful Teaching Units – PMTU). **Meaningful Learning Review**. Porto Alegre, RS, v. 1, n.2, p.43-63, 2011.

RIBOLDI, Bruno Marconi. A CONSTRUÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS) PARA ENSINAR RELATIVIDADE UTILIZANDO ANIMAÇÕES E O GAME A SLOWER SPEED OF LIGHT. **Sociedade Brasileira de Física (SBF)**, São Carlos-SP, p.1-144, 2015. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

9.4 Planos de aula do Grupo de Controle

PLANO DE AULA I

1. Dados de identificação

Professora: Claudineia de Oliveira Martins.

Disciplina: Física.

Data: 8 e 9 de agosto de 2016.

Turma: 3ª série do Ensino Médio.

Período: Matutino.

Duração: 2 aulas de 45 min.

2. Conteúdo

Pré-requisito: Mecânica Newtoniana; Referencial inercial; Relatividade de Galileu-Newton.

Conteúdo da aula de hoje: Medidas de tempo e espaço. Sistema de coordenadas. Referenciais (inerciais e não inerciais).

Próxima aula: Breve histórico da teoria da relatividade. Experimento de Michelson e Morley. Princípios da relatividade.

3. Objetivos Gerais

Facilitar a aquisição de significados de conceitos, de procedimentos e de aplicação básicos da teoria da Relatividade Restrita.

4. Objetivos Específicos

Proporcionar condições para que os alunos possam:

- Perceber a necessidade de se medir o tempo localmente.
- Conhecer a importância de Albert Einstein para o desenvolvimento da teoria da relatividade.
- Entender o contexto histórico em que a teoria da Relatividade Restrita foi desenvolvida.
- Aprender o significado das palavras Relatividade e restrito.
- Compreender o princípio da constância da velocidade da luz.

- Aprender conhecimentos conceituais, procedimentais e de aplicação da teoria da Relatividade Restrita.

5. Procedimentos

5.1 Antes da aula

Sem atividades.

5.2 Durante a aula

5.2.1 Atividade inicial

Introdução ao tema, a partir de problematizações que serão apresentadas através de imagens e questionamentos que serão discutidas ao longo da aula.

5.2.2 Desenvolvimento

- Apresentação da disciplina e dos métodos de avaliação.
- Iniciar a aula verificando os conhecimentos prévios dos alunos sobre os conceitos de espaço e tempo por meio da questão 3. (**Questão 3:** O que você entende por espaço e tempo?).
- Fazer uma breve abordagem histórica sobre a descrição do movimento explicando como eram feitas as medidas de tempo e espaço.
- Explicar como são feitas as medidas de espaço.
- Definir a distância entre dois pontos.
- Utilizar o conceito de distância para mostrar como podemos criar um sistema de coordenadas.
- Discutir a definição de tempo.
- Voltar a discutir a descrição do movimento ressaltando agora a importância de se medir tempo e espaço para descrever de um evento.
- Usar a questão do espaço e sistemas de coordenadas (já discutidos) para explicar qual é o objetivo de um referencial e partir desse objetivo explicar o que é um referencial.
- Expor o que a primeira lei de Newton diz e utilizá-la para explicar o que é um referencial inercial.
- Destacar a importância do sistema de coordenadas para descrever fenômenos físicos.

5.2.3 Fechamento

- Propor aos alunos que eles resolvam, em sala de aula, em duplas, a lista de exercícios 1.
- Aplicação do pós-teste 1 (referencial inercial).
- Aplicação do pré-teste 3 (dilatação temporal).
- Mencionar o assunto da próxima aula e solicitar a leitura do texto “Uma breve história da Teoria da Relatividade Restrita” produzido pelo professor Bruno Riboldi (2015) que será entregue aos estudantes e anotações de dúvidas que serão discutidas no início da próxima aula.

6. Recursos

TV pendrive, atividade interativa, quadro branco e dicionário.

7. Metodologia

Antes da aula: Sala de aula invertida (Bergmann, 2012).

Desenvolvimento: Expositiva-dialogada, imagens e resolução de exercícios conceituais e formais.

Pós-aula: Resolução da lista de exercícios 1 e de um desafio sobre a próxima aula.

8. Avaliação

O aproveitamento dos alunos serão avaliados a partir da resolução da lista de exercícios 1, da aplicação do pós-teste 1, aplicação do pré-teste 3 e demais atividades pós-aulas.

9. Bibliografia

Einstein, A. A teoria da relatividade especial e geral, Contraponto, 132 pp. 1999.

HALLIDAY, David et al. Fundamentos de Física: **Óptica e física moderna**. vol. 4. 8^a. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

YOUNG, D. H.; FREEDMAN, R. A. **Física IV, Óptica e Física Moderna**. 12^a ed. São Paulo: Addison Wesley, 2009.

PLANO DE AULA II

1. Dados de identificação

Professora: Claudineia de Oliveira Martins.

Disciplina: Física.

Data: 15, 16 e 22 de agosto de 2016.

Turma: 3ª série do Ensino Médio.

Período: Matutino.

Duração: 2 aulas de 45 min.

2. Conteúdo

Pré-requisito: Medidas de tempo e espaço. Sistema de coordenadas. Referenciais inerciais.

Conteúdo da aula de hoje: Breve histórico da teoria da relatividade. Experimento de Michelson e Morley. Princípios da relatividade.

Próxima aula: Simultaneidade de eventos relativísticos.

3. Objetivo Geral

Facilitar a aquisição de significados de conceitos, de procedimentos e de aplicação básicos da teoria da Relatividade Restrita.

4. Objetivos Específicos

Proporcionar condições para que os alunos possam:

- Conhecer a importância de Albert Einstein para o desenvolvimento da teoria da relatividade.
- Entender o contexto histórico em que a teoria da Relatividade Restrita foi desenvolvida.
- Compreender a teoria da Relatividade Restrita.
- Aprender o significado das palavras Relatividade e restrito.

5. Procedimentos

5.1 Antes da aula

Alunos leem o texto “Uma breve história da Teoria da Relatividade Restrita” produzido pelo professor Bruno Riboldi (2015) e anotam suas dúvidas.

Será incentivado que eles consultem outros materiais como vídeo aulas. Algumas dessas dúvidas são discutidas em sala de aula (Bergmann, 2012).

5.2 Durante a aula

5.2.1 Atividade inicial

Introdução ao tema, a partir de problematizações que serão apresentadas através de três questões e que serão discutidas ao longo da primeira aula.

5.2.2 Desenvolvimento

- Iniciar a aula pedindo para que os alunos respondam individualmente às duas primeiras questões apresentadas. (**Questão 1:** Vocês já ouviram falar sobre Einstein?; **Questão 2:** Já ouviram falar ou leram algo sobre a teoria da Relatividade?);
- Expor aos alunos o significado da palavra relatividade e restrito;
- Pedir para que os alunos respondam a questão 4 (**Questão 4:** Por que a teoria desenvolvida por Einstein ficou conhecida por “Teoria da Relatividade Restrita” ?);
- Depois que os alunos responderem a questão 4, fazer um breve histórico sobre a teoria da Relatividade expondo porque a teoria desenvolvida por Einstein ficou conhecida como Teoria da Relatividade Restrita;
- Explicar o experimento de Michelson e Morley e em seguida apresentar os princípios da Relatividade.

5.2.3 Fechamento

- Sintetizar o conteúdo discutindo as consequências desses princípios e da resolução de um exercício sobre o assunto estudado;
- Aplicação do pós-teste 2 (invariância da velocidade da luz).
- Propor aos alunos que eles resolvam uma lista de exercícios (lista de exercícios 2) que será disponibilizada a eles;
- Mencionar o assunto da próxima aula e solicitar a elaboração de uma resenha sobre Relatividade como tarefa de casa;

- Aplicação dos pré-testes 4 (contração do comprimento) e 5 (simultaneidade de eventos).

6. Recursos

TV pendrive, atividade interativa, quadro branco e dicionário.

7. Metodologia

Antes da aula: Sala de aula invertida (Bergmann, 2012).

Desenvolvimento: expositiva-dialogada.

Pós-aula: Resolução da lista de exercícios 2 e elaboração de uma resenha sobre Relatividade.

8. Avaliação

O aproveitamento dos alunos será feito a partir da resolução de uma lista de exercícios, disponibilizada a eles ao final da aula, da elaboração de uma resenha sobre Relatividade e da aplicação dos pré-testes 4 (contração do comprimento) e 5 (simultaneidade de eventos) e do pós-teste 2 (invariância da velocidade da luz).

9. Bibliografia

Einstein, A. A teoria da relatividade especial e geral, Contraponto, 132 pp. 1999.

HALLIDAY, David et al. Fundamentos de Física: **Óptica e física moderna**. vol. 4. 8^a. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

YOUNG, D. H.; FREEDMAN, R. A. **Física IV, Óptica e Física Moderna**. 12^a ed. São Paulo: Addison Wesley, 2009.

PLANO DE AULA III

1. Dados de identificação

Professora: Claudineia de Oliveira Martins.

Disciplina: Física.

Data: 23 e 29 de agosto de 2016.

Turma: 3ª série do Ensino Médio.

Período: Matutino.

Duração: 2 aulas de 45 min.

2. Conteúdo

Pré-requisito: Medidas de tempo e espaço. Sistema de coordenadas. Referenciais inerciais. Breve histórico da teoria da relatividade. Experimento de Michelson e Morley. Princípios da relatividade.

Conteúdo da aula de hoje: Invariância da velocidade da luz. Simultaneidade de eventos relativísticos.

Próxima aula: Dilatação temporal e o paradoxo dos gêmeos.

3. Objetivo Geral

Facilitar a aquisição de significados de conceitos, de procedimentos e de aplicação básicos da teoria da Relatividade Restrita.

4. Objetivos Específicos

Proporcionar condições para que os alunos possam:

- Compreender os postulados da Teoria da Relatividade Restrita.
- Compreender o princípio da constância da velocidade da luz.
- Perceber a necessidade de se medir o tempo localmente.
- Definir simultaneidade.
- Conhecer a relatividade da simultaneidade.
- Reconhecer eventos simultâneos em um determinado referencial.

5. Procedimentos

5.1 Antes da aula

Será incentivado que eles consultem materiais ou vídeo aulas que tratam do assunto e anotem suas dúvidas. Algumas dessas dúvidas são discutidas em sala de aula (Bergmann, 2012).

5.2 Durante a aula

5.2.1 Atividade inicial

Introdução ao tema, a partir de problematizações que serão apresentadas e discutidas ao longo da aula.

5.2.2 Desenvolvimento

- Relembrar os postulados da Teoria da Relatividade vistos na aula anterior;
- Apresentar as consequências do segundo postulado de Einstein: Invariância da velocidade da luz;
- Utilizar um simulador (http://escolanusai.pbworks.com/f/sincronizacao_de_relogios.swf) para explicar a sincronização dos relógios propostas por Einstein;
- Explicar a importância de se medir o tempo localmente (http://escolanusai.pbworks.com/f/sincronizacao_de_relogios_2.swf);
- Relembrar com os estudantes a importância de um referencial para descrever um evento;
- Uso de uma animação (<http://escolanusai.pbworks.com/f/simultaneidade.swf>) para explicar o fenômeno da simultaneidade;
- Propor uma situação na qual os alunos devem identificar eventos simultâneos em um determinado referencial;

5.2.3 Fechamento

- Sintetizar o conteúdo discutindo as consequências do fenômeno da simultaneidade e da resolução de um exercício sobre o assunto;
- Aplicação do pós-teste 5 (simultaneidade de eventos).
- Propor aos alunos que eles resolvam, em sala, em duplas, a lista de exercícios 3;

- Mencionar o assunto da próxima aula e solicitar que os alunos assistam ao vídeo sobre o paradoxo dos gêmeos (<https://www.youtube.com/watch?v=Jw6McOwxfs>) buscando responder a seguinte questão: Porque o tempo passou mais rápido para Bert?

6. Recursos

TV pendrive, atividade interativa, quadro branco e dicionário.

7. Metodologia

Antes da aula: Sala de aula invertida (Bergmann, 2012).

Desenvolvimento: Expositiva-dialogada, imagens e resolução de exercícios conceituais e formais.

Pós-aula: Resolução da lista de exercícios 3 e de um desafio e de um desafio sobre o fenômeno dilatação temporal para a próxima aula.

8. Avaliação

O aproveitamento dos alunos será feito a partir da resolução da lista de exercícios 3, disponibilizada a eles ao final da aula, da resolução de um desafio sobre o fenômeno da dilatação temporal e da aplicação do pós-teste 5 (simultaneidade de eventos).

9. Bibliografia

Einstein, A. A teoria da relatividade especial e geral, Contraponto, 132 pp. 1999.

HALLIDAY, David et al. Fundamentos de Física: **Óptica e física moderna**. vol. 4. 8ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

YOUNG, D. H.; FREEDMAN, R. A. **Física IV, Óptica e Física Moderna**. 12ª ed. São Paulo: Addison Wesley, 2009.

PLANO DE AULA IV

1. Dados de identificação

Professora: Claudineia de Oliveira Martins.

Disciplina: Física.

Data: 30 de agosto e 05 de setembro de 2016.

Turma: 3ª série do Ensino Médio.

Período: Matutino.

Duração: 2 aulas de 45 min.

2. Conteúdo

Pré-requisito: Medidas de tempo e espaço. Sistema de coordenadas. Referenciais inerciais. Breve histórico da teoria da relatividade. Experimento de Michelson e Morley. Princípios da relatividade. Invariância da velocidade da luz. Simultaneidade de eventos relativísticos.

Conteúdo da aula de hoje: Dilatação temporal (e o paradoxo dos gêmeos).

Próxima aula: Contração de Lorentz (e o Paradoxo do Celeiro).

3. Objetivo Geral

Facilitar a aquisição de significados de conceitos, de procedimentos e de aplicação básicos da teoria da Relatividade Restrita.

4. Objetivos Específicos

Proporcionar condições para que os alunos possam:

- Compreender o princípio da constância da velocidade da luz.
- Explicar o funcionamento do relógio de luz, para chegar ao fenômeno da dilatação temporal.
- Entender porque não enxergamos os efeitos da dilatação temporal em situações cotidianas.
- Relacionar o paradoxo dos gêmeos com o fenômeno da dilatação temporal e contração do espaço.
- Aprender conhecimentos conceituais, procedimentais e de aplicação da teoria da Relatividade Restrita.
- Compreender os conceitos básicos da teoria da Relatividade Restrita.

5. Procedimentos

5.1 Antes da aula

Alunos assistem ao vídeo sobre o paradoxo dos gêmeos (<https://www.youtube.com/watch?v=Jw6McOwxfXs>) buscando responder a seguinte questão: Porque o tempo passou mais rápido para Bert?

5.2 Durante a aula

5.2.1 Atividade inicial

Introdução ao tema, a partir de problematizações que serão apresentadas através da seguinte questão: Porque o tempo passou mais devagar para Bert? e que será discutida ao longo da primeira aula.

5.2.2 Desenvolvimento

- Iniciar aula com o vídeo sobre o paradoxo dos gêmeos (<https://www.youtube.com/watch?v=Jw6McOwxfXs>);
- Incentivar os estudantes a responderem a seguinte questão: Porque o tempo passou mais rápido para Bert?;
- Relembrar com os estudantes a importância de um referencial para descrever um evento;
- Uso de uma animação (http://escolanusai.pbworks.com/f/relogios_relativisticos.swf) para explicar o fenômeno da dilatação temporal;
- Deduzir em sala de aula a expressão para a dilatação temporal a partir dos dados fornecidos na animação do “relógio de luz”;
- Resolver uma questão que envolva o fenômeno da dilatação temporal.

5.2.3 Fechamento

- Sintetizar o conteúdo discutindo as consequências do fenômeno da dilatação temporal e da resolução de um exercício sobre o assunto;
- Aplicação do pós-teste 3 (dilatação temporal);
- Propor aos alunos que eles resolvam, em sala, em duplas, a lista de exercícios 4;

- Mencionar o assunto da próxima aula e solicitar que os alunos assistam ao vídeo sobre o paradoxo do trem (<https://www.youtube.com/watch?v=Xrqj88zQZJq>), buscando responder a seguinte questão: O trem será cortado em alguma extremidade?

6. Recursos

TV pendrive, atividade interativa, quadro branco e dicionário.

7. Metodologia

Antes da aula: Sala de aula invertida (Bergmann, 2012).

Desenvolvimento: Expositiva-dialogada, imagens e resolução de exercícios conceituais e formais.

Pós-aula: Resolução da lista de exercícios 4 e de um desafio sobre o fenômeno da contração do comprimento para a próxima aula.

8. Avaliação

O aproveitamento dos alunos será feito a partir da resolução da lista de exercícios 4, de um desafio sobre o fenômeno da contração do comprimento e da aplicação do pós-teste 3 (dilatação temporal).

9. Bibliografia

EINSTEIN, A. A teoria da relatividade especial e geral, Contraponto, 132 pp. 1999.

HALLIDAY, David et al. Fundamentos de Física: **Óptica e física moderna**. vol. 4. 8^a. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

YOUNG, D. H.; FREEDMAN, R. A. **Física IV, Óptica e Física Moderna**. 12^a ed. São Paulo: Addison Wesley, 2009.

PLANO DE AULA V

1. Dados de identificação

Professora: Claudineia de Oliveira Martins.

Disciplina: Física.

Data: 30 de agosto e 05 de setembro de 2016.

Turma: 3ª série do Ensino Médio.

Período: Matutino.

Duração: 2 aulas de 45 min.

2. Conteúdo

Pré-requisito: Medidas de tempo e espaço. Sistema de coordenadas. Referenciais inerciais. Breve histórico da teoria da relatividade. Experimento de Michelson e Morley. Princípios da relatividade. Simultaneidade de eventos relativísticos. Dilatação temporal (e o paradoxo dos gêmeos).

Conteúdo da aula de hoje: Contração de Lorentz (e o Paradoxo do Celeiro).

Próxima aula: Aberração relativística (efeito Doppler, efeito holofote e efeito Terrell).

3. Objetivo Geral

Facilitar a aquisição de significados de conceitos, de procedimentos e de aplicação básicos da teoria da Relatividade Restrita.

4. Objetivos Específicos

Proporcionar condições para que os alunos possam:

- Compreender o fenômeno da contração do comprimento.
- Entender porque não enxergamos os efeitos da dilatação temporal e da contração do espaço em situações cotidianas.
- Compreender os conceitos básicos da teoria da Relatividade Restrita.
- Relacionar o paradoxo dos gêmeos, do celeiro e do trem com os conceitos de dilatação temporal e contração do espaço.
- Aprender conhecimentos conceituais, procedimentais e de aplicação da teoria da Relatividade Restrita.

5. Procedimentos

5.1 Antes da aula

Alunos assistem ao vídeo sobre o paradoxo do trem (<https://www.youtube.com/watch?v=Xrqj88zQZJg>), buscando responder a seguinte questão: O trem será cortado em alguma extremidade?

5.2 Durante a aula

5.2.1 Atividade inicial

Introdução ao tema, a partir de uma questão que será fornecida aos estudantes sobre o paradoxo do trem.

5.2.2 Desenvolvimento

- Iniciar aula com o vídeo sobre o paradoxo do trem (<https://www.youtube.com/watch?v=Xrqj88zQZJg>);
- Incentivar os estudantes a responderem a seguinte questão: Um túnel sobre os trilhos tem o comprimento próprio um pouco menor que o do trem que o circula. Este trem viaja com velocidade constante em relação ao trilho. No referencial dos trilhos, e do túnel, o trem apresenta contração de Lorentz suficiente para que haja um intervalo de tempo em que o trem esteja totalmente dentro do túnel. Nas extremidades do túnel foram instaladas guilhotinas gigantes que têm a capacidade de cortar o trem. No instante em que o trem está no centro do túnel, o centro do trem e do túnel coincidem, as guilhotinas são acionadas e retraídas rapidamente (considere infinitamente rápido) simultaneamente no referencial do túnel. A pergunta é: o trem será cortado em alguma extremidade?
- Relembrar com os estudantes a importância de um referencial para descrever um evento;
- Uso de uma animação (http://escolanusai.pbworks.com/f/contracao_comprimento.swf) para explicar o fenômeno da contração do comprimento;

5.2.3 Fechamento

- Sintetizar o conteúdo discutindo as consequências do fenômeno da contração do comprimento e da resolução de um exercício sobre o assunto estudado;
- Aplicação do pós-teste 4 (contração do comprimento);
- Propor aos alunos que eles resolvam, em sala, em duplas, a lista de exercícios 5;
- Mencionar o assunto da próxima aula e solicitar que os alunos acessem o endereço virtual (<http://gamelab.mit.edu/games/a-slower-speed-of-light/>) realizem o download do game “A Slower Speed of Light”, produzido pelo MIT (Massachusetts Institute of Technology) e joguem o game, buscando responder a seguinte questão: O que poderíamos ver se viajássemos montados em um raio de luz?

6. Recursos

TV pendrive, atividade interativa, quadro branco e dicionário.

7. Metodologia

Antes da aula: Sala de aula invertida (Bergmann, 2012).

Desenvolvimento: Expositiva-dialogada, imagens e resolução de exercícios conceituais e formais.

Pós-aula: Resolução da lista de exercícios 5.

8. Avaliação

O aproveitamento dos alunos será feito a partir da resolução da lista de exercícios 5 e da aplicação do pós-teste 4 (contração do comprimento).

9. Bibliografia

Einstein, A. A teoria da relatividade especial e geral, Contraponto, 132 pp. 1999.

HALLIDAY, David et al. Fundamentos de Física: **Óptica e física moderna**. vol. 4. 8^a. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

YOUNG, D. H.; FREEDMAN, R. A. **Física IV, Óptica e Física Moderna**. 12^a ed. São Paulo: Addison Wesley, 2009.

PLANO DE AULA VI

1. Dados de identificação

Professora: Claudineia de Oliveira Martins.

Disciplina: Física.

Data: 30 de agosto e 05 de setembro de 2016.

Turma: 3ª série do Ensino Médio.

Período: Matutino.

Duração: 2 aulas de 45 min.

2. Conteúdo

Pré-requisito: Medidas de tempo e espaço. Sistema de coordenadas. Referenciais inerciais. Breve histórico da teoria da relatividade. Experimento de Michelson e Morley. Princípios da relatividade. Simultaneidade de eventos relativísticos. Dilatação temporal (e o paradoxo dos gêmeos). Contração de Lorentz (e o Paradoxo do Celeiro).

Conteúdo da aula de hoje: Aberração relativística (efeito Doppler, efeito holofote e efeito Terrell).

3. Objetivo Geral

Facilitar a aquisição de significados de conceitos, de procedimentos e de aplicação básicos da teoria da Relatividade Restrita.

4. Objetivos Específicos

Proporcionar condições para que os alunos possam:

- Estabelecer relações entre os efeitos relativísticos presentes no game, os fenômenos estudados nas animações e os conceitos básicos da teoria da Relatividade Restrita.
- Entender porque não enxergamos os efeitos da contração do espaço em situações cotidianas.
- Compreender os conceitos básicos da teoria da Relatividade Restrita.
- Relacionar o paradoxo do celeiro e do trem com o fenômeno da contração do espaço.

- Sanar possíveis dúvidas que ficaram sobre os conceitos básicos da teoria da Relatividade Restrita.

5. Procedimentos

5.1 Antes da aula

Alunos acessam o endereço virtual (<http://gamelab.mit.edu/games/a-slower-speed-of-light/>) realizam o download do game “A Slower Speed of Light”, produzido pelo MIT (Massachusetts Institute of Technology) e respondem algumas questões (formuladas a partir do game).

5.2 Durante a aula

5.2.1 Atividade inicial

Introdução ao tema, a partir de problematizações que serão apresentadas através de seis questões que serão discutidas ao longo da primeira aula.

5.2.2 Desenvolvimento

- Iniciar a aula com o seguinte questionamento: O que poderíamos ver se viajássemos montados em um raio de luz?
- Incentivar os estudantes a buscar explicações parece o questionamento feito anteriormente lembrando os fenômenos relativísticos vistos em sala de aula.
- Apresentar um vídeo (<https://www.youtube.com/watch?v=JQnHTKZBTI4>) que mostra quais seriam os efeitos de se viajar próximo à velocidade da luz.
- Utilizar o game a Slower Speed of Light para apresentar os efeitos relativísticos (Doppler, Holofote e Terrell) para os estudantes.

5.2.3 Fechamento

- Sintetizar o conteúdo apresentado de forma resumida os efeitos relativísticos presentes no game com os conteúdos vistos em sala de aula.
- Aplicação da avaliação somativa individual na aula do dia 30/08.

- Recuperação da avaliação somativa individual na aula do dia 05/09.
- Finalização e avaliação da disciplina.

6. Recursos

TV pendrive, atividade interativa, quadro branco e dicionário.

7. Metodologia

Antes da aula: Sala de aula invertida (Bergmann, 2012).

Desenvolvimento: Expositiva-dialogada, imagens e resolução de exercícios conceituais e formais.

Pós-aula: Sem atividades.

8. Avaliação

O aproveitamento dos alunos será feito a partir da resolução das questões formuladas sobre o game e da aplicação de uma avaliação individual sobre Relatividade Restrita.

9. Bibliografia

Einstein, A. A teoria da relatividade especial e geral, Contraponto, 132 pp. 1999.

HALLIDAY, David et al. Fundamentos de Física: **Óptica e física moderna**. vol. 4. 8^a. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

YOUNG, D. H.; FREEDMAN, R. A. **Física IV, Óptica e Física Moderna**. 12^a ed. São Paulo: Addison Wesley, 2009.

9.5 Prova

Escola Estadual Antônio de castro Alves **Nota:** _____

**Avaliação somativa final, Disciplina de Física - Prof^ª. Claudineia O.
Martins**

Nome: _____ **Nº** _____ **Turma:** _____

- 1. (1,0 ponto)** Quem foi Albert Einstein? Justifique.

- 2. (1,0 ponto)** O que vocês sabem sobre a Teoria da Relatividade? Justifique.

- 3. (1,0 ponto)** O que você entende por espaço e tempo? Justifique.

- 4. (1,0 ponto)** Por que a teoria desenvolvida por Einstein ficou conhecida por "Teoria da Relatividade Restrita" ? Justifique.

As questões de 5 a 9 são referentes ao game "a slower speed of light" (uma velocidade mais baixa da luz). Isto não significa que você não possa usar os conhecimentos adquiridos no decorrer de nossas aulas, pelo contrário deve usá-los.

- 5. (1,0 ponto)** A velocidade da luz possui um valor máximo? Justifique.

6. (1,0 ponto) Por que quando nos movimentarmos, não percebemos os mesmos efeitos observados no jogo? Justifique.

7. (1,0 ponto) Quando quase todas as orbs foram coletadas, o que podemos visualizar quando o personagem se movimenta? Justifique.

8. (1,0 ponto) O que visualizamos quando coletamos todas as orbs? Justifique.

9. (1,0 ponto) O que enxergaríamos se pudéssemos viajar com a mesma velocidade de um raio de luz? Justifique.

A questão 10 envolve o vídeo que vocês assistiram sobre o paradoxo dos gêmeos.

10. (1,0 ponto) Por que o tempo passou mais devagar para Bert?