

**A CONSTRUÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE
SIGNIFICATIVA (UEPS) PARA ENSINAR RELATIVIDADE UTILIZANDO
ANIMAÇÕES E O GAME *A SLOWER SPEED OF LIGHT***

Bruno Marconi Riboldi

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa PROFIS da Universidade Federal de São Carlos no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:

Prof. Dr. Nelson Studart Filho

São Carlos - SP

2015

Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da Biblioteca Comunitária UFSCar
Processamento Técnico
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R486c 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 / Bruno Marconi Riboldi. -- São
Carlos : UFSCar, 2016.
115 p.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de
São Carlos, 2015.

1. Ensino de física. 2. Unidade de ensino
potencialmente significativa. 3. Teoria da
relatividade restrita. I. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Bruno Marconi Riboldi, realizada em 21/12/2015:

Prof. Dr. Nelson Studart Filho
UFSCar

Profa. Dra. Nilva Lúcia Lombardi Sales
UFTM

Prof. Dr. Alexandre José Gualdi
UFSCar

Prof. Dr. Anibal Thiago Bezerra
UNIFAL

Dedico esta, bem como todas as minhas demais conquistas, aos meus amados pais José e Neusa e minha irmã Aline.

Agradecimentos

Quero agradecer, em primeiro lugar, a Deus, por ter me dado saúde e força para superar os obstáculos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Nelson Studart Filho, pela singular dedicação e interesse na orientação dessa dissertação. É, simplesmente, uma satisfação poder ter percorrido esta trajetória sob os cuidados de uma pessoa com sua experiência e entusiasmo.

Agradeço à minha companheira Olívia 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 professores Marcel Novais, Priscila Azevedo, Gustavo Rojas, Paulo Camargo e Marlon Pessanha que tanto colaboraram para a minha formação.

Agradeço à Profa. Dra. Ducinei Garcia, coordenadora do Polo 18 UFSCar, cujo trabalho hercúleo garantiu o funcionamento deste programa de mestrado.

Aos meus colegas, integrantes da primeira turma do MNPEF – Polo 18 UFSCar, Fernando, Nivaldo, Carina, Herbert, Rodrigo, Renato e João, companheiros que seguiram junto comigo esta caminhada e que me proporcionaram momentos inesquecíveis e valiosos ensinamentos.

Aos amigos Evandro e Raphael, que sempre estiveram presentes e me encorajaram para seguir em frente.

Ao meu avô Geraldo, “*In Memoriam*”, que sempre me incentivou a perseverar nos estudos.

Ao meu tio Mário, que me ensina a beleza da paciência e da serenidade.

Aos alunos que participaram da aplicação do material pelas importantes sugestões para seu aperfeiçoamento.

Aos colegas professores da escola João Maria Stevanatto, que muito me ajudaram durante a aplicação do material.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

A CONSTRUÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS) PARA ENSINAR RELATIVIDADE UTILIZANDO ANIMAÇÕES E O GAME A *SLOWER SPEED OF LIGHT*

Bruno Marconi Riboldi

Orientador:

Prof. Dr. Nelson Studart Filho

O presente trabalho tem como objetivo construir e aplicar uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), baseada na teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel e proposta por Marco A. Moreira. A UEPS visa facilitar a aprendizagem significativa da teoria da Relatividade Restrita e suprimir o excesso de matematização que envolve a tal teoria. Um dos diferenciais desta UEPS é o uso do *game* educativo *A slower speed of light* e animações. Os temas abordados na unidade de ensino são a dilatação temporal, a contração do comprimento, a invariância da velocidade da luz, a simultaneidade de eventos relativísticos, o efeito holofote e o efeito Terrell. A UEPS construída foi capaz de permitir aulas diferenciadas, fornecendo evidências de uma evolução conceitual por parte dos alunos, viabilizando e incentivando o ensino da física moderna e contemporânea neste nível de ensino. A UEPS desenvolvida neste trabalho foi aplicada em duas salas de uma escola pública de Itapira – SP, sendo que os resultados foram analisados para que se pudesse avaliar a eficácia da unidade de ensino. Ao final do trabalho é apresentado o produto educacional que consiste na UEPS para o ensino da teoria da Relatividade Restrita.

Palavras-chave: Ensino de Física, Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, teoria da Relatividade Restrita

ABSTRACT

BUILDING UP A TEACHING AND LEARNING SEQUENCE (TLS) TO TEACH SPECIAL RELATIVITY USING ANIMATIONS AND THE GAME *A SLOWER SPEED OF LIGHT*

Bruno Marconi Riboldi

Supervisor:

Prof. Dr. Nelson Studart Filho

This present work aims to build a Teaching and Learning Sequence (TLS) proposed by Marco. A. Moreira , based on David Ausubel's Meaningful Learning Theory. The TLS aims to lead to a meaningful conceptual learning of Einstein's Special Relativity theory by suppressing the excessive calculus involving it. One of its greatest achievements is the use of the educational game - a slower speed of light and animations. The topics of the unit content are time dilation, length contraction, invariance of the speed of light, the relativity of simultaneity, spotlight effect and Terrell effect. The TLS was able to promote differentiated classes, providing evidences of conceptual evolution - stimulating and making it possible the teaching of modern and contemporary physics at this level.

The TLS developed for this study was applied in two classes in a State high school in Itapira - SP and the results were analyzed so that the teaching unit efficiency could be evaluated. At the end of this work an instructional product, which is the TLS itself, is presented.

KEY WORDS - Physics teaching, TLS. Special Relativity theory.

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| <p>Figura 1: Captura da tela do cenário do game “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). Á frente encontram-se algumas <i>orbs</i>. Fonte: Captura de tela do <i>game A slower speed of light</i>.</p> | 22 |
| <p>Figura 2: Trajetória de um objeto em queda livre vista por dois observadores que se encontram em dois referenciais inerciais distintos.</p> | 34 |
| <p>Figura 3: Sistemas de referenciais inerciais S e S' no instante $t = t' = 0$, onde as origens dos dois referenciais se coincidem $O \equiv O'$.</p> | 36 |
| <p>Figura 4: Referencial inercial S' se deslocando com velocidade V constante em relação ao referencial S. As coordenadas do ponto P no eixo x não mais coincidem.</p> | 37 |
| <p>Figura 5: Deslocamento sofrido pelo ponto P em relação aos referenciais inerciais S e S'</p> | 38 |
| <p>Figura 6: Trem se deslocando com velocidade V em relação ao solo. (a) para o observador no solo os dois raios atingem as extremidades do trem no mesmo instante. (b) as ondas luminosas provenientes das duas extremidades do trem chegam simultaneamente ao observador que se encontra no solo. Fonte: (JANIS, 1983).</p> | 43 |
| <p>Figura 7: Imagens da animação sobre simultaneidade de eventos relativísticos. (a) posição em que o gravador de dados se encontra equidistante dos maçaricos A e B. (b) instante em que o pulso luminoso proveniente do maçarico B atinge o gravador de dados. (c) instante em que o pulso luminoso proveniente do maçarico A atinge o gravador de dados. Fonte: Notas de aula de Paulo Farinas e Nelson Studart na disciplina introdutória de Física Básica para alunos de Física e Engenharia Física.</p> | 44 |
| <p>Figura 8: Referencial S' se deslocando com uma velocidade constante V em relação ao referencial inercial S.</p> | 46 |
| <p>Figura 9: Alunos jogando o <i>game</i> “A slower speed of light”</p> | 64 |
| <p>Figura 10: Captura da tela da animação sobre contração do comprimento. Quando a régua de cima está em movimento em relação ao relógio de luz a medida de seu comprimento diminui.</p> | 66 |

| | |
|---|-----|
| Figura 11: Captura da tela da animação sobre dilatação temporal. Quando o relógio de luz está em movimento em relação a um referencial inercial o pulso de luz percorre uma distância maior do que se estivesse em repouso em relação a este mesmo referencial..... | 66 |
| Figura 12: Captura da tela da animação sobre simultaneidade de eventos relativísticos. Um mesmo evento ocorre em instantes distintos para dois observadores que se encontram em referenciais inerciais diferentes e em movimento relativo em si. | 67 |
| Figura 13: Mapas conceituais construídos pelo aluno A14 durante a aplicação da UEPS. (a) mapa construído na atividade inicial. (b) mapa construído na avaliação final..... | 82 |
| Figura 14: Mapas conceituais construídos pelo aluno A23 durante a aplicação da UEPS. (a) mapa construído na atividade inicial. (b) mapa construído na avaliação final..... | 83 |
| Figura 15: Mapas conceituais construídos pelo aluno AI25 durante a aplicação da UEPS. (a) mapa construído na atividade inicial. (b) mapa construído na avaliação final..... | 84 |
| Figura 16: Mapas conceituais construídos pelo aluno A29 durante a aplicação da UEPS. (a) mapa construído na atividade inicial. (b) mapa construído na avaliação final..... | 85 |
| Figura 17: Gráfico para as resposta obtidas na questão 1 do questionário..... | 88 |
| Figura 18: Gráfico para as resposta obtidas na questão 2 do questionário..... | 88 |
| Figura 19: Gráfico para as resposta obtidas na questão 3 do questionário..... | 89 |
| Figura 20: Gráfico para as resposta obtidas na questão 4 do questionário..... | 89 |
| Figura 21: Gráfico para as resposta obtidas na questão 5 do questionário..... | 90 |
| Figura 22: Gráfico para as resposta obtidas na questão 6 do questionário..... | 90 |
| Figura 23: Um modelo para mapeamento conceitual segundo a teoria de Ausubel..... | 107 |
| Figura 24: Mapa conceitual do conteúdo de eletromagnetismo hierarquicamente organizado: os conceitos superordenados (mais gerais e abrangentes) estão no centro do mapa enquanto que os conceitos subordinados (mais específicos) estão nas periferias..... | 108 |

Lista de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Questões trabalhadas durante a aplicação da UEPS e as respostas mais frequentes formuladas pelos alunos..... | 72 |
| Tabela 2: Enunciado das questões trabalhadas na avaliação somativa final aplicada aos alunos. | 77 |
| Tabela 3: Questões apresentadas aos alunos para a avaliação da UEPS. | 87 |

Sumário

| | |
|---|------------|
| Capítulo 1: Introdução | 11 |
| Capítulo 2: Uso de games e animações na aprendizagem. | 14 |
| 2.1 O game A slower speed of light..... | 21 |
| Capítulo 3: Unidades de Ensino Potencialmente Significativas | 24 |
| 3.1 Passos para a elaboração de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa | 31 |
| Capítulo 4: A Teoria da Relatividade Restrita | 34 |
| 4.1 O princípio da relatividade de Galileu Galilei..... | 34 |
| 4.2 Transformações Galileanas | 35 |
| 4.3 O Eletromagnetismo..... | 38 |
| 4.4 A eletrodinâmica de Maxwell e a mecânica de Newton..... | 41 |
| 4.5 A relatividade de Einstein..... | 41 |
| 4.6 A relatividade da Simultaneidade | 42 |
| 4.7 As transformações de Lorentz. | 46 |
| 4.8 Dilatação temporal..... | 49 |
| 4.9 Contração do comprimento..... | 49 |
| 4.10 Efeito Terrell: aparência visual de objetos em movimento relativístico | 50 |
| 4.11 Efeito Doppler Relativístico | 51 |
| Capítulo 5: A construção da UEPS para ensinar Relatividade Restrita no Ensino Médio | 53 |
| 5.1 Reformulação da UEPS e versão final | 54 |
| Capítulo 6: Aplicação da UEPS | 60 |
| Capítulo 7: Resultados | 73 |
| Capítulo 8: Considerações finais | 94 |
| Apêndice I | 100 |
| Apêndice II | 104 |
| Apêndice III | 107 |
| Apêndice IV | 108 |
| Apêndice V | 112 |
| Apêndice VI | 114 |
| Apêndice VII | 115 |

Capítulo 1: Introdução

Nas últimas décadas a humanidade tem presenciado uma revolução tecnológica e a física, como parte da ciência, tem feito contribuições importantes tanto na área da pesquisa como no desenvolvimento de novas tecnologias. A capacidade de utilizar os conhecimentos científicos em contextos e ações que refletem direta ou indiretamente no ambiente e na sociedade em que se vive é algo muito importante na atualidade. A sociedade do século XXI é convidada a participar cada vez mais ativamente de discussões que envolvem a ciência. Pesquisas com células-tronco, melhoramento genético, produção de energia por fontes alternativas são assuntos que estão inseridos no cotidiano da população em geral.

A capacidade de empregar os conhecimentos científicos aprendidos na escola para resolver questões do dia a dia, fazer abstrações, criar hipóteses, planejar e inovar é denominada de letramento científico. Desta forma, este letramento torna-se cada vez mais relevante na medida em que a sociedade interfere nas questões voltadas a ciência e tecnologia. O letramento científico está relacionado tanto com a compreensão de conceitos científicos quanto com a capacidade de aplicar estes conceitos no dia a dia, pensando e agindo sobre uma perspectiva centrada na ciência.

Associado a este letramento também está a consciência de como a ciência e a tecnologia influenciam e modelam o ambiente, assim como os aspectos culturais e intelectuais como um todo. O letramento científico desperta o interesse do indivíduo de participar de questões relacionadas a ciência de forma crítica, compreendendo e tomando decisões sobre o mundo que o cerca e as mudanças causadas pela inserção da ciência e da tecnologia no cotidiano das pessoas.

Desta maneira, voltando os olhares para as salas de aula, vê-se um ensino de física baseado, em sua grande maioria, para temas, teorias, problemas e assuntos que estão presentes neste ramo da ciência há mais de um século. Mecânica, termodinâmica, eletromagnetismo, entre outros ramos da física, apesar de abordarem assuntos relevantes e ainda muito pertinentes, não são capazes de fornecer conhecimento suficiente para as situações e problemas enfrentados no cotidiano. Um mundo com computadores, lâmpadas de LED, aparelhos de GPS, etc, faz com que a física clássica não seja mais capaz de explicar tudo que ocorre no dia a dia e nem o funcionamento desses dispositivos eletrônicos.

Um dos grandes marcos no desenvolvimento da física foi a formulação da teoria da Relatividade Restrita. No início do século passado, mais precisamente em 1905, uma série de quatro artigos publicados no *Annalen der Physik* e assinados por um jovem chamado Albert Einstein influenciaram de forma direta como os físicos e cientistas concebiam o espaço e o tempo, além de outras concepções da física.

A partir da teoria da Relatividade, a física expande um pouco mais seus horizontes. A visão clássica de enxergar o tempo e o espaço passa a ceder lugar para uma nova teoria. Assim, o universo passa a ser compreendido de uma nova maneira e algumas tecnologias desenvolvidas sofrem a influência desta outra forma de se conceber a natureza do espaço e do tempo. Na física relativística, tempo e espaço são integrados em uma única entidade, ou seja, a teoria da Relatividade Restrita substitui os conceitos independentes de espaço e tempo da mecânica newtoniana pela ideia de espaço-tempo como uma entidade geométrica unificada. Desta forma, o conceito de tempo absoluto adotado na mecânica clássica passa a ser um caso particular da teoria da Relatividade, sendo que o tempo passa a ser encarado como relativo. Na teoria da Relatividade, entende-se que a velocidade da luz é a grandeza invariante.

Refletindo sobre o exposto acima, acredita-se que cada vez mais será necessário a real inserção de temas relacionados à física não newtoniana nos cursos de ensino médio que ao invés de possuírem características formativas, acabam se constituindo em sua essência como cursos propedêuticos. Contudo, a tarefa de inserir conteúdos de física moderna e contemporânea nas aulas de física do ensino médio não é, de certa forma, trivial. Muitos conteúdos abordados na física moderna e contemporânea são relativamente difíceis de serem transpostos para este nível de ensino.

O intuito deste trabalho é apresentar uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) que visa facilitar a inserção do conteúdo pertinente à teoria da Relatividade Restrita para alunos que cursam o ensino médio. O tema escolhido para a construção da UEPS se deve ao fato de haver uma grande circulação de informações na mídia que tratam deste tema e de assuntos relacionados. Tendo em vista que a figura de Einstein muitas vezes remete a ideia de gênio e muito popularizada mesmo fora dos ambientes acadêmicos, as contribuições de Albert Einstein levam a teoria da Relatividade Restrita a ser conhecida por um número maior de pessoas.

O estudo da teoria da Relatividade Restrita envolve conceitos e ideias sobre a relatividade do tempo e espaço que não fazem parte do cotidiano dos alunos. Explicar e exemplificar alguns fenômenos e conceitos presentes nesta teoria passa a ser uma tarefa ainda mais complicada do que outras que os professores de física já enfrentam dentro da sala de aula para ensinar física clássica. Desta forma, pensou-se em desenvolver uma UEPS que possa colaborar com a tarefa de ensinar a teoria da Relatividade Restrita para alunos de ensino médio, onde os professores que pretendem aplicar a presente UEPS podem adequá-la da forma que julgarem mais conveniente, levando em consideração o seu conhecimento sobre o assunto, a estrutura da escola, o nível de conhecimento dos alunos, entre outros. Para a construção desta UEPS utilizou-se então estratégias baseadas na teoria da aprendizagem significativa, assim como uma série de recursos audiovisuais, animações e um *game*

denominado “*A slower speed of light*”, desenvolvido e produzido pelo GameLab do Massachusetts Institute of Technology (MIT).

Capítulo 2: Uso de games e animações na aprendizagem.

Em pleno século XXI, o desenvolvimento de novas tecnologias segue um ritmo de atualizações diárias. As Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) estão cada vez mais inseridas no cotidiano das pessoas. Entre os usuários que mais utilizam estas tecnologias estão os adolescentes e jovens. Desta forma, as TIC estão envolvidas na maioria das atividades executadas por usuários nesta faixa etária (HONEY e HILTON, 2011).

Computadores, *tablets* e celulares, capazes de cada vez mais desenvolverem funções que satisfazem o gosto dos jovens vêm ganhando espaço em suas tarefas diárias. E como parte do processo, hoje estão presentes também nas salas de aula. A atenção que antes era dedicada ao professor e ao quadro negro, agora tem de ser compartilhada com as TIC (MOITA e CANUTO, 2011). Além disso, estes aparelhos eletrônicos abriram caminho para o desenvolvimento dos jogos digitais¹, que constituem ambientes virtuais muito apreciados pelos adolescentes e jovens.

Os jogos ditos comerciais (jogos desenvolvidos para ambientes informais, com o intuito de promover diversão e prazer) podem ser acessados pela internet e serem jogados em dispositivos portáteis, como por exemplo, *smartphones*, *tablets* e computadores. Nas últimas duas décadas houve um grande crescimento dos jogos de entretenimento. Porém, nos últimos anos também houve um crescimento dos jogos sérios (jogos desenvolvidos com fins educacionais) (HONEY e HILTON, 2011).

Assim, explorar o potencial das novas TIC de modo a obter-se novas metodologias de ensino e aprendizagem consiste atualmente em uma área de pesquisa muito promissora. Este potencial das TIC se resume na sua diversidade e flexibilidade de ferramentas capazes de atender às individualidades de cada estudante, assim como contemplar os diferentes Estilos de Aprendizagem (HONEY e HILTON, 2011; MOITA e CANUTO, 2011; ULICSAK e WRIGHT, 2010).

Durante 30 anos os designers de simulações criaram uma variedade destas com o objetivo de apoiar e facilitar a aprendizagem de ciências. Contudo, mais recentemente, os designers de jogos, com base em teorias de aprendizagem, começaram a desenvolver jogos que pretendem unir a aprendizagem de ciências usando a potencialidade do game-thinking.

O ensino de ciências é uma área muito abordada nas pesquisas referentes à educação. Há um vasto material que trata de como as pessoas aprendem ciências e quais as metodologias

¹ Neste trabalho os termos *games*, jogos digitais e videogames possuem significados equivalentes. Desta forma, serão utilizados indistintamente ao longo do texto.

utilizadas nestes processos de ensino e aprendizagem. Estas pesquisas apontam que a aprendizagem de ciências e de áreas relacionadas são mais do que conhecimento de fatos. Não que se julgue irrelevante os alunos conhecerem um substancial corpo de conceitos e ideias referentes à área da ciência estudada, porém a aprendizagem de ciências transcende estes conhecimentos. É necessário que os alunos articulem e relacionem este corpo de conhecimento entre si e com ideias e conceitos mais abrangentes, sempre tendo em vista um contexto a servir como base desta aprendizagem. Desta forma, acredita-se que os jogos são capazes de colaborar com estas práticas, como será apresentado adiante, tornando o ensino de ciências mais eficaz, envolvendo os alunos no processo de aprendizagem e desenvolvendo habilidades como senso crítico, argumentação, modelagem, representação, entre outras.

Motivar o aluno, promovendo a curiosidade natural sobre o mundo a sua volta, integrando os conhecimentos científicos com outras áreas do conhecimento se constitui em uma importante metodologia para o ensino de ciências. Assim, acredita-se que os videogames são importantes ferramentas capazes de realizar esta tarefa de integração entre as diversas áreas do conhecimento (HONEY e HILTON, 2011).

Além dos motivos já apresentados anteriormente para aplicação de videogames na aprendizagem, existe o fato de que jogos não-digitais já são empregados há muito tempo como ferramentas de aprendizagem. Jogos de tabuleiro e *role-playing games* (RPG) já são utilizados como ferramentas no processo de ensino em ambientes formais de aprendizagem antes do início da utilização de jogos digitais na educação. Os videogames podem provocar altos níveis de envolvimento e interação, incentivando a repetição de procedimentos e a prática de processos², motivando os alunos com desafios e *feedback* rápido. Assim, os videogames têm um grande potencial para apoiar as abordagens de ensino que são baseadas em investigação, superando alguns problemas existentes, como por exemplo, a falta de envolvimento dos alunos e a demora de *feedback* das atividades.

Um dos pioneiros a reconhecer as possibilidades de aprendizagem dos *games* é o linguista e educador norte-americano James Paul Gee. Segundo Gee (2010, p. 12) “bons jogos constituem máquinas de aprendizagem. Os bons princípios de aprendizagem encontram-se fundamentados na sua própria concepção”.

² A repetição de procedimentos consiste em requisitar que o jogador refaça uma ação diversas vezes como, por exemplo, saltar sobre um obstáculo, abrir uma porta, entre outros. A prática de processos está relacionada com a repetição de procedimentos, pois conforme o jogador repete suas ações, ele pratica estes procedimentos e pode desenvolver a capacidade de executá-los de forma mais rápida e eficiente, cometendo menos erros. Este processo é semelhante no ensino de ciências, sendo os *games* uma ferramenta útil no processo de Ensino e Aprendizagem.

Esta afirmação de Gee se firma na situação descrita a seguir. As empresas especializadas no desenvolvimento de *games* comerciais se deparam com um problema que há muito tempo está presente nas salas de aula e constituem um importante objeto de pesquisa explorado há décadas: como uma pessoa aceita aprender algo difícil que requeira persistência e determinação? Para que estas empresas continuem no mercado, elas necessitam criar *games* que possuam um alto grau de complexidade, o que exige do jogador um longo período dedicado ao jogo. Esta cobrança se deve ao fato de que os jogadores que compram estes *games* não admitem jogos que não cumpram estes requisitos.

Contudo, se as empresas desenvolverem *games* cuja aprendizagem por parte do usuário seja impossível, estas também não sobreviverão no mercado. Assim, pode-se concluir que a única opção que resta é o desenvolvimento de *games* que facilitam a sua própria aprendizagem e assimilação. Para compreender melhor o conceito de bons videogames, recorre-se a um trecho de autoria do próprio Gee (2009):

Os bons *videogames* incorporam bons princípios de aprendizagem, princípios apoiados pelas pesquisas atuais em Ciência Cognitiva (GEE, 2003, 2004). Porquê? Se ninguém conseguisse aprender esses jogos, ninguém os compraria – e os jogadores não aceitam jogos fáceis, bobos, pequenos. Em um nível mais profundo, porém, o desafio e a aprendizagem são em grande parte aquilo que torna os videogames motivadores e divertidos. (GEE, 2009, p. 168).

Porém, os jogos, assim como as demais tecnologias que são utilizadas na aprendizagem não podem ser rotulados como benéficos ou prejudiciais por si sós. O importante é considerar e analisar como estas tecnologias são utilizadas e aplicadas. Quando se trata de jogos digitais, o mesmo deve ser levado em consideração. Para ponderar quais as potencialidades de um jogo é necessário se levar em conta quais os contextos e sistemas sociais em que os jogadores estão inseridos. Desta forma, o que deve ser considerado é o sistema social e de aprendizagem que são construídos concomitantemente com o jogo.

Sem a inserção de metas de aprendizagem atribuídas aos jogos digitais, estes passam a ser apenas jogos de entretenimento. Existe um consenso em torno dos bons videogames, onde deve haver um objetivo de aprendizagem, seja ele implícito ou não, permitindo certo grau de interatividade do jogador.

Os bons videogames ou jogos sérios, as simulações e os mundos virtuais, apesar de proporcionarem diversos graus de interatividade e serem utilizados para propósitos diferentes

no processo de ensino aprendizagem, podem ser considerados como ambientes virtuais e constituem parte de um *continuum* (HONEY e HILTON, 2011).

Os bons videogames, simulações e mundos virtuais estão relacionados com a aprendizagem, que por vezes pode estar relacionada com o simples fato de executar alguns comandos para que o videogame ou a simulação seja executado. Os bons videogames devem levar em consideração o equilíbrio entre a aprendizagem do conteúdo ensinado, para o qual o jogo foi projetado, e a aprendizagem de como jogar, ou seja, como executar os comandos necessários para conseguir interagir com o jogo.

Além disso, inserir conteúdo educacional em um videogame não garante que ele será uma boa ferramenta educacional. Dominar os processos e mecanismos do *game*, recorrendo às regras estabelecidas para jogar não implica que o jogador tenha domínio sobre o conteúdo que será apresentado no *game*.

Os videogames podem ser utilizados em diversas fases do processo de instrução. Pode ser utilizado no início de uma unidade de ensino para despertar o interesse dos alunos para um determinado assunto, para aumentar a compreensão e adquirir uma maior quantidade de símbolos de um determinado tópico ou tema da unidade ou até mesmo como instrumento de avaliação.

Um aspecto importante que deve ser considerado quando se trata de videogames é a questão do “letramento” envolvido. Segundo Gee (2010, p. 220), “entendemos por “letramento” qualquer tecnologia que nos permita “descodificar” os significados e produzir significados através do uso de símbolos.” Neste aspecto, pode-se considerar que os jogos digitais são muito ricos, tanto pela quantidade quanto pela qualidade dos signos oferecidos ao jogador. Um bom videogame é, em sua essência, um “código” que deve ser compreendido, interpretado e “reescrito” pelo jogador. Este código é composto de imagens, ações, palavras, sons e movimentos. Cabe então ao jogador interpretar os significados deste código.

Como mencionado por Gee, os letramentos relacionam a interpretação de significados (descodificação) com a produção de novos significados. Desta forma, os bons videogames envolvem um letramento muito interessante e muito mais complexo do que o envolvido, como por exemplo, em livros didáticos, pois a quantidade de signos disponibilizados pelos videogames é muito superior aos apresentados nos livros. O letramento dos videogames também é interessante por fazer-se necessário que o jogador “escreva” uma história ao jogar, ou seja, apenas decodificar o jogo não é suficiente, também é necessário uma produção por parte do jogador. Esta produção se estabelece e se consolida quando o jogador toma decisões e age no jogo.

Outro aspecto importante do letramento dos jogos é que a forma conjunta da maneira de pensar e as práticas aplicadas constituem um meio favorável para que os jogadores desenvolvam competências e identidades em relação ao uso de novas tecnologias. Estas competências e identidades desenvolvem no jogador a habilidade de fazer uso das novas tecnologias digitais de uma maneira “natural”, bem como uma maior facilidade em decodificar linguagens técnicas empregadas em *softwares*, na Matemática, modelação, programação, gráficos, entre outros (GEE, 2010).

Em relação ao ensino de ciências, pode-se constatar que existe uma lacuna no letramento empregado. Esta lacuna existe pelo fato de que muitos estudantes são capazes de obter bons resultados nas provas aplicadas, porém não são capazes de utilizar os conhecimentos adquiridos para resolver situações do cotidiano. Por exemplo, muitos estudantes são capazes de enunciar as três leis de Newton em uma prova, porém não são capazes de utilizar este conhecimento para explicar o porquê de uma pessoa ser arremessada contra o para-brisa de um carro quando este é submetido a uma frenagem brusca e o tripulante não faz uso do cinto de segurança. Os estudantes não conseguem aplicar seus conhecimentos pelo fato de que não entendem como podem ser aplicados.

Pode-se dizer então que esta lacuna se origina pelo fato de que os alunos “decodificam” os significados apresentados, ou pelo menos boa parte deles, mas não são capazes de produzir novos significados. Desta forma, os alunos não são capazes de relacionar o mundo físico com a linguagem física (que é a junção da linguagem com a matemática). Este problema também pode estar relacionado com a ausência de uma aprendizagem potencialmente significativa, tema este que será tratado no próximo capítulo deste trabalho.

Os conteúdos de física ensinados nas escolas, em sua grande parte, possibilitam apenas uma compreensão verbal. Com isso, os estudantes permanecem inseridos em um contexto onde passam anos de suas vidas apenas recebendo informações que não estão relacionadas com suas experiências e ações do cotidiano. Desta forma, as ações e experiências vividas pelo aprendiz em relação aos conhecimentos adquiridos constituem uma estratégia metodológica válida para alcançar a aprendizagem.

Os princípios de aprendizagem propostos por Gee somam 36 ao todo. Assim, para os leitores que gostariam de conhecer estes princípios de aprendizagem sugere-se a bibliografia indicada (GEE, 2010; GEE, 2009; MURTA e VALADARES, 2013; BOMFOCO e AZEVEDO, 2012).

Acredita-se que os bons videogames podem corroborar para uma aprendizagem profunda. Porém, como foi ressaltado anteriormente, os videogames por si só constituem

apenas uma ferramenta metodológica. Para que o verdadeiro potencial de aprendizagem de um videogame seja alcançado é necessário incluir no processo todo o contexto sociocultural em que o jogador está inserido.

Os alunos adquirem conhecimento por meio de uma variedade de símbolos que lhes são apresentados (por exemplo, texto, imagens, sons). Desta forma, um bom videogame deve estimular que os alunos identifiquem e analisem os problemas apresentados, recorrendo e aplicando o aprendizado anterior. A aprendizagem nada mais é do que a conexão significativa de símbolos já adquiridos e consolidados pelos alunos com os novos símbolos que estão sendo apresentados no conteúdo a ser aprendido.

Um bom videogame deve fornecer ao jogador experiências que incluem emoções e sentimentos, permitindo que o jogador interaja socialmente, compartilhando e utilizando os conhecimentos adquiridos previamente.

Para possuir finalidades educacionais, os bons videogames devem possuir objetivos de aprendizagem (regras, métodos, procedimentos, etc.) integrados com as experiências relacionadas aos videogames (interação com os demais jogadores, ação, improvisação, *feedback*, aprendizagem, etc). Desta forma, nestes videogames os jogadores são capazes de definir suas próprias metas, exercendo poder de decisão e cometendo erros. Estes aspectos são importantes para que o jogador desenvolva um sentimento de coautoria do videogame, uma vez que suas escolhas influenciam a forma como o videogame evolui. Para um bom videogame possuir certo potencial educacional, este deve ser desenvolvido sobre uma estrutura potencialmente adaptativa, permitindo um bom grau de interação e capacidade de escolhas.

O foco principal não deve estar no jogo em si, mas sim nas experiências que este é capaz de promover no jogador. Segundo Gee (2010):

1. Para poderem aprender com as suas experiências e usá-las para a resolução de problemas futuros, os aprendizes devem interpretar as suas experiências. Como já referimos, a experiência humana funciona melhor para a aprendizagem quando está baseada em objetivos. Interpretar as suas experiências significa reflectir – tanto aquando das práticas como depois delas – sobre a forma como os seus objetivos se relacionam com o nosso raciocínio nessas circunstâncias. Significa igualmente recorrer às lições aprendidas e antecipar quando e onde é que estas lições poderão revelar-se úteis.
2. Os aprendizes podem aprender melhor quando lhes são comunicadas observações imediatas na prática, para que sejam capazes de reconhecer e avaliar os seus erros e as situações nas quais as suas expectativas fracassaram, e quando são incentivados a explicar as razões pelas quais os

seus erros e o fracasso de suas expectativas aconteceram, e o que poderiam ter feito de forma diferente.

3. Os aprendizes necessitam de oportunidades amplas para aplicarem as suas experiências anteriores – como interpretadas – a novas situações similares, para que possam “eliminar os seus erros” e melhorar as suas interpretações que tem dessas experiências, generalizando-as gradualmente além de circunstâncias específicas.

4. Os aprendizes podem e necessitam aprender a partir de experiências interpretadas e explicações de outras pessoas, muito seguramente incluindo pessoas mais competentes. Este processo é mais fácil quando é feito através da modelação e da discussão. (GEE, 2010, p.257).

Assim, julga-se necessário que o professor seja capaz de formular um sistema de aprendizagem que favoreça o processamento das experiências vividas pelos alunos na concretização de objetivos. O aluno, assim como o jogador, deve associar o processo de aprendizagem a uma meta, de forma que suas experiências sejam parte integrante do processo de aprendizagem ao qual está inserido, ou seja, suas ações e decisões são levadas em consideração no processo.

Outro aspecto importante em relação à utilização de videojogos em sala de aula é a questão do suficiente domínio do professor sobre o jogo, possibilitando-o ser capaz de orientar os alunos quanto às regras e procedimentos do jogo, assim como evidenciar e relacionar para os alunos os conteúdos presentes nos jogos com os objetivos de aprendizagem e conteúdos da disciplina.

As metodologias e processos de aprendizagem que utilizam videojogos como ferramentas educacionais devem considerar que a aprendizagem do conteúdo é estimulada pelo jogo, porém ocorre fora do mesmo, ou seja, se os alunos não forem levados a uma reflexão do que foi apresentado no videojogo a aprendizagem não ocorre de maneira satisfatória. Assim, o papel do professor é indispensável, pois será ele que irá estimular esta reflexão por parte dos alunos em relação às experiências vividas com o jogo. Isto torna o papel do professor indispensável no processo de aprendizagem.

Uma outra característica dos videojogos é a possibilidade de criar modelos que são muito úteis na aprendizagem de áreas científicas. A física, química e matemática se valem de modelos que servem para explicar os fenômenos do mundo real. Estes modelos possuem diversos graus de abstração e complexidade. Nos videojogos, os alunos tem contato com símbolos, diálogos e problemas que refletem situações do mundo real e que por meio de suas experiências em relação ao jogo podem criar padrões de resolução que podem ser empregados

no mundo real. Um exemplo disso são os jogos de simulação, onde o jogador tem um contato direto com a experiência de executar alguma tarefa como, por exemplo, pilotar um avião, dirigir um carro, praticar um esporte, etc. (ULICSAK e WRIGHT, 2010).

Como mencionado anteriormente, o importante é frisar que o contexto de aprendizagem e as práticas educativas baseados nos jogos a serem utilizados são mais importantes do que os conteúdos e recursos do jogo em si. Desta forma, é necessário que as práticas educativas e os procedimentos didáticos sejam repensados de uma maneira que o jogo possa ser utilizado de forma eficiente dentro da sala de aula. O jogo em si não constitui uma ferramenta didática por si só. Ao se fazer uso de um videogame, tenha ele sido desenvolvido com finalidades educativas ou para lazer, é preciso ter em mente como este jogo irá alcançar as metas de aprendizagem em sala de aula. Para uma aprendizagem eficaz é necessário aliar o jogo a outras metodologias e ferramentas de Ensino e Aprendizagem. Dentre estas ferramentas podemos citar as aulas dialogadas, os trabalhos colaborativos, a resolução de situações-problemas, entre outros.

2.1 O game *A slower speed of light*

O videogame “*A slower speed of light*” foi produzido pelo MIT Game Lab (KORTEMAYER et al, 2013). O jogador se desloca em um espaço 3D com o intuito de coletar *orbs* (uma espécie de bola encantada) que faz com que a velocidade da luz seja reduzida.

O *download* do game “*A slower speed of light*” pode ser feito na página³ do GameLab de forma gratuita. Estão disponibilizadas versões do videogame para diferentes sistemas operacionais, sendo necessário que usuário faça a seleção no momento do *download*. Não é necessário realizar a instalação do jogo. Um arquivo compactado é salvo em um local do computador estabelecido pelo usuário que contém um executável. Para começar o jogo, basta o usuário iniciar o executável.

O game é uma referência clara à questão proposta por Einstein quando este tinha apenas 16 anos de idade: “O que poderíamos ver se viajássemos montados em um raio de luz?”. Os gráficos do jogo e ações produzidas pelos jogadores levam-no a obter a resposta para a questão proposta por Einstein.

³ <http://gamelab.mit.edu/games/>

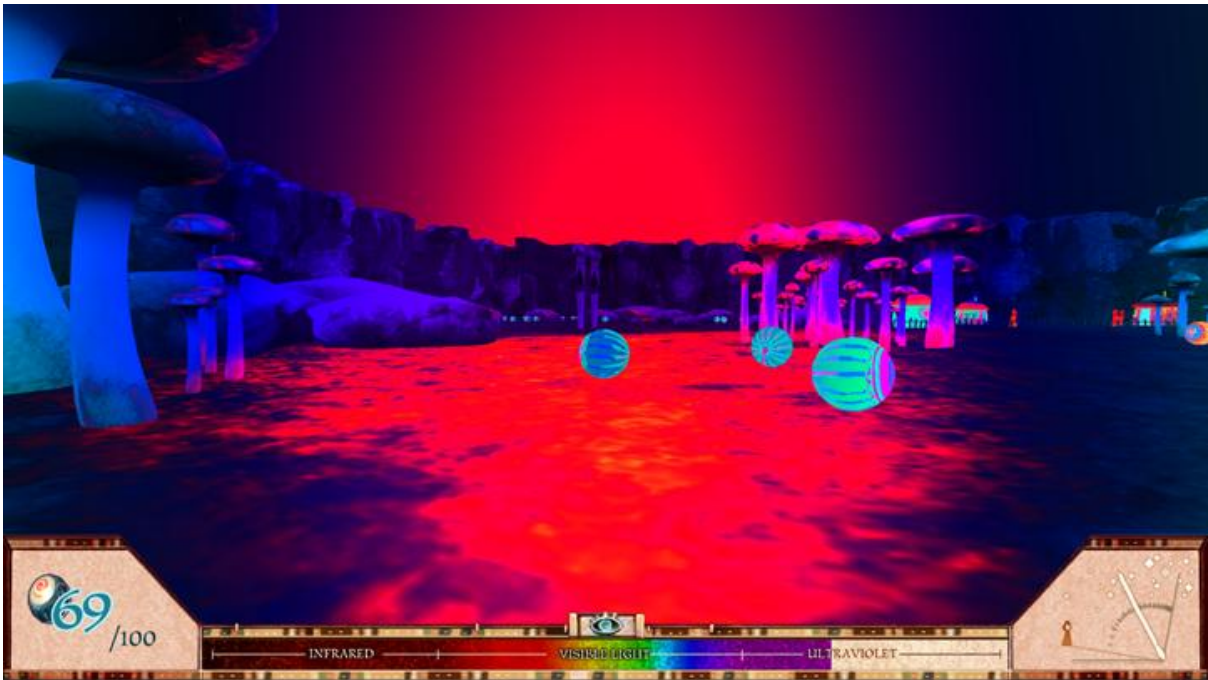


Figura 1: Captura da tela do cenário do *game* “*A slower speed of light*”. No canto inferior esquerdo está o contador de orbs e no direito o indicador de velocidade do jogador e da velocidade da luz (ponteiro branco). À frente encontram-se algumas *orbs*. Fonte: Captura de tela do *game* “*A slower speed of light*”.

Quando o jogador começa a se deslocar pelo ambiente virtual ele percebe que existem várias *orbs* distribuídas no local. O objetivo do jogador é fazer a coleta destas *orbs* e à medida que são coletadas, pode-se perceber que o indicador da velocidade da luz começa a marcar valores menores, ou seja, quanto mais *orbs* são coletadas, menor é a velocidade da luz no jogo. Ao mesmo tempo em que isto acontece, pode-se perceber que o espectro da luz visível também começa a variar.

Após a coleta de algumas dezenas de *orbs* o jogador começa a visualizar os primeiros efeitos relativísticos presentes no jogo, como por exemplo, o Efeito Holofote e o Efeito Doppler. O Efeito Holofote consiste no fato de que como o jogador começa a se deslocar com uma velocidade cada vez mais próxima da velocidade da luz, uma quantidade maior de fótons incidem nos olhos do jogador, o que faz com que a imagem se apresente com um maior brilho. Quando há deslocamento para trás, incide uma quantidade menor de fótons, que é percebido pelo jogador como uma imagem menos nítida e brilhante. O Efeito Doppler é o desvio da luz para a faixa do vermelho ou do azul, dependendo do movimento do jogador (KORTEMAYER et al, 2013).

A vantagem da utilização deste *game* está na possibilidade de visualização de alguns efeitos relativísticos que seriam impossíveis de serem observados no cotidiano (HONEY e

HILTON, 2011). Além disso, a quantidade de signos fornecidos pelo videogame é muito maior do que os demais recursos didáticos impressos e audiovisuais disponíveis em outros materiais.

O jogador pode controlar as ações disponíveis no jogo da forma que desejar. Pode avançar, retroceder e se deslocar para os lados para observar o que acontece com a imagem fornecida pelo *game*. Como a velocidade da luz vai sendo reduzida à medida que as *orbs* são coletadas, o jogador pode perceber que os efeitos relativísticos vão se apresentando de uma maneira cada vez mais acentuada, pois o jogador se aproxima cada vez mais da velocidade da luz⁴. Desta forma, se o jogador assim desejar, é possível coletar uma quantidade de *orbs* e se deslocar no ambiente virtual para averiguar o que acontece antes de continuar a coleta. Assim, o jogador tem como controlar as ações no *game*, pode fazer pausas na ação de coletar *orbs* para analisar o que acontece com a visão do cenário e comparar como os efeitos relativísticos estão ocorrendo de forma progressiva enquanto a velocidade da luz se aproxima da sua própria velocidade.

Ao final, quando todas as *orbs* foram coletadas, o jogador consegue se deslocar com a mesma velocidade da luz, que foi reduzida para valores menores devido à coleta das *orbs*. Neste momento o jogador pode visualizar o efeito Terrell, que causa uma aparente deformação dos objetos presentes no cenário.

⁴ Para que os efeitos relativísticos sejam observados não é necessário atingir uma velocidade próxima a $c = 3 \cdot 10^8 m/s$, mas sim atingir uma velocidade próxima a que a luz se encontra. Desta forma, 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.

Capítulo 3: Unidades de Ensino Potencialmente Significativas

À primeira vista parece ser algo simples, porém a tarefa de descobrir o que o aluno já sabe não é tão fácil como parece. Quando Ausubel (1976, 2003) se refere aos conhecimentos que o aluno já adquiriu, ele está se referindo à “estrutura cognitiva” do aprendiz. Descobrir o que o aluno já sabe é ir muito além do que consultar o conteúdo programático dos anos anteriores e inferir que o que foi ministrado anteriormente faz parte da estrutura cognitiva do aprendiz. Para que um conteúdo faça parte da estrutura cognitiva do aprendiz, este deve ter sido aprendido de maneira não arbitrária e não literal. Compreender e interpretar a estrutura cognitiva do indivíduo não é uma tarefa trivial. A aplicação de testes convencionais geralmente mascaram os resultados, pois estes enfatizam um conhecimento factual e mecânico, não explicitando as relações entre os conhecimentos existentes na estrutura cognitiva do aprendiz.

Por sua vez, a estrutura cognitiva é um conjunto inter-relacionado de conhecimentos prévios que foram adquiridos de maneira substantiva. Quando a nova informação interage com um conhecimento prévio específico existente na estrutura cognitiva, ocorre o que Ausubel chama de processo de subsunção (AUSUBEL, 2003).

Segundo Moreira (2006, p. 15), “um subsunçor é um conceito, uma ideia, uma proposição já existente na estrutura cognitiva, capaz de servir de “ancoradouro” a uma nova informação de modo que esta adquira, assim, significado para o indivíduo”. A aprendizagem significativa acontece quando o novo conhecimento “ancora-se” em ideias relevantes existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Assim uma nova informação pode ser aprendida de forma significativa quando esta interage com um subsunçor existente na estrutura cognitiva.

Outro ponto a ser tratado é o de que o indivíduo pode ter à disposição os subsunçores relevantes para a ancoragem dos novos conhecimentos, porém não estar disposto a fazer esta ancoragem de forma substantiva e não arbitrária, procurando apenas memorizar estes novos conhecimentos. Neste caso a aprendizagem será mecânica. O contrário da hipótese também é válida, ou seja, se o indivíduo está disposto a aprender, mas o material não possui significado lógico e relacionável à estrutura cognitiva do aprendiz, a aprendizagem não será significativa. Moreira (2006) exemplifica esta situação:

Um estudante pode aprender a lei de Ohm, a qual indica que, num circuito, a corrente é diretamente proporcional à voltagem. Entretanto, essa proposição não será aprendida de **maneira significativa a menos que** o estudante já tenha adquirido, previamente, os significados dos conceitos de corrente, voltagem, resistência, proporcionalidade direta e inversa (satisfeitas estas condições, a proposição é potencialmente significativa, pois seu significado lógico é evidente), e **a menos que tente** relacionar

estes significados como estão indicados na lei de Ohm. (AUSUBEL, 1978, p. 41 apud MOREIRA, 2006, p. 21).

Segundo Moreira (2006, p. 21), “o significado é um produto da aprendizagem significativa. Esta, por sua vez, implica a preexistência de significados”. No que foi exposto até o momento, pode-se dizer que a aprendizagem significativa está diretamente relacionada com a existência de subsunçores relevantes na estrutura cognitiva do aprendiz, já que estes subsunçores são, em partes, os responsáveis pela potencialidade do material instrucional, que é uma condição necessária para a ocorrência da aprendizagem significativa.

Acredita-se que o sistema educacional vigente nas instituições de ensino, sejam elas de nível fundamental, médio ou superior, acaba por não corroborar para uma aprendizagem significativa. Os conteúdos apresentados pelos professores, em sua maioria, estabelecem pouca relação com a estrutura cognitiva dos alunos. Desta forma, estes conteúdos são normalmente apresentados na forma de textos e esquemas no quadro negro, do qual os alunos copiam em seus cadernos para mais tarde memorizar, reproduzir nas avaliações e depois esquecer.

De maneira a fazer uma pequena contribuição, com a intenção de colaborar com um “modelo” de ensino baseado mais próximo da aprendizagem significativa, propõe-se neste trabalho a construção de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS). Ao decorrer deste capítulo serão apresentadas algumas características referentes à construção e aplicação de uma UEPS.

Uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, proposta por Moreira (2011) é um dos tipos de Sequência de Ensino Aprendizagem (SEA) baseada na teoria da aprendizagem significativa proposta por Ausubel (2003) e discutida por Moreira e Masini (1982). Desta forma, pode-se dizer que uma UEPS constitui um modelo de SEA, em que alguns princípios de construção e sequenciamento devem ser levados em consideração.

Uma SEA, por sua vez, se constitui em um conjunto de atividades dispostas em uma determinada ordem, com uma estruturação e articulação desenvolvida para um determinado objetivo educacional que possui um início e final conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos. A identificação e conhecimento da estruturação de uma SEA possibilita uma melhor compreensão de seu valor educacional, assim como facilita as possíveis mudanças que serão realizadas na sequência e a inserção de atividades que possam melhorá-la.

De acordo com Giordan et al. (2011), uma SEA possui cinco etapas fundamentais que devem ser seguidas para sua elaboração e estruturação: 1) É necessário que seja feito um levantamento dos conteúdos que serão tratados ao decorrer da SEA e quais são as condições de aprendizagem; 2) Concepção da SEA e análise,

sendo que nesta etapa é necessário definir quais as hipóteses que serão tratadas na SEA; 3) Aplicação; 4) Em seguida é realizada uma segunda análise para organizar os resultados obtidos com a aplicação; 5) Validação da SEA, nesta etapa os resultados analisados depois da aplicação são comparados com a análise feita anteriormente na etapa 2, verificando se houve evidências de aprendizagem com a aplicação da SEA.

Desta forma, pode-se integrar a pesquisa educacional a sua prática, ou seja, os resultados de pesquisa são utilizados para desenvolver a prática e os resultados obtidos e analisados colaboram para a reformulação de novas práticas, seguindo assim uma metodologia de pesquisa. Com isso, as SEA são importantes no que tange à investigação do trabalho docente, tendo possibilidade de superar a lacuna pesquisa-prática apontada por muitos pesquisadores da área.

As SEA surgiram a partir da necessidade de considerar as concepções prévias dos alunos no que diz respeito ao ensino de ciências. Pode-se considerar que existem quatro componentes básicos para caracterizar as abordagens de ensino utilizadas em uma SEA. Estes componentes são: professores, alunos, mundo material e conhecimentos a serem desenvolvidos. Entre o conhecimento e o mundo material existe uma conexão de cunho epistemológico, que relaciona os conteúdos e ideias que são aprendidos na SEA com os problemas que estes conhecimentos são capazes de solucionar. Quanto aos professores e alunos existe uma conexão de natureza pedagógica, que reuni o conjunto de práticas e metodologias adotadas para a elaboração e aplicação da SEA (MÉHEUT; PSILLOS, 2004).

Em relação ao critério de validação de uma SEA pode-se considerar uma validação externa ou comparativa, realizada a partir da aplicação de testes e questionários antes e depois da aplicação da SEA, comparando quais foram os resultados obtidos com a sequência didática em relação ao ensino tradicional.

Uma SEA possui como finalidade principal proporcionar aos alunos condições favoráveis para que estes construam e compreendam os conceitos e ideias de um tema abordados na sequência didática. Desta forma, é necessário que o professor seja capaz de elaborar uma SEA com atividades inovadoras, que contribuam para que os alunos não apenas tenham aquisição de conceitos e ideias, mas que também possam evoluir em relação às habilidades, atitudes e na forma como encaram a ciência em si. É igualmente importante que o professor também saiba conduzir estas atividades de forma que a SEA seja explorada da melhor forma possível e os alunos alcancem os objetivos propostos. Assim, pode-se dizer que uma SEA é um instrumento metodológico que colabora para que os objetivos educacionais sejam alcançados, estabelecendo melhores conexões entre os conceitos e ideias pertencentes ao conhecimento científico e à compreensão do cotidiano.

Em seguida serão discutidos os princípios mais relevantes que devem ser considerados no processo de construção de uma UEPS. Como referências serão adotados alguns princípios apresentados no artigo de Moreira (2011).

Talvez o princípio mais importante para a construção de uma UEPS provém da afirmativa feita por Ausubel (1976, p. 6): “Se tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um só princípio, diria o seguinte: de todos os fatores que influenciam a aprendizagem, o mais importante é aquilo que o aluno já sabe. Averigüe isso e ensine-o de acordo”, a qual já foi discutida anteriormente. Assim, faz-se necessário que desde o início da construção de uma UEPS, o professor já possua em mente uma maneira de avaliar quais são os conhecimentos prévios dos alunos. Para esta tarefa sugere-se que o professor faça uso de mapas conceituais, pois estes são considerados instrumentos facilitadores da aprendizagem significativa. Os mapas conceituais são importantes pois são ferramentas que auxiliam no processo de levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos, possibilitando que o professor tenha ideia de quais são os conceitos e ideias que o estudante possui acerca de um determinado assunto e como eles estão relacionados.

Como tratado anteriormente, o aluno é quem decide se o conteúdo apresentado será aprendido de forma significativa ou mecânica. Esta questão é outro princípio a ser considerado para a construção da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa. Desta forma, sugere-se que a UEPS aborde o tema a ser tratado de uma maneira que desperte a atenção do aluno para a aprendizagem. O “modelo” formal de aula utilizando aulas expositivas deve ser repensado. Faz-se necessário que o professor busque novas alternativas e instrumentos educacionais ao construir uma UEPS. Não se trata de abolir as aulas expositivas, pois em algumas situações elas são necessárias ao processo, porém uma UEPS não pode ser constituída apenas por essas aulas.

Pode ocorrer dos novos conceitos e ideias apresentados durante o decorrer da UEPS não possuírem significado para os alunos. Assim, o professor deve planejar a inclusão de organizadores prévios entre as etapas da UEPS sempre que julgar necessário. Organizadores prévios servem como pontes cognitivas entre o que o aluno já sabe e o que ele deve aprender. As situações-problema que são apresentadas na UEPS devem ser criadas de forma que os alunos se interessem pelo assunto e fiquem motivados para uma aprendizagem significativa. Situações-problema devem transcender as questões que geralmente são propostas nos livros didáticos, devem despertar o interesse dos alunos e estimular a vontade em quererem descobrir uma explicação para o problema proposto. De preferência, as situações-problema não devem ser apresentadas fora de um contexto que seja favorável para o despertar do interesse do aluno. Para isto, sugere-se que a questão central das situações-problema faça parte de uma pequena história, seja ela fictícia ou real, pois isto acaba envolvendo o aluno no problema e diluindo o caráter “mecânico” da aprendizagem.

Para que uma situação-problema se apresente da maneira descrita acima, ela deve relacionar os conteúdos aprendidos anteriormente com os novos conteúdos apresentados, ou seja, deve servir como ponte cognitiva entre o que o aluno já sabe e o novo conhecimento a ser aprendido. Para isto, a situação-problema deve trazer ideias e conceitos que já são conhecidos dos alunos. Uma situação-problema não pode ser constituída apenas de conceitos e ideias inéditas, pois desta forma não serão ancorados de forma não arbitrária e não literal nos subsunçores preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz.

Assim, usualmente é utilizada mais de uma situação-problema em uma UEPS, pois é necessário que o aluno estabeleça progressivamente as relações entre o novo conhecimento e os subsunçores preexistentes da estrutura cognitiva. Como mencionado na secção anterior, a organização da estrutura cognitiva é algo dinâmico, que se reformula conforme os subsunçores se tornam mais abrangentes e diferenciados. Desta forma, as situações-problema devem ser apresentadas em nível crescente de complexidade, à medida que os subsunçores estão preparados para ancorar as novas ideias.

Em relação à reorganização da estrutura cognitiva, a construção da UEPS deve considerar os processos de diferenciação progressiva, reconciliação integradora e consolidação. A diferenciação progressiva deve ser considerada como um princípio programático da matéria de ensino. Assim, os conteúdos mais abrangentes e menos específicos devem ser apresentados logo no início da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa e ao longo da aplicação, por meio das situações-problemas e serem diferenciados progressivamente em relação a suas especificidades (AUSUBEL, 2003). Segundo as palavras de Moreira (2006):

1) é menos difícil para seres humanos captar aspectos diferenciados de um todo mais inclusivo previamente aprendido [...]

2) a organização do conteúdo de certa disciplina na mente do indivíduo é uma estrutura hierárquica na qual as ideias mais inclusivas estão no topo da estrutura e, progressivamente, incorporam proposições, conceitos e fatos menos inclusivos e mais diferenciados. (MOREIRA, 2006, p.)

Esta maneira de apresentar os conteúdos se deve ao fato de que a estrutura cognitiva é organizada de forma hierárquica, em que os conceitos mais abrangentes se encontram no topo desta hierarquia e os conceitos menos abrangentes estão nas partes inferiores. Então, supostamente, como a estrutura cognitiva é organizada em níveis hierárquicos e a aquisição de uma nova ideia se faz com menor dificuldade quando existe a diferenciação progressiva do material instrucional, é pertinente a ideia de organizar este material de forma que os conceitos mais gerais e abrangentes a serem aprendidos sejam apresentados logo no início da instrução, facilitando assim a ocorrência da aprendizagem significativa.

Concomitante à diferenciação progressiva, a programação do conteúdo deve explorar as relações entre conceitos e proposições, destacando as diferenças e semelhanças relevantes dos conteúdos aprendidos. Isto deve ser feito para realizar o que Ausubel (2003) chama de reconciliação integrativa. O princípio da reconciliação integrativa vai no sentido oposto à forma como os livros-texto apresentam os conteúdos a serem aprendidos, ou seja, de maneira compartimentada, separando as ideias em capítulos e seções que não estão relacionados entre si. Desta forma, é necessário que o professor ao elaborar a UEPS tenha em mente que a cada diferenciação progressiva realizada é necessária uma reconciliação integradora de modo que o aluno não deixe de perceber a inter-relação entre os conceitos. A reconciliação integrativa é a retomada de conteúdos mais abrangentes, onde o professor evidenciará a relação estabelecida entre o conceito aprendido e o subsunçor que permitiu a ancoragem. Uma das formas de realizar a reconciliação integrativa é por meio de uma aula expositiva, onde o professor retoma os conceitos mais gerais e abrangentes do conteúdo que está sendo trabalhado.

A consolidação dos conteúdos aprendidos pelo indivíduo antes que novas informações sejam disponibilizadas ao aprendiz, contribuem para a aprendizagem subsequente. O princípio da consolidação está, de certa forma, relacionado com a principal proposição de Ausubel: “o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é o que o aprendiz já sabe” (AUSUBEL, 1976, 2003). Desta forma, se faz indispensável que a estrutura cognitiva preexistente, que é de suma importância para a ancoragem de novos conceitos, tenha um ótimo grau de estabilidade e clareza. Caso a estrutura cognitiva não possua clareza e estabilidade, a aprendizagem posterior acaba sendo comprometida. Por este motivo, a consolidação do que está sendo estudado, antes que novas informações sejam introduzidas é um princípio facilitador da aprendizagem significativa.

Quanto à avaliação dos alunos, esta deve ser feita de maneira que busque evidências da aprendizagem significativa. A avaliação não deve ser baseada em procedimentos que apenas exijam do aluno a simples memorização dos conteúdos abordados durante a UEPS. A avaliação deve ser elaborada de maneira que o contexto das questões não seja idêntico aos trabalhados na UEPS. Assim, a avaliação deve ser composta de questões abertas que possibilitem o aluno a formular respostas que não sejam simplesmente oriundas do processo de memorização do conteúdo apresentado.

Pelo que foi exposto anteriormente, as situações-problemas constituem uma parte muito importante da UEPS. Desta forma, o papel do professor é o de formular e/ou selecionar situações-problemas que possam ser aplicadas e que conduzam à aprendizagem significativa. Cabe também ao professor a função de realizar o levantamento dos conceitos prévios dos alunos, identificando quais são os conceitos mais abrangentes, inclusivos e relevantes preexistentes na estrutura cognitiva. O professor deve organizar de forma hierárquica os

conteúdos a serem trabalhados ao longo da UEPS e garantir que estes sejam progressivamente diferenciados conforme as situações-problemas vão sendo apresentadas.

É necessário que o professor, ao elaborar uma situação-problema, tenha em vista quais são os subsunçores mais abrangentes, diferenciados e consolidados da estrutura cognitiva do aluno. Pois para que a aprendizagem significativa ocorra é necessário que os novos conceitos sejam relacionados de forma não arbitrária e não literal aos subsunçores preexistentes. Também é importante ressaltar que o professor deve atuar como mediador da captação de significados pelos alunos e aja de modo a fazer com que os alunos compartilhem os significados captados com os colegas em sala de aula (AUSUBEL 2003; MOREIRA, 2006).

A interação social e a linguagem são imprescindíveis para a troca de significados. Assim, o professor não deve centrar as aulas e as discussões em sua pessoa, ou seja, o professor não pode ser o foco. Isto não remete um papel secundário do educador no processo e sim reserva-lhe um papel muito mais importante, que é o de mediador. O aluno deve ser incentivado a compartilhar seus conhecimentos com os demais alunos da classe, possibilitando uma troca de significados que é essencial no processo de aprendizagem significativa.

A mediação do professor deve estar presente, pois os significados captados e compartilhados pelos alunos também devem ser compartilhados pela sociedade científica, ou seja, não é interessante os alunos capturem um significado que não seja aceito pela sociedade científica. A responsabilidade do professor recai sobre a necessidade de nortear os alunos em relação a estas trocas de significados. Um significado que não é compartilhado pela sociedade científica pode ser interpretado como significado de senso comum, o que prejudica a aprendizagem significativa, pois este significado pode originar um subsunçor inadequado na estrutura cognitiva do aluno.

Neste processo, pode-se dizer que se estabelece uma relação triádica entre professor, aluno e material educativo. O material fornece os significados que devem ser captados e compartilhados pelos alunos sobre a mediação do professor. Esta relação triádica pode evoluir para uma relação quadrática à medida que o computador deixa de ser utilizado apenas como material educativo. Para isto, o computador deve ser utilizado como um instrumento capaz de fornecer novos significados para os alunos, além dos que podem ser obtidos pelos materiais educativos “tradicionais”. Pedir para que os alunos leiam um texto impresso ou o reproduzido digitalmente na tela do computador trará para os alunos os mesmos signos e significados, ou seja, o computador deve ser utilizado de uma forma inovadora e capaz de enriquecer os significados disponibilizados aos alunos.

Desta forma, pode-se dizer que uma UEPS deve ser elaborada levando em consideração a aprendizagem significativa dos conteúdos, estimulada pela busca de respostas às situações-problemas

propostas que são construídas levando em consideração certa diversidade de materiais educativos. Tais respostas vão além da memorização e reprodução dos conteúdos aprendidos, estas provêm da captação e negociação de significados apresentados no material educacional. Captação e negociação que só podem ocorrer quando o ensino baseado na narrativa do professor dá lugar a um ensino centrado no aluno.

3.1 Passos para a elaboração de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa

Os passos apresentados a seguir possuem como referência os apresentados por Moreira (2011). Espera-se que por meio destes passos o leitor que esteja interessado em elaborar uma UEPS seja capaz de fazê-lo de acordo com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. No capítulo 5 o autor tratará de forma mais detalhada a sua experiência pessoal com a construção da UEPS proposta neste trabalho. Neste primeiro momento haverá apenas uma instrução mais geral para sua elaboração.

Passo 1: definir o assunto que será abordado. Uma UEPS pode contemplar um assunto específico, como por exemplo, a dilatação dos sólidos, ou até mesmo uma unidade inteira, como por exemplo, termodinâmica.

Passo 2: mapear a estrutura cognitiva por meio da externalização dos conhecimentos prévios do aluno. Para isto, é necessário que o professor recorra a discussões, questionários, mapas conceituais, mapas mentais, entre outros. Também é pertinente que o professor crie e/ou proponha situações-problemas para tal finalidade. Esta etapa se refere à averiguação do que o aluno já sabe, que como foi citado anteriormente, se refere a um ponto importantíssimo da teoria de Ausubel. Apesar dos recursos disponibilizados acima, esta é uma tarefa difícil, uma vez que o próprio procedimento de externalizar a estrutura cognitiva pode reorganizá-la, deixando o processo impreciso. Em seguida o professor deve verificar se os conhecimentos prévios são relevantes para a aprendizagem significativa do conteúdo a ser ensinado, bem como se estes são aceitos pela comunidade científica, ou seja, se não se tratam de conhecimentos de senso comum. Caso os conhecimentos prévios sejam conhecimentos de senso comum, o professor deve adotar estratégias e metodologias capazes de trabalhar esses conhecimentos levando em consideração uma visão mais formal e científica do assunto.

Passo 3: nesta etapa o professor deve propor uma situação-problema levando em consideração os conhecimentos prévios dos alunos. Cabe ressaltar que esta situação-problema deve ser apresentada em um nível introdutório, estabelecendo uma relação entre o que o aluno já sabe e que o aluno deverá aprender. A apresentação da situação-problema sempre deve ser feita de maneira acessível e problematizadora. Desta forma, exercícios de aplicação costumeiramente encontrados em livros didáticos e apostilas não servem para este propósito. Esta situação-problema já deve conter o assunto que será abordado na UEPS, porém ainda não

se deve ensiná-lo. O aluno deve perceber o caráter problematizador da situação, estabelecendo relações com os subsunçores disponíveis em sua estrutura cognitiva e se motivando para encontrar uma solução. O professor deve permanecer atento ao fato de que a situação-problema necessita estar ao alcance do aluno, ou seja, ele deve ser capaz de modelar mentalmente o problema e estabelecer relações com os conhecimentos prévios. Segundo Moreira (2011, p. 4), “estas situações-problemas iniciais podem ser propostas através de simulações computacionais, demonstrações, vídeos, problemas do cotidiano, representações veiculadas pela mídia, problemas clássicos da matéria de ensino [...]”.

Passo 4: após trabalhada a situação-problema inicial, o professor deve apresentar o conteúdo a ser ensinado na UEPS, sem se esquecer de considerar a diferenciação progressiva do mesmo. Para isto é necessário que sejam apresentados os aspectos mais gerais e abrangentes do conteúdo para que o aluno tenha uma visão geral do que se pretende ensinar, sendo que logo em seguida é necessário que os aspectos mais específicos sejam abordados e exemplificados. Desta forma, o professor deve adotar uma estratégia de ensino que siga o conceito de diferenciação progressiva. Para isto o professor pode optar por uma breve aula expositiva, um texto, um vídeo, etc., e em seguida propor uma atividade colaborativa em grupos e depois uma atividade de discussão ou apresentação para toda a turma. Estas atividades têm como objetivo a troca de significados entre os alunos, lembrando sempre que esta deve ser mediada pela figura do professor.

Passo 5: realizar a reconciliação integradora do conteúdo abordado no passo 4, isto é, retomar os aspectos mais gerais do conteúdo central da UEPS. Porém, a reapresentação deve ser feita em um nível mais alto de complexidade do que foi apresentado anteriormente, podendo-se utilizar os mesmos recursos didáticos citados acima (aula expositiva, um texto, um vídeo, etc.). Este processo é muito importante, uma vez que serve para reforçar a ancoragem do novo conteúdo aos subsunçores. Como mencionado anteriormente, as situações-problemas devem ser apresentadas em nível crescente de complexidade, ou seja, a situação-problema apresentada deve tratar o mesmo conteúdo, porém com maior nível de profundidade. Novamente o professor deve sugerir alguma atividade para que os alunos interajam, socializando a troca de significados entre eles por meio da mediação do professor. Segundo Moreira (2011, p. 4), “esta atividade pode ser a resolução de problemas, a construção de um mapa conceitual ou um diagrama V, um experimento de laboratório, um pequeno projeto [...]”.

Passo 6: para finalizar a UEPS, o professor deve fazer novamente uma reconciliação integradora entre os conceitos que foram progressivamente diferenciados, retomando os aspectos mais gerais dos conceitos centrais da unidade de ensino. Para isto, deve ser feita a apresentação de novos significados utilizando mais uma vez os recursos didáticos mencionados acima. Assim, o conteúdo apresentado na situação-problema inicial em sua forma mais abrangente foi sendo diferenciado progressivamente no decorrer da UEPS chegando a seus

aspectos mais específicos e novamente sendo retomados por meio da reconciliação integradora. Ao final deste processo espera-se que os subsunçores que serviram de ancoradouro para os novos conceitos estejam em um nível hierárquico mais abrangente na estrutura cognitiva do aluno. Desta forma, os novos conceitos ancorados podem servir de subsunçores para ancoragens futuras. Caso o professor julgue necessário, novas situações-problemas devem ser propostas, lembrando sempre que o nível de complexidade deve ir aumentando em cada etapa do processo e nunca perdendo de vista a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora. Cada situação-problema deve ser solucionada por meio de uma atividade colaborativa entre os alunos promovendo a troca de significados por meio da mediação do professor.

Passo 7: a avaliação dos alunos deve ser feita durante todo o período de aplicação da UEPS, em que o professor deve registrar tudo o que considerar relevante como evidência de aprendizagem significativa do conteúdo abordado na unidade de ensino. Tudo que for produzido pelos alunos (mapas conceituais, esquemas, textos, etc.) deve ser utilizado para a avaliação. O professor pode também entrevistar os alunos enquanto os mesmo realizam as atividades propostas. Para complementar, também deve haver uma avaliação somativa individual após o passo seis. A avaliação somativa deve ser composta de questões e/ou situações que possibilitem ao professor verificar a compreensão e que evidenciem a captação de significados por parte do aluno. Desta forma, as questões e/ou situações devem ser formuladas de maneira diferente daquela feita durante a aplicação da UEPS, pois a reprodução das questões/situações do modo como foram propostas anteriormente podem levar o estudante a reproduzir de maneira similar as respostas encontradas, dificultando a análise das evidências de aprendizagem significativa.

Passo 8: para considerar que a UEPS cumpriu seu propósito será necessário que a avaliação de desempenho aplicada aos alunos busquem evidências de aprendizagem significativa, ou seja, é necessário verificar a captação de significados, a capacidade dos alunos aplicarem os conhecimentos adquiridos na UEPS para resolverem novas situações-problemas. Sendo a aprendizagem significativa um processo dinâmico, sua avaliação não pode ser baseada no comportamento final (AUSUBEL, 2003). Pelo processo obliterador presente no processo evolutivo da aprendizagem significativa, os subsunçores vão sendo modificados, assim como o novo conhecimento ancorado que se resulta deste processo apenas o subsunçor modificado. Desta forma, qualquer tipo de avaliação que se faz necessário à reprodução exata das novas ideias fornecidas pela UEPS, tal qual foi apresentada ao aprendiz, acabam por desestimular a aprendizagem significativa.

Capítulo 4: A Teoria da Relatividade Restrita

4.1 O princípio da relatividade de Galileu Galilei

O entendimento do trabalho desenvolvido por Galileu em relação à relatividade do movimento é muito importante para a compreensão da Teoria da Relatividade Restrita proposta por Einstein mais de três séculos depois. Galileu mostrou, usando argumentos da geometria, que a trajetória descrita por um corpo em movimento depende do referencial adotado, ou seja, a trajetória pode variar de acordo com o referencial do observador. Para compreender melhor o conceito apresentado é necessário que se recorra ao princípio da independência dos movimentos, também proposto por Galileu.

Um objeto que descreve uma trajetória parabólica pode ter seu movimento decomposto em duas direções: vertical e horizontal. O movimento realizado na vertical é totalmente independente do movimento realizado na horizontal. Para exemplificar apresenta-se o seguinte exemplo: um avião se desloca em uma trajetória retilínea com velocidade constante a uma determinada altura do solo. Em certo momento do trajeto, abandona-se um caixote que cai em queda livre. O movimento do caixote pode ser decomposto em dois movimentos independentes, ou seja, um movimento uniforme na horizontal e um movimento uniformemente variado na vertical, onde em ambos os movimentos deve ser desconsiderado a resistência do ar, ver a Figura 2.

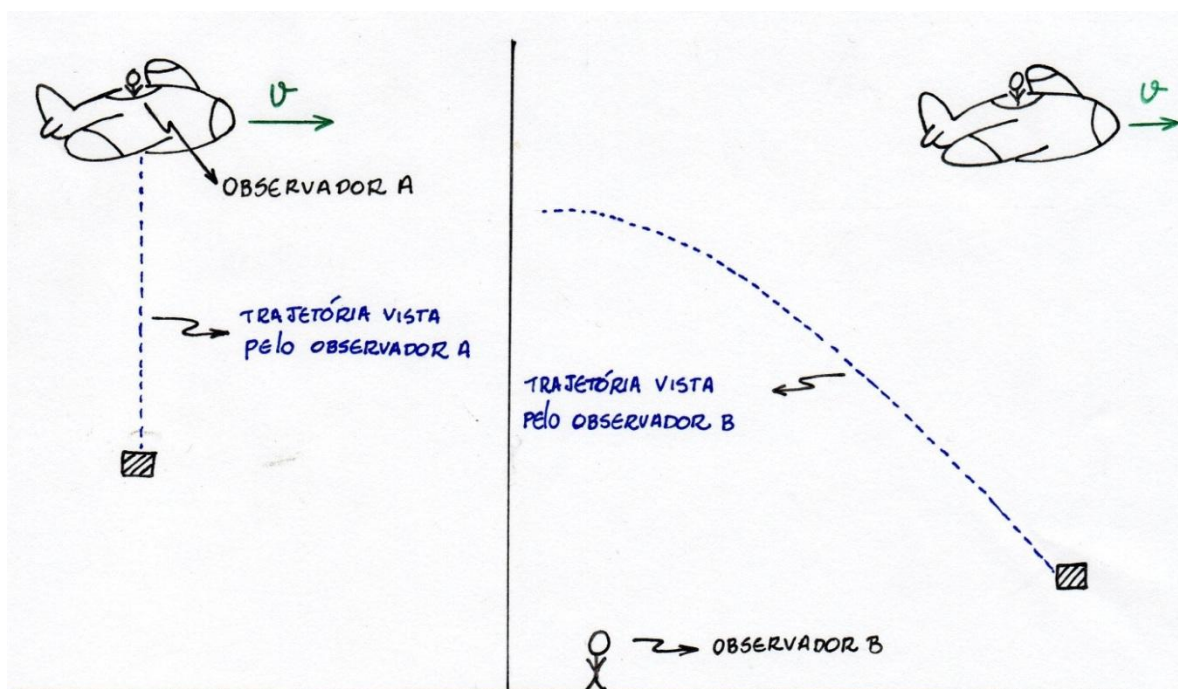


Figura 2: Trajetória de um objeto em queda livre vista por dois observadores que se encontram em dois referenciais inerciais distintos.

A trajetória descrita pelo caixote em queda livre pode ser observada de maneiras distintas por dois observadores em referenciais diferentes. Para um observador que se encontra no avião, o caixote descreve uma trajetória retilínea na vertical, pois a velocidade do caixote na horizontal é a mesma que a do observador, ou seja, para este observador o caixote possui apenas velocidade na direção vertical. Já para um observador que se encontra em repouso no solo, a trajetória descrita pelo caixote é parabólica, uma vez que a velocidade na horizontal e na vertical são diferentes em relação ao observador em terra. Desta forma, cada observador terá uma visão diferente da trajetória descrita pelo caixote. Assim, Galileu conseguiu mostrar que a trajetória e as velocidades de um objeto são diferentes para observadores que se encontram em referenciais distintos.

No exemplo apresentado, vale ressaltar que ambos os referenciais adotados são inerciais. Dizer que um referencial é inercial significa que o mesmo não é acelerado. Por este motivo foi relevante a informação de que o avião se desloca em uma trajetória retilínea com velocidade constante e que o observador em solo está em repouso. Assim, um referencial inercial é aquele que obedece à lei da inércia, ou seja, todo corpo que se encontra em movimento retilíneo uniforme ou em repouso tende a permanecer nesta condição se nenhuma força resultante atuar sobre ele. Quanto a um referencial não-inercial, este possui aceleração. No decorrer deste capítulo será tratado com mais detalhes a questão de referenciais inerciais, uma vez que este conceito é muito importante para a compreensão da teoria da Relatividade Restrita.

4.2 Transformações Galileanas

As transformadas de Galileu são expressões matemáticas, pelo meio das quais é possível relacionar a descrição de um mesmo movimento para dois observadores que se encontram em sistemas de referenciais distintos. Para que não haja ambiguidade entre os termos sistema de referência e sistema de coordenadas utilizar-se-á a definição proposta por Silva (2006, p. 38): “Um sistema de referência, ou referencial, é qualquer conjunto de eixos perpendiculares orientados, que arbitrariamente têm suas origens centradas em um ponto de um corpo material ou em um ponto localizado no espaço de algum modo”. O observador é qualquer ente ou dispositivo capaz de realizar medições de tempo e espaço.

Considere dois sistemas de referenciais inerciais. Um será denominado de S , composto por três eixos ortogonais (x, y, z) , que são as coordenadas espaciais, e a coordenada temporal t . O outro sistema será denominado de S' e também é composto por três eixos ortogonais (x', y', z') , além da coordenada temporal t' . O referencial S se encontra em repouso em relação à Terra, enquanto o referencial S' se encontra em

movimento retilíneo uniforme em relação ao sistema de referência S . O deslocamento de S' é na mesma direção do eixo x e paralelo ao eixo y .

Na relatividade galileana, apenas um relógio é suficiente para marcar o tempo em ambos os sistemas de referência, uma vez que o tempo transcorre de forma igual tanto em S como em S' . Considerando que no instante $t = t' = 0$ a origem dos dois referenciais se coincidem, tem-se que: $x_0 = x'_0, y_0 = y'_0$ e $z_0 = z'_0$, ou seja, $O \equiv O'$ para $t = t' = 0$. Adotando um ponto P localizado sobre o eixo x , suas coordenadas em S são definidas por (x, y, z, t) em S' por (x', y', z', t') . Quando $t = t' = 0$ pode-se dizer que as coordenadas do ponto em S e S' coincidem, ou seja, $x_p = x'_p, y_p = y'_p$ e $z_p = z'_p$. Observe a Figura 3.

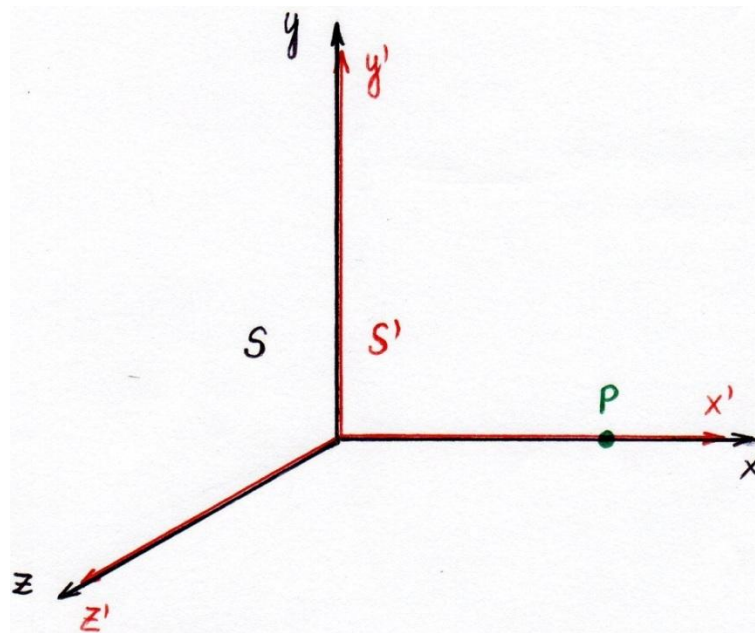


Figura 3: Sistemas de referenciais inerciais S e S' no instante $t = t' = 0$, onde as origens dos dois referenciais se coincidem $O \equiv O'$.

Agora considere um instante posterior onde $t = t' > 0$. Como o referencial S' se desloca com velocidade constante em relação ao referencial S , as coordenadas do ponto P nos respectivos referenciais não são mais as mesmas, uma vez que as origens não mais coincidem, como é mostrado na Figura 4.

Desta forma, podemos relacionar as coordenadas nos referenciais S e S' da seguinte maneira:

$$\begin{aligned}
 x_p &= x'_p + V \cdot t \\
 y_p &= y'_p \\
 z_p &= z'_p \\
 t &= t'
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

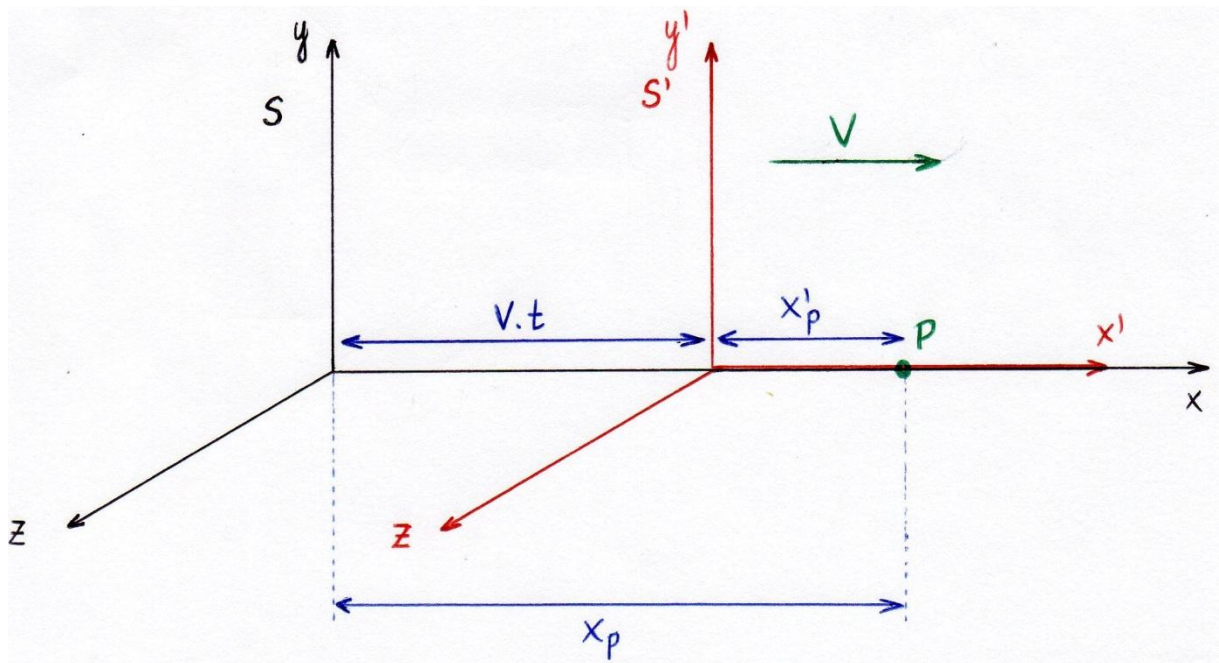


Figura 4: Referencial inercial S' se deslocando com velocidade V constante em relação ao referencial S . As coordenadas do ponto P no eixo x não mais coincidem.

As expressões (1) são conhecidas como as Transformadas de Galileu. Como dito anteriormente, é possível a expressão $t = t'$, que indica que os relógios estão sincronizados. Isto se deve ao fato do tempo ser absoluto na relatividade galileana, ou seja, o tempo não depende do referencial adotado.

Considere agora que o ponto P possui uma velocidade v'_p em relação ao referencial S' . Se S' estiver parado em relação a S , $v'_p = v_p$, sendo v_p a velocidade do ponto P em relação ao referencial S . Se S' possuir uma velocidade V em relação a S , teremos $v_p = v'_p + V$. Para o referencial S' a velocidade do ponto P continua sendo v'_p , ver Figura 5. A distância percorrida pelo ponto P em relação ao referencial S é:

$$\Delta x = V \cdot t + \Delta x' \quad (2)$$

Dividindo ambos os lados por t obtém-se:

$$v_p = V + v'_p \quad (3)$$

Assim, conclui-se que as posições e velocidades são diferentes para sistemas referenciais inerciais (SRI) diferentes. Tanto as posições como as velocidades, em diferentes SRI estão relacionadas entre si pelas equações de transformação propostas por Galileu.

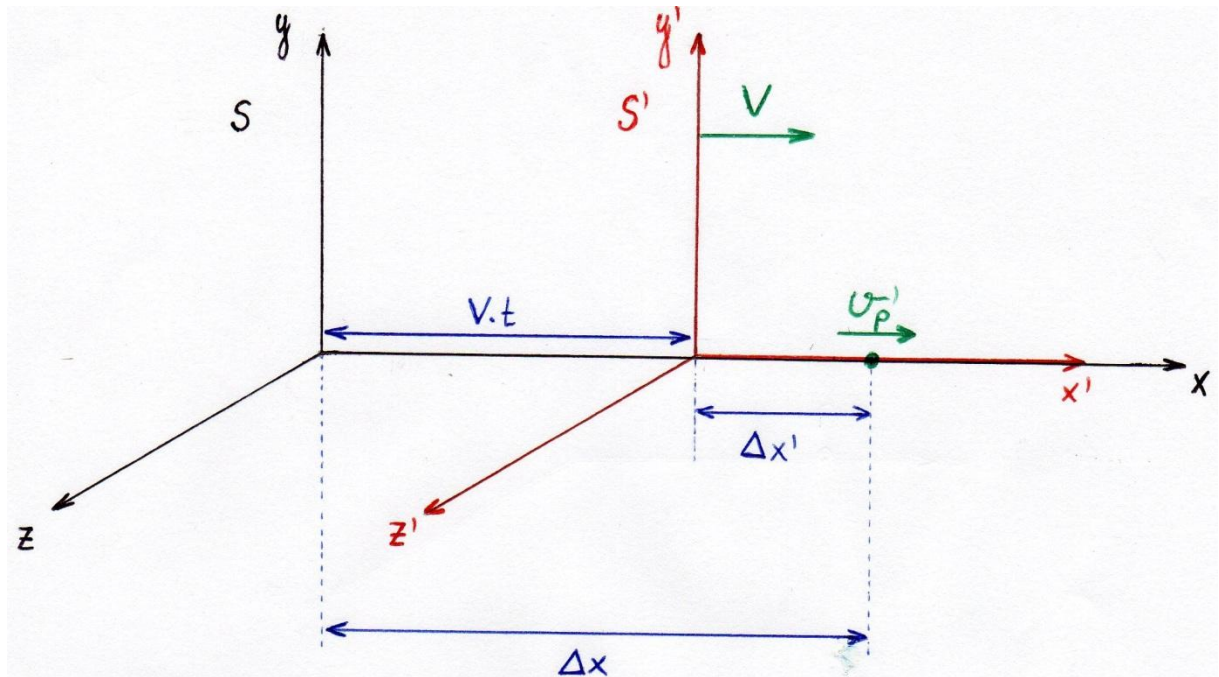


Figura 5: Deslocamento sofrido pelo ponto P em relação aos referenciais inerciais S e S'.

Outra consideração importante sobre o referencial de Galileu é que se um observador se encontra dentro de um vagão de trem, por exemplo, e este vagão não possui janelas e nenhum dispositivo para verificar a velocidade do vagão fica impossível de determinar se o vagão está em movimento retilíneo uniforme ou em repouso apenas analisando o movimento de um corpo dentro do vagão. Assim, se uma esfera for lançada obliquamente ou abandonada em queda livre dentro do vagão, não será possível determinar o movimento do vagão. Isto ocorre, pois as leis da Mecânica não se alteram diante das Transformações de Galileu.

4.3 O Eletromagnetismo

A Eletricidade e o Magnetismo são conhecidos pela humanidade desde a Grécia antiga. Os gregos observaram que determinados materiais interagiam de maneira a se atrair ou repelir quando aproximados uns dos outros, porém ainda não conseguiam distinguir tal fenômeno como tendo origem elétrica ou magnética, nem tão pouco explica-los. Apenas no século XVI é que se começou a ter conhecimento da diferença entre eletricidade e magnetismo. A partir desta data, pesquisadores e cientistas como William Gilbert, Robert Boyle, James Wimshurst, Stephen Gray, Charles du Fay, Benjamin Franklin, Charles Coulomb, entre outros, fizeram contribuições relevantes para o desenvolvimento das teorias e dos conceitos acerca desse ramos da física (WOLFF e MORS, 2005).

O físico e matemático escocês James Clerk Maxwell é um dos nomes mais famosos da física. Isto se deve ao tratamento que este deu para o eletromagnetismo e seu feito de unificar as teorias existentes em quatro equações que ficaram conhecidas como as Equações de Maxwell para o Eletromagnetismo. Nestas equações, propostas em 1865, Maxwell conseguiu unificar as leis de Coulomb, Ampère e Faraday. Além da unificação das leis do eletromagnetismo, Maxwell ainda conseguiu unificar o eletromagnetismo com a óptica. As equações de Maxwell para os campos elétrico E e magnético B são apresentadas a seguir na sua forma diferencial (NUSSENZVEIG, 2009, p. 262):

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (4)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (5)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (6)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \mu_0 \vec{J} \quad (7)$$

em que ρ é a densidade volumétrica de cargas elétricas encerradas em um dado volume, μ_0 e ϵ_0 são a permeabilidade magnética e a permissividade elétrica do espaço livre, respectivamente, onde μ_0 e ϵ_0 são obtidos por medidas *puramente eletromagnéticas* (força coulombiana entre cargas e força magnética entre correntes), com os resultados:

$$\left. \begin{array}{l} \epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{4\pi \times 8,98755} \frac{F}{m} \\ \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{H}{m} \end{array} \right\} \frac{1}{\epsilon_0 \mu_0} \cong 8,98755 \times 10^{16} \left(\frac{m}{s}\right)^2 \quad (8)$$

A expressão (4) é conhecida como Lei de Gauss e relaciona o fluxo elétrico através de qualquer superfície gaussiana fechada para as cargas elétricas na superfície. A expressão (5) é a Lei de Gauss para o magnetismo, que determina que o fluxo magnético através de qualquer superfície gaussiana é zero, ou seja, o divergente do campo magnético é nulo devido ao fato de não existirem monopolos magnéticos. A expressão (6) é a Lei de Faraday e descreve como um campo magnético que varia com o tempo induz um campo elétrico. A expressão (7) é chamada de Lei de Ampère – Maxwell, que propõe que campos magnéticos podem ser gerados através de correntes elétricas ou por campos elétricos que variam no tempo.

As equações acima levam às equações de ondas eletromagnéticas se propagando no vácuo, (região do espaço sem a presença de cargas elétricas e correntes) dadas por:

$$\nabla^2 \Psi - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2} = 0 \quad (9)$$

A velocidade de propagação da onda eletromagnética é dada por

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad (10)$$

tal que substituindo os valores de ϵ_0 e μ_0 resulta que

$$v \cong 2,99792 \times 10^8 \text{ m/s} = c$$

em que c é o valor da velocidade da luz no vácuo.

Assim, Maxwell demonstrou que estas ondas eletromagnéticas se propagam com uma velocidade igual à velocidade de propagação da luz no vácuo. Isto levou Maxwell a inferir que a natureza da luz é de origem eletromagnética.

Segundo as palavras de Maxwell temos:

“A velocidade das ondulações transversais no nosso meio hipotético, calculada a partir das experiências de Eletromagnetismo efetuadas pelo Srs. Kolhraush e Weber (311.000 km/s), tem um valor tão próximo do valor da velocidade calculado a partir de experiências de Óptica realizadas pelo Sr. Fizeau que é difícil de evitar a inferência de que a luz consistirá em ondulações transversais do mesmo meio que é a causa dos fenômenos elétricos e magnéticos.” (WOLFF e MORS, 2005, p. 20).

Em 1887, o físico alemão Heinrich Hertz confirmou a proposição de Maxwell, que previa a natureza eletromagnética da luz. O método pelo qual Hertz conseguiu a confirmação foi por meio de um círculo oscilante capaz de gerar ondas que podiam ser refletidas, refratadas, difratadas e polarizadas da mesma forma que a luz.

Com as Equações de Maxwell, três ramos da física foram unificados em uma única teoria: a Eletricidade, o Magnetismo e a Óptica. Com isso, no final do século XIX, acreditava-se que pouco havia restado para ser descoberto, pois o Eletromagnetismo e a Mecânica newtoniana estavam praticamente consolidados. Contudo havia alguns problemas ainda em aberto, como por exemplo, na época acreditava-se que as todas as ondas necessitavam de um meio material para se propagar, inclusive a luz e faltava ainda, obter experimentalmente evidências e informações sobre esse meio, conhecido, na época, de éter luminífero.

4.4 A eletrodinâmica de Maxwell e a mecânica de Newton.

Ao estender o princípio da relatividade galileana à Eletrodinâmica, surge um problema imediato: segundo as leis da eletrodinâmica apresentadas anteriormente (equações de Maxwell), a luz se propaga no vácuo com uma velocidade c . Considerando um referencial inercial, onde as leis da Mecânica Clássica são válidas, o resultado não poderia ser aplicado em um referencial inercial distinto que se desloca com uma velocidade V em relação ao primeiro. Pela lei da composição de velocidades de Galileu, tem-se:

$$c' = c - V \quad (11)$$

em consequência, obter-se-ia que $c' \neq c$, onde c' variaria com a direção de propagação.

Aplicando as transformações de Galileu ao conjunto das equações de Maxwell observou-se que a equação de onda eletromagnética não preservava a mesma forma em dois referenciais inerciais. Desta forma, as equações de Maxwell e das leis da mecânica newtoniana (princípio da relatividade galileana) não seriam compatíveis ou igualmente válidas no arcabouço da física.

Assim, uma das seguintes opções deveria ser válida. Segundo Nussenzveig (2004):

- (i) A mecânica newtoniana e as equações de Maxwell são válidas, mas o princípio de relatividade não se aplica a todas as leis físicas; existe um referencial absoluto (o éter), onde a velocidade da luz é c em todas as direções, e deve ser possível, por meio de experiências eletromagnéticas, detectar um movimento retilíneo e uniforme em relação ao referencial absoluto do éter.
- (ii) O princípio de relatividade aplica-se a todas as leis físicas e a mecânica newtoniana é correta. Neste caso, as equações de Maxwell teriam de ser modificadas, e deveria ser possível observar desvios das leis da eletrodinâmica clássica.
- (iii) O princípio de relatividade aplica-se a todas as leis físicas, e as equações de Maxwell são corretas. Nesse 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, p. 177)

4.5 A relatividade de Einstein

Albert Einstein, em 1905, em seu trabalho intitulado “Sobre a Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento”, propõe dois princípios como ponto de partida para estruturar a teoria da Relatividade Restrita. Os princípios estabelecidos por Einstein estão a seguir.

1) O princípio da relatividade: as leis que governam as mudanças de estado em quaisquer sistemas físicos tomam a mesma forma em quaisquer sistemas de coordenadas inerciais

2) O princípio da invariância da velocidade da luz: a luz tem velocidade invariante igual a c em relação a qualquer sistema de coordenadas inercial. A velocidade da luz no vácuo é a mesma para todos os observadores em referenciais inerciais e não dependem da velocidade da fonte que está emitindo a luz, tampouco do observador que está medindo.

Einstein assumiu que estes dois princípios como postulados, ou seja, todas as deduções se apresentariam muito mais simples se estes princípios fossem considerados como a base da teoria.

4.6 A relatividade da Simultaneidade

O conceito de simultaneidade está relacionado com a ocorrência de dois eventos de maneira concomitante, ou seja, ao mesmo tempo. Na relatividade de Galileu, se dois eventos ocorrem de maneira simultânea para um sistema de referencial inercial, então estes eventos também ocorrerão de maneira simultânea para quaisquer outros sistemas de referencial inerciais. Desta forma, pode-se dizer que a simultaneidade de eventos não é relativa na relatividade galileana.

A simultaneidade de eventos ocorre desta maneira na relatividade galileana devido ao fato que independentemente do referencial inercial adotado o tempo transcorre da mesma maneira para todos eles. Porém, na relatividade restrita o tempo transcorre de maneiras distintas para referenciais inerciais distintos, ou seja, o tempo é relativo. Assim, para dois observadores que se encontram em sistemas referenciais distintos, dois eventos podem ocorrer de maneira simultânea para um observador e de maneira não simultânea para outro. Um experimento mental (gedanken) proposto pelo próprio Einstein servirá para ilustrar o exposto acima.

Considere um trem movendo-se com uma velocidade V em relação ao solo e que ambos os sistemas de referência, do trem e do solo, sejam inerciais. Existem dois observadores, cada um deles está em repouso em um dos referenciais. Em determinado instante, dois raios atingem cada uma das extremidades do trem, deixando marcas no trem e no solo, ou seja, os raios marcam as extremidades do trem e as posições no solo onde elas se encontravam naquele determinado instante, como pode ser visto na Figura 6a. Os observadores posicionados nos referenciais se encontram ambos no ponto médio entre as extremidades do trem atingidas pelos raios.

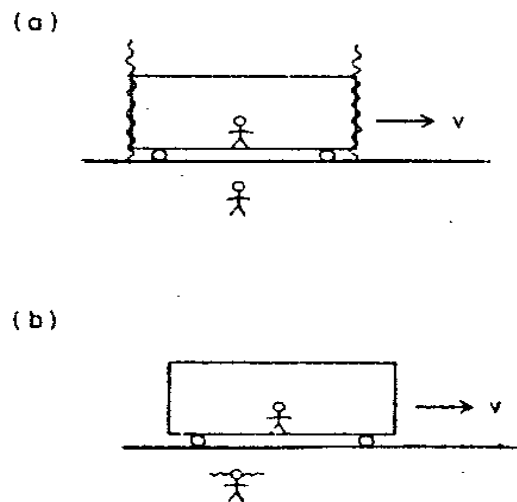


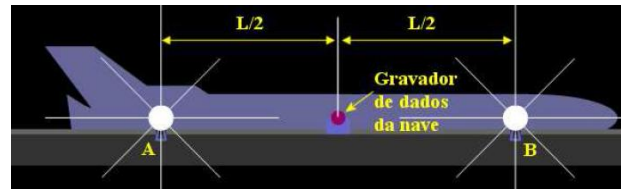
Figura 6: Trem se deslocando com velocidade V em relação ao solo. (a) para o observador no solo os dois raios atingem as extremidades do trem no mesmo instante. (b) as ondas luminosas provenientes das duas extremidades do trem chegam simultaneamente ao observador que se encontra no solo. Fonte: (JANIS, 1983).

Supondo que os dois raios são simultâneos no sistema de referência no solo e considerando o postulado da invariância da velocidade da luz, as ondas luminosas provenientes dos raios e viajando no vácuo atingiram o observador em solo ao mesmo tempo Figura 6b. Contudo, 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 posterior, a onda luminosa proveniente do raio que atinge a frente do trem chegará ao observador que se encontra no trem primeiro do que a onda luminosa proveniente da traseira do trem. Pode-se concluir com este experimento mental que eventos simultâneos em um determinado referencial não serão simultâneos em outro. Para uma leitura mais detalhada sobre o assunto, sugere-se o artigo escrito por Janis (1983).

Apresenta-se em seguida a demonstração matemática que relaciona a análise para o caso não relativístico e o caso relativístico para o fenômeno da simultaneidade⁵. Analisando a Figura 7, obtidas a partir da animação sobre simultaneidade⁶, acrescidas das anotações pertinentes, considere que a nave se desloca para a direita com velocidade de módulo V em relação ao referencial S (em repouso em relação a plataforma). A nave se encontra em repouso em relação a um referencial S' que se move com a mesma velocidade V em relação à plataforma.

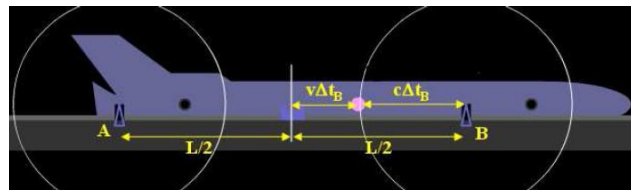
⁵ Usada por Paulo Farinas e Nelson Studart na disciplina introdutória de Física Básica para alunos de Física e Engenharia Física na UFSCar.

⁶ Disponível em: <http://escolanusai.pbworks.com/f/simultaneidade.swf>



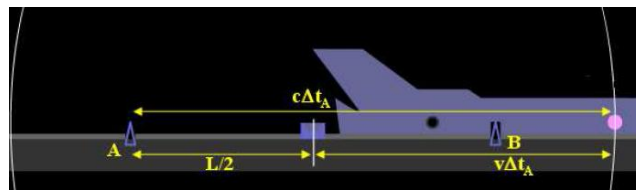
(a)

$$t = t_{A0} = t_{B0}$$



(b)

$$t = t_B \quad \Delta t_B = t_B - t_{B0}$$



(c)

$$t = t_A \quad \Delta t_A = t_A - t_{A0}$$

Figura 7: Imagens da animação sobre simultaneidade de eventos relativísticos. (a) posição em que o gravador de dados se encontra equidistante dos maçaricos A e B. (b) instante em que o pulso luminoso proveniente do maçarico B atinge o gravador de dados. (c) instante em que o pulso luminoso proveniente do maçarico A atinge o gravador de dados. Fonte: Notas de aula de Paulo Farinas e Nelson Studart na disciplina introdutória de Física Básica para alunos de Física e Engenharia Física.

Para o caso não relativístico e considerando um observador em repouso em relação ao referencial S, é de fácil verificação, a partir das figuras que,

$$c\Delta t_B + v\Delta t_B = \frac{L}{2} \quad \text{e} \quad c\Delta t_A - v\Delta t_A = \frac{L}{2} \quad (12)$$

Que por sua vez resultam em,

$$\Delta t_B = t_B - t_{B0} = \frac{L}{2(c+v)} \quad \text{e} \quad \Delta t_B = t_A - t_{A0} = \frac{L}{2(c-v)} \quad (13)$$

Para o caso não relativístico, considerando um observador em repouso em relação ao referencial S' , obtém-se,

$$\Delta t'_B = t'_B - t'_{B0} = \frac{L'}{2c'_B} \quad e \quad \Delta t'_A = t'_A - t'_{A0} = \frac{L'}{2c'_A} \quad (14)$$

Para os casos não relativísticos considerados, as transformações galileanas são válidas, onde:

$$t'_B = t_B, \quad t'_A = t_A, \quad t'_{B0} = t_{B0}, \quad t'_{A0} = t_{A0} \quad e \quad L' = L \quad (15)$$

A simultaneidade dos pulsos no referencial S implica necessariamente na mesma simultaneidade no referencial S' , pois:

$$t_{B0} = t_{A0} \implies t'_{B0} = t'_{A0} \quad (16)$$

Substituindo as transformações galileanas (14) em (13), obtém-se:

$$c'_B = c + v \quad e \quad c'_A = c - v \quad (17)$$

Desta forma, pode-se dizer que a adição de velocidades é compatível com as transformações galileanas. A frente de onda que sai do ponto B viaja mais rápido em relação à nave (c'_B) e alcança o gravador de dados antes, enquanto a frente de onda que sai do ponto A viaja mais lentamente em relação à nave (c'_A) e demora mais para alcançar o gravador de dados.

Para a demonstração do caso relativístico será utilizado o postulado da invariabilidade da velocidade da luz proposto por Einstein, onde:

$$c'_A = c'_B = c \quad (18)$$

ou seja, a velocidade da luz é a mesma em qualquer referencial inercial, independentemente do movimento relativo da fonte. As equações apresentadas em (15) ainda são válidas, porém adotando o postulado acima, obtém-se a igualdade:

$$t'_B - t'_{B0} = t'_A - t'_{A0} \quad (19)$$

Desta forma, adotando-se o referencial S' , pode-se dizer que o intervalo de tempo gasto para a frente de onda viajar do ponto A até o gravador de dados é o mesmo que outra frente de onda demora para viajar do ponto B até o gravador. Isto ocorre devido à simetria do problema (ambas as frentes de onda percorrem uma distância $= L'/2$) e nesta situação a velocidade de propagação da frente de onda independe do movimento da nave. Para o observador em repouso em relação ao referencial inercial S' , as frentes de onda provenientes de A e B chegam ao gravador de dados em tempos diferentes, ou seja, $t'_A \neq t'_B$. Assim, pela igualdade apresentada

em (19), constata-se que $t'_{A0} \neq t'_{B0}$, resultando que as frentes de onda emitidas nos pontos A e B não ocorrem de maneira simultânea.

4.7 As transformações de Lorentz.

Em trabalho produzido em outro contexto, o físico holandês Hendrik Lorentz, apresentou um conjunto de transformações que tomam invariantes as equações de Maxwell em dois sistemas inerciais que se movem um em relação ao outro com velocidade V . Einstein rederivou essas transformações de coordenadas com base nos postulados da Relatividade Restrita, que, no entanto, são chamadas de transformações de Lorentz porque foram primeiramente obtidas por Lorentz. No que segue, deduziremos essas transformações de coordenadas da maneira tradicional encontrada em grande parte dos livros-texto.

Considerando dois sistemas de referenciais cartesianos S com coordenadas (x, y, z, t) e S' com coordenadas (x', y', z', t') , onde as suas origens se coincidem no instante $t = t' = 0$. O sistema de referencial S' se desloca com velocidade V de maneira que todos os eixos ordenados permaneçam paralelos ao se correspondente no sistema S , ver Figura 8. Desta forma, pode-se dizer que:

$$O \equiv O' \text{ para } t = t' = 0 \quad (20)$$

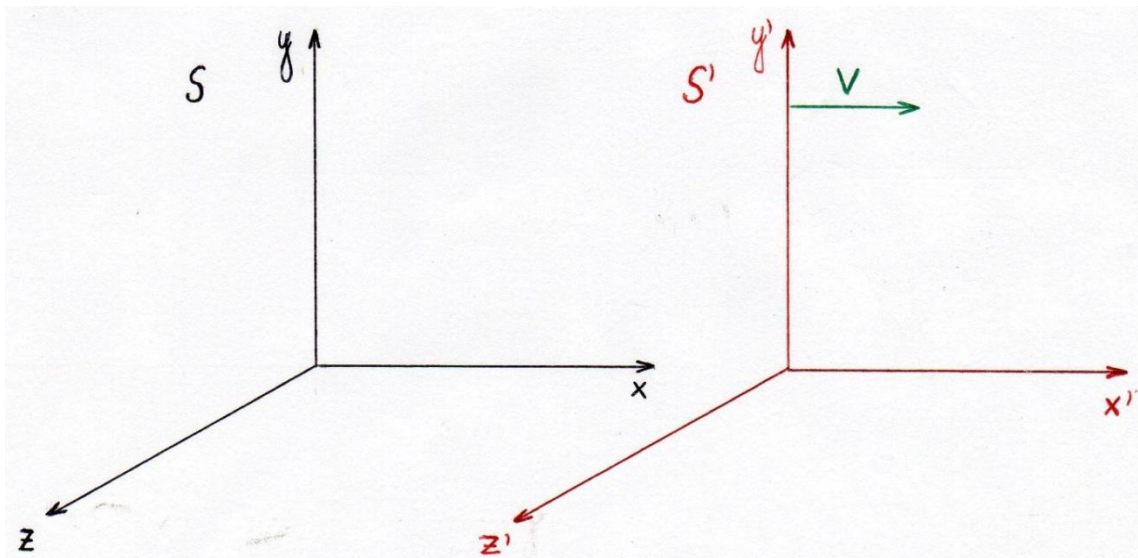


Figura 8: Referencial S' se deslocando com uma velocidade constante V em relação ao referencial inercial S .

A transformação de coordenadas do sistema referencial inercial $S (x, y, z, t)$ para o sistema referencial, também inercial, $S' (x', y', z', t')$ deve satisfazer as condições apresentadas abaixo:

1) Um movimento retilíneo uniforme em relação a um sistema de coordenadas S também deve ser retilíneo e uniforme em um sistema de coordenadas S' .

2) Se a velocidade do referencial inercial S' for igual a zero ($V = 0$), tem-se que a origem dos dois referenciais irão coincidir ($O \equiv O'$), ou seja, as coordenadas serão as mesmas nos dois sistemas, resultando em $x' = x, y' = y, z' = z, t' = t$.

3) Uma fonte emissora de luz gera um pulso luminoso que é enviado de $O \equiv O'$ em $t = t' = 0$. A frente de onda deve ser esférica se vista no sistema de referência S em que a fonte está em repouso, propagando-se com velocidade c em ambos os referenciais, ou seja, de acordo com o princípio da relatividade a frente de onda vista do sistema de referencial S' também deverá ser esférica, do caso contrário um observador em S' teria como saber que estava em movimento. Assim, pode-se dizer que:

$$x^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2 \Leftrightarrow x'^2 + y'^2 + z'^2 = c^2 t'^2 \quad (21)$$

Como o referencial S' se desloca com velocidade V em relação ao referencial S , a origem O' ($x' = 0$) do sistema de referência S' deve ter a coordenada $x = Vt$ em S . Supõe-se que a relação seja linear em x e t . Com essa hipótese, baseada em argumentos de simplicidade, obtém-se que

$$x' = A(x - Vt) \quad (22)$$

$$t' = Bt + Cx \quad (23)$$

Considerando que a única direção do movimento é a direção x , em que:

$$y' = y \quad (24)$$

$$z' = z \quad (25)$$

e adotando a equação de frente de onda no referencial S' como sendo:

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 = c^2 t'^2 \quad (26)$$

substituindo as expressões (22), (23), (24) e (25) em (26), obtém-se:

$$(A(x - Vt))^2 + y^2 + z^2 = c^2 (Bt + Cx)^2 \quad (27)$$

$$A^2(x^2 - 2xVt + V^2t^2) + y^2 + z^2 = c^2(B^2t^2 + 2BtCx + C^2x^2) \quad (28)$$

$$A^2x^2 - 2xA^2Vt + A^2V^2t^2 + y^2 + z^2 = c^2B^2t^2 + 2c^2BtCx + c^2C^2x^2 \quad (29)$$

$$A^2x^2 - c^2C^2x^2 - 2xA^2Vt - 2c^2BtCx + A^2V^2t^2 - c^2B^2t^2 + y^2 + z^2 = 0 \quad (30)$$

$$(A^2 - c^2 C^2)x^2 - 2(A^2 V + c^2 BC)xt + (A^2 V^2 - c^2 B^2)t^2 + y^2 + z^2 = 0 \quad (31)$$

$$(A^2 - c^2 C^2)x^2 - 2(A^2 V + c^2 BC)xt + y^2 + z^2 = -(A^2 V^2 - c^2 B^2)t^2 \quad (32)$$

Para que (26) seja equivalente a (32), os coeficientes devem satisfazer as seguintes igualdades:

$$A^2 - c^2 C^2 = 1 \quad (33)$$

$$A^2 V + c^2 BC = 0 \quad (33)$$

$$c^2 B^2 - A^2 V^2 = c^2 \quad (34)$$

Resolvendo esse sistema de equações, obtém-se:

$$A = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} = \gamma \quad (35)$$

$$B = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} = \gamma \quad (36)$$

$$C = -\frac{V}{c^2} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} = -\gamma \frac{V}{c^2} \quad (37)$$

Assim, as transformadas de Lorentz podem ser escritas como:

$$\begin{aligned} x' &= \gamma(x - Vt) \\ t' &= \gamma\left(t - \frac{V}{c^2}x\right) \\ y' &= y \\ z' &= z \end{aligned} \quad (38)$$

Para que γ seja real, deve-se ter a condição de que $V < c$. Desta forma, pode-se concluir que c , além de ser a velocidade da luz, também é uma velocidade limite, sendo que nenhum referencial pode se deslocar com uma velocidade $V > c$.

Resolvendo o sistema de equações lineares apresentadas em (38), obtém-se as transformações de Lorentz inversas, onde:

$$\boxed{\begin{aligned} x &= \gamma(x' - Vt') \\ t &= \gamma\left(t' - \frac{V}{c^2}x'\right) \\ y &= y' \\ z &= z' \end{aligned}} \quad (39)$$

Para velocidades muito baixas $V \ll c$ as transformações de Lorentz são semelhantes às transformações de Galileu. Desta forma, pode-se concluir que as transformadas de Lorentz são a generalização das transformadas galileanas.

4.8 Dilatação temporal

Uma das primeiras consequências da teoria da relatividade restrita é o fenômeno da dilatação temporal. Considere um relógio em repouso na origem de um sistema de referência que se move com velocidade V em relação a outro sistema S em repouso. O intervalo de tempo entre dois eventos, 1 e 2, em relação ao sistema S é dado por:

$$t_2 - t_1 = \Delta t_p \quad (40)$$

$$t_2 - t_1 = \gamma \left(t'_2 - \frac{V}{c^2} x' \right) - \gamma \left(t'_1 - \frac{V}{c^2} x' \right) \quad (41)$$

Mas $x'_2 = x'_1 = 0$, que é a posição do relógio em S' . Se escrevermos $\Delta t = \gamma \Delta t_p$, o tempo próprio medido pelo relógio no referencial em que está em repouso chegamos ao resultado para intervalo de tempo que o observador no sistema S é:

$$\Delta t > \Delta t_p \quad (42)$$

Como $\gamma > 1$, $\Delta t > \Delta t_p$, ou seja, o tempo se dilata para um observador em S .

4.9 Contração do comprimento

Outra consequência relevante é a contração do comprimento, também proposta por Lorentz para explicar o resultado nulo de uma experiência que se tornou famosa, feita por Albert Michelson e Edward Morley com o objetivo de medir a velocidade da Terra em relação ao éter, o meio no qual a luz, sendo uma onda eletromagnética, deveria se propagar.

Considere agora uma barra de comprimento L_p em repouso em relação a um sistema referencial S . Diz-se então que L_p é o comprimento próprio da barra medido em relação ao sistema S . Esta barra se encontra em repouso ao longo do eixo x , onde suas extremidades se encontram nas posições x_1 e x_2 , sendo estas posições independentes do tempo t no sistema S . Assim,

$$L_p = x_2 - x_1 \quad (43)$$

Desta forma, para se medir o comprimento da barra em relação ao sistema de referencial S' , será necessário realizar uma medida cinemática da barra, uma vez que ela se encontra em movimento retilíneo uniforme com velocidade de módulo V em relação a S' , ou seja, medir as extremidades da barra em movimento simultaneamente em um intervalo de tempo t' . Logo,

$$L = x'_2 - x'_1 \quad (44)$$

Utilizando as transformadas de Lorentz inversas, tem-se que:

$$x_2 - x_1 = \gamma(x'_2 - Vt') - \gamma(x'_1 - Vt') \quad (45)$$

$$x_2 - x_1 = \gamma(x'_2 - x'_1) \quad (46)$$

Obtendo-se, então:

$$L = \frac{L_p}{\gamma} \quad (47)$$

A expressão (47) é conhecida como Contração de Lorentz-Fitzgerald. Assim, o comprimento da barra em movimento é menor do que seu comprimento próprio. Pode-se então concluir, que da mesma forma que os intervalos de tempo se dilatam, os comprimentos se contraem, sendo que o efeito pode ser considerado recíproco, ou seja, caso o comprimento próprio da barra seja medido em relação a S' .

4.10 Efeito Terrell: aparência visual de objetos em movimento relativístico

Este é um assunto que deve ser tratado com devida cautela quando apresentado para estudante do ensino médio e também para estudantes dos anos iniciais dos cursos de graduação. O problema é a apresentação da contração de Lorentz-FitzGerald considerando apenas em uma dimensão espacial como aqui foi feito. Isso pode induzir os estudantes a inferirem que a contração de um objeto real 3D é tal que o objeto “encolhe” quando está em movimento relativístico desprezando efeitos ópticos importantes para a aparência visual do objeto. Tal fato levou a concepções equivocadas mesmo entre cientistas como o caso de George Gamow em seu aclamado livro de divulgação *Mr. Tompkins in Wonderland* (Cambridge University Press, Cambridge, 1940) traduzido no Brasil por *O incrível mundo da Física Moderna* em que se encontra a figura de uma bicicleta contraída ao longo de seu movimento.

Desta forma, antes de prosseguir, julga-se necessário fazer uma breve consideração entre a diferença dos termos medir e observar na relatividade restrita. 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 $1/\gamma = \sqrt{1 - v^2/c^2}$ na direção do movimento, quando comparado com o seu comprimento em repouso. Contudo, um objeto (2D ou 3D) em movimento relativístico, apesar de sofrer a contração do comprimento dada pelas transformadas de Lorentz, se apresenta com uma aparência muito diferente do que a prevista apenas pela contração de Lorentz.

Considerando que a distância entre as diversas partes do objeto e o observador são diferentes e a constância da velocidade da luz, os raios luminosos que partem das diferentes partes do objeto demoram tempos diferentes para atingir o observador. Assim, dois raios luminosos emitidos em um mesmo instante chegam ao observador em momentos diferentes. Desta forma, a posição “visualizada” de um ponto 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 rotação que é conhecida como Efeito Terrell. Deixa-se a indicação do artigo escrito por Deissler (2005) para um maior aprofundamento do assunto.

4.11 Efeito Doppler Relativístico

O efeito Doppler para a o caso de uma onda eletromagnética pode ser introduzido fazendo comparação com o Efeito Doppler para a acústica que usualmente é apresentado nos livros didáticos do Ensino Médio. O efeito Doppler consiste na variação da frequência de uma onda devido ao movimento da fonte e/ou do observador. No caso da luz, podemos usar a invariância da fase da onda eletromagnética em relação a observadores em movimento relativo.

A expressão relativística do efeito Doppler, que pode ser encontrada nos livros-texto que tratam da Relatividade Restrita, por exemplo Nussenzveig (2004, p. 203), é

$$\omega' = \gamma\omega(1 - \beta\cos\theta) \quad (48)$$

em que ω' e ω são respectivamente a frequência medida no referencial S' (que se move com velocidade $\beta = V/c$ em relação a S em repouso e a frequência em S . θ é o ângulo que uma linha de visada do observador imóvel faz com a direção da velocidade de S' .

O resultado apresentado na expressão (48) pode ser comparado ao efeito Doppler no caso de ondas sonoras. Nesse caso, a definição de β seria $\beta = V/v$, em que v é a velocidade do som no ar em repouso. Aqui dois casos devem ser considerados. Para a fonte emissora em repouso em relação à atmosfera e o observador em movimento com velocidade V na direção θ o resultado é

$$\omega = \omega_0(1 - \beta \cos\theta) . \quad (49)$$

No caso para o observador em repouso em relação à atmosfera e a fonte em movimento com velocidade V na direção θ a relação é

$$\omega = \frac{\omega_0}{1 + \beta \cos\theta} , \quad (50)$$

em que ω_0 é a frequência da fonte em seu sistema de repouso. Observe que na acústica há dois resultados diferentes porque existe um referencial privilegiado (a fonte em repouso).

O efeito Doppler relativístico para a luz só depende da velocidade relativa V . Fazendo $\theta = 0$ na expressão (48), obtém-se

$$\omega' = \omega \sqrt{\frac{1-\beta}{1+\beta}} \quad (51)$$

Fazendo $\theta = \pi/2$, obtém-se

$$\omega' = \gamma\omega = (1 - \beta^2)^{-1/2}\omega = \omega \left(1 + \frac{1}{2}\beta^2 + \dots\right) \quad (52)$$

A expressão (52) é conhecida como efeito Doppler transversal para a luz.

Observe que a expressão para o efeito Doppler relativístico (48) difere da expressão (49) apenas pelo fator γ que representa o efeito cinemático da dilatação dos intervalos de tempo como assinalado em Nussenzweig (2004). Note ainda que não há efeito transversal para o som.

A expressão para o efeito Doppler permite-nos concluir ao comparar as linhas de absorção do espectro da luz características de um determinado elemento emitidas por uma fonte luminosa com as mesmas linhas do espectro terrestre, se essa fonte está se aproximando ou se afastando de nós. No caso de afastamento ($\beta > 0$ na expressão (48)) tem-se $\omega' < \omega$ o que indica um deslocamento para o vermelho (*red-shift*). Em caso contrário, tem-se o deslocamento para o azul, i.e., maiores frequências (*blue shift*). O *red-shift* de galáxias foi observado por Hubble demonstrando que o universo está em expansão.

Capítulo 5: A construção da UEPS para ensinar Relatividade Restrita no Ensino Médio

Como foi apresentado, no segundo capítulo deste trabalho, uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa é uma Sequência de Ensino e Aprendizagem que segue algumas regras específicas baseadas na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. A versão final da UEPS apresentada neste trabalho é o resultado de uma série de aproximações realizadas a partir da ideia original. O intuito deste capítulo é apresentar ao leitor como se deu tal processo, assim como apresentar as etapas e dificuldades que surgiram ao longo da construção da UEPS. A primeira versão da UEPS possuía um total de sete etapas. Cada uma das etapas será descrita de forma sucinta para que o leitor tenha uma ideia geral da estrutura básica que originou a UEPS utilizada neste trabalho.

A primeira etapa consistia em uma atividade inicial em que se pretendia averiguar se os alunos já possuíam algum conhecimento sobre Einstein e sua obra. A principal função desta etapa da UEPS era levantar o conhecimento prévio dos alunos em relação aos conhecimentos que possuíam sobre Einstein e os demais assuntos relacionados ao cientista, bem como a sua obra. A ferramenta selecionada para avaliar os conhecimentos prévios dos alunos seria o mapa conceitual, pois de acordo com a bibliografia (MOREIRA, 1982, 2006, 2011) esta é a ferramenta mais eficaz para realizar esta tarefa. Por meio da análise do mapa conceitual o professor possui uma visão mais clara de como está organizada a estrutura cognitiva do aprendiz.

A segunda etapa era a situação-problema inicial. Nesta etapa uma série de perguntas e questões foram elaboradas para que os alunos discutissem em grupos estimulando a troca de significados entre eles com a mediação do docente. Logo em seguida os alunos deveriam elaborar um texto de forma colaborativa que seria entregue ao professor como um instrumento de avaliação qualitativa. Após a análise do texto o professor entregaria um *feedback* aos alunos.

A situação-problema de aprofundamento 1 constituía a terceira etapa da UEPS. Iniciava-se com uma aula expositiva em que o professor retomava os aspectos mais gerais da teoria da Relatividade Restrita. Nesta etapa, o *game* “*A slower speed of light*” seria utilizado. Os alunos ao jogarem deveriam procurar pelos fenômenos relativísticos presentes no jogo. Em seguida os alunos deveriam discutir o que foi observado no jogo. Caso algum efeito relativístico presente no jogo não fosse percebido pelos alunos o professor deveria comentá-lo. Após a discussão e troca de significados os alunos deveriam jogar novamente para evidenciar os fenômenos relativísticos abordados na discussão. Ao final da etapa os alunos deveriam elaborar um segundo mapa conceitual.

A etapa subsequente era a situação-problema de aprofundamento 2. O professor novamente deveria retomar os aspectos mais gerais da Relatividade Restrita por meio de uma aula expositiva. Nesta etapa, seria

apresentado aos alunos os princípios da invariância da velocidade da luz e da relatividade, apresentando algumas analogias clássicas. O professor também deveria apresentar usando um formalismo matemático adequado às equações e demonstrações matemáticas envolvidas na teoria da Relatividade Restrita. Para finalizar esta etapa os alunos deveriam se reunir em grupos e resolver alguns problemas formais propostos pelo professor.

As últimas três etapas da UEPS seriam de avaliação. A quinta etapa seria a avaliação individual dos alunos. Esta avaliação somativa deveria ser composta por um conjunto de questões abertas que abordassem os conceitos-foco da UEPS. A avaliação da UEPS em sala de aula consistia a penúltima etapa e tinha a função de possibilitar que os alunos comentassem e avaliassem oralmente as estratégias de ensino e atividades utilizadas na UEPS. A última etapa seria a avaliação da UEPS pelo professor, onde ele deveria fazer uma análise qualitativa das evidências de aprendizagem significativa que percebeu durante as atividades da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa.

5.1 Reformulação da UEPS e versão final

Como mencionado anteriormente, a UEPS original descrita na primeira seção deste capítulo, apesar de não ter sido aplicada, sofreu algumas modificações em virtude de discussões e análises posteriores. A primeira versão da UEPS utilizada neste trabalho foi elaborada durante a disciplina de Processos e Sequências de Aprendizagem de Física no Ensino Médio, oferecida no Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, no polo de São Carlos, ministrada pelo Prof. Dr. Márlon Caetano Ramos Pessanha, como instrumento de avaliação para a disciplina.

O intuito agora é descrever as modificações realizadas, bem como justificar as mudanças ocorridas. A versão final da UEPS utilizada neste trabalho está no Apêndice I.

A primeira etapa foi mantida, porém sofreu mudanças com a finalidade de direcionar de forma mais efetiva o levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos. Na primeira versão os questionamentos sobre a vida e obra de Einstein se apresentavam de forma muito aberta, o que poderia desviar o foco dos alunos para assuntos que não seriam relevantes para as etapas da UEPS que se seguiriam. Assim, julgou-se necessário a elaboração de algumas perguntas que norteariam o pensamento dos alunos.

Como apresentado e discutido no capítulo 2, a principal ferramenta escolhida para fazer o levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos continuou sendo o mapa conceitual. Porém, decidiu-se incluir na atividade inicial um pequeno tutorial de como se deve construir um mapa conceitual, tendo em vista

que os alunos não sabiam do que tratava este recurso. O conceito de mapa conceitual foi apresentado por meio de uma exposição de aproximadamente 25 minutos. Para o leitor que não possui conhecimento do que trata um mapa conceitual, sugere-se a leitura do apêndice IV.

Na atividade inicial também foi incluído um texto sobre o papel de Einstein na história da relatividade, que se encontra no Apêndice II deste trabalho. As modificações apresentadas na atividade inicial foram realizadas com o intuito de manter o foco do aluno na Relatividade Restrita, ao invés de ser desviado para a vida de Einstein e outros trabalhos realizados por ele, uma vez que é considerado um personagem da história da ciência muito divulgado pela mídia.

No final desta etapa é proposto que aos alunos realizem uma pesquisa sobre as informações disponíveis em *sites*, periódicos impressos ou *online*, livros, artigos de divulgação científica e enciclopédias virtuais sobre a teoria da Relatividade Geral e elaborem uma resenha com base no material consultado. Esta tarefa foi adicionada devido ao fato da teoria da Relatividade Geral considerar as ideias da Relatividade Restrita sobre o espaço e o tempo e propõe a generalização do princípio da relatividade do movimento para sistemas que incluam campos gravitacionais. Outro motivo pelo qual a tarefa foi incluída na UEPS é que neste ano a teoria da Relatividade Geral completa seu centenário.

A segunda etapa da UEPS foi reformulada por completo, uma vez que não atendia as características de uma situação-problema. Para uma melhor compreensão do que consiste uma situação-problema, segue a definição de Moreira:

Situação-problema: significa tarefa, não necessariamente problema de fim de capítulo; pode ser a explicação de um fenômeno, de uma aparente contradição, a construção de um diagrama, as possibilidades são muitas, mas, independente de qual for a tarefa, é essencial que o aprendiz a perceba como um problema. Por exemplo, não adianta propor um “problema” que o aluno perceba apenas como um exercício de aplicação de fórmula. Situações-problema e conceitualização guardam entre si uma relação dialética: são as situações que dão sentido aos conceitos, mas à medida que o sujeito vai construindo conceitos, mais capaz ele fica de dar conta de novas situações, cada vez mais complexas. No ensino, as situações devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade, mas é importante um certo domínio de um determinado nível de complexidade antes de passar ao próximo. Em tudo isso está implícito o conceito de campo conceitual proposto por Vergnaud (1990) como um campo de situações-problema, cujo domínio é progressivo, lento, com rupturas e continuidades. (MOREIRA, 2011, p. 11).

Desta forma, as questões propostas na primeira versão da UEPS estavam caracterizadas como as questões de final de capítulo mencionadas por Moreira. Com isso, decidiu-se utilizar o *game* “*A slower speed of light*” para se criar uma situação-problema mais adequada à descrição proposta por Moreira. O *game* apresenta os efeitos relativísticos estudados na UEPS estabelecendo uma ponte cognitiva entre o que o aluno já sabe e o que será aprendido posteriormente. Os alunos conhecem as “leis” da física clássica, pois são perceptíveis no seu cotidiano de uma forma muito mais evidente do que as “leis” da física relativística. Desta forma, o jogo pode estabelecer uma relação entre o conhecimento prévio dos alunos e o novo corpo de conhecimentos que será apresentado.

Ao iniciar o *game*, o jogador percebe que quando seu personagem se desloca no ambiente virtual, a visão obtida do cenário é a mesma que o jogador possui no cotidiano. À medida que as *orbs* vão sendo coletadas pode-se perceber que a visão do cenário começa a se transformar conforme a movimentação do jogador. Esta transformação na forma de como o jogador passa a visualizar o cenário constitui uma aparente contradição entre o cotidiano e o ambiente virtual do *game*.

Ainda segundo Moreira, as situações-problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade, porém é muito importante que o aluno tenha o domínio de determinado nível de complexidade antes de avançar para o próximo. Este pensamento está alinhado com o princípio da consolidação proposto por Gee (2010), que trata da possibilidade do jogador ser confrontado diversas vezes com situações muito semelhantes. Assim, o jogador é capaz de testar, consolidar e repetir as habilidades aprendidas antes de partir para a próxima etapa ou nível do jogo. A partir disto, acreditou-se que o *game* seria melhor empregado na segunda etapa da UEPS ao invés de ser utilizado na terceira etapa, como foi pensado originalmente.

Nesta etapa também foi pensada uma estratégia para avaliar quais as impressões e ideias que estavam sendo construídas pelos alunos sobre os efeitos relativísticos presentes no *game*. Para isso, os alunos foram entrevistados pelo professor enquanto jogavam e também respondiam a um questionário com algumas questões. Desta forma, foram elaboradas algumas questões que auxiliam na compreensão do professor de como a estrutura cognitiva dos alunos estão se reorganizando. As perguntas estimulam os alunos a “decodificarem” os símbolos presentes no *game* e a agirem de maneiras diferentes cada vez que se joga, buscando estratégias diferentes para responder cada uma das questões apresentadas pelo professor.

Para uma melhor aprendizagem os alunos devem ser questionados no momento da prática para que possam reconhecer e avaliar os erros cometidos, assim como encontrar explicações para identificar o motivo de sucesso ou fracasso das estratégias utilizadas para alcançar os objetivos propostos. As experiências vividas funcionam de forma melhor para a aprendizagem quando o aprendiz desenvolve a capacidade de recorrer a estas experiências aprendidas para utilizá-las na resolução de situações que aparecerão posteriormente.

A terceira etapa é a situação-problema de aprofundamento 1. Na primeira versão da UEPS, seria nesta etapa que o *game* seria aplicado. Assim, a terceira etapa da versão apresentada neste trabalho também teve de ser totalmente reformulada. Nesta etapa os alunos devem trabalhar com três animações que abordam assuntos relativísticos. As animações tratam de fenômenos relativísticos como a contração do comprimento, dilatação temporal e simultaneidade de eventos relativísticos. As animações devem ser disponibilizadas ao mesmo tempo para os alunos, sendo assim, cada aluno decidirá qual animação utilizará primeiro⁷. Desta forma, o professor estará promovendo no aluno o sentimento de escolha e proporciona a chance do aluno construir sua própria estratégia de resolução do problema proposto.

Segundo Gee (2010), as experiências interpretadas e explicações de outras pessoas são necessárias e podem auxiliar na aprendizagem. A partir desta concepção, adotou-se uma estratégia que corroborasse em utilizar as experiências vividas anteriormente, como por exemplo, jogar “*A slower speed of light*”, e as reflexões originadas destas experiências para a resolução de problemas futuros em níveis de complexidade superiores, como por exemplo, as animações. Este processo é otimizado quando os problemas são envolvidos por uma modelagem e discussão. Assim, as animações constituem modelos que possibilitam aos alunos uma maior compreensão dos fenômenos relativísticos abordados, bem como a discussão com os colegas de sala mediadas pelo professor.

As animações também são uma oportunidade dos alunos aplicarem suas experiências anteriores a situações inéditas, porém similares. Esta estratégia colabora para que os erros conceituais sejam eliminados e haja melhoras nas interpretações anteriores que os alunos possuem das experiências vividas. Esta atividade proporciona uma reflexão para que as experiências obtidas em etapas anteriores, no caso jogar “*A slower speed of light*”, sejam

⁷ As animações utilizadas neste trabalho podem ser visualizadas no endereço eletrônico (<http://profimaradigital.pbworks.com/w/page/35211631/Programas>), na seção de geografia, nos itens 3, 15 e 16. Por alguma razão inespecífica, as animações: relógios relativísticos, simultaneidade, sincronização de relógios 1 e 2 e contração do comprimento encontram-se na disciplina de geografia. As animações sobre sincronização de relógios não foram utilizados na presente UEPS, porém seguem como sugestão de materiais para os professores que julgarem interessante incluir estas animações em suas UEPS.

progressivamente generalizadas para situações mais gerais do que as apresentadas nesta UEPS.

Desta forma, o objetivo da etapa 3 é promover uma diferenciação progressiva dos assuntos referentes à Relatividade Restrita. O Efeito Holofote e o Efeito Terrell são casos específicos e particulares da teoria. Na etapa 3 são retomados assuntos que são mais abrangentes dos que os apresentados no *game*. A dilatação temporal, a contração do espaço e a simultaneidade de eventos relativísticos são aspectos mais gerais da teoria que podem ser utilizados como subsunções mais abrangentes e podem servir para explicarem outros fenômenos mais específicos.

Ainda na terceira etapa da UEPS, é proposta uma nova diferenciação progressiva, agora utilizando uma situação-problema com maior nível de complexidade. O professor apresenta um vídeo aos alunos, em que é tratada a questão do “Paradoxo dos Gêmeos” proposto por Einstein⁸. Os alunos devem então recorrer às animações e as experiências e conhecimentos adquiridos jogando “*A slower speed of light*”, juntamente com os conhecimentos compartilhados pelos colegas, propondo uma explicação para o fenômeno apresentado no paradoxo.

A quarta etapa da versão inicial da UEPS foi excluída da versão final. Esta reformulação foi feita partindo de dois pontos importantes. O primeiro aspecto a ser considerado foi em relação à utilização de exercícios apresentados em livros e apostilas. Na maioria das vezes os alunos não conseguem compreender o problema no enunciado do exercício, o que resultaria em uma situação-problema que está em desacordo com a definição proposta por Moreira (2011) e já discutida neste trabalho. Outra hipótese é que haveria uma grande chance do professor não obter evidências de uma aprendizagem significativa, uma vez que os alunos poderiam empregar a aprendizagem mecânica para resolver os exercícios propostos.

Outro aspecto a ser modificado é a questão da utilização das analogias clássicas para explicar fenômenos referentes à Relatividade Restrita. Segundo Ostermann e Moreira (2000), assim como Sanches (2006), existem duas vertentes: uma a favor da utilização das analogias clássicas para ensinar física moderna e contemporânea e outra vertente que se faz contra o uso destas analogias. Devido a experiências anteriores particulares do autor com a utilização de analogias clássicas para explicar fenômenos quânticos, optou-se, neste trabalho, por não utilizar as analogias com a física não relativística. As analogias podem fazer com que os

⁸ Disponível no endereço: <https://www.youtube.com/watch?v=Jw6McOwxfXs>

alunos construam conceitos e ideias distorcidas sobre o conteúdo, dificultando a compreensão do fenômeno estudado.

Ao final da terceira etapa 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 gerais da UEPS, que seriam a dilatação temporal, a contração do espaço, a invariabilidade da velocidade da luz e o efeito da aberração relativística.

A quarta etapa permaneceu inalterada em relação à quinta etapa da primeira versão da UEPS. A quinta etapa sofreu uma pequena alteração em relação à sexta etapa da primeira versão. Ao invés de todos os alunos avaliarem oralmente as estratégias e metodologias de ensino utilizadas na UEPS, um grupo de 20 alunos (10 alunos de cada turma) foi selecionado aleatoriamente para avaliar questões referentes à aplicação da unidade por meio de um questionário de múltipla escolha. A sexta etapa da presente UEPS também permaneceu inalterada em relação à sétima etapa da UEPS original.

As reformulações feitas na UEPS utilizada neste trabalho são resultado de aproximadamente seis meses de trabalho, que no decorrer do processo foram sendo identificadas possíveis mudanças que resultariam em uma UEPS mais efetiva para o propósito deste trabalho. Entre a primeira versão descrita neste capítulo e a versão apresentada neste trabalho, existe uma versão intermediária que não foi apresentada explicitamente neste capítulo, porém foi de extrema relevância para obter-se o resultado apresentado.

A versão apresentada neste trabalho também não se trata de uma versão final, pois a cada aplicação a que a UEPS é submetida, uma avaliação deve resultar em modificações a fim de adequar cada vez mais a unidade de ensino à realidade das salas de aula. Da mesma forma, espera-se que os docentes que farão uso da UEPS proposta neste trabalho possam também fazer as suas contribuições e adequações para as realidades que enfrentam em suas salas de aula e contribuir com um material cada vez mais potencialmente significativo.

Capítulo 6: Aplicação da UEPS

A aplicação da UEPS foi feita ao longo de três semanas na ETEC “João Maria Stevanatto”, que pertence ao Centro Paula Souza. A escola está situada no município de Itapira – SP. Duas salas foram selecionadas para que pudesse se fazer a aplicação da UEPS, sendo ambas da primeira série do ensino médio, totalizando 73 alunos. Contudo, uma sala é de ensino médio regular (EM) e outra de ensino médio integrado ao curso técnico (ETIM). No caso deste trabalho foi selecionado o ETIM de informática.

Havia-se uma preferência por aplicar a UEPS na série inicial do ensino médio, devido ao fato de que os alunos ainda não tiveram muito contato com os conceitos da física newtoniana. Desta forma, julgou-se que seria mais adequado trabalhar com alunos que não possuíam muitos subsunçores com bom nível de generalização em relação à física newtoniana. Quanto ao motivo de ter sido selecionado uma sala de EM e outra de ETIM é pelo fato de serem as únicas salas de primeiro ano em que o autor do presente trabalho ministra aulas.

Para o ingresso nas escolas do Centro Paula Souza os alunos devem passar por um exame vestibular para a seleção dos candidatos. O corpo discente é composto em sua maioria por alunos oriundos da rede pública de ensino. Porém, o número de alunos provenientes de escolas particulares tem aumentado com o passar dos anos.

Apesar de ocorrer uma seleção para o ingresso na instituição, apenas uma parcela dos alunos apresentam domínio adequado dos conteúdos que lhes são necessários para cursar o EM e o ETIM de informática. Esta defasagem de conteúdo é ainda mais perceptível na área de ciências exatas. Desta maneira, a construção da UEPS teve de ser baseada no perfil dos alunos que frequentam a instituição, considerando a dificuldade dos alunos em tratar alguns dos temas abordados como, por exemplo, o formalismo matemático utilizado nas demonstrações. Contudo, a maioria dos alunos possui uma boa motivação e comprometimento com os estudos, tendo em vista um ensino diferenciado das escolas públicas da rede estadual.

Na apresentação da ementa do curso no início do ano letivo o professor já havia comunicado aos alunos sobre a aplicação da UEPS, porém não foram repassados maiores detalhes sobre a unidade e sua aplicação. Assim, na última aula que precedeu o início da aplicação da UEPS o professor explicou do que tratava tal atividade e mencionou a

importância do comprometimento dos alunos para com as atividades desenvolvidas durante as aulas subsequentes.

Logo de princípio os alunos se mostraram bastante entusiasmados com a notícia de que as aulas de física teriam atividades diferenciadas. Devido ao extenso currículo e outros motivos diversos como, por exemplo, o foco dos vestibulares na turma de EM e as necessidades particulares do ETIM de informática, as aulas expositivas acabam por predominarem na metodologia de ensino adotada na instituição. Desta forma, a aplicação da UEPS já colaborou de forma muito relevante no que se diz respeito à motivação dos alunos para aprender algo novo.

Outro ponto relevante foi o fato de mencionar para os alunos que o conteúdo a ser tratado na UEPS possuía uma relação com Albert Einstein. Para os alunos, a figura de Einstein remete imediatamente a um conceito de genialidade. Por esta razão, os alunos também se sentem motivados para aprender algo que para a população em geral é extremamente complexo. Para exemplificar melhor a questão exposta, utiliza-se aqui a fala de uma aluna: “Mas professor, nós vamos conseguir entender uma coisa que Einstein inventou?”. A partir desta fala pode-se compreender melhor o aspecto motivacional do tema, gerado no fato de que aprender algo relacionado a Einstein é desafiador.

Por fim, tem-se o *game* “*A slower speed of light*” que também teve um papel importante no que tange à motivação dos alunos para com as atividades que seriam realizadas nas aulas seguintes. Desta forma, os alunos ficaram muito curiosos para saber mais informações sobre o jogo e como as atividades estariam relacionadas com o mesmo.

As duas primeiras aulas reservadas para a aplicação da UEPS foram utilizadas para a aplicação da atividade inicial. Primeiramente o professor fez uma apresentação mais formal da UEPS. Explicando qual era o intuito da unidade de ensino, as atividades a serem desenvolvidas e os métodos de avaliação a serem utilizados. Foram gastos aproximadamente dez minutos para a apresentação. Em seguida o professor pediu para que os alunos cortassem uma folha de caderno em quatro partes e as identificassem com seus respectivos nomes. Então o professor começou a levantar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o tema. A cada questão apresentada pelo professor os alunos respondiam em um pedaço da folha e logo em seguida entregavam para o professor.

Entre as questões de número 2 e 3 o professor fez uma pequena pausa para dialogar com os alunos sobre o significado da palavra relatividade. Na sala do ETIM os alunos definiram relatividade como sendo algo que varia, que não é constante, algo relacionado à comparação. Já na sala do EM os alunos definiram que se trata de algo que possui relação com outras coisas, proporcional, que se refere à alguma coisa. As definições foram obtidas de forma colaborativa e com a mediação do professor. Logo em seguida o professor solicitou que um aluno procurasse no dicionário as palavras relatividade e relativo e socializasse com o restante da sala a definição encontrada. Assim que os alunos terminaram de responder a quarta questão proposta pelo professor, a aula terminou.

A segunda aula foi utilizada para finalizar o levantamento de conhecimentos prévios dos alunos sobre o tema. Como a maioria dos alunos nunca havia produzido nenhum mapa conceitual, foi necessário que o professor fizesse uma exposição de aproximadamente vinte e cinco minutos para que os alunos pudessem se familiarizar com o processo de construção de um mapa conceitual, bem como entender qual era a finalidade deste recurso. Evidentemente, devido ao tempo reduzido da aula expositiva o professor foi capaz de abordar apenas as questões mais relevantes da construção.

Desta forma, o autor sugere aos que pretendem aplicar a UEPS sugerida neste trabalho e que se encontrarem nas mesmas condições que as apresentadas neste texto, que se organizem para dispor de um tempo maior para instruir os alunos quanto à construção de mapas conceituais. Isto se deve à alta complexidade envolvida na construção de um mapa conceitual, bem como a relevância desta ferramenta no processo de levantamento de conhecimentos prévios dos alunos.

Os mapas conceituais possuem como tema a Relatividade Restrita e foram construídos de maneira individual, ou seja, cada aluno construiu o seu próprio mapa conceitual, baseado nas informações e discussões da primeira aula e com base nos conhecimentos prévios que possuíam sobre o assunto. Foi disposto aos alunos um tempo de aproximadamente vinte e cinco minutos para a construção dos mapas conceituais, que ao término da aula foram entregues ao professor para que fossem analisados.

No final da aula foi entregue um texto de autoria do professor para que os alunos lessem em casa para a próxima aula. O texto trata de forma breve a teoria da Relatividade Restrita e os aspectos mais relevantes envolvidos no seu desenvolvimento. Também como tarefa de casa foi solicitado para que os alunos realizassem uma pesquisa sobre a teoria da

Relatividade Geral, que neste ano completa seu centenário. A pesquisa serviu de base para uma resenha que os alunos redigiram. Esta atividade foi proposta com o intuito de mostrar os conceitos tratados na teoria da Relatividade Restrita em um contexto mais geral e abrangente.

A etapa seguinte da UEPS foi a situação-problema inicial, onde os alunos jogaram “*A slower speed of light*”. Esta etapa em particular demandou muitos esforços devido a um problema técnico que será relatado a seguir.

A escola possui quatro laboratórios de informática com vinte computadores cada um. Devido aos cursos técnicos oferecidos na unidade, os computadores possuem uma configuração que atendem muito bem à maioria dos *softwares* disponíveis no mercado. Desta forma, imaginou-se que não houvesse problemas de configuração para que o *game* “*A slower speed of light*” fosse executado. Contudo, verificou-se que os computadores disponíveis nos laboratórios de informática não eram capazes de executar o jogo devido à pequena capacidade gráfica. Assim, a aplicação da UEPS poderia estar comprometida devido à impossibilidade dos alunos jogarem o *game*. A situação descrita foi verificada com um pouco mais de um mês para o início da aplicação da UEPS.

A primeira solução encontrada foi solicitar que os alunos acessassem a página virtual do GameLab⁹ e instalassem o *game* em seus próprios computadores para que no dia em que a segunda etapa da unidade fosse aplicada os alunos levassem seus computadores para a escola e assim a atividade transcorreria sem maiores problemas. Infelizmente apenas seis alunos conseguiram instalar e executar o *game* em seus computadores. Sendo que todos os computadores eram do modelo *desktop*, o que dificultava o transporte e a logística da atividade.

Desta forma, foi necessário encontrar uma alternativa mais viável para o problema. A solução que se julgou mais apropriada foi à utilização de dois *laptops* disponibilizados pelo professor que eram capazes de executar o *game*, como pode ser visto na Figura 9. Porém, com um número reduzido de dois computadores foi necessário fazer algumas alterações na forma como a atividade seria desenvolvida, para que todos os alunos tivessem a oportunidade de jogar. Ao invés de duplas, os alunos se reuniram em trios para jogar, sendo que cada trio dispôs de uma aula para jogar.

⁹ Disponível em: <http://gamelab.mit.edu/>

No endereço virtual onde o jogo está disponível para *download*¹⁰ estão especificadas as configurações de computadores nos quais o jogo foi testado. Estas configurações são as seguintes:

- Intel (R) Core (TM) 2 Duo T9900 ou Core (TM) i7 (2.8GHz)
- AMD Radeon HD 6970M/AMD Mobility Radeon HD 4850/Nvidia GeForce 9600M GT
- 8Gb RAM

Os *laptops* utilizados conseguiram executar o jogo com êxito e possuem a configuração descrita abaixo:

Laptop 1:

- Intel (R) Core i5 (TM) i5-3317U (1.70GHz)
- Intel (R)HD Graphics 400 (128 MB)
- 6GB RAM

Laptop 2:

- Intel (R) Core (TM) i5-4200U (2.3 GHz)
- GeForce GT 740M (2048 MB)
- 4GB RAM



Figura 9: Alunos jogando o *game* “A slower speed of light”.

¹⁰ <http://gamelab.mit.edu/games/a-slower-speed-of-light>

Com isso, foram necessárias doze aulas para que todos os alunos pudessem jogar. Para que o prazo de aplicação da UEPS não ficasse inviável, foi necessária a colaboração dos demais professores, que de forma intercalada cediam grupos de seis alunos para que eles pudessem jogar “*A slower speed of light*”. Os alunos se reuniam em grupos, juntamente com o professor para que estes pudessem realizar a atividade programada para a situação-problema inicial. As atividades eram realizadas durante os períodos em que o professor não se encontrava em aula.

A princípio, a ideia era entrevistar os alunos oralmente com o auxílio de um celular e gravar os diálogos entre o professor e os alunos e depois transcrevê-los. Porém, os alunos não se sentiram muito confortáveis com a situação e não estavam interagindo de forma proveitosa. Desta forma, o professor optou por entregar o questionário impresso para os alunos e eles responderam por escrito às questões. Durante este processo o professor também fez alguns questionamentos e estabeleceu alguns diálogos com os alunos, que depois foram registrados pelo professor para futura análise.

Os alunos, divididos em trios, fizeram um revezamento durante uma aula para que todos tivessem a oportunidade de jogar. Enquanto um aluno do grupo jogava os demais observavam e elaboravam respostas para as questões apresentadas. Cada turno de execução do *game* dura em média de seis a sete minutos. Assim, cada aluno teve a oportunidade de jogar duas vezes.

Com a utilização do laboratório de informática da escola seria possível empregar um tempo maior para os alunos jogarem, mas nas condições já apresentadas anteriormente seria inviável disponibilizar mais tempo para os alunos nesta etapa da UEPS. Apesar disto e com as análises realizadas nessa etapa, acredita-se que o tempo disponibilizado aos alunos para a realização da atividade foi suficiente e não alterou o resultado final da avaliação.

A etapa seguinte da UEPS foi apresentar para os alunos a situação-problema de aprofundamento 1, onde os alunos trabalharam com as animações que tratavam da dilatação temporal, da contração do espaço e da simultaneidade de eventos relativísticos. Nesta etapa da UEPS foram utilizadas duas aulas de cinquenta minutos.

Para a utilização das animações foram utilizados os computadores do laboratório de informática da escola, uma vez que estas animações exigem recursos gráficos muito inferiores aos solicitados pelo *game*. Assim, não houve nenhum problema de execução nos

computadores do laboratório. Previamente foi solicitado ao técnico do laboratório de informática que instalasse as animações nos computadores para otimização do tempo gasto na atividade.

As animações possuem o formato (.swf), ou seja é um arquivo em *flash* que pode ser executado pelo navegador do computador¹¹, ver Figuras 10, 11 e 12.

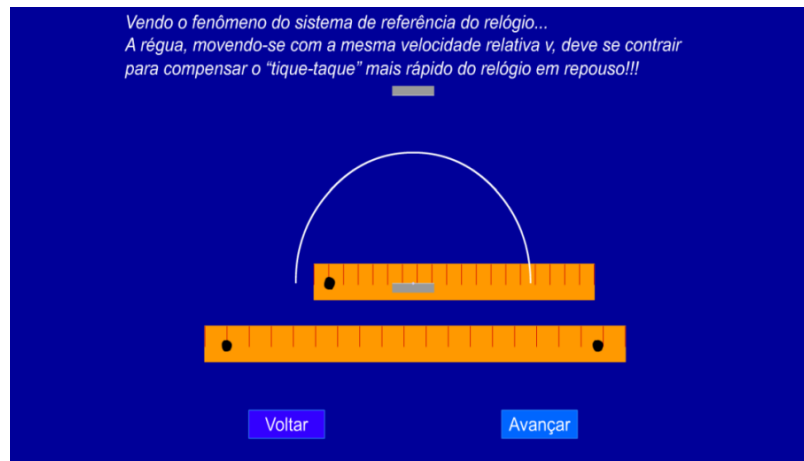


Figura 10: Captura da tela da animação sobre contração do comprimento. Quando a régua de cima está em movimento em relação ao relógio de luz a medida de seu comprimento diminui.

¹¹ Sugerimos que o leitor veja o vídeo disponível no endereço virtual (<https://www.youtube.com/watch?v=iUXzKIgcVFA>). Existem outras maneiras de se executar as animações, porém a sugestão apresentada é considerada a mais simples e prática pelo autor.

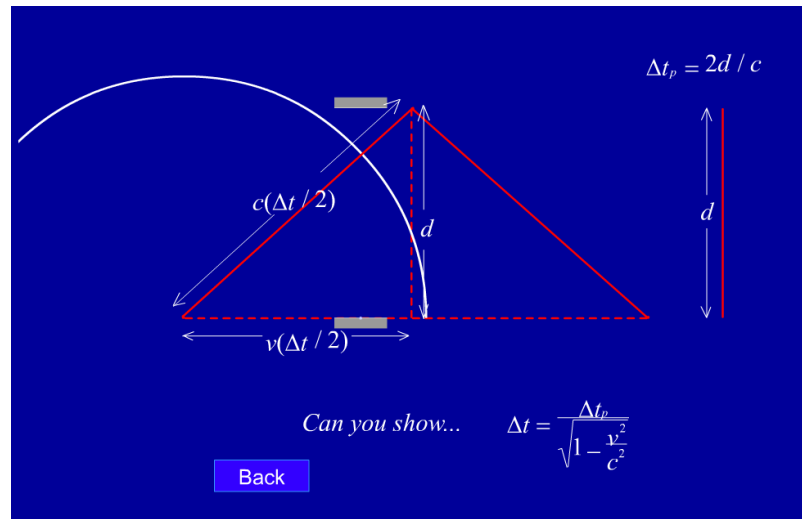


Figura 91: Captura da tela da animação sobre dilatação temporal. Quando o relógio de luz está em movimento em relação a um referencial inercial o pulso de luz percorre uma distância maior do que se estivesse em repouso em relação a este mesmo referencial.

No meio da espaçonave há um dispositivo que grava os dados de vôo. Ele é equipado com um detector de luz que registra os momentos em que as ondas luminosas dos maçaricos o atingem.

Gravador de dados de vôo

O comandante programou os maçaricos para acenderem no exato momento em que o gravador de dados de vôo passa pelo ponto médio entre eles.

Depois de queimada a nave, a que conclusão devem chegar os pesquisadores que estão a bordo a respeito do sincronismo das queimadas? Para a tripulação da nave, elas ocorreram simultaneamente?

Voltar
⏮ ⏪ ⏸ ⏩ ⏭
Avançar

Figura 12: Captura da tela da animação sobre simultaneidade de eventos relativísticos. Um mesmo evento ocorre em instantes distintos para dois observadores que se encontram em referenciais inerciais diferentes e em movimento relativo em si.

Os alunos se dividiram em duplas para realizarem as atividades propostas nesta etapa da UEPS. As três animações foram disponibilizadas ao mesmo tempo para os alunos. Desta forma, cada dupla teve a opção de iniciar o trabalho pela animação de sua preferência. Foi

disponibilizado aproximadamente trinta minutos para que os alunos pudessem trabalhar com as animações em busca de respostas para os fenômenos observados no *game*.

Em seguida o professor apresentou um vídeo com duração de setenta e oito segundos e que apresenta o paradoxo dos gêmeos de uma forma resumida¹². A partir deste vídeo o professor propõe para que os alunos, utilizando os conhecimentos adquiridos nas etapas anteriores da UEPS, bem como as animações apresentadas, formulem uma resposta / explicação para o paradoxo apresentado.

Após a apresentação do vídeo, mesmo sem a solicitação do professor, os alunos iniciaram um diálogo para a troca de significados adquiridos com o vídeo apresentado. O professor acompanhou o compartilhamento de informações pelos alunos e seguiu como mediador das discussões. Esta socialização foi muito produtiva e os alunos conseguiram expor suas opiniões para os colegas. A mediação feita pelo professor foi importante neste momento, pois vários alunos apresentaram conceitos que podem ser considerados como senso comum. Desta forma, o professor precisou intervir em alguns momentos para que a troca de significados fosse a mais produtiva possível. Ao término da aula os alunos ainda não tinham iniciado seus trabalhos para explicar o paradoxo dos gêmeos. Vale ressaltar que a situação descrita ocorreu em ambas as salas, porém foi mais espontânea e produtiva no ETIM de Informática.

Na segunda aula destinada a situação-problema de aprofundamento 1 os alunos retornaram para o laboratório de informática e prosseguiram com os trabalhos. Dispondo das animações, os alunos elaboraram de forma colaborativa suas explicações para a questão apresentada na aula anterior, “Por que o tempo passou mais devagar para Bert?”. Antes dos alunos formularem suas respostas para a questão apresentada, o professor seguiu com uma aula dialogada onde os principais temas abordados na UEPS, dilatação temporal, contração do comprimento, simultaneidade de eventos relativísticos, invariabilidade da velocidade da luz e efeito Terrell, foram tratados pelo professor para uma melhor compreensão dos alunos. Esta aula serviu como uma reconciliação integradora, em que o professor ligou os aspectos mais específicos da teoria da Relatividade Restrita a ideias e conceitos mais gerais da teoria.

Para a turma do ETIM de Informática, durante a aula dialogada, apresentou-se um vídeo¹³. O vídeo não pôde ser apresentado para os alunos da turma de EM devido a um

¹² Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Jw6McOwxfXs>

¹³ Disponível no endereço virtual (<https://www.youtube.com/watch?v=ZrAJN6tvHMs>)

problema no projetor utilizado na aula. Assim, o professor explicou a situação apresentada no vídeo por meio de esquemas feitos na lousa e solicitou que os alunos assistissem o vídeo em casa. Ao final, os alunos dispuseram de tempo para formularem suas respostas para a questão do paradoxo dos gêmeos apresentada na aula anterior. Com isso encerrou-se a primeira parte da terceira etapa da UEPS.

Na segunda parte o professor ministrou novamente uma aula dialogada com o intuito de realizar mais uma reconciliação integradora entre os principais conceitos abordados na primeira parte da terceira etapa da UEPS (situação-problema de aprofundamento 1) e os conceitos e ideias da Relatividade Restrita.

Foi solicitado aos alunos que apontassem os conceitos mais importantes tratados durante as atividades desenvolvidas e em qual etapa da UEPS estes conceitos se apresentaram de forma mais evidente. Segue abaixo a lista elaborada de forma colaborativa pelos alunos com a mediação do professor.

- Quando se está na velocidade da luz o tempo passa mais devagar (jogo e o vídeo do paradoxo dos gêmeos)
- Tempo e espaço são relativos, depende do referencial do observador (animação da simultaneidade).
- Quanto maior a velocidade do observador, maior será a distorção dos objetos a sua volta (jogo)
- A intensidade da cor dos objetos se altera quando o personagem se desloca (jogo)
- No jogo perde-se a noção de espaço, pois este está se contraindo (animação da contração do espaço)
- A velocidade da luz é constante (animação da simultaneidade, da contração do comprimento e do relógio de luz)
- No jogo a tela fica escura quando o jogador se desloca para trás (efeito holofote), ou seja, a luz não consegue chegar aos olhos do observador quando o personagem se desloca na velocidade da luz (jogo)
- Quando se viaja próximo da velocidade da luz dois eventos podem não ocorrer de forma simultânea para observadores localizados em sistemas de referencia distintos (vídeo, aula expositiva e animação da simultaneidade)

Como mencionado anteriormente, a UEPS foi aplicada em duas salas das séries iniciais do ensino médio. Desta forma, os alunos ainda não tiveram um contato maior com a física newtoniana. A partir deste fato e da análise das atividades aplicadas, infere-se que os alunos possuem subsunçores que estão muito atrelados ao senso comum. De certa forma, isto faz com que os alunos não possuam uma visão newtoniana de grandezas como espaço e tempo, o que acaba se caracterizando como um ponto positivo quando se deseja ensinar conceitos da Relatividade Restrita, pois a visão newtoniana destas grandezas pode resultar em algumas aparentes contradições entre os conceitos apresentados sob a visão relativística. Caso a UEPS seja aplicada nas séries finais do ensino médio e os alunos possuam uma boa compreensão dos conceitos por uma perspectiva da física newtoniana, julga-se necessário que o professor avalie a situação e proceda de forma que os alunos não entendam que os conceitos apresentem contradições, ou seja, é necessário que os alunos saibam distinguir entre a visão newtoniana e a visão relativística dos conceitos apresentados.

A quarta etapa da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa consistiu em submeter os alunos a uma avaliação somativa individual, que tem o objetivo de complementar as demais avaliações aplicadas ao longo da UEPS. O intuito desta avaliação é verificar a maneira como os alunos trataram os conceitos chave da Relatividade Restrita e qual foi a evolução dos conceitos apresentados pelos alunos. Isto se deve ao fato de que é mais importante a busca por evolução de conceitos e analisar a forma como os alunos trataram o assunto do que se basear em comportamentos finais, uma vez que a aprendizagem significativa ocorre de forma progressiva.

A avaliação individual somativa aplicada aos alunos no final da UEPS possui quatro questões abertas e uma quinta questão que consiste na construção de um mapa conceitual. Esta avaliação se encontra no Apêndice III do presente trabalho. As questões da avaliação final foram formuladas levando em consideração a assimilação obliteradora.

A assimilação obliteradora é um processo característico que ocorre na aprendizagem significativa. Depois de um novo conceito ou ideia ser ancorado (assimilado) por um subsunçor presente na estrutura cognitiva do aprendiz, inicia-se o processo de obliteração. Este processo não se manifesta de forma clara e instantânea, mas se caracteriza como um processo gradual. As novas ideias são, provavelmente, retidas por meio da interação (assimilação) com os conceitos mais amplos, diferenciados e já estabelecidos na estrutura cognitiva do aprendiz. O significado dessas novas ideias com o

tempo tendem a serem assimilados ou então reduzidos pelos significados mais estáveis das ideias já estabelecidas.

À medida que a estrutura cognitiva vai se reorganizando, o processo de obliteração vai acontecendo continuamente até que reste apenas o termo mais estável da interação da nova ideia com o subsunçor ancora. A estrutura cognitiva, no seu processo de organização, acaba por priorizar a retenção das ideias mais gerais e estáveis, sendo que as novas informações assimiladas acabam por sofrer mais constantemente os efeitos obliteradores do processo de assimilação. A nova ideia assimilada, que passa pelo processo de obliteração, é, nas muitas das vezes, um exemplo, elaboração, extensão ou qualificação de um ou vários subsunçores que serviram de ancora no processo de assimilação.

Assim, buscou-se tratar os conceitos e ideias mais gerais e abrangentes da teoria da Relatividade Restrita, ao invés de trabalhar conceitos específicos e exemplos pouco abrangentes.

As três primeiras questões solicitam que o aluno recorra aos conceitos de simultaneidade, dilatação temporal e contração do comprimento para formular as respostas. Na quarta questão o aluno deveria identificar dois fenômenos relativísticos que estavam presentes no *game* “*A slower speed of light*” e a partir dos conceitos e ideias que foram trabalhados na UEPS tentar explicar o que estava ocorrendo.

A quinta questão solicitava que o aluno construísse um mapa conceitual abordando todos os conceitos tratados durante a aplicação da UEPS. O principal intuito deste mapa conceitual foi analisar a forma como os conceitos tratados na teoria da Relatividade Restrita evoluíram. Como mencionado no capítulo 2 do presente trabalho, mapas conceituais se caracterizam por serem uma ferramenta muito eficaz no processo de avaliação. Estes mapas foram comparados com os mapas construídos no início da UEPS e os resultados obtidos desta análise, assim como os resultados obtidos com a aplicação da UEPS serão tratados no capítulo 7.

A avaliação final foi aplicada durante uma aula de cinquenta minutos, sendo que não foi permitido nenhum tipo de consulta por parte dos alunos. O tempo estipulado para a realização da avaliação foi suficiente para que todos os alunos conseguissem terminar dentro do prazo, salvo algumas exceções dadas por alunos que comentaram que a prova estava demasiadamente extensa e complexa. Porém, estes alunos constituem uma minoria pouco expressiva em comparação com o número de alunos presentes na sala.

Capítulo 7: Resultados

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos com a utilização da UEPS, que foi aplicada para um total de 73 alunos, de duas salas das séries iniciais do ensino médio, sendo uma sala de ensino médio regular (EM) e outra de ensino médio integrado ao técnico (ETIM). Os resultados serão apresentados de acordo com as etapas da UEPS. Os alunos do ensino médio regular serão identificados pela letra “A”, seguido do respectivo número na lista de chamada. Os alunos do ensino médio integrado ao técnico serão identificados pelas letras “AI”, também seguidos de seus respectivos números na lista de chamada.

Na Tabela 1 estão apresentados os enunciados das questões trabalhadas ao longo da UEPS.

| Questão | Enunciado da questão |
|---------|---|
| 1 | Questão 1: Vocês já ouviram falar sobre Einstein? |
| 2 | Questão 2: Já ouviram falar ou leram algo sobre a teoria da Relatividade? |
| 3 | Questão 3: O que você entende por espaço e tempo? |
| 4 | Questão 4: Por que a teoria desenvolvida por Einstein ficou conhecida por “Teoria da Relatividade Restrita” ? |
| 5 | Questão 5: A velocidade da luz possui um valor máximo ¹⁴ ? |
| 6 | Questão 6: Por que quando nos movimentamos, não percebemos os mesmos efeitos observados no jogo? |
| 7 | Questão 7: Quando quase todas as <i>orbs</i> foram coletadas, o que podemos visualizar quando o personagem se movimenta? |
| 8 | Questão 8: O que visualizamos quando coletamos todas as <i>orbs</i> ? |
| 9 | Questão 9: O que enxergaríamos se pudéssemos viajar com a mesma velocidade de um raio de luz? (destacar que esta foi uma pergunta feita pelo próprio Einstein e conhecida como o Paradoxo de Aarau) |
| 10 | Questão 10: Por que o tempo passou mais devagar para Bert ? |

Tabela 1: Questões trabalhadas durante a aplicação da UEPS.

Como mencionado anteriormente, a atividade inicial da UEPS consistia em uma atividade para verificar os conhecimentos prévios dos alunos em relação ao tema. Para isso

¹⁴ A velocidade da luz é uma constante. O que a Relatividade Restrita mostra é que ela é a velocidade limite e, portanto, máxima para qualquer corpo material.

foram elaboradas quatro questões que serviram ao propósito de levantar os conhecimentos prévios dos alunos, como também foi solicitado aos alunos a construção de um mapa conceitual. Os resultados obtidos nesta atividade serão apresentados a seguir de maneira qualitativa.

Em relação à questão 1 da atividade inicial, apenas um aluno alegou nunca ter ouvido falar sobre Einstein. Todos os demais alunos responderam que já haviam ouvido falar sobre Einstein e ainda fizeram comentários sobre onde obtiveram informações referentes a Einstein. Os alunos mencionaram revistas, jornais, programas de televisão, internet e aulas de ciências. Ambas as turmas apresentaram resultados muito parecidos para esta questão.

Para a questão 2, certa parcela dos alunos mencionou nunca ter ouvido falar da teoria da Relatividade Restrita, enquanto a maioria dos alunos respondeu já ter ouvido falar e também se lembravam das fontes onde haviam obtido tal tipo de informação. As fontes mencionadas são as mesmas apresentadas na questão 1, ou seja, revistas, jornais, programas de televisão, internet e aulas de ciências.

Na questão 3 as duas salas voltaram a apresentar resultados muito semelhantes. Alguns poucos alunos apresentaram respostas fora de contexto que em nada podiam ser referenciados ao tema abordado na UEPS. A maioria dos alunos deram respostas baseadas em conceitos do senso comum das grandezas espaço e tempo. Houve ainda um grupo de alunos que apresentou a definição clássica para o conceito de espaço. Nenhum aluno mencionou qualquer ideia referente à teoria da Relatividade Restrita para os conceitos de espaço e tempo. Em seguida são apresentadas algumas respostas dadas pelos alunos para a questão 3.

“Espaço é a distância percorrida em um certo período de tempo” (AI31)

“É a distância percorrida por um certo objeto” (AI11)

“Espaço é uma distância ou deslocamento” (AI15)

No que diz respeito às repostas formuladas pelos alunos à questão 4, as duas turmas apresentaram respostas parecidas. Boa parte dos alunos, aproximadamente metade dos alunos em que a UEPS foi aplicada, formulou respostas que não possuíam nenhuma relação com a questão apresentada. Os demais alunos conseguiram formular respostas que abordavam o tema, porém em uma linguagem pouco adequada e muitas vezes recorrendo a ideias de senso

comum. Apenas uma pequena parcela dos alunos conseguiu relacionar o conceito de restrita às ideias e conceitos apresentados na teoria.

No final da atividade inicial os alunos construíram um mapa conceitual a partir das ideias e conceitos apresentados durante as aulas dialogadas. Os mapas conceituais foram construídos individualmente, de forma que o mapa de cada aluno pudesse representar da forma mais fiel possível quais os conhecimentos prévios estavam disponíveis para que se pudesse trabalhar os conceitos presentes na teoria da Relatividade Restrita. Mais adiante, quando for tratado a questão 5 da avaliação final, que consiste na construção de um mapa conceitual para verificar a evolução dos conceitos, será apresentado os mapas conceituais elaborados nesta etapa, assim como os mapas elaborados na avaliação final, para fins de comparação entre os mapas iniciais e finais de quatro alunos. Acredita-se que desta maneira ficará mais perceptível a forma como a aprendizagem de cada aluno evoluiu durante a aplicação da UEPS.

Vale ressaltar que o intuito de solicitar a construção de um mapa conceitual na atividade inicial é obter uma avaliação diagnóstica dos conhecimentos prévios dos alunos. Em seguida, serão apresentados os resultados obtidos com a situação-problema inicial da UEPS que consiste na etapa onde os alunos jogaram “*A slower speed of light*”. Nesta etapa os alunos tiveram de responder um questionário composto por questões relativas ao *game*.

Na questão 5, que tratava da invariância da velocidade da luz, praticamente todos os alunos responderam que a velocidade da luz possui um valor constante. A seguir apresentam-se algumas das respostas elaboradas pelos alunos.

“Sim, se for observada em relação ao jogo” (A9)

“Sim, eu acho pelo ponteiro ali ao lado” (A21)

“Sim, quando você coleta todas as *orbs* elas diminuem a velocidade da luz, assim tendo a distorção de tempo e espaço” (AI28)

De acordo com as respostas elaboradas pelos alunos, o *game* foi importante para que os alunos percebessem que a velocidade máxima do jogador é a velocidade da luz, pois grande parte dos alunos se basearam em aspectos do jogo para responder esta questão.

Na questão 6 houve uma diferença entre as respostas obtidas na turma do EM e do ETIM. Na turma do ETIM, praticamente todos os alunos responderam que o motivo pelo qual

não é possível observar no cotidiano os mesmos efeitos observados no jogo é a impossibilidade de se alcançar a velocidade da luz. As respostas desta turma são muito semelhantes quando comparadas com as respostas transcritas a seguir.

“Pois a velocidade da luz é muito maior que a nossa” (AI6)

“Porque nossa velocidade é muito inferior à velocidade da luz” (AI20)

Quanto às respostas do EM, a turma ficou dividida em duas partes praticamente iguais. Uma metade elaborou respostas muito semelhantes às apresentadas para a turma de ETIM. Já a outra metade elaborou suas respostas mais baseadas no exemplo que se segue.

“Por não estamos na mesma velocidade” (A35)

Comparando as respostas dadas pelos alunos, fica evidente que o conceito de velocidade da luz está mais diferenciado nas respostas elaboradas pelos alunos AI6 e AI20, pois os alunos mencionaram que a velocidade da luz é muito maior que as velocidades percebidas no cotidiano, o que resulta numa concepção importante para compreender o fato pelo qual não se percebem os efeitos relativísticos no cotidiano.

Na questão 7 os alunos deveriam descrever o que eles visualizavam quando o jogador se desloca pelo cenário quando quase todas as *orbs* fossem coletadas. Na turma do ETIM, mais da metade da sala baseou suas respostas no efeito holofote. Os alunos descreveram a mudança da intensidade das cores que ocorre no cenário conforme o personagem se move. Abaixo seguem dois exemplos de respostas elaboradas por alunos desta turma.

“Podemos perceber uma variação de cores muito fortes na direção em que o personagem vai, e a escuridão na direção oposta...” (AI23)

“As luzes ficam muito fortes” (AI3)

Na turma de EM as respostas estão divididas em três grupos praticamente iguais. Uma parte da sala baseou suas respostas na distorção do espaço, a segunda parte baseou-se no efeito holofote e a terceira parte utilizou ambos os fenômenos para elaborar as suas respostas. Foram selecionadas duas respostas para exemplificar as respostas dadas pelos demais alunos.

“As cores vão ficando cada vez mais fortes, o cenário vai se expandindo a cada passo dado” (A3)

“O jogo fica muito colorido e dá a impressão que você não está indo para a direção desejada” (A20)

A impressão de não estar indo para a direção correta, mencionado pelo aluno A20 se deve ao fato do espaço estar se contraindo. Desta forma, o jogador começa a ter a impressão de que o jogo não está respondendo aos comandos dados por ele, pois sua percepção de espaço fica alterada devido ao fenômeno relativístico da contração espacial.

Na questão 8 foi abordada a visualização do cenário quando todas as *orbs* são coletadas. Praticamente todos os alunos se basearam na deformação de objetos em movimento relativístico (efeito Terrell) e na contração do comprimento para basear as suas respostas. Em seguida apresentam-se algumas respostas dadas pelos alunos.

“...toda a visão de cores desaparece e quando você vai para frente o cenário fica muito distante e contorcido” (AI31)

“Tudo se distorce e se distancia” (A4)

“Os objetos se distorcem por estar andando na velocidade da luz” (A35)

A última questão abordada neste questionário (questão 9) sobre o *game*, foi referente ao Paradoxo de Aarau. Nesta questão os alunos deveriam discorrer sobre o que seria visualizado se houvesse a possibilidade de se viajar próximo à velocidade da luz. As respostas foram bem variadas e os alunos se basearam nos principais conceitos e ideias abordados no *game*. Os alunos recorreram basicamente aos conceitos de distorção dos objetos em movimento relativístico (efeitos ópticos), efeito Holofote e contração do comprimento para elaborarem as suas respostas.

A avaliação final foi elaborada de maneira a ser composta por quatro questões abertas que tratavam dos principais temas abordados na UEPS e uma questão que solicitava que os alunos construíssem um mapa conceitual, o qual foi utilizado para que se pudesse fazer a comparação com os mapas construídos no início da aplicação da UEPS e buscar indícios de uma aprendizagem significativa.

A primeira questão da avaliação final tratou da simultaneidade de eventos relativísticos. Em ambas as salas, muitos alunos conseguiram articular os principais conceitos presentes no fenômeno e por meio das atividades desenvolvidas durante as aulas os alunos

elaboraram respostas que atendem os quesitos necessários para uma resolução aceitável da questão. As questões trabalhadas na avaliação final estão discriminadas na Tabela 2.

| Questão | Enunciado da questão |
|---------|--|
| 1 | Explique com suas palavras, de forma detalhada, o que você entendeu do fenômeno da simultaneidade de eventos relativísticos. |
| 2 | A dilatação temporal foi um dos fenômenos relativísticos estudados durante nossas aulas. Desta forma, responda: a) O que é necessário para que este fenômeno aconteça? b) Explique por meio da escrita e desenhos o que acontece neste fenômeno. |
| 3 | Explique com suas palavras, de forma detalhada, como acontece o fenômeno da contração do comprimento de objetos relativísticos |
| 4 | Escolha dois fenômenos relativísticos que você tenha percebido enquanto jogava o game “ <i>A slower speed of light</i> ” e explique de forma detalhada como e porque eles ocorrem. |
| 5 | Construa um mapa conceitual abordando tudo o que foi discutido durante as nossas aulas sobre a teoria da relatividade restrita. |

Tabela 2: Enunciado das questões trabalhadas na avaliação somativa final aplicada aos alunos.

Contudo, alguns alunos apresentaram respostas bem elaboradas e relacionando de forma satisfatória os conceitos e ideias presentes no fenômeno. Transcreve-se a seguir uma resposta apresentada por um dos alunos.

“Simultaneidade baseia-se na perspectiva (referencial) do observador: como percebemos a luz, como no exemplo do trem cujas duas extremidades foram queimadas por um maçarico no momento em que este passou no ponto que ficava exatamente no meio dos dois (maçaricos). Uma pessoa que estava do lado de fora, um observador, nota que as duas pontas foram queimadas ao mesmo tempo, mas uma pessoa que está dentro do trem, um passageiro, nota que a ponta da frente foi queimada primeiro para depois olhar para trás e ver a outra ponta queimada, ou seja, depende do ponto de vista do qual o observador vai ter a percepção do fenômeno”.

(A6)

Como pode ser observado na resposta transcrita acima, o aluno conseguiu relacionar conceitos como a constância da velocidade da luz e o referencial ao fenômeno da simultaneidade apresentado na questão. A maioria dos alunos também mencionaram na resolução desta questão que tempo e espaço são grandezas relativas.

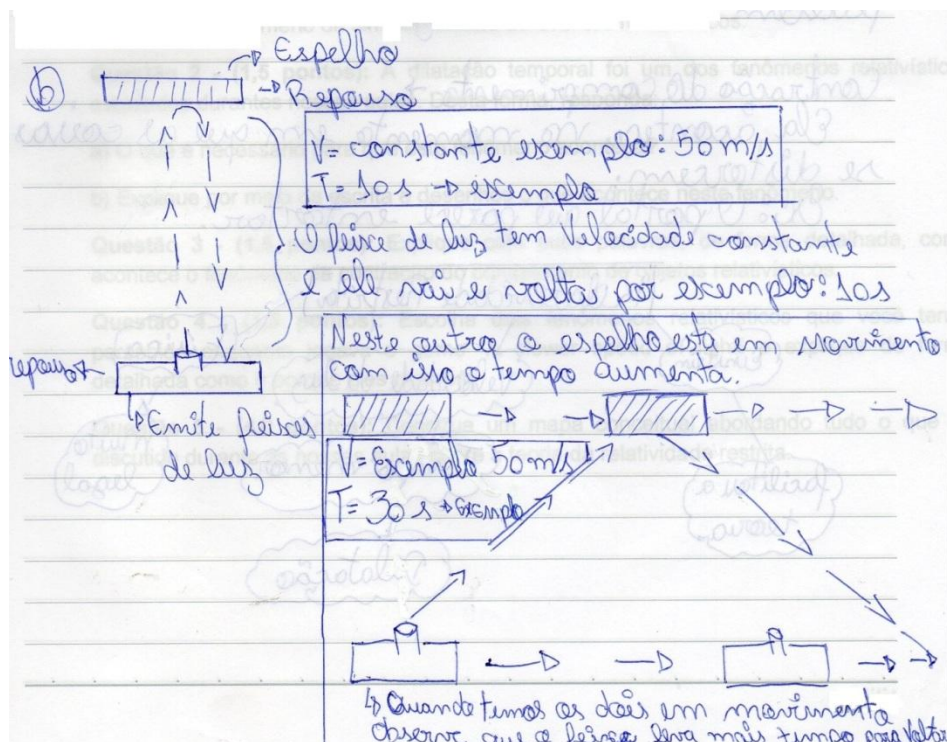
Na segunda questão da avaliação final foi abordada a dilatação temporal. A questão foi dividida em dois itens. No primeiro o aluno deveria relacionar o conceito de velocidade da luz

com dilatação temporal. Na turma de EM pouco mais da metade da sala conseguiu relacionar a dilatação temporal com a velocidade da luz. Na turma do ETIM apenas uma pequena parcela conseguiu fazer a mesma relação.

No segundo item foi solicitado aos alunos que descrevessem o fenômeno da dilatação temporal por meio de texto e desenhos. Para isso muitos alunos recorreram a informações apresentadas na animação que tratava da dilatação temporal. Em seguida apresenta-se a resposta do aluno (AI11) para a questão 2.

Resposta ao item a): “você precisa alcançar a velocidade da luz...”

Resposta ao item b):



Por meio do esquema apresentado pelo aluno pode-se identificar conceitos importantes presentes no fenômeno da dilatação temporal. O primeiro é o da constância da velocidade da luz e o segundo refere-se ao movimento do espelho e da fonte luminosa. A seguir apresenta-se a resposta elaborada pelo aluno (AI19)

Resposta ao item a): “Algum móvel estar se movimentando na velocidade da luz ou perto dela”

Resposta ao item b): “Quando algo está na velocidade da luz ou perto dela, uma nave por exemplo, o tempo lá dentro demora mais para passar de quem a vê parada.

Segundos para quem está parado

1 → 2 → 3

Segundos para quem está na velocidade da luz

1 → 2 → 3

A resposta ao item b) é interessante, pois no esquema utilizado pelo aluno a ideia expressa é que o tempo transcorre de forma diferente quando se viaja com velocidade próxima à velocidade da luz. A representação do fenômeno feita pelo aluno foi utilizar um espaçamento maior entre os números que correspondem aos segundos.

A terceira questão da avaliação tratou da contração do comprimento de objetos em movimento relativístico. Em relação às demais questões apresentadas na avaliação final, esta foi a que os alunos mais demonstraram dificuldade em responder. Houve uma boa parcela dos alunos que entregaram esta questão em branco. A grande maioria deu respostas que não possuíam aspectos que fornecessem algum indício de uma aprendizagem significativa. As respostas não são muito adequadas e não permitem perceber se os alunos entenderam o conceito de contração do comprimento. Em seguida, apresentaremos algumas respostas dadas pelos alunos.

“Usando um exemplo com o relógio de luz e uma régua, observamos este fenômeno acontecer: quando os relógios estão em movimento (velocidade da luz), fazem a luz passar por dois pontos presentes nas extremidades da régua. Quando a régua está na velocidade da luz precisa comprimir-se para que a luz consiga atingir os mesmos pontos”. (A6)

“... quando a régua está parada e o relógio de luz em movimento, o tamanho da régua é maior e o tempo passa mais devagar. Quando a régua está em movimento, o tempo passa mais rápido e a régua é menor”. (A17)

“A velocidade da luz não muda, mas o tempo sim, então dependendo de alguns fenômenos como a velocidade do objeto, ocorre a dilatação do comprimento...” (AI32)

Como mencionado anteriormente, os alunos apresentaram conceitos relevantes em suas respostas, dentre elas a invariabilidade da velocidade da luz, a dilatação do tempo e a necessidade do objeto estar próximo a velocidade da luz para que ocorra o fenômeno da contração do espaço. Contudo, estes conceitos não estão relacionados e articulados de

maneira a evidenciarmos uma evolução conceitual sobre a contração do comprimento. Dentre os alunos que responderam esta questão, praticamente todos recorreram à animação da contração do comprimento para basearem as suas respostas.

Na quarta questão da avaliação foi solicitado aos alunos que escolhessem dois fenômenos relativísticos presentes no jogo e identificados por eles enquanto jogavam o *game* “*A slower speed of light*” e explicassem de forma detalhada como e por que eles ocorreram.

De acordo com as avaliações aplicadas ao longo da UEPS, das aulas dialogadas e da avaliação final, mostra-se bem claro que o efeito que mais chamou a atenção dos alunos foi o efeito Terrell, uma vez que sempre que possível os alunos retomavam esta questão. Nas aulas dialogadas e nos momentos das trocas de significados, os alunos sempre queriam discutir este tema e faziam questionamentos ao professor para obter maiores explicações sobre este fenômeno. Apesar do Efeito Holofote ser muito mais evidente para os alunos do que a contração do comprimento, a maioria dos estudantes optaram pelo efeito da contração do comprimento para elaborarem suas respostas. Acredita-se que isto se deve ao fato da contração do comprimento ser mais explorada nas atividades desenvolvidas ao longo da UEPS e da animação utilizada. Em seguida apresenta-se algumas respostas elaboradas pelos alunos.

“A imagem, quando vamos para frente fica bem mais distante, com as cores mais fortes e para trás conseqüentemente mais escura, ficando cada vez mais difícil chegar ao ponto final. Todos esses efeitos ocorrem, pois o personagem chega a velocidade da luz”. (AI4)

“A distorção do espaço, que acontece quando estamos perto ou na velocidade da luz. O espaço se contrai devido à velocidade...”. (AI23)

“Quando a personagem andava para frente o cenário ficava mais longe e quando andava para trás parecia que o cenário ficava mais perto. Contração do comprimento”. (AI30)

Na avaliação final os alunos se depararam com novas questões nunca antes formuladas por eles, ver apêndice III. Assim, por se acreditar que a aprendizagem significativa é caracterizada por ocorrer de forma progressiva, a aplicação da UEPS foi importante no que diz respeito à introdução dos alunos aos conceitos e ideias apresentadas na teoria da Relatividade Restrita.

A última questão da avaliação final tratou-se da construção de um mapa conceitual abordando todos os conteúdos trabalhados durante a aplicação da UEPS. Acredita-se muito

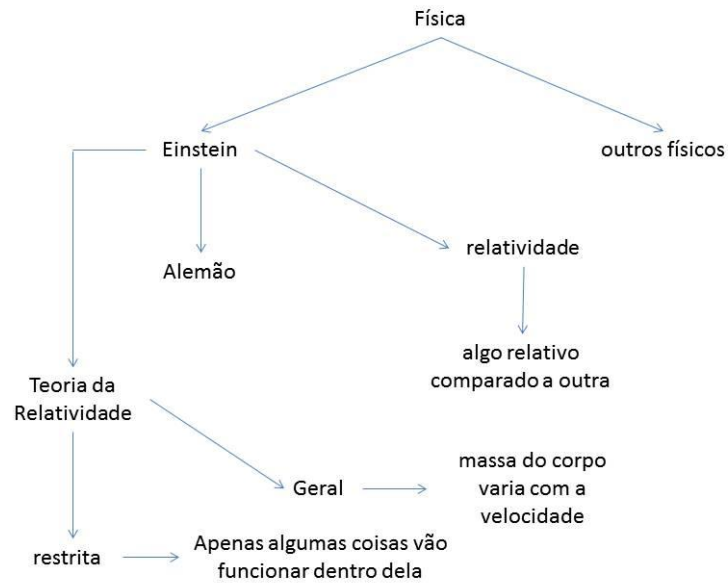
adequado solicitar que os alunos construam um mapa conceitual ao final do processo para que se possa fazer um comparativo com os mapas conceituais construídos logo no início da UEPS. A seguir serão apresentados os mapas conceituais construídos no início e no final da UEPS pelos alunos (A14, A23, AI25 e A29).

Nos quatro mapas conceituais iniciais apresentados em seguida, Figuras 13, 14, 15 e 16 pode-se notar a falta de ideias e conceitos mais relevantes sobre a teoria da relatividade restrita. Dois alunos decidiram colocar Einstein como o conceito mais abrangente do mapa conceitual, enquanto os outros dois alunos optaram por colocar a Teoria da Relatividade como conceito mais abrangente. Também é possível notar que os conceitos e ideias estão quase sempre ligados por apenas uma relação. Esta é uma evidência de que os subsunçores presentes na estrutura cognitiva dos alunos não estão adequados e diferenciados para realizarem um número maior de ancoragens.

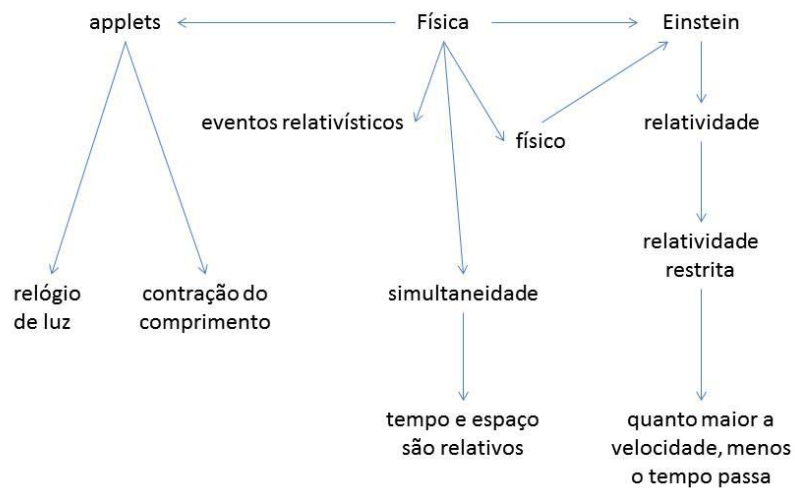
Os alunos exploraram basicamente os conceitos de espaço, tempo, restrito e geral. Contudo, estas ideias e conceitos se apresentam com pouco grau de diferenciação. É possível verificar também alguns erros conceituais referentes à exemplificação ou explicação de alguns desses conceitos pelos alunos.

Um exemplo da pouca diferenciação dos conceitos pode ser observado no mapa conceitual inicial elaborado pelo aluno A23. Nele o aluno relaciona o conceito de teoria da Relatividade aos conceitos de Restrita e Geral. Logo mais abaixo, na hierarquia do mapa, o conceito de Restrita é relacionado à ideia de limitada e o conceito de Geral a ideia de sem limitações. Apesar de haver certa conexão entre os conceitos e ideias apresentados pelo aluno durante a elaboração do mapa conceitual, nota-se que ele ainda não é capaz de exemplificar ou explicar os termos utilizados.

Um exemplo de erro conceitual pode ser notado na elaboração do mapa conceitual inicial do aluno AI25, onde este relaciona a ideia de velocidade variável ao conceito de teoria da Relatividade Restrita. Acredita-se que isto ocorre devido ao fato dos alunos possuírem subsunçores atrelados e diferenciados com base no senso comum, ou seja, para eles espaço e tempo são invariáveis, sendo que a única grandeza capaz de sofrer variação seria a velocidade.

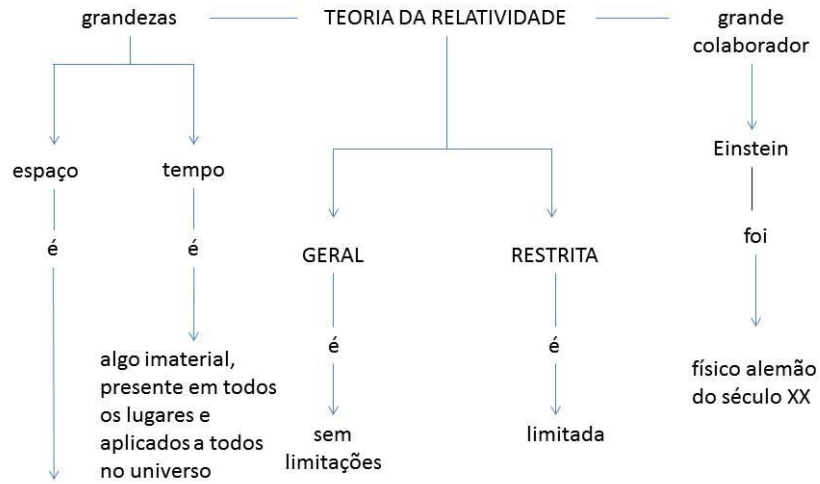


(a)



(b)

Figura 13: Mapas conceituais construídos pelo aluno A14 durante a aplicação da UEPS. (a) mapa construído na atividade inicial. (b) mapa construído na avaliação final.



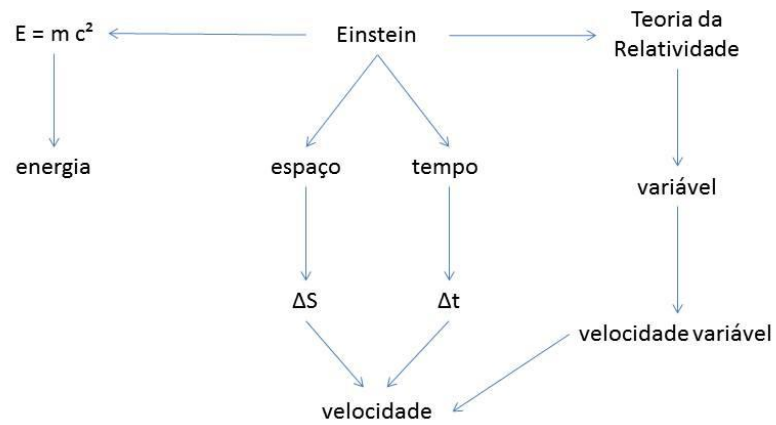
tudo que pode ser ocupado por alguma massa

(a)

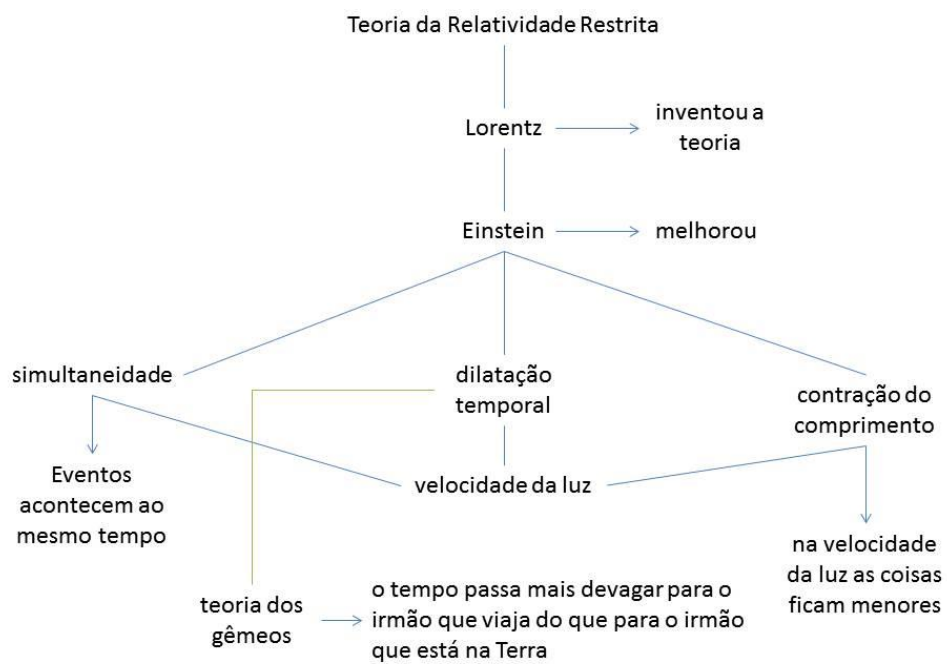


(b)

Figura 104: Mapas conceituais construídos pelo aluno A23 durante a aplicação da UEPS. (a) mapa construído na atividade inicial. (b) mapa construído na avaliação final.

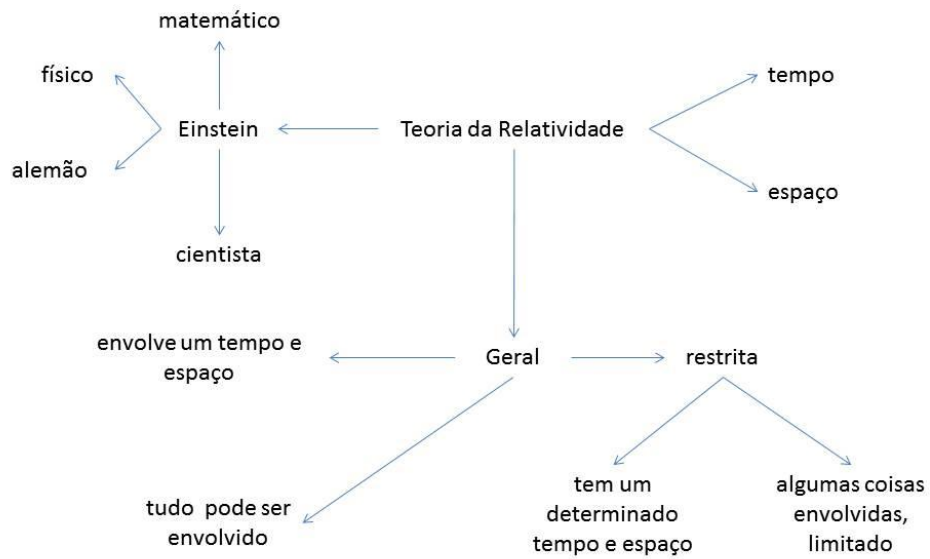


(a)

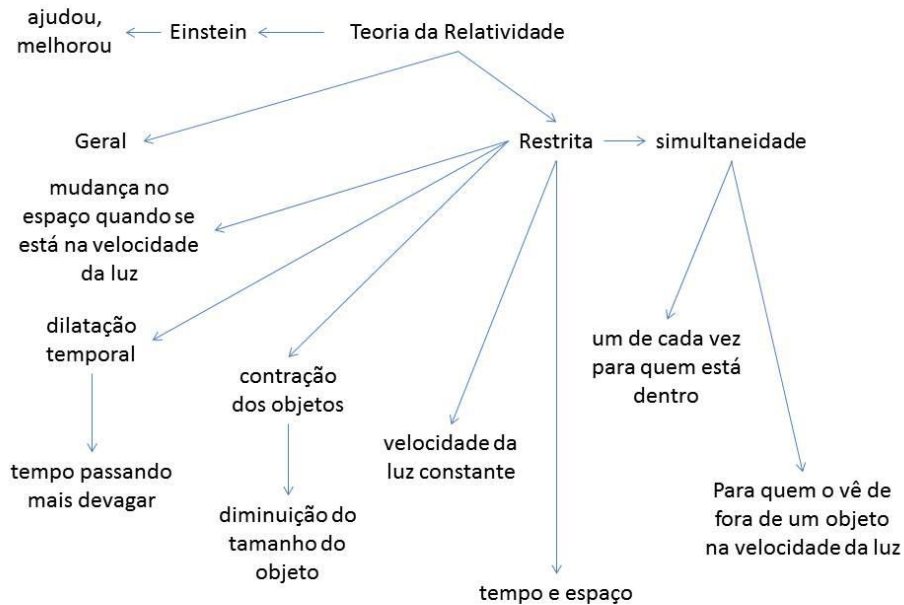


(b)

Figura 15: Mapas conceituais construídos pelo aluno AI25 durante a aplicação da UEPS. (a) mapa construído na atividade inicial. (b) mapa construído na avaliação final.



(a)



(b)

Figura 16: Mapas conceituais construídos pelo aluno A29 durante a aplicação da UEPS. (a) mapa construído na atividade inicial. (b) mapa construído na avaliação final.

Em comparação aos mapas conceituais construídos no início da aplicação da UEPS, os mapas apresentados na avaliação final possuem uma notável diferença em diversos aspectos. Primeiramente, é possível notar um maior número de conceitos e ideias relevantes a respeito da teoria da Relatividade Restrita. Conceitos como simultaneidade, contração do comprimento, dilatação temporal, paradoxo dos gêmeos, invariabilidade da velocidade da luz estão presentes nos mapas conceituais apresentados. Em segundo lugar é possível notar evidências de que os conceitos e ideias presentes nos mapas sofreram uma discriminação maior do que as evidenciadas nos mapas iniciais. Em terceiro é possível constatar um maior número de conexões entre os conceitos e ideias apresentados nos mapas conceituais finais.

Apesar da evolução apresentada, ainda pode-se notar alguns erros conceituais presentes nos mapas conceituais construídos ao final da UEPS. Contudo, isto é algo esperado, uma vez que o processo de aprendizagem significativa é gradual, onde os conceitos e ideias vão sendo diferenciados de forma progressiva, o que resulta em um processo de evolução gradativo. Assim, não é possível estabelecer um ponto final para o aprendizado de um tema ou assunto, e sim verificar a evolução ao longo do processo de aprendizagem estabelecido.

Pode-se afirmar que não é interessante dar ênfase em comportamentos finais, uma vez que a aprendizagem significativa ocorre de forma progressiva.

Desta forma, pode-se dizer que os mapas conceituais, assim como as demais questões da avaliação final e das atividades desenvolvidas ao longo da UEPS, mostraram que os alunos foram capazes de responder questões relacionadas a um tema inédito apresentado a eles, além do fato de considerarmos complexo o conteúdo de Relatividade Restrita para estudantes neste nível de ensino.

Após a aplicação da UEPS foi solicitado que um grupo de alunos repondesse um questionário para que se pudesse analisar algumas questões pertinentes às aulas sobre relatividade. O questionário foi aplicado a 10 alunos de cada sala, totalizando 20 alunos, selecionados aleatoriamente. O presente questionário se encontra no Apêndice V. O enunciado das questões do questionário pós-aplicação da UEPS se encontra na Tabela 3.

| Questão | Enunciado da questão |
|---------|---|
| 1 | Você acha que o <i>game</i> “ <i>A slower speed of light</i> ” ajudou na compreensão dos conceitos tratados durante as aulas sobre relatividade Restrita? |
| 2 | Dos assuntos abordados nas aulas sobre Relatividade Restrita (dilatação temporal, contração do espaço, simultaneidade de eventos relativísticos, efeito Terrell, invariabilidade da velocidade da luz e efeito holofote), marque com um “D” o que teve mais dificuldade em compreender e marque com um “F” o que teve mais facilidade de compreensão. |
| 3 | As animações sobre contração do espaço, dilatação temporal e simultaneidade ajudaram na compreensão dos conceitos tratados durante as aulas? |
| 4 | Você acha que os conteúdos aprendidos durante as aulas de Relatividade Restrita foram importantes para a sua formação? |
| 5 | Você gostaria de aprofundar seus conhecimentos sobre a teoria da Relatividade Restrita para melhor compreendê-la? |

| | |
|----------|--|
| 6 | Você acha que a forma como as atividades foram apresentadas e trabalhadas (metodologia) facilitou a compreensão dos conteúdos sobre a Relatividade Restrita? |
| 7 | Deixe alguma sugestão ou comentário sobre as aulas de Relatividade Restrita. |

Tabela 3: Questões apresentadas aos alunos para a avaliação da UEPS.

Em seguida, é apresentada uma análise quantitativa das respostas fornecidas pelos alunos. Esta análise fornece dados importantes sobre a visão dos alunos em relação às atividades desenvolvidas durante a aplicação da UEPS e colabora com a formulação de novas metodologias e utilização de novos materiais nas futuras modificações da UEPS. Na Figura 17 apresenta-se o gráfico para as respostas formuladas pelos alunos com respeito à primeira questão.

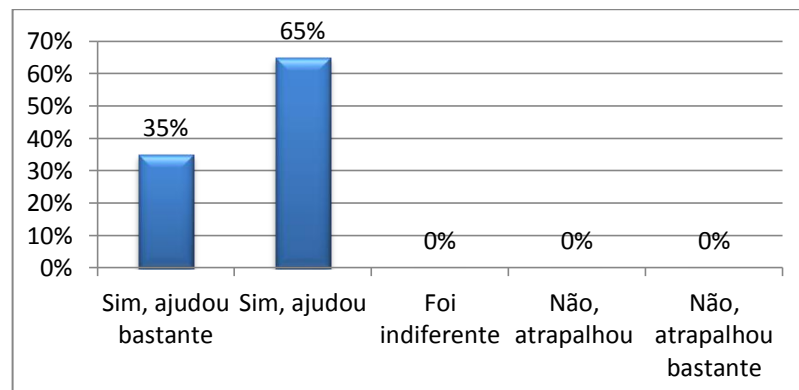


Figura 17: Gráfico para as resposta obtidas na questão 1 do questionário.

De acordo com a Figura 18, todos os alunos julgaram que o *game* “*A slower speed of light*” ajudou na compreensão dos conceitos abordados na teoria da Relatividade Restrita. Desta forma, acredita-se que o *game* foi uma importante ferramenta educacional utilizada na UEPS. Na Figura 18 estão os resultados obtidos com a análise da questão 2.

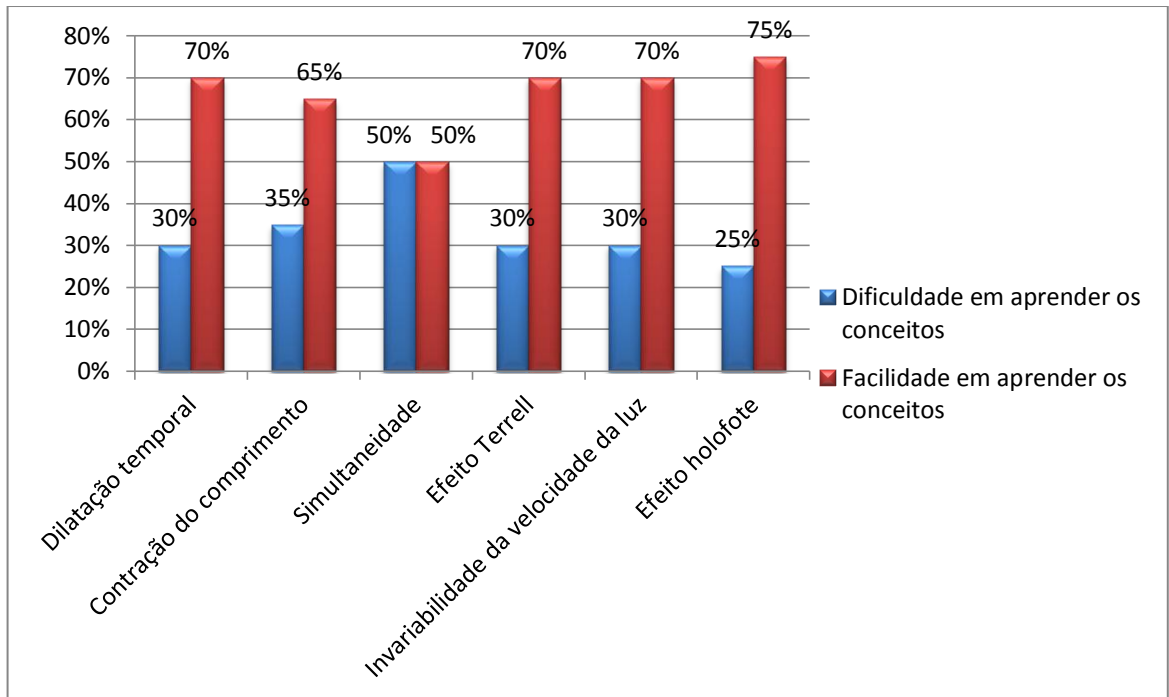


Figura 18: Gráfico para as resposta obtidas na questão 2 do questionário.

O único conceito que não é abordado no *game* “*A slower speed of light*” é a simultaneidade de eventos relativísticos e foi o conceito que os alunos mais tiveram dificuldade em aprender segundo eles. Pode-se então, levantar a hipótese de que o *game* teve um impacto positivo na aprendizagem dos alunos, uma vez que eles julgaram os demais conceitos presentes no *game* como sendo mais fáceis de serem aprendidos. Na Figura 19 estão os resultados estatísticos da questão 3. Como apresentado no gráfico, as animações, assim como o *game*, foram importantes na visão dos alunos para as aulas de Relatividade Restrita. Apenas 5% dos alunos entrevistados julgaram a utilização das animações indiferente no processo de aprendizagem.

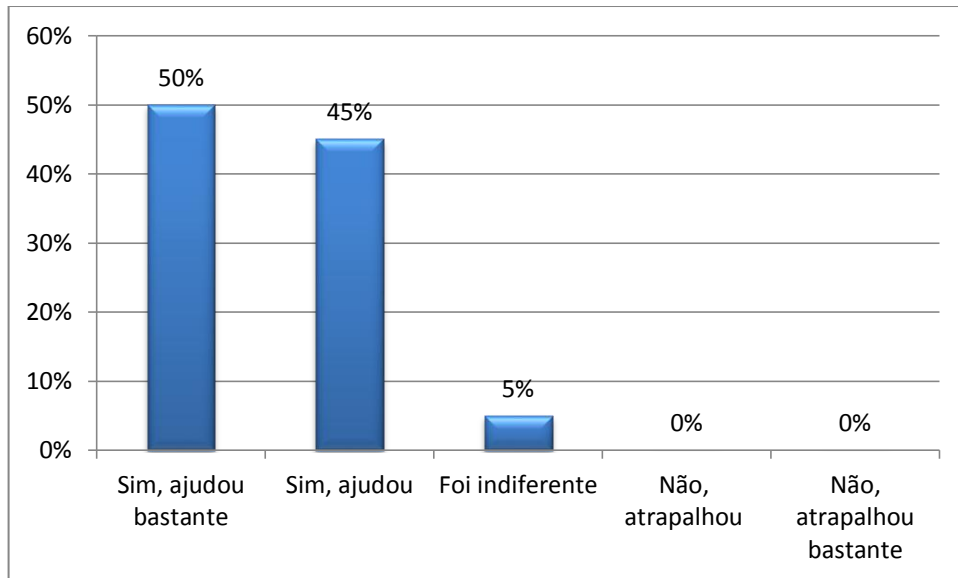


Figura 19: Gráfico para as resposta obtidas na questão 3 do questionário.

A Figura 20 apresenta os resultados obtidos com a quarta questão aplicada aos alunos. Todos os alunos concordam que as aulas de relatividade foram importantes, sendo que as respostas variam apenas na intensidade da afirmação.

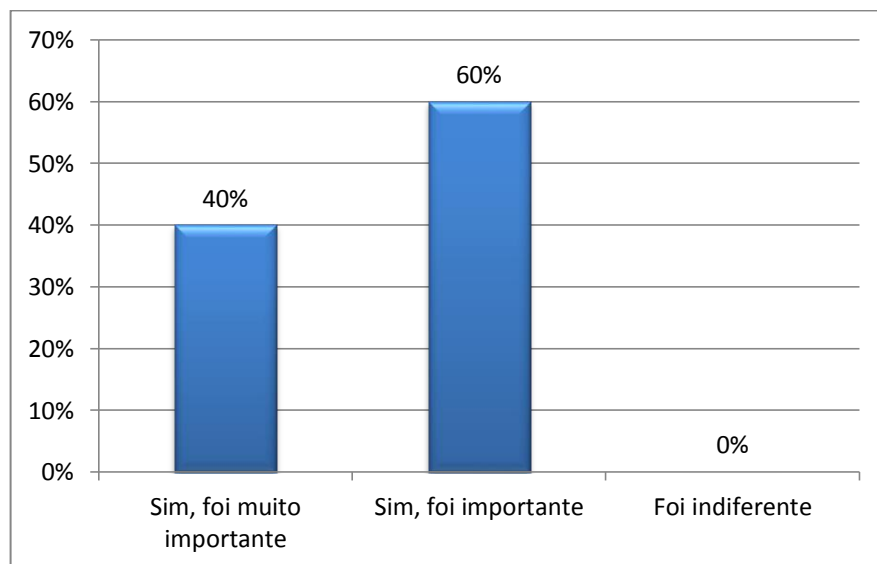


Figura 20: Gráfico para as resposta obtidas na questão 4 do questionário.

Os resultados da questão 5 do questionário estão apresentados na Figura 21. A grande maioria dos alunos respondeu que gostariam de aprofundar seus conhecimentos sobre a teoria da Relatividade Restrita. Este é um indício de que a atividade cumpriu com o objetivo de despertar o interesse dos alunos para o assunto,

sendo que a aplicação de atividades futuras relacionadas ao tema provavelmente serão bem aceitas pelos alunos.

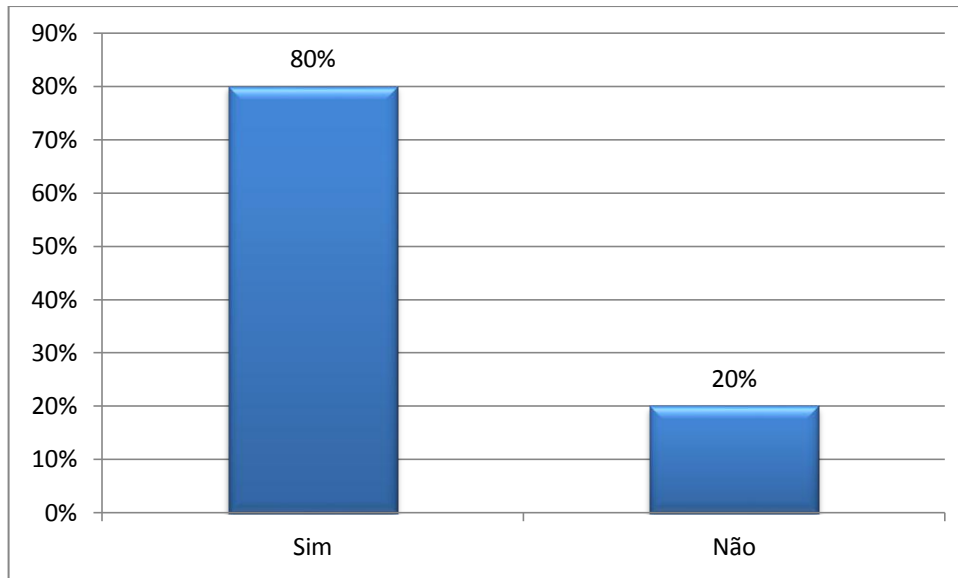


Figura 21: Gráfico para as resposta obtidas na questão 5 do questionário.

Em relação à metodologia adotada nas aulas de Relatividade Restrita, os alunos se mostraram bastante satisfeitos, como mostra a Figura 22.

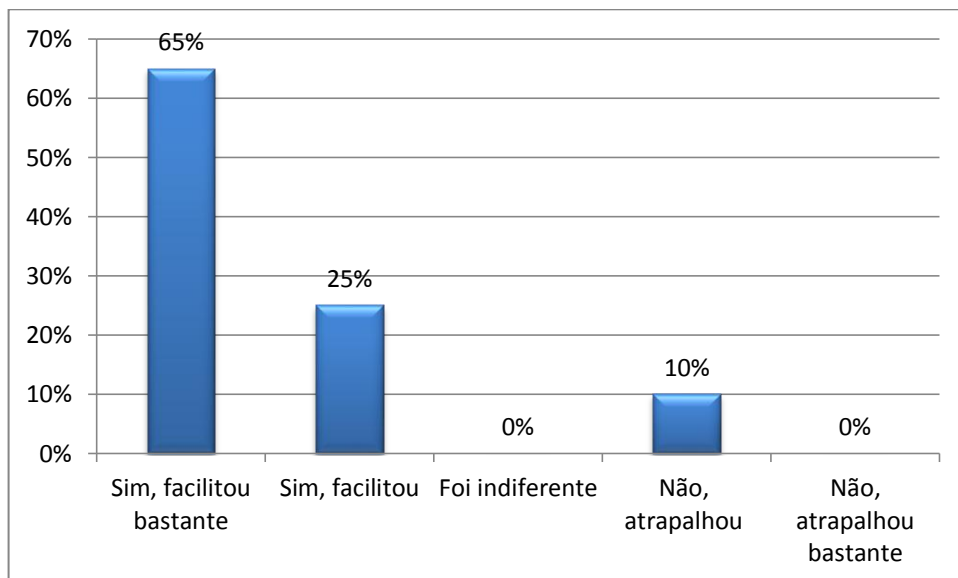


Figura 22: Gráfico para as resposta obtidas na questão 6 do questionário.

Na última pergunta do questionário aplicado aos alunos foi solicitado que alunos fizessem comentários ou sugestões sobre as aulas de relatividade Restrita. Seguem abaixo algumas das respostas formuladas pelos alunos.

“As aulas foram mais interessantes que o habitual devido à abordagem do assunto de um jeito diferente, com o jogo e as animações”

“Acredito que foi importante na minha formação como aluno, pois é interessante saber sobre coisas novas. Seria bom aprofundar mais sobre o assunto”

“Com as animações e o jogo o conteúdo se fixou melhor e com mais rapidez. As atividades ajudam muito”

“Os materiais usados facilitam muito na compreensão, tanto os exemplos usados pelo professor como os vídeos e o jogo sobre Relatividade Restrita”

“Sugiro que continue passando diferentes atividades, pois facilita muito a compreensão para aqueles que veem mais dificuldade, como eu”

“Foram ótimas aulas, consegui aprender sobre várias coisas que eu tinha dúvida como, por exemplo, a dilatação temporal. Consegui finalmente entendê-la”

“A ideia de usar o game e as animações ajuda bastante a entender um pouco mais sobre a Relatividade Restrita”

Em relação às respostas apresentadas no questionário, pode-se inferir que os alunos se mostraram satisfeitos com as aulas de Relatividade Restrita. Como mencionado anteriormente, a avaliação da UEPS pelos alunos é imprescindível, uma vez que fornece parâmetros importantes a serem considerados nas futuras reformulações da unidade de ensino.

Capítulo 8: Considerações finais

O principal objetivo do presente trabalho foi desenvolver um produto educacional que consiste em uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) com o intuito de auxiliar o aprendizado dos alunos do Ensino Médio sobre os conceitos da teoria da Relatividade Restrita. A UEPS conta com ferramentas diferenciadas como, por exemplo, o jogo “*A slower speed of light*” e as animações que abordam os principais conceitos da teoria da Relatividade Restrita.

O jogo “*A slower speed of light*” teve uma grande relevância no que diz respeito à motivação dos alunos para aprender os conceitos apresentados durante a aplicação da UEPS. Como foi apresentado no questionário final, todos os alunos relataram que o jogo foi importante ou muito importante para que se pudesse aprender os conceitos apresentados. Assim, pode-se dizer que o jogo constitui o diferencial do produto educacional apresentado neste trabalho. Porém, vale ressaltar que o jogo não consiste em uma ferramenta de aprendizagem por si só, sendo necessário um contexto educacional no qual ele deve ser inserido para que se possa obter um processo de ensino e aprendizagem produtivo.

Após a aplicação de cada etapa da UEPS os resultados obtidos foram analisados e serviram de base para obter informações de como os conceitos apresentados evoluíram durante a aplicação da unidade de ensino. Os resultados obtidos indicam que os alunos conseguiram desenvolver os conceitos apresentados, mostrando que houve uma evolução dos conceitos trabalhados. Desta forma, pode-se concluir que a UEPS foi importante no processo de evolução conceitual. No início os alunos apresentaram muitos conceitos atrelados ao senso comum e que estabeleciam quase nenhuma relação entre si. Contudo, ao final da unidade os alunos se mostraram muito mais aptos a trabalharem com os conceitos apresentados, apesar de ainda haverem dificuldades para trabalharem com alguns destes conceitos.

Toda a estrutura utilizada na construção da UEPS, assim como toda a metodologia empregada nas aulas foi baseada na teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, onde se explorou ao máximo a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora entre os conceitos apresentados aos alunos. Foram relatados durante este trabalho as dificuldades atreladas à construção de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa e sua aplicação em sala de aula. Desta forma, o autor procurou descrever estas dificuldades e as soluções encontradas para que os leitores que pretendem aplicar o produto educacional apresentado neste trabalho estejam cientes de como se decorreu todo o processo.

Gostaríamos de salientar que este trabalho foi produzido sempre levando em consideração a realidade em que a maioria dos docentes encontra em suas salas de aula e as dificuldades que permeiam o sistema educacional. Assim, procurou-se desenvolver um produto educacional que tenha uma grande potencialidade

de aplicação e que atenda as reais necessidades dos professores de física do Ensino Médio. Apesar dos recursos computacionais envolvidos na aplicação da UEPS, acredita-se que é possível encontrar soluções alternativas e viáveis como foi apresentado neste trabalho.

Apesar de haverem diversos trabalhos acadêmicos tratando da teoria da Relatividade Restrita no Ensino Médio, considera-se que o produto educacional apresentado neste trabalho pode contribuir para que os professores tenham mais uma opção e também sirva de inspiração para trabalhar a Relatividade Restrita em suas aulas. Esta contribuição colabora pelo fato dos conceitos abordados na teoria serem consideravelmente complexos para o nível de ensino em questão e acredita-se que somente aulas expositivas não são capazes de trabalhar o assunto da forma mais produtiva possível.

Considera-se ainda imprescindível o aprendizado de temas relacionados à física não newtoniana, uma vez o funcionamento de diversos dispositivos e equipamentos com os quais os alunos se deparam no seu cotidiano só podem ser explicados por meio dos conceitos tratados neste ramo da física. Desta forma, acredita-se que trabalhos abordando temas relacionados à física não newtoniana devem ser desenvolvidos e divulgados para que os professores tenham mais acesso a este tipo de material e possa-se então se inserir de forma mais concreta o ensino deste ramo da física no Ensino Médio.

Referências Bibliográficas

AUSUBEL, D. P. **Psicologia educativa**: um ponto de vista cognoscitivo. México: Trillas, 1976. 769 p.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos**: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Paralelo, 2003. 243 p.

BOMFOCO, A. M.; AZEVEDO, V. A. Os jogos eletrônicos e suas contribuições para a aprendizagem na visão de James Paul Gee. **Novas Tecnologias na Educação**, Porto Alegre, v. 10, n.3, dez, 2012.

DEISSLER, R. J. The appearance, apparent speed, and removal of optical effects for relativistically moving objects. **American Journal of Physics**. 73 (7), 663-669 (2005).

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>

GEE, J. P. **Bons videogames + Boa aprendizagem**: Colectânea de Ensaio sobre os Videogames, a Aprendizagem e a Literacia. Magualde: Edições Pedagogo, 2010, 299p. (Contrapontos).

GIORDAN, M.; GUIMARÃES, Y. A. F.; MASSI, L. **Uma análise das abordagens investigativas de trabalhos sobre sequências didáticas**: tendências no ensino de ciências. In: IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Campinas, 2011.

HONEY, M. A; HILTON, M. L. **Learning Science Through Computer Games and Simulations**. Washington: The National Academies Press, 2011. 161p.

JANIS, A. I. Simultaneity and special relativistic kinematics. **American Journal of Physics**. 51 (3), 209 (1983).

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. 2013.

MÉHEUT, M.; PSILLOS, D. Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research. **International Journal of Science Education**, v. 26, n. 5, p. 515 – 535, abr. 2004.

MOITA, F. M. G. S. C.; CANUTO, E. C. A. Os jogos digitais no processo de ensinar e aprender e os estilos de aprendizagem do aluno. **Revista Tecnologia Educacional**, v. 40, n. 192, p. 58 – 70, jan/mar. 2011.

MOREIRA, M. A; MASINI, E. F. A. **Aprendizagem significativa**: a teoria de David Ausubel. São Paulo: Moraes, 1982. 112p.

MOREIRA, M. A. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula**. Brasília: Editora UnB, 2006. 186 p.

MOREIRA, M. A. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas - UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista**. v. 1, n. 2, p. 43 – 63. 2011.

MURTA, C. R; VALADARES, M. G. Princípios de aprendizagem de jogos eletrônicos: gameficando a aula de línguas. **Horizontes de Linguística Aplicada**. ano. 12, n.1, 2013. Disponível em: <http://periodicos.unb.br/index.php/horizontesla/article/viewFile/11795/10744>

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica**: óptica, relatividade e física quântica. São Paulo: Edgard Blucher LTDA, 2004. 437p.

NUSSENZVEIG, H. M. As equações de Maxwell. In: _____. **Curso de Física Básica**: Eletromagnetismo. São Paulo: Edgard Blucher LTDA, 2009. p. 261 – 298.

OSTERMANN, F; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “física moderna e contemporânea no ensino médio”. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 5, n.1, p. 23 – 48, 2010.

SANCHES, M. B. **A física moderna e contemporânea no ensino médio**: qual sua presença em sala de aula? 2006. 112 f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.

SILVA, C. M. L. F. **Uma proposta para o ensino da teoria da relatividade especial no nível médio**. 2006. 215 f. Dissertação (Ensino de Ciências Exatas – Modalidade Física) – Centro de Ciências Exatas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

ULICSAK, M; WRIGHT, M. Games in Education: Serious Games. A FutureLab literature review. Reino Unido, 2010. Disponível em http://media.futurelab.org.uk/resources/documents/lit_reviews/Serious-Games_Review.pdf

WOLFF, J. F. S; MORS, P. M. Relatividade: a passagem do enfoque galileano para a visão de Einstein. **Textos de apoio ao professor de física**, Porto Alegre, v. 16, n. 5, 2005.

Apêndices

Apêndice I

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

Bruno Marconi Riboldi

Objetivo: 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.*

1-) Atividade inicial: Apresentar a UEPS e os métodos de avaliação para os alunos. Pedir para que os alunos respondam individualmente as duas 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?

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 do apêndice II. 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 completa 100 anos. Solicitar que os alunos realizem como tarefa de casa uma pesquisa sobre a relatividade geral, produzindo um texto (resenha) sobre o material encontrado. Os alunos devem pesquisar as informações em *sites*, periódicos impressos ou *online*, livros, artigos de divulgação científica, enciclopédias virtuais, etc.

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 movimentamos, 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? (destacar que esta foi uma pergunta feita pelo próprio Einstein – Paradoxo de Aarau)

As respostas devem ser analisadas pelo professor para verificar quais os conceitos físicos os alunos construíram durante a interação com o *game*.

3-) Situação-problema de aprofundamento 1: 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”. 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. Ao final destas atividades 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.

4-) Avaliação individual: Será constituída de questões abertas e testes envolvendo os conceitos-foco da UEPS, como a dilatação do tempo, contração do espaço, a invariabilidade da velocidade da luz e a deformação aparente de objetos relativísticos.

5-) Avaliação da UEPS: 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.

6-) Avaliação da UEPS: O professor deve fazer uma análise qualitativa das evidências de aprendizagem significativa que percebeu durante as atividades da UEPS.

Sugestão de Materiais Instrucionais:

http://escolanusai.pbworks.com/f/sincronizacao_de_relogios.swf

http://escolanusai.pbworks.com/f/sincronizacao_de_relogios_2.swf

<https://www.youtube.com/watch?v=Xa14nk3woww>

<https://www.youtube.com/watch?v=JQnHTKZBTI4>

<https://www.youtube.com/watch?v=ZrAJN6tvHM8>

Goldsmith, Mike. Einstein e seu universo inflável – Coleção Mortos de Fama, Cia. das Letras, 192 pp. 2002.

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

Infeld, L. e Einstein, A. A evolução da Física, Zahar, 248 pp. 2008.

Einstein, A. Como vejo o mundo, Nova Fronteira, 160 pp. 2015.

Bernstein, A. Albert Einstein e as Fronteiras da Física, Claro Enigma, 184 pp 2013.

Pais, A. " Sutil É o Senhor..." A Ciência e a Vida de Albert Einstein, Nova Fronteira 638 pp 1995.

Tolmasquim, A. Einstein - O Viajante da Relatividade Na America do Sul, Vieira&Lent, 255pp, 2003.

Apêndice II

Uma breve história da Teoria da Relatividade Restrita

Bruno Marconi Riboldi

Neste ano comemora-se o centenário de uma das teorias mais importantes da física, a Teoria da Relatividade Geral, proposta pelo físico alemão Albert Einstein (1879 - 1955). Porém, o legado de Einstein começa dez anos antes de 1915, quando ele escreve uma série de cinco artigos, publicados em 1905 no conceituado *Annalen der Physik* (o periódico de física mais conceituado da Alemanha). Dois dos artigos publicados em 1905, o *annus mirabilis* (ano miraculoso) de Einstein, tratavam da Teoria da Relatividade Restrita que serviu de base para que mais tarde fosse proposta a Teoria da Relatividade Geral.

Costumeiramente atribui-se a criação da Teoria da Relatividade Restrita a Albert Einstein. Contudo, antes de Einstein cientistas como Hendrik Antonn Lorentz (1853 - 1928) e Jules Henri Poincaré (1854 - 1912), dentre outros pesquisadores, já haviam obtido resultados importantes para o desenvolvimento da eletrodinâmica dos corpos em movimento que buscava aplicar a bem sucedida eletrodinâmica de Maxwell a corpos em movimento e, em especial, obter resultados para a dinâmica do elétron, descoberto ao final do século XIX. Este desenvolvimento levou à criação da teoria da relatividade. Um dos propósitos deste texto é destacar que, apesar de Einstein ter criado uma teoria consistente da eletrodinâmica aplicada a corpos em movimento, isto é, conjugando o eletromagnetismo de Maxwell e a mecânica Newtoniana, houve contribuições importantes de cientistas que antecederam Einstein e que iniciaram os estudos neste ramo da física.

Outro ponto que merece destaque é a ideia de que na física, assim como em qualquer outro ramo da ciência, não existem expoentes intelectuais capazes de desenvolver uma teoria onde não resta mais nenhum problema significativo a ser resolvido. Galileu, Newton e o próprio Einstein fizeram contribuições relevantes para o desenvolvimento dos conceitos físicos e ajudaram a estruturar esta ciência como a conhecemos hoje, porém houve também inúmeras contribuições ao longo dos séculos, feitas por pessoas que hoje ao menos se sabe o nome e que ajudaram a construir a física como conhecemos atualmente.

O entendimento do trabalho desenvolvido por Galileu em relação à relatividade do movimento é muito importante para a compreensão da Teoria da Relatividade Restrita proposta por Einstein mais de três séculos depois. Foi Galileu quem mostrou que a trajetória descrita por um corpo em movimento depende do referencial adotado, ou seja, a trajetória pode variar de acordo com o referencial ao qual o observador faz parte.

Quase três séculos após Galileu ter formulado uma série de equações que hoje são conhecidas como “Transformações Galileanas”, um importante experimento foi desenvolvido com o intuito de medir a velocidade da luz em relação ao éter (meio material com características distintas pelo qual a luz se propagava). Este experimento foi realizado pelos físicos Albert Michelson (1852 – 1931) em 1881, e em 1887 por Michelson e Edward Morley (1838 – 1923), utilizando um instrumento denominado de interferômetro que ficou conhecido como o “Interferômetro de Michelson-Morley” e constitui uma parte importante da história do desenvolvimento da teoria da relatividade restrita.

Como mencionado anteriormente, Lorentz e Poincaré contribuíram com importantes avanços na teoria da relatividade restrita na tentativa de explicarem os resultados de Michelson e Morley, inferiram que a matéria constituinte dos corpos poderia sofrer uma contração longitudinal na direção do deslocamento do corpo em relação ao éter. Para Lorentz (1892) e Fitzgerald (1889) a contração ocorrida em objetos relativísticos era interpretada como resultado de uma mudança na estrutura que compunha a matéria constituinte do objeto em questão. Esta modificação na estrutura seria em decorrência da interação das moléculas do objeto com o até então considerado “éter luminífero”. O trabalho de Lorentz resultou em uma série de equações que hoje são conhecidas como “Transformações de Lorentz”.

Desta forma, em 1905, ano em que Einstein publicou seu artigo, já se havia obtido resultados importantes no campo da relatividade. Dentre tais, pode-se citar: a) o princípio da relatividade; b) as transformações de Lorentz para o espaço e tempo; c) as transformações das grandezas eletromagnéticas; d) a maior parte da mecânica relativística. Estes resultados apresentados acima são fruto de muito trabalho e da colaboração de muitos estudiosos e pesquisadores, que ao longo dos anos foram construindo este ramo da física de forma gradual. Einstein utilizou dois princípios: o princípio da relatividade e o princípio da invariância da velocidade da luz.

O princípio da relatividade: prevê que as leis que governam as mudanças de estado em quaisquer sistemas físicos tomam a mesma forma em quaisquer sistemas de coordenadas inerciais. Se S é um sistema de inercial, qualquer outro sistema S' em movimento de translação uniforme relativamente a S , é também um sistema de inercial.

Quanto ao princípio da invariância da velocidade da luz prevê que a luz tem velocidade invariante igual a c em relação a qualquer sistema de coordenadas inercial. A velocidade da luz no vácuo é a mesma para todos os observadores em referenciais inerciais e não dependem da velocidade da fonte que está emitindo a luz, tampouco do observador que está medindo. A luz não requer qualquer meio (como o éter) para se propagar. De fato, a existência do éter é mesmo contraditória com o conjunto dos fatos e com as leis da mecânica.

Nenhum dos dois princípios foram criados por Einstein. O princípio da relatividade foi proposto por Poincaré, inclusive com este mesmo nome. O princípio da invariância da velocidade da luz tem origem da suposição de que o éter era o meio pelo qual a luz se propagava. Como apresentado, os físicos predecessores de Einstein já conheciam estes princípios, bem como eram aceitos pela comunidade científica da época. A contribuição de Einstein foi propor que estes dois princípios deveriam ser tomados como postulados, ou seja, todas as deduções se apresentariam muito mais simples se estes princípios fossem considerados como a base da teoria na qual todo o resto está apoiado.

A teoria proposta por Lorentz era muito complexa. Desta forma, a abordagem feita por Einstein permitia uma menor elucubração para a compreensão dos conceitos envolvidos na teoria. Assim, a teoria proposta por Einstein ficou muito conhecida e hoje é considerada como uma das teorias mais famosas da história da física.

Apêndice III

Avaliação Final



CENTRO PAULA SOUZA



| | | | |
|--|--|------------------|--------------------|
| Nome: | | Nº: | |
| Itapira, 25 de junho de 2015 | | Módulo: 1ª série | Turma: () A () C |
| Professor : Bruno Marconi Riboldi | | | |
| Todas as respostas, justificativas e anotações relevantes devem estar de caneta azul ou preta. Todo o raciocínio utilizado para a resolução das questões deve estar no espaço reservado para a resolução da questão. | | | |
| Avaliação Final da UEPS sobre a Teoria da Relatividade Restrita | | | |

De acordo com as atividades desenvolvidas durante as aulas de física sobre a teoria da relatividade restrita (construção do mapa conceitual, jogar “A slower speed of light”, trabalhar com os applets: relógio de luz, contração do comprimento e simultaneidade, vídeo sobre o paradoxo dos gêmeos e as aulas dialogadas), responda as questões abaixo:

Questão 1 - (1,5 pontos): Explique com suas palavras, de forma detalhada, o que você entendeu do fenômeno da simultaneidade de eventos relativísticos.

Questão 2 - (1,5 pontos): A dilatação temporal foi um dos fenômenos relativísticos estudados durante nossas aulas. Desta forma, responda:

- O que é necessário para que este fenômeno aconteça?
- Explique por meio da escrita e desenhos o que acontece neste fenômeno.

Questão 3 - (1,5 pontos): Explique com suas palavras, de forma detalhada, como acontece o fenômeno da contração do comprimento de objetos relativísticos.

Questão 4 - (1,5 pontos): Escolha dois fenômenos relativísticos que você tenha percebido enquanto jogava o game “A slower speed of light” e explique de forma detalhada como e porque eles ocorrem.

Questão 5 - (4,0 pontos): Construa um mapa conceitual abordando tudo o que foi discutido durante as nossas aulas sobre a teoria da relatividade restrita.

Apêndice IV

Construindo um Mapa Conceitual

Um mapa conceitual pode ser considerado um diagrama que evidencia a relação entre os conceitos apresentados em um determinado conteúdo, assunto, seção, capítulo, disciplina, entre outros. Os diagramas que são caracterizados como mapas conceituais devem seguir alguns princípios, dentre eles está a questão de que um mapa conceitual necessita ter seus elementos organizados de maneira hierárquica, refletindo a organização conceitual da disciplina ou tema escolhido para a sua construção, ou seja, a estrutura hierárquica do mapa conceitual dependerá da estrutura conceitual do assunto abordado na sua construção.

Um mapa conceitual pode ter uma, duas ou até mesmo três dimensões. Mapas com apenas uma dimensão podem ser considerados como listas de conceitos e são organizados na dimensão vertical. Este tipo de organização não consegue expressar de maneira satisfatória as relações existentes entre os conceitos de um conteúdo. Os mapas construídos em duas dimensões já são mais elaborados e conseguem apresentar um número maior de conexões entre os conceitos presentes no conteúdo. Assim, quanto maior for o número de dimensões no mapa conceitual, melhor serão as possibilidades de representação das relações entre os conceitos. Mapas conceituais superiores a duas dimensões já seriam abstrações, não sendo mais representações concretas, o que dificultaria sua construção e fugiria ao propósito de fins instrucionais.

Desta forma, os mapas conceituais construídos serão diagramas conceituais bidimensionais mostrando as relações hierárquicas entre os conceitos e ideias do conteúdo a ser estudado. Contudo, vale ressaltar que não existe apenas uma maneira de organizar um mapa conceitual para um determinado conteúdo, ou seja, existem várias maneiras de traçar um mapa conceitual. Assim, é necessário se ter em mente que quando se constrói um mapa conceitual, a organização adotada é apenas uma dentre as possíveis representações dos conceitos utilizados no mapa conceitual.

A Figura 23 representa um modelo simplificado de mapa conceitual, construído com base no princípio da diferenciação progressiva presente na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel. Neste modelo os conceitos mais gerais e abrangentes aparecem no todo do mapa conceitual.

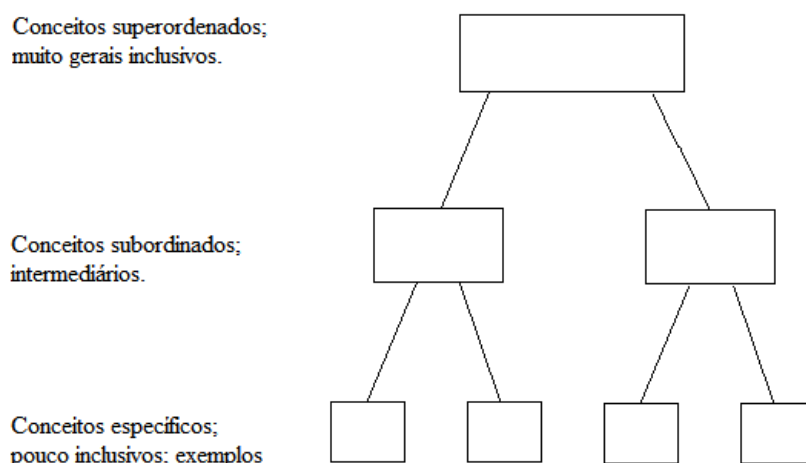


Figura 23: Um modelo para mapeamento conceitual segundo a teoria de Ausubel. Fonte: MOREIRA, 2006, p.47.

Conforme se percorre o mapa na direção vertical descendente, estão os conceitos menos inclusivos, prosseguindo desta forma para conceitos e ideias cada vez menos abrangentes até que se chegue aos conceitos e ideias mais específicos. Exemplos também podem ocupar esta posição nos mapas conceituais. Conceitos e ideias com o mesmo nível de abrangência e inclusão devem aparecer na mesma linha horizontal do mapa conceitual.

As conexões entre os conceitos devem ser feitas por meio de linhas e podem ser rotuladas por um verbo ou frase que esclareça e identifique a relação entre os conceitos conectados. Não que estas frases ligando os conceitos sejam obrigatórias, mas elas facilitam a compreensão das relações existentes entre os conceitos. Na Figura 2, está representado um modelo de mapa conceitual para o conteúdo de eletromagnetismo, onde as linhas que estabelecem as relações entre os conceitos estão rotuladas com frases e expressões matemáticas que conectam conceitualmente os conceitos. Nota-se que um conceito pode estar ligado a mais de um conceito ou ideia.

Observe que o mapa conceitual não está construído com a mesma estrutura sugerida na Figura 1. Isto se deve ao fato que não existe uma regra geral para a construção de um mapa conceitual. No caso do mapa representado na Figura 24, o conceito mais abrangente se encontra no centro do mapa (Campo Elétrico) e a medida que se percorre o mapa em sentido à periferia, encontra-se os conceitos menos abrangentes e exemplos.

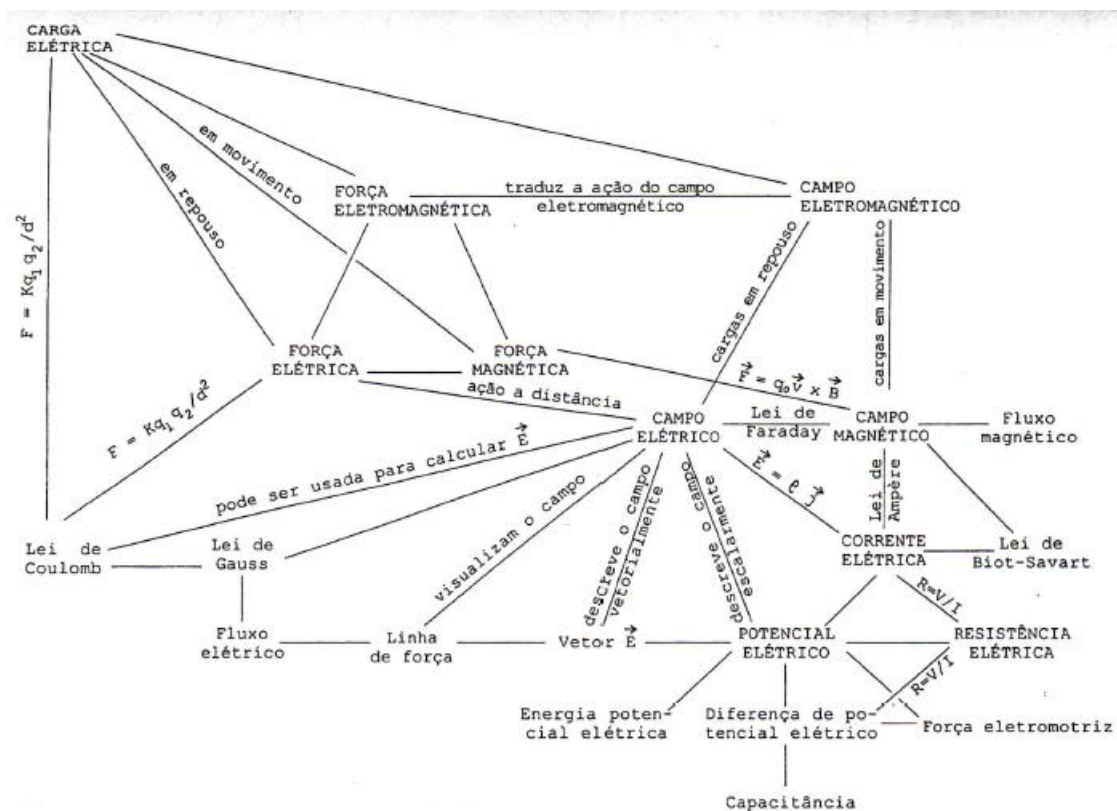


Figura 24: Mapa conceitual do conteúdo de eletromagnetismo hierarquicamente organizado: os conceitos superordenados (mais gerais e abrangentes) estão no centro do mapa enquanto que os conceitos subordinados (mais específicos) estão nas periferias. Fonte: MOREIRA, 2006, p. 57

Mapas conceituais também são ferramentas capazes de expressar com razoável precisão a estrutura cognitiva alunos. É por meio de um mapa conceitual que é possível averiguar quais subsunçores estão presentes na estrutura cognitiva dos alunos, assim como avaliar quão diferenciado estão estes subsunçores.

Cada um dos conceitos e ideias representados no mapa conceitual pode ser considerado um subsunçor. A quantidade de conexões que o aluno realizar com este subsunçor irá revelar o quanto ele está diferenciado na sua estrutura cognitiva, ou seja, quanto maior for o número de conexões, mais diferenciado estará o subsunçor em questão na estrutura cognitiva do aluno. Desta forma, o professor poderá ter boas evidências do conhecimento prévio dos alunos, assim como obter informações como razoável precisão de como a estrutura cognitiva do aluno está organizada.

Vale ressaltar, que a estrutura cognitiva do aluno também é organizada de maneira hierárquica. Assim, a forma hierárquica que um aluno constrói um mapa conceitual será com bom grau de aproximação a mesma hierarquia presente em sua estrutura cognitiva. Com isso,

os conceitos e ideias que ocupam um grau maior de hierarquia no mapa conceitual construído pelo aluno possivelmente ocupará a mesma posição hierárquica na estrutura cognitiva deste aluno.

Apêndice V

Questionário pós-aplicação da UEPS

Questão 1: Você acha que o game “A slower speed of light” ajudou na compreensão dos conceitos tratados durante as aulas sobre Relatividade Restrita?

- Sim, ajudou bastante
- Sim, ajudou
- Foi indiferente
- Não, atrapalhou
- Não, atrapalhou bastante

Questão 2: Dos assuntos abordados nas aulas sobre Relatividade Restrita, marque com um “D” o que teve mais dificuldade em compreender e marque com “F” o que teve mais facilidade de compreensão.

- Dilatação temporal
- Contração do espaço
- Simultaneidade de eventos relativísticos
- Efeito de aberração relativística (deformação dos objetos em movimento relativístico)
- Invariabilidade da velocidade da luz
- Efeito Holofote

Questão 3: Os applets sobre contração do espaço, dilatação temporal e simultaneidade ajudaram na compreensão dos conceitos tratados durante as aulas?

- Sim, ajudou bastante
- Sim, ajudou

- Foi indiferente
- Não, atrapalhou
- Não, atrapalhou bastante

Questão 4: Você acha que os conteúdos aprendidos durante as aulas de Relatividade Restrita foram importantes para a sua formação quanto aluno?

- Sim, foi muito importante
- Sim, foi um pouco importante
- Não foi importante

Questão 5: Você gostaria de aprofundar seus conhecimentos sobre a teoria da Relatividade Restrita para melhor compreendê-la?

- Sim
- Não

Questão 6: Você acha que a forma como as atividades foram apresentadas e trabalhadas (metodologia) facilitou a compreensão dos conteúdos sobre Relatividade Restrita?

- Sim, facilitou bastante
- Sim, facilitou
- Foi indiferente
- Não, atrapalhou
- Não, atrapalhou bastante

Questão 7: Deixe aqui alguma sugestão ou comentário sobre as aulas de Relatividade Restrita.

Apêndice VI



CENTRO PAULA SOUZA

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO**

Eu, Débora Ruiz Parejo, diretora da ETEC “João Maria Stevanatto”, RG 23.513.923-3, CPF 264.651.568-57, AUTORIZO Bruno Marconi Riboldi, RG 43.071.560-2, CPF 365.418.538-00, professor de Ensino Médio e Técnico desta instituição sob a matrícula nº 56791, a aplicar questionários e realizar observações com os alunos das seguintes turmas: 1º A (EM) e 1º C (ETIM - Informática), para a realização do Projeto de Pesquisa A CONSTRUÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS) PARA ENSINAR RELATIVIDADE UTILIZANDO ANIMAÇÕES E O GAME *A SLOWER SPEED OF LIGHT*, que tem com objetivo primário a construção e aplicação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), visando facilitar a aprendizagem significativa da teoria da Relatividade Restrita.

Itapira, 30 de abril de 2015.

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a vertical line, positioned above a horizontal line that serves as a baseline for the signature.

Débora Ruiz Parejo

Débora Ruiz Parejo
Diretora de Escola
RG. 23.513.923-3

Apêndice VII

O Produto Educacional

**BRUNO
RIBOLDI**

**NELSON
STUDART**

RELATIVIDADE RESTRITA: GAME E ANIMAÇÕES

Proposta de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS)



<http://gamelab.mit.edu/slower>
©2012 M.I.T. and MDA. All rights Reserved



Autor:

Bruno Marconi Riboldi

Orientador:

Prof. Dr. Nelson Studart Filho

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF)

Apoio:



São Carlos – SP

2015

© Bruno Marconi Riboldi e Nelson Studart Filho – 2015

O material apresentado neste documento pode ser reproduzido livremente desde que citada a fonte. As imagens apresentadas são de propriedade dos respectivos autores e utilizadas para fins didáticos. Caso sinta que houve violação de seus direitos autorais, por favor contate os autores para solução imediata do problema. Este documento é veiculado gratuitamente, sem nenhum tipo de retorno comercial a nenhum dos autores, e visa apenas a divulgação do conhecimento científico.

APRESENTAÇÃO

Este material é fruto do meu trabalho sob a orientação do Prof. Dr. Nelson Studart no Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física na Universidade Federal de São Carlos e tem como objetivo apresentar o produto educacional produzido ao longo destes anos como mestrando. A dissertação que gerou este material tem como título “A CONSTRUÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS) PARA ENSINAR RELATIVIDADE UTILIZANDO ANIMAÇÕES E O GAME *A SLOWER SPEED OF LIGHT*. O intuito é apresentar o produto educacional de forma direta e objetiva, em que o autor apresenta suas experiências com a construção e aplicação da UEPS, trazendo sugestões para as futuras aplicações e materiais complementares para alunos e professores.

A RELATIVIDADE RESTRITA

O estudo da Relatividade Restrita envolve conceitos e ideias sobre a relatividade do tempo e espaço e constitui uma importante parte da física não newtoniana e de grande relevância para se tratar de assuntos que envolvem diversos temas.

A RELATIVIDADE RESTRITA

1. Por que ensinar Relatividade Restrita no Ensino Médio?

2. O game “*A slower speed of light*” e a teoria da Relatividade Restrita

Por que ensinar Relatividade Restrita no ensino Médio?

Nas últimas décadas, a humanidade tem presenciado uma revolução tecnológica e a física, como parte da ciência, tem feito contribuições importantes tanto na área da pesquisa como no desenvolvimento de novas tecnologias. A capacidade de utilizar os conhecimentos científicos em contextos e ações reflete direta ou indiretamente no ambiente e na sociedade em que se vive e é algo muito importante na atualidade. A sociedade do século XXI é convidada a participar cada vez mais ativamente de discussões que envolvem a ciência. Pesquisas com células-tronco, melhoramento genético, produção de energia por fontes alternativas são assuntos que estão inseridos no cotidiano da população em geral.

Desta maneira, voltando os olhares para as salas de aula, vê-se um ensino de física baseado, em sua grande maioria, em temas, teorias, problemas e assuntos que estão presentes neste ramo da ciência há mais de um século. Mecânica, termodinâmica, eletromagnetismo, entre outros ramos da física, apesar de abordarem assuntos relevantes e ainda muito pertinentes, não são capazes de fornecer conhecimento suficiente para as situações e problemas enfrentados no cotidiano. Um mundo com computadores, lâmpadas de LED, aparelhos de GPS faz com que a física clássica não seja mais capaz de explicar tudo que ocorre no dia a dia.

Refletindo sobre o exposto acima, acredita-se que cada vez mais será necessária a real inserção de temas relacionados à física não newtoniana nos cursos de ensino médio que, ao invés de possuírem características formativas, acabam se constituindo em sua essência como cursos propedêuticos.

O game “A slower speed of light” e a teoria da Relatividade Restrita

O vídeojogo “A slower speed of light” foi produzido pelo GameLab do Massachusetts Institute of Technology (MIT). O *download* do *game* pode ser feito de forma gratuita no endereço virtual: <http://gamelab.mit.edu/games/a-slower-speed-of-light/> (KORTEMAYER et al, 2013). Nele, o jogador se desloca em um espaço 3D com o intuito de coletar *orbs* (uma espécie de bola encantada) que faz com que a velocidade da luz seja reduzida à medida que o jogador as coleta. O game é uma referência clara à questão proposta por Einstein quando este tinha apenas 16 anos de idade: “O que poríamos ver se viajássemos montados em um raio de luz?”. Os gráficos do jogo e ações produzidas pelos jogadores levam-no a obter a resposta para esta questão proposta por Einstein. O *game* possui uma interface amigável que facilita a sua utilização por parte do professor e alunos.



Figura 1: Tela inicial do *game* “A slower speed of light”.
Fonte: <http://gamelab.mit.edu/games/a-slower-speed-of-light/>

Após a coleta de algumas dezenas de *orbs*, o jogador começa a visualizar os primeiros efeitos relativísticos presentes no jogo, como por exemplo, o Efeito Holofote, o Efeito Doppler, Efeito Terrell e a contração do comprimento. O Efeito Holofote consiste no fato de que como o jogador começa a se deslocar com uma velocidade cada vez mais próxima da velocidade da luz, uma quantidade maior de fótons incide nos olhos do jogador, o que faz com que a imagem se apresente com um brilho maior. Quando há deslocamento para trás, incide uma quantidade menor de fótons, que é percebida pelo jogador como uma imagem menos nítida e brilhante.

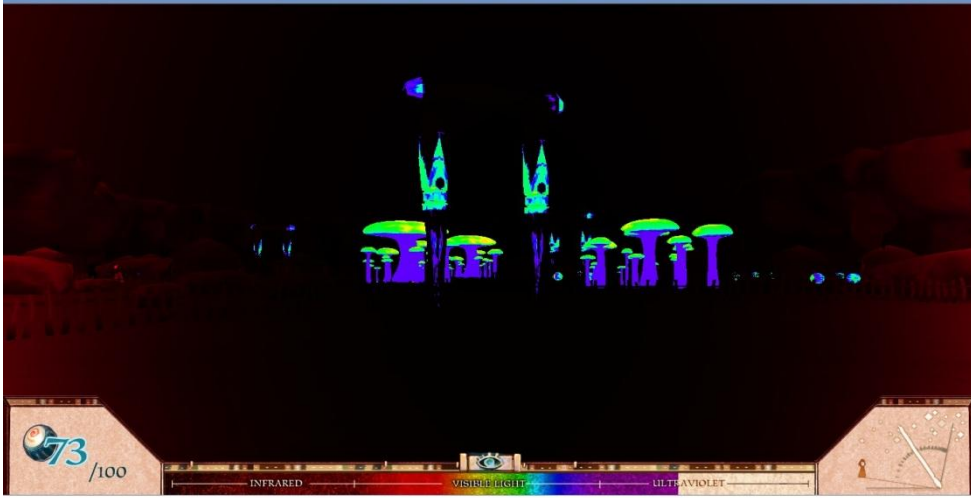


Figura 2: Captura de tela do *game* "A slower speed of light" mostrando o Efeito Holofote. Fonte: <http://gamelab.mit.edu/games/a-slower-speed-of-light/>

O Efeito Doppler é o desvio da luz para a faixa do vermelho ou do azul, dependendo do movimento do jogador.

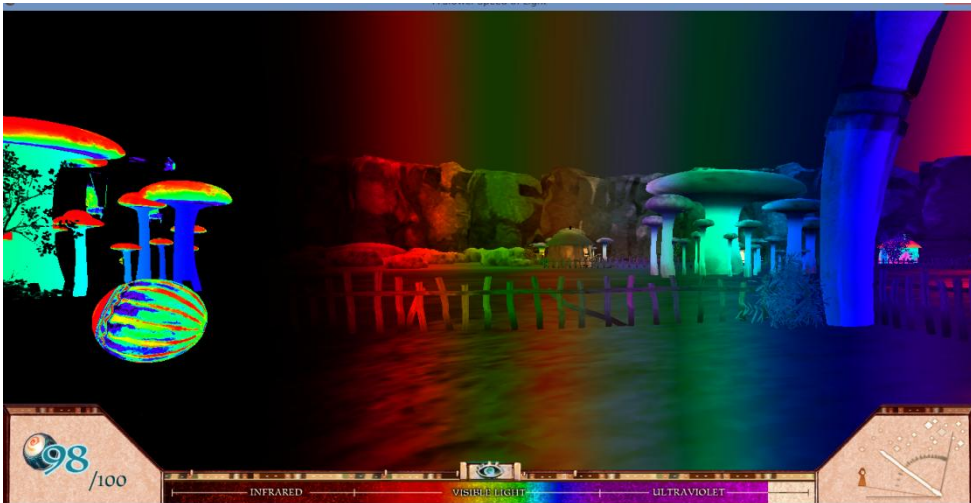


Figura 3: Captura de tela do *game* "A slower speed of light" mostrando o Efeito Doppler. Fonte: <http://gamelab.mit.edu/games/a-slower-speed-of-light/>

O Efeito Terrell explica a aparência visual de objetos em movimento relativístico. No *game*, o jogador poderá visualizar este efeito apenas quando todas as *orbs* forem coletadas. Neste momento os demais efeitos relativísticos são retirados e pode-se perceber então o Efeito Terrell.



Figura 4: Captura de tela do *game* "A slower speed of light" mostrando o Efeito Terrell. Fonte: <http://gamelab.mit.edu/games/a-slower-speed-of-light/>

A vantagem da utilização do *game* "A slower speed of light" está na possibilidade de visualização de alguns efeitos relativísticos que seriam impossíveis de serem observados no cotidiano (HONEY e HILTON, 2011). Além disso, a quantidade de signos fornecidos pelo videogame é muito maior do que os encontrados nos materiais educacionais impressos e audiovisuais disponíveis. Assim, podemos afirmar que a utilização do *game* na UEPS como ferramenta

educacional constitui um diferencial importante. Esta afirmação pôde ser confirmada com as repostas apresentadas pelos alunos no questionário respondido após a finalização da UEPS.



Saiba mais sobre:

A teoria da Relatividade Restrita

Bernstein, A. Albert Einstein e as Fronteiras da Física, Claro Enigma, 184 pp 2013.

DEISSLER, R. J. The appearance, apparent speed, and removal of optical effects for relativistically moving objects. **American Journal of Physics**. 73 (7), 663-669 (2005).

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

Einstein, A. Como vejo o mundo, Nova Fronteira, 160 pp. 2015.

Goldsmith, Mike. Einstein e seu universo inflável – Coleção Mortos de Fama, Cia. das Letras, 192 pp. 2002.

Infeld, L. e Einstein, A, A evolução da Física, Zahar, 248 pp. 2008.

JANIS, A. I. Simultaneity and special relativistic kinematics. **American Journal of Physics**. 51 (3), 209 (1983).

Pais, A. " Sutil É o Senhor..." A Ciência e a Vida de Albert Einstein, Nova Fronteira 638 pp 1995.

TOLMASQUIM, A. Einstein – O Viajante da Relatividade na América do Sul, Vieira&Lent, 255p. 2003.

A slower speed of light

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, 2013.

Jogos na aprendizagem

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>

GEE, J. P. **Bons videojogos + Boa aprendizagem**: Colectânea de Ensaios sobre os Videogogos, a aprendizagem e a Literaci. Magualde: Edições Pedagogo, 2010, 299p. (Contrapontos).

HONEY, M. A; HILTON, M. L. **Learning Science Through Computer Games and Simulations**. Washington: The National Academies Press, 2011. 161p.

ULICSAK, M.; WRIGHT, M. Games in Education: Serious Games. A FutureLab review. Reino Unido, 2010. Disponível em:

http://media.futurelab.org.uk/resources/documents/lit_reviews/Serious-Games_Review.pdf

A CONSTRUÇÃO DA UEPS

Uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) constitui um modelo específico de Sequência de Ensino Aprendizagem (SEA) em que alguns princípios de construção e sequenciamento devem ser levados em consideração, baseados na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel.

A CONSTRUÇÃO DA UEPS

1. A escolha do tema
2. A escolha das ferramentas educacionais
3. Construindo a UEPS

A escolha do tema

A escolha do tema consiste em uma etapa muito importante no processo de construção de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa. Para o tema de uma UEPS pode-se escolher desde um assunto específico como, por exemplo, dilatação temporal, até um tema mais abrangente como, por exemplo, física moderna e contemporânea. Desta forma, uma UEPS é construída com a finalidade de facilitar a aprendizagem de qualquer tipo de conteúdo. O tema escolhido para a construção da UEPS apresentada neste trabalho foi a Relatividade Restrita. Como já mencionado anteriormente, julga-se relevante a aprendizagem de assuntos relacionados a este tema por alunos do Ensino Médio.

Apesar de parecer algo trivial, é necessário que a escolha do tema leve em consideração o nível instrucional dos alunos e as necessidades educacionais as quais os alunos estão submetidos. Assim, exige-se que o professor tenha uma ideia muito clara e objetiva dos objetivos que pretende alcançar com a UEPS construída.

A escolha das ferramentas educacionais

A escolha das ferramentas educacionais que serão utilizadas na construção da UEPS também constitui um importante passo no processo de criação da unidade de ensino. Da mesma forma que para a escolha do tema aconselha-se que o professor possua uma ideia muito clara dos objetivos e assuntos que serão abordados e trabalhados na UEPS.

A escolha das ferramentas utilizadas precisa levar em consideração diversos fatores, dentre os quais os mais importantes são os conhecimentos prévios dos alunos e a estrutura física da escola. Estas ferramentas podem ser textos, vídeos, simulações, animações, jogos eletrônicos, experimentos, entre outros. Para a construção da UEPS apresentada foram utilizados basicamente recursos computacionais, como o *game* “*A slower speed of light*”, animações em *flash* e vídeos. Além destas ferramentas também foram utilizados textos, mapas conceituais e questionários.

Desta forma, é necessário uma análise prévia e planejamento adequado dos recursos e ferramentas que se pretende utilizar durante a aplicação da UEPS. Apesar de todo o planejamento, o professor também deve contar com imprevistos. Assim, é necessário que o professor possua, se possível, uma segunda opção caso aconteçam tais imprevistos. Durante a aplicação da UEPS proposta neste trabalho ocorreu uma situação em que foi preciso uma reorganização de uma das atividades devido ao problema dos computadores do laboratório de informática da escola não possuírem capacidade gráfica suficiente para executar o *game* utilizado.

Com a experiência obtida com a aplicação da UEPS, sugerimos que sejam realizados previamente diversos testes para verificar e identificar os possíveis problemas que podem ocorrer durante a utilização das ferramentas educacionais, principalmente quando

estas ferramentas dependem de recursos computacionais. Para evitar o mesmo problema, deixaremos duas configurações de computadores nas quais foram testadas o *game* e que não houve problema algum de execução.

Configuração 1:

- Intel (R) Core i5 (TM) i5-3317U (1.70GHz)
- Intel (R)HD Graphics 400 (128 MB)
- 6GB RAM

Configuração 2:

- Intel (R) Core (TM) i5-4200U (2.3 GHz)
- GeForce GT 740M (2048 MB)
- 4GB RAM

Destacamos que pode haver configurações inferiores que são capazes de executar o *game*, por isso aconselha-se um teste prévio para verificar a jogabilidade de “*A slower speed of light*” em outras configurações.

Contudo, não são apenas as ferramentas educacionais que envolvem recursos computacionais que necessitam de um planejamento mais cauteloso. Na aplicação da presente UEPS foram utilizados mapas conceituais e deve-se considerar que estas ferramentas podem não ser conhecidas pelos alunos. Desta forma,

é necessário que o professor inclua no planejamento da UEPS uma atividade para instruir os alunos quanto à construção de mapas conceituais. Os conceitos envolvidos na construção de um mapa conceitual são relativamente complexos e requerem uma atenção especial por parte do docente na hora de instruir os alunos em relação à construção do mapa, uma vez que constituem uma importante ferramenta educacional que fornecerá resultados importantes sobre os conhecimentos prévios dos alunos e como a aprendizagem evoluiu durante a aplicação da UEPS.

Nas turmas em que a UEPS foi aplicada, a maioria dos alunos nunca havia construído um mapa conceitual e foi reservado um tempo de aproximadamente vinte e cinco minutos para a instrução de como um mapa conceitual pode ser construído. Apesar de julgarmos que não houve prejuízos quanto à qualidade dos mapas conceituais produzidos pelos alunos, recomendamos que seja disponibilizado um tempo maior para a instrução da construção dos mapas conceituais.

Construindo a UEPS

Após a escolha do tema e das ferramentas educacionais que serão utilizadas na UEPS, deve-se dar início à estruturação da unidade de ensino propriamente dita. Nesta etapa o professor deve organizar as ferramentas educacionais e a forma como serão apresentadas aos

alunos. Para isso é necessário que o professor conheça a estrutura de uma UEPS e siga alguns parâmetros para a sua construção. Uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, proposta por Moreira (2011), é um dos tipos de Sequência de Ensino Aprendizagem (SEA) baseada na teoria da Aprendizagem Significativa proposta por Ausubel (2003) e discutida por Moreira e Massini (1982). Desta forma, pode-se dizer que uma UEPS constitui um modelo de SEA em que alguns princípios de construção e sequenciamento devem ser levados em consideração.

Uma SEA, por sua vez, se constitui em um conjunto de atividades dispostas em uma determinada ordem, com uma estruturação e articulação desenvolvida para um determinado objetivo educacional que possui um início e final conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos. A identificação e conhecimento da estruturação de uma SEA possibilita uma melhor compreensão de seu valor educacional, assim como facilita as possíveis mudanças que serão realizadas na sequência e a inserção de atividades que possam melhorá-la.

Talvez o princípio mais importante para a construção de uma UEPS provenha da afirmativa feita por Ausubel (1976, p. 6): “Se tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um só princípio, diria o seguinte: de todos os fatores que influenciam a aprendizagem, o mais importante é aquilo que o aluno já sabe. Averigüe isso e

ensine-o de acordo”. Assim, faz-se necessário que desde o início da construção de uma UEPS o professor já possua em mente uma maneira de avaliar quais são os conhecimentos prévios dos alunos. Para esta tarefa sugere-se que o professor faça uso de mapas conceituais, pois estes são considerados instrumentos facilitadores da aprendizagem significativa. Eles auxiliam o professor na análise de quais são os conceitos e ideias que os alunos possuem acerca de um determinado assunto e como estes conceitos e ideias estão relacionados entre si.

As situações-problema que são apresentadas na UEPS devem ser criadas de forma que os alunos se interessem pelo assunto e fiquem motivados para uma aprendizagem significativa. As situações-problema devem transcender as questões que geralmente são propostas nos livros didáticos, devem despertar o interesse dos alunos e estimular a vontade em querer descobrir uma explicação para o problema proposto. De preferência, as situações-problema não devem ser apresentadas fora de um contexto que seja favorável para o despertar do interesse do aluno. Para isto, sugere-se que a questão central das situações-problema faça parte de uma pequena história, seja ela fictícia ou real, pois isto acaba envolvendo o aluno no problema e diluindo o caráter “mecânico” da aprendizagem.

Para que uma situação-problema se apresente da maneira descrita acima, ela deve relacionar os conteúdos aprendidos anteriormente

com os novos conteúdos apresentados, ou seja, deve servir como ponte cognitiva entre o que o aluno já sabe e o novo conhecimento a ser aprendido. Para isto, a situação-problema deve trazer ideias e conceitos que já são conhecidos dos alunos. Uma situação-problema não pode ser constituída apenas de conceitos e ideias inéditas, pois desta forma não serão ancorados de forma não arbitrária e não literal nos subsunçores preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz.

A organização da estrutura cognitiva é algo dinâmico, que se reformula conforme os subsunçores se tornam mais abrangentes e diferenciados. Desta forma, as situações-problema devem ser apresentadas em nível crescente de complexidade, à medida que os subsunçores estão preparados para ancorar novas ideias.

Desta forma, pode-se dizer que uma UEPS deve ser elaborada levando em consideração a aprendizagem significativa dos conteúdos, estimulada pela busca de respostas às situações-problema propostas que são construídas levando em consideração a diversidade de materiais educativos. Tais respostas vão além da memorização e reprodução dos conteúdos aprendidos, estas provêm da captação e negociação de significados apresentados no material educacional. A captação e negociação só podem ocorrer quando o ensino baseado na narrativa do professor dá lugar a um ensino centrado no aluno.



Saiba mais sobre:

A teoria da Aprendizagem Significativa

AUSUBEL, D. P. **Psicologia educativa: um ponto de vista cognoscitivo.** México: Trillas, 1976. 769 p.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva.** Lisboa: Paralelo, 2003. 243 p.

MOREIRA, M. A. **A teoria da aprendizagem significativa e suas implementação em sala de aula.** Brasília: Editora UnB. 2006. 186 p.

MOREIRA, M. A; MASSINI, E. F. A. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel.** São Paulo: Moraes, 1982. 112 p.

Unidades de Ensino Potencialmente Significativas

MOREIRA, M. A. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas – UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista.** v. 1, n. 2, p. 43 – 63. 2011.

A APLICAÇÃO DA UEPS



A presente UEPS tem a finalidade de facilitar a aquisição de significados de conceitos básicos da teoria da Relatividade Restrita e pode ser utilizada por professores de ensino médio e superior para tratarem o assunto de uma maneira diferenciada, utilizando ferramentas educacionais

A APLICAÇÃO DA UEPS

1. Atividade inicial
2. Situação-problema inicial
3. Situação-problema de aprofundamento
4. Avaliação individual
5. Avaliação da UEPS

Atividade inicial

A atividade inicial tem como finalidade apresentar a UEPS e os métodos de avaliação para os alunos, pois é necessário que as etapas e atividades a serem desenvolvidas durante a aplicação da UEPS devam ser conhecidas pelos alunos. Esta etapa consiste basicamente em realizar o levantamento do conhecimento prévio dos alunos por meio de questões e a construção de um mapa conceitual.

Sugerimos que cada aluno corte uma folha de caderno ou sulfite em quatro partes. Sugerimos também que após o professor enunciar a questão seja disponibilizado um tempo para que os alunos respondam e logo em seguida o professor já recolha as respostas antes de enunciar a próxima questão. Isso minimiza as cópias e fornece resultados mais precisos sobre os conhecimentos prévios dos alunos, uma vez que os alunos responderam de acordo com os seus próprios conhecimentos. Os alunos devem responder individualmente as questões apresentadas abaixo:

Questão 1: Você já ouviu falar sobre Einstein?

Questão 2: Você já ouviu falar ou leu algo sobre a teoria da Relatividade?

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”?

Em seguida o professor deve entregar o tutorial sobre a construção de mapas conceituais para os alunos e trabalhar os conceitos e ideias mais relevantes da construção dos mapas em uma aula expositiva de aproximadamente 50 minutos. O presente tutorial se encontra ao final deste livro. Sugerimos que o professor construa pelo menos um mapa conceitual junto aos alunos para que sirva de exemplo e os alunos participem do processo de construção. Contudo, achamos mais adequado que o mapa conceitual construído de forma colaborativa e que servirá de exemplo não seja sobre o tema Relatividade Restrita. Esta estratégia possui duas finalidades. Primeiramente, se o mapa construído pelo professor pode servir de modelo para possíveis cópias, prejudicaria o processo de levantamento de conhecimento prévio dos alunos. Em segundo, seria interessante que os alunos tivessem um bom conhecimento do assunto que servirá de tema para o mapa que será construído, pois desta forma os alunos serão capazes de articular com mais facilidade os conceitos e ideias pertencentes ao assunto. Caso os alunos já estejam acostumados com a construção de mapas conceituais, esta aula poderá ser suprimida da atividade inicial, uma vez que a única finalidade é instruir os alunos quanto à construção de mapas conceituais.

Após o professor trabalhar a construção de mapas conceituais com os alunos, deve-se solicitar que os alunos construam um mapa conceitual sobre os assuntos tratados até o momento sobre a teoria da Relatividade Restrita. Entregar para os alunos o texto “Uma

Breve História da Teoria da Relatividade Restrita” que também se encontra no final deste livro. O texto serve como leitura introdutória ao tema e colabora fornecendo uma visão mais geral e abrangente da teoria e dos conceitos e ideias que serão trabalhadas ao longo da UEPS.

O professor deve fazer uma breve consideração sobre o termo “restrita”, mencionando a teoria da relatividade geral que este ano completa 100 anos. Solicitar que os alunos realizem como tarefa de casa uma pesquisa sobre a teoria da Relatividade Geral, produzindo um texto (resenha) sobre o material encontrado em *sites*, periódicos impressos ou *online*, livros, artigos de divulgação científica, enciclopédias virtuais etc.

Situação-problema inicial

Devolutiva dos mapas conceituais analisados e corrigidos pelo professor. Nesta etapa os alunos devem se reunir para jogarem o *game* “*A slower speed of light*”. O professor pode formar duplas, trios e até mesmo quartetos. O número de alunos a serem agrupados dependerá dos recursos computacionais que o professor terá à sua disposição. Na aplicação desta UEPS pelo autor, os alunos foram separados em grupos de três alunos. Contudo, deixamos livre para que o professor que irá aplicar a presente UEPS se sinta à vontade para estabelecer como será a organização dos grupos e a duração da atividade. Como sugestão, aconselhamos

que os alunos sejam agrupados em duplas e disponham de uma aula para realizar a atividade.

Em princípio o professor deve dispor de um tempo para que os alunos tenham um primeiro contato com o jogo e aprendam os comandos. A partir do momento em 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 os conceitos e ideias que os alunos estão construindo sobre os efeitos relativísticos presentes no *game*. Os alunos devem responder a algumas questões enquanto eles jogam. As questões apresentadas a seguir foram utilizadas pelo autor enquanto aplicava a presente UEPS, porém ressaltamos que o professor que desejar aplicar a UEPS pode suprimir ou até mesmo acrescentar mais questões nesta etapa. Cabe ao professor adequar o questionário de acordo com o seu objetivo educacional.

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

Questão 6: Por que quando nos movimentamos no cotidiano 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 visualizaríamos quando coletamos todas as *orbs*?

Questão 9: O que enxergaríamos se pudéssemos viajar com a mesma velocidade de um raio de luz? (destacar que esta foi uma pergunta feita pelo próprio Einstein – Paradoxo de Aarau)

As respostas devem ser analisadas pelo professor para verificar quais os conceitos e ideias os alunos construíram durante a interação com o *game*.

Situação-problema de aprofundamento

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 eles trabalhem com três animações que tratam de fenômenos relativísticos: contração do comprimento, relógio de luz e simultaneidade de eventos relativísticos, disponíveis em:

<http://profimaradigital.pbworks.com/w/page/35211631/Programas> , nos itens 3, 15 e 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 virão a ter 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 o “relógio de

luz”. No momento em que o professor julgar mais adequado, pode propor que os alunos assistam ao vídeo sobre o “Paradoxo dos Gêmeos”, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Jw6McOwxfXs> , e em seguida respondam a seguinte questão:

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. Ao final destas atividades 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, assim como as suas explicações. Esta aula servirá como uma reconciliação integradora dos conceitos mais específicos em relação aos conceitos mais abrangentes da UEPS, que seriam a dilatação temporal, a contração do comprimento, a invariabilidade da velocidade da luz e o Efeito Terrell.

Avaliação individual

Pode ser constituída de questões abertas, testes e a construção de mapas conceituais envolvendo os conceitos mais abrangentes da UEPS, como a dilatação temporal, contração do comprimento, invariabilidade da velocidade da luz e Efeito Terrell. As questões

utilizadas na avaliação aplicada pelo autor serão apresentadas a seguir. Ressaltamos novamente que estas questões foram utilizadas para cumprir com os objetivos do trabalho. O professor que aplicará a presente UEPS poderá fazer alterações de acordo com os seus objetivos educacionais.

Questão 1: Explique, com suas palavras, de forma detalhada, o que você entendeu do fenômeno da simultaneidade de eventos relativísticos.

Questão 2: A dilatação temporal foi um dos fenômenos relativísticos estudados durante as aulas. Desta forma, responda:

- a) O que é necessário para que este fenômeno aconteça?
- b) Explique por meio da escrita e desenhos o que acontece neste fenômeno.

Questão 3: Explique com suas palavras, de forma detalhada, como acontece o fenômeno da contração do comprimento de objetos relativísticos.

Questão 4: Escolha dois fenômenos relativísticos que você tenha percebido enquanto jogava o *game* “*A slower speed of light*” e explique de forma detalhada como e porque eles ocorrem.

Questão 5: Construa um mapa conceitual abordando tudo o que foi discutido durante as nossas aulas sobre a teoria da relatividade restrita.

A partir das dez questões trabalhadas ao longo da UEPS, da construção do mapa conceitual inicial e da avaliação individual, o professor pode buscar por evidências de uma evolução conceitual. Como a aprendizagem significativa é um processo gradativo, não é interessante que o professor se concentre apenas em comportamentos finais, mas que considere todo o processo de aprendizagem e de evolução conceitual dos alunos.

Avaliação da UEPS

Depois de duas ou três semanas do final da aplicação da UEPS, o professor deve escolher de forma aleatória alguns alunos, aproximadamente 25% da turma, para que estes respondam algumas questões sobre a aplicação da UEPS. O questionário tem como finalidade saber a opinião dos alunos em relação às atividades desenvolvidas durante a aplicação da UEPS e obter informações sobre a forma como o assunto foi trabalhado durante as aulas. As respostas dos alunos auxiliam o professor quanto à avaliação da UEPS e fornece dados importantes que podem ser utilizados para realizar as reformulações posteriores da UEPS, cumprindo com o objetivo de adequar ao máximo a Unidade de Ensino à realidade dos alunos e do professor e alcançando os objetivos educacionais almejados pelo docente que aplicá-la. O questionário aplicado ao final da UEPS se encontra no capítulo 4 deste livro.

Materiais Instrucionais



Neste capítulo apresentaremos os materiais instrucionais utilizados durante a aplicação da UEPS. Trata-se de sugestões que o professor optará por utilizar ou não.

MATERIAIS INSTRUCIONAIS

1. Uma breve história da Teoria da Relatividade Restrita
2. Construindo um Mapa Conceitual
3. Questionário pós-aplicação da UEPS

Uma breve história da Teoria da Relatividade Restrita

Bruno Marconi Riboldi

Neste ano comemora-se o centenário de uma das teorias mais importantes da física, a Teoria da Relatividade Geral, proposta pelo físico alemão Albert Einstein (1879 - 1955). Porém, o legado de Einstein começa dez anos antes de 1915, quando ele escreve uma série de cinco artigos, publicados em 1905 no conceituado *Annalen der Physik* (o periódico de física mais conceituado da Alemanha). Dois dos artigos publicados em 1905, o *annus mirabilis* (ano miraculoso) de Einstein, tratavam da Teoria da Relatividade Restrita que serviu de base para que mais tarde fosse proposta a Teoria da Relatividade Geral.

Costumeiramente atribui-se a criação da Teoria da Relatividade Restrita a Albert Einstein. Contudo, antes de Einstein, cientistas como Hendrik Antonn Lorentz (1853 - 1928) e Jules Henri Poincaré (1854 - 1912), dentre outros pesquisadores, já haviam obtido resultados importantes para o desenvolvimento da eletrodinâmica dos corpos em movimento que buscava aplicar a bem sucedida eletrodinâmica de Maxwell a corpos em movimento e, em especial, obter resultados para a dinâmica do elétron, descoberto ao final do século XIX. Este desenvolvimento levou à

criação da teoria da relatividade. Um dos propósitos deste texto é destacar que, apesar de Einstein ter criado uma teoria consistente da eletrodinâmica aplicada a corpos em movimento, isto é, conjugando o eletromagnetismo de Maxwell e a mecânica Newtoniana, houve contribuições importantes de cientistas que antecederam Einstein e que iniciaram os estudos neste ramo da física.

Outro ponto que merece destaque é a ideia de que na física, assim como em qualquer outro ramo da ciência, não existem expoentes intelectuais capazes de desenvolver uma teoria onde não resta mais nenhum problema significativo a ser resolvido. Galileu, Newton e o próprio Einstein fizeram contribuições relevantes para o desenvolvimento dos conceitos físicos e ajudaram a estruturar esta ciência como a conhecemos hoje, porém houve também inúmeras contribuições ao longo dos séculos, feitas por pessoas que hoje ao menos se sabe o nome e que ajudaram a construir a física como conhecemos atualmente.

O entendimento do trabalho desenvolvido por Galileu em relação à relatividade do movimento é muito importante para a compreensão da Teoria da Relatividade Restrita proposta por Einstein mais de três séculos depois. Foi Galileu quem mostrou que a trajetória descrita por um corpo em movimento depende do referencial adotado, ou seja, a trajetória pode variar de acordo com o referencial do qual o observador faz parte.

Quase três séculos após Galileu ter formulado uma série de equações que hoje são conhecidas como “Transformações Galileanas”, um importante experimento foi desenvolvido com o intuito de medir a velocidade da luz em relação ao éter (meio material com características distintas pelo qual a luz se propagava). Este experimento foi realizado pelos físicos Albert Michelson (1852 – 1931) em 1881, e em 1887 por Michelson e Edward Morley (1838 – 1923), utilizando um instrumento denominado de interferômetro que ficou conhecido como o “Interferômetro de Michelson-Morley” e constitui uma parte importante da história do desenvolvimento da teoria da relatividade restrita.

Como mencionado anteriormente, Lorentz e Poincaré contribuíram com importantes avanços na teoria da relatividade restrita na tentativa de explicarem os resultados de Michelson e Morley; inferiram que a matéria constituinte dos corpos poderia sofrer uma contração longitudinal na direção do deslocamento do corpo em relação ao éter. Para Lorentz (1892) e Fitzgerald a contração ocorrida em objetos relativísticos era interpretada como resultado de uma mudança na estrutura que compunha a matéria constituinte do objeto em questão. Esta modificação na estrutura seria em decorrência da interação das moléculas do objeto com o até então considerado “éter luminífero”. O trabalho de Lorentz resultou em uma série de equações que hoje são conhecidas como “Transformações de Lorentz”.

Desta forma, em 1905, ano em que Einstein publicou seu artigo, já se havia obtido resultados importantes no campo da relatividade. Dentre tais, pode-se citar: a) o princípio da relatividade; b) as transformações de Lorentz para o espaço e tempo; c) as transformações das grandezas eletromagnéticas; d) a maior parte da mecânica relativística. Estes resultados apresentados acima são fruto de muito trabalho e da colaboração de muitos estudiosos e pesquisadores, que ao longo dos anos foram construindo este ramo da física de forma gradual. Einstein utilizou dois princípios: o princípio da relatividade e o princípio da invariância da velocidade da luz.

O princípio da relatividade: prevê que as leis que governam as mudanças de estado em quaisquer sistemas físicos tomam a mesma forma em quaisquer sistemas de coordenadas inerciais. Se S é um sistema de inercial, qualquer outro sistema S' em movimento de translação uniforme relativamente a S é também um sistema de inercial.

Quanto ao princípio da invariância da velocidade da luz, prevê que a luz tem velocidade invariante igual a c em relação a qualquer sistema de coordenadas inercial. A velocidade da luz no vácuo é a mesma para todos os observadores em referenciais inerciais e não dependem da velocidade da fonte que está emitindo a luz, tampouco do observador que está medindo. A luz não requer qualquer meio (como o éter) para se propagar. De fato, a existência do éter é

mesmo contraditória com o conjunto dos fatos e com as leis da mecânica.

Nenhum dos dois princípios foram criados por Einstein. O princípio da relatividade foi proposto por Poincaré, inclusive com este mesmo nome. O princípio da invariância da velocidade da luz tem origem da suposição de que o éter era o meio pelo qual a luz se propagava. Como apresentado, os físicos predecessores de Einstein já conheciam estes princípios, bem como eram aceitos pela comunidade científica da época. A contribuição de Einstein foi propor que estes dois princípios deveriam ser tomados como postulados, ou seja, todas as deduções se apresentariam muito mais simples se estes princípios fossem considerados como a base da teoria na qual todo o resto está apoiado.

A teoria proposta por Lorentz era muito complexa. Desta forma, a abordagem feita por Einstein permitia uma menor elucubração para a compreensão dos conceitos envolvidos na teoria. Assim, a teoria proposta por Einstein ficou muito conhecida e hoje é considerada como uma das teorias mais famosas da história da física.

Construindo um Mapa Conceitual

Um mapa conceitual pode ser considerado um diagrama que evidencia a relação entre os conceitos apresentados em um determinado conteúdo, assunto, seção, capítulo, disciplina, entre

outros. Os diagramas que são caracterizados como mapas conceituais devem seguir alguns princípios, dentre eles está a questão de que um mapa conceitual necessita ter seus elementos organizados de maneira hierárquica, refletindo a organização conceitual da disciplina ou tema escolhido para a sua construção, ou seja, a estrutura hierárquica do mapa conceitual dependerá da estrutura conceitual do assunto abordado na sua construção.

Um mapa conceitual pode ter uma, duas ou até mesmo três dimensões. Mapas com apenas uma dimensão podem ser considerados como listas de conceitos e são organizados na dimensão vertical. Este tipo de organização não consegue expressar de maneira satisfatória as relações existentes entre os conceitos de um conteúdo. Os mapas construídos em duas dimensões já são mais elaborados e conseguem apresentar um número maior de conexões entre os conceitos presentes no conteúdo. Assim, quanto maior for o número de dimensões no mapa conceitual, melhor serão as possibilidades de representação das relações entre os conceitos. Mapas conceituais superiores a duas dimensões já seriam abstrações, não sendo mais representações concretas, o que dificultaria sua construção e fugiria ao propósito de fins instrucionais.

Desta forma, os mapas conceituais construídos serão diagramas conceituais bidimensionais mostrando as relações hierárquicas entre os conceitos e ideias do conteúdo a ser estudado. Contudo, vale ressaltar que não existe apenas uma maneira de

organizar um mapa conceitual para um determinado conteúdo, ou seja, existem várias maneiras de traçar um mapa conceitual. Assim, é necessário se ter em mente que quando se constrói um mapa conceitual a organização adotada é apenas uma dentre as possíveis representações dos conceitos utilizados no mapa conceitual.

A Figura 5 representa um modelo simplificado de mapa conceitual, construído com base no princípio da diferenciação progressiva presente na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel. Neste modelo os conceitos mais gerais e abrangentes aparecem no todo do mapa conceitual.

Conforme se percorre o mapa na direção vertical descendente, estão os conceitos menos inclusivos, prosseguindo desta forma para conceitos e ideias cada vez menos abrangentes até que se chegue aos conceitos e ideias mais específicos. Exemplos também podem ocupar esta posição nos mapas conceituais. Conceitos e ideias com o mesmo nível de abrangência e inclusão devem aparecer na mesma linha horizontal do mapa conceitual.

Conceitos superordenados;
muito gerais inclusivos.

Conceitos subordinados;
intermediários.

Conceitos específicos;
pouco inclusivos; exemplos

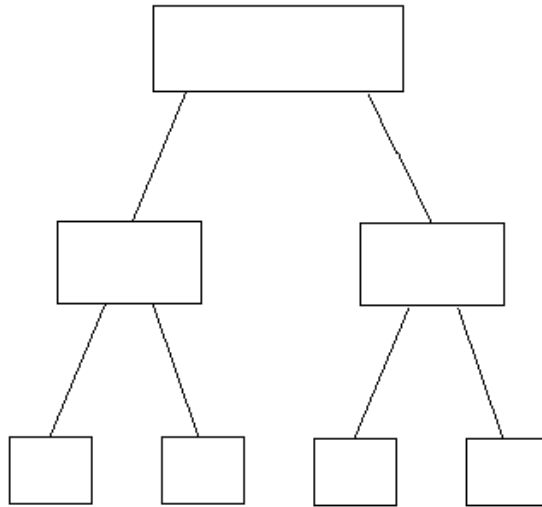


Figura 5: Um modelo para mapeamento conceitual segundo a teoria de Ausubel.
Fonte: MOREIRA, 2006, p.47.

As conexões entre os conceitos devem ser feitas por meio de linhas e podem ser rotuladas por um verbo ou frase que esclareça e identifique a relação entre os conceitos conectados. Não que estas frases ligando os conceitos sejam obrigatórias, mas elas facilitam a compreensão das relações existentes entre os conceitos. Na Figura 6, está representado um modelo de mapa conceitual para o conteúdo de eletromagnetismo, em que as linhas que estabelecem as relações entre os conceitos estão rotuladas com frases e expressões matemáticas que conectam conceitualmente os conceitos. Nota-se que um conceito pode estar ligado a mais de um conceito ou ideia.

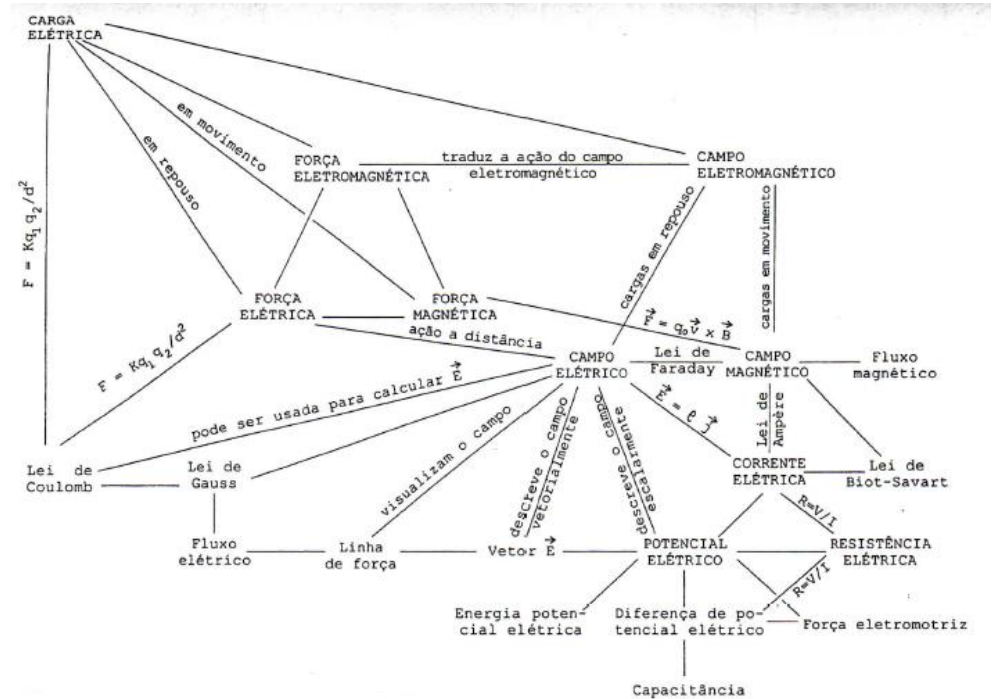


Figura 6: Mapa conceitual do conteúdo de eletromagnetismo hierarquicamente organizado: os conceitos superordenados (mais gerais e abrangentes) estão no centro do mapa enquanto que os conceitos subordinados (mais específicos) estão nas periferias. Fonte: MOREIRA, 2006, p. 57

Observe que o mapa conceitual não está construído com a mesma estrutura sugerida na Figura 5. Isto se deve ao fato de que não existe uma regra geral para a construção de um mapa conceitual. No caso do mapa representado na Figura 6, o conceito mais abrangente se encontra no centro do mapa (Campo Elétrico) e à medida que se percorre o mapa em sentido à periferia, encontram-se os conceitos menos abrangentes e exemplos.

Mapas conceituais também são ferramentas capazes de expressar com razoável precisão a estrutura cognitiva dos alunos. É por meio de um mapa conceitual que é possível averiguar quais subsunçores estão presentes na estrutura cognitiva dos alunos, assim como avaliar quão diferenciado estão estes subsunçores.

Cada um dos conceitos e ideias representados no mapa conceitual pode ser considerado um subsunçor. A quantidade de conexões que o aluno realizar com este subsunçor irá revelar o quanto ele está diferenciado na sua estrutura cognitiva, ou seja, quanto maior for o número de conexões, mais diferenciado estará o subsunçor em questão na estrutura cognitiva do aluno. Desta forma, o professor poderá ter boas evidências do conhecimento prévio dos alunos, assim como obter informações com razoável precisão de como a estrutura cognitiva do aluno está organizada.

Vale ressaltar que a estrutura cognitiva do aluno também é organizada de maneira hierárquica. Assim, a forma hierárquica que um aluno constrói um mapa conceitual será com bom grau de aproximação a mesma hierarquia presente em sua estrutura cognitiva. Com isso, os conceitos e ideias que ocupam um grau maior de hierarquia no mapa conceitual construído pelo aluno possivelmente ocupará a mesma posição hierárquica na estrutura cognitiva deste aluno.

Questionário pós-aplicação da UEPS

Questão 1: Você acha que o game “A slower speed of light” ajudou na compreensão dos conceitos tratados durante as aulas sobre Relatividade Restrita?

- Sim, ajudou bastante
- Sim, ajudou
- Foi indiferente
- Não, atrapalhou
- Não, atrapalhou bastante

Questão 2: Dos assuntos abordados nas aulas sobre Relatividade Restrita, marque com um “D” o que teve mais dificuldade em compreender e marque com “F” o que teve mais facilidade de compreensão.

- Dilatação temporal
- Contração do espaço
- Simultaneidade de eventos relativísticos
- Efeito de aberração relativística (deformação dos objetos em movimento relativístico)
- Invariabilidade da velocidade da luz

Efeito Holofote

Questão 3: Os applets sobre contração do espaço, dilatação temporal e simultaneidade ajudaram na compreensão dos conceitos tratados durante as aulas?

Sim, ajudou bastante

Sim, ajudou

Foi indiferente

Não, atrapalhou

Não, atrapalhou bastante

Questão 4: Você acha que os conteúdos aprendidos durante as aulas de Relatividade Restrita foram importantes para a sua formação quanto aluno?

Sim, foi muito importante

Sim, foi um pouco importante

Não foi importante

Questão 5: Você gostaria de aprofundar seus conhecimentos sobre a teoria da Relatividade Restrita para melhor compreendê-la?

Sim

Não

Questão 6: Você acha que a forma como as atividades foram apresentadas e trabalhadas (metodologia) facilitou a compreensão dos conteúdos sobre Relatividade Restrita?

Sim, facilitou bastante

Sim, facilitou

Foi indiferente

Não, atrapalhou

Não, atrapalhou bastante

Questão 7: Deixe aqui alguma sugestão ou comentário sobre as aulas de Relatividade Restrita.
